

Pannon Egyetem
Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Tézisfüzet

**Módszerek látható fény-alapú, szögműködés-
méréseket és LED világítási infrastruktúrát
használó beltéri helymeghatározáshoz**

Rátosi Márk

Témavezetők:
Dr. Simon Gyula, DSc
Dr. Fodor Attila, PhD

Veszprém
Magyarország
2024

1 Bevezetés

Legyen szó akár egy mobiltelefon, személygépjármű vagy bármely raktárban működő autonóm szállítójármű lokalizációjáról, nagy az igény az újabb, megbízhatóbb helymeghatározási módszerek és technológiák iránt. Míg az objektumok helymeghatározását kültéri esetben a globális helymeghatározó műholdrendszerek dominálják, a beltéri helymeghatározás mind a mai napig erősen kutatott tématerület egymással versengő módszerekkel, melyek mindegyike a legjobb megoldást próbálja kínálni a különböző felhasználási területek számára.

Beltéri helymeghatározást számos technológiával megvalósíthatunk: például rádiójelek, ultrahang, RFID címkék, vizuális markerek, ujjlenyomat-alapú módszerek és optikai megoldások segítségével. A dolgozat olyan látható fény-alapú beltéri helymeghatározó rendszerekhez tartalmaz eredményeket, ahol kamerák a pozicionálandó objektumok, a referenciapontok szerepét pedig olyan LED lámpák töltik be, amelyek ismert pozíciókban kerültek elhelyezésre. Ezen felül a lámpák akár a világítási infrastruktúra részét is képezhetik. A referenciapontok (LED jeladók) látható fény-alapú kommunikációs protokollok segítségével kerülnek azonosításra. A dolgozat bemutat egy, a fentieknek megfelelő megvalósítást is, melyen az elért eredmények alapulnak.

A 2. fejezet a problémafelvetéseket és kutatási célkitűzéseket ismerteti. A 3. fejezet bemutatja az elért eredményeket, téziseket. A 4. fejezet röviden bemutatja az eredmények hasznosulási lehetőségeit.

2 Problémafelvetések és kutatási célkitűzések

A kereskedelemben kapható kamerák ígéretes lehetőségeket kínálnak beltéri helymeghatározó rendszerek fejlesztéséhez az elmúlt években tapasztalható kameratechnológiai fejlesztéseknek köszönhetően: minőségük növekszik, miközben egyre megfizethetőbbé és széles körben elérhetővé válnak. A számítógépes látás és képfeldolgozási algoritmusok fejlődésének köszönhetően a kamerák képesek egyre pontosabban azonosítani és nyomon követni a különböző látható fényű mintázatokat a képeken. Ez lehetővé teszi olyan robusztus helymeghatározási megoldások fejlesztését, amelyek hatékonyan alkalmazhatók olyan komplex beltéri környezetben is, ahol más módszerek, technológiák kudarcot vallanának.

A fő kutatási célom egy olyan robusztus látható fény-alapú beltéri helymeghatározó rendszer kifejlesztése volt, amely képes valós-idejű pozíció- és orientációbecslőt szolgáltatni centiméteres tartományban, mindemellett pedig költséghatékonyak is tekinthető.

Az optikai helymeghatározó módszerek „horgonypontokként” használható vizuális képi jellemzők segítségével tudják megállapítani a kamera szenzor pozícióját és orientációját. A referenciapontok helyét menet közben becslik a módszerek, vagy a rendszer telepítésekor előre megmért adatokkal dolgoznak. Képi jellemzőket kinyerő algoritmusokkal történik a lehetséges horgonypontok detektálása a képfelvételeken, jeladókra utaló jellemzőik alapján. Ez egy komplex, összetett folyamat: számos különböző algoritmus létezik erre a célra, melyek mind különböző, konkrét igényeknek megfelelő jellemzők kinyerésére alkalmasak, ugyanakkor generikus, univerzális megoldás nincs a problémára; a folyamat nagy számítási kapacitást igényelhet; egy adott módszer sikeressége pedig nagyban függhet a környezettől, akár több megbízhatatlan, fals detektálást is eredményezhet. Modulált fényű LED lámpák horgonypontokként való használata több szempontból is előnyös lehet: a képi jellemzőik detektálása nem számításigényes; könnyen észlelhetőek a képfelvételeken fényes foltokként,

azonosításuk pedig egyszerűen elvégezhető a modulációs mintázatuk alapján; a lámpákat látható fényű tartományban üzemeltetve a környezet megvilágítását is elláthatják. Fontos, hogy a protokollok modulációjához kellően magas frekvenciájú jelet használjunk, hogy a jeladó működése az emberi szem számára ne legyen zavaró ($\gg 200$ Hz). Ugyanakkor, a kereskedelmi forgalomban kapható kamerák mintavételi sebessége limitált (általában csupán 30-60 Hz), amely elkerülhetetlenül alulmintavételezéshez vezet. Tehát olyan speciális kommunikációs protokollokat kell alkalmaznunk, melyek még alulmintavételezés esetén is működőképeseek.

Az Undersampled Frequency-Shift On-Off Keying (UFSOOK) [1], és az Undersampled Phase-Shift On-Off Keying (UPSOOK) [2] két, a szakirodalomban fellelhető látható fény-alapú kamera kommunikációs protokoll. A protokollok az általuk vezérelt fényforrások és digitális kamera szenzorok közt képesek adatátvitelt megvalósítani, továbbá helyes beállítás mellett az emberi szem számára villódzásmentesen képesek modulálni a LED lámpák fényét.

Az UFSOOK és UPSOOK protokollok kedvező tulajdonságaiknak köszönhetően ígéretes megoldást kínáltak a jeladók azonosítására a látható fény-alapú helymeghatározó rendszerhez. Az első kutatási céлом a két protokoll részletes analízise volt, hogy felfedjem a különböző hibaforrások adatátvitelre gyakorolt hatását.

Az UFSOOK és UPSOOK vizsgálata közben kiderült, hogy megbízható működésükhöz időszinkronizáció és pontos órajelgenerátorok használata szükséges, amely a legtöbb gyakorlati felhasználásban nem kivitelezhető, továbbá rontja a jeladók költséghatékonyosságát is. A protokollokhoz javasolt dekódolási módszerek a mintavételezett fény intenzitásán alapulnak, amely nem előnyös egy olyan rendszerben, ahol az adók és a vevők pozíciója megváltozhat az idő múlásával (például, a vevő egy mozgó objektumhoz van rögzítve).

A második kutatási céлом a nyomon-követhetőség és az azonosíthatóság időszinkronizáció nélküli megvalósítása volt: egy olyan LED lámpatest megtervezésével, amely lehetővé teszi a jeladók könnyű nyomon-követhetőségét a kamera képfelvételein és használható a jeladók azonosítókódjának átviteléhez; illetve egy robusztus kommunikációs protokoll kifejlesztésével, amely a jeladókhöz tartozó konstans adat (például azonosítókód) periodikus átvitelét teszi lehetővé.

Kutatásom harmadik témaköre a rendszerben használható helymeghatározó módszerek felé irányult. A legtöbb megoldás legalább 6 jeladót igényel működéséhez, köszönhetően a szabadsági fokok számának generikus, 3-dimenziós esetről (ilyen például az MLPnP [3] módszer). A kamerához használt lencserendszer a költséghatékonyt is befolyásolja: egy halszem optikájú lencserendszer esetén a kamera látószöge nagyban megnövekszik, csökkentve ezzel a helymeghatározó rendszer működéséhez szükséges telepítendő jeladók számát. A legtöbb gyakorlati felhasználásnál a 2-dimenziós pozíció és orientáció meghatározása elegendő, csökkentve ezáltal a szabadsági fokok, és ezzel együtt a szükséges minimális jeladók számát. Egy megbízható helymeghatározási megoldásnak képesnek kell lennie arra, hogy a rendszerben előforduló kiugró mérési hibákat kezelje. Ezen hibák előfordulása elkerülhetetlen a legtöbb gyakorlati felhasználás során a fény tükröződésének és egyéb lehetséges mérési hibáknak köszönhetően.

A harmadik kutatási céлом olyan robusztus, gyors helymeghatározó módszerek kifejlesztése volt, amelyek képesek 2-dimenziós pozíció- és orientációbecslőt szolgáltatni valós időben, elhanyagolható mértékű kiugró mérési hiba-okozta behatás mellett.

3 Tézisek

1. tézis

Meghatároztam számos hibaforrás hatását az Undersampled Frequency-Shift On-Off Keying (UFSOOK) és az Undersampled Phase-Shift On-Off Keying (UPSOOK) látható fény-alapú kommunikációs protokollok adatátviteli teljesítményére. Az elért eredmények segítségével a protokoll paraméterei beállíthatók oly módon, hogy LED lámpák és digitális kamerák között a lehetőségekre való tekintettel optimális adatátvitelt tegyenek lehetővé. Az elméleti eredményeket szimulációkkal és valós mérésekkel igazoltam.

- 1.1 Új, ekvivalens matematikai modellt javasoltam olyan digitális kamerák működésének leírásához, amelyek modulált fényforrásokkal működnek. Ezzel lehetővé tettem a protokoll viselkedésének matematikai vizsgálatát.
- 1.2 Meghatároztam a bit hibaarányt (BER) frekvenciahiba esetén, melynek előfordulása elkerülhetetlen az adó és vevő fél közötti időszinkronizáció hiányakor. Bebizonyítottam, hogy a legkisebb elérhető BER a frekvenciahibától függ a protokollok mindkét adatszimbólumának esetében.
- 1.3 Meghatároztam a bit hibaarányt a Q komparálási szint függvényében, amelyet a protokollok az adó-állapotok meghatározásához használnak. Bebizonyítottam, hogy Q értékének nincs hatása a BER-re az azonos adó-állapotokat használó (SPACE szimbólum UFSOOK-nál, MARK szimbólum UPSOOK-nál) szimbólumok esetén. Bizonyítottam továbbá, hogy Q -nak létezik egy optimális tartománya az egymástól különböző adó-állapotokat használó szimbólumok (MARK szimbólum UFSOOK-nál, SPACE szimbólum UPSOOK-nál) esetén, ahol a BER minimális.
- 1.4 Meghatároztam a mérési zaj bit hibaarányra gyakorolt hatását mindkét adatszimbólum esetén. Bebizonyítottam, hogy a hiba hatása akkor a legnagyobb, ha Q értéke közel van az érzékelt jel szélsőértékeihez. A zaj hatása akkor a legalacsonyabb, ha Q értéke közel van a jel amplitúdójának átlagához.
- 1.5 Meghatároztam az előfordulási gyakoriságát és nagyságát a jel azon „veszélyes” szakaszainak, amelyekben a protokollok nagy valószínűséggel hibázhatnak. Megmutattam, hogy az UPSOOK protokoll esetében a jel veszélyes szakaszai egységes előfordulást követnek az UFSOOK protokollal ellentétben. Az elért eredmények segítségével meghatároztam az UPSOOK protokoll csomag hibaarányát (PER).

Kapcsolódó publikációk: [S1], [S2], [S3], [S4], [S5]

Egyéb kapcsolódó publikációk: [SO1], [SO2], [SO3], [SO4]

2. tézis

Kettő új, látható fény-alapú kommunikációs módszert javasoltam, amelyek a nyomkövethetőség és az azonosíthatóság problémáját célozzák látható fény-alapú jeladó

infrastruktúrát használó beltéri lokalizációs rendszereknél. A javasolt Trackable UPSOOK (TUPSOOK) megoldás egy speciálisan kialakított felépítésű jeladónak köszönhetően lehetővé teszi, hogy a kamera mindegyik képfelvételén detektálni tudjuk a jeladót, még nagyobb távolságokról is, miközben a jeladó továbbra is alkalmazható kommunikációra és a környezetének megvilágítására. A javasolt Robust UPSOOK (RUPSOOK) protokoll képes hibamentes adatátvitelre a rendszerparaméterek egy széles tartományán, továbbá a TUPSOOK jeladójával is üzemeltethető, teljesítve a nyomon-követhetőségi követelményt is. A megoldások alkalmazhatóságát szimulációkkal és valós mérésekkel igazoltam.

- 2.1 Új jeladó kialakítást javasoltam, amely egy belső kör alakú LED-ből és egy körülötte elhelyezkedő külső gyűrű alakú LED-ből áll. A javasolt felépítés lehetővé teszi az állandó nyomon-követhetőséget, a folyamatos detektálhatóságnak köszönhetően. Módosítottam az UPSOOK protokoll kódolási sémáját, hogy csupán két adó állapotot és egy frekvenciát használjon működése során. A módosított kódolási séma jól illeszkedik az új jeladó struktúrájához. A módosítás ára a némileg lecsökkent adatátviteli sebesség.
- 2.2 Új kódolási-dekódolási módszert (RUPSOOK) javasoltam látható fény-alapú kommunikációhoz, amely a Manchester-kódoláson és ekvivalens mintavételezésen alapul. A protokoll lehetővé teszi konstans adat (például jeladó azonosító kódja) periodikus átküldését. Tervezési módszert javasoltam a névleges frekvencia eltolódás meghatározásához, amellyel az optimális, robusztus működés biztosítható. Megmutattam, hogy a RUPSOOK protokoll robusztus működésre képes a rendszer paramétereinek (exponálási idő, frekvencia eltolódás, küszöbérték, jitter, szaturáció, zaj) egy véges tartományán.
- 2.3 Adaptív komparálási módszert javasoltam, amely lehetővé teszi az adó állapotának robusztus érzékelését a jel amplitúdójának változása során is, mely változás elkerülhetetlen, amennyiben az adó vagy vevő fél a rendszer működése során mozgásban van.

Kapcsolódó publikációk: [S3], [S4], [S6], [S7]

Egyéb kapcsolódó publikációk: [SO1], [SO2], [SO3], [SO4]

3. tézis

Kettő új, beesési szögek különbségén alapuló (ADoA) helymeghatározási módszert javasoltam, melyekkel meghatározható egy szenzor ismeretlen pozíciója és orientációja referenciapontok (jeladók) közt mért szögműkönségek segítségével. A javasolt megoldások megkövetelik a szenzor normálvektorának, és a referenciapontok pozíciójának ismeretét. Működésükhöz legalább 3 jeladó szükséges, amely alkalmassá teszi őket a gyakorlatban való felhasználásra. A megoldások képesek robusztus működést biztosítani kiugró mérési hibák szűrésével. A módszerek használhatóságát szimulációkkal és valós mérésekkel igazoltam.

- 3.1 Geometria-alapú, heurisztikus módszert (HIAL) javasoltam egy szenzor ismeretlen pozíciójának és orientációjának meghatározásához, referenciapontokhoz tartozó szögek különbségének mérésével, feltételezve a szenzor normálvektorának ismeretét. A javasolt módszer előnye a generikus (3-dimenziós) geometriai megoldásokkal szemben, hogy a keresés a 3D-s tér helyett az alap síkon történik (x - y sík), növelve a módszer sebességét. Az algoritmus működése során jeladó párok és a köztük mért szögek segítségével először köríveket állít elő, majd ezt követően a körívek metszéspontjait. Minden egyes metszéspont egy lehetséges megoldást képvisel. Heurisztikus rangsorolást javasoltam a lehetséges megoldások relatív konfidenciájának számszerűsítéséhez, amely két távolság-alapú szűrőparamétert használ.
- 3.2 Új, kiugró mérési hibákra érzéketlen, RANSAC-alapú módszert (RBL) javasoltam egy szenzor pozíciójának és orientációjának becsléséhez, jeladók szögekülönbség-mérésének felhasználásával, feltételezve, hogy a szenzor normálvektora ismert. A javasolt megoldás egy kezdeti pozíciót és orientációt számol RANSAC segítségével egy linearizált egyenletrendszer felhasználásával. Ezt követően a kezdeti becslőhöz tartozó, legjobbnak ítélt konzisztens jeladóhalmaz felhasználásával finomít a pozícióbecslőt. A megoldás egyszerűen beállítható, felhasználóbarát szűrési kritériumokat alkalmaz a kiugró mérési hibák kiszűrésére, a HIAL-lal ellentétben. A szűrési módszer helyfüggetlen és szög-alapú. A finomított becslő sima, konzisztens kimenetet eredményez.
- 3.3 Módszert adtam a kezdeti jeladóhalmaz RANSAC-alapú kiválasztásához szükséges próbák számának meghatározásához. A módszer két bemenő paramétere a kiugró mérési hibával rendelkező jeladók számának felső korlátja, és a megkívánt találati arány. A javasolt módszer segítségével nagyságrendekkel csökkenthető a vizsgált hipotézisek száma, miközben a kívánt találati valószínűség (megfelelő kezdeti jeladóhalmazt választunk) megmarad.

Kapcsolódó publikációk: [S8], [S9]

4 Eredmények hasznosítási lehetőségei és hasznosulása

Az időszinkronizáció megvalósítása LED fényforrásokat (adó) és kamerákat (vevő) használó látható fény-alapú kommunikációs protokollok esetében nehézkes és költséges. Az UFBOOK és az UPSOOK protokollok működésének analízise (időszinkronizáció hiányát feltételezve) nem csak azt mutatja meg, hogy miként lehet a protokollokat beállítani optimális adatátvitel eléréséhez, hanem arra is rámutat, hogy hogyan és miként befolyásolják a különféle hibaforrások a protokollok működését.

A TUPSOOK protokollnál javasolt jeladó-felépítés és dekódolási módszer lehetővé teszi a LED jeladók egyidejű azonosítását és nyomon-követését egy globális zárú digitális kamera képfelvételein, még akkor is, ha az egyikük mozgásban van. A RUPSOOK protokollnál javasolt kódolási séma és ekvivalens mintavételezésen alapuló dekódolási módszer képes időszinkronizáció nélkül hibamentes, periodikus adatátvitel megvalósítására a rendszer paramétereinek egy széles tartományán, ezáltal robusztus megoldást kínálva a gyakorlati felhasználáshoz, amennyiben az átküldeni kívánt adat konstans (azonosítószám, jeladó koordinátái, stb.). A RUPSOOK protokollt a TUPSOOK-nál javasolt jeladó-felépítéssel és méret-alapú adó-állapot detektálással ötvözve egy ideális megoldást kapunk, amely a jeladók hibamentes azonosítását és nyomon-követését teszi lehetővé látható fény-alapú beltéri helymeghatározó rendszereknél, ahol az adók és/vagy vevők elmozdulása elkerülhetetlen.

A kiugró mérési hibák (referenciapontok fals azonosítása; tükröződésből, egyéb forrásból származó extrém mérési hibák) gyakoriak egy látható fény-alapú beltéri lokalizációs rendszerben. Ezért szükség van olyan robusztus helymeghatározási módszerek alkalmazására, amelyek képesek a kiugró mérési hibákat kezelni. A javasolt ADoA-alapú HIAL módszer egy, a kiugró mérési hibákkal szemben eredendően toleráns megoldást kínál a helymeghatározási problémára. Egyszerű implementálni, és működéséhez elegendő csupán 3 darab egyidejűleg elérhető jeladó. A módszer előnye, hogy az általános esethez tartozó 3D-s tér helyett a 2D-s alap síkon számítja a megoldást, ezzel nagyban növelve a számítás sebességét. Ugyanakkor a távolság-alapú szűrőkritériumok megfelelő beállítása nehézkes: próbálkozások útján, vagy szimulációk segítségével végezhető el. A HIAL módszer alkalmazható a gyakorlatban előforduló jeladó darabszámok (pl. ~12 darab) mellett, ugyanakkor rosszul skálázódik. Az iteratív robusztus becslési eljárás alapuló RBL módszer kisebb számítási kapacitást és simább kimenetet képes szolgáltatni, mint a HIAL, ugyanakkor működéshez szintén elegendő 3 jeladó. A javasolt helymeghatározási módszerek megkövetelik a kamera szenzor normálvektorának ismeretét, amely követelmény számos gyakorlati felhasználás során könnyen kielégíthető. Például, ha egy raktárban mozgó autonóm vezérlésű targoncát felszerelünk egy felfelé néző halszem objektívvel, a kamera normálvektora megközelítőleg megegyezhet a világi koordináta-rendszer z tengelyével (amennyiben egyenes a talaj). A szenzor esetleges dőlését kompenzálni is lehet, például egy inerciális mérőegység segítségével, amennyiben a környezet nem sík felületi elemeket (pl. rámpa) tartalmaz.

A javasolt módszereket egy raktárban értékeltem ki. Egy 23 x 23 méteres területen 12 darab (~8 cm átmérőjű) LED jeladó került elhelyezésre, megközelítőleg a 190°-os látószögű, felfelé néző globális zárú szürkeárnyalatos kamera horizontjának magasságában, amely egy automatizált irányítású teherszállító járműre (zsámoly) került felszerelésre. A beltéri helymeghatározó rendszer átlagosan 1.4 centiméteres pontossággal volt képes másodpercenként 30 darab pozícióbecslőt szolgáltatni, orientáció becslésével együtt, miközben a jeladók a helyszín megvilágításának feladatát is ellátták.

A tézisekhez kapcsolódó publikációk jegyzéke

- [S1] M. Rátosi and G. Simon, "Performance Analysis of the UFSOOK Protocol," *2019 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N)*, Catania, Italy, pp. 1-6, 2019
DOI: 10.1109/IWMN.2019.8805018
- [S2] G. Simon and M. Rátosi, "Characterization and Measurement of Performance Properties of the UFSOOK Camera Communication Protocol," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 10, pp. 7982-7989, 2020
DOI: 10.1109/TIM.2020.2981219
IF: 3.658
- [S3] M. Rátosi and G. Simon, "Towards Robust VLC Beacon Identification in Camera Based Localization Systems," *2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Pisa, Italy, pp. 1-8, 2019
DOI: 10.1109/IPIN.2019.8911767
- [S4] M. Rátosi and G. Simon, "Robust VLC Beacon Identification for Indoor Camera-Based Localization Systems," *Sensors*, vol. 20, no. 9, p. 2522, 2020
DOI: 10.3390/s20092522
IF: 3.576
- [S5] M. Rátosi, G. Simon, "Undersampled On-Off Keying Camera Communication Methods for Beacon ID Transmission," Pannonian Conference on Advances in Information Technology (PCIT2019), Veszprém, Hungary, pp. 36-41, 2019
ISBN: 978-963-396-127-8
- [S6] M. Rátosi and G. Simon, "Trackable Visible Light Beaconing and Detection for Indoor Localization Applications Using Undersampling Cameras," *2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Nantes, p. 4, 2018
Online: https://ipin2018.ifsttar.fr/fileadmin/contributeurs/IPIN2018/Work_In_Progress/Work_In_Progress.zip
(accessed on 15 Jan 2024, paper id: 211108)
- [S7] G. Simon, G. Vakulya and M. Rátosi, "On the Utilization of Equivalent Sampling in Undersampled Asynchronous Camera Communication Protocols," *2022 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N)*, Padua, Italy, pp. 1-6, 2022
DOI: 10.1109/MN55117.2022.9887654
- [S8] M. Rátosi and G. Simon, "Real-Time Localization and Tracking using Visible Light Communication," *2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Nantes, France, pp. 1-8, 2018
DOI: 10.1109/IPIN.2018.8533800
- [S9] M. Rátosi and G. Simon, "Fault Tolerant Indoor Positioning Based on Azimuth Measurements," *2021 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Lloret de Mar, Spain, pp. 1-12, 2021
Online: <https://ceur-ws.org/Vol-3097/paper27.pdf>
(accessed on 15 Jan 2024)

Egyéb kapcsolódó publikációk

- [SO1] G. Simon, M. Rátosi and G. Vakulya, "Automatic Measurement of Digital Cameras' Exposure Time Using Equivalent Sampling," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 71, pp. 1-10, Art no. 5015110, 2022
DOI: 10.1109/TIM.2022.3186372
IF: 5.332
- [SO2] G. Simon, G. Vakulya, and M. Rátosi, "The Way to Modern Shutter Speed Measurement Methods: A Historical Overview," *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1871, 2022
DOI: 10.3390/s22051871
IF: 3.9
- [SO3] M. Rátosi, G. Vakulya and G. Simon, "Measuring Camera Exposure Time Using Equivalent Sampling," 2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Glasgow, United Kingdom, pp. 1-6, 2021
DOI: 10.1109/I2MTC50364.2021.9459789
- [SO4] M. Rátosi, G. Vakulya, G. Simon, "Methods for High Precision Shutter Speed Measurements," AIS 2021 – 16th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, Székesfehérvár, Hungary, pp. 30-34, 2021
ISBN: 978-963-449-263-4

MTMT Profil

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10066130>

Hivatkozások

- [1] R. D. Roberts, "Undersampled frequency shift ON-OFF keying (UFSOOK) for camera communications (CamCom)," *2013 22nd Wireless and Optical Communication Conference*, Chongqing, China, 2013, pp. 645-648
doi: 10.1109/WOCC.2013.6676454
- [2] P. Luo, Z. Ghassemlooy, H. Le Minh, X. Tang and H. -M. Tsai, "Undersampled phase shift ON-OFF keying for camera communication," *2014 Sixth International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, Hefei, China, 2014, pp. 1-6
doi: 10.1109/WCSP.2014.6992043
- [3] S. Urban, J. Leitloff, and S. Hinz, "MLPnP – A Real-Time Maximum Likelihood Solution To The Perspective-N-Point Problem," *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. III-3, pp. 131–138, June 2016
doi: 10.5194/isprsannals-III-3-131-2016
- [4] B. Zhu, J. Cheng, Y. Wang, J. Yan and J. Wang, "Three-Dimensional VLC Positioning Based on Angle Difference of Arrival With Arbitrary Tilting Angle of Receiver," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, no. 1, pp. 8-22, Jan. 2018
doi: 10.1109/JSAC.2017.2774435