



MISKOLCI
EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

**GPS VÉTEL MENTES KÖRNYEZETBEN IS HASZNÁLHATÓ
HELYMEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREK ÉS ALKALMAZÁSI
LEHETŐSÉGEIK VIZSGÁLATA**

Ph.D. értekezés

KÉSZÍTETTE:

Árvai László

Okl. gépészmérnök

**HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
ALKALMAZOTT SZÁMÍTÁSTUDOMÁNY TÉMATERÜLET
ALGORITMUSELMÉLET ÉS ALKALMAZÁSAI TÉMACSOPORT**

DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE

Prof. Dr. Szigeti Jenő, DSc

egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ

Prof. Dr. Szigeti Jenő, DSc

egyetemi tanár

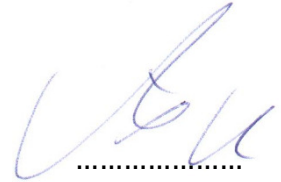
Miskolc

2022

NYILATKOZAT

Alulírott Árvai László kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2022.08.24.



Árvai László

TÉMAVEZETŐI AJÁNLÁS

Árvai László

**„GPS VÉTEL MENTES KÖRNYEZETBEN IS HASZNÁLHATÓ HELYMEGHATÁROZÁSI
MÓDSZEREK ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEIK VIZSGÁLATA”**

című PhD értekezéséhez

Árvai László a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Információs Technológiák Osztályán végezte kutatásait, elsősorban olyan algoritmusok és informatikai rendszerek fejlesztése területén melyek az idősek és fogyatékkal élők önálló életvitelét segíthetik.

A kutatás során a célként kitűzött feladatokat a jelölt sikeresen valósította meg. Az eredményeket a gyakorlatba is átültette, az általa fejlesztett mobileszközön és számítógépen futó alkalmazások formájában, a tényleges működési környezetben is ellenőrizte azok használhatóságát. A kutatás során elért részeredményeket és eredményeket magyar nyelvű és nemzetközi kiadványokban publikálta, illetve magyar és angol nyelvű konferenciákon bemutatta. Az értekezés Árvai László munkájának eredményeit tartalmazza, mely alapján messzemenően támogatom és javaslom a jelölt számára a Ph.D. cím odaítélését.

Miskolc, 2022.08.24.

Dr. Szigeti Jenő
egyetemi tanár

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik támogatásukkal, lelkesítésükkel vagy segítségükkel hozzájárultak az értekezés elkészítéséhez.

Külön szeretnék köszönetet mondani tudományos vezetőmnek Dr. Szigeti Jenő professzor úrnak a segítőkészségeért, támogatásáért, mely nélkülözhetetlen segítséget jelentett kutatómunkám során és újabb lendületet adott, ha egy-egy probléma megoldásában elakadtam.

Szeretnék köszönetet mondani kollégáimnak, a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Információs Technológiák Osztályánál.

Nagyon hálás vagyok a családomnak, elsősorban Feleségemnek, aki sokszor erején felül vállalt át feladatokat, motivált, folyamatosan mellettem állt a kutatómunkám és az értekezés elkészítése során, illetve Blankának és Csongornak is a megértő türelemért.

Kutatómunkám kapcsolódik az AAL „Indoor and outdoor NITICSplus solution for dementia challenges” (AAL-2016-074) és a „Visionless sUpporting framework – VUK” (AAL-2014-1-183) projektekhez, melyek a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal és az Európai Unió társfinanszírozásával valósultak meg.

TARTALOM

1.	Bevezetés	1
1.1.	Motiváció, A kutatás célkitűzései	3
1.2.	A dolgozat felépítése	4
1.3.	A kutatási terület irodalmi áttekintése	5
1.3.1.	Beltéri helymeghatározás az idősgondozásban	5
1.3.2.	Beltéri helymeghatározási rendszerek vakok és gyengénlátók részére	8
2.	Beltéri helymeghatározás	12
2.1.	Beltéri helymeghatározás módszerei	12
2.1.1.	Differenciális pozíciószámítás	12
2.1.2.	Írányszögelés	13
2.1.3.	Háromszögelés	14
2.1.4.	Mintaillesztés	15
2.1.5.	Közelségérzékelés	16
2.2.	Beltéri helymeghatározás algoritmusai, adatszerkezetei	18
2.2.1.	Negyedelő fa	18
2.2.2.	k-D fa	20
2.2.3.	Részecske szűrő	21
2.2.4.	Kálmán-szűrő	22
2.2.5.	Mesterséges neurális háló	25
2.3.	Beltéri helymeghatározás eszközei	27
3.	Wifi térerősség alapú helymeghatározás	32
3.1.	Wi-Fi térerősség mérés jellemző hibái	33
3.1.1.	Szenzor adatgyűjtő program	36
3.1.2.	Kihagyott mérések	37
3.1.3.	Térerősség mérés kvantálási hibája	38

3.1.4.	Irányérzékenység.....	40
3.1.5.	Ember test csillapító hatása	41
3.1.6.	Okoseszközök közötti hardver különbségek.....	42
3.1.7.	Következtések.....	43
3.2.	A Helymeghatározási adatbázis	44
3.2.1.	Helymeghatározási adatbázis felépítése	44
3.2.2.	Térrősség értékek mérése.....	50
3.2.3.	Lokalizációs adatbázis létrehozása	51
3.3.	Tézis I.....	53
3.4.	Újdonság és érvényesség	53
3.5.	Kapcsolódó publikációk	53
4.	Helymeghatározás okosórával.....	54
4.1.	Az idősgondozási rendszer.....	56
4.1.1.	A rendszerrel szemben támasztott követelmények	57
4.1.2.	A rendszer felépítése	57
4.1.3.	Az okosóra alkalmazás.....	60
4.2.	A beltéri helymeghatározó algoritmus.....	62
4.2.1.	Épület és emelet meghatározása.....	64
4.2.2.	AP szűrés	66
4.2.3.	Helymeghatározás	67
4.2.4.	Értékelés	72
4.3.	Tézis II.	73
4.4.	Újdonság és érvényesség	73
4.5.	Kapcsolódó publikációk	73
5.	Helymeghatározás okostelefonnal.....	74
5.1.	Beltéri navigációs rendszer.....	74
5.1.1.	A rendszerrel szemben támasztott követelmények	74

5.1.2.	A rendszer felépítése	75
5.2.	Helymeghatározási algoritmus.....	77
5.3.	Valós idejű aktivitásdetektálás	83
5.3.1.	Aktivitás felismerés a beltéri helymeghatározásban	84
5.3.2.	Adatgyűjtés és előfeldolgozás.....	86
5.3.3.	Adatszűrés.....	86
5.3.4.	Adatkészlet címkézés.....	88
5.3.5.	Aktivitás felismerés	89
5.3.6.	Értékelés	90
5.4.	Tézis III.....	91
5.5.	Újdonság és érvényesség	91
5.6.	Kapcsolódó publikációk	91

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

AABB	Axis Aligned Bounding Box, koordinátatengelyekkel párhuzamos élű befoglaló doboz
AoA	Angle of Arrival, beérkezési szög
AP	Access Point, Wi-Fi hozzáférési pont, általában Wi-Fi router
API	Application Programming Interface, alkalmazás programozási felület
BSP	Binary Space Partitioning, bináris térfelosztás
BSSID	Basic Service Set IDentifier, alap szolgáltatás hozzáférés azonosító
CNN	Convolutional Neural Network, Konvolúciós Neurális Hálózat
DR	Dead reckoning, differenciális helymeghatározás
FSPL	Free-Space Path Loss, szabad terjedési csillapítás
GIS	Geographic Information System, térinformatikai rendszer
GNSS	Global Navigation Satellite Systems, globális navigációs műhold rendszer
GPS	Global Positioning System, globális helymeghatározó rendszer
HAR	Human Activity Recognition, emberi aktivitás felismerés
IMU	Inertial Measurement Unit, inerciális mérőrendszer
IoT	Internet of Things, dolgok internetje
IR	Infra Red, infravörös
LBS	Location-based services, hely alapú szolgáltatások
LED	Light Emitting Diode, Fénykibocsátó dióda
LOS	Line of Sight, közvetlen terjedés
MAC	Media Access Control, közeghozzáférés-vezérlő
MEMS	MicroElectroMechanical Systems, mikroelektromechanikai rendszerek
NFC	Near-Field Communication, rövid hatótávolságú kommunikáció
NLOS	Non Line of Sight, közvetett terjedés
PDR	Pedestrian Dead Reckoning, gyalogos differenciális helymeghatározás
POI	Points Of Interest, hasznos helyek,
QoS	Quality of Service, Kapcsolat minősége
QR code	Quick Response code, kétdimenziós vonalkód (pontkód)
RFID	Radio Frequency Identification, Rádiófrekvenciás azonosítás
RSS	Received Signal Strength, vételi jelerősség

RSSI	Received signal strength indication, vételi jelerősség indikátor
RTK	Real Time Kinematic, műholdas helymeghatározási korrekciós módszer
RTLS	Real-time location systems, valós idejű helymeghatározó rendszerek
SIR	Sequential Importance Resampling, egymás utáni, fontosság szerinti újra-mintavételezés
SSID	Service Set IDentifier, szolgáltatás hozzáférés azonosító
ToF	Time of Flight, jelterjedési idő
UWB	Ultra Wide Band, szélessávú rádió
VLC	Visible Light Communication, látható fény alapú kommunikáció
WGS 84	World Geodetic System, A GPS által is használt világ koordináta rendszer
Wi-Fi	Vezeték nélküli számítógépes kommunikációs szabvány

ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. ábra Beltéri helymeghatározási módszerek csoportosítása	12
2. ábra Tartomány negyedelő fa	18
3. ábra Ponttartomány negyedelő fa	19
4. ábra k-D fa felépítése	20
5. ábra Részecskeszűrő algoritmus	21
6. ábra Kálmán szűrő működése	24
7. ábra Konvolúciós neuronháló általános felépítése	25
8. ábra Mobiltelefon beltéri helymeghatározásban használható moduljai	27
9. ábra Okosóra beltéri helymeghatározásban használható moduljai	31
10. ábra A SensorDataCollector alkalmazás kezelői felülete	36
11. ábra Sikeres mérések aránya a térerősség függvényében	38
12. ábra Kvantált RSSI érték a távolság függvényében	39
13. ábra Kvantálás hatása a térerősség értékre különböző távolságokban	40
14. ábra Ember test csillapító hatása a térerősség értékére	42
15. ábra Készülékek közötti különbségek	43
16. ábra A helymeghatározási adatbázis rétegei	45
17. ábra Mérési irány kvadránsai	48
18. ábra Térerősség mérési útvonal	49
19. ábra Térerősség mérő alkalmazás	51
20. ábra Localization Infostructure Maintainer alkalmazás képernyőképe	52
21. ábra Normál aktivitás (balra), elkóborlás előtti aktivitás (jobbra)	55
22. ábra Kingwear KW88 Okosóra	58
23. ábra Idősgondozási rendszer felépítése	58
24. ábra Okosóra pozíciójának megjelenítése böngészőben	59
25. ábra Okosóra alkalmazás funkciói	60
26. ábra Okosóra alapú helymeghatározás adatfolyama	64
27. ábra Épület meghatározási algoritmus	64
28. ábra Emelet meghatározása	65
29. ábra Hozzáférési pontok szűrési algoritmus	66
30. ábra Részecskeszűrő algoritmus adatfolyama	67
31. ábra Geometriai kényszer működése	69

32. ábra Súlytényezők meghatározása.....	70
33. ábra Részecskeszűrő iterációs folyamata.....	71
34. ábra Pozíció súlyozott számítása	72
35. ábra Navigációs rendszer felépítése.....	75
36. ábra Megtervezett útvonal	76
37. ábra Helymeghatározási algoritmus felépítése.....	78
38. ábra Emelet meghatározásánk algoritmus a légnyomás szenzorral.....	79
39. ábra Pozíció predikció mozgás alapján	80
40. ábra Súlytényezők számítása az irányérzékenység figyelembevételével	82
41. ábra Helymeghatározási algoritmus aktivitás detektálással	84
42. ábra Geometriai kényszerek aktivitás felismerés esetén	85
43. ábra Tanítási adatok címkézése	88
44. ábra Aktivitás felismerésre alkalmas konvolúciós neurális hálózat felépítése	89
1. táblázat Wi-Fi felderítési mérések	37
2. táblázat Irányérzékenység mérése	41
3. táblázat Geometriai objektumok típusai	47
4. táblázat Különböző algoritmusok hibái	72
5. táblázat Mozcásforma felismerés pontossága.....	90

1. BEVEZETÉS

„I believe, sir, in all the progress. Air navigation is the result of the oceanic navigation: from water the human has to pass in the air. Everywhere where creation will be breathable to him, the human will penetrate into the creation. Our only limit is life.”
Viktor Hugo

A navigáció, pozicionálás, helymeghatározás igénye szinte egyidős az emberiséggel. Bármikor, amikor helyet változtatunk szeretnénk tudni, hogy hol vagyunk és merre kell továbbmennünk. Ehhez szárazföldön viszonylag jó segítséget nyújtanak az egyes tereptárgyak, domborzati viszonyok, ha azokat felismerjük, akkor bizonyos pontossággal már megállapíthatjuk a pozíciónkat. A helymeghatározás még egy lépéssel továbbmegy a pozicionáláshoz képest, nem csak egy számsort, vagyis a koordinátáinkat tudjuk meghatározni, hanem a helyzetünket szemantikailag is tudjuk értelmezni, meg tudjuk mondani, hogy az adott koordináta mely földrészen, mely városban, hegy tetején vagy éppen völgyben helyezkedik el. Ehhez természetesen szükségünk van megfelelő minőségű térképre is, amely segítségével az általunk meghatározott koordináta alapján további információkat nyerhetünk, illetve útvonalat is tervezhetünk a navigációnk számára.

A helymeghatározási rendszerekben bekövetkező első fontos kihívás az volt, amikor az emberiség kimerészkedett a nyílt tengerre, ezzel elveszítette az addigi szárazföldi tájékozódási pontokat, ezért más megoldást kellett keresni. Az iránytű már létezett időszámításunk előtt is és a csillagok alapján történő helymeghatározás sokáig alapja volt a nyílt tengeri hajózásnak. Ezzel azonban csak a szélességi koordináták voltak meghatározhatók. Az 1700-as évek elejéig kellett várni arra, hogy egy londoni órasmester megalkossa az első navigációs mértékkel is elfogadható pontosságú időmérő szerkezetet, ezzel lehetővé téve a földrajzi hosszúság meghatározását.

Ezt a módszert használták a hajózásban, illetve később a repülésben is egészen a nyolcvanas évekig, amikor is az amerikai hadsereg által korábban kiépített műholdas helymeghatározó rendszer (GPS) elérhetővé vált civil felhasználók számára is.

Azóta számos más ország épített ki hasonló elven működő és hasonló célú helymeghatározó rendszert (GNSS), illetve sok országban elérhetők a műholdas helymeghatározó rendszerek hibáit csökkentő, kiegészítő szolgáltatások, mint például az

RTK szolgáltatás. Ezzel gyakorlatilag kültéren mindenki számára elérhetővé vált a nagy pontosságú (<30 cm) helymeghatározási szolgáltatás.

A GNSS rendszerek így könnyen elérhető, jól használható és elfogadható pontosságú megoldást nyújtanak a gyalogos vagy járművel megvalósuló közlekedés számára. Ehhez azonban szükséges, a műholdak által kisugárzott rádióhullámok vétele. Ez kültéren általában nem okoz problémát, de épületekben, illetve más elektromágneses szempontból árnyékolt helyeken a vétel, és így a helymeghatározás ezen formája nem használható. Általánosan elterjedt, mindenki számára könnyen használható beltéri helymeghatározó rendszer jelenleg nem érhető el, annak ellenére, hogy a terület meglehetősen intenzíven kutatott, illetve több rendszer is publikálásra került. Helyfüggő szolgáltatásoknak (LBS), illetve valós idejű helymeghatározási rendszereknek (RTLS) beltérben is számos felhasználási területe lehet, segíthetnek a beltéri navigációban, ismeretlen épületekben, kórházakban, bevásárlóközpontokban történő közlekedésben, hirdetések, figyelemfelkeltő üzenetek helytől függő megjelenítésében vagy mozgások követésében, mozgási mintázatok elemzésében, gyermekek és idősek felügyeleti rendszereinek megvalósításában.

Különösen igaz az, hogy nincs általánosan elterjedt megoldás azokra a felhasználási esetekre, amelyek valamilyen speciális elvárást tartalmaznak. Az egyik ilyen terület az idős emberek önálló életvitelének támogatása, valamilyen viselhető (okos)eszköz (pl. okosóra) segítségével, a napi aktivitás mérése, mozgásminták gyűjtése és elemzése, elesésetektálás, egyszerűen idős emberek felügyelete és viselkedésük elemzése. Az így gyűjtött adatok segítségével riasztások adhatók ki, a családtagok, ápolók segítségével kérhető, illetve hosszabbtávú adatok elemzése alapján a diagnosztikai tevékenység is támogatható, akár a demencia korai stádiuma az elköborlás veszélye is előre jelezhető. Ezen a felhasználási területen fontos, hogy a helymeghatározáshoz ne legyen szükség speciális eszközökre és az üzemeltetés lehetőség szerint minimális telepítési, karbantartási ráfordítással megvalósítható legyen.

Egy másik ilyen – nem általános felhasználási terület – a vak vagy gyengénlátó felhasználók navigálása beltérben. Ebben az esetben az általános közösségi navigációs rendszerekkel kapcsolatos elvárások mellett (ne támaszkodjon külön kiépített lokalizációs infrastruktúrára és egy mobiltelefonon kívül semmilyen más eszközre ne legyen szüksége a felhasználónak) olyan követelmények kerülnek előtérbe, mint a mobil eszköz adatkapcsolatától független (offline) működés, biztonsági okokból, a teljesen hang

alapú felhasználói felület és a navigáció szimulációjának funkciója, mely lehetőséget ad a vak felhasználók számára az útvonal megjegyzésére, fejbéli térkép „mind-map” kialakítására.

Ebben az alkalmazásban különösen fontos a megfelelő minőségű, adattartamú, pontosságú és aktualitású digitális térkép megléte, mely a szokásos alaprajzon kívül, számos más, a vakok számára fontos információt tartalmaz (pl. ajtók jellege, nyitási iránya, lépcsőfokok száma, korlátok elhelyezkedése). A jelenleg elérhető beltéri lokalizációs rendszerek nem tartalmazznak ilyen mélységű digitális térképet, ezért szükséges kidolgozni egy olyan rendszer alapjait, amely képes akár a közösség erejét és segítségét igénybe véve létrehozni és folyamatosan karbantartani a szükséges térképeket.

1.1. MOTIVÁCIÓ, A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Kutatómunkám során lehetőségem volt több olyan, elsősorban egészségügyi jellegű K+F feladatban részt venni, amelyekben hasznosnak találtuk a beltéri helymeghatározás funkciójának megvalósítását. Ezek a feladatok általában valamilyen speciális felhasználási módját igényelték a beltéri helymeghatározásnak, ami azt jelentette, hogy bár a terület erősen kutatott és van ugyan néhány ígéretes módszer, de ezek a feladat sajátosságai miatt nem voltak használhatók. Így lehetőségem nyílt, hogy egyrészt ismert, másrészt általam kifejlesztett algoritmusokat különböző alkalmazásokban implementáljak, ezek optimális kombinációját és paraméterezését vizsgáljam szimulált és valós környezetben is.

Motiválólag hatott, hogy mindezt olyan környezet és eszközök felhasználásával kellett megvalósítani, melyek eredetileg egyáltalán nem beltéri helymeghatározás céljából jöttek létre, így ez, mint kiegészítő funkció került megvalósításra, vagyis sokkal nagyobb erőfeszítést kellett tenni a helymeghatározással kapcsolatos mérési adatok szűrése, feldolgozása terén, mint egy másik ilyen célból kifejlesztett rendszer esetén.

Nem utolsósorban pedig nagyon vonzó volt a lehetőség, hogy egy kutatás eredményei gyorsan átkerüljenek a valós életbe és akár az idősgondozásban, akár a vakok és gyengénlátók számára nyújthassanak használható megoldást.

A kutatás alapvető célja tehát a beltéri lokalizációs módszerek kiterjesztése, eddig le nem fedett, speciális felhasználási területekre az ehhez szükséges algoritmusok kifejlesztésével, illetve már létező algoritmusok adaptálásával. Két speciális felhasználási terület került kijelölésre, az egyik egy idősgondozásban használható felügyeleti célú

rendszer megvalósítása, a másik cél pedig egy vakok és látássérült emberek által használható beltéri navigációs rendszer.

Mindkét rendszer esetén a feladat egy beltéri helymeghatározó rendszer kifejlesztése, de a felhasználási környezet, az alkalmazott eszközök műszaki jellemzői miatt nem használható teljes egészében ugyanaz a megoldás mind a két esetben.

A kutatási munka fő feladatai, lépései:

1. A beltéri lokalizáció módszereinek, lehetőségeinek kutatása, összegyűjtése és rendszerezése, az alkalmazási lehetőségek bemutatása.
2. Speciális felhasználási területek, idősok, fogyatékkal élók egyedi elvárásainak összegyűjtése, rendszerezése.
3. A kiválasztott felhasználási területeken megoldást adó algoritmusok kidolgozása, implementálása.
4. Az algoritmusok kialakításához és ellenőrzéséhez szükséges mérések megtervezése és végrehajtása,
5. Az elkészült algoritmusok értékelése elméleti és mérési adatok alapján.

1.2. A DOLGOZAT FELÉPÍTÉSE

A dolgozat első fejezetében ismertetem a kitűzött célokat, áttekintem a célokhoz közvetlenül kötődő irodalmat.

A második fejezetben a beltéri lokalizáció általános megoldásait, felhasznált algoritmusait, módszereit tekintem át, szintén az irodalmi adatok alapján, illetve leszűkítem a használható megoldásokat a már korábban kitűzött céloknak megfelelően.

A harmadik fejezetben – a célokkal összhangban – az általam választott Wi-Fi térerősség alapú helymeghatározással kapcsolatos vizsgálataimat, mérésimet, illetve az ezekből levont következtetéseket ismertetem. A következtetések alapján bemutatok egy általam kidolgozott beltéri helymeghatározás támogatására alkalmas adatstruktúrát és módszert az adatbázis létrehozására, illetve bemutatom az ezt támogató, általam készített alkalmazásokat is.

A negyedik fejezet az egyik kitűzött cél, egy okosóra alapú idősgondozási rendszer általam kidolgozott beltéri helymeghatározási algoritmusát és az ezt megvalósító alkalmazásokat mutatja be. Itt rámutatok arra, hogy milyen módszerek, algoritmusok egyedi kombinációja teszi lehetővé, hogy nagyon korlátos hardver erőforrások esetén is elérhető legyen az elvárt pontosságú beltéri helymeghatározás.

Az ötödik fejezet a másik cél megvalósításával foglalkozik, egy vakok és gyengénlátók számára kifejlesztett beltéri helymeghatározó és navigációs rendszert mutat be, az általam fejlesztett helymeghatározási algoritmusokkal és alkalmazásokkal. Ebben a fejezetben megvizsgálom, hogy az előzőekben felhasznált algoritmus pontosságát hogyan lehet javítani mesterséges intelligencia alapú mozgáselemzéssel, bemutatom az ehhez szükséges adatok gyűjtését, előfeldolgozását, illetve a kidolgozott mesterséges neurális hálózat felépítését, tanítását és működésének ellenőrzését.

Végül a dolgozat az elvégzett munka és az elért eredmények összefoglalásával zárul.

1.3. A KUTATÁSI TERÜLET IRODALMI ÁTTEKINTÉSE

A kitűzött céloknak megfelelően két nagyobb területen tekintetem át a vonatkozó irodalmat. Egyrészt az idősgondozásban használható eszközöket, illetve ezen eszközök beltéri helymeghatározással kapcsolatos működését vizsgáltam meg, majd a vakok és gyengénlátók részére készült alkalmazásokat és az azokban használt beltéri helymeghatározási módszereket tekintetem át.

1.3.1. Beltéri helymeghatározás az idősgondozásban

Az utóbbi években intenzíven kutatott terület az okoseszközök alkalmazása az idősgondozás területén. Az „okos” mobileszközök, az IoT, az alacsony energiaigényű kommunikációs technológiák és a MEMS szenzorok jelenlegi vívmányai lehetővé teszik az ember mentális és egészségi állapotának nyomon követésére alkalmas kisméretű, intelligens és hordható eszközök előállítását. A WHO adatai szerint [1] jelenleg 55 millió ember él a demencia valamelyik súlyosságú változatával és évente 10 millió új eset várható. A demencia súlyosságának bizonyos fokáig ezek az emberek képesek az önálló életvitelre, azonban fontos valamilyen felügyelet biztosítása számukra. Ha ez IT eszközökkel megvalósítható, akkor az ápolási emberi erőforrások más, súlyosabb esetekre fordíthatók. A demencia egyik következménye az időskori elkóborlás vagyis amikor a beteg kimegy a lakásából és céltalanul bolyong az utcán. Mivel ebben az állapotában képtelen hazatalálni, eltéved és amennyiben nem kap segítséget, fennáll a sérülés veszélye.

Az elkóborlás általában nem hirtelen következik be, vannak előzmény tünetei. A beteg aktivitásából, mozgásából és a lakás egyes helyein történő tartózkodás idejéből előre jelezhető az elkóborlás veszélye. Az aktivitás, mozgás és a beteg helyének meghatározásához beltéri helymeghatározási módszerre van szükség.

Azonban csak olyan módszer használható, amely nem kíván jelentős átalakítást az idős ember környezetében és részéről sem kívánja bonyolult eszközök használatát. Tehát célszerű a saját infrastruktúrát nem igénylő beltéri helymeghatározási módszerek használata és az idős emberek számára pedig valamilyen viselhető eszköz biztosítása. Számukra az óra viselése egy megszokott tevékenység és a manapság elterjedően lévő okosórák ideális platformot nyújtanak egy ilyen megoldás kifejlesztésre.

Az idősek ellátásában a viselhető eszközöket részesítik előnyben [2], mivel ezek a legkényelmesebben használható eszközök és elfogadhatóan pontos mérési eredményeket adnak. Mindezt úgy, hogy közben nem veszélyeztetik a személyiségi jogokat, ami például egy kamera alapú rendszerrel problémás lenne. A használható technológiákat is áttekinti a [2] irodalom, illetve javaslatokat tesz egy ilyen rendszer felépítésére és működésére. Azonban a javasolt rendszer több viselhető szenzor használatát igényli, melyek helyes felvétele, csatlakoztatása problémás lehet külső segítség nélkül, illetve túlságosan erős specifikációból indul ki (0,5 m-es pontosság a beltéri helymeghatározásban), amely nagyon speciális megoldásokat és akár speciális hardvert igényel, illetve a javasolt megoldásokkal sem biztos, hogy az elvárások teljes egészében teljesíthetők.

A szerzők [3]-ban az okosórák idősgondozásban való használatának követelményeire és lehetséges nehézségeire hívják fel a figyelmet. Az egyik fő kritikájuk az okosórák túlságosan nagy mérete és nem túl divatos dizájnya. A másik fontos észrevételük az okosórák ára. Ahhoz, hogy széles felhasználói kör számára elérhető legyen az okosóra alapú idősgondozási rendszer, mindenképpen egy olcsó, megfizethető árú óra kell, hogy a rendszer alapjait képezze. Az okosórák ára folyamatosan csökken, miközben tudásuk egyre nagyobb lesz, de ez csak a nagy sorozatban gyártott órákra igaz, minden egyedi megoldású hardvereszköz ára magas és csak jelentős darabszám esetén esik elfogadható mértékűre. Vagyis érdemes kereskedelmi forgalomban kapható, nagy sorozatban gyártott órát használni az alacsony ár miatt, és az okosóra funkcionalitását „csak” szoftveresen bővíteni. Az okosórák kevésbé divatos kialakítása lényegében a felhasználói elfogadottságot befolyásolja, de remélhetőleg az okoseszközök miniaturizálásával és fejlődésével ez a hátrány is megszűnik. Ezenkívül fontos követelmény még az is, hogy az idősgondozási rendszerek felhasználói nem csak maguk a gondozottak, hanem a gondozóik is, akár formálisak (ápolók, idősgondozók), akár informálisak (családtagok). Számukra is szükséges, hogy a rendszer hasznos szolgáltatást tudjon nyújtani.

Időskorban nagyon veszélyes az elesés, hiszen könnyen okozhat olyan helyzetet, amelyben a földön fekvő, esetleg sérült, idős ember nem tud segítséget kérni. Ezekben az esetben is segítséget nyújthat egy IT alapú felügyeleti rendszer. A [4] irodalom ismerteti egy ilyen célú megoldást, okosórával és lakás különböző pontjain elhelyezett mikrofonokkal is képes az elesés tényét érzékelni, és a megfelelő kommunikációs csatornákon továbbítani, segítséget kérni. Érdekes kiegészítés még a mikrofonok felhasználása az elesés érzékelés mellett, szóbeli parancsok vételére is. Bár a mikrofonok felhasználhatók lennének a nagyobb alapterületű épületekben (pl. idősotthon) beltéri helymeghatározásra, ezt a funkciót mégsem valósították meg, pedig fontos információ lehet az elesés helye is a gyorsabb segítségnyújtás érdekében. Hátránya még, hogy egy épület javasolt mértékű „bemikrofonozása” személyiségi jogi aggályokat is felvethet.

Idősgondozásban használható, okosóra alapú megoldást ismerteti az [5] irodalom, amelynek fő fókuszja az elkóborlás és az elesés érzékelése. Az ismertetett módszer legnagyobb hátránya, hogy az elkóborlás detektálás csak kültéren használható, mivel nincs beltéri helymeghatározási algoritmus az órában implementálva, így beltérben az elesés pontos helye sem adható meg.

Beltéri helymeghatározás, illetve mozgási minták felismerésén alapuló elkóborlás előrejelzésére alkalmas módszert mutat be a [6] irodalom. A lokalizáció UWB rádiós kommunikáción alapul, ami azt jelenti, hogy jelentős kiépített infrastruktúrára van szükség, viszont a folyamatosan mért, pontos koordináták alapján jól meghatározható az idős, demenciában szenvedő felhasználó mozgásmintája és a minta egyes jellegzetességeinek felismerése alapján előre jelezhető az elkóborlás.

Wi-Fi mintaillesztésen alapuló módszert javasolnak a szerzők [7]-ben a demenciában, Alzheimer kórban szenvedő idősek beltéri helymeghatározási feladatának megoldására. A lokalizációt lényegében egy sokdimenziós osztályozási feladatra vezetik vissza, melyet egy Fuzzy szabálybázisú osztályozó algoritmus segítségével oldanak meg. Hátránya a javasolt megoldásnak, hogy csak az osztályozó algoritmusra koncentrál, semmilyen szűrési, adat előfeldolgozási algoritmust nem használ, így a mindenkori Wi-Fi vétellel kapcsolatos zajok, vételi hibák nehezen szűrhetők ki, vagyis a lokalizációs értékek szórása ennek megfelelően nagy is lehet.

Okosóra alapú beltéri navigációs rendszert ismertetnek a szerzők [8]-ban. A rendszer alapja egy PDR helymeghatározás, amelynek pontosságát Bluetooth beacon-ok segítségével javítják. Ahhoz, hogy a rendszer jól működjön, mindenhol legalább

három beacon-nek kell látszani, ami különösen falakkal sűrűn határolt beltérben gyakorlatilag helységenként 3-4 beacon elhelyezését igényli. A bemutatott rendszer elsődleges célja útvonal tervezés és navigálás egy megadott helyre, beltérben.

Kifejezetten demencia korai stádiumában szenvedők számára javasol egy okosóra alapú megoldást a [9] irodalom. A beltéri helymeghatározás RFID alapú, de elsődleges célja az RFID tag-el megjelölt egyes objektumok közelségének felismerése és azok azonosítása.

Okosórát is használó beltéri helymeghatározást mutatnak be a szerzők [10]-ben, de ebben az elrendezésben az okosóra csak kiegészítő Wi-Fi vevő, a mobiltelefon mellett. Arra szolgál, hogy a két Wi-Fi vevő jelének egyesítésével az RSSI mérés hibáit csökkentsék, így 1.4 m körüli pontosság is elérhetővé vált, de csak a két eszköz együttes alkalmazásával.

Többféle – elsősorban sportolást – támogató okosóra érhető el, amelyek nagyon jól használhatók az idősgondozásban [11]. Elsősorban a vitális paraméterek folyamatos monitorozására alkalmasak, illetve ezek megváltozása esetén különböző figyelmeztetések adására. A bemutatott megoldás érdekessége, hogy a vitális és egyéb mért paraméterek függvényében nem csak elesés detektálást tud megvalósítani, hanem egy alvásminőséget, járásparamétereket és több vitális paramétert figyelembe véve egy pontosított értékelés alapján az elesés kockázatát is előre jelzi. Helymeghatározást csak kültéren használnak, beltéri helymeghatározással a megoldás nem rendelkezik.

1.3.2. Beltéri helymeghatározási rendszerek vakok és gyengénlátók részére

A világon sok ember él komoly látásproblémákkal, [12] alapján 2020-ban több mint 40 millió ember vak és 295 millió ember közepes vagy erős látásproblémákkal éli mindennapi életét. Ezért természetes, hogy több IT alapú megoldás is született az önálló életvitelük támogatására, elsősorban a mozgásuk, beltéri navigációjuk megkönnyítése érdekében.

Kamera alapú, közelségérzékeléssel működő megoldást mutat be [13], amely sűrűn elhelyezett ArUco marker jellegű kódjelöléseket használ a falakon és ezek kamerákkal történő leolvasásával határozza meg a felhasználó helyzetét. A markerek közötti útszakaszokon pedig PDR segítségével határozza meg a felhasználó helyzetét. Azért, hogy ez a differenciális helymeghatározás minél pontosabb legyen nem a mobiltelefon gyorsulásérzékelőjének jeleiből számítja a lépések számát és hosszát. Azért, hogy a vakok és gyengénlátók bizonytalan mozgását, lépéseit és az egyes lépésekhez tartozó

elmozdulásokat pontosabban határozza meg, vizuális odometriát használ, vagyis a kép egyes jellemző tulajdonságainak elmozdulásából számítja a felhasználó relatív elmozdulását. A bemutatott rendszer 1 m körüli pontosságot ad, ami nagyon jó értéknek mondható. Hátránya viszont, hogy szükséges a markerek viszonylag sűrű kihelyezése és az, hogy a megfelelő működés csak akkor biztosítható, ha a mobil eszköz kamerájának orientációja állandó és mind a kód felismerés, mind az odometria a megfelelő orientációjú látható képet kapja.

Az egyik legpontosabb beltéri helymeghatározási módszert tehát a kamera, vagyis a gépi látás alapú megoldások adják. Vizuális jelzések („visual landmark”) alapú navigációs rendszert mutat be [14], ahol egy épületben található, helyfüggő, látható objektumok (jelzések, táblák, speciális objektumok) alapján történik a helymeghatározás, úgy, hogy egy kamera folyamatosan pásztázza a felhasználó előtt található térrészt és amennyiben ismerős objektumot lát, mint például egy számozott ajtó, úgy azt megkeresi a rendszer részét képező GIS adatbázisban. Mivel a helymeghatározáshoz szükséges adatok csak a kamerából származnak, nincs mozgáselemzéssel vagy más lokalizációs módszerrel ötvözve, ezért ahhoz, hogy megfelelő biztonsággal tudjon működni a helymeghatározás, nagyon sok felismert objektumra vagy tulajdonságra van szükség, amelyeket a térképi adatbázisban is meg kell jelölni. Így az előkészítő, térképi adatbázis építő és karbantartó munka is jelentős lehet.

Bár a gépi látás alapú helymeghatározási megoldások a legpontosabbak és legmegbízhatóbbak közé tartoznak, nagy hátrányuk, hogy amennyiben mobiltelefonon kerülnek megvalósításra, a telefonnak állandóan szabad kilátást biztosító helyen kell lennie. Ez biztonságosan csak egy hámmal oldható meg, ami viszont a telefon használatát teszi meglehetősen kényelmetlenné. Kézben tartott telefonnal a vakok és gyengénlátók elmondása alapján nem szívesen közlekednek, illetve nem is várható el, hogy tisztában legyenek vele merre irányul a telefon kamerája. Ezért minden előnye ellenére a gépi látás, kamera alapú beltéri helymeghatározás nehezen alkalmazható ezen a felhasználási területen.

A hallható hang felső frekvencia tartományában sugárzó jeladó is használható beltéri helymeghatározásra [15]. A javasolt rendszer egy mobiltelefont használ jeladóként, melyet a vak vagy gyengénlátó felhasználó a kezében tartva, nagyfrekvenciájú hangimpulzusokat ad ki. Mivel a használt frekvencia a hallható tartomány tetején

helyezkedik el (18-21kHz), így a legtöbb ember számára nem hallható, vagyis általában nem zavaró. Része még a helymeghatározási rendszernek a megfelelő sűrűséggel elhelyezett hang vevő és a felsorolt eszközök közötti adatátvitelt biztosító kommunikációs (Wi-Fi) hálózat. A pozíció a hangimpulzusok beérkezése között eltelt időből számítható, a vevők pontos időszinkronban vannak, így a beérkezési időt csak a hang terjedési ideje befolyásolja. A rendszer hibája 10 cm alatt van, ami meglehetősen pontos helymeghatározást tesz lehetővé. Hátránya azonban a módszernek, hogy több adó eszköz zavarhatja egymást, a hangos környezet is zavarokat okozhat, nem minden telefon hangszórója alkalmas az általános telefonok specifikációját meghaladó frekvenciák kibocsátására. Vagyis pontossága ellenére nehezen telepíthető és használható az ismertetett megoldás.

Nem kifejezetten vakok és gyengénlátók részére készült, de arra is használható rendszert ismertet [16]. A javasolt rendszer alapja egy mobiltelefon és egy olyan router, amely képes a beérkező rádiójelek irányának mérésére (Cisco Aironet™ 4800). Így kettő vagy több router használata esetén az AoA alapján irányszögeléssel kiszámítható a mobiltelefon helyzete. Elsősorban kórházi felhasználásra tervezték, egy idegen, összetett épületen belüli navigációra. A cikk inkább csak a helymeghatározásról szól, a javasolt módszer hátránya, hogy egyrészt speciális eszközök telepítését igényli, a mérést a router-ek végzik, így a mért értékeket vagy a kiszámolt pozíciót el kell juttatni a mobil eszközre amihez aktív adatkapcsolatra van szükség, illetve a felhasználónak meg kell állnia amíg a helymeghatározás tart.

Készíthető elektronikus fehér bot is a vakok és gyengénlátók számára [17]. A botban elhelyezett RFID vevő képes kommunikálni a padlóban elhelyezett RFID tag-ekkel és ismerve az egyes azonosítójú tag-ek térképi elhelyezkedését egy GIS adatbázis felhasználásával, közelségérzékelés módszerével elvégezhető a beltéri helymeghatározás. A felhasználó számára a fehér bot rezgésével vagy egy mobiltelefonos alkalmazáson keresztül, beszéd útján lehet információkat átadni. A módszer nagyon pontos helymeghatározást tesz lehetővé, hátránya viszont, hogy komoly előkészítő munkát igényel, hiszen el kell helyezni a padlóban az RFID jeladókat és speciális eszközre van szükség a működéséhez.

Az RFID közelségérzékelési módszer használható NFC eszközökkel is [18], de tekintve, hogy az NFC kifejezetten rövid (<10 cm) távolságú kommunikációra alkalmas, ez még inkább megnehezíti a tag-ek leolvasását.

A közelségérzékelésen alapuló helymeghatározás másik, gyakran használt módja az, amikor a világítótestek fényét valamilyen módon modulálva és azt a vevőben demodulálva, megállapítható, hogy melyik fényforrás fénye érkezett be a vevőbe (VLC). Ha az egyes fényforrások helye ismert, megállapítható a vevő pozíciója is. A vevő lehet a mobiltelefonhoz Bluetooth kapcsolaton keresztül illesztett hardver kiegészítő [19], teljesen erre a célra fejlesztett hardver eszköz [20] vagy pedig a mobiltelefon kameráját használó megoldás [21]. A telefon kamerája csak a moduláló frekvencia mérésére használható, aminek a legnagyobb hátránya, hogy 30-40 féle frekvencia, vagyis ennyi jeladó között tehető különbség. Nagyobb területen, ahol ettől több jeladóra van szükség csak más helymeghatározási módszerrel együtt működtethető. Saját vevő esetén lehetőség van kódmodulációra is, a világítás fényereje nem csak egy adott frekvenciával, hanem egy kódsorozattal is modulálható, így sokkal több adó különböztethető meg. Ehhez viszont egyedi gyártású vevőre van szükség. Hátránya még a VLC alapú megoldásoknak, hogy a vevőnek folyamatos „rálátással” kell bírnia a fényforrásokra, azt semmi sem takarhatja ki.

Vakok és gyengénlátók számára használható Wi-Fi hálózat alapú navigációs rendszert mutat be a [22] irodalom. Elsősorban azt elemzi, hogy a kapcsolat minőségének (Quality of Service, QoS) meghatározása alapján hogyan lehet megadni a Wi-Fi alapú navigációs rendszer használhatóságát. Arra a következtetésre jut, hogy a Wi-Fi kommunikációs rendszerben az egyes AP-k közötti váltás (amikor a navigációra használt, mozgó Wi-Fi eszköz olyan AP-ra kapcsolódik át amelyiknek nagyobb a térereje vagyis közelebb van) olyan hosszú ideig tart és ez alatt QoS értéke olyan jelentős mértékben csökken, ami lehetetlenné teszi a Wi-Fi technológia felhasználását a vakoknak és gyengénlátóknak készítendő navigációs rendszerben. A gondolatmenet bár alapvetően helyes, de abból a hibás feltételezésből indul ki, hogy egy ilyen navigációs rendszerhez szükséges a folyamatos, online kapcsolat. Amennyiben azonban egy olyan rendszert készítünk, amely offline módon, folyamatos kapcsolat nélkül, csak a Wi-Fi AP-at szkennelve is képes működni, úgy az említett QoS-t érintő minőségromlásnak nincs hatása a navigációra, vagyis nem jelenthetjük ki általánosságban, hogy a Wi-Fi nem alkalmas navigációs célra.

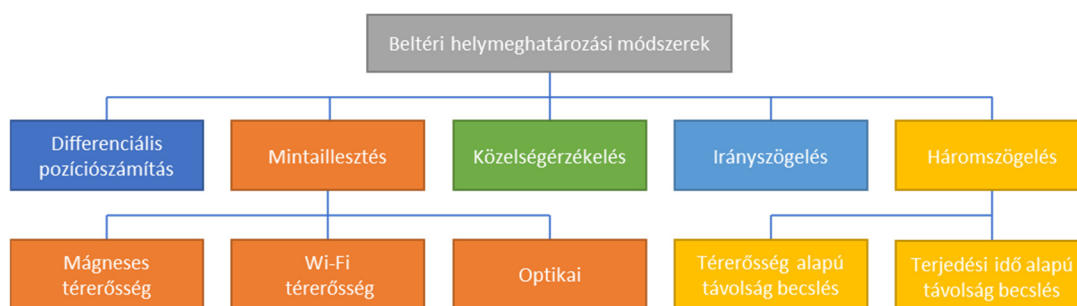
2. BELTÉRI HELYMEGHATÁROZÁS

"We are stuck with technology when what we really want is just stuff that works."
Douglas Adams

Beltéri helymeghatározásra nincs még olyan általánosan elérhető és széles körben elterjedt megoldás, mint kültéren a GPS. A standardizált megoldás hiánya miatt nagyon sokféle módszer van a fejlesztés különböző stádiumában, sokszor nagyon különböző eszközökre, módszerekre építve. Ezért célszerű az irodalomban fellelhető fő kutatási irányokat és jellemző technikai megoldásokat áttekinteni, illetve csoportosítani a könnyebb átláthatóság érdekében.

2.1. BELTÉRI HELYMEGHATÁROZÁS MÓDSZEREI

A beltéri helymeghatározások többféle szempont alapján is csoportosíthatók. Az egyik legfontosabb csoportosítási szempont a helymeghatározási módszer, algoritmus alapján történő csoportosítás. Az 1. ábra ezt a csoportosítást mutatja [23] alapján átdolgozva, illetve a gyakorlathoz jobban illeszkedően átstrukturálva.



1. ábra Beltéri helymeghatározási módszerek csoportosítása

Ezen csoportosítás alapján öt alapvető módszert tudunk megkülönböztetni a helymeghatározás szempontjából:

2.1.1. Differenciális pozíciósámítás

A differenciális pozícionálás (dead reckoning, röviden DR) egy klasszikus helymeghatározási módszer, melynek alapja az, hogy ha egy ismert pozícióból kiindulva, mindig ismerjük a megtett távolságot (vagy a sebességet és az időt) és a mozgás irányát, akkor az ebből származtatott elmozdulásvektorokat folyamatosan hozzáadva a kiindulási pozícióhoz a mindenkorli helyzet meghatározható. Természetesen fontos megjegyezni a módszer pontosságával kapcsolatban, hogy minden hiba, amit az elmozdulásvektorok

meghatározásakor ejtünk, az folyamatosan összegződve beépül az így meghatározott pozícióba. Vagyis idő múlásával a pozicionálás pontossága folyamatosan romlik. Ezt kompenzálандó általában erős szűrési, hibacsökkentő algoritmusokkal együtt használható vagy más helymeghatározási módszerekkel időnként a számított pozíciót korrigálni szükséges. Beltéri helymeghatározás esetén a módszer általában a gyaloglás mozgásának elemzésén alapul (Pedestrian Dead Reckoning, PDR) vagyis a megtett lépések számlálásán, a lépések hosszának becslésén és a mozgás irányának meghatározásán alapul. A lépéseket leíró gyorsulástartók legegyszerűbben a lábfejről nyerhetők ki, ez alapján már készíthető egy PDR alapú beltéri helymeghatározó rendszer [24]. Komolyabb adatfeldolgozási és szűrési algoritmusok felhasználásával érzékelni lehet egy kézben tartott mobiltelefon szenzoraival is a lépéseket, így egy mobiltelefon alapú helymeghatározó rendszer is létrehozható [25]. Természetesen a kezdeti pozíciót valamilyen más módszerrel így is meg kell határozni, illetve a pontosságot célszerű valamelyik másik helymeghatározási módszerrel rendszeresen korrigálni. Érdekes felhasználási lehetőség, ha nem abszolút értelemben szeretnénk helyet meghatározni, hanem egy kezdeti kiindulási pontba szeretnénk visszatalálni. Ebben az esetben nincs szükség a kezdeti hely pontos megállapítására, csak a PDR által mért útvonal visszafele történő végigjárására. Ez nem nagy távolságok esetén, erős jelfeldolgozással és Kálmán-szűrővel [26] alapján megvalósítható. Ennek ellenére általánosságban megállapítható, hogy a PDR önmagában nem használható teljes értékű beltéri helymeghatározásként, de más helymeghatározási módszerekkel együtt viszont hatékony lehet, hiszen rövid a válaszideje, mivel egy lépés megtétele (vagyis elmozdulás) után azonnal (valós idejű adatfeldolgozást feltételezve) frissíthető a koordináta információ.

2.1.2. Irányszögelés

Az irányszögelés alapja, hogy ha van két ismert pozíciójú jeladó és a vevő képes a vett jel beérkezési szögét (Angle of Arrival, AoA) is érzékelni, akkor ebből kiszámítható a vevő helye a síkban. A valóságban általában kettőnél több jel beesési szögének felhasználására van szükség a visszaverődések és egyéb jeltorzulások hatásainak kiküszöbölésére. Természetesen az adók és a vevők helye felcserélhető. Előnye a módszernek, hogy a jelek esetleges csillapításai (amíg a jel az érzékelhetőségi tartományon belül marad) nem rontják a módszer pontosságát. Hátránya viszont, hogy a beesési szög érzékelése általában különleges hardvert igényel. Ez jelentheti egymásra

merőlegesen elhelyezett, azonos karakterisztikájú antennák használatát, ahol az egyes antennákból származó jelerősségek arányában kiszámítható a beesési szög, de akár sugárformálásra (beamforming) képes antennák használatát is. Ez utóbbira mutat példát Wi-Fi rádiós kommunikáció használata esetén a [27], ahol egy négy antennából álló „okos” antennarendszer segíti a vevőt a beérkező jel irányának meghatározásában, melynek segítségével méter alatti pontosság is elérhető.

Nemcsak rádiójelekre, hanem hang- vagy fényjelek esetén is mérhető a beérkezési szög. Ez utóbbira mutat példát a [28], ahol egy bevásárlókocsira szerelt IR jeladó és a bevásárlási terület plafonján elhelyezett irányérzékeny IR vevő együttesen 1 m körüli pontosság elérését teszi lehetővé.

Hátránya azonban ennek a módszernek, hogy mindenképpen szükséges egy olyan hardver, amely a jel beérkezési szögét mérni tudja és a kereskedelembe könnyen elérhető. Általános célú mobil eszközök nem tartalmazzak ilyen hardvert.

2.1.3. Háromszögelés

A háromszögelés egy nagyon gyakran használt helymeghatározási módszer, lényege, hogy ha három ismert koordinátájú ponttól ismerjük a kérdéses hely távolságát, akkor annak a helynek a síkbeli koordinátái egy egyenletrendszer segítségével meghatározhatók. Természetesen a gyakorlatban több mint három távolság felhasználása célszerű, mert ezzel a távolságmérések hibáiból adódó pontatlanság csökkenthető.

A három ismert ponton egy adót elhelyezve és a kérdéses koordinátában pedig egy vevőt elhelyezve a jel vételi jellemzőiből kell meghatározni a távolságot. Erre több lehetőség is van.

Ha lehetséges a beérkező jel erősségét (Received Signal Strength, RSS) mérni és az adó ismert erősséggel ad, akkor a jel csillapodásából meghatározható az adó és a vevő közötti távolság. Wi-Fi esetén a [29] ismerteti ilyen megoldást, de a pontossága nagyon korlátozott, átlagosan 10-15 m, így gyakorlati felhasználása kérdéses.

Ha lehetséges a jel terjedési idejét (Time of Flight, TOF) mérni akkor a terjedési idő alapján kiszámítható az adó és a vevő távolsága. A legtöbb akusztikus helymeghatározó rendszer így működik, hiszen a hang terjedési sebessége levegőben jól ismert (a hőmérsékletfüggése is) így a terjedési időből kiszámítható a távolság. Egy ilyen ultrahang alapú rendszert ismerteti a [30] ahol egy ultrahang jeladó és négy vevő felhasználásával 0,5 m alatti pontosságot sikerült elérni. Nem csak hang, de rádiójelek esetén is működhet

a terjedési időmérés, így működik az iparban egyre jobban elterjedő UWB (Ultra Wide Band, szélessávú) rádiós helymeghatározás [31]. Nagy előnye az UWB alapú pozicionálásnak, hogy nagyon nagy pontosságot biztosít, általában deciméteres nagyságrendben. Viszont kiépítése bonyolult, UWB adó és vevő egységekre van szükség, az adók jelét nagymértékben csillapítják a tereptárgyak, falak így meglehetősen sűrűn kell elhelyezni az eszközöket.

2.1.4. Mintaillesztés

A megfelelő szenzorok segítségével mérnünk vagy érzékelnünk kell bizonyos helyfüggő mintázatokat. Optikai szenzor esetén a minták lehetnek látható jelek, táblák, feliratok az épület egyes jellegzetességei, de lehetnek más módon érzékelhető mennyiségek, például valamilyen rádiójelet kibocsájtó készülékek jelének erőssége (pl. Wi-Fi, Bluetooth). Az ilyen rendszerek általában két fontos működési módból állnak. Első (vagy offline) lépésként egy térképet kell készíteni, ami a mintázatokat tartalmazza a hely függvényében. A minták begyűjtéséhez be kell járni azt a területet, amelyen szükséges a helymeghatározás működése és bejárás közben folyamatosan vagy diszkrét helyenként meg kell mérni a helytől függő tulajdonság értékeit. Lokalizációkor (online módban) az éppen érzékelt mintázathoz hasonló mintázatot kell keresni a már elkészült mintatérképi adatbázisban. A hasonló minták megtalálása után, azok helye alapján meghatározható a jelenlegi pozíció.

Egyszerűen telepíthető optikai megoldás a QR kód alapú markerek használata az épületen belül. A megfelelően elhelyezett QR kódokat egy kamera képen képes a rendszer felismerni és egyedileg azonosítani. Ez a közelség alapú helymeghatározási módszer keverhető azzal, hogy a kétdimenziós kameraképen a marker torzulásából irányt és távolságot határozzunk meg amit például [32] ismertet. Vagy felhasználható arra is, hogy egy PDR módszer pontosságát javítani lehessen, amint azt a [33] bemutatja. Az ilyen rendszerek általában 1 m alatti pontosságot garantálnak, azonban használatukhoz szükséges a QR kódok telepítése, amely belsőépítészeti okokból nem mindig egyszerűen kivitelezhető, illetve a megfelelő minőségű kamerakép elkészítéséhez szükséges az elegendő erősségű és állandó megvilágítás megléte is, illetve a kamera megfelelő orientációjának biztosítása. Ezért leggyakrabban robotok beltéri helymeghatározásához használják, ahol olyan markerek is használhatók, amelyek például csak infravörös fényben látszanak igazán jól, illetve el lehet a markereket a plafonon is helyezni.

Nem csak kifejezetten lokalizációs célú jelölések használhatók. Szinte minden épület rendelkezik egyedi mintázatokkal, például táblákkal, ajtószámozásokkal, ezek is felhasználhatók jelölésként, helyük ismeretében és a tőlük mért relatív távolság ismeretében a kamera helye megállapítható [s5]. Ez a megoldás is 1m alatti pontosságot tesz lehetővé, azonban a kamerának látnia kell a jelöléseket, amelyeket a biztonságos működés érdekében megfelelő erősségű, állandó megvilágítással kell ellátni.

A látható jelöléseken túl más módszerek is alkalmasak a helymeghatározásra, például a ma már szinte minden épületben jelen levő Wi-Fi jelerősség is helyfüggő mintázatot alkot. A jelerősség gyakorlatilag minden okoseszközzel mérhető, így tulajdonképpen egy okostelefon segítségével minden egyéb kiegészítő infrastruktúra nélkül készíthető beltéri helymeghatározási rendszer.

Hasonlóan egyedi mintázatot alkot épületen belül a mágneses térerősség értéke. Az építkezésben használt ferromágneses anyagok, megváltoztatják, egyedivé teszik az épületen belül a Föld mágneses terének az eloszlását. Erre az épületenkénti egyedi mágneses tér eloszlásra is építhető helymeghatározó rendszer [34], amely a készítőik szerint 1-2 m körüli pontosságot tud elérni.

2.1.5. Közelségérzékelés

A közelségérzékelés alapú helymeghatározási rendszerben, jelölések, jelzések vagy jeladók kerülnek elhelyezésre a helymeghatározási területen. Ezek egyedileg azonosíthatók, helyük ismert és közelségük érzékelhető látható kép, hang vagy elektromágneses sugárzás alapján. A helymeghatározás alapja az, hogy milyen jelek, jeladók érzékelhetők a közelben majd ezek azonosítása és az azonosított jelzésekhez tartozó ismert pozíciójuk segítségével behatárolható az érzékelő pozíciója.

Az egyik legelterjedtebb közelségalapú helymeghatározási módszer a [35] irodalomban is ismertetett RFID alapú megközelítés. Az egyébként azonosítási célból létrehozott RFID technológia lehetővé teszi, hogy egy passzív (áramforrás) nélküli eszközzel vezeték nélküli kapcsolatot létesítsünk és abból információkat (egyedi azonosítókat) kiolvassunk. Ez a vezeték nélküli kommunikáció néhány méteres tartományon belül működik, ezért amennyiben sikerül kiolvasni egy ilyen azonosítót, biztosan annak néhány méteres közelségében vagyunk. A vett jel erőssége esetleg felhasználható további pontosításra is, illetve annak sincs akadálya, hogy egyszerre több ismert elhelyezésű egység azonosítója kerüljön beolvasásra, így javítva a pontosságot.

Előnye ennek a rendszernek, hogy nem igényel számottevő karbantartást és nagyon sűrű jeladó telepítéssel akár az 1m alatti pontosság is elérhető vele. Viszont telepítést és RFID olvasására alkalmas eszközt igényel a használta. Sajnos a legtöbb mobileszköz nem rendelkezik RFID olvasóval, így általában külön RFID olvasó kiegészítővel használható. Így is leginkább helyfüggő szolgáltatások megvalósítására alkalmas, például múzeumokban egy-egy műtárgyhoz tartozó kiegészítő információk automatikus megjelenítésére [36].

Másik terjedőfélben lévő közelségérzékelésen alapuló technológia a világítási hálózaton alapul [37] pontosabban a világítási hálózat fényforrásaiba épített kódmoduláción. Minden fényforrás LED alapú, így lehetőség van a fényerősség gyors modulációjára úgy, hogy az ember számára ez ne legyen észrevehető. Minden fényforrás egyben egy adatforrás is, a fényereje kódmodulálva van egy a fényforrásra jellemző egyedi kóddal. Megfelelő vevőeszközzel lehetőség van a jel demodulációjára, vagyis beazonosítható, hogy a vevő melyik fényforrás jelét veszi. A vevő helyzete ez alapján beazonosítható, hiszen az adott kódú, ismert helyű fényforrás közelében van. Több fényforrás együttes vétele esetén a hely még tovább finomítható. Vevőeszközként egy okostelefon kamerája is használható és erre építve akár egy mobiltelefon alapú beltéri helymeghatározó rendszer is felépíthető [38].

Hátránya ennek a rendszernek, hogy ki kell építeni a megfelelő világítási hálózatot, ki kell cserélni az összes fényforrást modulált LED-es fényforrásra és ezeknek nyilván kell tartani a pozícióját is, illetve fényforrás csere esetén frissíteni a nyilvántartást. Emellett fontos, hogy a világításnak folyamatosan üzemelnie kell és rendszer érzékeny lehet a természetes fényviszonyokra is, illetve a vevő egység kamerájának folyamatosan szabad rálátással kell rendelkeznie a fényforrásokra.

Természetesen ezek a megoldások akár kombinálhatók is egymással, így a pontosság, megbízhatóság javítható.

Az üzembe helyezés, üzemeltetés szempontjából fontos csoportosítási szempont a helymeghatározási rendszer infrastruktúra szükséglete. Bizonyos felhasználások esetén előnyös lehet, ha a rendszer nem igényel külön a helymeghatározás céljára kiépített infrastruktúrát vagy más célra kiépített és karbantartott infrastruktúrát tudnak használni. Szintén előnyös lehet, ha a helymeghatározás igénybevételéhez nincs szükség speciális készülékre, hanem egy általános célú, könnyen elérhető informatikai eszköz

(okostelefon, tablet, okosóra) használható, még akkor is, ha ezek a rendszerek általában alacsonyabb pontosságot biztosítanak, mint a kifejezetten helymeghatározási célból kifejlesztett készülékek.

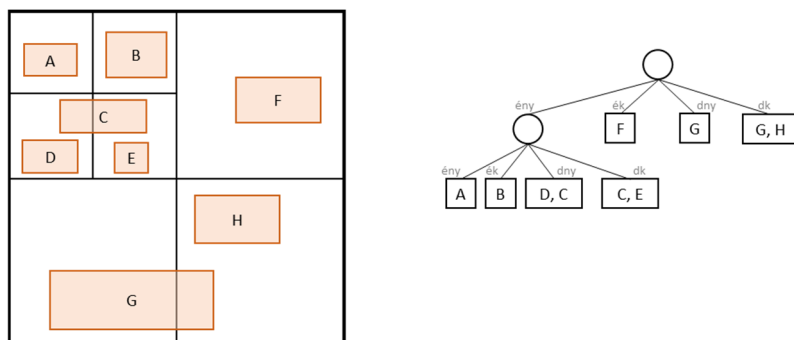
2.2. BELTÉRI HELYMEGHATÁROZÁS ALGORITMUSAI, ADATSZERKEZETEI

A felhasznált hardvertől függetlenül több olyan algoritmus és adatszerkezet van, amelyet biztosan meg kell valósítani, mind a két kitűzött cél megvalósítása érdekében. Ezek olyan tárolási módok, fa alapú adatszerkezetek, amelyek síkbeli, térbeli adatok tárolására, gyors keresésre, legközelebbi szomszédok keresésére lettek létrehozva, illetve olyan szűrőalgoritmusok melyek a mérések hibáit igyekeznek kiküszöbölni vagy a mérési adatok elemzését segítik.

2.2.1. Negyedelő fa

A negyedelő fa (Quadtree) kétdimenziós adatok (koordináták) rendezett tárolására szolgáló hierarchikus adatszerkezet [39]. Tulajdonképpen felfogható a bináris fa kétdimenziós kiterjesztésének is, értelemszerűen itt egy csomópontnak mindig négy leszármazott csomópontja van (komplett fa) és az adatokat a levelekben, melyeknek nincs egy leszármazottja sem, tároljuk. A negyedelő fák általában téglalap alakú tartományokkal dolgoznak és a leszármazott csomópontok, mindig a szülő csomópont tartományát osztják négy, újabb, egymást nem átfedő téglalap alakú tartományra, illetve a levelek az adott tartományba eső értékeket tárolják.

Attól függően, hogy milyen jellegű adatokat szeretnénk tárolni, némileg eltér az egyes negyedelő fák működése. A beltéri helymeghatározás szempontjából a két legfontosabb a „tartomány negyedelő fa” és a „ponttartomány negyedelő fa”.



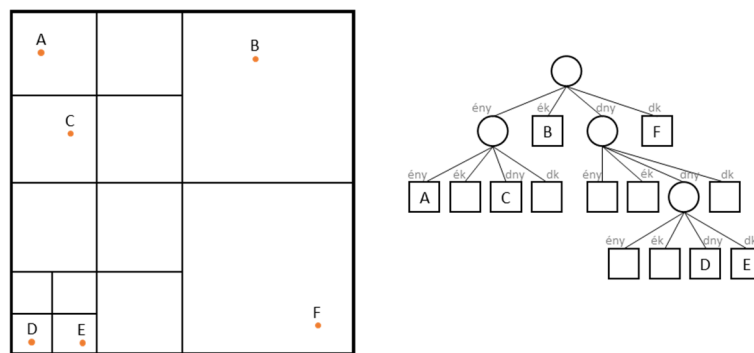
2. ábra Tartomány negyedelő fa

A tartomány negyedelő fa [40] (2. ábra) jól használható koordinátatengelyekkel párhuzamos élű befoglaló dobozok (AABB) tárolására, ezzel például az egyes térkép

objektumok (melyek általában poligonok) befoglaló dobozai tárolhatók és koordináták alapján $O(\log N)$ műveletigénnyel azok visszakereshetők, vagy egy pontról hasonló műveletigénnyel megmondható, hogy melyik befoglaló dobozban helyezkedik el, vagyis melyik térképi objektumban található (ehhez természetesen a befoglaló doboz után meg kell vizsgálni a poligont is).

A fa építéskor, mindig négy egyforma téglalapra osztjuk az adott csomópont által lefedett tartományt és a megfelelő tartományban helyezzük el a befoglaló dobozt. Előfordulhat, hogy a doboz több tartományon is átfed, ekkor minden érintett tartományba tárolásra kerül az adott befoglaló doboz. Egy csomópontnak vagy négy leszármazott csomópontja van, vagy levél esetén egy sem (teljes fa).

A ponttartomány negyedelő fa [41] (Point-Region Quadtree) koordináták tárolására és gyors keresésükre alkalmas. Praktikussági okokból általában négyzet alakú tartománnyal dolgozik és minden csomópont leszármazottjában a csomópont tartománya kerül négy egyenlő, négyzet alakú tartományra tovább osztásra (3. ábra).



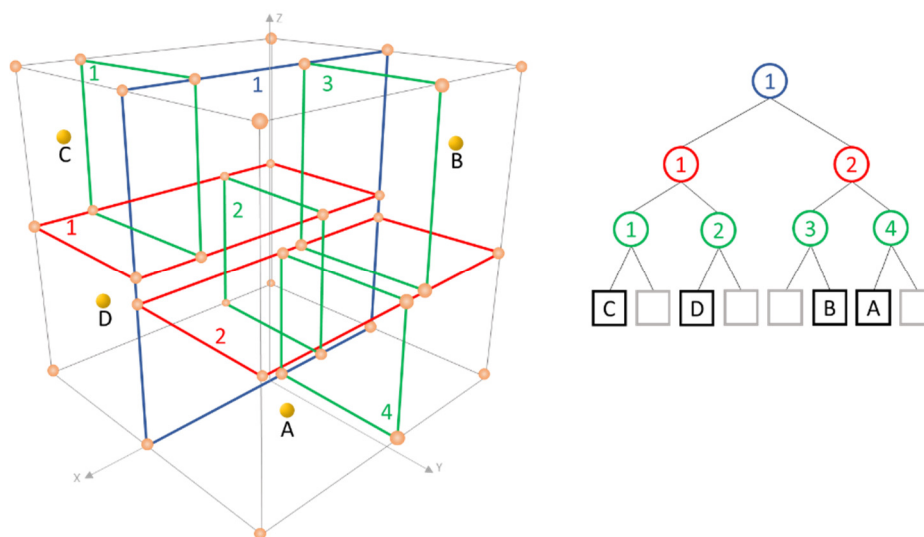
3. ábra Ponttartomány negyedelő fa

A levelekben kerülnek tárolásra az őket tartalmazó tartományba eső pont vagy pontok koordinátái. Az egy tartományban tárolható pontok száma a tárolási és keresési feladat jellege alapján kerül meghatározásra, hiszen egy levélben kevés pont tárolása esetén a fa lesz túlságosan magas, míg sok pont tárolása esetén a keresés lesz nagyon lassú, mert a levél tartományán belül már lineáris keresést kell alkalmazni. Egy pont beszúrásakor a ponthoz tartozó tartományt kell meghatározni rekurzívan a fában lefelé haladva, ha ebben a tartományban kevesebb pont van, mint a maximálisan tárolható pontok száma (bucket), akkor a pont hozzárendelhető a tartományhoz. Ha már elérte a pontok száma a bucket értéket akkor a tartományt négy egyenlő részre kell osztani, a pontokat az új tartományoknak megfelelően szétosztani, beleértve a beszúrandó pontot is. Az egy tartományban tárolt pontok számának helyes megválasztásával, azonban egy

hatékony adatstruktúrát kapunk, mely alkalmas az egyes koordináták gyors visszakeresésére $O(\log N)$ műveletigénnyel, másrészt alkalmas egy adott pont legközelebbi valahány szomszédjainak vagy bizonyos távolságon belüli szomszédjainak listázására.

2.2.2. k-D fa

A k-D fa (k-dimenziós fa) gyakran használt módszere a többdimenziós koordináták memóriában történő tárolásának és ezen koordináták gyors visszakeresésének, illetve a legközelebbi szomszéd keresésének [42]. A k-D fa a bináris térfelosztó fáknak (BSP) egyik fajtája, ahol a teret a fa minden egyes szintjén egy adott dimenzió mentén két térrészre osztjuk egy hipersíkkal és a fa egyes szintjein sorban változtatjuk azt a dimenziót mely mentén az osztás megtörténik. Így tetszőleges dimenzió esetén is a fa bináris marad (minden csomópontnak két leszármaztatott csomópontja van), vagyis egyszerűbb lesz tárolni és kezelni. A hipersíkokat úgy választjuk meg, hogy az adott dimenzióhoz tartozó koordinátatengelyre merőleges legyen és a hipersík a koordinátatengelyt a tárolandó pontnak az adott dimenzióbeli koordinátájában metszse el (4. ábra).



4. ábra k-D fa felépítése

A fa építésénél figyelmet kell fordítani a kiegyensúlyozottságra. A legközelebbi szomszéd pont keresése $O(\log N)$ művelet igényű, de csak akkor, ha a fa szimmetrikus felépítésű. A kiegyensúlyozottság biztosításának az egyik legmegbízhatóbb módja, ha a térrészek felosztása a hozzájuk tartozó pontok megfelelő dimenzióinak medián értéke mentén történik.

2.2.3. Részecske szűrő

A részecskeszűrő egy olyan algoritmus, amely ismeretlen valószínűségi eloszlások szimuláció alapú közelítő számítására alkalmas, olyan esetekben is, amikor a rendszer nem lineáris és a zajok sem szükségszerűen Gauss eloszlásúak. Az algoritmust 1993-ban publikálta N. Gordon [43], alapja a Bayes szűrő volt. Az algoritmus alapötlete az, hogy egy tetszőleges valószínűségi eloszlást reprezentálni lehet az adott eloszlásnak megfelelő mintákkal, illetve az azokból álló ponthalmazzal, így gyakorlatilag tetszőleges eloszlás megjeleníthető, nem csak Gauss.

Az eloszlás mintáit nevezzük részecskéknek és a következőképpen jelöljük:

$$\mathcal{X}_t = x_t^{[1]}, x_t^{[2]}, \dots, x_t^{[M]} \quad (1)$$

ahol M a részecskék száma, amely általában több száz. Minden $x_t^{[m]}$ részecske a rendszer egy feltételezett állapotát írja le t időpontban [43]. Az algoritmus lényegében egy prediktor-korrektor működést valósít meg. Az 5. ábra a részecskeszűrő egy lépésének az algoritmusát mutatja [44]. Ezen lépések ismétlésével, iterációjával közelít a részecskék halmaza a mindenkorai valós értékhez, a mérés során keletkező zajokat, hibákat csökkentve.

Algoritmus: ParticleFilter($\mathcal{X}_{t-1}, u_t, z_t$):	
#1	$\bar{\mathcal{X}}_t \leftarrow \mathcal{X}_t \leftarrow \emptyset$ /* Predikciós fázis */
#2	for $m \leftarrow 1 \dots M$
#3	sample $x_t^{[m]} \sim p(x_t u_t, x_{t-1}^{[m]})$ /* korrekciós faktor */
#4	$w_t^{[m]} \leftarrow p(z_t x_t^{[m]})$
#5	$\bar{\mathcal{X}}_t \leftarrow \bar{\mathcal{X}}_t + \langle x_t^{[m]}, w_t^{[m]} \rangle$
#6	endfor /* Súlyok normalizálása */
#7	for $m \leftarrow 1 \dots M$
#8	$w_t^{[m]} \leftarrow \bar{w}_t^{[m]} / \sum_{i=1}^M \bar{w}_t^{[i]}$
#9	endfor /* Újramintavételezés */
#10	for $m \leftarrow 1 \dots M$
#11	$i \leftarrow \text{random}[1..M]$ with probability $\propto w_t^{[m]}$
#12	add $x_t^{[i]}$ to $\mathcal{X}_t$
#13	endfor
#14	return $\mathcal{X}_t$

5. ábra Részecskeszűrő algoritmus

Az algoritmus első része a predikciós rész. A kiindulási részecske halmazt $\mathcal{X}_{t-1}$ jelöli. Az első lépés célja a részecskék egy új halmazának létrehozása, melynek az elemszáma megegyezik az eredeti részecskeszámmal, de a részecskék kiválasztásánál figyelembe vesszük az állapotváltozásukat (#3). Az állapot becsült változását az u_t vektor írja le, ez

általában a rendszerre gyakorolt külső hatást testesíti meg, mely hatás valamilyen eloszlású hibát is tartalmazhat, ennek eredményeképpen a rendszer szintén valamilyen hibával terhelve áll új állapotba. Az egyes becsült állapotok valóságostól való eltérését a z_t mérési vektor mutatja, mely szintén mérési hibával terhelt. A mérés alapján minden részecskehez egy $w_t^{[i]}$ súlytényezőt rendünk (#5), mely fordítottan arányos a részecske által megjelenített rendszerállapot és a mért rendszerállapot távolságával. Vagyis a súlytényező azt mondja meg, hogy az adott állapot mennyire van közel a mérés által érzékelt állapothoz. Azért, hogy a súlyok valós eloszlást határozzanak meg, normalizáljuk őket (#8). A korrekciós rész második lépése az új részecskehalmaz létrehozása egymás utáni, fontosság szerinti újra-mintavételezéssel (Sequential Importance Resampling). Ebben a lépésben a prediktor által létrehozott, feltételezett állapotokat tartalmazó vektorból $\bar{\mathcal{X}}_t$ választunk elemeket, egyenletes eloszlású, véletlen kijelölés alapján, de úgy, hogy egy elem kiválasztásának a valószínűsége arányos legyen a hozzárendelt $w_t^{[i]}$ súlytényezővel. Azaz a mérés alapján nagyobb valószínű predikált állapot, nagyobb valószínűséggel fog átkerülni az eredményül létrejövő $\mathcal{X}_t$ vektorba, vagyis a t időpontbeli állapotot leíró részecskék halmazába.

2.2.4. Kálmán-szűrő

A Kálmán-szűrőt Kálmán Rudolf Emil fejlesztette ki 1960-1961 között [46]. Az általa kidolgozott módszer dinamikai rendszerek állapotának méréseken és modellezésen alapuló állapotbecslésére alkalmas, úgy, hogy mindezek hibáival is számol, illetve ezen hibák hatását csökkenti a becslés pontosságára nézve. Az algoritmus alapja, hogy rendelkezünk a rendszer működését leíró modellel, vagyis egy korábbi állapot ismerete alapján a rendszer viselkedését befolyásoló jelek alapján előre tudjuk jelezni a következő állapotot. Ezt az új állapot össze tudja vetni egy olyan méréssel, mely alapján szintén megadható az új állapot, figyelembe véve azt, hogy a mérések hibákat is tartalmaznak. A rendszer állapotát így diszkrét időlépésekben írja le, minden egyes lépésben a beavatkozó és a mért értékek alapján pontosítva az állapotbecslést [47]. Fontos tulajdonsága még a Kálmán-szűrő algoritmusának, hogy átlagolja a rendszer állapotainak becsült adatait és a méréssel meghatározott új állapotot, mégpedig úgy, hogy nem egyforma súllyal veszi figyelembe a két módon előállított eredményt. Abból a kovarianciából számítja a súlyozást, mely a rendszer állapotainak mérésekből származó becsült bizonytalanságokból származik. A súlyozott átlag eredménye egy új állapotbecslés, mely

a becsült és mért állapot között van. A folyamat lépésenként ismétlődik egy iterációs eljárással. Tehát a Kálmán-szűrő rekurzív módon működik, de csak az utolsó legjobb eredményt veszi figyelembe, nem a rendszer teljes történetét.

A mérések hibáinak hatását az állapotbecslésre a Kálmán-nyereség figyelembevételével valósítjuk meg, mely segítségével „hangolható” a Kálmán-szűrő algoritmus. A Kálmán-nyereség a mérések relatív bizonyosságának függvénye, magas értékű nyereség esetén nagyobb súlyozást alkalmaz a mérések esetén, vagyis szorosabban követi a mérést. Alacsonyabb nyereség beállításkor, modell alapú becslés eredménye érvényesül jobban, erősen csökkentve a mérési zajokat. Szélsőséges esetben egy értékű nyereségnél nem veszi figyelembe az állapotbecslést, míg nulla nyereségnél a mérést nem veszi figyelembe. A szűrő algoritmikus számításkor az állapotbecsléseket és a kovarianciákat mátrixban kódoljuk, ezzel egyrészt lehetővé válik a különböző állapotváltozók közötti lineáris kölcsönhatás, átmenetek kezelése, illetve lineáris algebrai eszközökkel (egyenletrendszer megoldással) lehetőség van a számítások relatíve egyszerű elvégzésére.

A matematikai leírása ennek megfelelően a következőképpen adható meg: Legyen $x_k \in \mathbb{R}^n$ a rendszer állapotát leíró vektor a k -adik időpillanatban. A rendszer működését, vagyis az egyes időpillanatbeli állapotot a következő egyenlettel adhatjuk meg:

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \quad (2)$$

ahol A az állapot átmenetet leíró mátrix, B a beavatkozó (vagy vezérlő) jelek a rendszer következő állapotára gyakorolt hatását jellemzi, u_k az adott pillanatban a vezérlő jelek értékét írja le és w_k a folyamat zaj, mely többdimenziós, normál eloszlású, nulla várható értékű és kovariancia mátrixa Q_k vagyis feltételezzük, hogy $w_k = \mathcal{N}(0, Q_k)$.

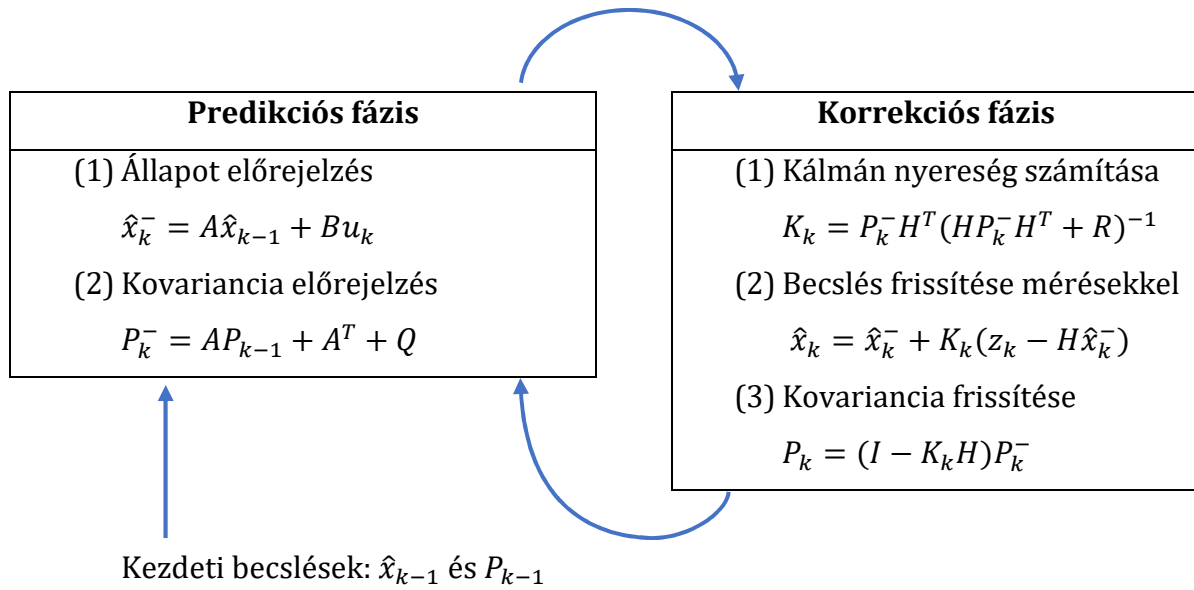
A rendszer leírásán túl, minden egyes időpillanatban rendelkezésünkre áll egy z_k mérés a rendszer aktuális állapotáról.

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (3)$$

ahol H_k a mérési vagy megfigyelési modell, amely kapcsolatot teremt a mérési és az állapotmodell között. A v_k a mérési zaj, és értékének számítása $v_k = \mathcal{N}(0, R_k)$ az állapotmodellhez nagyon hasonlóan, értéke attól azonban teljesen független. A kovariancia mátrixok (Q és R) minden lépésben akár különbözőek is lehetnek, ezért szerepelnek a lépések indexével.

A Kálmán szűrő iteratív működésének lépéseit a 6. ábra mutatja [48] alapján. A kezdeti, kiindulási értékek $\hat{x}_{k-1}$ ahol $\hat{x}_{k-1} \in \mathbb{R}^n$ az előző állapotbecslés értéke és P_{k-1} a hiba kovariancia értéke.

A predikciós fázis első lépése az új állapotbecslés létrehozása (2) felhasználásával a zajok egyelőre figyelmen kívül hagyásával. A k . lépésben létrehozott állapotbecslést $\hat{x}_k^-$ jelöli. A második lépés a kovariancia, P_k^- előrejelzése a folyamat zaj és az állapotátmenet mátrix felhasználásával, hiszen a zaj értéke pontosan nem ismert.



6. ábra Kálmán szűrő működése

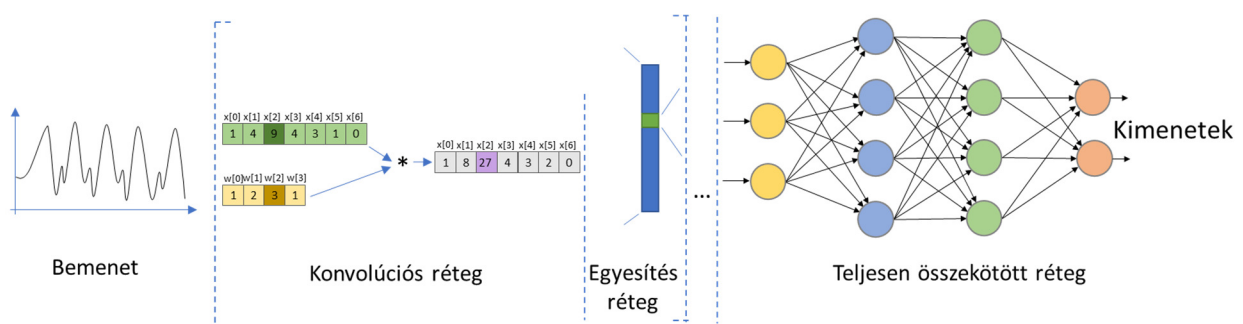
A korrektíós fázis első lépése a Kálmán nyereség (gain, K_k) kiszámítása. Ebben a lépésben a kovariancia értékek felhasználásával, erősítjük annak az elemnek (becslés vagy mérés) a szerepét, amelynek a kovariancia értéke közelebb van a nullához, hiszen az jelenti azt, hogy az adat megbízhatóbb, kevesebb zajt, bizonytalanságot tartalmaz. A második lépésben az új állapotot, $\hat{x}_k$ számítjuk ki, a harmadik lépésben pedig a kovariancia értékét, P_k frissítjük.

A Kálmán szűrőt jól lehet használni szenzor fúziós algoritmusként, vagyis több, különböző zajú szenzor jeleinek összegzésére úgy, hogy közben a különböző szenzorok jelei a különböző jellegű hibának és zajnak köszönhetően a fuzionált jel pontosságát javítják, zaját csökkentik. Tipikusan ilyen jellegű feladat az inerciális szenzorok jeleiből a szenzorok térbeli orientációjának számítása.

2.2.5. Mesterséges neurális háló

A mesterséges neurális hálózatok a gépi tanulási módszerek gerincét alkotják. Képesek feltárni és „megtanulni” adatokban található összefüggéseket, olyan módon, hogy a tanulás eredményeként született modell felhasználásával új, eddig még nem látott és zajjal terhelt adatokra is hatékonyan alkalmazni tudjuk a már megtanult összefüggéseket. A mesterséges neurális hálózatok lényegében az adatfeldolgozó elemekből (neuronok) és a közöttük lévő kapcsolatokból állnak. A neuronok általában hiarchikus struktúrába vannak rendezve, rétegekre osztva. Az egyes rétegekben található neuronok csak a felettük lévő rétegben található neuronokkal vannak kapcsolatban. Az egyes neuronok felelősek az adatok feldolgozásáért. Általában több bemenetük van és csak egy kimenetük, vagyis egyrészt a neuronok megvalósítanak egy általában nem lineáris összefüggést a bemenetek és a kimenetek között, másrészt pedig csökkentik az adatok dimenzióját. Az összefüggés számításakor felhasznált konstansok, súlytényezők a tanítás folyamata során számíthatódnak ki úgy, hogy a tanítási adatok és a neuronháló kimeneti adatai között az eltérés minimális legyen.

A mesterséges neurális hálózatokon belül viszonylag új struktúrát jelentenek a konvolúciós neurális hálózatok (CNN) [49][50]. Elsősorban képfeldolgozásra, azon belül képeken található objektumok felismerésére és osztályozására fejlesztették ki. Jól használhatók e mellett időtől függő adatok feldolgozására, illetve azok jellemző tulajdonságainak felismerésére, osztályozására. Egy ilyen háló jellemző felépítését szemlélteti a 7. ábra.



7. ábra Konvolúciós neuronháló általános felépítése

A bemenő jeleket egy konvolúciós réteg fogadja. Itt a tanítás során kialakult súlytényezőkkel megszorozzuk a bemenő értékeket, majd a szorzatok összege lesz a konvolúció eredménye. A tanítás felügyelt módon, vagyis összetartozó bemeneti és kimeneti értékek alapján a háló aktuális kimeneti értékeinek minél jobb közelítése az elvárt kimeneti értékekhez.

Általában a súlytényezőket tartalmazó vektor (vagy mátrix) kisebb méretű, mint a bemenő adatok vektora (vagy mátrixa), így a számítás során a súlytényezők vektorát eltoljuk a bementek mentén. Az eltolás mértékét a lépésköz paraméter („stride”) értékével határozzuk meg. Azért, hogy a szélső értékek is hasonlóan legyenek feldolgozva, a súlytényezőket ki is tolhatjuk a bemeneti vektoron túlra, ebben az esetben a vektorban nem létező elemeket zérusnak tekintjük („zero padding”). A konvolúciós rétegnek része vagy másik értelmezésben azt közvetlenül követi egy nem lineáris réteg. Ebben a rétegben a konvolúciós réteg kimeneti adatai egy nem lineáris függvényen haladnak át. Ennek célja, hogy az „erős” döntésre utaló értékek még erősebbek legyenek, illetve a gyenge döntéshez tartozó értékek pedig alacsonyabbak. CNN esetén általában a ReLU („Rectified Linear Unit”) függvényt használjuk, ami lényegében negatív értelmezési tartománybeli értékek esetén nullát ad eredményül, míg pozitív értékek esetén változtatás nélkül visszaadja a bemeneti értéket.

A konvolúciós réteg feladata hierarchikusan a nagybottól a kisebb felé haladva, a jellemző tulajdonságok felismerése attól függetlenül, hogy a bemeneti vektorban hol helyezkednek el. Ennek megvalósítása érdekében a konvolúciós réteget egy egyesítési réteg követi („pooling layer”). Ez a szűkebb környezetben található értéket egyesíti egyetlen kimeneti értékkel, például a maximum értéket felhasználva. Vagyis, ha egy tulajdonság megtalálható volt a bementi adatokban, akkor annak helyétől függetlenül ezt a maximum érték jelzi. Egyúttal a tovább feldolgozandó vektor mérete is csökken, ami a számításigény szempontjából előnyös.

A konvolúciós és az összevonás réteg kettőse általában több példányban követi egymást, így megvalósítva azt, hogy a nagyobb kiterjedésű tulajdonságok felismerését követik az egyre kisebb és a nagyobbakon belül található tulajdonságok felismerése.

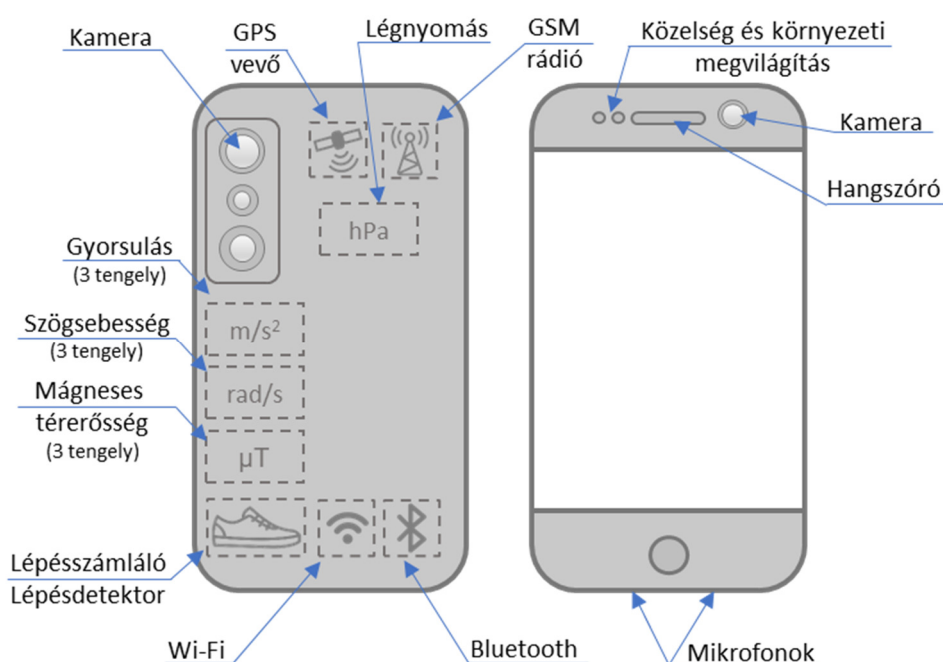
A kimeneti eredményeket egy vagy több rétegben egymás után elhelyezett teljesen összekötött többrétegű neuronháló adják. Ennek a rétegnek a feladata az előző rétegek által felismert tulajdonságok alapján az egyes kimeneti osztályokba történő sorolás. Minden egyes kimeneti osztályhoz egy-egy neuron van rendelve a neuron kimenetének értéke az adott osztályba tartozás mértékét jelöli.

A CNN működésére nagy hatással van a rétegek felépítése, illetve egyes paramétereinek beállítása ezért ezek általában valamilyen optimalizálási tevékenység eredményeként állnak elő. Szintén fontos a megfelelő minőségű, tisztított adatokat tartalmazó, felcímkézett tanító adatbázis előállítása.

2.3. BELTÉRI HELYMEGHATÁROZÁS ESZKÖZEI

A beltéri helymeghatározásban nagyon sokféle speciális eszköz, érzékelő, jeladó kerülhet felhasználásra. Ezek egy része kifejezetten erre a célra gyártott hardveren alapul, ezért nehéz az általam célul tűzött feladatok megoldására alkalmazni.

A nagyon széles körben elterjedt okoseszközök azonban használható hardverplatformot nyújtanak beltéri helymeghatározáshoz is, amennyiben az okoseszközök szenzorait és rádió moduljait fel lehet használni erre a célra. Egy átlagos, elterjedten használatban lévő okostelefon szenzorait és beépített moduljait a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra Mobiltelefon beltéri helymeghatározásban használható moduljai

Az okostelefonok beltéri helymeghatározás szempontjából lényeges elemei a következők:

Kamera: Egy mai korszerű mobiltelefon az elő- és a hátlapján is rendelkezik nagyfelbontású kamerákkal. Helymeghatározás szempontjából ezek a kamerák használhatók különböző markerek, helyre jellemző tulajdonságok, QR kódok olvasására, illetve az attól való optikai távolság becslésére, optikai elmozdulás mérésére („optical flow”) vagy VLC kódok érzékelésére. Hátrányuk, hogy érzékenyek a megvilágítás változására, külső napfényre, csak akkor használhatók, ha a telefon a megfelelő orientációban és a kamerák szabad kilátását biztosító pozícióban van, illetve jelentős

számítási teljesítményt (akkumulátor energiát) is igényelhet a használatuk. Előnyük a nagy rugalmasság és a segítségükkel elérhető nagy pontosság.

GPS vevő: A GPS vevőt szinte minden okostelefon beépítve tartalmazza. Beltérben a használata erősen korlátozott, de például alkalmas lehet annak az épületnek az azonosítására, amelybe éppen belépett a felhasználó. A GPS használata beltéri helymeghatározási rendszerekben ezért nagyon ritka, illetve figyelembe kell venni, hogy a GPS egy meglehetősen nagy energiafogyasztású eszköz, ezért sem célszerű a folyamatos használata.

Légnyomás szenzor: A légnyomás szenzor inkább a függőleges irányú mozgások érzékelésére alkalmas. Az általa mért érték deriváltjából (légnyomás változásból) információt nyerhetünk arról, hogy a telefon használója emeletet vált, lépcső, lift vagy mozgólépcső használatával vagy ha más módon tudjuk érzékelni ezeket a mozgásformákat, akkor is egy megerősítő, szűrő jellegű információt nyújthat ez a szenzor. Megjegyzendő, bár egyre több telefonban van ilyen szenzor, de főleg az alsó kategóriás telefonok esetén gyakori a hiánya. Vagyis bármilyen ezt használó algoritmust fel kell készíteni arra, hogy légnyomás szenzor nélkül is működőképes legyen, még ha csökkentett pontossággal is.

GSM rádió: A mobiltelefon egyik legfontosabb része, ennek használatával van lehetőségünk vezeték nélküli közvetlen kapcsolat kialakítására a legközelebbi mobil cellaközponttal. A GSM modul nem csak a legközelebbi cellaközpontot „látja”, hanem néhány, szintén közeli központ térerősségét is méri, hogy szükség esetén a legerősebb jelűre átkapcsolhasson. Ha legalább három cellaközpontot lát, akkor háromszögelés segítségével meghatározható a telefon pozíciója. Sajnos ennek a pontossága néhány száz méter, így beltéri használata ritka, esetleg az épület azonosítására használható.

Gyorsulás szenzor, Szögsebesség szenzor, Mágneses térerősség szenzor: A szenzorok egy a telefonhoz kötött koordináta-rendszerben képesek mérni három tengely mentén a telefon gyorsulását, a telefon tengelyek körüli forgásának szögsebességét és a Föld mágneses terének a három tengelyre eső vetületét. A három szenzor együttesen a megfelelő szűrési és adatfeldolgozási algoritmussal képes a telefon térbeli orientációját egy Földhöz kötött koordináta-rendszerben megmondani, a gravitációs gyorsulás irányát és a Föld mágneses északi pólusát tekintve referenciának. Ezért gyakran inerciális szenzoroknak, vagy inerciális mérő egységnek nevezik („Inertial Measurement Unit”, IMU). E mellett a mágneses szenzor felhasználható mintaillesztés alapú

helymeghatározásra, ahol a beltérben jellemző egyedi mágneses térerősségeloszlást használjuk ki. A gyorsulásszenzor használható a felhasználó mozgásának elemzéséhez, ahol az egyes lépések megtételekor létrejövő gyorsulási viszonyok elemzésével a lépés ténye, száma esetleg iránya is érzékelhető vagy a felhasználó egyéb mozgásai (pl. elesés) is megállapíthatók. Beltéri helymeghatározás nagyon fontos szenzorai, mind a telefon orientációjának (iránytű) mind a felhasználó mozgásának elemzésében (lépésdetektálás). **Lépésszámláló, lépésdetektor:** A legtöbb telefon rendelkezik lépésszámláló, lépésdetektor szenzorral is. Bár lépéssel kapcsolatos információk a gyorsulásszenzorból is kinyerhetőek lennének, de attól sokkal kisebb energiafelhasználással működnek ezek a szenzorok. Pontosságuk viszont ennek megfelelően kevésbé jó, de a legnagyobb problémájuk, hogy relatíve hosszú késleltetési idejük van, a lépés után akár 10-15 másodpercig is eltarthat mire a lépés ténye, száma frissítésre kerül az API szintjén.

Wi-Fi modul: A telefon GSM modulja után talán legfontosabb kommunikációs eszköze. Nagysebességű adatkapcsolatot tud megvalósítani a külső Wi-Fi AP-k segítségével, elsősorban beltérben használatos, ezért nagyon gyakori eleme a beltéri helymeghatározási rendszereknek. Lehetőség van nemcsak annak az AP-nak a térerősség mérésére, amellyel éppen kapcsolatban van a modul, hanem a környezetben található valamennyi AP térerősségének lekérdezésére is. Ezáltal háromszögelés vagy mintafelismerésen alapuló helymeghatározás is megvalósítható. Hátránya, hogy a telefon operációs rendszere korlátozhatja a Wi-Fi AP-k periodikus lekérdezését, illetve a rádiójelek terjedését, ez által a mérés pontosságát sok tényező befolyásolhatja.

Bluetooth modul: A Bluetooth modul egy a Wi-Fi-nél alacsonyabb sebességű és rövidebb hatótávolságú vezeték nélküli kommunikációt lehetővé tevő eszköz. Beltéri helymeghatározásban azonban nagyon népszerű, mert léteznek kifejezetten helymeghatározási céllal kifejlesztett Bluetooth jeladók. Ezek alacsony fogyasztás mellett megfelelő gyakorisággal tudnak jelet küldeni a telefon vevőjébe és több ilyen jel vétele esetén a térerősség értékéből háromszögeléssel vagy mintafelismeréssel meghatározható a pozíció. Előnye még, hogy a telefon operációs rendszere sokkal kevésbé korlátozza, a jeladók megfelelő konfigurációjával akár másodperc vagy az alatti frissítési gyakoriság is elérhető. Hátránya, hogy ehhez meglehetősen sűrűn kell elhelyezni a jeladókat, illetve azokat karbantartani.

Mikrofonok: A telefonban több mikrofon is található, ezek segítségével külső hangforrások által sugárzott jelek segítségével, háromszögeléssel megállapítható lenne a

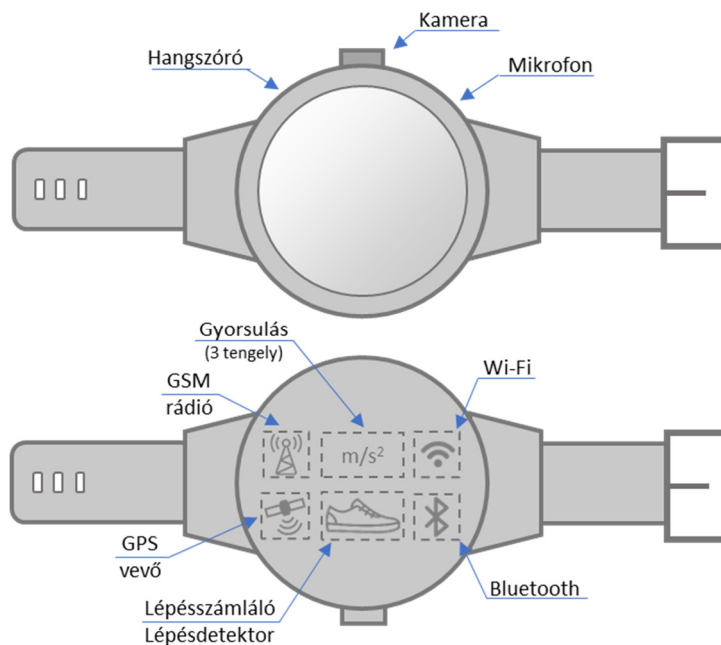
telefon helye. A probléma az, hogy a mikrofon jellemzően az emberi hang tartományában érzékeny, így a külső hangforrások zavaróak lennének a felhasználók számára. Ezért beltéri helymeghatározásban ritkán használatos.

Hangszóró: A telefon hangszórója nem szenzor, de mégis egy olyan modulja a telefonnak, amely használható a beltéri helymeghatározásban. A hangszóró által sugárzott hangimpulzusokat a környezetben elhelyezett mikrofonok veszik, a hang terjedési idejéből meghatározható a telefon pozíciója. Hátránya ennek a megoldásnak, hogy a kibocsátott hangjel frekvenciának közel kell lennie az emberi hallástartomány felső határához vagy azon belül azért, hogy a hangszóró hatékonyan legyen képes azt kisugározni. Ez viszont használat közben kényelmetlen és a külső zajok, illetve a többi hasonlóan működő telefon egy zárt térrészben zavarhatja egymást.

Közelség és környezeti megvilágítás szenzor: Lényegében ezek is optikai szenzorok. A közelségérzékelő szenzor célja, hogy telefonálás közben zárolja a telefon képernyőjét, hogy akaratlanul az érintőképernyőn ne tudjuk műveleteket végezni. Általában egy LED-ből és egy fényérzékelő diódából áll, amely a LED által kisugárzott és a detektálni kívántobjektum által visszavert fényt érzékeli. Hatótávolsága jellemzően kicsi (néhány cm) így beltéri helymeghatározásban nincs jelentős szerepe. Általában ezzel egybeépítve található a környezeti megvilágítás érzékelője, ezt elsősorban a kijelző fényerejének beállítására használja a telefon. Erős korlátozásokkal használható beltéri helymeghatározásra is, egy épületen belül a megvilágítási mintázat általában helytől függő (vagy azzá tehető új világítótestek felhasználásával) így a megvilágítás erősségének érzékelésével meghatározható a pozíció. Sajnos ez a módszer nagyon korlátozott pontosságot tesz lehetővé, hiszen a környezeti (napfény) is jelentős hatással lehet rá, így ezen szenzor használata a beltéri helymeghatározásban nagyon korlátozott és ritkán előforduló.

Az áttekintésből megállapítható, hogy a mobiltelefon több szenzorra is használható beltéri helymeghatározásban, bár egyik szenzor sem kifejezetten erre a célra készült, így mindenképpen szükséges további szűrési, adatfeldolgozási algoritmusokkal javítani az eredményt.

Okosóra esetén a szenzorok száma általában még kevesebb, az általuk mérhető mennyiségek köre szűkebb, illetve pontosságuk általában alacsonyabb. Egy általános okosórában található szenzorokat szemlélteti a 9. ábra.



9. ábra Okosóra beltéri helymeghatározásban használható moduljai

Lényeges különbség az okostelefonokhoz képest, hogy az IMU szenzorok közül csak a gyorsulásmérő lett beépítve, ami azt jelenti, hogy a mágneses tér érzékelése hiányzik, így iránytű és mágneses tér alapú helymeghatározás sem kivitelezhető az órával. Hiányzik még a légnyomás szenzor, így függőleges irányú helyváltoztatás sem érzékelhető a levegő nyomásának megváltozásából, azonban van Wi-Fi és Bluetooth modul, ami a beltéri helymeghatározásban és a kommunikációban is egyaránt felhasználható.

3. WIFI TÉRERŐSSÉG ALAPÚ HELYMEGHATÁROZÁS

"You see, wire telegraph is a kind of a very, very long cat. You pull his tail in New York and his head is meowing in Los Angeles. Do you understand this? And radio operates exactly the same way: you send signals here, they receive them there. The only difference is that there is no cat."
Albert Einstein⁷

A külön kiépített infrastruktúrát nem igénylő beltéri helymeghatározási módszerek közül a leggyakrabban használt a Wi-Fi térerősség alapú módszer. Előnye, hogy Wi-Fi hálózat a legtöbb épületen belül, nem csak irodákban, de szinte minden háztartásban is ki van építve, hiszen a legtöbb informatikai eszköz számára alapvetően fontos a vezeték nélküli kommunikációs hálózat. Ezért, ha az infrastruktúra kiépítését, jeladók, jelölések elhelyezését és karbantartását el szeretnénk kerülni, a legkézenfekvőbb megoldást ezen vezeték nélküli kommunikációs hálózat felhasználása jelenti.

A Wi-Fi térerősség alapú helymeghatározás azon a megfigyelésen alapszik, hogy egy épületben elhelyezett Wi-Fi hozzáférési pontok (AP) rádiófrekvenciás jelének térerőssége egy helytől függő mintázatot alkot. Így egy tetszőleges hely koordinátái megállapíthatók, ha az adott helyen mért térerősségek értékek összehasonlításra kerülnek már korábban mért értékekkel és a legjobb egyezőséget mutató korábbi érték mérésének helye közelében lesz a keresett pozíció.

A helymeghatározás így két különálló részre bontható. Egyrészt fel kell mérni az épületen belül, a helymeghatározás szempontjából fontos helyeken, az aktuális Wi-Fi térerősség értékeket és ezeket eltárolni egy megfelelően kialakított adatbázisban. Ezt a tevékenységet még a helymeghatározás előtt el kell végezni, illetve időnként, a létrejött adatbázist frissíteni, karbantartani szükséges. A tényleges helymeghatározás ezután már megvalósítható úgy, hogy a korábbi térerősség méréseket tartalmazó adatbázisban megkeressük az aktuálisan mért térerősséggel legjobban megegyező értékeket és azok korábbi mérési pozíciója adja a keresett helyet.

A pozicionálás tehát nagymértékben a térerősség értékeken alapul, vagyis minden olyan hiba, amely a térerősség mérésekor előfordulhat, hatással van helymeghatározás pontosságára is. Ezért fontos megvizsgálni és feltárni a különböző hibaforrásokat, elemezni az egyes hibák hatását és csak ezek ismeretében valósítható meg olyan algoritmus, amely a hibák minél nagyobb részét képes szűrni, hatásukat csökkenteni.

A Wi-Fi szabvány létrehozásának célja alapvetően számítógépek, informatikai eszközök közötti nagysebességű, vezeték nélküli kommunikáció, adatcsere megvalósítása. Vagyis sem a szabvány, sem annak implementációja nem foglalkozik a helymeghatározásra való használattal, így nincs is olyan eleme, amely támogatná az ilyen irányú felhasználást vagy legalább csökkenthetné az ezzel kapcsolatos hibák nagyságát. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a helymeghatározás szempontjából több olyan hibaforrást kell figyelembe venni és kezelni, melyek a kommunikáció szempontjából nem lényegesek, nem okoznak adatvesztést, viszont a helymeghatározásban komoly pozíció mérési hibát okozhatnak.

3.1. WI-FI TÉRERŐSSÉG MÉRÉS JELLEMZŐ HIBÁI

Vezeték nélküli kommunikációban a vételi jelerősség indikátor (RSSI) egy olyan mutatószám, amely a vevő áramköreibe fogadott rádiójel teljesítményével arányos jellemző. Vagyis tartalmazza a kisugárzott jel teljesítményét, az adó és vevő közötti terjedés csillapítását, a vevő egyes elemeinek, mint például az antennának, kábeleknél és a vevő áramköreinek a hatását is. Ebből számunkra a legfontosabb összetevő a terjedési csillapítás, mert sok tényező között az adó és a vevő közötti távolságtól is egyértelműen függ, vagyis az adó és vevő közötti távolság bizonyos pontossággal meghatározható belőle. Még általánosabban fogalmazva, a vételi térerősség egy olyan helytől függő jellemző (fix telepítésű adóegységek esetén), amely alkalmas lehet egy mobil vevőegység helyzetének meghatározására.

A rádiójel erősségét a távolság függvényében a szabadtéri jel csillapítási modell segítségével (Free-Space Path Loss) határozhatjuk meg, ez az összefüggés számos forrásban megtalálható [51][52][53] és a legegyszerűbben a következőképpen írhatunk fel:

$$FSPL = 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10}(d) + 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10}(f) + C \quad (4)$$

ahol $FSPL$ a szabadtéri csillapítás mértéke decibelben (dBm), d jelenti a Wi-Fi adó távolságát a vevőtől, f a rádiójel frekvenciáját, α a terjedési környezet csillapító hatását és C pedig egy a távolságtól független konstansban összefoglal minden egyéb jelerősséget befolyásoló hatást. Ezek alapján a helymeghatározás alapja az FSPL értékének mérése.

A Wi-Fi kommunikációt az IEEE 802.11 és a kapcsolódó szabványok írják le. A szabvány része a vételi térerősség mérése is, hiszen bár alapvetően a térerősség nem befolyásolja a kommunikáció minőségét, de bizonyos térerősség érték alatt jelentős

adatvesztésre lehet számítani. Az adatvesztés akár olyan mértékű is lehet, amely a hatékony kommunikációt lehetetlenné teszi. Ezért a kommunikációs eszközök is használják a térerősség értékét, amennyiben több hozzáférési pont is elérhető, a mobileszköz mindig a legnagyobb térerősségű, feltehetőleg a legközelebbi hozzáférési ponttal létesít kapcsolatot.

A beltéri helymeghatározáshoz nem szeretnénk kifejezetten erre a célra kifejlesztett eszközt használni, hanem könnyen elérhető és elterjedt okoseszközt tervezünk felhasználni, ami a gyakorlatban vagy egy okostelefon, vagy okosóra. Így a térerősség mérése olyan módon lehetséges csak, amelyet az adott eszköz hardver és szoftver felépítése lehetővé tesz, vagyis ezen eszközök sajátosságait, térerő méréssel kapcsolatos lehetőségeit is figyelembe kell venni a mérési hibák elemzése esetén, illetve érdemes a helymeghatározáshoz is használt eszközök igénybevételével végezni a pontossággal kapcsolatos méréseket.

Szoftver tekintetében az Android operációs rendszert futtató eszközök jöhetnek elsődlegesen számításba, mivel az iOS operációs rendszerben a térerősség mérésére egy átlagos alkalmazásnak nincs lehetősége. Az Android operációs rendszerben elérhető a Wi-Fi hozzáférési pontok ún. szkennelése, vagyis az elérhető hozzáférési pontok listájának lekérése. Ennek a műveletnek a megvalósításáért a `WifiManager` osztály [54] a felelős. Képes az elérhető AP-k felderítésére és az azokkal kapcsolatos – például térerősséget, egyedi azonosítókat leíró – információk összegyűjtésére.

A `WifiManager` lehetőséget ad arra, hogy az okoseszköz környezetében található hozzáférési pontokat az eszköz felderítse és eredményül visszaadja az érzékelt AP-k MAC címét és RSSI értékét. A MAC cím a Wi-Fi kommunikációban használt, csak az adott eszközre jellemző egyedi cím, az RSSI érték pedig a vételi jelerősséggel arányos indikátor érték. A rádiós kommunikációban az RSSI érték meghatározása a következő összefüggés [55] alapján történik:

$$RSSI = P_t - P_L(d) \quad (5)$$

ahol az $RSSI$ értéke a mért térerősség érték dBm mértékegységben, P_t az adó oldali teljesítmény szintén dBm mértékegységben és $P_L(d)$ a csillapítás mértéke az adó és vevő közötti távolság függvényében, ugyancsak dBm egységben mérve.

A csillapítás mértéke egyrészt a már korábban említett (4) terjedési csillapításból áll, másrészt számításba kell venni, hogy az adó és a vevő között lehetnek a levegőnél

nagyobb rádiófrekvenciás csillapítással rendelkező közegek is. Ezt figyelembevéve az [56] alapján az RSSI értéke a következőképpen határozható meg:

$$RSSI = P_L(d_0) - 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (6)$$

ahol $RSSI$ értéke a mért térerősség érték, $P(d_0)$ a d_0 távolságban (például 1 m) mért jelerősség, d az aktuális távolság az adó és a vevő között és α a terjedési környezet csillapító hatása.

Ezt az értéket kaphatjuk meg a WiFiManager-tól, mely érték a dokumentáció [54] szerint elvben -100 dBm...0 dBm között lehet, a gyakorlatban, a saját mérések alapján, illetve az irodalmi adatok [57][58] alapján is inkább a -90 dBm...-30 dBm közötti tartomány a jellemzően előforduló. Ez hozzávetőlegesen 1 m...50 m távolságot jelent a hozzáférési ponttól, tehát elsősorban ebben a tartományban érdemes vizsgálni a Wi-Fi térerősség mérés pontosságát.

A Wi-Fi térerősség mérését több tényező is befolyásolja [59][60][61]. Ezek a tényezők jellegüknél fogva két csoportba oszthatók: környezeti hatások és a hardver különbségek. A környezeti hatások magukban foglalják az épületek különböző szerkezeti anyagainak csillapítóhatását [62], a rádióhullámok visszaverődésének hatására létrejövő többszörös terjedési útvonalakat, melyek különböző hossza interferenciát okozhat, akár a jel gyengülését vagy helyenként megszűnését [63] is okozhatja (fading). Az interferencia és fading hatásokat ráadásul nagymértékben befolyásolja, hogy a rádióhullám közvetlenül (LOS) vagy közvetve érkezik (NLOS) [64]. Fontos környezeti hatás még az épületben mozgó emberek csillapító hatása [65][66] is, hiszen bizonyos jellegű épületben (bevásárlóközpont, kórházak, pályaudvarok) akár nagyobb embertömegek is mozoghatnak és ez időben változó, akár jelentős mértékű fluktuációt is okozhat a rádiójelek terjedésében.

A hardver hatások magukban foglalják az egyes eszközök elektronikai felépítésében jelentkező különbségeket, az alkalmazott félvezetőkészletet, a használt kisugárzási teljesítményt [67], az adó- és vevőantennák karakterisztikáit [68][69], melyek nemcsak a különböző gyártók között lehetnek eltérőek, hanem azonos gyártótól származó, de különböző modellekben is eltérőek lehetnek.

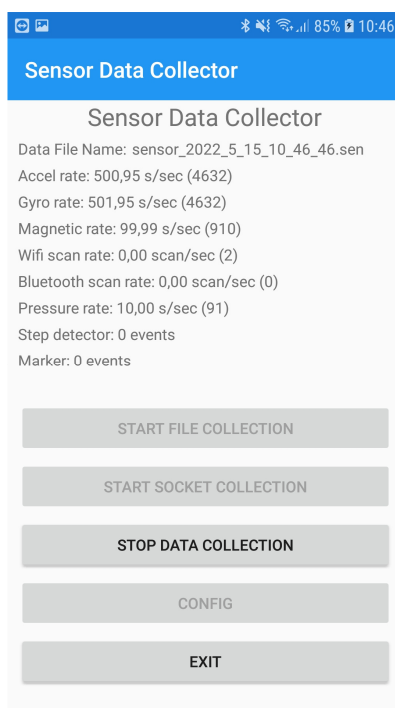
A hardveres hibák közé sorolhatók még a hardvert működtető szoftverek bizonyos tulajdonságaiból eredő mérési pontatlanságok, mint például a kvantálási hiba vagy az elérhető mérési gyakoriság [70].

Ahhoz, hogy egy használható Wi-Fi térerősség alapú beltéri helymeghatározó rendszer kifejleszthető legyen, az előzőekben felsorolt, a mérés pontosságát jelentősen befolyásoló tényezőket, ezek jellemző, várható nagyságát és a helymeghatározás pontosságára gyakorolt hatását elemezni szükséges.

A mobileszközökön keletkező térerősség adatok gyűjtéséhez, tárolásához a további feldolgozás és vizsgálat érdekében szükség volt egy mérő és adatgyűjtő alkalmazásra.

3.1.1. Szenzor adatgyűjtő program

A mérés elvégzéséhez a mobileszköz összes fontos szenzorának – beleértve a Wi-Fi és a Bluetooth rádiók vételi térerősség jeleit – rögzítésére alkalmas applikációt fejlesztettem. Az alkalmazás .NET XAMARIN fejlesztőrendszerben készült, C# nyelven. A felhasználói felülete nagyon egyszerű (10. ábra), lényegében a mérések elindítására szolgáló gombokat és a mérésekkel kapcsolatos információkat, statisztikákat jeleníti meg.



10. ábra A SensorDataCollector alkalmazás kezelői felülete

A program feladata a megadott szenzorok jeleinek gyűjtése és időbélyeggel ellátva egy fájlba mentése. Az időbélyeg szerepe az, hogy a fájl később „visszajátszásával” olyan adatok, olyan időzítésekkel állíthatók elő mintha azt valós időben mérte volna egy mobileszköz, ennek elsősorban a lokalizációs algoritmusok tesztelésekor, szimulációs környezetben van jelentősége. A támogatott szenzorok a gyorsulás, szögsebesség, mágneses térerősség (kalibrált és nyers adatként), lineáris gyorsulás (gyorsulás szenzor

értéke a nehézségi gyorsulás nélkül), orientáció, légnyomás, lépés detektor szenzorok és a Wi-Fi és Bluetooth felderítés (scan).

A program által gyűjtött adatok, különböző szempontok szerinti elemzésével a Wi-Fi mérések jellemző hibái értékelhetők voltak.

3.1.2. Kihagyott mérések

A hozzáférési pontok felderítésére szolgáló metódusok nagyon gyenge, akár -100 dBm nagyságú jelek vételét is lehetővé teszik. A tapasztalatok szerint azonban bizonyos térerő érték alatt a Wi-Fi kommunikáció és így a hozzáférési pontok felderítése is megbízhatatlan.

Annak megállapítására, hogy milyen térerősség érték felett tekinthetők megbízhatónak a Wi-Fi AP felderítés API funkciói, egy állandósult, hosszú idejű mérésre volt szükség. Az állandósult állapot azt jelenti, hogy mérés közben egyik eszköz helye sem változott, illetve semmilyen olyan külső körülmény, behatás (pl. emberi jelenlét) nem fordulhatott elő, amely a mérés kimenetelét befolyásolhatta volna.

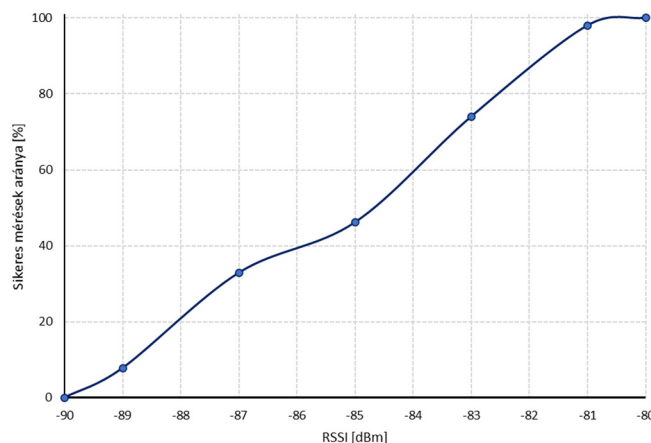
1. táblázat Wi-Fi felderítési mérések

	Összes felderítések száma	Érvényes mérések száma	Átlag RSSI	RSSI szórás σ
AP1	53786	53786	-49,2	2,9
AP2	53786	53786	-69,9	3,6
AP3	53786	53786	-70,1	3,6
AP4	53786	53786	-72,2	2,5
AP5	53786	53786	-72,2	2,5
AP6	53786	53786	-73,5	2,5
AP7	53786	53786	-73,8	2,5
AP8	53786	53786	-76,0	1,2
AP9	53786	53785	-76,0	1,1
AP10	53786	53786	-84,8	1,5
AP11	53786	53785	-84,8	1,4
AP12	53786	8068	-85,5	1,9
AP13	53786	53535	-87,7	1,6
AP14	53786	53762	-87,7	1,7
AP15	53786	108	-88,7	2,4
AP16	53786	77	-88,9	1,8
AP17	53786	43	-89,0	2,2
AP18	53786	57	-89,1	1,8
AP19	53786	26	-89,2	2,1
AP20	53786	66	-89,3	1,7

A Wi-Fi felderítési mérést 60 órán keresztül végeztem, hozzáférési pontként az épületben található minden Wi-Fi hozzáférési pontból származó adat tárolva lett, illetve külön a méréshez egy AP lett telepítve a mérőeszközök közelébe (~2 m). Térerősség mérő eszközként, többféle mobiltelefont (Samsung Galaxy S7, Nexus 5, Huawei P9, Huawei P8) és egy okosórát (Kingwear KW88) használtam fel.

A mérés során több mint 50,000 Wi-Fi felderítési (scan) adat született eszközönként, ezen mérések statisztikai adatait mutatja az 1. táblázat, a Samsung Galaxy S7 esetén. Mivel a mérések eredménye nagyon hasonló jellegzetességet mutatott minden eszköz esetében, ezért a további ábrák is csak a Samsung Galaxy S7 méréseit mutatják.

A kihagyott mérések elemzése úgy történt, hogy az egyes felderítések alkalmával érzékelt AP-k számának és a mérés során elindított, vagyis az összes felderítési művelet számának aránya került meghatározásra a mért térerősség függvényében. Az így kapott diagramot az 11. ábra mutatja.



11. ábra Sikeres mérések aránya a térerősség függvényében

A mérés eredményeként megállapítható, hogy -80 dBm alatti térerősség alatt egyre megbízhatatlanabb egy-egy AP érzékelése és -90 dBm alatt pedig gyakorlatilag már nem érzékelhetők a rádiójelek. Meg kell még jegyezni, hogy -80 dBm térerősség felett sem 100%-os megbízhatóságú egy AP érzékelése, ebben az esetben is előfordul, hogy a térerősség értékétől függetlenül, ritkán (<1%) és véletlenszerűen kimarad egy magas jelszintű AP.

A kihagyott mérésekre vonatkozó kísérlet eredménye tehát az, hogy csak azokat a Wi-Fi hozzáférési pontokat kell figyelembe venni a beltéri helymeghatározás megvalósítása során, amelyek térereje az adott helyen legalább -80 dBm és fel kell készíteni az algoritmust arra az esetre is – ha alacsony rendszerességgel ugyan – de kimaradnak hozzáférési pontok a Wi-Fi felderítési mérésekből.

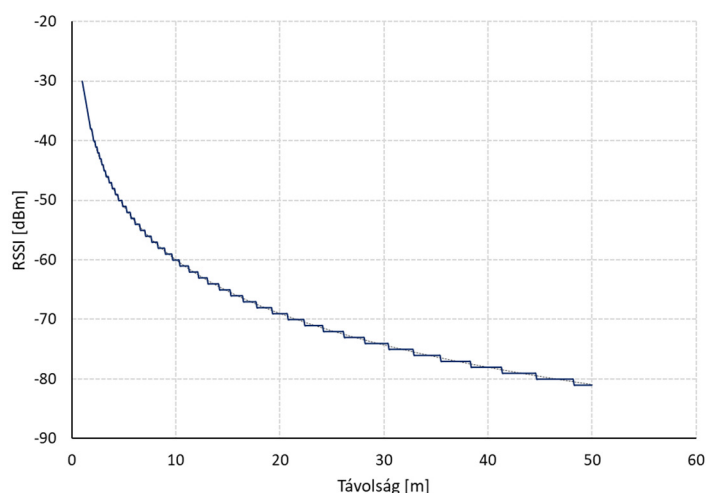
3.1.3. Térerősség mérés kvantálási hibája

A helymeghatározás eszközüül okostelefont vagy okoseszközt választva, figyelembe kell venni ezen eszközök hardver és szoftver sajátosságait. Az Android operációs

rendszert futtató eszközök lehetőséget adnak a telefon által „látható” Wi-Fi hozzáférési pontok térerősség jeleinek a lekérdezésére.

Az ehhez szükséges API dokumentációját az [54] irodalom ismerteti. A hozzáférési pontok lekérdezése a `WifiManager` osztály a `startScan()` metódusával indítható, mely bizonyos idő elteltével `SCAN_RESULTS_AVAILABLE_ACTION` eseménnyel jelzi a folyamat végét, majd a hozzáférési pontok listája a `getScanResults()` metódussal érhető el. A metódus egy `ScanResult` osztályokból álló listát (tömböt) ad vissza. A `ScanResult` osztály tartalmazza egy hozzáférési pont jellemző adatait, az SSID-t, a BSSID-t (ami lényegében az eszköz MAC címe), a használt frekvenciatartományt és az RSSI értékét. Az RSSI értékét *int* típusban, vagyis egész értékként ábrázolja. Ez azt jelenti, hogy a gyakorlatban használható lekérdezési módszer egész értékekere kerekítve, 1dBm lépésekre kvantálva szolgáltatja térerősség értékét. Mivel a helymeghatározás a térerősség értékeken alapul, ezért a térerősség értékek kvantálása azt jelenti, hogy a hely is csak bizonyos felbontással határozható meg.

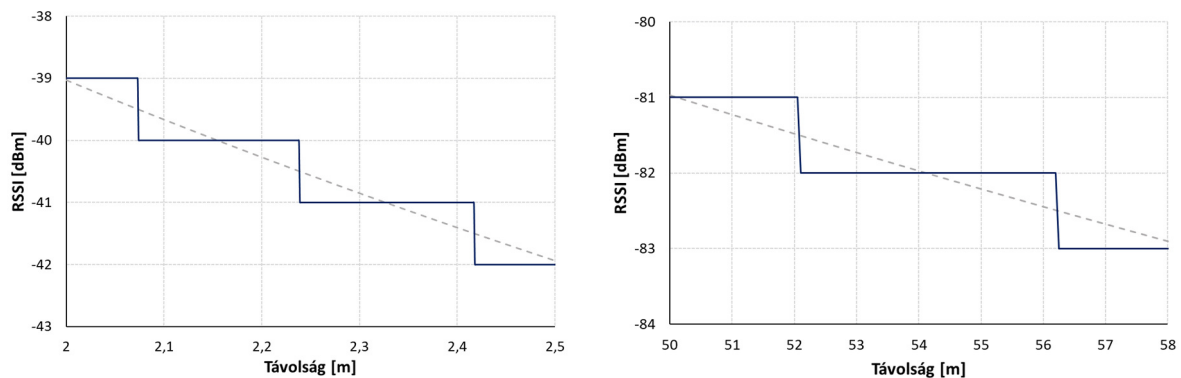
A térerősség értékének a távolságtól való függése, szabad terjedés esetén felírható a (6) segítségével, az abban foglalt – eszközöktől és környezettől függő – konstansok értéke pedig méréssel meghatározható. Ebben a mérésben a térerősség értékek méterenként kerültek rögzítésre, majd a konstansok legkisebb négyzetek módszere segítségével kerültek meghatározásra. Az eredményként kapott – egész térerősség értékekere kerekített – összefüggést 12. ábra szemlélteti.



12. ábra Kvantált RSSI érték a távolság függvényében

Az ábrán jól látható, hogy a kvantálásnak jelentős hatása van a távolság értékére, különösen alacsonyabb térerősség vagyis, a nagyobb távolságok estén. A 13. ábra az előző

görbe részleteit mutatja alacsony és magas térerősség értékek esetén. Mivel az alacsony térerősség érték is még a használható -80 dBm körül van, ezért érdemes azt is megvizsgálni, hiszen ezek az alacsony térerősség értékek is szerepet játszanak majd a helymeghatározásban. Magasabb térerősség értékeknél a kvantálás jóval kisebb helymeghatározási hibát eredményez, de ennek megértése érdekében érdemes a diagram alacsony és magas RSSI értéktartományát külön vizsgálni (13. ábra).



13. ábra Kvantálás hatása a térerősség értékeire különböző távolságokban

Ezek alapján megállapítható, hogy míg 2-3m távolságban a hozzáférési ponttól a térerősség mérés kvantáltsága csak deciméter nagyságrendű hibát okoz, addig ötven méteres távolságban már akár négy-öt méteres hibát is okozhat. Meg kell még jegyezni, hogy a diagramok szabad levegőben történő terjedés esetén érvényesek. Ha a rádiójel valamilyen csillapító anyagon (pl. fal) halad át, akkor kisebb távolságok esetén is – a gyengébb térerősség miatt – jelentős lehet a kvantálási hiba hatása.

3.1.4. Irányérzékenység

A rádióantennák általában nem egyforma érzékenységgűek minden irányból és nem kivételek ez alól az okos mobilkészülékek Wi-Fi antennái sem. Ez azt jelenti, hogy miközben a felhasználó a mobil eszközzel együtt beltérben mozog a vételi térerősség értéke nem csak az adó és a vevő közötti távolságtól és a közöttük lévő rádiófrekvenciás csillapítóanyagoktól függ, hanem a mindenkori az adó és a vevőt összekötő egyenesnek az antenna tengelyével bezárt szögétől is függ.

Az irányérzékenység vizsgálatához két mobil eszközt, egy okostelefont és egy okosórát használtam úgy, hogy egy forgóasztalra helyeztem őket, és 10°-os lépésekben körbeforgattam, miközben rögzítettem a térerősség értékeket, majd ugyan ilyen számú mérést végeztem forgatás nélkül.

Az eredményt a 2. táblázat mutatja. Mind a két mérési esetben kiszámítottam az átlagértékeket és a szórást, mivel nem elsősorban az irányérzékenység összefüggését szerettem volna vizsgálni, hanem a térerősség mérésében okozott hibát. Természetesen a mérésben több mint 20 AP szerepelt, de tekintve, hogy az eredmények hasonló jellegzetességet mutattak mindegyik AP esetén, így a táblázatban csak két jellemző AP lett kiválasztva, egy közelebbi (nagyobb térerejű) és egy távolabbi (kisebb térerejű).

2. táblázat Irányérzékenység mérése

	KW88	KW88 (forgatva)	Nexus 5	Nexus 5 (forgatva)
M [AP1]	-57,8	-52,8	-53,9	-52,6
σ [AP1]	0,9	3,4	1,2	4,2
M [AP2]	-84,9	-82,6	-80,4	-81,7
σ [AP2]	1,2	2,4	1,1	2,7

A táblázatból leolvasható, hogy szórás értékének és ezzel a térerősség mérés hibájának akár két-háromszoros megnövekedést okozhatja az antenna irányérzékenysége.

Ezt azért is fontos figyelembe venni, mert ez a hatás gyakran együtt jelentkezik az emberi test csillapító hatásával, hiszen egy kézben tartott telefon használatakor, ha helyben elfordulunk, akkor egyrészt változik a térerősség az antenna irányérzékenysége miatt, másrészt változhat azért is mert a fordulás következményeként az emberi test az adó és a vevő közé kerül, vagyis a csillapító hatása megjelenik a térerősség értékében.

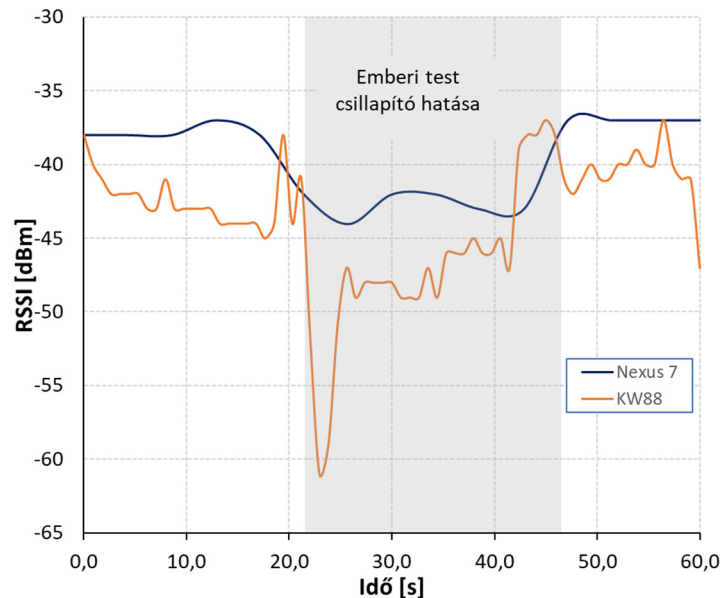
3.1.5. Ember test csillapító hatása

Beltéri, esetleg emberekkel zsúfolt környezetben számítani kell arra, hogy a mobil eszköz által érzékelt Wi-Fi rádióhullám egy vagy több személy testén áthaladva érkezik meg a vevőbe.

Az emberi test rádiójel csillapítása frekvenciafüggő, azonban – mint magas víztartalmú anyag – a Wi-Fi által használt frekvenciatartományban (2.4 GHz vagy 5 GHz) nem elhanyagolható mértékű, ahogy az ezzel kapcsolatos mérések [71] ezt mutatják, ezért az emberi test rádiójel csillapító hatását is figyelembe kell venni.

Ezzel kapcsolatban is végeztem méréseket, ezek során egy Wi-Fi hozzáférési pont közelében (~2 m) elhelyezett mobiltelefon és egy okosóra által mért térerősségértékeket folyamatosan regisztráltam a két eszköz közötti emberi jelenléttel, illetve anélkül. A mérés eredményét a 14. ábra szemlélteti. Meg kell azonban jegyezni, hogy a diagramon a két görbe vízszintes felbontása nem egyforma, míg a mobiltelefon viszonylag ritkán,

0.25 mérés/s gyakorisággal tudott adatot gyűjteni, addig az okosóra gyakrabban, 1 mérés/s gyakorisággal, így az óra méréseinek vízszintes felbontása négyszer nagyobb.



14. ábra Emberi test csillapító hatása a térerősség értékére

A mérés alapján megállapítható, hogy az emberi test csillapítása az adott mérési elrendezésben 8-10 dBm nagyságú, vagyis ezt a hatását nem célszerű figyelmen kívül hagyni. Még akkor sem, ha általában a Wi-Fi hozzáférési pontokat fej felett, magasan alakítják ki, mert navigáció közben a felhasználó általában kézben tartja a telefont, vagyis a saját testének csillapítása biztosan érvényesülni fog. Ráadásul az, hogy a felhasználó milyen irányban áll, vagyis mely irányból érkező AP-k jeleit csillapítja, együttesen jelentkezik a telefon irányérzékenységének hibájával.

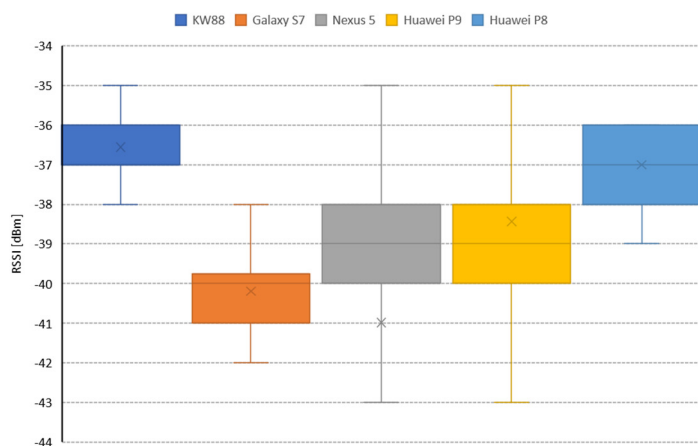
3.1.6. Okoseszközök közötti hardver különbségek

Az egyes okoskészülékek, mobiltelefonok és órák hardver kialakítása között természetesen számos különbség van, ezek egy része a Wi-Fi vételi jellemzőire is hatással lehet, mint például az antenna típusa, elhelyezése és a vevőáramkörök kialakítása.

Ezért megvizsgáltam azt is, hogy az egyes készülékek, ugyanolyan feltételek mellett (azonos távolságban, azonos AP-tól) milyen térerősség értékeket mérnek. A méréshez többféle mobiltelefont és egy okosórát használtam fel. A mérés eredményét a 15. ábra mutatja.

Az ábra csak egy, közeli AP jelének értékeit mutatja, de a többi AP esetében is hasonló jellemzők voltak mérhetők. A legfontosabb különbség, hogy a középértékekben 5 dBm különbség is lehet, de a szórásban is láthatók akár kétszeres mértékű eltérések is.

Ha a középértékek eltéréséből adódó hibákat távolságra számítjuk át (6) képlet segítségével, akkor az okozott távolságmérési hiba ~ 0.5 m-re adódik, ami még elfogadható érték, de természetesen távolabbi AP-k érzékelése esetén ez nagyobb mértékű hibát okozhat.



15. ábra Készülékek közötti különbségek

Összességében megállapítható, hogy az egyes készülékek közötti különbségek bár okoznak hibát, de a többi mérési hiba hatása sokkal nagyobb jelentőségű a beltéri helymeghatározás szempontjából.

3.1.7. Következtések

Az elvégzett mérésekből és a gyűjtött adatok elemzésének eredményeképpen megfogalmazható a Wi-Fi térerősség alapú helymeghatározással kapcsolatos néhány alapkövetelmény:

- Az irányérzékenységet és az emberi test csillapító hatását célszerű figyelembe venni. Ezért a térerősség térkép elkészítésénél több irányból is érdemes méréseket készíteni.
- A térerősség mérés kvantáltsága miatt nem célszerű sűrűn felvenni a térerősségtérképet, mert az egyéb mérési hibák nagyobb változásokat okoznak az RSSI értékben, mint maga a mérési pozíció.
- A készülékek közötti hardver különbségekből adódó eltéréseket nem kell külön kezelni, ezek elhanyagolhatók a többi hibához képest.
- Az alacsony RSSI értékű hozzáférési pontokat nem érdemes figyelembe venni, mert -80 dBm alatt nem megbízható az érzékelésük. A helymeghatározáshoz olyan robosztus algoritmust kell készíteni, amely

képes kezelni egy-egy AP adatainak időszakos hiányát és azt képes kihagyni a számításból.

- Olyan helymeghatározási algoritmust érdemes használni, mely nemcsak az aktuálisan mért adatokat használja fel, hanem a korábbi méréseket is, így minden pozícióbecslés több mérésen alapul és az aktuális pozíció időbeli iteráció eredményeképpen alakul ki.

3.2. A HELYMEGHATÁROZÁSI ADATBÁZIS

A Wi-Fi térerősség alapú helymeghatározásnál, amelynek egyik fontos módszere a mintaillesztés, szükség van egy térerősség térképre, amelyen az aktuális térerősség méréshez legközelebb álló mintázat megkereshető. Ezt a helymeghatározás offline, vagyis előkészítő lépésében kell létrehozni, meg kell mérni a helymeghatározásban érintett alapterületen a térerősség eloszlását, az egyes helyeken mérhető térerősség értékeket („fingerprinting”).

A mért értékeket valamilyen célszerűen kialakított tárolási formában az infostruktúra („infostructure”) adatbázisban tároljuk. A térerősség értékek mellett célszerű minden térképi adatot is ebben az adatbázisban tárolni, így azok is mindig rendelkezésre állnak, a térképi adatok a megjelenítés és útvonaltervezés mellett például a felhasználhatók akár a helymeghatározás pontosságának javítására (geometriai kényszerek).

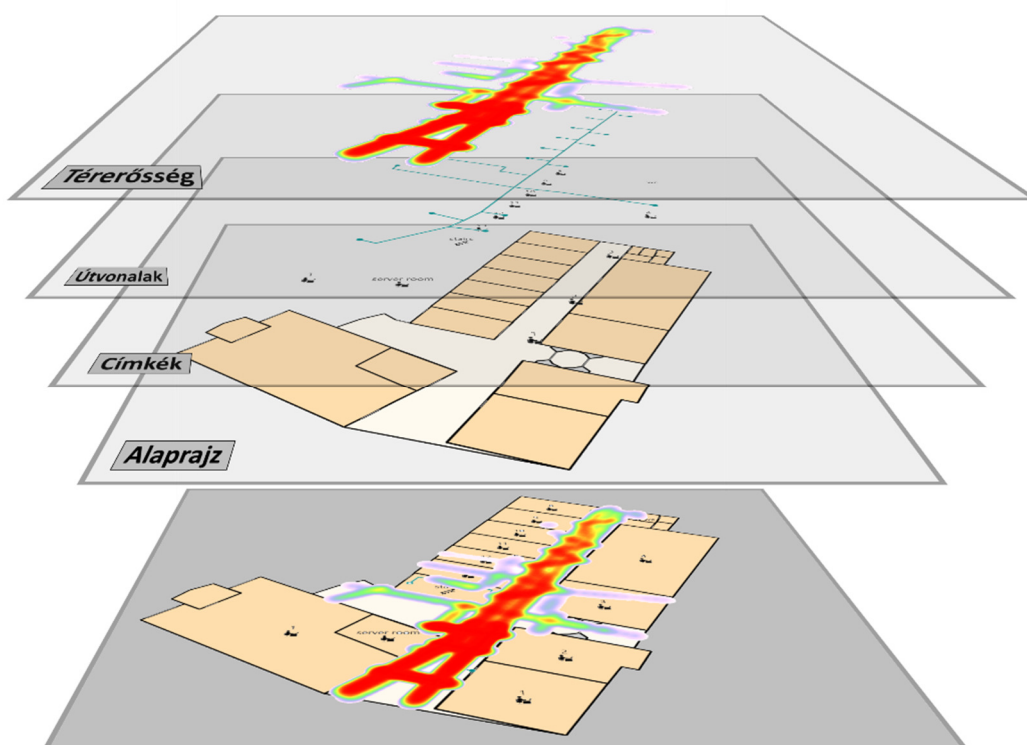
3.2.1. Helymeghatározási adatbázis felépítése

A navigációhoz és lokalizációhoz szükséges összes adat az infostruktúra adatbázisban tárolódik. Az adatbázis egy épület adatait tartalmazza és tárolását tekintve egyetlen fájl, így majd a helymeghatározás első lépéseként az épületet kell meghatározni és ez után előkereshető az épület adatait tartalmazó fájl, illetve navigációs útvonaltervezésnél is első lépésként az épületet kell kiválasztani, majd az adott épületen belül már tervezhető útvonal.

Az adatbázis tartalmazza az épület befoglaló téglalapjának WGS84 koordinátáit, ezt követően minden, az épületen belüli koordináta ezen befoglaló téglalap bal alsó sarkától, mint origótól, egy derékszögű koordináta-rendszerben értelmezendő. A koordináták méterben vannak megadva, mert így a kiterjedés és távolságszámítások egyszerűbben elvégezhetők és a koordináták tárolásához nem szükséges nagy pontosságú lebegőpontos ábrázolás (double), elég az egyszeres pontosságú (single) is.

A helymeghatározási adatokat tartalmazó fájl további részekre bontható. Minden épület logikailag emeletekre van osztva és minden az infostruktúra adatbázisban tárolt adat egy adott emelethez van rendelve. Az infostruktúra fájl tárolja az emeletek számát, az emeletek sorrendjét és elnevezését is. Az emeletekre való bontás következménye, hogy a helymeghatározási algoritmus második lépésének az emelet meghatározásának kell lennie és ezután tudja az algoritmus előkészíteni azokat az adatokat, amelyek az emeleten belüli tényleges koordináták meghatározásához szükségesek.

Az egy emelethez tartozó adatok tovább strukturálódnak, több egymásra épülő rétegből épülnek fel, a rétegek felépítését a 16. ábra mutatja.



16. ábra A helymeghatározási adatbázis rétegei

Alaprajzi réteg: Az alaprajzi réteg az adott emelet geometriai kialakításával kapcsolatos adatokat tartalmazza. Ebben tárolódik az épület geometriája, falai, helyiségei, folyosói stb. vektoros tárolási formában.

A vektoros térképi adattárolás, kiegészítve a különböző geometriai objektumokhoz rendelt tulajdonságok tárolásával egy rendkívül rugalmas geoinformációs adatbázist tud nyújtani. Ilyen vektoros alaprajzok kezelésére alkalmas rendszer nyílt forrású alapon is elérhető, mint például az Open Street Map (OSM) [72]. Az OSM alapvetően kültéri

térképi információk tárolására hozták létre, de az utóbbi évek fejlesztéseinek köszönhetően egyre több és egy jobban használható beltéri térképeket támogató funkció jelent meg benne.

A formátuma nagyon egyszerű, alapvetően kétféle geometriai elemet támogat a csomópontot („node”), melyek WGS84 (földrajzi szélesség, hosszúság) koordinátarendszerben megadott földrajzi helyeket azonosítanak és az ezekre építhető nyitott vagy zárt, irányított poligont („way”).

Az infrastruktúra adatok ezen része, vagyis az épületek alaprajzának geometriája bármilyen Open Street Map kompatibilis szerkesztő eszközzel (pl. JOSM [73]) létrehozható. Az így elkészített alaprajzok később kiexportálhatók a szerkesztő alkalmazásból az OSM által használt XML formátumba a további feldolgozás érdekében.

Ez a réteg felelős tehát lényegében a térkép vizuális megjelenítéséért, illetve minden helytől függő információhoz ezen a rétegen keresztül kapcsolódnak a pontos koordináták. Az így megadott csomópontokat és poligonokat lehetőségünk van tetszőleges kiegészítő tulajdonságokkal ellátni, erre a címke réteg szolgál.

Címke réteg: Az címke rétegen kerülnek elhelyezésre az objektumokhoz rendelhető tulajdonságok („tag”), melyek kulcs-érték párok segítségével tárolódnak, ahol a kulcsok és az értékek is tetszőleges szövegek lehetnek. Kompatibilitási okokból azonban érdemes az ajánlott beltéri címkézési formátumot követni, vagyis az OSM „Simple Indoor Tagging” [74] sémát használni. Ez a séma a legtöbb, fontos, beltéri címke kulcsával és az ahhoz tartozó lehetséges értékekkel kapcsolatban ad ajánlásokat.

A címkék a poligonokhoz és a csomópontokhoz is rendelhetőek, így lehetőségünk van pontszerű helyek megjelölésére is a térképen, illetve így válik lehetővé, hogy egy poligon szerepét megadjuk, hiszen az lehet például egy helység falainak alaprajza, de lehet egy ajtó vagy ablak is.

Az egyik legfontosabb attribútuma bármely beltéri objektumnak a szint (emelet) neve, ahol az adott objektum található. Ezt a „level” kulccsal adhatjuk meg (például: level=földszint vagy level=-1). Így az adott objektum szélesség és hosszúság koordinátái mellett az emelet is megjelenik, mint az épületen belüli pozíció leírásához szükséges teljes 3D-s koordináta rendszer elemeinek a harmadik összetevője.

Természetesen az egyes geometriai objektumok (általában a poligonok) további címkéket is kaphatnak, ezzel jelölve az adott objektum szemantikai jelentését, funkcióját ahogy ez a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat Geometriai objektumok típusai

Kulcs	Érték	Jelentés
name	Előtér	Az objektum neve
ref	11	Objektum hivatkozási száma
indoor	room area wall corridor door	Falakkal határolt szoba Terület melyet nem falak határolnak Fal vagy falrész Folyosó Ajtó
door	hinged sliding revolving	Szárnyas ajtó, Csúszó ajtó, Forgó ajtó
highway	steps	Lépcső
step_count	10	Lépcsőfokok száma

Megadható egy poligonnal határolt helység típusa (pl. `indoor=room`), illetve ezen címkék mellett lehetőség van az adott helységek nevét is hozzárendelni az objektumokhoz (pl. `name=Tárgyaló`) vagy egy egyedi azonosítót, mondjuk szobaszámot (pl. `ref=104`).

Bizonyos elemeknél további tulajdonságok megadása is szükséges lehet. Ilyen lehet például ajtók esetén azok típusa (nyíló, kétszárnyú, elcsúszó, forgó vagy automata/manuális), a hozzáférés lehetőségei (privát, ajtó szélessége, kerekesszékes áthaladás lehetősége). Lépcsők esetén a lépcsőfokok száma, a kapaszkodó helyzete (bal, jobb oldal, középen), a lépcső iránya (emelkedő, ereszkedő). Ezek a címkék hasznosak a felhasználók számára is, de fontos információkat nyújtanak útvonaltervező modul számára is.

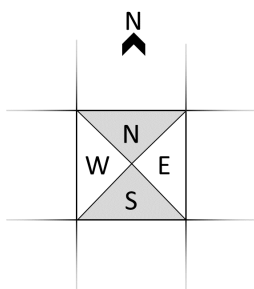
Útvonal réteg: Az alaprajzi rétegen meghatározott geometriai információk az esetek többségében elegendőek a térképen történő útvonaltervezéshez, azonban például a vakok és gyengénlátók számára az útvonaltervezés bonyolultabb feladat, mint a látók számára. Általában az útvonaltervezők bizonyos tekintetben az optimális útvonalat keresik, de esetünkben a legfontosabb optimalizálási cél a legbiztonságosabb útvonal megtalálása. A legbiztonságosabb nem feltétlenül ugyanaz, mint a legrövidebb. Az útvonalon kerülni kell az akadályokkal sűrűn borított területeket, korlátozottan megközelíthető és átjárható objektumokat (pl. forgóajtók, mozgólépcsők vakok számára nehezen használhatók).

Ezért azt a megoldást választottam, hogy az infostruktúrának tartalmaznia kell minden lehetséges, biztonságos útvonalszakaszt a térképen, így az útvonaltervező csak az előre meghatározott, lehetséges útvonalak közül választ. Az útvonalréteg OSM térképi

szerkesztő segítségével is létrehozható, nyitott poligonként, gyalogút címkézéssel. Egy útvonalszakasz tetszőleges tulajdonsága definiálható címkékkel, de a tulajdonságok többsége automatikusan kinyerhető az összekötő térképi objektumok (pl. helyiségek), vagy az útvonalat keresztező, áthaladó objektumok (ajtók, mozgólépcsők) címkéiből. Minden útvonalszakasznak van iránya (az OSM az útvonalakat irányított gráfként tárolja). Ily módon egy útvonal szegmens csak egyirányú lehet (pl. mozgólépcső vagy mozgó járda) és így lehetővé teszi az irányérzékeny címkék használatát is, hiszen egy lépcső korlátja a lépcső aljáról és tetejéről nézve az ellentétes oldalra esik. Szintén címkézhető, ha az adott útvonal irányfüggetlen, mint például egy folyósó.

Térerősségi réteg: A térerősségi réteg feladata a helymeghatározási algoritmus számára a helytől függő, mérhető tulajdonságok szolgáltatása. Ennek megfelelően tartalmazza a térkép egyes kijelölt pontjain mérhető Wi-Fi térerősség értékeket, illetve ezen túl tartalmazza a mért Bluetooth térerősség és a Föld mágneses térerősség értékeket is. Bár ez utóbbi két érték kisebb jelentőséggel bír, mert a helymeghatározás jelenleg nem használja őket.

A mérések diszkrét pozíciókban történnek, az adatbázisban minden pozíciónak eltárolásra kerül a koordinátája és a mérés iránya is. A mérés iránya azért fontos paraméter, mert az előzőekben említett irányérzékenységből adódó hiba csökkentéséhez fel lehet használni. Ennek megfelelően az irányt nem szükséges pontosan a földrajzi értelemben az északi iránnyal bezárt szögeként tárolni, hanem egyszerűsíteni lehet, kvadránsokként tárolni (17. ábra).



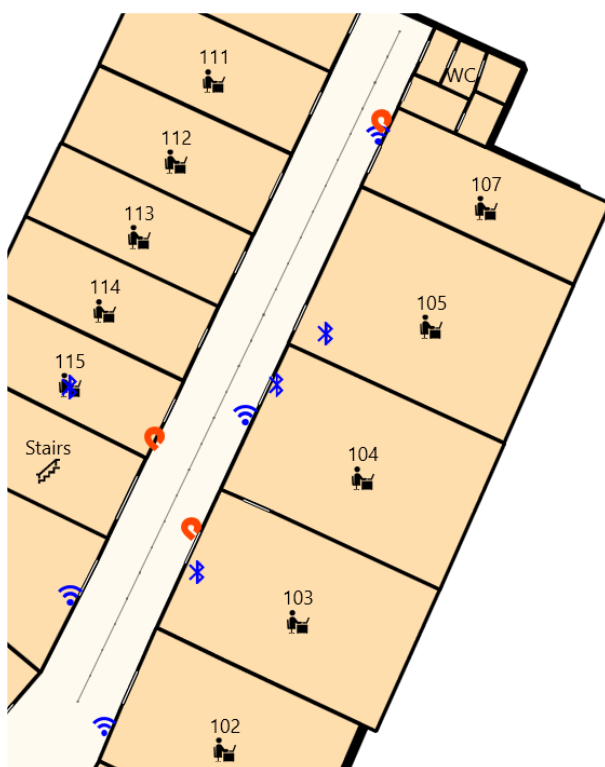
17. ábra Mérési irány kvadránsai

Ez azt jelenti, hogy minden mérés az iránya alapján kvadránsokba van sorolva, például, ha a mérés -45° és $+45^\circ$ között van az északi irányhoz képest, akkor az az érték az északi kvadránsba lesz besorolva, értelemszerűen a további kvadránsok hasonló módon megválasztott 90° -os tartományokból állnak. Ennek az egyszerűsítésnek több oka

is van, egyrészt nagyon munkaigényes lenne sokféle szögállásnál elvégezni a méréseket, másrészt az irányérzékenység lényeges csökkentéséhez elég a szögtartomány négy részre (kvadránsokra) felbontása, mivel ebből már következtetni lehet arra, hogy milyen hozzáférési pontokat takar ki a felhasználó a testével, illetve az antenna milyen érzékenységi tartományú irányból veszi a beérkező jeleket.

Ahhoz, hogy a méréseket el lehessen végezni, minden egyes mérési pozíciónak azonosítani kell a koordinátáit, ami általában nem egyértelmű feladat. Erre a leggyakrabban használt megoldás, hogy rácspontokban végzik el a méréseket, a rácspontok helye pedig valamilyen jelöléssel beazonosítható a mérés során. Ilyen megoldást ismertet a [75][76][77][78] irodalom.

A mérések elvégzése így sokszor roppant időigényes feladat. Ezért kidolgoztam egy, a gyakorlatban is használható módszert, amely a térerősségmérés hibáit is figyelembe veszi, vagyis elfogadható pontosságot nyújt, de mégis gyorsan, kis erőfeszítéssel megvalósítható.



18. ábra Térerősség mérési útvonal

A módszer lényegi elemeit a 18. ábra szemlélteti. A felhasználó kiválaszt egy útvonalat (az ábrán szürke egyenessel jelölve a folyosó közepén), melynek lehetőleg a kezdő és végpontja valamilyen a térképen és a valóságban is jól beazonosítható helyen van, majd a kezdőpontból a végpontba sétál úgy, hogy minden egyes lépésnél megáll és

elvégezni a mérést. Így a mérési útvonalat lépések (mérések) számának megfelelő darabszámú szakaszra felosztva hozzávetőlegesen, de a térerősség mérés hibáihoz képest elhanyagolható eltéréssel meghatározható minden mérési pont helye, kiszámítható a térképi koordinátája (az ábrán a mérési útvonalon szürke pontokkal jelölve).

Azért, hogy a fontosabb irányokból is el legyen végezve a mérés a mérési útvonal végpontját elérve, fordított irányban is végig kell menni az útvonalon és újra elvégezni minden lépés után a méréseket. Ennek eredményeképpen egy olyan mérési adathalmaz áll össze, amely a térképen elfogadhatóan pontosan meghatározott helyeken legalább két irányból (a főbb közlekedési irányokból) elvégzett méréseket tartalmazza.

A mérés koordinálásáról egy általam, erre a célra kifejlesztett alkalmazás gondoskodik.

3.2.2. Térerősség értékek mérése

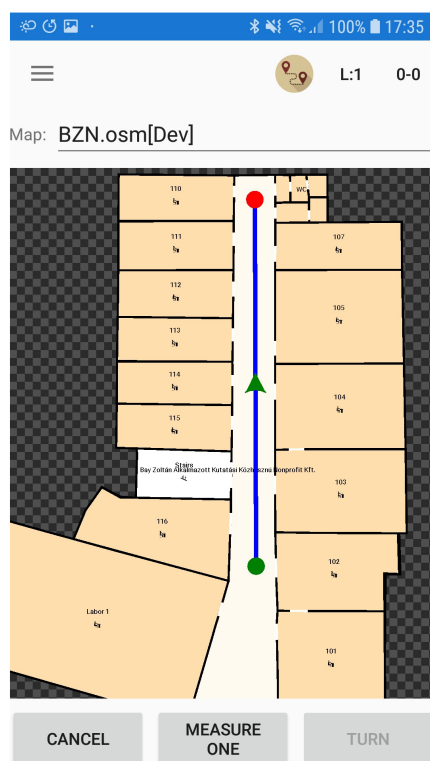
A térerősség adatokat manuálisan kell gyűjteni egy ehhez a projekthez kifejlesztett mobiltelefonos alkalmazással. Az adatgyűjtés legnagyobb nehézségét az jelenti, hogy külső eszköz vagy marker nélkül pontosan meghatározzuk azt a helyet, ahol a tényleges mérés történik. Ennek érdekében az alkalmazás betölti az adott emelet OSM formátumú alaprajzát, és a felhasználó kiválaszthat egy egyenest annak kezdő- és végpontjának megadásával. A mérés mindig ezen az egyenes út mentén történik, vagyis a mérést végző személynek ezt az útvonalat kell követnie. Az útvonal elejét és végét úgy célszerű megválasztani, hogy az a térképi bejelölés után a valóságban is könnyen beazonosítható legyen, például jellegzetes beltéri objektumok közelében, mint ajtó, sarok vagy lépcső.

A mérési útvonal kiválasztása után a mérést végző személynek végig kell sétálnia a mérési útvonalon úgy, hogy minden lépés után megáll és elindítja az alkalmazás mérési funkcióját. Az adatgyűjtés során a mobiltelefon érzékelői által (Wi-Fi térerősség, Bluetooth térerősség és mágneses térerősség) mért értékek tárolásra kerülnek. Az út végpontjához érve az adatgyűjtés a fordított irányba haladva is újra megtörténik azért, hogy az irányérzékenység hatása később majd csökkenthető legyen. Ennek érdekében a mérési adatok mindig a mérés irányával együtt tárolódnak el.

A mérés befejezésre után az alkalmazás számítja ki az egyes mérési pontok koordinátáit úgy, hogy a mérés útvonalán egymástól egyenlő távolságra annyi pontot jelöl ki ahány lépés megtételére volt szükség az útvonal bejárásához. Így minden egyes mérési pont koordinátája meghatározható, a mérést végző személynek csak arra kell figyelnie,

hogy lehetőleg mindig egyforma nagyságú lépéseket tegyen meg, de az nem nagy hibával könnyen betartható.

A mérést végző alkalmazás képernyőképét a 19. ábra mutatja. A mérési útvonalat egy kék egyenes jelzi, a mérés kezdőpontját és végpontját zöld és piros körök, a mérés aktuális irányát pedig egy zöld nyíl jelzi. Jól látható, hogy a mérési útvonal úgy lett kiválasztva, hogy az eleje és a vége is egy-egy jól beazonosítható beltéri tereptárgyhoz kapcsolódjon, jelen példában ezek a pontok a szobák számozása alapján a jól beazonosítható ajtók előtt vannak.



19. ábra Térérősség mérő alkalmazás

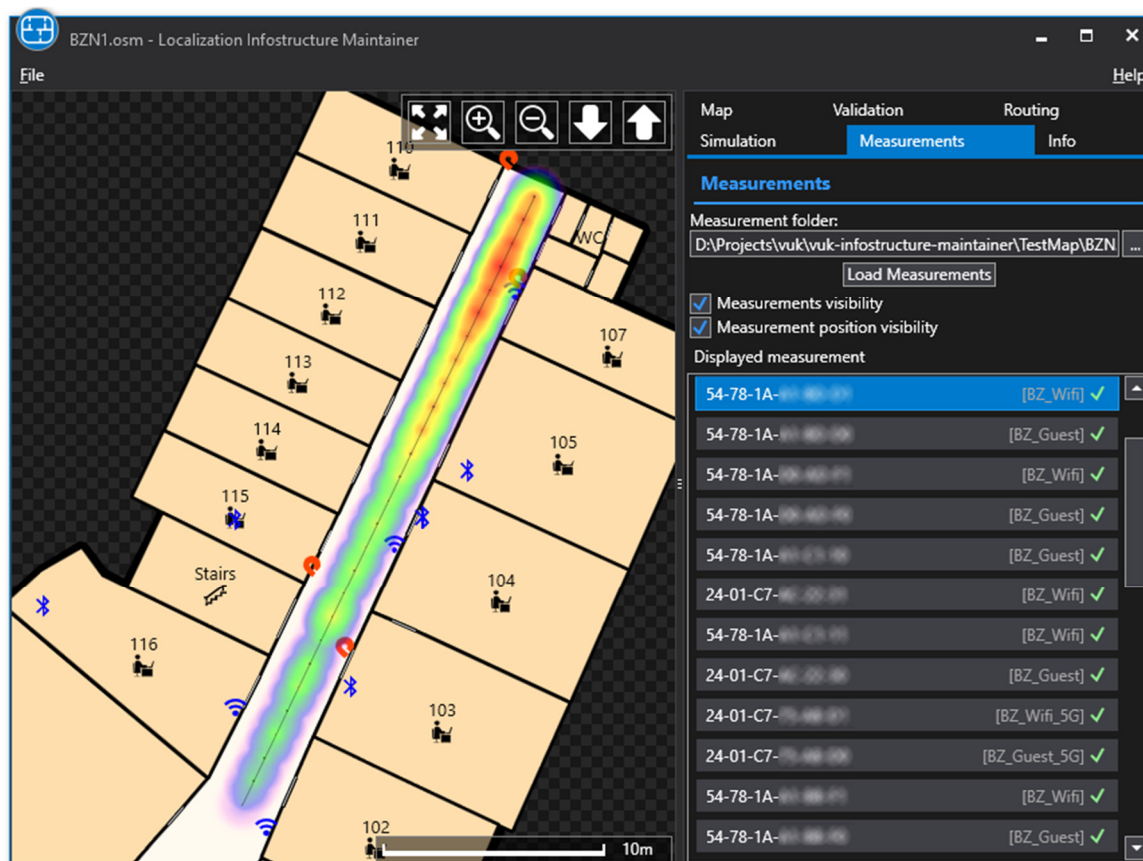
Az egy egyeneshez tartozó mérések mindegyike egy XML fájlba kerül elmentésre további feldolgozás céljából. A mérés elvégzése után a térképi és helyfüggő mérési adatokat tartalmazó fájlok egy közös infostuktúra adatbázisban kerülnek tárolására, melynek létrehozására egy másik alkalmazás szolgál.

3.2.3. Lokalizációs adatbázis létrehozása

A térképek elkészítése és az összes mérés elvégzése után a térképi és mérési adatok egy másik szoftvereszközben, a „Localization Infostructure Maintainer”-ben megjeleníthetők, ellenőrizhetők és segítségével összeállítható a teljes helymeghatározási

adatbázis tartalma, majd elmenthető fájlba vagy feltölthető a megfelelő helymeghatározási szerverre.

Az alkalmazást .NET WPF rendszerben, C# nyelven fejlesztettem, Windows operációsrendszer alá. A szoftver képes betölteni az alaprajzot az OSM szerkesztője által létrehozott XML fájlból, valamint miután megadtuk a mérési adatokat tartalmazó könyvtár nevét, be tudja tölteni az összes, mérési adatot tartalmazó XML fájlt. A program képernyőképét a 20. ábra mutatja.



20. ábra Localization Infostructure Maintainer alkalmazás képernyőképe

A program megjeleníti a térkép összes rétegét beleértve a térerősség méréseket, amelyeket hő térkép formájában mutat meg. A programban lehetőség van az egyes objektumok címkéinek, tulajdonságainak a megtekintésére, illetve az útvonalak vizsgálatára és útvonal tervezésre is. Ezekkel a funkciókkal ellenőrizhető az elkészítendő adatbázis tartalma, az adatok helyessége.

Amennyiben a térkép és az adatok ellenőrzése során minden rendben van, a program elkészíti az épülethez tartozó, minden adatot tartalmazó helymeghatározási adatbázist, majd az tetszés szerint elmenthető egy bináris fájlként vagy feltölthető a helymeghatározási szerverre.

3.3. TÉZIS I.

Meghatároztam azon adatok körét, amelyek szükségesek a beltéri navigáció és helymeghatározás algoritmusai számára. Helymeghatározás szempontjából az adattartalom elsősorban a Wi-Fi térerősség alapú módszerekre van optimalizálva, figyelembe véve a térerősség mérés jellemző hibaforrásait, melyeket mérésekkel is elemeztem. Ezen kívül felhasználok még az alaprajz geometriai információit is, melyek nemcsak a megjelenítésben és útvonaltervezésben használhatók, hanem a helymeghatározás algoritmusában is, mint hibát csökkentő információ.

Kidolgoztam egy mérési módszert, amely segítségével a térerősség mérés hatékonyan elvégezhető úgy, hogy közben a módszer figyelembe veszi a térerősség mérés pontatlanságait, illetve azokat mérsékelni igyekszik és a mérés helye is elfogadható pontossággal rekonstruálható jelölések vagy járulékos pozíció mérések nélkül.

3.4. ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

A szakirodalomban található cikkek jelentős része egy rácson helyezi el a mérési pontokat. Ezek a rácsok általában a térerősség mérési hibák alapján indokolatlanul sűrűn vannak megválasztva, ezzel rendkívül megnehezítve a mérési tevékenységet, illetve az alapterületen egyenletesen osztással felvitt rácspontok sok felesleges mérési pontot eredményeznek. A mérések irányát sem tárolják és a mérést sem végzik el több irányban, noha a térerősség mérés hibáinak fontos összetevője az irányérzékenység. A rácspontok – vagyis a mérés helyének meghatározására – sem található a gyakorlatban is jól használható megoldás. Általában a mérendő területen valamilyen jelölések segítségével azonosítják a rácspontok helyét, de a jelölések elhelyezése és fenntartása munkaigényes feladat, illetve a mérések elvégzése során is folyamatosan figyelni kell a rácspont helyek pontos megtartására.

Az általam kidolgozott megoldás csak az alaprajz elektronikus változatát igényli, semmilyen egyéb jelölés vagy más helymeghatározási módszer párhuzamos használatára nincs szükség, ezzel lényegesen egyszerűsíti és gyorsítja a térerősség adatok összegyűjtését.

3.5. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[s2], [s3], [s4], [s6], [s7], [s8], [s9]

4. HELYMEGHATÁROZÁS OKOSÓRÁVAL

"Computers in the future may weigh no more than one-and-a-half tonnes."
Popular Mechanics, 1949

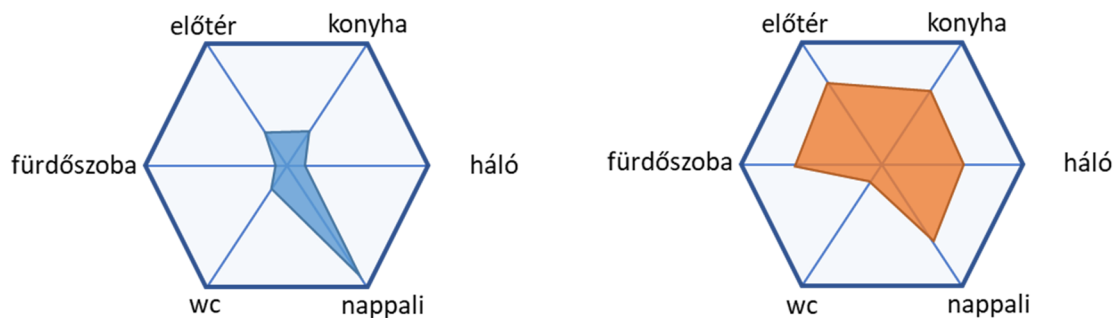
Az utóbbi évtizedekben a lakosság átlagéletkora folyamatosan tolódik az idősebb kor felé. Emellett a fiatalabb lakosság magas mobilitása, sokszor másik városba, országba történő elvándorlása miatt az idősek családjuk, közvetlen hozzátartozójuk vagyis informális gondozóik nélkül maradhatnak. Így az idősekről való gondoskodás egyre nagyobb terhet ró a társadalomra, ezért hasznos minden olyan támogatás, amely ebben helyzetben is meghosszabbítja az idősek önálló életvitelének időtartamát és csökkentheti a formális gondozási szolgáltatások (gondozó, idősotthon) igénybevételének szükségességét. Ehhez egyszerű, sokak által megfizethető informatikai eszközöket célszerű felhasználni. Ezen eszközök beszerzésével, a családtagok távolról is biztosak lehetnek abban, hogy szerettük biztonságban van, illetve a formális gondozók ezen eszközök segítségével több páciens tudnak ellátni, hiszen a felügyeleti munka egy részét az informatikai rendszer automatizált elemei elvégzik.

Az idősek még egyes krónikus betegségekkel, például enyhe demenciával, enyhe Alzheimer korrall is folytathatják önálló életüket, de egészségi, fizikai, mentális állapotuk valamilyen monitorozása szükséges ahhoz, hogy családjuk vagy gondozóik biztosak lehessenek afelől, hogy az idős, gondozott ember jól van. Ebben a helyzetben a mobiltechnológia legújabb fejlesztései segíthetik az idősek monitorozását, egészségi állapotuk, pszichés állapotuk hirtelen megváltozása esetén pedig a felügyeleti rendszer vészjelzést küldhet a gondozóknak.

Az idősek hatékony megfigyeléséhez több érzékelőre van szükség. Célszerű figyelni a pulzusukat, aktivitásukat, beltéri és kültéri helyzetüket és észlelni az olyan vészhelyzeteket, mint például az esés vagy az időskori elköborlás. Figyelembe véve az idős felhasználókat, kizárólag egyszerűen és könnyen használható, viselhető szenzorok használata célszerű. Az egyik legkézenfekvőbb, szenzorként is használható eszköz az okosóra, mivel az idősek általában hozzászoktak az óra viseléséhez, ezért ez az egyik legelfogadottabb eszköz a lehetséges szenzorok között, és egy korszerű okosóra nagyon sok olyan funkcióval rendelkezik, amely az egészségi állapot figyeléséhez szükséges.

Egyrészt rendelkeznek pulzusmérésre alkalmas szenzorral, mely fontos egészségügyi paraméter, gyorsulásmérővel, amelyből a mozgásra vagy akár az elesésre vonatkozó jelek is kinyerhetők, illetve rendelkezhetnek kültéri helymeghatározásra alkalmas GPS vevővel is, amivel a kültéri mozgáskövetés és „geofencing” (virtuális kerítés) is megvalósítható. Mozgásminta vagy tevékenység felismeréssel és beltéri helymeghatározással előre jelezhető az időskorúak elkóborlása vagy bármilyen olyan a viselkedésükben, hangulatukban bekövetkező változás, amely állapotuk romlását jelezheti, vagy legalábbis a gondozók fokozott figyelmét, esetleg beavatkozását teszi szükségessé.

Az időskori elkóborlás komoly probléma, a demencia vagy Alzheimer kór egyik sajnálatos velejárója, ami azt jelenti, hogy a betegségben szenvedő nem tudatosan hagyja el a lakását, így sokszor eltéved, nem tudja hol van és főleg nem tudja hogyan is juthatna haza. Ez az elkóborlás általában nem hirtelen bekövetkező viselkedés változás, hanem vannak előjelei. Az idős ember mozgásmintája, az egyes helységeken eltöltött idő megváltozik, az eddigi rendszeres, az életvitelnek megfelelő időtartamok helyett, sokkal véletlenszerűbb, az eddigi mintáktól eltérő viselkedés figyelhető meg, ahogy ezt [79] irodalom ismerteti. A lakás egyes helységeiben töltött, ébrenléti időt ábrázolhatjuk egy diagramon is (21. ábra).



21. ábra Normál aktivitás (balra), elkóborlás előtti aktivitás (jobbra)

A diagramon az egyes helységek láthatók a sokszög csúcsainál és az adott helységben töltött idő pedig arányos sokszög középpontja és a csúcs közötti távolsággal, vagyis minél több időt tölt valaki az adott helységben, a csúcshoz annál közelebb lesz a diagram értéke. Ha a diagramra így felrajzolt pontokat sorban összekötjük, akkor egy poligont kapunk, melynek alakja és területe jellemző az idős ember viselkedésére. A viselkedés megváltozásával pedig akár az elkóborlás is előre jelezhető. Az ábra két feltételezett viselkedési formát mutat, a bal oldali része az ábrának megfelel a páciens

normál viselkedésének, vagyis szokásos napi aktivitásának. A jobb oldali diagram az ábrán egy lehetséges megváltozott viselkedésformát mutat, amely utalhat az elköborlás előtti közvetlen viselkedési állapotra.

Ahhoz, hogy ezt a megváltozott viselkedést érzékelni tudjuk, szükség van beltéri helymeghatározásra, mégpedig olyanra, amely az adott személy tartózkodási helyét képes legalább szoba pontossággal, valós időben, megfelelő gyakorisággal meghatározni. Ezt az algoritmust pedig célszerű egy viselhető szenzor, vagyis egy okosóra segítségével megvalósítani, lehetőség szerint minél kevesebb kiegészítő hardver felhasználásával, illetve minimális (az idős ember lakását érintő) telepítési munkával.

A beltéri pozíció meghatározása hasznos kiegészítő információ lehet még elesés érzékelés esetén is, különösen nagyobb épületekben vagy idősök otthonában. Ez utóbbi esetben a pontos pozíció ismerete segíthet abban, hogy az bajba jutott, elesett, esetleg rosszul lett idős embert minél hamarabb megtalálják, a segítség minél gyorsabban eljusson hozzá.

Így az okosórára, mint viselhető szenzorra alapozva egy olyan komplett idősgondozási, felügyeleti rendszer építhető mely elsősorban a demencia korai stádiumában több felügyeleti feladatot automatizál, átvesz a gondozóktól és mind a formális, mind az informális gondozóik számára nagy segítséget és biztonságot nyújt.

4.1. AZ IDŐSGONDOZÁSI RENDSZER

A kialakítandó idősgondozási rendszernek több funkcióval kell rendelkeznie. Folyamatosan képesnek kell lennie nyomon követni egy idős ember alapvető egészségi állapotát, pulzusszám, aktivitás, lépésszám mérésével. Időskorban az elesés komoly veszélyhelyzet, így azt is képesnek kell lennie érzékelnie, az elesés helyének kültéren és beltérben történő meghatározásával. A demencia korai stádiumában élő idősök számára kültéri virtuális kerítést (geofence), valamint a beltéri helymeghatározáson alapuló elköborlás előrejelzést is biztosít. Minden mért adatot a rendszer folyamatosan elemez, és vészhelyzet esetén, vagy felismert, beavatkozást igénylő helyzetben segítséget tud kérni SMS-ben, email-ben a gondozóktól vagy bármely családtagtól.

4.1.1. A rendszerrel szemben támasztott követelmények

Az okosóra alapú idősgondozási rendszerrel szemben támasztott követelmények a következők:

- az okosóra alkalmazás az óra által nyújtott erőforrás lehetőségek figyelembevételével készüljön
- a felhasználó által ne igényeljen különösebb felügyeletet vagy karbantartást
- beltéri helymeghatározás kiegészítő infrastruktúra nélkül, csak az óra szenzorainak felhasználásával működjön
- legalább helység pontosságú helymeghatározásra legyen képes
- beltéri mozgásminták folyamatos gyűjtése
- kültéri helymeghatározás a beépített GPS segítségével
- virtuális kerítés „geofence” létrehozása és kezelése
- adatkommunikáció Wi-Fi, kültéren GSM adatkapcsolat segítségével
- vitális paraméterek mérése (pulzus, mozgásmennyiség)
- elesés detektálás
- energiafelhasználás minimalizálása az akkumulátor üzemidejének optimális kihasználása
- felhasználói felület biztosítása a hozzátartozók, gondozók részére
- riasztások létrehozása elesés, virtuális kerítés átlépése vagy más egészségügyi vészhelyzet esetén
- a riasztások az adatkapcsolaton kívüli csatornákon is átvihetők legyenek a redundancia érdekében (SMS, telefonhívás)

4.1.2. A rendszer felépítése

A rendszer érzékelő része tehát egy viselhető szenzorra, egy okosórára épül. Az utóbbi években sok okosóra jelent meg a piacon, melyek több, az egészségügyi felügyeletben hasznos érzékelővel is el vannak látva és általános célú operációs rendszerre épülnek. Így alkalmasak saját fejlesztésű alkalmazások futtatására és mindezt elérhető, viszonylag kedvező áron nyújtják. Ezért az idősgondozási rendszer alapja egy Kingwear KW88 típusú okosóra [80] (22. ábra), amely rendelkezik a fontosabb érzékelőkkel és kommunikációs modulokkal. Beépítve tartalmazza a pulzusszám, gyorsulás (mozgás- és aktivitás) érzékelőket, Wi-Fi, Bluetooth, 3G GSM kommunikációs modulokat, illetve a GPS vevőt. Ezek az érzékelők lehetővé teszik az alapvető egészségügyi

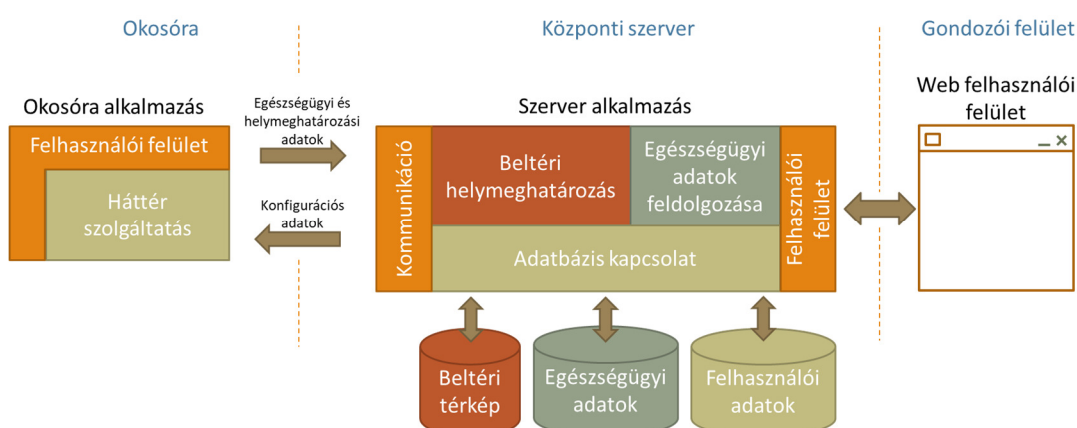
információk gyűjtését, a kültéri virtuális kerítés egyszerű megvalósítását. Az elesés érzékelést beépítve nem tartalmazza ugyan, de az megvalósítható a gyorsulás szenzor jelei alapján a megfelelő jelfeldolgozási algoritmussal.



22. ábra Kingwear KW88 Okosóra

Az egyetlen funkció, amely nem egyértelműen és könnyen megvalósítható, az a beltéri helymeghatározás. Az óra közvetlenül erre a feladatra használható szenzorral nem rendelkezik, beltéri helymeghatározási módszerek közül a Wi-Fi és esetleg a Bluetooth alapú helymeghatározásra lehet építeni, azonban ehhez a megfelelő algoritmusok kifejlesztése szükséges. Ebben segítséget nyújt az óra Android 5.1 operációs rendszere, így lehetőség van például Java nyelven írt saját alkalmazások elkészítésére és futtatására.

Az óra mellett a kifejlesztett idősgondozási rendszer további komponenseit a 23. ábra mutatja.



23. ábra Idősgondozási rendszer felépítése

A rendszer központi eleme egy szerver alkalmazás, amely alapvetően az összes adatfeldolgozási, tárolási és elemzési funkcióért felel. A szerver .NET Core 2.1 környezetben, C# nyelven készítettem, az adatbáziskezelő a NoSQL alapú MongoDB.

A szerver HTTP protokoll segítségével Web API-n keresztül kommunikál az okosórával, mely beltérben Wi-Fi hálózaton keresztül történik, míg kültéren 3G GSM adathálózaton keresztül. Az adatátvitel blokkokban megy végbe azért, hogy a kommunikációs csatornák terhelése minél kisebb legyen és egyúttal az óra energiafogyasztása is a lehető legalacsonyabb maradjon. Az óráról beérkező adatcsomagokat a szerver nyugtázza, illetve amennyiben az óra beállítását leíró adatokban változás történt vagy például a kültéri virtuális határok megváltoztak, úgy a megváltozott beállításokat elküldi a válaszban az órának. A geofence határokat a szerveren lehet kijelölni egy térképes megjelenítésű felületen egy zárt poligon megadásával. A gondozók, családtagok számára a rendszerben tárolt adatok egy böngésző alapú felhasználói felület segítségével érhetik el, illetve a szükséges riasztások az óráról küldött SMS vagy esetleg mobil hívás kezdeményezésével valósíthatók meg. A megjelenítendő adatok előállításáért, illetve az adatok feldolgozásáért az egészségügyi adatokat feldolgozó modul felelős.



24. ábra Okosóra pozíciójának megjelenítése böngészőben

A beltéri helymeghatározás eredménye valós időben is követhető. A szerver ehhez is egy böngésző alapú felhasználói felületet nyújt (24. ábra).

A megjelenítéshez a Leaflet [81] JavaScript könyvtárat használtam fel, mely például OpenStreetMap alapú térképeket képes megjeleníteni, kis módosítással, illetve a szerveren kialakított megfelelő Web API hívásokkal képes a beltéri térképeket is egy újabb réteggént megjeleníteni, illetve ezen akár pozíciót, mozgásmintát vagy tetszőleges egyéb grafikus információt megjeleníteni.

A helymeghatározás eredményeképpen létrejövő pozíciók a szerveren egy adatbázisban kerülnek tárolásra a hozzá tartozó időbélyeggel és az óra (felhasználó)

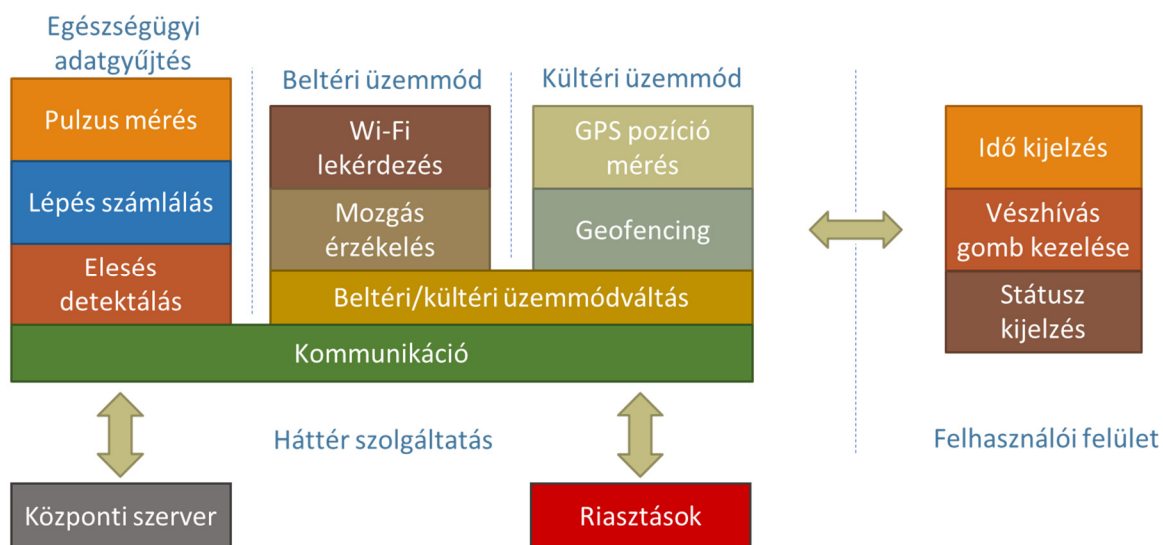
azonosítójával együtt. Az adatbázis felhasználásával később a mozgások, mozgásminták, viselkedésminták elemezhetővé válnak.

Az óra beltéri helymeghatározásban betöltött szerepe elsősorban a Wi-Fi térerősség mérések elvégzésére és a felhasználó mozgásának érzékelésére korlátozódik. Az óra másodpercenként begyűjti az elérhető Wi-Fi hozzáférési pontok azonosítóit és térerősség értékeit, illetve a szenzorai segítségével meghatározza, hogy a viselője mozog vagy egyhelyben tartózkodik. Ezeket az információkat továbbítja a szerver alkalmazás felé és a beltéri helymeghatározás számításával kapcsolatos algoritmusok már ott futnak.

4.1.3. Az okosóra alkalmazás

Az okosórán két alkalmazás fut, mind a két alkalmazás Java nyelven íródott. Az adatgyűjtéshez kapcsolódó feladatokat egy háttér szolgáltatás (service) valósítja meg és egy másik alkalmazás felelős a felhasználói felület megjelenítésért.

A két alkalmazás által megvalósított funkciók listáját a 25. ábra mutatja.



25. ábra Okosóra alkalmazás funkciói

A háttér szolgáltatás egyik feladata az egészségügyi adatok folyamatos gyűjtése, illetve bizonyos adatok esetén a feldolgozása, mely elsősorban a pulzusszám periodikus mérésére, a gyorsulásszenzor adataiból származtatott elesés érzékelésére, illetve a megtett lépések számának méréséből áll. Ezek az adatok a többi mért adattal egy csomagban átkerülnek a szerver alkalmazásba, ahol tárolásra és későbbi feldolgozásra kerülnek.

A háttér szolgáltatás felelős még a helymeghatározási adatok gyűjtéséért is. Mivel ez kültéren és beltéren más-más adatok gyűjtését és feldolgozását jelenti, szükség van a két

üzemmód megkülönböztetésére és az aktuális mód automatikus kiválasztására. Ezt úgy érjük el, hogy az okosóra automatikusan kültéri kommunikációs módra vált, ha az előre meghatározott Wi-Fi hálózatok egyike sem érhető el. Ekkor bekapcsolja a GPS-t, folyamatosan gyűjti és továbbítja a kültéri pozíció információkat, illetve ezeket a helyadatokat folyamatosan összehasonlítja a szervertől kapott és az órában eltárolt geofence határral. A határ megsértése esetén riasztást küld SMS-ben, egy vagy több adott telefonszámra, illetve a riasztási esemény a szerveren is tárolásra kerül. Beltéri üzemmódban – amikor rá tud csatlakozni a megadott Wi-Fi hálózatok egyikére – a GPS kikapcsolásra kerül az energiafogyasztás minimalizálása érdekében és a háttér szolgáltatás a Wi-Fi lekérdezési adatok gyűjtését, illetve a mozgás adatok gyűjtését végzi. Szintén energiatakarékoság okokból, a beltéri helymeghatározás már a szerveren történik.

Az elesésetektálás a – beltéri helymeghatározás mellett – másik olyan feladat, mely az óra szenzoraiból nem nyerhető ki közvetlenül, csak a gyorsulásszenzor adatainak további feldolgozásával valósítható meg. Azért, hogy az elesés detektálás aktív adatkapcsolat nélkül is működni tudjon, illetve ne kelljen a nagy mintavételi frekvenciával gyűjtött gyorsulás adatot továbbítani a szervernek, az elesésetektálás algoritmus az órán fut.

Az irodalomban sokféle elesésetektáló algoritmus került már ismertetésre, mint például, amit [82] vagy [83] ismertet. Ezek különböző megbízhatóságú és különböző erőforrásigényű algoritmusok. Mivel elsődlegesen fontos volt az óra energiafogyasztásának alacsony értéken tartása így a [84] algoritmusának implementálását választottam, amely eleve egy jó kompromisszum az adatfeldolgozás bonyolultsága (energiaigény) és megbízhatóság között. Ezt az algoritmus még annyival továbbfejlesztettem, hogy csak akkor lép működésbe, ha az óra „Significant Motion” szenzora alapján a felhasználó jelentős mozgást, vagyis nagy valószínűséggel helyváltoztatással járó mozgást végez.

Az óra felhasználói felületét egy külön alkalmazás adja. Ez az alkalmazás felelős a 22. ábra által is mutatott óra „számlapjának” megjelenítéséért, illetve minden felhasználói véletlen vagy szándékos beavatkozás lehetőségének a kizárásáért. Minden, az óra felhasználó által történő kezelést lehetővé tevő interfésze le van tiltva, kivéve a segélyhívás gombot. A gomb hosszú idejű megnyomásával azonnali segélykérés indítható, más funkciót a felhasználó nem kezdeményezhet. A segélyhívás és az óra állapotának

kijelzése érdekében a felhasználói felületet megvalósító alkalmazás és a háttér szolgáltatás kommunikál egymással az „Android Sharesheet” által nyújtott lehetőséget felhasználva.

4.2. A BELTÉRI HELYMEGHATÁROZÓ ALGORITMUS

Az óra viszonylag kevés olyan szenzorral rendelkezik, amely a beltéri helymeghatározásban használható lenne, különösen úgy, hogy az óra viselője részéről nem igényelhet semmilyen feladatot a helymeghatározás. Nem várhatjuk el például, hogy időnként a kamerát irányítsa rá valamilyen jelölésre, a felhasználó számára a helymeghatározás teljesen észrevétlen kell legyen. Így lényegében csak a Wi-Fi és esetleg a Bluetooth rádió használható. Mivel cél volt, hogy minél egyszerűbb infrastruktúrával is megvalósítható legyen a lokalizáció, ezért a Wi-Fi alapú helymeghatározást részesítettem előnyben. Az elkészített algoritmus kis módosításokkal használható Bluetooth környezetben is, de abban az esetben jeladók telepítése (jellemzően helységenként 3-4 darab) szükséges.

A Wi-Fi-re alapozva többféle helymeghatározási módszert lehetne használni, de az elfogadható pontosságú háromszögeléshez és irányszögeléshez speciális hardver kialakítású eszközök szükségesek, így az egyetlen igazán jól használható megoldás a Wi-Fi térerősség alapú mintaillesztés vagy „fingerprinting”.

A harmadik fejezetben már elemeztem a Wi-Fi térerősségmérés hibáit és rámutattam, hogy csak mintaillesztéssel nem lehet megbízható és elfogadhatóan pontos (legalább szoba pontosságú) beltéri helymeghatározást készíteni, hanem további szenzorok bevonásával és szűrési, adatfúziós algoritmusokkal kell javítani a pontosságot.

A további szenzorok köre az óra esetében azonban eléggé korlátozott. Nem rendelkezik iránytűvel és bár a mozgást (lépést) képes érzékelni, de annak irányát nem. Ezért a differenciális pozíciós számítás nem valósítható meg, ami pedig fontos kiegészítő szűrési módszer lenne, mely a mintaillesztéssel együtt jól használható és annak hibáit képes lenne csökkenteni, a pontosságot és a stabilitást javítani.

Az órában (illetve általánosságban az Android operációs rendszerben) a lépés érzékelés és lépésszámlálás nem valós idejű művelet. A [85] irodalom szerint a lépésszámlálás 10 másodperc és a lépésetektálás 2 másodperc késlettel is rendelkezhet. Az okosóra esetén a Wi-Fi lekérdezések gyakorisága 1 másodperc, vagyis másodpercenként lehet frissíteni a koordinátákat, feltéve, hogy az algoritmus képes ilyen

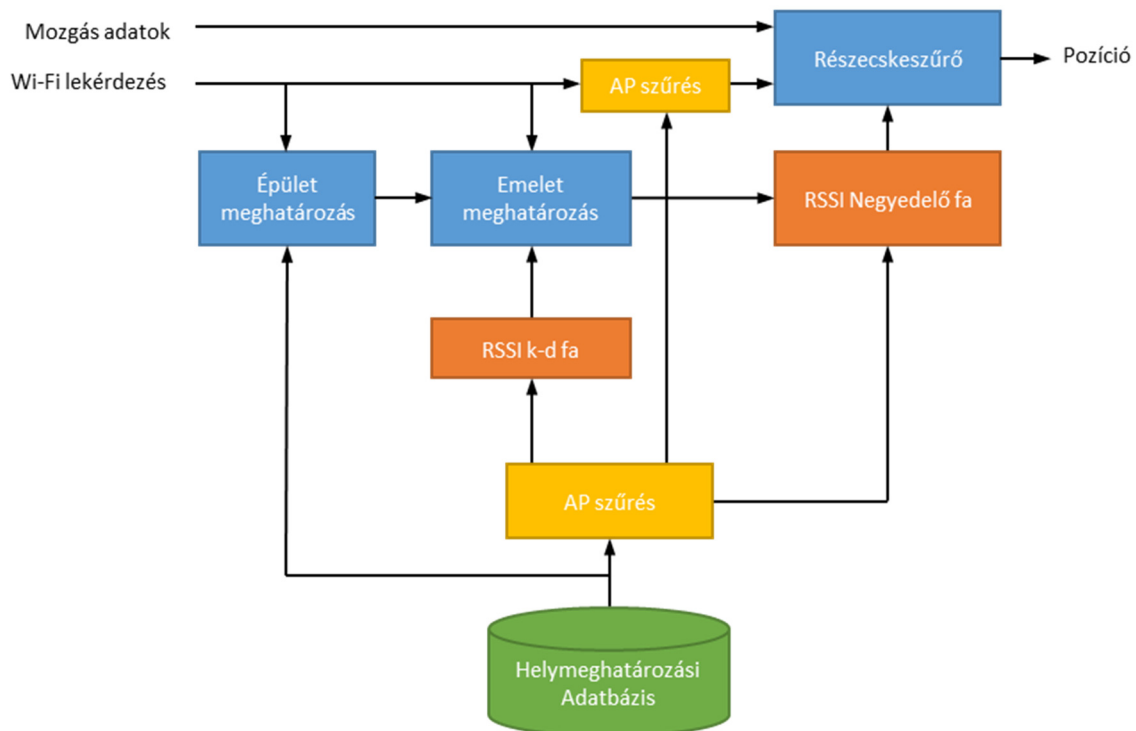
sebességgel számolni, illetve a kiegészítő adatokhoz is hozzá tud jutni ilyen gyakorisággal. A mozgással kapcsolatos, egyetlen ilyen sűrűségű adat szolgáltatására képes szenzor a jelentős mozgást („significant motion”) érzékelő szenzor, amely egy kétértékű jelet ad attól függően, hogy az óra viselője egyhelyben van, vagy valamilyen módon, akár sétálva helyet változtat.

Mivel csak a Wi-Fi lekérdezés és a mozgás érzékelése az, amely bemenő jelként szolgálhat a helymeghatározási algoritmusnak, így egy olyan módszert kellett kidolgoznom, amely a korlátos szenzor erőforrások alkalmazásával is képes a szükséges pontosságot és megbízhatóságot elérni. Ehhez a dolgozat második fejezetében ismertetett algoritmusokat kell olyan módon megvalósítani, paraméterezni, összekapcsolni és további módszerekkel kiegészíteni, hogy eredményesen tudják csökkenteni a mintaillesztésen alapú helymeghatározás hibáit. Természetesen a kidolgozott módszer nagy mértékben épít a harmadik fejezetben ismertetett helymeghatározási adatbázisban található adatokra is. Az algoritmus vázlatos felépítését és kapcsolódó adatfolyamot a 26. ábra mutatja.

Az algoritmus két nagy részre osztható. Az első rész a durva lokalizáció, amely az épület és az emelet meghatározásából áll. A második rész a finom lokalizáció, ahol már az adott emeleten értelmezett térképi koordinátákat is meghatározzuk.

A bemenő adatok a Wi-Fi lekérdezés („scan”), vagyis az elérhető AP-k térerősség értékei és a jelentős mozgást jelző flag, amelyek az okosórából a már korábban említett WEB API kapcsolaton keresztül kerülnek elküldésre. Mindkét típusú adatgyűjtést natívan támogatja az Android operációs rendszer, a Wi-Fi scan API másodpercenként képes listázni az elérhető hozzáférési pontok BSSID címét (vagyis MAC címét) és hozzátartozó RSSI (térerősség) értékeket, a mozgásérzékelő API pedig valós időben meghatározza, hogy a felhasználó sétál-e (mozog-e) vagy álló helyzetben van-e. Vagyis ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy minden Wi-Fi lekérdezéshez tartozik egy mozgás adat is, és a két adat együtt képezi a helymeghatározó algoritmus bemenő adatát. Az algoritmus első lépése a durva helymeghatározás. Ekkor a Wi-Fi scan adatok alapján az épület kerül meghatározásra, majd ennek ismeretében betölthetők az épülethez tartozó részletes adatok. A második lépés az épületen belül az emelet meghatározásra, az RSSI értékekből álló k-d fa segítségével. Ezután felépíthető az adott emelet RSSI értékeit tartalmazó negyedelő fa, amely a részecskeszűrő korrektor részében kerül felhasználásra. A finom

helymeghatározást a részecskeszűrő végzi, a mozgásadatok, a szűrt Wi-Fi scan adatok és korábban mért RSSI értékek felhasználásával.



26. ábra Okosóra alapú helymeghatározás adatfolyama

A részecskeszűrő kimenete már az épület koordináta-rendszerében meghatározott, az adott emeleten értelmezett, méter mértékegységű pozíciót adja.

4.2.1. Épület és emelet meghatározása

Az épület meghatározása a bennük elhelyezett Wi-Fi AP-k MAC címének felismerésén alapul. Az algoritmust szemlélteti a 27. ábra.

Algoritmus:	DetermineBuilding(W_N, B_M):
Bemenet:	W_N – Egymás utáni Wi-Fi scan vektorok, $N=5$ darab B_M – Épületekben található AP-k térerősség vektorai, M darab épület
#1	$score_K \leftarrow 0$
#2	for $n \leftarrow 1 \dots N$
#3	for $k \leftarrow 0 \dots K$
#4	if $W_n.BSSID = B_m^k.BSSID$ then
#5	$score_k \leftarrow score_k + 1$
#6	endfor
#7	endfor
#8	$b = B_M \max(score_K)$
#9	return b

27. ábra Épület meghatározási algoritmus

A helymeghatározási adatbázisból minden épület adatait összegyűjtve, a szerver készít egy olyan összefoglaló táblázatot, ahol az összes épület, összes Wi-Fi hozzáférési pontjának a MAC címe és a hozzájuk tartozó épület azonosítója található.

Az épület kiválasztása az alapján történik, hogy az aktuálisan elérhető (az óra scan adataiban szereplő) összes AP MAC címét keresi meg ebben a táblázatban (#1...#7) és a kiválasztott épület az lesz, ahol a legtöbb MAC cím egyezést érzékeli (#8).

Az épület kiválasztása után betölthető az adott épülethez tartozó helymeghatározási adatbázis. A betöltéssel egyidőben a program felépít a memóriában egy k-d fát az RSSI értékekből, ami az emelet meghatározásához szükséges gyors keresést támogatja. Az RSSI értékek ebben az esetben egy annyi dimenziós vektorként értelmezhetők, ahány AP az adott emeleten elérhető és minden az emeleten elvégzett mérés egy ilyen vektort ad eredményül. A fában az összes vektorhoz hozzátartozik, hogy az adott vektor melyik emeleten végzett mérésekből származik. Az algoritmust a 28. ábra szemlélteti.

Algoritmus: DetermineFloor(W, B_M):

Bemenet: W – Wi-Fi scan vektor
 B_M – Az épületben található AP-k térerősség vektorai
 /* Leközelebbi térerősség vektorok megkeresése */

```

#1  $NN^{[5]} \leftarrow B_M \mid d_{min}^{[5]}(W, B_M)$ 
  /* Súlyozott átlag számítása */
#2  $floorsum \leftarrow 0$ 
#3  $weightsum \leftarrow 0$ 
#4 for  $i \leftarrow 1 \dots 5$ 
#5    $distance \leftarrow d(W, NN^{[i]})$ 
#6    $weight \leftarrow \frac{1}{1,05^{distance \cdot distance}}$ 
#7    $floorsum \leftarrow floorsum + weight * NN^{[i]}.floor$ 
#8    $weightsum \leftarrow weightsum + weight$ 
#9 endfor
#10  $floor = round(\frac{floorsum}{weightsum})$ 
#11 return floor
  
```

28. ábra Emelet meghatározása

Az algoritmus lényegében egy többségi keresést végez, az éppen mért térerősség vektorhoz az Euklideszi távolság metrika alapján, a legközelebb álló öt vektort választja ki a fából (#1), majd az öt vektorhoz tartozó emelet érték közül a leggyakoribb előfordulásút emeli ki úgy, hogy közben súlyozza is a vektorok között mért távolsággal fordítottan arányosan (#2...#10). Mindezt három egymást követő Wi-Fi lekérdezés alapján is megismétli (háromszor meghívva a *DetectFloor* függvényt) és a három eredményül kapott emeletből szintén a leggyakoribbat választja ki, mint aktuális emelet. A három szkennelés és a többségi szavazás a méréseim alapján elfogadható stabilitást biztosít az emelet meghatározásában, és még mindig meglehetősen gyors működést eredményez.

Az emelet meghatározása után betölthető a hozzá tartozó térképi és térerősség eloszlás információ a helymeghatározási adatbázisból.

4.2.2. AP szűrés

A térerősség eloszlás betöltésekor a Wi-Fi hozzáférési pontokat egy szűrésnek veti alá a program, amely szűrés célja a harmadik fejezetben ismertetett néhány térerősségmérési hiba csökkentése. Az AP-szűrés két szakaszból áll: az alhálózati hozzáférési pontok információinak összefűzéséből és a nem releváns AP-k kiszűréséből és kizárásából a további adatfeldolgozásból. Az algoritmust a 29. ábra szemlélteti.

Algoritmus: APFilter(AP_N, F_M):

Bemenet: AP_N – Wi-Fi hozzáférési pontok listája (N - darab)
 F_M^N – Az emeleten található AP-k térerősség vektorai (M - darab mérés)
 /* Alhálózatok felismerése és összevonása */

```

#1  for i ← 1 ... N
#2    for j ← 1 ... N
#3      for m ← 1 ... M
#4        distancesum ← distancesum +  $d(F_m^i, F_m^j)^2$ 
#5      endfor
#6    distance ←  $\sqrt{\frac{\text{distancesum}}{M}}$ 
#7    if distance < 5 and exists( $AP_i$ ) > 80% and exists( $AP_j$ ) > 80% then
#8      mark  $AP_i$  and  $AP_j$  alias
#9    endif
#10  endfor
#11 endfor
  /* Irreleváns AP-k kiszűrése */
#12 for m ← 1 ... M
#13    $RAP_m^{[3]} \leftarrow \max_3(F_m^N)$ 
#14 endfor
#15 delete  $AP_N$  where  $AP_n$  is not in  $RAP_M^{[3]}$ 

```

29. ábra Hozzáférési pontok szűrési algoritmus

Egy fizikai hozzáférési pont több Wi-Fi alhálózatot („alias” AP) is kiszolgálhat, ami az okosóra által végzett lekérdezésnél különböző hozzáférési pontoknak tűnhet, mivel eltérő MAC-címmel rendelkeznek. A helymeghatározás szempontjából azonban egy AP-ként kell kezelni őket, mivel fizikailag ténylegesen egy eszközről van szó, azonban a lekérdezés alapján kétszer is figyelembe venné a helymeghatározó algoritmus. Ezért fontos, hogy az alhálózati hozzáférési pontokat összevonva egy egységként kezeljük a lokalizációs algoritmus összes többi szakaszában, így a szűrés első lépése a több alhálózatot kezelő AP-k esetén az alhálózatok összerendelése.

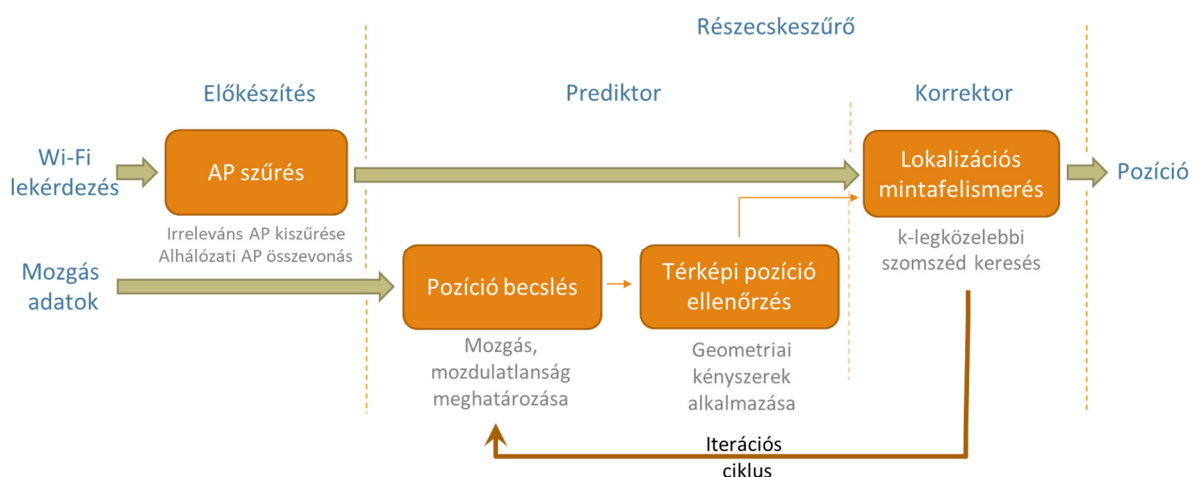
Az alhálózatok összevonása úgy érhető el, hogy hasonlóságot keresünk az egyes AP-k mért RSSI eloszlásai között. Az algoritmus összehasonlítja minden AP térerősség értékét, minden mérési pontban (#1...#5). Ha két különböző AP között a térerősség különbség a mért pozíciók több mint 80%-ában kisebb, mint 5 dBm (#7), a két AP ugyanazon fizikai AP-nak minősül és összevonásra kerül (#8). Ezzel a módszerrel az alhálózatok 98%-os megbízhatósággal ismerhetők fel, több száz mérésen tesztelve.

Az AP-szűrés második fontos lépése az irreleváns hozzáférési pontok kiszűrése. A legtöbb Wi-Fi hálózatban gyakorta jelenik meg olyan hozzáférési pont, amely gyenge jelű, helymeghatározás szempontjából fontos terület kis részét lefedő, gyakran csak a szomszédos épületekből „átlógó” rádiójelű hozzáférési pont. A helymeghatározás stabilitásának javítása érdekében ezeket ki kell zárni a lokalizációból. A kiszűrésükre az algoritmus minden mért pozícióban megjelöli a három legerősebb térerősségű AP-t (#13). Azok a hozzáférési pontok, amelyek nem kaptak jelölést, kimaradnak az AP szűrési szakaszában, és nem használjuk őket a lokalizáció kiszámításához (#15).

A térerősség eloszlás betöltésekor meghatározott szűrési kritériumokat később az algoritmus alkalmazza a beérkező Wi-Fi lekérdezési adatok szűrésére, így az alhálózati AP-k összevonása és nem releváns AP-k kizárása ugyan úgy megvalósul az óra által küldött Wi-Fi szkennelési adatok esetében is.

4.2.3. Helymeghatározás

A Wi-Fi szkennelések AP szűrő algoritmussal történő előfeldolgozása után a tényleges pozíció meghatározást egy részecskeszűrő alapú helyzetmeghatározó algoritmus végzi. A részecskeszűrő többféle helyzetfeltevést (részecskéket) használ, és egy iteratív eljárással állítja be azok valószínűségét (súlyát) egy kétlépcsős, prediktor-korrektor módszer alapján. Az általános algoritmusát az 5. ábra mutatja be, az okosóra alapú helymeghatározásban használt részecskeszűrő adatfolyamát pedig a 30. ábra szemlélteti.



30. ábra Részecskeszűrő algoritmus adatfolyama

Az algoritmus első lépése a prediktor rész, melynek a legfontosabb bemenő adata az elmozdulás, mozgás érzékelése. Beltéri helymeghatározásban sokszor használják pozíció

előrejelzésre a különböző PDR algoritmusokat, amelyek elsősorban a lépések érzékelésén, a lépések hosszának becslésén és egy iránytű által mért irány alapján próbálnak javaslatot adni a felhasználó pozíciójára vonatkozóan, a lépés megtétele utáni időpillanatra vonatkozóan. Ez a megoldás azonban az órában nem alkalmazható, mert nem rendelkezik iránytűvel, a lépés iránya nem határozható meg. Igazán megbízhatóan csak az határozható meg, hogy a felhasználó mozgásban van vagy egyhelyben áll. Ezért a prediktorban más módszer kellett alkalmaznom a becsült pozíció számítására.

A prediktor szakasz egy véletlenszerű mozgásbecslésből áll, véletlenszerű irányú és véletlen lépéshosszúsággal. Ezt a számítást a (7) képlet mutatja.

$$\vec{p}_{k+1} = \vec{p}_k + \vec{r}(m) \quad (7)$$

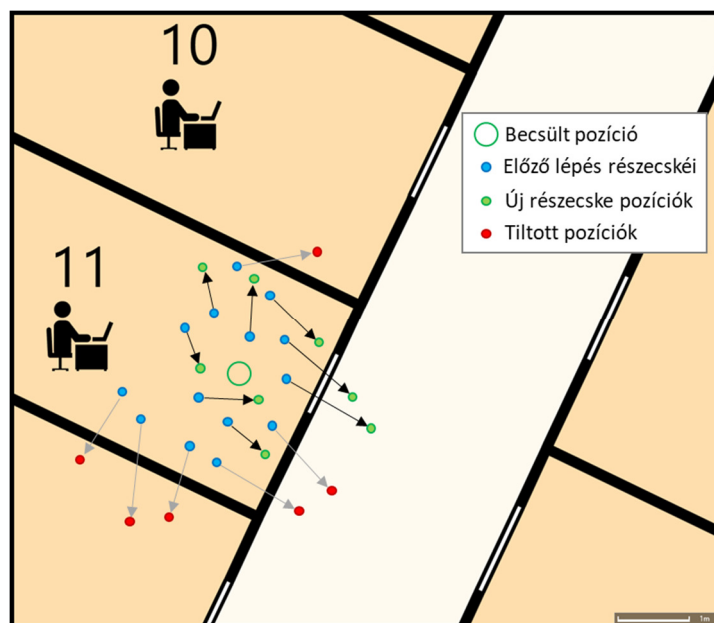
Ebben a képletben a $\vec{p}_k$ a pozícióvektor (x,y pozíciókomponensekkel) az aktuális iterációs lépésben (k) vagy a következő ($k + 1$) iterációs lépésben, az $\vec{r}(m)$ egy olyan függvény, amely egyenletes eloszlású véletlenszerű irányú és hosszúságú vektort ad. Ennek a vektornak a generálásakor azonban figyelembe veszi az algoritmus a felhasználó mozgásállapotát (m). Az okosóra korlátozott szenzoros erőforrásai miatt a mozgásállapotnak csak két értéke lehetséges, amely $m = igaz$, ha a felhasználó jár, és $m = hamis$, ha a felhasználó egyhelyben tartózkodik. Ezzel a módosítással a véletlen vektor számítás a (8) egyenlet szerint írható fel:

$$\vec{r}(m) = \begin{cases} rv(l_m, \sigma_m), & m = true \\ rv(0, \sigma_s), & m = false \end{cases} \quad (8)$$

Az $rv(l, \sigma)$ függvény felelős a véletlen irányú és hosszúságú vektor létrehozásáért, ahol a vektor hosszának olyan egyenletes eloszlású véletlen értéket választ melynek várható értéke (l) és varianciája (σ). Amikor a felhasználó sétál, a vektor hosszának az átlagos emberi lépés hosszát használja, amelyet az egyes iterációs lépések közötti időlépés (1 s) és az átlagos emberi járási sebesség szorzatából számíthatunk ki. Az átlagos emberi járási sebesség esetünkben 1,2 m/s [86] vagyis a vektor átlagos hosszának $l_m = 1.2 \text{ m}$ a választott értéke míg a szórásának $\sigma_m = 4$ a gyakorlatban legjobb eredményt adó értéke. Egyhelyben tartózkodás közben, a vektor hosszának nulla a várható értéke és kisebb a szórása $\sigma_s = 2$, hiszen az csak a pozíció mérési hibákat kell, hogy lefedje. A vektor iránya mind a két esetben egyenletes eloszlású véletlenszerű, bármely irányú lehet.

A prediktor rész második fontos lépése egy szűrési algoritmus, ahol azt vizsgáljuk, hogy egyáltalán a véletlenszerűen megválasztott vektor szerinti mozgás lehetséges-e.

Vagyis geometriai kényszerek segítségével szűrjük az előre jelzett új pozíciókat. Ehhez szükség van a helymeghatározási adatbázisban tárolt alaprajzra a geometriai elemekkel és azok koordinátaival, illetve az egyes elemek jelentésével és tulajdonságaival. A geometriai kényszer működését a 31. ábra szemlélteti.



31. ábra Geometriai kényszer működése

Az ábra egy alaprajz részletét mutatja a részecskeszűrő egy bizonyos állapotában a geometriai kényszer alkalmazása folyamán. Mivel az alaprajz digitális vektor formátumban kerül tárolásra, így lehetőség van annak vizsgálatára, hogy egy térképi objektumon áthalad-e a predikcióval meghatározott mozgás vektor. Az ábrán a kiindulási részecskék kék színnel vannak jelölve, a becslt elmozdulásukat a nyilak jelölik. Ha ez az elmozdulásvektor metsz egy térképi objektumot, akkor az algoritmus megvizsgálja, hogy az objektumon történő áthaladás lehetséges-e. Amennyiben a térképi objektum például egy fal, akkor a becslt elmozdulás nem lehetséges, ezért a részecskéhez rendelt súlytényezőt alacsony értékre állítjuk (piros színű részecskék az ábrán). Ha viszont az áthaladás az adott térképi objektumon lehetséges, mert például az egy ajtó, akkor a részecskéhez rendelt súlytényező nem változik ebben a lépésben (zölddel jelölt részecskék).

A prediktor rész után a becslt részecskepozíciók átkerülnek az algoritmus korrektor részébe. A korrektor rész feladata az egyes részecskékhöz tartozó valószínűségek meghatározása az alapján, hogy a részecskék feltételezett pozíciói mennyire állnak közel a valósághoz, az elvégzett térerősség mérés alapján. A korrektor

algoritmus legfontosabb bemenő adata az összes elérhető AP térerősségét tartalmazó vektor aktuálisan mért értéke. Mielőtt ez a vektor a korrektor algoritmusához kerülne ugyanazon az AP szűrési folyamaton megy keresztül, mint amit a térerősség adatbázis betöltésekor végrehajtottunk.

A korrektor algoritmus a ezek után minden részecskére lefut azért, hogy az új súlytényezők meghatározásra kerüljenek (32. ábra).

Algoritmus: ParticleWeight(P_t, F):	
Bemenet: P_t - részecskék a t időpillanatban F - aktuálisan mért térerősség vektor	
#1	for $m \leftarrow 0 \dots M$
#2	$F_{ne}^{[0..2]} \leftarrow F d_{\min}(P_t.\text{pos}, F.\text{pos})$
#3	$fd_{\max} \leftarrow \max(d(F_{ne}^{[0..2]}.RSSI, F.RSSI))$
#4	for $i \leftarrow 0 \dots 2$
#5	$pd \leftarrow \frac{1}{5^{d(F_{ne}^i.\text{pos}, P_t^m.\text{pos})}}$
#6	$fd \leftarrow d(F_{ne}^i.RSSI, F.RSSI)$
#7	$wd^{[m]} \leftarrow wd^{[m]} + pd * \frac{fd_{\max} - fd}{fd_{\max}}$
#8	endfor
#9	endfor
#10	$P_t.w \leftarrow \text{norm}(wd)$

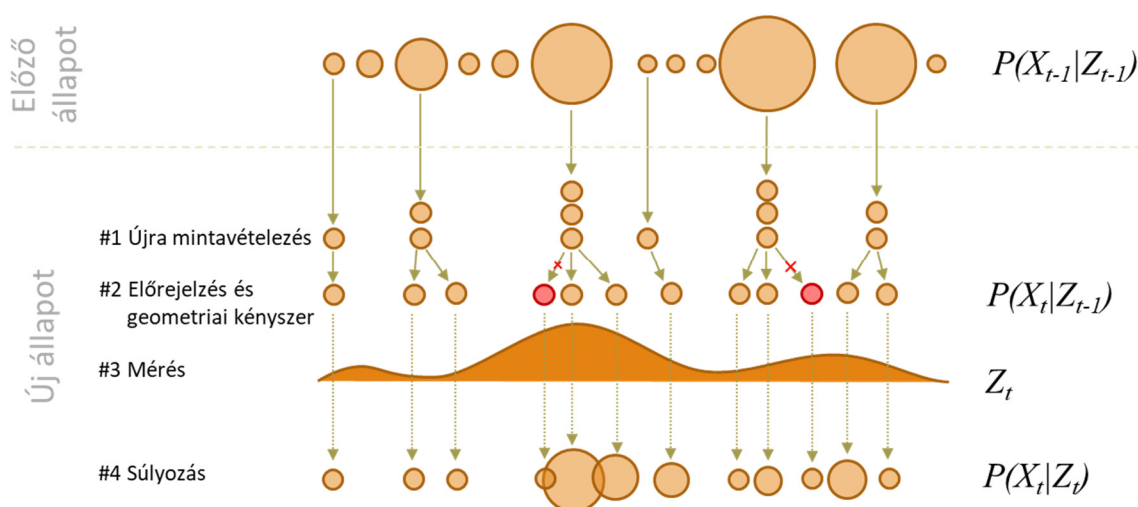
32. ábra Súlytényezők meghatározása

Első lépésként a részecske pozíciójához legközelebbi három mérési pozíció kerül kiválasztásra (#2). A kiválasztást egy negyedelő fa segíti, amely a helymeghatározási adatbázis betöltésekor jön létre és a térerősség mérési helyek koordinátáit tartalmazza azért, hogy a legközelebbi szomszédok keresése gyorsan elvégezhető legyen. A megtalált három legközelebbi szomszédhoz egy távolsággal fordítottan arányos súlytényező (pd) is meghatározásra kerül (#5), azért, hogy a távoli mérések minél kisebb hatással legyenek az adott részecskére, illetve azok a részecskék melyek messze vannak a mérési pontoktól, minél kisebb súlyt kapjanak. A súlytényező számítás másik fontos eleme az aktuálisan mért és a korábbi méréseket tartalmazó térerősség vektor közötti Euklideszi távolság (fd)(#6). Ezt a maximális távolság ($fd_{\max}$) segítségével arányosítjuk. Az algoritmus utolsó lépéseként az összes súlytényezőt normalizáljuk úgy, hogy a $[0 \dots 1]$ intervallumba essenek.

A részecskeszűrő minden iterációs lépése után a rendszer kiszámítja a részecskék súlyozott átlagát, és ezt a pozíciót használja végső felhasználói pozícióként. Ehhez a legnagyobb valószínűségű részecskék 70%-a kerül kiválasztásra, majd a koordinátáik valószínűségük segítségével súlyozott átlaga adja a becsült helymeghatározási

koordinátákat (üres körrel jelölve a 31. ábra közepén). Az utolsó lépésként a részecskék újramintavételezése történik meg. Az új részecske kollekció véletlenszerű mintavétellel, az aktuális kollekció elemeiből kerül kiválasztásra. A mintavétel véletlenszerű, de az egyes részecskék mintavételi valószínűségét az adott részecskéhez tartozó, a pozíció becslés valószínűségét leíró változó adja meg.

A részecskeszűrő iteratív módszer, vagyis minden újabb mérés az előző mérésekből számított pozíciókat tovább finomítja és a mérések hibáit ezzel javítja. A teljes iterációs folyamatot szemlélteti a 33. ábra. Az ábrán a körök a súlytényezőket jelölik, átmérőjük arányos a súlytényező nagyságával.



33. ábra Részecskeszűrő iterációs folyamata

Az iterációs folyamat első lépése a részecskék újramintavételezése az előző iterációs lépés végeredményéből kiindulva. A mintavétel során véletlenszerű sorrendben kerülnek kiválasztásra az egyes részecskék, de annak a valószínűsége, hogy egy részecske kiválasztásra kerül, arányos a részecske súlytényezőjével.

A kiválasztás során a súlytényezők egyforma értékre állítódnak be és a kiválasztás addig tart, amíg újra ugyanannyi részecske nem áll elő, mint amennyi az előző lépésben használatban volt. Következő lépés az előrejelzés vagy predikció. Itt a részecskék által reprezentált pozíció kerül megváltoztatásra (7) alapján. Kivéve, ha a geometriai kényszer alapján az elmozdulás nem lehetséges, ekkor a részecske súlytényezője is módosításra kerül, alacsony valószínűségi értékre állítva (az ábrán piros körrel jelölve). Ezt követően az iterációs lépés folytatódik a korrektor módszerrel, az aktuális térerősség vektor összehasonlításra kerül a korábban mért térerősségvektorokkal és ez alapján újra

meghatározásra kerülnek a súlytényezők. Az iterációs folyamat utolsó lépése a pozíció meghatározása (34. ábra).

Algoritmus: Position(P_t):	
Bemenet: P_t – részecskék a t időpillanatban	
#1	$sw \leftarrow \sum_{i=0}^M P_t^{[i]} \cdot w \mid P_t^{[i]} \cdot w > 0.7$
#2	$\overline{sp} \leftarrow \sum_{i=0}^M P_t^{[i]} \cdot w * P_t^{[i]} \cdot \overline{pos} \mid P_t^{[i]} \cdot w > 0.7$
#3	$pos \leftarrow \frac{\overline{sp}}{sw}$

34. ábra Pozíció súlyozott számítása

A pozíció a részecskék súlytényezőjével arányosítva, azok pozíciójának a súlyozott átlagából kerül meghatározásra. Az iterációnak köszönhetően ez a pozíció egyre kisebb hibával közelíti a valóságos pozíciót, akár nyugalomban van a felhasználó, akár mozgásban.

4.2.4. Értékelés

Az okosóra a korlátozott erőforrásai ellenére is használható, mint beltéri helymeghatározási eszköz, ha a több lépésben, különböző algoritmusokkal csökkentjük a helymeghatározás hibáit. A geometriai kényszer alkalmazása pedig jelentősen növeli a helymeghatározás stabilitását (4. táblázat).

4. táblázat Különböző algoritmusok hibái

Algoritmus	Átlagos hiba [m]	Helység tévesztés [%]
Iroda, részecskeszűrővel	2.56	26.3
Időszotthon, részecskeszűrővel	2.87	32.4
Iroda, részecskeszűrővel, geometriai kényszerrel	2.54	1.1
Időszotthon, részecskeszűrővel, geometriai kényszerrel	2.85	1.5

Megállapítható, hogy az okosóra képes a szükséges szoba pontosságú helymeghatározást elfogadható hibával megvalósítani, vagyis az idősgondozással kapcsolatos kitűzött célokat képes megvalósítani.

4.3. TÉZIS II.

A doktori kutatómunka során kidolgoztam egy algoritmust, amely képes egy okosóra korlátos szenzor és egyéb erőforrásainak felhasználásával, használható pontosságú, külön kiépített infrastruktúrát nem igénylő, Wi-Fi mintaillesztésen alapuló beltéri helymeghatározási feladat ellátására. Ennek érdekében kidolgoztam egy térerősség adatok előszűrésére szolgáló algoritmust, amely térerősség mérés jellegzetességeiből és hibáiból adódó helymeghatározási pontatlanságakat képes csökkenteni. Kidolgoztam egy módszert a részecskeszűrő alapú beltéri helymeghatározási algoritmus predikciós részének mozgásvektor nélküli megvalósítására. Bevezettem a részecskeszűrő algoritmusba a geometriai kényszerek alkalmazását, mely a térerősség mérések bizonytalanságából adódó helymeghatározás pontatlanságát tovább csökkenti.

4.4. ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

A szakirodalomban nem található olyan publikáció, ahol csak okosóra és Wi-Fi alapokon, célhardverek alkalmazása nélkül, elfogadható pontosságú beltéri helymeghatározási algoritmust használnának és a hardver korlátokat az általam kidolgozott pontosságjavító módszerekkel oldanák fel.

Az elvégzett méréseim kimutatták, hogy a kidolgozott módszer képes hatékonyan javítani az okosóra alapú beltéri helymeghatározás pontosságát.

4.5. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[s4], [s8], [s9], [s12], [s13]

5. HELYMEGHATÁROZÁS OKOSTELEFONNAL

"I think there is a world market for maybe five computers."

Thomas Watson, Chairman of IBM, 1943

A vakok és gyengénlátók számára a városi közlekedés számtalan kihívást tartogat, ezért az önálló közlekedés támogatása sokat javíthat az életminőségükön. Navigációs célra sok mobiltelefonos alkalmazás készült, de ezek jellemzően a kültéri közlekedés megoldását részesítik előnyben. A navigációs kihívásoknak fontos része azonban a pályaudvarokon, bevásárlóközpontokban és általában az épületeken belüli önálló közlekedés is.

Azonban míg kültéren a mindenütt elérhető GPS általános megoldást ad a helymeghatározás problémájára, illetve számos kültéri elektronikus térképi megoldás elérhető, addig beltéren a helymeghatározásra nem létezik egységes, szabványosított technológia és a szükséges térképi megoldások is csak most kezdenek elterjedni. Ezért a céloom egy mobiltelefon alapú beltéri helymeghatározó és navigációs alkalmazás megtervezése és kifejlesztése volt, természetesen szem előtt tartva a vakok és gyengénlátók speciális igényeit, mely így reményeim szerint hatékony segítséget nyújthat számukra az önálló beltéri mobilitás elérése terén.

5.1. BELTÉRI NAVIGÁCIÓS RENDSZER

A vakok és gyengénlátók számára kifejlesztendő rendszer tervezésénél a már felsorolt problémákon túl figyelembe kell venni a leendő felhasználók speciális igényeit, amely nem csak a felhasználói felület kialakítására, hanem a szükséges, tárolt adatok jellegére, részletességére és a beltéri helymeghatározás módjára is hatással vannak.

5.1.1. A rendszerrel szemben támasztott követelmények

Az alkalmazással szemben támasztott követelmények a következők:

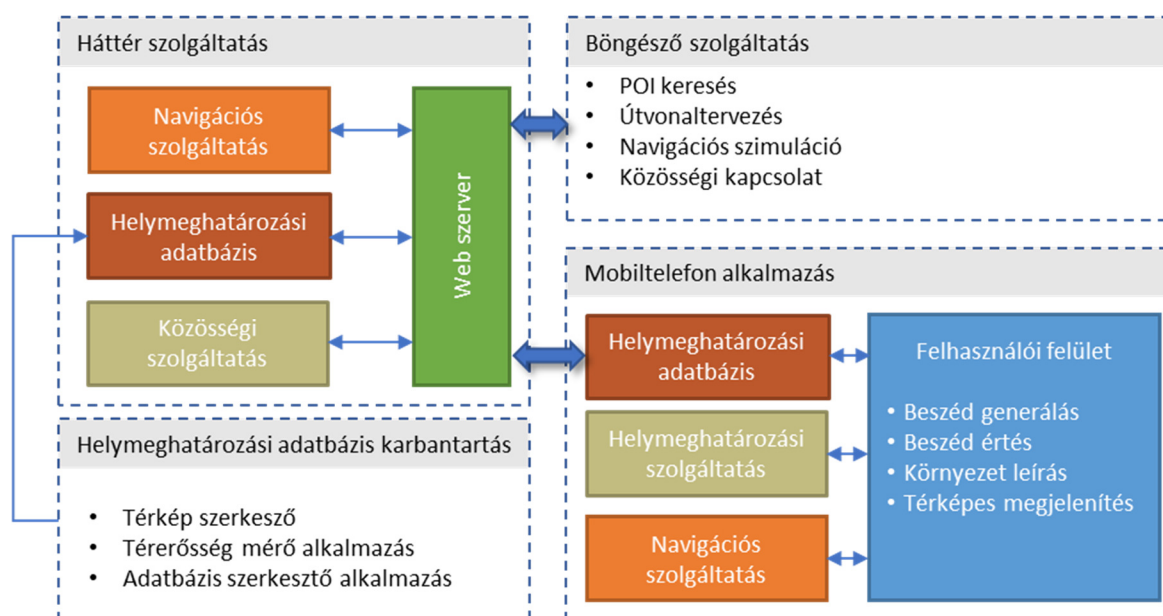
- okostelefonos alkalmazás, ami egy jelenlegi átlagos teljesítményű és képességű telefonon használható
- a felhasználói felület hang kommunikációval is kezelhető legyen
- beltéri digitális térképek kezelése és megjelenítése
- 'Hol vagyok?' funkció, a felhasználó aktuális pozíciójának megjelenítése és a környezet szóbeli leírása

- útvonaltervezés adott pontok között, beállítható módon elkerülve bizonyos objektumokat
- a megtervezett útvonal virtuális bejárása, „itinerek” gyakorlása vagy memorizálása céljából
- beltéri helymeghatározás, csak az okostelefon felhasználásával, külön kiegészítő eszköz nélkül
- a mobiltelefon navigáció közben biztonságos helyen is tartható legyen, ne kelljen a felhasználónak a helymeghatározás céljából elővennie
- az alkalmazás offline módon is képes legyen a működésre, hogy az esetleges adatkommunikációs hibák ne okozzák a navigáció bizonytalanságát.
- böngésző alapú felhasználói felületen keresztül is el lehessen érni az alkalmazás összes funkcióját a beltéri helymeghatározás kivételével

Ezeket az elvárásokat egy összetett mobiltelefonos alkalmazással lehet teljesíteni, melynek működését szerver és egyéb alkalmazások segítik.

5.1.2. A rendszer felépítése

A vakok és gyengénlátók számára készült beltéri navigációs rendszer több szoftvermodulból áll. Az egyes modulok funkcióit és kapcsolatát a 35. ábra mutatja.



35. ábra Navigációs rendszer felépítése

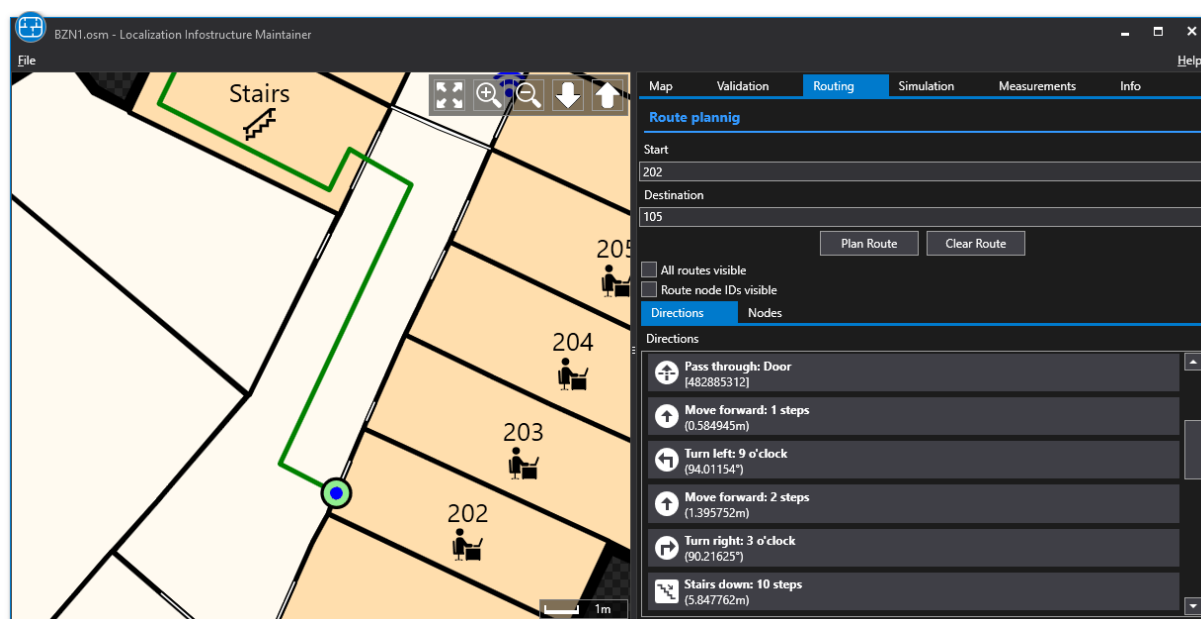
A fő komponens a mobiltelefon-alkalmazás, amely lényegében ellátja az összes beltéri navigációs és helymeghatározási funkciót. Biztonsági okokból a helymeghatározási (infostructure) adatbázisnak a helyi másolatait használja az

alkalmazás, azért, hogy az esetleges hálózati adatkommunikációs problémák ne okozzanak nehézséget a navigáció során. Amennyiben szükséges és az adatkapcsolat rendelkezésre áll, az alkalmazás a szerveren tárolt adatbázisokkal szinkronizálja a saját másolatait.

A helymeghatározási adatbázis a harmadik fejezetben ismertetett eszközökkel és módon készíthető el, illetve tartható karban, majd az egy épületet leíró, kész adatbázis feltölthető a rendszer háttérszolgáltatását nyújtó szerverre.

Ez a háttérszolgáltatás egy távoli szerveren fut, amely közös adattárolást és hozzáférést biztosít a rendszer összes többi összetevője számára. Ezenkívül lehetővé teszi a rendszer összes szolgáltatásának használatát (a beltéri lokalizáció kivételével) bármely webböngészőből. Így a felhasználók egyszerűen webböngészőből előre megtervezhetik utazásukat, szimulálhatják a navigációt, memorizálhatják a navigációs útvonalat.

Az útvonal tervezés fontos része az alkalmazásnak, mely segítségével a felhasználók biztonságos útvonalat tervezhetnek a térképen megjelölt két POI között. Az útvonaltervezés a helymeghatározási adatbázisban tárolt információk alapján, Dijkstra algoritmus segítségével történik. Egy megtervezett útvonalat mutat a 36. ábra.



36. ábra Megtervezett útvonal

A tervezés előtt lehetősége van a felhasználónak beállítani az egyedi igényeit, például a mozgólépcső, forgóajtó kihagyását az útvonalból. Az útvonalhoz egy részletes leírás, „itiner” is készül, melynek az ábra jobb oldalán látható egy részlete. Ez később beszéddé is alakítható, így a felhasználó megismerkedhet előre az útvonallal.

Az útvonal ismertetésének készítése a helymeghatározási adatbázisban tárolt információk alapján történik, de az alkalmazás figyelembe veszi az aktuális haladási irányokat is. Például, ha a felhasználó ugyanezen az útvonalon ellentétes irányba mozog, bizonyos leírások megfordulnak. Az emelkedő lépcsők az ellenkező járási irányból süllyedő lépcsőként jelennek meg vagy az ajtók a másik irányba nyílóként. Fontos része még az útvonal leírásnak, hogy a méterben számított távolságok lépésszámban is meghatározásra kerülnek, illetve a fokban számított fordulási szögek a sokkal intuitívabb óraszámplap irányoknak megfelelően is megjelennek (pl. 90fok = 3 óra irány).

A szerver felelős még a közösségi modul futtatásáért. Ez a modul egy kommunikációs platformot biztosít a helyben segítő önkéntesek számára. Ha a felhasználók segítségre szorulnak, a közösségi modul segítségével megkereshetik a legközelebbi önkéntest és közvetlen segítséget kérhetnek.

A szerver egyben egy web böngésző alapú hozzáférést is biztosít a rendszer szolgáltatásaihoz. Itt történik a felhasználók regisztrálása, helymeghatározási adatbázis frissítése, de a felhasználók itt is tervezhetnek útvonalat és virtuálisan bejárhatják a már megtervezett útvonalakat.

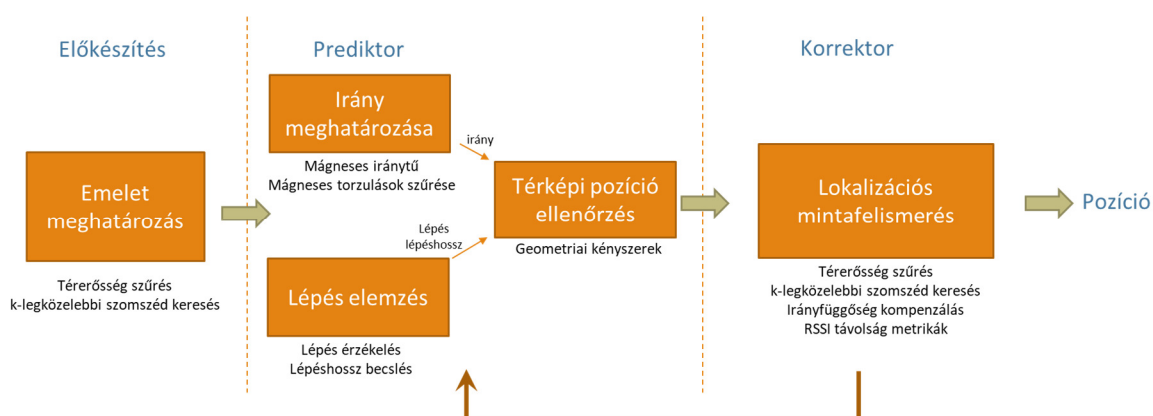
A navigációs rendszer legfontosabb eleme a mobiltelefon alkalmazás. Mivel a felhasználók számára fontos volt az adatkapcsolattól független, megbízható működés, így az alkalmazás minden szükséges algoritmust tartalmaz beleértve a beltéri helymeghatározás algoritmusát is.

5.2. HELYMEGHATÁROZÁSI ALGORITMUS

A navigációs rendszerrel szemben támasztott követelmények egyúttal be is határolják a beltéri helymeghatározáshoz használható módszerek körét. A felhasznált eszköz csak egy mobiltelefon lehet és érzékelőként is csak annak a beépített szenzorai használhatók. A szenzorok körét még tovább szűkíti, hogy a helymeghatározásnak felhasználói beavatkozás nélkül kell tudni működni, illetve úgy is, ha a telefon zárt, biztonságos helyen van, mint például egy zseb vagy táska. Szintén elvárás, hogy ne kelljen külön erre a célra infrastruktúrát kiépíteni, hiszen nem könnyen megvalósítható, hogy bevásárló központok, kórházak vagy egyéb középületek egységes beltéri helymeghatározásra alkalmas infrastruktúrával rendelkezzenek. Ezzel gyakorlatilag a telefon felhasználható szenzorainak köre a rádió kommunikációs modulra (Wi-Fi), az IMU és a légnyomás szenzorra szűkül. Olyan adatszűrési és feldolgozási algoritmusokat kellett

kifejleszttem, amelyek az adott szenzorok jele alapján képesek elfogadható pontosságú helymeghatározást végezni, és mindezt úgy, hogy a számításigényük is csak olyan nagyságrendű legyen, hogy egy átlagos okostelefon számítási teljesítménye elegendő legyen a futtatásukhoz.

A felhasznált helymeghatározási módszer az okosórához hasonlóan részecskeszűrőn alapul, azonban a mobiltelefon több használható szenzorral rendelkezik, így a szűrések, jelfeldolgozások kifinomultabbak lehetnek, jobban hozzájárulhatnak a helymeghatározás hibáinak csökkentéséhez. A kifejlesztett helymeghatározási algoritmus felépítését a 37. ábra szemlélteti.



37. ábra Helymeghatározási algoritmus felépítése

A beérkező Wi-Fi scan adatok ugyanazon az AP szűrési folyamaton mennek keresztül, mint az okosóra esetében (29. ábra).

Az emelet meghatározásának is az okosórához (28. ábra) hasonló az algoritmus, azzal a kiegészítéssel, hogy amennyiben a telefon rendelkezik légnyomás szenzorral, az is felhasználásra kerül. Mivel ez ma már egyre több készülékben megtalálható, így ez egy jól használható emeletválasztási szűrési feltételt alkot. A módosított algoritmust a 38. ábra mutatja.

A légnyomás adatokat az algoritmus átszámítja tengerszint feletti magasság értéké. Ehhez a tengerszinti légnyomás átlagos értékét veszi figyelembe, hiszen az aktuális tengerszinti légnyomás nem könnyen állapítható meg és nincs is szükség abszolút értelemben pontos magasságra, csak arra, hogy a magasságváltozás mértéke helyes legyen. A magasság értékek 1 Hz-es mintavételi frekvenciával érkeznek be és egy késleltetést biztosító sorba kerülnek. A sor végén megjelenő késleltetett magasság adat és az aktuálisan mért magasság különbsége az a magasságváltozás (#6), amivel az algoritmus a pontosítást végzi. A pontosítás úgy történik, hogy ha Wi-Fi térerősség alapú

emeletválasztás úgy érzékeli, hogy a felhasználó egy emelettel lejjebb vagy feljebb került, akkor ez az információ csak akkor kerül elfogadásra, ha a légnyomás érzékelő ezzel egyidejűleg legalább 2 m magasságváltozást jelez a megfelelő előjellel. Ezzel a kiegészítéssel a térerősség mérési hibákból adódó esetleges emelet meghatározással kapcsolatos bizonytalanságot gyakorlatilag meg lehet szüntetni.

Algoritmus: DetermineFloor($W, B_M, H, originalfloor$):

Bemenet: W – Wi-Fi scan vektor
 B_M – Az épületben található AP-k térerősség vektorai
 H – abszolút magasság értéke
 $originalfloor$ – aktuális emelet

/* Lelőközelebbi térerősség vektorok megkeresése */

```

#1  $NN^{[5]} \leftarrow B_M \mid d_{min}^{[5]}(W, B_M)$ 
#2 /* Magasságkülönbség kiszámítása */
#3  $\Delta H = delay(H) - H$ 
#4 /* Súlyozott átlag számítása */
#4  $floorsum \leftarrow 0$ 
#5  $weightsum \leftarrow 0$ 
#6 for  $i \leftarrow 1 \dots 5$ 
#7    $distance \leftarrow d(W, NN^{[i]})$ 
#8    $weight \leftarrow \frac{1}{1,05^{distance \cdot distance}}$ 
#9    $floorsum \leftarrow floorsum + weight * NN^{[i]}.floor$ 
#10   $weightsum \leftarrow weightsum + weight$ 
#11 endfor
#12  $floor = round(\frac{floorsum}{weightsum})$ 
#13 if  $originalfloor + 1 = floor$  and  $\Delta H > 2.5$  then
#14   return floor
#15 endif
#16 if  $originalfloor - 1 = floor$  and  $\Delta H < -2.5$  then
#17   return floor
#18 endif

```

38. ábra Emelet meghatározásánk algoritmus a légnyomás szenzorral

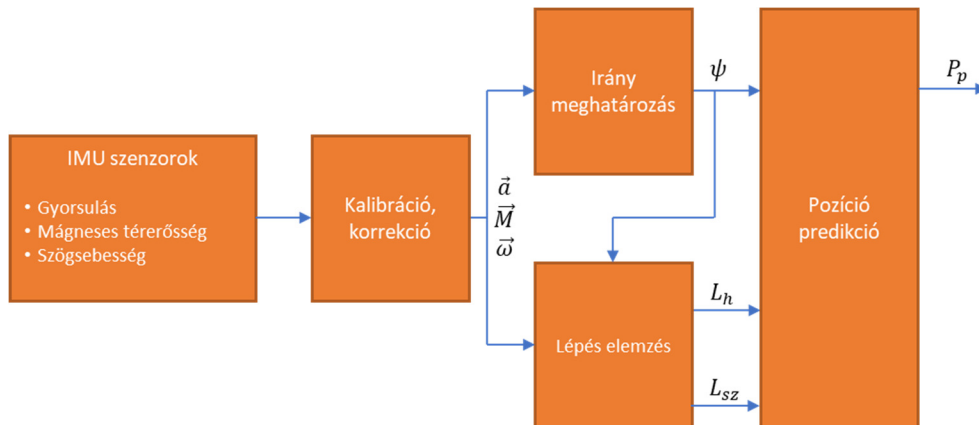
Az emelet meghatározása után az algoritmus a részecskeszűrőre építve folytatódik, azonban mind a prediktor, mind a korrektor részei némileg eltérnek az okosóránban használttól.

Mivel az okostelefonban a mozgás elemzéséhez szükséges összes fontos érzékelő megtalálható, így a prediktor részben megvalósítható egy PDR algoritmus, vagyis a felhasználó mozgásának elemzése alapján megbecsülhető a pozíciója. A megvalósított algoritmus felépítését a 39. ábra szemlélteti.

A mozgáselemzésre a telefon IMU szenzorai, vagyis a gyorsulás, szögsebesség és a Föld mágneses terével kapcsolatos méréseket szolgáltató érzékelők használhatók. Az algoritmusban azzal a feltételezéssel élünk, hogy a felhasználó gyalog, sétálva közlekedik, vagyis az egyes lépéseket és azok irányát kell meghatározni. Ezért a szükséges kalibrációs és korrekciós számítások után, melyek jelentős részét az Android operációs rendszer

beépített függvényei elvégzik, a szenzorok által mért adat két irányban halad tovább. Az egyik adatfolyam a mozgás irányának megállapításában vesz részt, míg a másik a lépések érzékelésében és a lépéshossz meghatározásában.

Az irány meghatározását alapvetően a Föld mágneses terét érzékelő szenzor jelei alapján végezhetjük, vagyis egy dőléskompenzált iránytűt kell létrehozunk.



39. ábra Pozíció predikció mozgás alapján

Az Android operációs rendszer beépített függvényei alkalmasak erre, a *SensorManager* osztály *getOrientation* metódusa képes ennek az iránytű funkciónak a megvalósítására. Ehhez szükséges továbbá, hogy a szenzorok kalibrált állapotban legyenek, ezért az alkalmazás időnként kalibrációt kér a felhasználótól, ami egy néhány másodperces művelet, a telefont egy „nyolcas” alakú görbén mozgatva a szenzorok automatikusan kalibrálásra kerülnek.

Az iránytű működését azonban beltéren erősen befolyásolják az épületben és az épület berendezésében használt ferromágneses anyagok. Ezek a hatások helyenként jelentősek lehetnek, akár több 10 fokok eltérést is okozhatnak az irány meghatározása során. Ennek csökkentésére egy Kálmán szűrő alapú utófeldolgozást készítettem, amely az iránytű által szolgáltatott értékek hibáit képes csökkenteni, felhasználva a telefon függőleges tengely körüli elfordulásának szögsebességét. A Kálmán szűrő létrehozásához a fordulás mozgásegyenletét használjuk fel, amelyet a következő módon írhatunk fel:

$$\psi_{k+1} = \psi_k + \int_0^{\Delta t} \omega(\tau) d\tau \quad (9)$$

ahol ψ az irány szöge egy adott időpillanatban és ω a szögsebesség értéke. A felhasználáskor diszkrét időlépésekben fogjuk az irányszöget meghatározni, vagyis a folyamat állapotvektorát is diszkrét időintervallumokon fogjuk értelmezni. A modell egyszerűsítése végett azt is feltételezzük továbbá, hogy a diszkrét időlépésekben a

szögsebesség értéke állandó. Ez megfelelően rövid időlépések megválasztása esetén nem okoz problémát, hiszen a szögsebesség változása, a szöggyorsulás értéke emberi mozgás esetén nem lehet tetszőlegesen nagy.

Ez alapján felírhatjuk a folyamat állapotvektorát a k . időpillanatban:

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} \psi_k \\ \omega_k \end{bmatrix} \quad (10)$$

Az állapotvektor felhasználásával a mozgásegyenlet a következőképpen írható fel:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \Phi \mathbf{x}_k + \mathbf{G} \alpha_k \quad (11)$$

ahol Φ az állapotátmenet mátrixa k és $k+1$ lépés között és így írható fel:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

és $\mathbf{G}$ pedig a következő formában adható meg:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \end{bmatrix} \quad (13)$$

A rendszer modellje ezek alapján:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \Phi \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (14)$$

ahol $\mathbf{w}_k$ a folyamat zaj, amelyet a $\mathbf{Q}$ kovariancia mátrix jellemez. A $\mathbf{Q}$ meghatározása

$$\mathbf{Q} = \mathbf{G} \mathbf{G}^T \sigma_\alpha^2 \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^4}{4} & \frac{\Delta t^3}{2} \\ \frac{\Delta t^3}{2} & \Delta t^2 \end{bmatrix} \sigma_\alpha^2 \quad (15)$$

képlet segítségével lehetséges. A mérés, vagyis a mágneses irány meghatározása szintén diszkrét időpillanatokban történik. A mérést a következőképpen írhatjuk fel:

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (16)$$

ahol $\mathbf{z}_k$ a mérési vektor a k . lépésben, $\mathbf{H}$ a mérés mátrixa és $\mathbf{v}_k$ a mérési hibát jelöli, amely az $\mathbf{R}$ kovariancia mátrixal jellemezhető. Mivel azt feltételezzük, hogy a szög és a szögsebesség egyszerre mérhető, ezért a mérés mátrixa egyszerűen felírható az

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

alakban.

Az módszer a 2.2.4 fejezetben ismertetett Kálmán szűrő algoritmus alapján implementálható. A vizsgálataim azt mutatták, hogy alkalmazásával az iránymeghatározás hibája a helyenként akár 20°-os eltéréstől 5°-ra csökkenthető, ami már használható pontosságot eredményez.

A lépés elemzés a mért gyorsulás függőleges komponensének elemzésén alapuló heurisztikus algoritmus, melyet például a [87] is bemutat. Ennek segítségével érzékelhető a felhasználó által megtett lépés, a lépés időtartamából pedig a lépés hosszára lehet következtetni. A haladási iránnyal összekötve ezt az információt megadható a részecskék pozíciójának az új, előrejelzett értéke:

$$\vec{p}_{k+1} = \vec{p}_k + \vec{s}_k + \overrightarrow{sv}_k(0, \sigma_s) \quad (18)$$

ahol $\vec{s}_k$ a lépéselemzésből származó elmozdulás vektor és $\overrightarrow{sv}_k(0, \sigma_s)$ egy nulla várható értékű és σ_s szórású, egyenletes eloszlású véletlen vektor, amely a lépéssel kapcsolatos mérések hibáit reprezentálja.

A prediktor folyamat utolsó lépése a geometriai kényszerek felhasználása mely az okosóra esetében is alkalmazott módon (31. ábra) javítja az előrejelzés pontosságát.

Az előrejelzési lépés után a folyamat a korrektor algoritmussal folytatódik. Alapjaiban az algoritmus megegyezik az okosórában használt módszerrel, az egyetlen lényeges különbség az irányérzékenység kompenzálása. A módosított algoritmust a 40. ábra szemléleti.

Algoritmus: ParticleWeight(P_t, F):	
Bemenet: P_t - részecskék a t időpillanatban F - aktuálisan mért térerősség vektor	
#1	for $m \leftarrow 0 \dots M$ do
#2	$F_{ne}^{[0..2]} \leftarrow F d_{\min}(P_t.\text{pos}, F.\text{pos})$
#3	for $i \leftarrow 0 \dots 2$ do
#4	$pd \leftarrow \frac{1}{\sum d(F_{ne}^i.\text{pos}, P_t^m.\text{pos})}$
#5	$dir \leftarrow d(F_{ne}^i.\text{quad} - F.\text{quad})$
#6	$fd \leftarrow d(F_{ne}^i.\text{RSSI}, F.\text{RSSI})$
#7	$wd^{[m]} \leftarrow wd^{[m]} + pd * \frac{fd_{\max} - fd}{fd_{\max}} * dir$
#8	endfor
#9	endfor
#10	$P_t.w \leftarrow \text{norm}(wd)$

40. ábra Súlytényezők számítása az irányérzékenység figyelembevételével

Mivel a telefon szenzorainak segítségével lehetőség van pontos földrajzi irány meghatározására és a helymeghatározási adatbázis is irányfüggően tartalmazza a korábbi térerősség mérési adatokat, így két irány közötti különbség is hatással van a részecskék

súlytényezőjének megállapításakor (#5). Az irányok az egyszerű felhasználhatóság érdekében kvadránsokra (17. ábra) vannak bontva, így csak a kvadránsok közötti különbségekkel kell számolni. Az erre a célra használt távolságfüggvény egységnyi értéket ad, ha megegyezik a két érték kvadránsa és nullát, ha ellentétesek egymással, így az ellentétes irányú mérések kimaradnak a súlytényező számításból.

A helymeghatározás utolsó lépése a részecskék súlytényezői alapján a pozíció meghatározása, amely az okosórával azonos módon történik (34. ábra).

5.3. VALÓS IDEJŰ AKTIVITÁSDETEKTÁLÁS

A kutatásom során arra a következtetésre jutottam, hogy a helymeghatározás pontossága még tovább javítható, ha a lépés elemzés helyett sokkal részletesebb mozgáselemzést használok fel. Ugyanis, ha a mozgás típusa is felismerhető, ezzel újabb geometriai kényszerek vezethetők be, újabb helymeghatározási hiba csökkentési lehetőséget adva. Ezt a fajta mozgáselemzést a szakirodalom aktivitásdetektálásnak vagy emberi aktivitás felismerésnek (Human Activity Recognition, HAR) nevezi.

Az aktivitás felismerés problémája alapvetően egy idősoros osztályozási probléma, mivel a mobiltelefon érzékelői idősoros adatokat szolgáltatnak a gyorsulásról és szögsebességről. Az ilyen típusú osztályozásnak számos lehetséges módja van.

Lehetséges fuzzy osztályozást használni, ahogy azt a [88] ajánlja az emberi mozgás elemzéséhez és rejtett Markov-modellt a kontextus értelmezéséhez. Ennek a megoldásnak is előnye, hogy külső infrastruktúra nélkül is működik, viszont a pontosság – különösen az emberi tevékenység felismerése – viszonylag alacsony, ami alacsony pozicionálási pontosságot eredményezhet.

Osztályozási feladatokra nagyon jól használható a „Support Vector Machine” (SVM). Ilyen megoldást mutat be a [89] irodalom vagy egy a mobiltelefonok erőforrás lehetőségeit is figyelembe vevő, alacsonyabb számítási kapacitású változatot a [90] szakirodalom.

A mozgáselemzés esetében a legpontosabb módszer a konvolúciós neurális hálózat (CNN) használata, amint azt a [91] és [92] irodalom ismerteti. Összehasonlítják az SVM-mel és a Random Forest módszerekkel és bebizonyítják a CNN nagyobb pontosságát az aktivitás felismerés tekintetében. A [92] egyúttal egyszerűsítést is javasol, ahelyett, hogy a háromdimenziós gyorsulási vektort használná az osztályozáshoz, csak a vektor hosszát használja, így a problémát 1D idősorok osztályozására redukálják. Ennek a módszernek

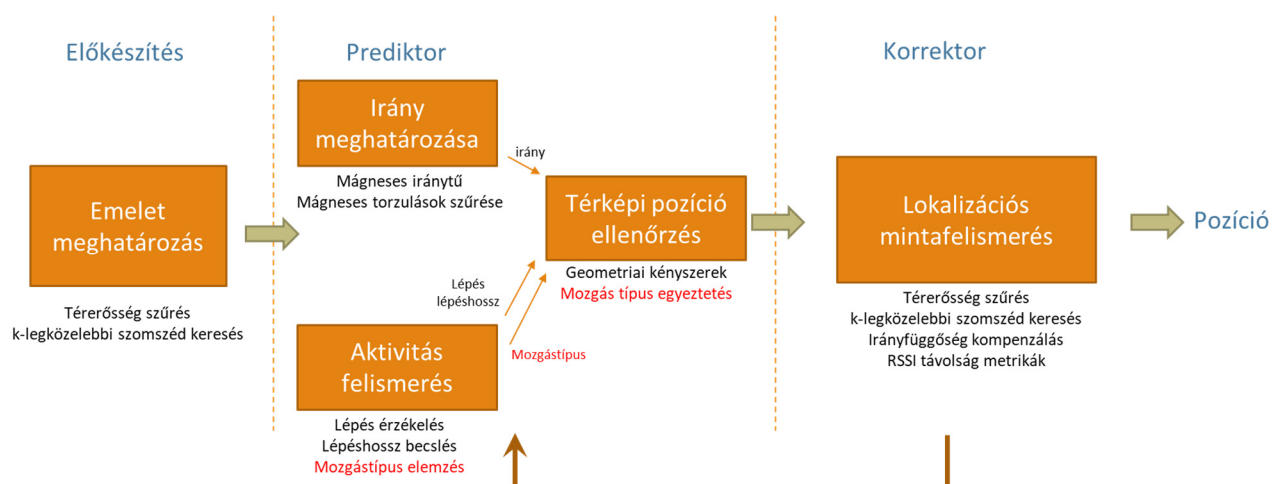
az az előnye, hogy eltávolítja az osztályozásból a mobiltelefon irányfüggőségét, ugyanakkor viszont eltávolít hasznos szenzor információkat melyek más osztályozási kategóriákhoz hasznosak lennének.

A javasolt módszerek közös hátránya, hogy nem biztosítanak valós idejű mozgásfelismerést. Általában 2-3 másodperces időszelvet használnak az osztályozáshoz, de sietősebb járás esetén ebbe az időkeretbe akár több lépés ideje is beleférhet, ami azt jelenti, hogy előfordulhat, lépések érzékelése kimarad, két vagy több lépést egy lépésnek érzékel az algoritmus. A helymeghatározáshoz olyan valós idejű aktivitás detektálásra van szükség, amiben egyúttal a lépésdetektálás is valós idejű és lehetőség szerint minden lépést külön-külön felismer, nem csak a gyaloglás tényét.

A szükséges valós idejű elemzéshez legközelebb álló megoldást a [93] javasolja. Ez a módszer valós idejű működést és nagyon nagy felismerési pontosságot biztosít. Az egyetlen probléma, hogy ennek a neurális hálózatnak a tanításhoz szükséges adatkészlet nem tartalmazza az összes szükséges mozgástípust, hiányzik a mozgólépcső, a lift felismerése és a fordulók érzékelése.

5.3.1. Aktivitás felismerés a beltéri helymeghatározásban

Az aktivitás felismerést egyszerűen be lehet illeszteni egy részecskeszűrő alapú beltéri helymeghatározási algoritmusba és annak pontosságát több ponton is javíthatja. A 37. ábra ismertetésekor bemutatott algoritmus átalakított változatát a 41. ábra szemlélteti.

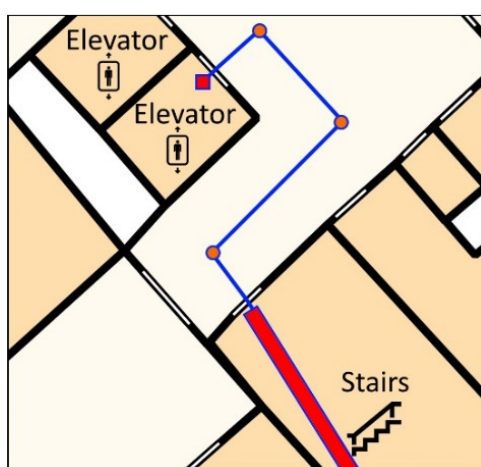


41. ábra Helymeghatározási algoritmus aktivitás detektálással

Az aktivitás felismerés helyettesíti a lépés elemzés modult. Ahhoz hasonlóan szolgáltatja a lépés esemény és a becsült lépéshossz adatokat. Emellett képes egy újfajta

adattípust is előállítani, a mozgás jellegét leíró adatokat. A mozgás jellege a telefon felhasználójának mozgását jellemzi, olyan jellegzetes mozgástípusok felismerésével, mint például lépcsőn haladás, fordulás vagy lift használata.

A mozgás jellege a térképi adatbázissal együtt felhasználható geometriai kényszerek bevezetésére. A részecskék súlytényezőjének meghatározásában tudjuk felhasználni ezeket a geometriai kényszereket. Például, ha az éppen felismert tevékenység egy lépcsőn felfelé haladás, akkor azok a részecskék, amelyek egy lépcsőn helyezkednek el nagyobb valószínűségi értéket kapnak. A 42. ábra olyan helyzeteket mutat, ahol a mozgás felismerés jól felhasználható a helybecslés finomításához.



42. ábra Geometriai kényszerek aktivitás felismerés esetén

A képen egy hipotetikus útvonal látható a lépcsőháztól a liftig. A narancssárga körök a fordulópontokat jelölik. A felhasználó mozgásában bekövetkezett jelentős irányváltoztatás megerősítheti ezt a pozícióbecslést. A piros téglalapok az emelet váltással összefüggő mozgásmintákat jelzik. Ha az éppen felismert mozgásminta lifthasználatot jelez, akkor a liftben található pozícióbecslések kapnak megerősítést, amennyiben a mozgás lépcsőn történő haladást jelent, akkor azok a részecskék kapnak megerősítést, amelyek a lépcsőn helyezkednek el. A mozgáselemzés kimenete a részecskeszűrő prediktor részébe kerül beépítésre. Itt a térképi pozícióellenőrzéshez csatlakozik, ahol az elmozdulások ellenőrzése után a részecskék elősúlyozása történik meg a mozgásmintákból adódó geometriai kényszerek alapján.

Ennek megvalósításához – a lépésérzékeléshez hasonlóan – valós idejű tevékenységfelismerésre van szükség, és természetesen a megfelelő metaadatokkal ellátott digitális térképre is.

A konvolúciós neurális hálózat, mint mozgás elemzési módszer a részecskeszűrő alapú beltéri lokalizációs algoritmusba való integrálásának feltétele a neurális hálózat erősen valós idejű működése, amely képes felismerni a járás lépéseit és meghatározni a mozgás típusát. Fel kell ismerni legalább a vízszintes gyaloglást, a jelentős fordulót, a lépcsőzést emelkedő és süllyedő irányban és a lifthasználatot. A mozgás felismeréshez szükséges szenzoros adatok elsősorban a gyorsulás és a szögsebesség szenzorból származnak, a függőleges mozgások felismerését még a nyomásérzékelő jele is segítheti.

A neurális hálózat elkészítésének első lépéséhez össze kell gyűjteni a tanításhoz szükséges adatokat és elő kell készíteni, címkézni, tisztítani a hálózat betanításához.

5.3.2. Adatgyűjtés és előfeldolgozás

A tanításhoz szükséges adatok rögzítése a már korábban (3.1.1) ismertetett mobiltelefon alkalmazás használatával, több önkéntes részvételével történt. A telefon két pozícióban került rögzítésre: nadrágzebben és kézben (vízszintes orientációban, olyan módon, ahogy azt általában a navigációs alkalmazásnál megszokott, amikor a felhasználó látja a telefon képernyőjét).

A mérésben 30 fő vett részt, 18 férfi és 12 nő, 21-50 év közötti, eltérő testmagassággal. A mérési protokoll különféle mozgásokat tartalmazott. A résztvevőknek egyenesen, vízszintes felületen kellett haladniuk 20 lépést, három különböző járási sebességgel, fordulniuk és lépcsőn kellett fel-le menniük. Kilenc különböző típusú felvonót használtunk a liftben való mozgási adatok mérésére, fel- és lefelé haladva egyaránt.

Az összegyűjtött adatok negatív referenciaként egyéb, nem járással kapcsolatos mozgástípusokat is tartalmaznak. Ez a mozgás magában foglalja az autóval vagy kerékpárral való utazást, a rendszeres irodai tevékenységeket (ülés, gépelés, olvasás vagy akár étkezés).

5.3.3. Adatszűrés

Mivel az IMU érzékelők jelei többféle zajjal is terheltek, melyek jellegzetességeit a [94] irodalom ismerteti, ezért a szenzorok adatait a további feldolgozás előtt szűrjük. Ugyanazt a szűrési módszert alkalmazzuk a tanítási adatkészletre és a valós idejű adatokra is működés közben az aktivitás felismerésében. A gyorsulásérzékelőtől származó adatok szűrése két lépésben történik. Az első lépést az Android operációs rendszer biztosítja, hiszen a nyers háromtengelyes gyorsulásmérő adatok kiolvasása

mellett van egy funkció a lineáris gyorsulás értékének lekérésére. A lineáris gyorsulás nyers gyorsulási adatokból áll össze úgy, hogy a nehézségi gyorsulás vektorát kivonjuk az aktuális gyorsulás vektorból. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a lineáris gyorsulás értéke csak a felhasználó mozgása által okozott gyorsulást tartalmazza, és a gravitációs gyorsulás, vagyis a telefon orientációja nem lesz hatással a neurális hálózat aktivitás felismerési képességére.

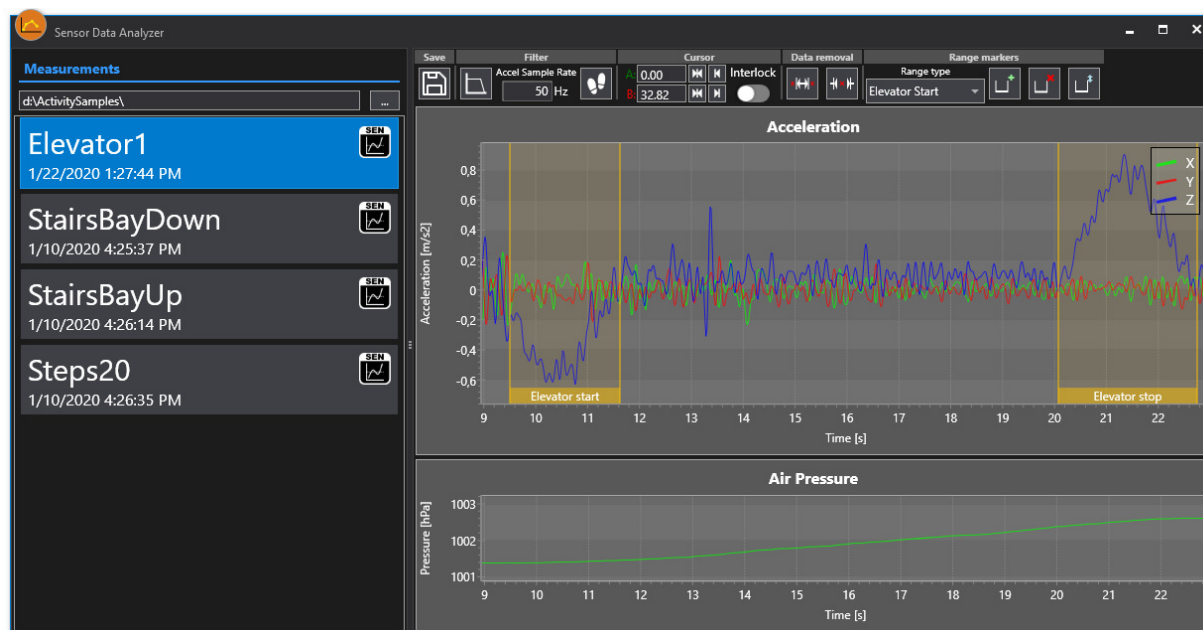
A szűrés második lépésének feladata elsősorban a mintavételezési frekvencia csökkentése. Erre azért van szükség mert a különböző gyártótól származó telefonok esetében nem egyforma a szenzorok mintavételi frekvenciája, viszont a neuronháló működéséhez állandó, adott mintavételi frekvenciájú jelre van szükség. A mintavételi frekvencia csökkentés viszont csak úgy végezhető el biztonságosan, ha előtte egy aluláteresztő szűrőn engedjük át a jelet, hogy a mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú komponensek ne maradjanak benne, mert azok jeltorzulást okozhatnak (Nyquist tétel, [95]). Az ehhez szükséges digitális aluláteresztő szűrő viszont úgy méretezhető a legegyszerűbben, ha állandó mintavételi frekvencia alapján kerülnek a szűrő együtthatói meghatározásra. Vagyis az aluláteresztő szűrő nem illeszthető közvetlenül a szenzorok kimeneti jeleire, mert azok mintavételi frekvenciája nem állandó.

Ezért azt a megoldást alkalmaztam, hogy első lépésként a szenzorok jeleit túlmintavételezem, vagyis a lehetséges legnagyobb szenzor mintavételi frekvenciánál is magasabb frekvenciára alakítom. Az ehhez kiválasztott mintavételi frekvencia a 1000 Hz, mert ez megfelelő biztonsággal magasabb, mint a szenzorok általában használt mintavételi frekvenciája (100 Hz ... 500 Hz). A túlmintavételezéshez szükséges interpolált mintákat harmadfokú görbe interpolációjával számítja ki az algoritmus. Az így már állandó mintavételi frekvenciájú jelet szűrjük egy hetedrendű Butterworth aluláteresztő szűrővel, 8 Hz-es vágási frekvenciával, végül a jelet 50 Hz-re mintavételezzük, ami bőven elegendő az aktivitás észleléséhez és még elfogadható számítási teljesítményt igényel. Ezzel az előszűréssel a mintavételezési frekvencia fix lesz bármely mobiltelefonnál, és a gyorsulásérzékelő nagyfrekvenciás zaja is csökken. A giroszkóp adatfeldolgozása is hasonló, a fő különbség az alkalmazott szűrő típusa, erre a célra ötödfokú Butterworth feluláteresztő kerül felhasználásra, 1 Hz-es sarokfrekvenciával, mivel a giroszkóp alacsony frekvenciájú zajjal (drift) rendelkezik, így alacsony frekvencián szükséges szűrni.

A szűrt szenzorjeleket ezután fel kell címkézni a neurális hálózat tanulási adatkészleteként való használathoz.

5.3.4. Adatkészlet címkézés

Az összegyűjtött adatokban meg kell jelölni azokat a mintázatokat, amelyek egy-egy aktivitástípushoz tartoznak, mert a neuronháló tanítása során ezek az információk kulcsfontosságúak lesznek. Az egyes mintázatok címkézéshez készítettem egy asztali alkalmazást C# nyelven, WPF keretrendszer felhasználásával. Az alkalmazás képes beolvasni az adatgyűjtő program által létrehozott fájlokat, elvégezni a már korábban ismertetett szűrési folyamatot. Majd ezután megjeleníti a szenzorok által mért adatokat idődiagram formájában és olyan eszközkészletet ad, amely alkalmas időintervallumok kivágására, információt nem hordozó részek eltávolítására és legfontosabb funkcióként az olyan időtartományok megjelölésére, ahol egy adott tevékenységre jellemző mintázat látható. A 43. ábra mutatja az alkalmazás képernyőképét.



43. ábra Tanítási adatok címkézése

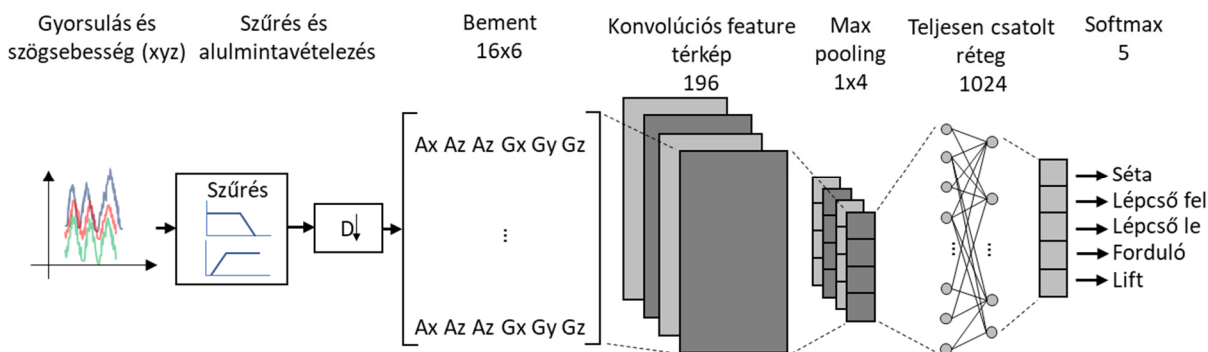
A felhasználó az alkalmazás segítségével meg tudja jelölni az adott mintázat időtartományának kezdő és záró időpontját és be tudja állítani a mintázat jellegét.

Minden mért adatot ennek az alkalmazásnak a segítségével felcímkéztük az aktivitás megfelelő típusaival (egyenes járás, lépcső fel, lépcső le, lift start, lift stop, fordulás) és az így elkészített tanítási adatbázis segítségével a neurális hálózat megépíthető és betanítható.

5.3.5. Aktivitás felismerés

Az aktivitás felismerése lényegében egy idősoros adatokra támaszkodó mintafelismerés, ahol az idősoros adatokat a mobiltelefon inerciális szenzorai szolgáltatják. A konvolúciós neurális hálózatok kiválóan alkalmasak erre a feladatra, amint azt a [96] részletesen kifejti. A felhasznált CNN felépítése nagyon hasonló a [93]-ban ismertetetthez, annyi bővítéssel, hogy a giroszkóp adatok is bekerültek a szenzor adatok köré, mert az irányváltoztatások felismerésének a megbízhatóságát jelentősen növelik. Az CNN alapú adatfeldolgozás egyes elemeit a 44. ábra szemlélteti.

A feldolgozás a szenzorok jeleivel szűrésével kezdődik majd alulmintavételezésével folytatódik, ahol a szűrés ugyanolyan módon történik ahogy a tanítási adatok előkészítésénél is megvalósult. A kapott vektoradatokat (3 elemű gyorsulás és 3 elemű giroszkóp vektort) ezután a neuronháló konvolúciós rétegébe továbbítjuk, 16 minta hosszúságú ablakok felhasználásával. A réteg 196 konvolúciós feature térképet tartalmaz, amelyet egy 1x4-es méretű max-pooling réteg követ, hogy a tulajdonságok száma a negyedére csökkenjen. A max-pooling réteg kimenete egy teljesen összekapcsolt, 1024 neuronból álló réteghez kapcsolódik. A neuronháló utolsó rétege egy softmax réteg, amely megadja az öt lehetséges felismert tevékenység valószínűségét.



44. ábra Aktivitás felismerésre alkalmas konvolúciós neurális hálózat felépítése

A neuronháló tanítása a standard sztochasztikus gradiens csökkenés és hiba visszaterjesztési algoritmussal működik, kombinálva Adam optimalizálással a neuronháló legjobb eredményeket adó paraméterinek megtalálására. A modell a Tensorflow alkalmazási keretrendszer segítségével készült.

5.3.6. Értékelés

A neuronháló tesztelési adataihoz az adatkészlet 30 %-át használtam fel, míg a fennmaradó adatok a tanításban vettek részt. A tesztadatokon mért felismerési pontosságokat a 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat Mozgásforma felismerés pontossága

Mozgás típusa	Pontosság [%]
Séta	91.4
Lépcső (fel)	89.6
Lépcső (le)	88.9
Fordulás	86.3
Lift (elindulás, megállás)	75.2

Az egyenes mozgás, a lépcsőn való mozgás és a fordulás pontossága elfogadható, a lift felismerése bizonytalanabb, de ennek valószínűsíthető oka a liftadatok viszonylag alacsony száma.

5.4. TÉZIS III.

Kidolgoztam egy algoritmust, amely a II. tételben bemutatott beltéri helymeghatározási módszer pontosságát és stabilitását képes javítani egy mobiltelefon további szenzorainak bevonásával. A részecskeszűrő alapú helymeghatározási algoritmus pontosságát javítottam a mozgás irányának meghatározásával és annak Kálmán szűrő alapú hibacsökkentésével. Az irány pontosságának javítása után bevezettem a részecskeszűrő korrektor részében a mintaillesztés során a térerősség értékek irányérzékeny hasonlóság mérését, mely további pontosság javulást eredményezett. Rámutattam a valós idejű aktivitás detektálás használatosságára és fontosságára a beltéri helymeghatározásban és javaslatot tettem az aktivitás detektálás integrálásának módjára, ahol a geometriai kényszerekkel a javasolt megoldás tovább képes csökkenteni a lokalizáció hibáit. Ennek érdekében kidolgoztam egy konvolúciós neuronháló alapú valós idejű mozgásminta felismerő rendszert, amely alkalmas a beltéri helymeghatározásban történő felhasználásra.

5.5. ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

A szakirodalomban nem található olyan publikáció, ahol egy Wi-Fi térerősség alapú beltéri helymeghatározás pontosságát az általam kidolgozott szűrési és hibacsökkentési algoritmusokkal javítanák úgy, hogy közben figyelembe veszik a vakok és gyengénlátók által a rendszerrel szemben támasztott követelményeket. Nem található a szakirodalomban olyan megoldás sem, ahol valós idejű aktivitásdetektálást és geometriai kényszereket ötvöznének részecskeszűrővel.

Az elvégzett mérések kimutatták, hogy a kidolgozott módszer képes hatékonyan javítani az okostelefon alapú beltéri helymeghatározás pontosságát.

5.6. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[s2], [s6], [s7], [s8], [s9], [s10], [s11], [s14]

ÖSSZEFOGLALÁS

Disszertációmban a beltéri helymeghatározás néhány – elsősorban egészségügyi támogatói területen történő – felhasználási területén, a kiépített infrastruktúra nélküli, speciális eszközt nem igénylő változataival foglalkozom. A lokalizációhoz a már kiépített Wi-Fi kommunikációs hálózat egyes hozzáférési pontjainak a térerejét, mint helytől függő mintázatot használom fel, a felhasználók pedig egy szokásos mobil okoseszközzel, okosórával vagy okostelefonnal használhatják a megoldást.

Első tézisként a Wi-Fi alapú helymeghatározás jellemző hibáinak és hibaforrásainak elemzése alapján javaslatot teszek a teljes folyamathoz szükséges adatbázis adattartalmával kapcsolatban. Kitérek az egyes adatok létrehozásának módjára, különös tekintettel a térerősség térkép létrehozását illetően, ahol egy újszerű megközelítést javaslak, mely viszonylag egyszerűen kivitelezhető és a módszer úgy lett felépítve, hogy a térerősségmérés hibáiból adódó pontatlanságokat csökkenteni igyekezzem.

Második tézisként egy – az idősgondozásban eredményesen használható – okosóra alapú helymeghatározási módszert ismertetek. Ez a megoldás az előzőekben létrehozott adatbázisra támaszkodva, az okosóra erősen korlátos hardver lehetőségeinek felhasználásával, az általam javasolt algoritmusoknak köszönhetően jól használható és elfogadható pontosságú beltéri helymeghatározást tesz lehetővé. Így alkalmas az idős emberek otthoni vagy időotthonbeli felügyeletére, mindenkor tartózkodási helyének beltérben is történő mérésére, elesés vagy rosszullét esetén helyinformációt is tartalmazó riasztás kiadására, illetve hosszabb távú mozgás és viselkedés elemzés segítségével a viselőjének mentális állapotában bekövetkező változások jelzésére.

A harmadik tézis alapja egy vakok és gyengénlátók számára fejlesztett beltéri navigáció célját szolgáló mobiltelefon alapú alkalmazás. Ebben a már korábban ismertetett adatbázisra támaszkodó a telefon nyújtotta hardver és szoftver lehetőségeket messzemenően kihasználó helymeghatározó algoritmusok kerülnek ismertetésre. A megoldás legfontosabb eleme egy mesterséges neurális háló alapú, valós idejű mozgásfelismerő módszer, mely az okostelefon szenzor adatainak felhasználásával nagy biztonsággal képes meghatározni a felhasználó mozgásának típusát és ezzel az információval képes tovább javítani a helymeghatározási algoritmus pontosságát és növelni a megbízhatóságát.

TÉZIS I.

Meghatároztam azon adatok körét, amelyek szükségesek a beltéri navigáció és helymeghatározás algoritmusai számára. Helymeghatározás szempontjából az adattartalom elsősorban a Wi-Fi térerősség alapú módszerekre van optimalizálva, figyelembe véve a térerősség mérés jellemző hibaforrásait, melyeket mérésekkel is elemeztem. Ezen kívül felhasználok még az alaprajz geometriai információit is, melyek nemcsak a megjelenítésben és útvonaltervezésben használhatók, hanem a helymeghatározás algoritmusában is, mint hibát csökkentő információ.

Kidolgoztam egy mérési módszert, amely segítségével a térerősség mérés hatékonyan elvégezhető úgy, hogy közben a módszer figyelembe veszi a térerősség mérés pontatlanságait, illetve azokat mérsékelni igyekszik és a mérés helye is elfogadható pontossággal rekonstruálható jelölések vagy járulékos pozíció mérések nélkül.

TÉZIS II.

A doktori kutatómunka során kidolgoztam egy algoritmust, amely képes egy okosóra korlátos szenzor és egyéb erőforrásainak felhasználásával, használható pontosságú, külön kiépített infrastruktúrát nem igénylő, Wi-Fi mintaillesztésen alapuló beltéri helymeghatározási feladat ellátására. Ennek érdekében kidolgoztam egy térerősség adatok előszűrésére szolgáló algoritmust, amely térerősség mérés jellegzetességeiből és hibáiból adódó helymeghatározási pontatlanságakat képes csökkenteni. Kidolgoztam egy módszert a részecskeszűrő alapú beltéri helymeghatározási algoritmus predikciós részének mozgásvektor nélküli megvalósítására. Bevezettem a részecskeszűrő algoritmusba a geometriai kényszerek alkalmazását, mely a térerősség mérések bizonytalanságából adódó helymeghatározás pontatlanságát tovább csökkenti.

TÉZIS III.

Kidolgoztam egy algoritmust, amely a II. tételben bemutatott beltéri helymeghatározási módszer pontosságát és stabilitását képes javítani egy mobiltelefon további szenzorainak bevonásával. A részecskeszűrő alapú helymeghatározási algoritmus pontosságát javítottam a mozgás irányának meghatározásával és Kálmán szűrő alapú szöghiba csökkentésével. Az irány pontosságának javítása után bevezettem a részecskeszűrő mintaillesztési részében a térerősség értékek irányérzékeny hasonlóság mérését, mely további pontosság javulást eredményezett. Rámutattam a valós idejű

aktivitás detektálás használhatóságára és fontosságára a beltéri helymeghatározásban és javaslatot tettem az aktivitás detektálás integrálására, ahol a geometriai kényszerekkel a javasolt megoldás tovább képes csökkenteni a lokalizáció hibáit. Kidolgoztam egy konvolúciós neuronháló alapú valós idejű mozgásminta felismerő rendszert, mely alkalmas a beltéri helymeghatározásban történő felhasználásra.

SUMMARY

In my dissertation, I deal with some application of indoor positioning, mainly in the field of health support. I focused mainly on the versions that do not require special equipment and do not need a special infrastructure. For the localization, I use the signal strength of Wi-Fi access points on an already existing communication network as a location-dependent pattern, and users can use the system with a standard smart mobile device, smartwatch or smartphone.

As a first thesis, based on an analysis of the typical errors and error sources in Wi-Fi based positioning, I proposed the data content of the database required for the entire localization process. I have discussed the way in which each part of the data set is generated, in particular the creation of the field strength map, where I propose a novel approach that is relatively simple to implement and the method is designed to reduce inaccuracies due to errors in field strength measurements.

As a second thesis, I presented a smartwatch-based positioning method - which can be used effectively in elderly care. This solution, based on the database created in the previous work and using the very limited hardware capabilities of the smartwatch, provides a well-usable indoor positioning system with acceptable accuracy, thanks to the algorithms proposed. Thus, it is suitable for monitoring elderly people at home or in a nursing home, for measuring their current indoor locations, for issuing an alarm with location information in the event of a fall or malaise, and after a longer-term movement analysis to indicate the changes in the watch wearer's mental state.

The third thesis is based on an application of the mobile phone in the field of indoor navigation for the blind and visually impaired users. The proposed method uses the database created in the first thesis, and the proposed indoor localization algorithm makes extensive use of the hardware and software capabilities of the mobile phone. The most important element of the solution is a convolutional neural network-based real-time motion detection method that can determine the type of user's movement with high reliability using smartphone sensory data and with this information can further improve the accuracy and reliability of the positioning algorithm.

THESIS I.

I have developed a database format that is suitable for providing all the data needed for indoor navigation and positioning. In terms of positioning, it is primarily optimized for Wi-Fi field strength-based methods, taking into account the typical sources of error in field strength measurement. It also includes geometric information that can be used not only in visualization and route planning, but also as a geometry constraint in positioning. I have developed a measurement method that allows the field strength measurement to be performed efficiently, while the measurement method takes into account the inaccuracies of the field strength measurement and tries to reduce them, and the measurement location can be reconstructed with acceptable accuracy without markings or position measurements.

THESIS II.

I have developed an algorithm that is able to perform an indoor positioning task based on Wi-Fi field strength pattern matching, which does not require a separate infrastructure, and able to use a smart device with limited sensor and hardware resources. To this end, I have developed an algorithm for pre-filtering field strength data that can reduce positioning inaccuracies due to field strength measurement characteristics and errors. I have developed a method to implement the prediction part of the particle filter-based indoor positioning algorithm without a motion vector. I introduced the use of geometric constraints in the particle filtering algorithm, which further reduces the inaccuracy of positioning due to the uncertainty of field strength measurements.

THESIS III.

I have developed an algorithm that can improve the accuracy and stability of the indoor positioning by involving additional sensors of a mobile phone. The proposed algorithm improves the accuracy of the particle filter-based positioning algorithm by reducing the angular error using Kálmán filter. I also introduced the direction-sensitive similarity calculation of the field strength values in the field strength matching part of the particle filter, which further improves the accuracy. I pointed out the usefulness and importance of real-time activity detection in indoor positioning and proposed the way of integration of activity detection, which can further reduce localization errors with

geometric constraints. I have developed a real-time motion pattern recognition system based on a convolutional neural network, which is suitable for use in indoor positioning.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] WHO: Dementia, Online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia> (Letöltve: 2022.04.25)
- [2] Z. Wang, Z. Yang, T. Dong, "A Review of Wearable Technologies for Elderly Care that Can Accurately Track Indoor Position, Recognize Physical Activities and Monitor Vital Signs in Real Time. ", Sensors (Basel) 2017, vol:17, no:2, 2017, doi:10.3390/s17020341
- [3] F. Ehrler, C. Lovis, "Supporting Elderly Homecare with Smartwatches: Advantages and Drawbacks.", Studies in health technology and informatics. 205., 2017, pp. 667-671, doi:10.3233/978-1-61499-432-9-667
- [4] K. Saraubon, K. Anurugsa, A. Kongsakpaibul, "A Smart System for Elderly Care using IoT and Mobile Technologies. ", In Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Software and e-Business (ICSEB '18). Association for Computing Machinery, 2018, pp. 59–63. doi:10.1145/3301761.3301769
- [5] D. Rodrigues, F. Luis-Ferreira, J. Sarraipa, R. Goncalves, "Behavioural Monitoring of Alzheimer Patients with Smartwatch based System", 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS), 2018, pp. 771-775, doi:10.1109/IS.2018.8710487
- [6] A. Barua, C. Dong, F. Al-Turjman, X. Yang, "Edge Computing-Based Localization Technique to Detecting Behavior of Dementia", IEEE Access, vol. 8, pp. 82108-82119, 2020, doi:10.1109/ACCESS.2020.2988935
- [7] K. Trawinski, J. M. Alonso, N. Hernández, "A Multiclassifier approach for topology-based WiFi indoor localization.", Soft Computing 17, pp. 1817–1831, 2013, doi:10.1007/s00500-013-1019-5
- [8] V. Chandel, D. Jaiswal, A. Ghose, "InLocW: A reliable indoor tracking and guiding system for smartwatches with path re-routing," IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2017, pp. 697-702, doi:10.1109/PERCOMW.2017.7917648.
- [9] U. Sait, V. D. Ravishankar, T. Kumar, S. Shivakumar. G. Lal, K. Bhalla, M. Singh, R. Bhaumik, "Memhans: an Assistive Device for Dementia Patients", 2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2019, pp. 1-5, doi:10.1109/GHTC46095.2019.9033140.
- [10] A. Correa, E. M. Diaz, D. B. Ahmed, A. Morell, J. L. Vicario, "Advanced Pedestrian Positioning System to Smartphones and Smartwatches. ", Sensors 2016, 16, 1903. doi:10.3390/s16111903
- [11] M. Haescher, D. J.C. Matthies, K. Srinivasan, G. Bieber, "Mobile Assisted Living: Smartwatch-based Fall Risk Assessment for Elderly People.", Proceedings of the 5th international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction (iWOAR '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 6, 2018, pp. 1–10, doi:10.1145/3266157.3266210

- [12] R. Bourne, J. D. Steinmetz, S. Flaxman, P. S. Briant, H. R. Taylor, S. Resnikoff, et al, "Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study", *The Lancet Global Health*, Volume 9, Issue 2, 2021, pp. e130-e143, ISSN 2214-109X, doi:10.1016/S2214-109X(20)30425-3
- [13] G. Fusco, J. M. Coughlan, "Indoor Localization Using Computer Vision and Visual-Inertial Odometry. ", Miesenberger, K., Kouroupetroglou, G. (eds) *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10897, doi:10.1007/978-3-319-94274-2_13
- [14] M. Serrão, J.M.F. Rodrigues, J.I. Rodrigues, J.M.H. du Buf, "Indoor Localization and Navigation for Blind Persons using Visual Landmarks and a GIS", *Procedia Computer Science*, Volume 14, 2012, pp. 65-73, ,doi:10.1016/j.procs.2012.10.008
- [15] F. Höflinger, J. Bordoy, N. Simon, J. Wendeberg, L. Reindl, C. Schindelbauer, "Indoor-Localization System for Smart Phones. ", *International Workshop on Measurements and Networking*, 2015, pp. 1-6, doi:10.1109/IWMN.2015.7322974
- [16] H. Yanbin, X. Yang, Q. H. Abbasi, "Efficient AoA-Based Wireless Indoor Localization for Hospital Outpatients Using Mobile Devices", *Sensors* 18, no. 11: 3698, 2018, doi:10.3390/s18113698
- [17] H. Fernandes, V. Filipe, P. Costa, J. Barroso, "Location based Services for the Blind Supported by RFID Technology", *Procedia Computer Science*, Volume 27, 2014, pp. 2-8, doi:10.1016/j.procs.2014.02.002
- [18] M. S. AlZuhair, B. N. Benabid, E. Kanjo, "NFC based applications for visually impaired people - A review. ", *IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, 2014, pp. 1-6, doi:10.1109/ICMEW.2014.6890657
- [19] M. Nakajima, S. Haruyama, "New indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication. ", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013, doi:10.1186/1687-1499-2013-37
- [20] S. S. Reddy, Y. B. Rao, "Indoor Navigation System for Blind People Using VLC", *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.27), 2018, pp. 77-79, doi:10.14419/ijet.v7i3.27.17659
- [21] K. Ye-Sheng, P. Pat, H. Ko-Jen, D. Prabal, "Luxapose: indoor positioning with mobile phones and visible light. ", In *Proceedings of the 20th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '14)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2014, pp.447-458. doi:10.1145/2639108.263910
- [22] K. Alhajri, N. Al-Salihi, V. Garaj, W. Balachandran, "The performance of WiFi network for application in a navigation system for visually impaired people," *Wireless Telecommunications Symposium*, 2008, pp. 243-249, doi:10.1109/WTS.2008.4547571.
- [23] C. Langlois, S. Tiku, P. Sudeep, "Indoor Localization with Smartphones: Harnessing the Sensor Suite in Your Pocket.", *IEEE Consumer Electronics Magazine* 6, 2017, pp. 70-80, doi:10.1109/MCE.2017.2714719

- [24] A. R. Jimenez, F. Seco, C. Prieto, J. Guevara, "A comparison of Pedestrian Dead-Reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU," IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2009, pp. 37-42, doi:10.1109/WISP.2009.5286542.
- [25] Wang, Boyuan et al. "Pedestrian Dead Reckoning Based on Motion Mode Recognition Using a Smartphone." Sensors (Basel, Switzerland) vol. 18(6), 2018, doi:10.3390/s18061811
- [26] H. Fathy, R. Elbasiony, M. T. Faheem, "Finding a Parked Car Location in a Multi-Storey Building without GPS Service. ", International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM), 14(10), 2020, pp. 7–21., doi:10.3991/ijim.v14i10.14385
- [27] C. H. Lim, Y. Wan, B. P. Ng, C. M. S. See, "A Real-Time Indoor WiFi Localization System Utilizing Smart Antennas", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 53, no. 2, pp. 618-622, 2007, doi:10.1109/TCE.2007.381737
- [28] D. Arbula, S. Ljubic, "Indoor Localization Based on Infrared Angle of Arrival Sensor Network.", Sensors 2020, 2020, no:20, doi:10.3390/s20216278
- [29] B. Cook, G. Buckberry, I. Scowcroft, J. Mitchell, T. Allen, "Indoor location using trilateration characteristics.", Proceedings of London Communications Symposium, 2005, pp. 147-150
- [30] B. Kim, J. Choi, S. Ko, M. Park, "Improved active beacon system using multi-modulation of ultrasonic sensors for indoor localization.", 2006, SICE-ICASE International Joint Conference, pp. 1366-1371
- [31] P. Dabove, V. Di Pietra, M. Piras, A. A. Jabbar, S. A. Kazim, "Indoor positioning using Ultra-wide band (UWB) technologies: Positioning accuracies and sensors' performances", IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2018, pp. 175-184, doi:10.1109/PLANS.2018.8373379
- [32] Z. LI, J. HUANG, "Study on the use of Q-R codes as landmarks for indoor positioning: Preliminary results", IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2018, pp. 1270-1276, doi: 10.1109/PLANS.2018.8373516
- [33] V. Chirakkal, M. C. Park, D. Han, "Exploring Smartphone-Based Indoor Navigation: A QR Code Assistance-Based Approach.", IEIE Transactions on Smart Processing and Computing volume 4, issue 3, pp. 173-182, 2015, doi:10.5573/IEIESPC.2015.4.3.173.
- [34] H. Xie, T. Gu, X. Tao, H. Ye, J. Lv, "MaLoc: a practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones.", Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp '14), 2014, pp. 243–253, doi:10.1145/2632048.2632057
- [35] L.M. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, A. P. Patil, "LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID.", Wireless Networks 10, 2004, pp. 701–710., doi:10.1023/B:WINE.0000044029.06344.dd
- [36] R. Tesoriero, J. A. Gallud, M. Lozano, V. M. R. Penichet, "Using active and passive RFID technology to support indoor location-aware systems", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 54, no. 2, pp. 578-583, 2008, doi:10.1109/TCE.2008.4560133

- [37] J. Luo, L. Fan, H. Li, "Indoor Positioning Systems Based on Visible Light Communication: State of the Art", IEEE Communications Surveys & Tutorials, volume 19, issue 4, pp. 2871-2893, Fourthquarter 2017, doi:10.1109/COMST.2017.2743228
- [38] Y. S. Kuo, P. Pannuto, K. J. Hsiao, P. Dutta, "Luxapose: indoor positioning with mobile phones and visible light.", Proceedings of the 20th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '14), 2014, pp. 447–458. doi: 10.1145/2639108.2639109
- [39] S. Hanan, "An overview of quadrees, octrees, and related hierarchical data structures." Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD (1988), pp. 51-68.
- [40] S. Hannan, "Foundations of multidimensional and metric data structures", Morgan Kaufmann, 2006.
- [41] S. Hannan, "The Quadtree and Related Hierarchical Data Structures.", ACM Computing Surveys, Volume 16, Issue 2, June 1984, pp. 187–260 doi:10.1145/356924.356930
- [42] J. L. Bentley, "Multidimensional binary search trees used for associative searching", Communication of the ACM, Volume 18, Issue 9, Sept. 1975, 509–517. doi:10.1145/361002.361007
- [43] N. Gordon, D. Salmond, Adrian F. M. Smith, "Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation", IEE Proceedings F (Radar and Signal Processing), Volume 140, Issue 2, April 1993, pp. 107-113, doi:10.1049/ip-f-2.1993.0015
- [44] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox, "Probabilistic Robotics", MIT Press, Cambridge, 2005, ISBN-13: 978-0-262-20162-9
- [45] P. Del Moral, "Non Linear Filtering: Interacting Particle Solution. Markov Processes and Related Fields", Markov Processes and Related Fields 2(4), March 1996, pp. 555-580
- [46] R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Transaction of the ASME—Journal of Basic Engineering, March 1960, pp. 35-45
- [47] P. Maybeck, "Stochastic Models, Estimation, and Control", Volume 1, Academic Press, Inc., ISBN: 0-12-480701
- [48] G. Welch, G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", SIGGRAPH 2001, Course 8, University of North Carolina, Department of Computer Science, 2001
- [49] S. Albawi, T. A. Mohammed, S. Al-Zawi, "Understanding of a convolutional neural network," International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186.
- [50] Walter Hugo Lopez Pinaya, Sandra Vieira, Rafael Garcia-Dias, Andrea Mechelli, "Chapter 10 - Convolutional neural networks", Machine Learning, Academic Press, 2020, pp. 173-191, ISBN 9780128157398, doi:10.1016/B978-0-12-815739-8.00010-9

- [51] P. Kumar, L. Reddy and S. Varma, "Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in Wireless Sensor Networks," 2009 Fifth International Conference on Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), 2009, pp. 1-4, doi:10.1109/WCSN.2009.5434802.
- [52] C. Phillips, D. Sicker and D. Grunwald, "A Survey of Wireless Path Loss Prediction and Coverage Mapping Methods", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 1, pp. 255-270, First Quarter 2013, doi:10.1109/SURV.2012.022412.00172.
- [53] P. Alwin, S. E. Odongo, H. Dong, "A Combined PDR and Wi-Fi Trilateration Algorithm for Indoor Localization", International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, 2019, doi:10.1109/ICAIIIC.2019.8669059.
- [54] Android Developer Documentation, WiFiManager, <https://developer.android.com/reference/android/net/wifi/WifiManager> (Letöltve: 2022.04.20)
- [55] Martínez del Horno, M., García-Varea, I., Orozco Barbosa, L., "Calibration of Wi-Fi-Based Indoor Tracking Systems for Android-Based Smartphones", Remote Sensing, 2019, 11, 1072, doi:10.3390/rs11091072
- [56] X. C. Liu, S. Zhang, Q. Y. Zhao, "A novel approach for fingerprint positioning based on spatial diversity," in 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), vol.6, no.6, 2010, pp.441-445.
- [57] Liu H-H, Liu C., "Implementation of Wi-Fi Sampling on an Android Smartphone for Indoor Positioning Systems", Sensors. 2018; 18(1):3. doi:10.3390/s18010003
- [58] W. Xue, W. Qiu, X. Hua and K. Yu, "Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization", IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 7, pp. 2224-2230, April 2017, doi:10.1109/JSEN.2017.2660522.
- [59] Shang F, Su W, Wang Q, Gao H, Fu Q., "A Location Estimation Algorithm Based on RSSI Vector Similarity Degree", International Journal of Distributed Sensor Networks. August 2014. doi:10.1155/2014/371350
- [60] Zhou G., He T., Krishnamurthy, S., Stankovic J.A., "Models and solutions for radio irregularity in wireless sensor networks", ACM Trans. Sens. Netw. (TOSN) 2006, 2, pp. 221-262.
- [61] Zhang R.B., Guo J.G., Chu, F.H., Zhang, Y.C., "Environmental-adaptive indoor radio path loss model for wireless sensor networks localization", AEU-Int. J. Electron. Commun. 2011, 65, pp. 1023-1031.
- [62] D. Micheli, A. Delfini, F. Santoni, F. Volpini and M. Marchetti, "Measurement of Electromagnetic Field Attenuation by Building Walls in the Mobile Phone and Satellite Navigation Frequency Bands," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 14, pp. 698-702, 2015, doi:10.1109/LAWP.2014.2376811
- [63] G. Chandrasekaran, M. A. Ergin, M. Gruteser, R. P. Martin, J. Yang, Y. Chen, "Decode: Exploiting shadow fading to detect comoving wireless devices", IEEE Transactions on Mobile Computing, 8(12), pp. 1663-1675, Dec. 2009.
- [64] F. Xiao, Z. Guo, H. Zhu, X. Xie and R. Wang, "AmpN: Real-time LOS/NLOS identification with WiFi," 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2017, pp. 1-7, doi:10.1109/ICC.2017.7997068.

- [65] J. Shen, J. Cao, X. Liu., "BaG: Behavior-aware Group Detection in Crowded Urban Spaces using WiFi Probes", In The World Wide Web Conference (WWW '19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1669–1678. doi:10.1145/3308558.3313590
- [66] M. Habaebi, R. Rosli, R. Islam, "RSSI-based Human Presence Detection System for Energy Saving Automation", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI), Vol.5, No.4, December 2017, pp. 339-350, doi:10.1109/ICL-GNSS.2011.5955283
- [67] G. Lui, T. Gallagher, B. Li, A. G. Dempster, C. Rizos, "Differences in RSSI readings made by different Wi-Fi chipsets: A limitation of WLAN localization," 2011 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), 2011, pp. 53-57, doi:10.1109/ICL-GNSS.2011.5955283.
- [68] B. Distl, F. Legendre, "Are smartphones suited for DTN networking? A methodological teardown of smartphones' WiFi performance," 2015 13th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt), 2015, pp. 90-95, doi:10.1109/WIOPT.2015.7151058.
- [69] Z. N. Chen, X. Qing, T. S. P. See and W. K. Toh, "Antennas for WiFi Connectivity," in Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 7, pp. 2322-2329, July 2012, doi:10.1109/JPROC.2012.2183830.
- [70] T. S. Joaquín, A. Moreira, "Analysis of Sources of Large Positioning Errors in Deterministic Fingerprinting", Sensors 17, no. 12: 2736. doi:10.3390/s17122736
- [71] M. Ulbrich, M. Lüken, J. Mühlsteff, S. Leonhardt, "Chapter 19 - Wearable bioimpedance systems for home-care monitoring using BSNs", Wearable Sensors (Second Edition), Academic Press, 2021, pp. 519-540, ISBN 9780128192467
- [72] Wikipedia, OpenStreetMap, <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap> (Letöltve: 2022.04.28)
- [73] OpenStreetMap Wiki, JOSM, <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/JOSM> (Letöltve: 2022.04.28)
- [74] OpenStreetMap, Simple Indoor Tagging, https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Simple_Indoor_Tagging (Letöltve: 2022.04.28)
- [75] T. Bagosi, Z. Baruch, "Indoor localization by WiFi," 2011 IEEE 7th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 2011, pp. 449-452, doi:10.1109/ICCP.2011.6047914.
- [76] Y. Sun, M. Liu, M. Q. - Meng, "WiFi signal strength-based robot indoor localization", 2014 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2014, pp. 250-256, doi:10.1109/ICInfA.2014.6932662.
- [77] S. Lee, J. Kim, N. Moon, "Random forest and WiFi fingerprint-based indoor location recognition system using smart watch", Hum. Cent. Comput. Inf. Sci. 9, 6, 2019, doi:10.1186/s13673-019-0168-7
- [78] Judit KUNNÉ TAMÁS, „Classification based Symbolic Indoor Positioning”, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, 2021, https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/303396/disszertacio_Kunne_Tamas_Judit_final.pdf, (Letöltve: 2022.07.14)

- [79] S. H. Na, K. J. Kim, E. N. Huh, "Wandering Detection and Activity Recognition for Dementia Patients Using Wireless Sensor Networks", *Journal of Internet Technology*. vol. 13, pp. 115-126, 2012, doi:10.6138/JIT.2012.13.1.12
- [80] KingWear KW88 Smartwatch, <https://www.smartwatchspecifications.com/Products/kingwear-kw88-smartwatch/> (Letöltve: 2022.04.29)
- [81] Leaflet: an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps, <https://leafletjs.com/> (Letöltve: 2020.05.01)
- [82] C. Yabo, Y. Yujiu, L. W. Huang, "E-FallD: A fall detection system using android-based smartphone.", *Proceedings - 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2012, doi:10.1109/FSKD.2012.6234271.
- [83] Y. Kerim, G. Ucar, T. Keskin, A. Kavak, "Fall Detection Using Smartphone-Based Application.", *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers* 4, 2016, pp. 140-144, 2016
- [84] C. Theepop, C. Jakarin, "A 3-phase threshold algorithm for smartphone-based fall detection.", *14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, pp. 183-186, 2017, doi:10.1109/ECTIcon.2017.8096203.
- [85] Motion Sensors, Android Developer Documentation, https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion (Letöltve: 2022.04.29)
- [86] E. Cronkleton, "What Is the Average Walking Speed of an Adult?", *Healthline Newsletter*, 2019, <https://www.healthline.com/health/exercise-fitness/average-walking-speed> (Letöltve: 2022.05.03)
- [87] J. Á. B. Link, P. Smith, N. Viol and K. Wehrle, "FootPath: Accurate map-based indoor navigation using smartphones," *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2011, pp. 1-8, doi:10.1109/IPIN.2011.6071934
- [88] Török A., Nagy A., Kovács L., Pach P., "DREAR - Towards Infrastructure-Free Indoor Localization via Dead-Reckoning Enhanced with Activity Recognition", *Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies*, Oxford, England, 2014, pp. 106-111.
- [89] Zhen-Yu H., Lian-Wen J., "Activity recognition from acceleration data using AR model representation and SVM", *Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Kunming, China, 12-15 July 2008, pp. 2245-2250.
- [90] Davide A., Alessandro G., Luca O., Xavier P., Jorge L. R. O., "Human Activity Recognition on Smartphones using a Multiclass Hardware-Friendly Support Vector Machine", *IWAAL 2012, LNCS 7657*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, pp. 216-223.
- [91] Charissa A. R., Sung-Bae C., "Deep Convolutional Neural Networks for Human Activity Recognition with Smartphone Sensors", *Expert Systems with Applications*, Volume 59, 2016, pp. 235-244.

-
- [92] Song-Mi L., Sang M. Y., Heeryon C., "Human activity recognition from accelerometer data using Convolutional Neural Network", IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), Jeju, South Korea, 2017, pp. 131-134.
- [93] Andrey I., "Real-time human activity recognition from accelerometer data using Convolutional Neural Networks", Applied Soft Computing, Volume 62, 2018, pp. 915-922.
- [94] Oliver J. W., "An introduction to inertial navigation", Technical Report, University of Cambridge Computer Laboratory, 2007
- [95] H. J. Landau, "Sampling, data transmission, and the Nyquist rate," in Proceedings of the IEEE, vol. 55, no. 10, pp. 1701-1706, Oct. 1967, doi:10.1109/PROC.1967.5962.
- [96] Bendong Z., Huanzhang L., Shangfeng C., Junliang L., Dongya W., "Convolutional neural networks for time series classification", Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 28, No. 1, 2017, pp.162 – 169.

SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

- [s1] László Árvai, „Organisational life assistant: How an IT system can help for the ageing society”, Proceedings of the 19th International Carpathian Control Conference (ICCC 2018) (2018) pp. 395-399., 5 p., doi:10.1109/CarpathianCC.2018.8399662
- [s2] László Árvai: Mobile phone based indoor navigation system for blind and visually impaired people: VUK — Visionless supporting framework Proceedings of the 19th International Carpathian Control Conference (ICCC 2018) (2018), doi:10.1109/CarpathianCC.2018.8399660
- [s3] László Árvai: Fingerprint data collection using autonomous robot vehicle for indoor localization system, XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolci Egyetem, (2019) pp. 1-6., doi:10.26649/musci.2019.016
- [s4] László Árvai, Szilvia Homolya: Filtering and fingerprint matching methods for Wi-Fi radio map based indoor localization, Proceedings of the 20th International Carpathian Control Conference, ICC 2019, IEEE, (2019), 6 p., doi:10.1109/CarpathianCC.2019.8765970
- [s5] Arvai, Laszlo, Dobos, Gergely: On demand vision-based indoor localization Proceedings of the 20th International Carpathian Control Conference, ICC 2019, New York, Amerikai Egyesült Államok: IEEE, (2019) pp. 1-4., 4 p., doi:10.1109/CarpathianCC.2019.8765985
- [s6] Árvai, László: Beltéri navigációs rendszer fejlesztése nyílt forrású alapokon, Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X., Debreceni Egyetemi Kiadó, (2019) pp. 35-40., ISBN 978-963-318-054-9
- [s7] Árvai László: Beltéri navigációs rendszer vakok és gyengénlátók részére, Multidiszciplináris tudományok: A miskolci egyetem közleménye, Évf. 9 szám 4 (2019), pp. 387-395, doi:10.35925/j.multi.2019.4.38
- [s8] Árvai László: Beltéri helymeghatározási módszerek és alkalmazásai, Doktoranduszok Fóruma: Miskolc, 2019. november 21.: Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa, pp. 13-23
- [s9] Árvai László: Beltéri helymeghatározás pontosságának javítása geometriai kényszerek használatával, Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI., Debreceni Egyetemi Kiadó, 2020, pp. 31-38., ISBN 978-963-3178-886-6
- [s10] Arvai, Laszlo, Homolya, Szilvia: Filtering Methods for Indoor Magnetic Compass Proceedings of the 2020 21st International Carpathian Control Conference (ICCC), Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2020), doi:10.1109/ICCC49264.2020.9257243
- [s11] Árvai, László, Homolya, Szilvia: Efficient Radio Map Update Algorithm for Indoor Localization, Proceedings of the 2020 21st International Carpathian Control Conference (ICCC), Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2020) doi:10.1109/ICCC49264.2020.9257226
- [s12] Árvai, László: Smartwatch Based Indoor Localization, Proceedings of the 2020 21st International Carpathian Control Conference (ICCC), Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2020) doi:10.1109/ICCC49264.2020.9257230

- [s13] László Árvai: Application of Smartwatches in Elderly Care with Indoor Localization Functionality, International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM), 15(05), 2021, pp. 174–186, doi:10.3991/ijim.v15i05.2043
- [s14] László Árvai, Using convolutional neural network-based activity monitoring in indoor localization methods, Pollack Periodica, 16.3, 2021, pp. 7-12., doi:10.1556/606.2021.00370