

3D FAZODA OBYEKT LARNI LOKALIZATSIYA QILISHDA MAVJUD MUAMMOLAR TAHLILI VA POTENSIAL YECHIMLAR

Abdijamalova.D.A.

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti,

Tizimli Amaliy Dasturlash kafedrası doktoranti.

Abdijamalova Dilnoza [0009-0004-8466-6586]

10.5281/zenodo.14247156

Annotatsiya. Ushbu maqolada 3D ob'ektni lokalizatsiya qilishning mavjud usullari va ularni robototexnika, avtonom transport va aqlli shaharlar kabi turli sohalarda qo'llash bilan bog'liq muammolar haqida umumiy ma'lumot berilgan. Lokalizatsiya tizimlari kontekstida radiochastota (RF) lokalizatsiyasi, LiDAR, kompyuterni ko'rish va sun'iy intellekt (AI) kabi turli texnologiyalardan foydalanishni o'rganadi. Maqolada har bir texnologiyaning afzalliklari va cheklovlari muhokama qilinadi va muammolarni yengish uchun potentsial yechimlar taklif etiladi, masalan, sensor termoyadroviy orqali bir nechta sensorlarni birlashtirish, mashinani o'rganish modellarini qo'llash va ilg'or algoritmlardan foydalanish.

Bundan tashqari, u atrof-muhit omillarining ta'sirini va dinamik va noaniq sharoitlarga bardosh bera oladigan mustahkam, moslashuvchan modellarga bo'lgan ehtiyojni o'rganadi. 3D lokalizatsiya tizimlarining kelajagi uchun istiqbolli yo'l sifatida qarorlar qabul qilish va tizim moslashuvini yaxshilash uchun AI va mashinani o'rganish integratsiyasi ta'kidlangan. Nihoyat, maqola ushbu sohada kelajakdagi tadqiqot va ishlanmalar bo'yicha tavsiyalar bilan yakunlanadi va yuqori aniqlik va ishonchlilikka erishish uchun turli mahalliyashtirish usullarini birlashtirish muhimligini ta'kidlaydi.

Kalit so'zlar: 3D ob'ektni mahalliyashtirish, radiochastota (RF) lokalizatsiyasi, LiDAR, kompyuterni ko'rish, sun'iy intellekt, mashinani o'rganish, sensorlar sintezi, avtonom tizimlar, robototexnika, mahalliyashtirish algoritmlari, aqlli shaharlar, atrof-muhitga moslashish, mahalliyashtirish aniqligi.

KIRISH

3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilish, ya'ni ob'ektning joylashuvini aniqlash, zamonaviy texnologiyalarning rivojlanishi bilan birgalikda juda muhim va dolzarb masalaga aylandi. Bu jarayonni amalga oshirishda harakatlanuvchi ob'ektlar, atrof-muhit va texnik imkoniyatlar o'rtasidagi murakkab munosabatlar va xatoliklar mavjud bo'lib, ular aniqlikni pasaytirishi mumkin. 3D lokalizatsiya texnologiyalari, ayniqsa, robototexnika, avtomatlashtirilgan transport tizimlari, sanoat avtomatizatsiyasi, aqlli shaharlar va tibbiyot kabi sohalarda keng qo'llaniladi. Ushbu maqolada 3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilishda yuzaga keladigan asosiy muammolar tahlil qilinadi va ularga qarshi turli yechimlar ko'rib chiqiladi.

METODOLOGIYA

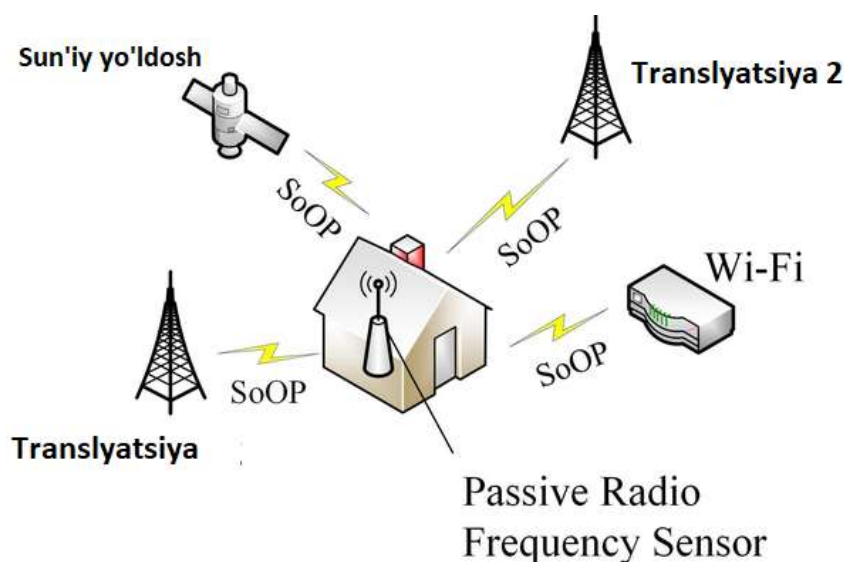
3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilishdagi mavjud metodlar va usullar tahlil qilinadi. Tadqiqotda zamonaviy 3D lokalizatsiya texnologiyalari, shu jumladan, RF (Radio Frequency), LiDAR (Light Detection and Ranging), kompyuter ko'rish (computer vision), sun'iy intellekt (AI), va mashina o'rganish (machine learning) texnologiyalari o'rganiladi. Maqolada shuningdek, ushbu texnologiyalarning imkoniyatlari va kamchiliklari tahlil qilinib, muammolarga qarshi yechimlar taklif etiladi.

ASOSIY QISM

3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilishning asosiy maqsadi ob'ektlarning aniq joylashuvini aniqlash va uni real vaqtda kuzatishdir. Bunda, yuqori aniqlik va samaradorlikni ta'minlash uchun bir nechta texnologiyalar va metodlar qo'llaniladi.

Quyida 3D lokalizatsiya qilishda keng qo'llaniladigan asosiy metodlar va ularning yuzaga keladigan muammolari hamda mumkin bo'lgan yechimlar ko'rib chiqiladi.

1. RF Lokalizatsiya (Radio Frequency). RF lokalizatsiya texnologiyasi ob'ektlarni masofa o'lchash, signalning o'zgarishi va fazoviy koordinatalarni aniqlash uchun ishlatiladi. Bu metodda, radio to'lqinlar yordamida ob'ektning joylashuvi aniqlanadi. RF texnologiyasining afzalligi shundaki, u to'siqlarga qarshi chidamli va uzoq masofalarga xizmat ko'rsatish imkoniyatiga ega. Biroq, 3D fazoda RF lokalizatsiyasida ba'zi muammolar mavjud.



1-rasm. RF Lokalizatsiya (Radio Frequency)

Muammolar:

- **Signalni kamaytirish va interferensiyalar:** RF signalining atrof-muhitdagi to'siqlar, masalan, devorlar, binolar va boshqa ob'ektlar tomonidan so'rilishi yoki qaytarilishi, aniqlikni sezilarli darajada pasaytirishi mumkin. [1]
- **Multi-path effekti:** RF signalining ko'p yo'nalishlarda qaytib kelishi, ya'ni multi-path effekti, lokalizatsiyaning aniqligini kamaytiradi, chunki signalning asl kelish manzilini aniqlash qiyinlashadi.

Yechimlar:

- **Mashinani o‘rganish algoritmlari (ML):** Multi-path effektini bartaraf etish uchun, signalning kelish yo‘nalishlarini aniqlash va tahlil qilishda mashina o‘rganish algoritmlarini qo‘llash mumkin. Bu algoritmlar turli xil signallarni aniqlash va ularning manbalarini o‘rganish imkonini beradi.

Misol: *Deep learning* yondoshuvini qo‘llash. Misol uchun, konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yordamida multi-path effektini tahlil qilish. Bu tarmoq signalning aks ettirilgan va asl manzilga kelgan signal yo‘nalishlarini o‘rganib, to‘g‘ri lokalizatsiyani aniqlaydi. Shu bilan birga, yuqori darajadagi tahlil va signalni filtrlash orqali aniqlikni oshirish mumkin.

- **Kalman Filtri:** Kalman filtri — bu statik va dinamik ma’lumotlarni filtrlash uchun ishlatiladigan matematik usul bo‘lib, multi-path effektidan kelib chiqqan xatoliklarni kamaytirish uchun qo‘llaniladi. Bu filtr signalning turli manzillardan kelishini tahlil qiladi va eng ehtimoliy o‘lchovlarni hisobga oladi.

Kalman filtri, filtrlash xususiyatidan tashqari, tizimning o'lchovsiz holatini baholash uchun juda kuchli va qobiliyatli filtrdir. Kalman filtrida qo'llaniladigan algoritm shovqinli ma'lumotlarda real vaqt rejimida ishlaydi va xatolarni eng kichik o'rtacha kvadratlar usuli bilan filtrlaydi. Kalman filtri tizimning jismoniy xususiyatlarini modellashtirish orqali kelajakdagi holatni matematik jihatdan optimallashtiradi.

Matematik model bashorati haqiqiy qiymatlar bilan taqqoslanadi. Olingan farq Kalman daromadi deb nomlanuvchi multiplikator bilan o'lchanadi. Keyin fikr-mulohaza keyingi bashoratlarni yaxshilash uchun modelga kirish sifatida qo'llaniladi. Daromad unumdorligi filtr ishlashi uchun sozlanishi mumkin. Yuqori daromad bilan filtr kuzatuvlari yanada yaqinroq kuzatiladi. Pastroq daromad bilan filtr model bashoratlarini yanada yaqinroq kuzatib boradi. Algoritm real qiymatlar va model bashoratlari asosida aniqroq bashoratlarni ishlab chiqarishga harakat qiladi.

Kalman filtri - bu tizimning holati va qiymatlarini turli sohalarda baholay oladigan usul. Bu chiziqli tizimlarning holatini matematik tarzda bashorat qiladigan

mavjud filtrlar orasida bashorat qilish xatosini minimallashtiradigan yagona filtrdir.

[6]

Umumiy Kalman filtr tenglamasi quyidagicha.

$$\widehat{X}_k = K_k \cdot Z_k + (1 - K_k) \cdot \widehat{X}_{k(k-1)}$$

(1)

(1) tenglamada pastki belgisi sifatida ishlatiladigan k har bir iteratsiyani bildiradi. \widehat{X}_k - X signalining bahosi, Z_k - o'lchangan qiymat, K_k - Kalman ko'rsatgichi va $\widehat{X}_{k(k-1)}$ - signalning oldingi holatini baholash. (1) da K_k (Kalman ko'rsatgichi) quyidagi tenglamada ko'rsatilgan.

$$K_k = \frac{P_k}{P_k + R}$$

(2)

$$P_k = (1 - K_k) \cdot P_{(k-1)}$$

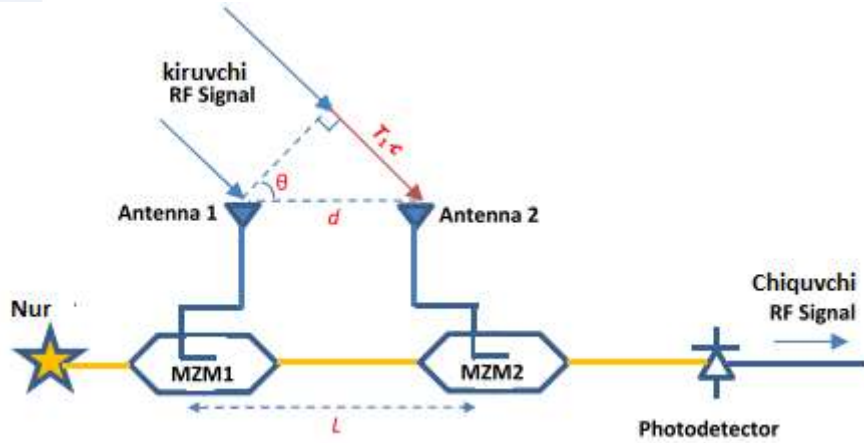
(3)

(2) va (3) tenglamalarda P_k parametri xato kovariatsiyasini, R esa xato miqdorini ko'rsatadi.

Ushbu tadqiqot bir o'lchovli signalda olib borilganligi sababli, bizning tenglamalarimizdagi har bir parametr skalyar qiymatga ega. Shu sababli, Kalman filtridagi matritsa elementlarini e'tiborsiz qoldirib, umumiy Kalman tenglamasidan foydalanilgan [6].

Misol: GPS tizimlarida Kalman filtri ishlatiladi, masalan, uzoq masofalarda aniqlikni oshirish uchun, va RF lokalizatsiya tizimida ham ishlatilishi mumkin.

- **Angle of Arrival (AoA) texnologiyasi:** RF signalining kelish burchagini aniqlash orqali, multi-path effekti bilan bog'liq aniqlikni yaxshilash mumkin. Bu texnologiya yordamida, signal kelish burchagi aniqlanadi va signallarni to'g'ri yo'nalish bo'yicha qayta ishlash mumkin.



2-rasm. AoA o'lchash tizimining tuzilishi

Taklif etilayotgan AoA o'lchash tizimining tuzilishi 2-rasmda ko'rsatilgan. Kiruvchi RF signali uzatuvchining joylashishiga qarab turli vaqtlarda d masofa bilan ajratilgan ikkita antennaga keladi. Masalan, 2-rasmda 2-antennaga kelgan kiruvchi RF signali 1-antennaga kelganga nisbatan τ_1 vaqt kechikishiga ega. Bu vaqt kechikishi ikkita antennaga kelgan radio chastotasi signali o'rtasida fazalar farqi φ_1 ga olib keladi, buni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$\varphi_1 = \tau_1 \times \omega_{RF}$$

(4)

bu erda ω_{RF} - kiruvchi RF signalining burchak chastotasi. AoA θ quyidagicha aniqlanadi

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\tau_1 c}{d}\right)$$

(5)

Bu erda c - havodagi elektromagnit nurlanish tezligi. Antennani ajratish odatda $\lambda/2$ bo'lishi uchun mo'ljallangan, bu erda λ kiruvchi RF signalining to'lqin uzunligi, radiatsiya naqshidagi panjara loblarini oldini olish uchun. Bunday holda, AoA fazalar farqi φ_1 bilan ifodalanishi mumkin va tomonidan beriladi

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\varphi_1}{\pi}\right)$$

(6)

Bu shuni ko'rsatadiki, AoA ni ikkita antennaga RF signalining fazalar farqidan chiqarish mumkin. 2-rasmda ko'rsatilgan er-xotin chastotali modulyatsiya strukturasi bu fazalar farqini chiqish chastotasi signal kuchini o'lchash orqali olish imkonini beradi.

2-rasmda lazer manbasidan CW nuri mos ravishda MZM1 va MZM2-da 1-antenna va 2-antenna tomonidan qabul qilingan RF signali tomonidan modulyatsiya qilinganligini ko'rsatadi. Ikkala Mach Zehnder modulyatori (MZM) kvadratura nuqtasida egilgan. Ular masofa L. bilan ajratilgan Shunday qilib, CW nuri modulator ajratish va kiruvchi RF signalining AoA ga qarab bir vaqtning kechikishi bilan bir xil RF signali bilan ikki marta modulyatsiya qilinadi. Ikki marta chastotali modulyatsiyalangan optik signal fotodetektor tomonidan aniqlanadi. Teshik chastotasi ikkita antennaga kelgan RF signali o'rtasidagi fazalar farqi φ_1 va ikkita modulyatorni ajratish orqali kiritilgan fazalar farqi φ_2 ga bog'liq. 2-rasmdagi qattiq chiziq AoA o'lchash tizimining chastotali javobini ko'rsatadi, u AoA 0° bo'lganida chastota javobining o'tish diapazoni markazi kiruvchi RF signaliga mos keladigan tarzda ishlab chiqilgan. AoA ortib ketganda, tizim chastotasi javobidagi tirqish 3-rasmdagi kesik chiziq bilan ko'rsatilganidek, RF signaliga qarab harakat qiladi, bu esa chiqish chastotasi signal kuchini kamaytiradi. Shunday qilib, tizimning chiqish chastotasi signal quvvati kiruvchi RF signalining AoA ni aniqlash uchun ishlatilishi mumkin.

Misol: *Angle of Arrival (AoA)* yordamida, bir nechta antennalardan signalni qabul qilib, to'g'ri kelish yo'nalishi aniqlanadi. Bu texnologiya GPS tizimlari uchun foydalidir, ayniqsa yopiq joylarda yoki signalni to'siqlardan o'tkazish kerak bo'lganda.

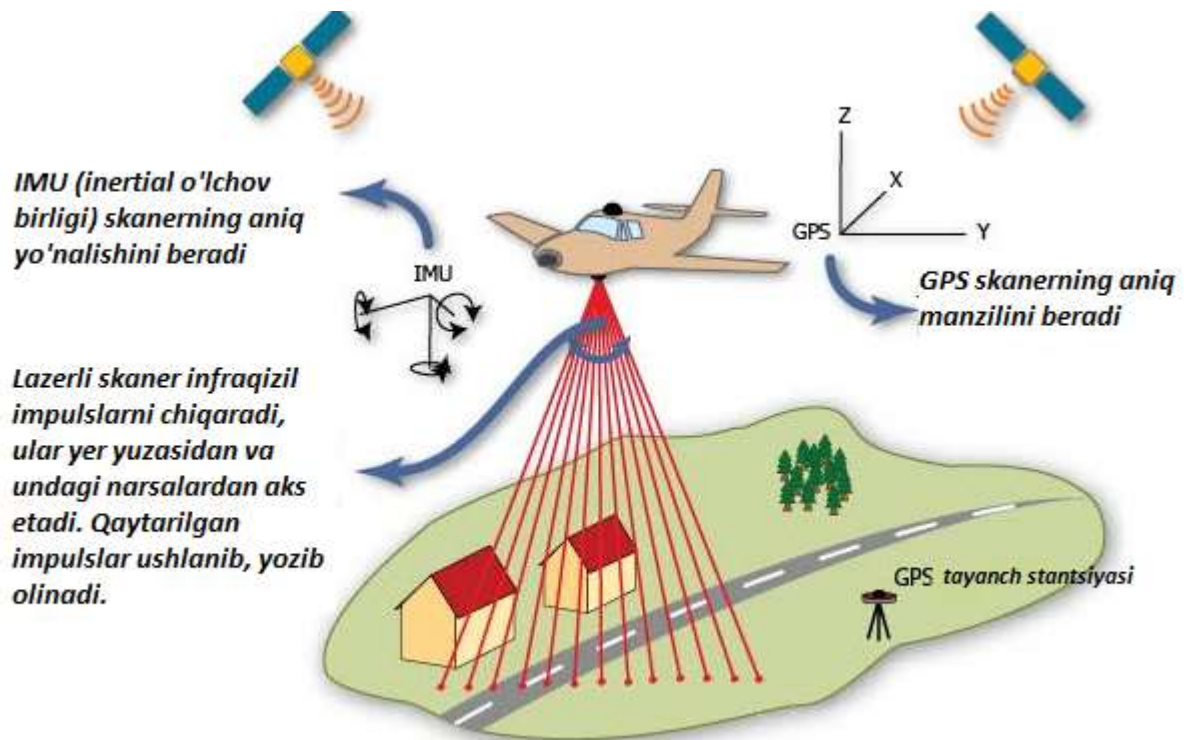
Qo'shimcha yondoshuvlar:

- **UWB (Ultra-Wideband) texnologiyasi:** UWB texnologiyasi yuqori chastotali signalni ishlatadi va bu ko'p yo'nalishdagi signal aks etish effektini kamaytiradi. UWB yordamida signalning o'zgarishlari yanada aniqroq tahlil qilinadi va lokalizatsiya aniqroq bo'ladi.

Misol: UWB texnologiyasi ko‘pincha tibbiyot, logistika va ishlab chiqarish sohalarida ishlatiladi, chunki u juda aniq va tez ishlash imkonini beradi.

2. LiDAR (Light Detection and Ranging)

LiDAR texnologiyasi ob'ektning 3D modelini yaratishda ishlatiladi. U lazer nurini yuboradi va ob'ektdan qaytgan nurning vaqtini o‘lchab, ob'ektning uch o‘lchovli joylashuvini aniqlaydi. LiDAR texnologiyasi yuqori aniqlikni ta'minlaydi va keng maydonlarda samarali ishlaydi. Biroq, LiDAR tizimlarida ham ba'zi kamchiliklar mavjud.



Muammolar:

- **Atrof-muhit sharoitlariga ta'sir:** LiDAR tizimlari yog‘ingarchilik, chang, tuman yoki ob-havo sharoitlari kabi atrof-muhit faktorlariga sezgir bo‘lib, tizimning samaradorligini pasaytiradi.[2]

- **Qiymat va resurslar:** LiDAR tizimlari nisbatan qimmat va yuqori texnik xizmatni talab qiladi. Bunday tizimlarni amalga oshirishda yuqori xarajatlar va texnik majburiyatlar mavjud.

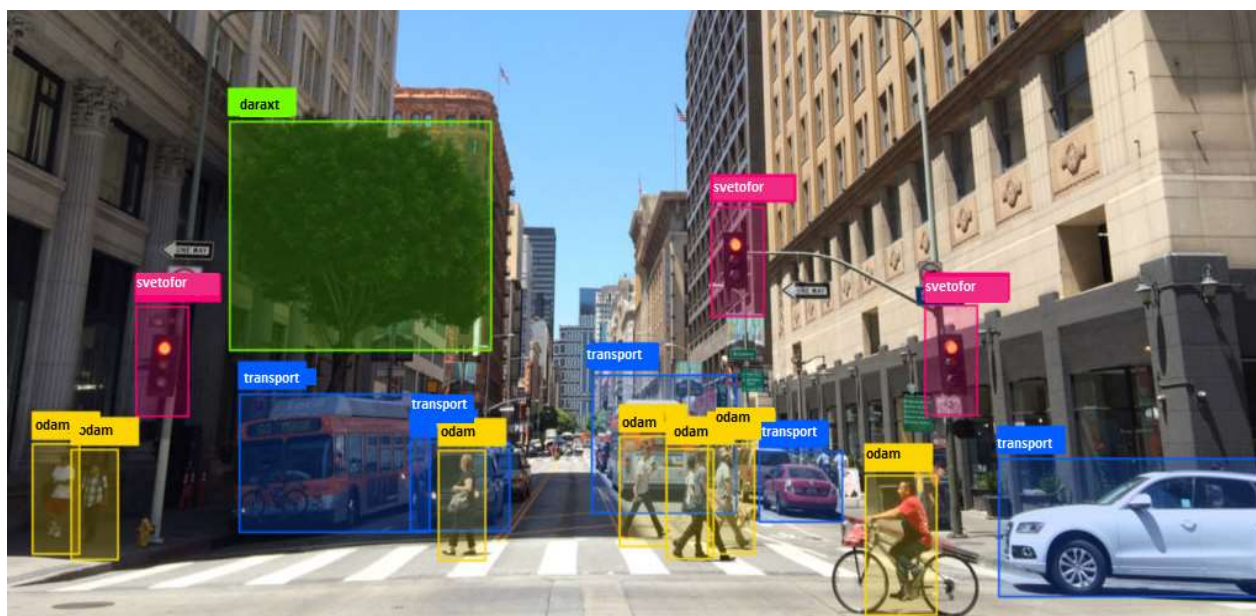
Yechimlar:

- **Integratsiya qilish:** LiDAR texnologiyasini RF yoki kompyuter ko‘rish (CV) tizimlari bilan birlashtirish. Masalan, LiDAR va RF metodlaridan birgalikda foydalanish atrof-muhit sharoitlaridan kelib chiqadigan muammolarni bartaraf etishga yordam beradi.

- **Dasturiy ta'minotni optimallashtirish:** LiDAR ma'lumotlarini yaxshilash uchun ilg‘or dasturiy ta'minot va algoritmlar yaratish. Bu LiDAR tizimlarining ishlash samaradorligini oshirishi mumkin.

3. Kompyuter Ko‘rish (Computer Vision)

Kompyuter ko‘rish texnologiyasi kameralar yordamida ob'ektlarni kuzatib borish va ularning joylashuvini aniqlashga qaratilgan. Bu texnologiya asosan ob'ektni vizual ravishda tahlil qilishga asoslangan bo‘lib, ko‘p hollarda stereoskopik ko‘rish yoki bir nechta kameralar yordamida 3D fazoda ob'ektlarni aniqlash uchun qo‘llaniladi.



Muammolar:

- **Yoritish va ob'ektlarning ranglari:** Kameralar yoritish sharoitlariga sezgir bo‘lib, to‘g‘ri tasvir olish uchun doimiy va optimal yoritish sharoitlari kerak bo‘ladi. Bu, o‘z navbatida, kameraning tasvir sifatiga ta'sir qiladi va lokalizatsiya aniqligini pasaytiradi.[3]

- **Ob'ektlar va fon o'rtasidagi farq:** Katta ob'ektlar yoki fon bilan birga joylashgan kichik ob'ektlarni aniqlashda tasvirni to'g'ri tahlil qilish qiyinlashadi.

Yechimlar:

- **Stereoskopik ko'rish:** Bir nechta kameralar yordamida stereoskopik ko'rish texnologiyasini qo'llash, bu esa ob'ektlarning 3D fazodagi aniqligini oshiradi.

- **Mashina o'rganish va sun'iy intellekt:** Kompyuter ko'rishdagi yoritish va ob'ektlarning o'zgarishlariga qarshi sun'iy intellekt va mashina o'rganish metodlarini qo'llash orqali, ob'ektlarni real vaqtda yanada aniq va ishonchli aniqlash imkoniyatini yaratadi.

4. Sun'iy Intellekt va Mashina O'rganish

Sun'iy intellekt (AI) va mashina o'rganish (ML) metodlari 3D lokalizatsiya qilishda juda muhim rol o'ynaydi. AI va ML algoritmlari, sensorlardan olingan ma'lumotlarni tahlil qilib, ob'ektlarning aniq joylashuvini aniqlashda yordam beradi. Bu metodlar atrof-muhit sharoitlari o'zgarishini sezib, tizimni moslashtiradi, shu bilan birga, lokalizatsiya jarayonining aniqligini oshiradi.

Muammolar:

- **Ma'lumotlarni o'rganish:** Sun'iy intellekt va mashina o'rganish modellari uchun katta va turli xil ma'lumotlar bazasi kerak. Bu ma'lumotlarni to'plash va tayyorlash juda ko'p vaqt va resurslarni talab qiladi.

- **Modelni o'rgatish va sinovdan o'tkazish:** Modelni to'g'ri ishlashini ta'minlash uchun uni turli sharoitlar va vaziyatlarda sinovdan o'tkazish zarur. Bu jarayon ko'plab ma'lumotlar, yuqori hisoblash quvvatlari va vaqtni talab qiladi. [4]

Yechimlar:

- **Transfer o'rganish (Transfer Learning):** Sun'iy intellekt modellari va mashina o'rganish algoritmlarini transfer o'rganish yordamida yaxshilash mumkin. Bu, ilgari o'rgatilgan modellarni yangi ma'lumotlar ustida qayta o'rgatish imkoniyatini beradi va yangi vaziyatlarga moslashishni tezlashtiradi.

- **Chidamli modellar:** Sun'iy intellekt va mashina o'rganish tizimlarini atrof-muhit sharoitlariga sezgir va chidamli qilib yaratish. Bu, ob'ektlarni o'zgaruvchan va noaniq sharoitlarda aniq aniqlashga yordam beradi.

5. Fuzion (Birlashtirish) Texnologiyalari

Bir nechta sensorlardan yoki texnologiyalardan olingan ma'lumotlarni birlashtirish (sensor fusion) — 3D lokalizatsiya uchun yana bir muhim yondashuvdir. Masalan, LiDAR, RF, kompyuter ko'rish va akselerometrlar kabi sensorlar birgalikda ishlatiladi. Bunday integratsiya tizimlarining afzalligi shundaki, ular har bir texnologiyaning kamchiliklarini kompensatsiya qilish va umumiy tizim samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Muammolar:

- **Ma'lumotlarni birlashtirishdagi murakkabliklar:** Turli xil sensorlardan olingan ma'lumotlar o'zaro farq qiladi va ular bir-biriga to'g'ri kelmasligi mumkin. Ma'lumotlarni sinxronlashtirish va integratsiya qilishda noaniqliklar yuzaga kelishi mumkin.

- **Hisoblash quvvati va resurslar:** Bir nechta sensorlar ma'lumotlarini birlashtirish yuqori hisoblash quvvatini talab qiladi, bu esa tizimning samaradorligini pasaytirishi va resurslarni ko'proq sarflashga olib kelishi mumkin.[5]

Yechimlar:

- **Kalman filtri va boshqa fuzion algoritmlarini qo'llash:** Sensorlardan olingan ma'lumotlarni birlashtirish uchun Kalman filtri yoki boshqa fuzion algoritmlari ishlatiladi. Bu algoritmlar, turli sensorlardan olingan noaniqliklarni kamaytirib, tizimning aniqligini oshirishga yordam beradi.[3]

- **Parallel hisoblash tizimlari:** Bir nechta sensorlarni birlashtirishda tizimning samaradorligini oshirish uchun parallel hisoblash tizimlaridan foydalanish mumkin. Bu, bir nechta ma'lumotlar oqimini bir vaqtning o'zida qayta ishlash imkoniyatini yaratadi.

NATIJALAR

3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilishda mavjud bo‘lgan texnologiyalarning samaradorligi ko‘plab omillarga bog‘liq. Har bir metod o‘zining afzalliklari va kamchiliklariga ega, va maqsadga qarab eng mos metodni tanlash kerak. RF lokalizatsiyasi uzoq masofalar va to‘siqlarga chidamliligini ta‘minlasa, LiDAR yuqori aniqlikdagi 3D modellar yaratishda samarali bo‘lishi mumkin. Kompyuter ko‘rish texnologiyalari ob'ektlarni vizual ravishda aniqlashda yuqori samaradorlikni ta‘minlasa, AI va mashina o‘rganish texnologiyalari ma'lumotlarni tahlil qilish va sharoitlarga moslashishda katta yordam beradi. Birlashtirilgan tizimlar esa turli sensorlardan olingan ma'lumotlarni to‘g‘ri birlashtirish orqali tizimning aniqligini oshiradi.

Shuni ta'kidlash kerakki, yuqoridagi metodlar ba'zi holatlarda bitta texnologiyadan foydalanish bilan cheklanmaydi. Masalan, LiDAR va kompyuter ko‘rish texnologiyalarining birlashishi, RF va mashina o‘rganishning integratsiyasi kabi yondashuvlar tizim samaradorligini yanada oshiradi. Bundan tashqari, sun'iy intellekt va mashina o‘rganish metodlarining qo‘llanilishi, bu texnologiyalarni murakkab sharoitlarga moslashtirishga yordam beradi.

XULOSA

3D fazoda obyektlarni lokalizatsiya qilish bugungi kunda turli sohalarda, ayniqsa, robototexnika, avtomatik transport tizimlari, aqlli shaharlar va tibbiyotda keng qo‘llanilmoqda. Biroq, bu jarayonni amalga oshirishda ko‘plab muammolar mavjud. RF, LiDAR, kompyuter ko‘rish, AI va mashina o‘rganish texnologiyalari bir-birining kamchiliklarini to‘ldirishi mumkin, ammo har bir metod o‘zining cheklovlariga ega. Tizim samaradorligini oshirish uchun sensorlar va texnologiyalarni birlashtirish, ilg‘or algoritmlar va mashina o‘rganish metodlaridan foydalanish zarur. Kelajakda, bu texnologiyalarning integratsiyasi va yanada rivojlanishi 3D lokalizatsiya tizimlarini aniqroq va samaraliroq qilishga yordam beradi.

ADABIYOTLAR

1. Zhang, W., & Zhou, X. (2019). RF-Based Localization and Tracking: Challenges and Solutions. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019.
2. Chen, J., & Wang, H. (2018). LiDAR and Computer Vision Integration for Accurate Localization in Autonomous Vehicles. *Journal of Sensors*, 2018.
3. Yee, A. & Zheng, J. (2020). 3D Localization Methods in Autonomous Systems: A Review. *International Journal of Robotics and Automation*, 35(1), 12-24
4. Zhou, Z., & Li, Z. (2021). Artificial Intelligence and Sensor Fusion for Accurate 3D Localization. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 47(3), 233-249.
5. Bose, S., & Raj, M. (2022). Real-Time Localization Systems: Innovations and Applications in Robotics. *IEEE Transactions on Robotics*, 38(2), 554-567.
6. Hikmetcan Özcan. (2015). Kocaeli University. Indoor Reduction of Noise in RF Signal with Kalman Filter