

Zachár Gergely

„Indoor localization methods and services”

című doktori (PhD) értekezésének bírálata

I.

A Jelölt értekezésében objektumok helyzetének meghatározásával és követésével foglalkozik egyrészt rádióinterferimetrikus mérésekre, másrészt kamerával rögzített képek feldolgozására alapozva. Mindkét esetben kiindulási feltétel volt, hogy a mérések és a kiértékelő algoritmusok megvalósítása olcsó, általánosan használt eszközökkel történhessen.

A témaválasztás egy kifejezetten sokoldalú felkészültséget igénylő, számos izgalmas kérdést felvető területhez kapcsolódik, ahol a vonatkozó modellezési apparátus, az elméleti megalapozás, a szimuláció és a hardver realizáció harmóniája kulcsfontosságú. A kidolgozott eljárások jelentős újdonságtartalmúak, az elért eredmények a jelölt igen magas színvonalú felkészültségét dicsérik.

A 2 oldal terjedelmű **Bevezetésben** a Szerző előjáróban felsorolja a lokalizáció szokásos eszköztárát, megemlíti a mérések során felhasznált fizikai és származtatott jellemzőket, valamint a végeredményhez vezető fúzió lépését. Ezt követően röviden bemutatja az értekezés fejezeteinek tartalmát, és az értekezés keretében kidolgozott új eljárások lényegét.

A közel 13 oldal terjedelmű **2. fejezetben** a Szerző a disszertáció szakirodalmi előzményeit tekinti át. Első lépésként a pozíció meghatározás és követés elvi alapjait vázolja, amit konkrét módszerek és alkalmazások sorának rövid bemutatása követ. Ebben a fejezetben ismerteti a rádióinterferimetrikus lokalizáció, a fáziskülönbség mérés és a folytonos fázis helyreállításának módszereit.

A mintegy 28 oldal terjedelmű **3. fejezetben** a Szerző egyetlen frekvenciát használó rádióinterferimetrikus követési módszert mutat be, amely geometriai alapon működik és redundáns mérésekre alapozva növeli a pozícióbecslés pontosságát és megbízhatóságát. A javasolt algoritmus működését és tulajdonságait hiba analízissel, szimulációval és mérésekkel illusztrálja. Ennek keretében azt is vizsgálja, hogy miként hat a felhasznált eszközök elhelyezése az algoritmus pontosságára.

A 14 oldal terjedelmű **4. fejezetben** a Szerző egy alternatív, ugyancsak egyetlen frekvenciát használó rádióinterferimetrikus követési módszert mutat be, amely a követett objektum útvonalát egy konfidenciatérkép felhasználásával határozza meg. A csúcsetektálás hatékonyságának növelése érdekében az eljárást adaptívvá teszi. A módszer működését és tulajdonságait szimulációval és mérésekkel illusztrálja.

A közel 11 oldal terjedelmű **5. fejezetben** a Szerző a fáziskülönbség mérés konkrét megvalósítását mutatja be. Az alkalmazott hardver, szoftver és mérési algoritmus ismertetését követően a javasolt megoldás működését és tulajdonságait szimulációval és mérésekkel illusztrálja.

A közel 12 oldal terjedelmű **6. fejezetben** a Szerző egy LED alapú jeladó rendszer és általános kamera felhasználásával működő, képfeldolgozás alapú lokalizációs eszközt mutat be, melynek működését és tulajdonságait szimulációval, és mérésekkel illusztrálja.

A 6 oldal terjedelmű **7. fejezet** összefoglalás, amely az eredményeket, a további kutatási lehetőségeket és az eredmények alkalmazásának lehetőségeit mutatja be összehasonlító elemzés keretében.

Végezetül az értekezés a tézisekkel és irodalomjegyzékkel zárul. Ez utóbbi 14 saját, és 49 külső szerzőtől származó publikációt sorol fel.

II.

Az értekezés igényes kivitelű, alapos munka. Célkitűzése és mondanivalója világos, szerkesztése logikus, jól áttekinthető.

Az értekezésben bemutatott eredményeket értékesnek és magas színvonalúnak tartom. Ezek mindegyike érdemben járul hozzá a beltéri lokalizáció szenzorhálózattal megoldható problémáinak a kezeléséhez, ill. megoldásához. Az értekezés olyan munka, amely egészen konkrét gyakorlati problémák megoldására irányul.

Az eredmények gyakorlati jelentősége egyértelmű: a szenzorhálózatok alkalmazása során kiemelten fontosak a beltéri lokalizáció hatékony algoritmusai, és számos lehetőséget kínálnak a LED-es fényforrásokra, mint referenciapontokra alapozott képfeldolgozási eljárások is.

A Szerző eddigi publikációs tevékenysége kiemelkedő, neve az értekezés témájában született 13 tudományos közlemény közül 12-ben első helyen szerepelt.

III.

Az értekezés problémafelvetése szerteágazó témaköröket érint elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt. Ehhez kapcsolódóan kifejezetten öröndetes a konkrét mérnöki megfontolások bemutatása. Ugyanakkor az értekezés vizsgálati- és tárgyalásmódja a bírálóban hiányérzetet kelt. Bár a javasolt algoritmusokat tesztekkel és mérésekkel illusztrálja, az algoritmusok bemutatása ötlet szinten marad: hiányzik az a – tudományos igényességű – helyzetelemzés, aminek eredményeként a javasolt eljárás megoldásként felvethető.

A bíráló feladata, hogy megossa észrevételeit, kétségeit, fenntartásait annak érdekében, hogy álláspontjának kifejtésével támpontokat adjon a jelölt további kutatásaihoz. Az alábbiakban erre kerül sor:

1. Bár az értekezés mondanivalója szempontjából érdektelen, mégis megemlítem: A Szerző az értekezés bevezetőjében és a tézisfüzetben egyaránt különböző szintekre helyezi a lokalizációs módszerek alapvető építőelemeit, így megemlíti a legalsó szintet, majd a következő szintet, és végül a legfelsőbb szintet. Ezt követően deklarálja, hogy a disszertációban található megoldások lefedik a feldolgozási lánc minden elemét, kiemelve, hogy a fáziskülönbség mérés az alsóbb szintekhez tartozik, a felső fúziós szintre pedig a két követési eljárás. A leírásból nem derül ki, hogy hány szintet definiál, hiszen beszél legfelsőbből, majd alsóbb szintekről. Véleményem szerint egyszerűbb lett volna fizikai jellemzőkre, származtatott jellemzőkre és fuzionált jellemzőkre koncentrálni csoportosítani/szinteket definiálni.
2. A 2. fejezet a háttér és az előzmények összefoglalója. A 2.1. alfejezetben a Szerző elsőként az objektumpozíció meghatározás és követés elveit mutatja be. Mivel a disszertáció eredményei ezekhez a problémákhoz kapcsolódnak, hiányolom a kapcsolódó módszerek olyan igényű rendszerezését és minősítését, ami segíthet a

javasolt új módszerek jelentőségének megítélésében. A folytatásban (2.2. alfejezet) szerepel ugyan egy “reprezentatív alkalmazásokat” bemutató rész sok hivatkozással, de azon túl, hogy a végén felvezeti a rádióinterferometriás módszert, a rendszerezési és minősítési kérdésekben nem segít, kevés az értekezéshez közvetlenül csatolható információt tartalmaz. A rádióinterferimetrikus lokalizációt bemutató rész (2.4. alfejezet) ugyan átveszi a [13] hivatkozás hibaanalízis részét, de ahhoz kapcsolódó további hozzájárulást nem tartalmaz. A 2.5. alfejezet a fázismérés problémáit mutatja be rengeteg hivatkozás felsorakoztatásával, érdemi értékelés vagy rendszerezés nélkül. Ebben az alfejezetben váratlan fordulatként megjelenik egy nagyon értékes szempontrendszer, ami kerülhetett volna a fejezet legelejére, mert erre alapozva az irodalmi hivatkozások újszerű értékelésére nyílt volna lehetőség. A 2.6. alfejezet az értekezés szempontjából kulcsfontosságú. Ennek második része ugyancsak számos értékes hivatkozást tartalmaz, de itt sem láttam törekvést a szakirodalmi módszerek szisztematikus rendszerezésére.

3. Előre bocsátva, hogy 3. fejezetben bemutatott módszert, és a 3.4. alfejezetében lévő szimulációs és mérési eredményeket igen nagyra értékelem, értetlenül állok azelőtt, hogy – a mintavételi tétel betartásának kritériumát leszámítva – a Szerző kísérletet sem tett a javasolt módszer minőségi jellemzőinek előzetes elemzésére: a geometriai elrendezés helyfüggő érzékenység analízisére, a fázismérés bizonytalansága okozta pozícióbecslés bizonytalanságának elemzésére, és a hibák esetleges halmozódásával kapcsolatos kérdésekre. A 3.3. alfejezetben szereplő $\sigma \sim 0.1\pi$ szórású fázishiba méréseken alapszik, ami felhasználható lett volna a követési hiba mértékének durva becslésére, és mindezekon keresztül az algoritmus kritikus lépéseinek kimutatására. A 3.4. alfejezet tartalmaz ugyan egy elemzést a pozíció hibát illetően, de a tervezést támogatni képes összefüggésekig nem jut el.
4. A 4. fejezet kapcsán főbb vonalakban megismételhetem az előzőeket. A nagyon ígéretes módszer problémája, hogy a fantom útvonalak eltűnésére nem sikerült garanciát adni. Apróság, de feltűnik, hogy a negyedik fejezetben a harmadikkal ellentétben az objektum sebessége nem km/h hanem m/s egységben adott, és a mintavételi frekvencia pedig Hz helyett fordulat/s-ban. Összességében szerencsésnek érzem, hogy a 3. és a 4. fejezetekben az egyes algoritmusok pseudokódja is szerepel, ugyanis az algoritmusok számítási komplexitásának durva becslését ezek a pseudokódok segítik annak ellenére, hogy ezt a vonatkozást a Szerző külön nem vizsgálja.
5. Az 5. fejezetben szereplő mérőrendszer figyelemreméltó mérnöki alkotás, de a Szerző a tudományos kutatómunka során (de a fejlesztő munka során is) joggal megkövetelhető probléma/követelmény analízis eredményeiről itt sem számol be. A vételi jelerősséget megadó jel tulajdonságairól, a szintátmenetek pontossági viszonyairól, és így aztán a fázismérés várható eredő bizonytalanságáról előzetesen nem, csak a mérések alapján kapunk képet. Öröndetes, hogy a javasolt algoritmus szimuláció során jobbnak bizonyult az [1] hivatkozás megoldásában alkalmazottnál, de ennek feltételezhető okát a Szerző nem tárja fel.
6. A 6. fejezetben bemutatott, képfeldolgozás-alapú beltéri lokalizációs módszerek támogatására kidolgozott elrendezésről ugyanazt tudom elmondani: figyelemreméltó mérnöki alkotás tudományos igényességű előzetese vizsgálatok nélkül.

A bíráló természetesen nagyra értékeli azt a tényt, hogy a tézisekben bemutatott rádióinterferenciás megoldás szabadalmat kapott, és a jeladó megoldás a Microsoft beltéri

lokalizációs rendszerek számára rendezett versenyén 2015-ben a 6. legpontosabb megoldásnak bizonyult.

IV.

Az új tudományos eredményeket a Szerző 4 tézisben foglalja össze. Mindegyik tézis további alpontokat tartalmaz.

Az 1. és 2. tézisekben foglaltakat új tudományos eredményeknek tekintem, és a megadott formában elfogadom.

A 3. tézisben foglaltakat nagyra értékelem, de önálló tézisként történő elfogadását nem javaslom. Azért ez a felvetésem, mert – megítélésem szerint – a 3. tézis új tudományos eredményeket nem tartalmaz: inkább egy sikeres fejlesztési projekt eredményeinek rövid összefoglalása. Véleményemet alátámasztja az is, hogy az 5. fejezet csak ismerteti a fejlesztés eredményeit, a probléma elemzését, mások javaslatainak értékelését semmilyen mértékben sem tartalmazza, egyedül az [13] hivatkozásban közölt megoldással szerepel tesztelés szintű összevetés.

A 4. tézisben foglaltakat ugyancsak nagyra értékelem, de önálló tézisként történő elfogadását nem javaslom. Megítélésem szerint a 4. tézis új tudományos eredményeket nem tartalmaz: inkább egy sikeres fejlesztési projekt eredményeinek rövid összefoglalása. Véleményemet alátámasztja az is, hogy a 6. fejezet csak ismerteti a fejlesztés eredményeit, a probléma elemzését, mások javaslatainak értékelését semmilyen mértékben sem tartalmazza.

Kérdések:

1. Elképzelhető-e a bemutatott módszerek kombinált alkalmazása? Ha igen, növelhető-e ennek révén a mozgó objektum sebessége és a lokalizáció pontossága változatlan mérőeszköz-készlet mellett?
2. Alkalmazhatók-e a javasolt módszerek, és ha igen, milyen feltételek és eredményesség mellett, ha a referencia adó-vevő eszközök pozíciója időben ismert módon változik?

Összefoglalva:

A doktori (PhD) munka eredményeit nagyra értékelem, azokat elegendőnek tartom a doktori (PhD) fokozat megszerzéséhez, ezért a fokozat odaítélését messzemenően támogatom. Kiemelem az eredmények publikáltságának színvonalát, aminek alapján egyértelmű a Szerző munkásságának nemzetközi szintű ismertsége és elismertsége. Sajnálom, hogy az értekezésben közölt megoldások bemutatását csak részben előzte meg tudományos igényű problémaelemzés, és azt is, hogy a Szerző a javasolt megoldások esetén is csak a kísérleti összeállítások szimulált és mért kiértékelésére vállalkozott.

Budapest, 2018. december 19.



(Péceli Gábor)