



**MISKOLCI**  
EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

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

Ph.D. értekezés tézisei

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



## TARTALOM

|  |    |
|--|----|
| 1. Bevezetés .....   | 2  |
| 1.1. Motiváció, A kutatás célkitűzései.....                                    | 2  |
| 1.2. A kutatási terület irodalmi áttekintése.....                              | 3  |
| 1.2.1. Beltéri helymeghatározás az idősgondozásban .....                       | 3  |
| 1.2.2. Beltéri helymeghatározási rendszerek vakok és gyengénlátók részére..... | 5  |
| 2. Új tudományos eredmények.....   | 8  |
| 2.1. Tézis I.....  | 9  |
| 2.2. Újdonság és érvényesség .....   | 9  |
| 2.3. Kapcsolódó publikációk .....  | 9  |
| 2.4. Tézis II. ....  | 10 |
| 2.5. Újdonság és érvényesség .....   | 10 |
| 2.6. Kapcsolódó publikációk .....  | 10 |
| 2.7. Tézis III.....  | 11 |
| 2.8. Újdonság és érvényesség .....   | 11 |
| 2.9. Kapcsolódó publikációk .....  | 11 |
| 3. Summary .....   | 12 |
| 4. Az értekezésben hivatkozott Irodalomjegyzék.....                            | 14 |
| 5. Saját publikációk.....  | 22 |

## **1. BEVEZETÉS**

A navigáció, pozícionálás, helymeghatározás igénye szinte egyidős az emberiséggel. Bármikor, amikor helyet változtatunk szeretnénk tudni, hogy hol vagyunk és merre kell továbbmennünk. Amíg azonban kültéren széles körben elterjedt technológia, a GPS alapú helymeghatározás áll rendelkezésünkre, beltéren nincs ehhez hasonló, általánosan elterjedt, mindenki számára hozzáférhető megoldás. Különösen igaz ez olyan felhasználási esetekben, amelyek valamilyen speciális elvárást tartalmaznak. Az egyik ilyen terület az idős emberek önálló életvitelének támogatása, viselhető okoseszköz, egy okosóra segítségével. Amennyiben az okosóra rendelkezik beltéri helymeghatározással úgy lehetőség nyílik a napi aktivitás mérésére, mozgásminták gyűjtésére, elesésetektálásra az elesés helyének megjelölésével, vagyis az idős emberek felügyeletére, viselkedésük elemzésére és helyet is tartalmazó riasztások kiadására.

Egy másik ilyen – nem általános felhasználási terület – a vak vagy gyengénlátó felhasználók navigálása beltérben, lehetőleg speciális eszközök nélkül, csak egy okostelefon lehetőségeire támaszkodva.

Mind a két esetben szükséges olyan algoritmusok és alkalmazások kidolgozása, amelyek a mobil eszközök hardver lehetőségeihez és a felhasználás céljához igazodva képesek a beltéri helymeghatározás megvalósítására. Mivel az okoseszközök szenzorai nem helymeghatározás céljára lettek a készülékekbe építve, az algoritmusoknak különösen fontos részei a különböző hibacsökkentő, zajszűrő, pontosságjavító módszerek.

Fontos része még a beltéri helymeghatározási rendszerek működésnek a megfelelő minőségű térképi és a helymeghatározáshoz szükséges további adatok előállításának és tárolásának megvalósítása olyan módon, hogy a helymeghatározás pontosságának javítását is szolgálják.

### **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 funkcionalitás 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.

Motiválólág hatott, hogy mindezt olyan infrastruktúra felhasználásával kellett megvalósítani, melyek eredetileg egyáltalán nem beltéri helymeghatározás céljából jöttek létre, így ez, mint kiegészítő funkció kerülhet megvalósításra, vagyis sokkal nagyobb erőfeszítést kellett tenni a helymeghatározással kapcsolatos mérési adatok szűrése, feldolgozása terén, mint egy közvetlenül 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 felhasználói környezet, a felhasználható eszközök jellemző miatt nem alkalmazható teljes egészében ugyanaz a megoldás mind a két esetben.

## **1.2. 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 helymeghatározást tekintetem át.

### **1.2.1. Beltéri helymeghatározás az idősgondozásban**

A demencia egyik következménye az időskori elkóborlás vagyis amikor a beteg kimegy a lakásából és céltalanul bolyong az utcán. 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.

Az idősek ellátásában a [2] irodalom a viselhető eszközöket részesíti előnyben, mivel ezek a legkényelmesebben használható eszközök, a felhasználóktól ezek igénylik a legkevesebb együttműködést és elfogadhatóan pontos mérési eredményeket adnak. A szerzők [3]-ban az okosórák idősgondozásban való használatának követelményeire és lehetséges nehézségeire hívják fel a figyelmet. Elsősorban arra mutatnak rá, hogy az eszközök ára nagyon fontos paraméter, vagyis érdemes nagy sorozatban gyártott, kereskedelmi forgalomban kapható órát használni az alacsony ár miatt és az okosóra funkcionalitását „csak” szoftveresen bővíteni.

Idősgondozásban használható, okosóra alapú megoldást ismertet az [5] irodalom, amelynek fő fókusza 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 az elesés pontos helye sem adható meg beltérben.

Beltéri helymeghatározás, illetve mozgási minták felismerésén alapuló elkóborlás előrejelzésére alkalmas módszert mutat be [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 koncentrálnak, semmilyen szűrési, adat előfeldolgozási algoritmust nem használnak, így a mindenkori Wi-Fi vétellel kapcsolatos zajok, vételi hibák nehezen szűrhetők ki, vagyis a lokalizációs értékek szórása ennek megfelelően nagy 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 [9] az irodalom. A beltéri helymeghatározás RFID alapú, de elsődleges célja az RFID tag-el megjelölt egyes objektumok közelségének felismerése és azok azonosítása.

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 paramétereket figyelembe véve egy pontozásos értékelés alapján az elesés kockázatát is előre jelzi. Helymeghatározást csak kültéren használnak, beltéri helymeghatározással a megoldás nem rendelkezik.

### **1.2.2. Beltéri helymeghatározási rendszerek vakok és gyengénlátók részére**

Az egyik legpontosabb beltéri helymeghatározási módszert 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 úgy azt megkeresi a rendszer részét képező GIS adatbázisban. 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 vak és gyengénlátó felhasználók esetén nem mindig oldható meg egyszerűen.

Készíthető elektronikus fehér bot is a vakok és gyengénlátók számára [17]. A botban elhelyezett RFID vevő képes venni a padlóban elhelyezett RFID tag-ek jelét 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, illetve érzékeny lehet a megvilágítási viszonyokra.

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.

Egy Wi-Fi alapú helymeghatározó rendszerhez szükséges használat előtt létrehozni a térerősség értékek helyfüggését leíró térképet. Ezt általában méréssel tudjuk meghatározni, azaz a helymeghatározás szempontjából fontos alapterületet be kell járni és egy Wi-Fi kapcsolatra is alkalmas mobileszközzel el kell végezni a térerősség méréseket, a megfelelő sűrűséggel. Az egyes pozíciókban mért térerősség értékekhez a mérés helyét hozzárendelve és az így előállt adatokat eltárolva elkészíthető a térerősség térkép. 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 ilyen módon sokszor roppant időigényes feladat, másrészt az elérhető helymeghatározási pontosság tekintetében szükségtelenül sűrű lesz az elkészült térkép és más, a pontosságot befolyásoló hatásokat, mint például irányérzékenység, nem vesznek figyelembe.

## 2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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, mindenkori tartózkodási helyének beltérben is történő mérésére, elesés vagy rosszullet 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.

## **2.1. 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.

## **2.2. ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG**

A szakirodalomban található cikkek jelentős része rácsponatokon 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 rácsponatok 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 rácsponatok – vagyis a mérés helyének meghatározására – sem található a gyakorlatban is jól használható megoldás. Általában a mérendő területen valamilyen jelölések segítségével azonosítják a rácsponatok helyét, de a jelölések elhelyezése és fenntartása munkaigényes feladat, illetve a mérések elvégzése során is folyamatosan figyelni kell a rácsponatok 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.

## **2.3. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK**

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

## **2.4. 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 pontatlanságokat 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.

## **2.5. 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.

## **2.6. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK**

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

### **2.7. TÉZIS III.**

Kidolgoztam egy algoritmust, amely a II. tézisben 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 használhatóságára 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.

### **2.8. ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESÉG**

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.

### **2.9. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK**

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

### 3. 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 of 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 defined the range of data that is necessary for indoor navigation and for localization algorithms. In terms of positioning, the data content is primarily optimized

for methods based on Wi-Fi field strength, taking into account the typical error sources of the field strength measurement, which I also analyzed with measurements. In addition, I also use the geometric information of the floor plan, which can be used not only in the visualization and route planning, but also in the positioning algorithms, as error-reducing information.

I have developed a measurement method that can be used to measure the field strength efficiently can be performed in such a way that the method takes into account the field strength measurement its inaccuracies and tries to reduce them, and the place of measurement is also acceptable can be accurately reconstructed without markings or additional 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.

#### 4. AZ ÉRTEKEZÉSBEN HIVATKOZOTT 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 quadtrees, 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 (IJEEI), 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](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](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](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., Kováts 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.

## 5. 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, ICCC 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, ICCC 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