

BÍRÁLAT

Rátosi Márk okleveles mérnökinformatikus

„Methods for visible light-based indoor positioning using angle difference measurements and LED lighting infrastructure” c. doktori értekezéséről

Az értekezés témaválasztása

Rátosi Márk fényalapú beltéri kommunikációs módszerekkel és pozíciómeghatározásra alkalmas algoritmusokkal foglalkozik. Napjainkban a különféle autonóm eszközök (járművek, robotok) számára kiemelkedő fontosságú területről van szó. A helymeghatározás általában is intenzíven kutatott és fejlesztett terület, a kültéri megoldásokkal szemben a beltéri módszerek még nagyobb variabilitást mutatnak. Ezért a témaválasztás időszerűsége vitán felül áll.

A jelölt dolgozatában 3 tézist, ezeken belül rendre 5, 3 és 3 altézist fogalmazott meg. Az első tézis már ismert, láthatófény-alapú kommunikációs protokollok analízisével foglalkozik, míg a második új protokollok kifejlesztéséről, illetve analíziséről szól. A harmadik tézis a jeladók pozíciójának két új, szögeltérés alapú meghatározási módszerét mutatja be. A tézisek meggyőzik az olvasót, hogy az adott szakmai területen nemcsak mérnöki fejlesztés folyik, hanem kutatási tevékenységre is szükség van. Ez a témaválasztás időszerűségén kívül azt is aláhúzza, hogy tudományos eredmények fogalmazhatók meg a területen.

Az értekezés formai értékelése

Az értekezés összesen 120 – tartalmi összefoglalók, irodalomjegyzék, függelék stb. nélkül 84 – oldal terjedelmű, angol nyelven készült. A dolgozat stílusa is nagyon jó, tudományos értekezéshez mértén kifejezetten olvasható, az olvasó már várja, mi lesz a megoldása az aktuálisan felvetett problémának. A szöveg angolsága kiváló, a kivitelezés gondos, elütések lényegében nincsenek. A képletek tipográfiája is kiváló. A szöveget jól egészítik ki az ábrák, amelyek szintén magas színvonalúak. Az ábrák színesek, részben ennek köszönhető, hogy a megértést nagyban segítik. Az egyes fejezetek súlyozása megfelelő, kisebb hiányosságokra a részletes értékelés során térek ki.

A jelölt célja volt gyakorlatban is használható algoritmusokat fejleszteni, ennek következtében téziseit nemcsak analízis, illetve szimulációk, hanem mérési eredmények is alátámasztják. A disszertáció ily módon nem csupán az elvégzett kutatómunka, hanem egy többéves fejlesztés összefoglalása is.

Az értekezés részletes tartalmi értékelése

Az első fejezet egyaránt szolgálja a téma bevezetését és a javasolt, illetve a kísérleteknél használt rendszer bemutatását. Az első részben tehát a lokalizációs algoritmusokat, illetve a megvalósításukra alkalmas technológiákat mutatja be. Itt részletezi a kutatás elején kitűzött célokat, amelyek végül egy-egy tézishez kapcsolódnak. Kritikaként talán csak az említhető, hogy – bár értékeli az egyes módszereket – az értékelés részeként szívesen venne az olvasó egy olyan áttekintést, hogy a „tudomány és a technika mai állása szerint” milyen alkalmazásban melyik megoldást célszerű alkalmazni.

A gyakorlati megvalósítás szempontjai a célok között is megjelennek: a látható fény tartományában működő kommunikáció, valamint a könnyen beszerezhető, viszonylag olcsó kamerát alapul vevő rendszer is ezt célozza. Az első fejezet nagyobb részét a saját rendszer bemutatása teszi ki. Bár a rendszer megalkotását a jelölt nem mondja ki tézisként, és véleményem szerint sem tézisértékű, jelentős mérnöki alkotásnak tartom.

A második és a harmadik fejezet foglalkozik két kommunikációs protokoll analízisével. Elsőként az Undersampled Frequency-Shift On-Off Keying (UFSOOK) protokoll analízisét végzi el. Bemutatja a

kommunikációt magát, majd a kamera mintavételezésének modelljét részletezi, amelyre a mért intenzitás kifejezéséhez van szüksége, mivel a hibaanalízis erre támaszkodik. A hibaanalízis a frekvenciahibát és a zajt veszi figyelembe, ennek alapján meghatározza a bithibaarányt (BER). Az elméleti eredményeket szimulációkkal és mérésekkel támasztja alá.

A következő fejezet az Undersampled Phase-Shift On-Off Keying (UPSOOK) protokoll analízisével foglalkozik. Az első lépés itt is magának a kommunikációnak a bemutatása, majd következik a mintavételezés modellje. A hibaanalízis során a komparálási szint, a zaj, a frekvenciahiba és a telítődés hatását veszi figyelembe. A többféle hibaforrás eredőjét abszolútérték-összegzéssel számítja ki (worst case analízis). Az elméleti eredményeket ez esetben is mérésekkel támasztja alá.

A két moduláció természetesen bizonyos értelemben eltérő módszereket igényel, ugyanakkor nem indokolt, hogy a zaj analízisére a két protokoll esetében más módszert választott. Az első esetben normális eloszlással számol és a komparálási szint meghaladásának valószínűségét a Gauss-eloszlás kiértékelésével határozza meg. A második esetben nincs szó sűrűségfüggvényről, csak a zaj „amplitúdójáról”, ami a worst case analízishez illeszkedő egyszerűbb hibamodell. Az eltérő tárgyalás oka valószínűleg az, hogy a kapcsolódó publikációkban is ezeket az eltérő módszereket alkalmazza. Úgy gondolom, hogy ennek ellenére, a dolgozat kedvéért, érdemes lett volna egységes módszert alkalmazni.

A negyedik és az ötödik fejezet új Undersampled Phase-Shift On-Off Keying protokollokat javasol. A negyedik fejezetben egy új, nyomon követhető (Trackable) infrastruktúrát és protokollt (TUPSOOK) mutat be. Az alkalmazott jeladó fizikailag is különbözik az előzőektől, ahol a jeladó láthatatlansága nem különbözik a látható jeladó sötét állapotától. Az új fizikai kialakítás egy gyűrű és egy a belsejében elhelyezett körlap alakú fényforrásra támaszkodik. A protokollban Manchester-kódolást alkalmaz. A kommunikációs probléma megoldására más módszerek is léteznek, amelyek szintén különböző világitó állapotokat használnak; a javasolt megoldás annyiban újszerű, hogy illeszkedik egy helyiség normál megvilágításához. A rendszer hatékony működését mérésekkel igazolja.

Az ötödik fejezet a kommunikációs protokollt teszi robusztussá, ennek alapján neve Robust Undersampled Phase-Shift On-Off Keying (RUPSOOK) protokoll. Az adatok továbbra is Manchester-kódolásúak, az innováció a magas és az alacsony szintek mintavételezésében van. A korábban analizált protokollok a szinkronizálatlanság miatt rövidebb-hosszabb idő után hibásan működnek, a lehető legpontosabban összehangolt órajelek ellenére. Az itt javasolt megoldás szándékosan különböző mintavételezési időt állít be, a régebbi digitális oszcilloszkópok ekvivalens mintavételezéséhez hasonlóan. Megmutatja, hogy létezik olyan elhangolás, amely mellett nem lép fel dekódolási hiba. Fontos kiegészítője a rendszernek a komparálási szint adaptív beállítása. A protokoll működését szimulációkkal és mérésekkel igazolja.

A hatodik és a hetedik fejezet láthatófény-alapú helymeghatározásra javasol új eljárásokat. Mindkét megoldás Angle Difference of Arrival (ADoA) alapú módszer. A hatodik fejezetben leírt első módszer a Heuristic Inscribed Angle-based Localization (HIAL) nevet viseli. A kameraképen a keresett célpont pozíciója körök metszéspontjaként számítható. A javasolt módszer alapja, hogy két kör metszéspontján elvileg igen, de gyakorlatilag nem haladnak át a további körök. A metszéspont „pontosítható” attól függően, hogy mennyire van közel további körökhöz és metszéspontokhoz. Ennek alapján kiválaszthatók a megbízható metszéspontok. A módszer működőképességét Monte-Carlo szimulációkkal tesztelte, ahol a jeladók pozicionálási hibája, a kameraképből azonosított pozíció mérési hibája, a kamera normálvektorának hibája volt a bemeneti paraméter. Bevonta a tesztelésbe a kiugró hibát is, amely a valóságban pl. visszavert fény miatt keletkezhet. A szimulációk során különböző számú jeladót alkalmazott, az eredményeket hibafajtyánként táblázatosan közölte, illetve a HIAL-tesztek eredményét összehasonlította a Maximum Likelihood Perspective-n-Point (MLPnP) algoritmus eredményeivel. Az eredmények jelentős része táblázatokban található, amelyek a Függelékbe kerültek. A szimulációkat mérési eredmények, valamint további algoritmusokkal való összehasonlítás egészíti ki. A javasolt megoldás meggyőző eredményeket mutatott.

A hetedik fejezet a Random Sample Consensus (RANSAC) alapú algoritmust mutatja be, amely szintén ADoA módszer. A HIAL-algoritmus paraméterérzékenysége és rossz skálázhatósága motiválta ennek a módszernek a kifejlesztését. A módszer alapja, hogy három jeladó képe alapján elvileg meghatározható a pozíció, ugyanakkor a rendszerben általában több mint három jeladóból számítható pozíció, az összes

lehetséges hármast kiválasztva megkereshető a legjobb. A legjobb pozíció az, amelyet adott hibahatáron belül a legtöbb hármából számított pozíció „támaszt alá”. A módszer alapeleme a pozícióbecslő kiszámítása adott hármás esetén. A módszerhez tartozik a pozíció becslésének egy finomítása is, több alapontra támaszkodva elkerülhető a lokális minimumba ragadás. Ezt a módszert is szimulációkkal és mérésekkel tesztelte. Zavaró, hogy sem a szimulációk, sem a mérések nem hasonlók az előző fejezetben bemutatott környezethez. A gyakorlati tapasztalatok alapján ez az algoritmus számításgény szempontjából is kedvezőbb, mint a HIAL-algoritmus.

A dolgozatot rövid összefoglalás zárja, amely a jövőbeli kutatási lehetőségekre is kitér. A bemutatott kommunikációs és helymeghatározási módszereket itt ismét értékeli és összeveti, megadja a legfontosabb tervezési elveket és tulajdonságokat. A továbbiakra nézve egyrészt a saját rendszer fejlesztését, másrészt egy új, Time Difference of Arrival (TDoA) alapú módszer adaptálását tűzi ki célul.

A továbbiakban a jelölt új tudományos eredményeit (téziseit) írja le.

A tézisek és a publikációk értékelése

Ahogy a bíráló bevezetőjében is szerepel, 3 tézist, ezeken belül rendre 5, 3 és 3 altézist fogalmazott meg a jelölt. A tézisek, ezen belül az altézisek a disszertációban és publikációkkal kellően alá vannak támasztva, ezért valamennyit új tudományos eredménynek fogadom el.

Ebben a pontban értékelem a téziszüzeteket is. Az angol nyelvű disszertációhoz angol nyelven, illetve magyar nyelven készült téziszüzet. A téziszüzetek az elvárásoknak megfelelnek, a téma, a kutatási célok és eszközök bemutatását követően kerül sor a tézisek kimondására, majd az eredmények alkalmazásai következnek. A magyar téziszüzet természetesen az angol fordítása, ebben azonban felfedezhető néhány nyelvi pontatlanság. Szakmánkban gyakori az egybeírás-különírás rossz megoldása, néhány példa a téziszüzetben is van. Talán nem értelmetlen kiemelni egyetlen példát, amely azonban a dolgozat címében is szerepel. A *látható fény* kifejezéshez illesztett *-alapú* utótag a mozgószabály értelmében helyesen *láthatófény-alapú*. Érdemes lenne a magyar szakmai szövegekben a továbbiakban így használni. Szintén zavaró a 3.3 altézisben szereplő *pózbekslő*, amely inkább *pozícióbecslő* vagy *helyzetbecslő* kellene legyen. Ezek a hibák azonban nem vesznek el semmit a tézisek szakmai értékéből, inkább csak a bíráló magyar nyelv iránti elkötelezettségét mutatják.

Az eredményeket közvetlenül, a jelölt első szerzőségével 2 folyóiratcikk és 5 konferenciaticik támasztja alá. Két további folyóiratcikkben is szerző a jelölt. A publikációs teljesítményt jónak tartom, és – noha nem ismerem pontosan az adott doktori iskola követelményeit – a PhD fokozat megszerzése szempontjából elfogadom.

Összefoglaló értékelés

A disszertáció, a tézisek, valamint a tézisek témájából készült publikációk alapján javaslom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását és a doktori fokozat odaítélését.

Kérdés

- Hogyan lehetne meghatározni a zaj okozta hibát az UPSOOK protokoll esetében, feltéve, hogy a zaj eloszlása normális és szórása ismert?

Budapest, 2024. április 29.

Sujbert László, Ph.D.