

## AVTONOM PARVOZ: GPS MAVJUD BO'LMAGAN JOYLARDA DRON QANDAY YO'NALTIRILADI? (SLAM ALGORITMLARINING SHARHI).

**Saidrasulov Sherzod Norboy o'g'li**

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU "Axborot  
texnologiyalarining dasturiy ta'minoti" kafedrasida dotsenti, PhD  
saidrasulovsherzod@gmail.com tel: +99899-881-38-24*

**Abdurashidov Abdulmalik Farxod o'g'li**

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU 3-bosqich talabasi  
abdumalik0428@gmail.com tel: 94-256-60-08*

**Annotatsiya:** *Ushbu maqolada dronlarning avtonom navigatsiyasi va GPSsiz hududlarda harakatini ta'minlashda SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) texnologiyasining ahamiyati, turli SLAM algoritmlari, ularning ishlash prinsiplari, amaliy tajribalar va samaradorligi haqida so'z yuritiladi. Tadqiqotda algoritmlarning afzalliklari va kamchiliklari, real vaqt rejimida hisoblash tezligi, shuningdek, sun'iy intellekt yordamida SLAMni yanada rivojlantirish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi.*

**Kalit so'zlar:** *SLAM, avtonom dron, GPSsiz navigatsiya, Visual SLAM, LiDAR-SLAM, Neural SLAM.)*

**Аннотация:** *В этой статье мы погружаемся в мир технологии SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) и ее важность для автономной навигации дронов, особенно в условиях, когда GPS недоступен. Мы обсудим различные типы алгоритмов SLAM, как они функционируют, а также проведем практические эксперименты, чтобы оценить их эффективность. Также рассмотрим плюсы и минусы этих алгоритмов, скорость обработки данных в реальном времени и будущее улучшение SLAM с помощью искусственного интеллекта.*

**Ключевые слова:** *SLAM, автономный дрон, навигация без GPS, Visual SLAM, LiDAR-SLAM, Neural SLAM.*

**Abstract:** *The article dives into how SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technology plays a crucial role in helping drones navigate and move in areas where GPS signals are unavailable. It explores various types of SLAM algorithms, how they function, and includes practical experiments along with performance assessments. The piece also examines the pros and cons of these algorithms, their real-time processing speeds, and the potential for enhancing SLAM through artificial intelligence.*

**Keywords:** *SLAM, autonomous drone, GPS-denied navigation, Visual SLAM, LiDAR-SLAM, Neural SLAM.*

### KIRISH

So'nggi yillarda dron texnologiyalari hayotimizning ko'plab sohalariga kirib keldi. Ular yordamida qishloq xo'jaligi, harbiy soha, qutqaruv ishlari, geologiya va hatto kinografiyada ham samaradorlik sezilarli darajada oshdi. Biroq, ko'pchilik dronlarning

samarali ishlashi GPS signaliga tayanadi. GPS esa har doim ham mavjud bo'lavermaydi: tog'li hududlar, yopiq binolar, yer osti inshootlari yoki signalni bloklovchi muhitlarda navigatsiya masalasi murakkablashadi. Shu sababli, dronlarning avtonom, ya'ni tashqi navigatsiya tizimlaridan mustaqil harakatlanish imkoniyati bugungi kunda dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Dron texnologiyalarining hozirgi rivojlanish holati

Bugungi kunda dronlar faqat masofadan boshqariladigan qurilmalar emas, balki o'z atrofini "ko'ra oladigan" va mustaqil ravishda qaror qabul qila oladigan tizimlarga aylanishdi. Zamonaviy modellar va algoritmlar, xususan, kompyuter ko'rish, mashinaviy o'rganish va sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv tizimlari dronlarning imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda. Endi dronlar atrof-muhitni tahlil qilib, yo'l to'siqlarini aniqlay oladi, o'z yo'lini rejalashtiradi va to'satdan paydo bo'lgan xavfli vaziyatlarga tezda moslasha oladi. Bunday rivojlanishning markazida SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algoritmlari turadi.

GPS signaliga bog'liq cheklovlar.

GPS tizimi global joylashuvni aniqlashda aniq va qulay bo'lsa-da, ayrim muhitlarda to'liq ishlamaydi. Ayniqsa, yer osti tunnellari, zich o'rmonlar yoki metall konstruksiyali binolar ichida signal yo'qoladi yoki buziladi. Bu esa dronning to'g'ri yo'nalishda harakatlanishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli, ilmiy izlanishlar GPS'ga qaram bo'lmagan navigatsiya usullarini ishlab chiqishga qaratilgan. Ana shunday yechimlardan biri SLAM algoritmlari bo'lib, ular dronlarga atrof-muhit xaritasini mustaqil ravishda shakllantirish va shu xarita asosida o'z holatini aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqot maqsadi va vazifalari

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – SLAM algoritmlarining ishlash tamoyillarini chuqur tahlil qilish va dronlarning GPS signalisiz hududlarda avtonom navigatsiya imkoniyatlarini o'rganishdir. Asosiy vazifalar quyidagilardan iborat:

- Dron navigatsiyasining nazariy asoslarini o'rganish;
- SLAM algoritmlarining turli xil turlarini (Visual, Lidar, RGB-D va boshqalar) tahlil qilish;
- Har bir algoritmning afzallik va kamchiliklarini aniqlash;
- GPS bo'lmagan sharoitda dron harakatining aniqligi va barqarorligini baholash.

Tadqiqot ob'ekti, predmeti va metodologiyasi

Tadqiqot ob'ekti – avtonom uchuvchi dron tizimlari. Predmeti esa – SLAM algoritmlarining GPS signalisiz muhitda dron navigatsiyasini ta'minlashdagi samaradorligi. Tadqiqotda taqqoslash, tahlil, modellashtirish va eksperimental kuzatuv metodlaridan foydalaniladi. Ushbu yondashuv dronlarning real sharoitdagi harakat xususiyatlarini chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

## AVTONOM DRONLARNING UMUMIY ISHLASH PRINSIPI

### Avtonom dronlarning asosiy komponentlari

Avtonom dron — bu faqat uchadigan mexanik qurilma emas, balki murakkab sensorlar, boshqaruv tizimlari va hisoblash modullaridan iborat aqlli tizimdir. Uning ishlashi bir nechta asosiy komponentlarga tayanadi:

#### 1.Sensorlar.

Dronning “ko‘zlari” bo‘lib, sensorlar atrof-muhit haqidagi ma’lumotlarni yig‘adi. Ular orasida akselerometr, giroskop, magnetometr, barometr, GPS moduli, ultratovush va lazer masofa o‘lchagichlar (LiDAR) mavjud. Bu sensorlar yordamida dron o‘z holatini, tezligini va atrofdagi obyektlarning masofasini aniqlaydi.

#### 2.Aktuatorlar.

Bular dronning “mushaklari” bo‘lib, uchish paytida dvigatellar, vintlar va servo mexanizmlar orqali harakatni ta’minlaydi. Ular boshqaruv blokidan kelgan buyruqlarni bajarib, dronning yo‘nalishi va tezligini o‘zgartiradi.

#### 3.Boshqaruv bloki (Flight Controller).

Bu dronning “miyasi”dir. U sensorlardan kelayotgan ma’lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlaydi va dronning barqarorligini saqlaydi. Masalan, agar dron shamol tufayli og‘sa, boshqaruv bloki bu og‘ishni aniqlab, darhol qarshi harakatni bajaradi. Zamonaviy boshqaruv platalari (masalan, Pixhawk, Navio2 yoki DJI Flight Controller) ichiga mikroprotssessor, IMU moduli va PID-regulyatorlar o‘rnatilgan bo‘ladi.

### Parvoz boshqaruv tizimining tuzilishi

Avtonom dronlarning parvoz boshqaruv tizimi uchta asosiy qatlamdan iborat:

#### 1.Past darajadagi boshqaruv (Low-Level Control).

Bu qatlam dronning fizik barqarorligini ta’minlaydi. Dvigatellar tezligini boshqarish, og‘ish burchagini (roll, pitch, yaw) barqarorlashtirish kabi real vaqt vazifalari shu yerda amalga oshiriladi.

#### 2.O‘rta darajadagi boshqaruv (Mid-Level Control).

Bu qatlam parvoz traektoriyasini rejalashtiradi. Masalan, dronning belgilangan nuqtaga borish yo‘li, balandlikni ushlab turish yoki harakat tezligini sozlash shu darajada bajariladi.

#### 3.Yuqori darajadagi boshqaruv (High-Level Control).

Bu yerda dronning “intellectual” qarorlari shakllanadi. Misol uchun, atrof-muhitni tahlil qilish, to‘siqlarni aylanib o‘tish yoki SLAM algoritmi asosida xarita tuzish aynan shu bosqichda amalga oshiriladi.

Ushbu qatlamlar birgalikda ishlaganda, dron o‘z harakatini mustaqil ravishda boshqarish, muvozanatni saqlash va aniqlik bilan parvoz qilish imkoniyatiga ega bo‘ladi.

### Navigatsiya va orientatsiya tushunchalari

Navigatsiya – bu dronning “qayerda” joylashganini va “qayerga” borishi kerakligini aniqlash jarayoni. Orientatsiya esa dronning o‘qiga nisbatan holatini, ya’ni uning yo‘nalishi, og‘ish burchagi va burilish holatini anglatadi.

Navigatsiya uchun asosan pozitsiya aniqlovchi sensorlar (GPS, vizual sensorlar, LiDAR) ishlatiladi, orientatsiya uchun esa IMU (Inertial Measurement Unit) ma'lumotlari kerak bo'ladi. Bu ikki jarayon bir-birini to'ldiradi: navigatsiya dronga yo'nalish beradi, orientatsiya esa parvoz davomida to'g'ri burchakda harakat qilishni ta'minlaydi.

GPS mavjud va mavjud bo'lmagan holatlarda farq

GPS mavjud bo'lgan sharoitlarda dronning joylashuvi sun'iy yo'ldoshlar yordamida aniq aniqlanadi. Bu usul tashqi navigatsiya tizimiga tayanadi va odatda aniqlik 1–3 metr oralig'ida bo'ladi. Lekin, GPS'ning afzalliklari bilan birga, jiddiy cheklovlari ham mavjud. Masalan, yopiq joylarda, shahar markazidagi baland binolar orasida yoki signal to'silgan hududlarda GPS ishlamay qolishi mumkin. Natijada, dron o'z koordinatalarini yo'qotib, noto'g'ri yo'nalishda harakatlanishi ehtimoli bor.

GPS mavjud bo'lmagan sharoitlarda esa dron ichki navigatsiya tizimlariga tayanadi. Bular orasida:

- SLAM algoritmlari (Simultaneous Localization and Mapping) – dron o'z atrofini xaritalab, shu xarita asosida joylashuvini aniqlaydi;
- Vizual odometriya – kamera yordamida harakat traektoriyasini hisoblaydi;
- Inersial navigatsiya – giroskop va akselerometrdan olingan ma'lumotlar asosida pozitsiyani taxmin qiladi.

Bu usullar GPS o'rnini to'liq bosolmasa-da, haqiqiy sharoitlarda dronlarga mustaqil parvoz qilish imkonini beradi. Ayniqsa, so'nggi yillarda SLAM algoritmlari bu sohada eng samarali yechim sifatida tan olinmoqda.

### **SLAM TEXNOLOGIYASINING MOHIYATI**

SLAM tushunchasi

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) — bu robot yoki dronning bir vaqtning o'zida o'z joylashuvini aniqlash va atrof-muhit xaritasini tuzish texnologiyasidir. SLAM tizimi GPS bo'lmagan joylarda dronga “men qayerdaman?” va “atrofimde nima bor?” degan savollarga mustaqil javob topish imkonini beradi.

Bu texnologiya dron harakatlanayotganda sensorlardan ma'lumot to'playdi, shu asosda xarita yaratadi va shu xaritaga nisbatan o'z holatini aniqlab boradi. Demak, lokalizatsiya va xaritalash jarayonlari bir vaqtda amalga oshadi.

Lokalizatsiya va xaritalash jarayoni

- Lokalizatsiya – dronning koordinatalarini aniqlash;
- Xaritalash – kuzatilgan obyektlardan muhit modeli tuzish.

Bu ikki jarayon doimiy ravishda yangilanib turadi. Dron yangi obyektни ko'rsa, xaritani kengaytiradi va o'z joylashuvini aniqlashtiradi.

SLAM ishlash prinsipi

1. SLAM tizimi turli sensorlardan foydalanadi:
2. Vizual SLAM – kamera orqali tasvirlardan nuqtalar aniqlanadi, lekin yorug'likka sezgir.

3. LiDAR SLAM – lazer nurlari yordamida aniq 3D xarita tuzadi, ammo bu qimmat.

4. Radar SLAM – elektromagnit to'liqlar asosida ishlaydi va qorong'ilikda ham samarali.

5. Inersial SLAM – IMU (akselerometr, giroskop) yordamida harakatni taxmin qiladi.

Ko'pincha bu sensorlar birgalikda ishlatiladi (sensor fusion), bu esa natijani yanada aniqroq qiladi.

SLAM algoritmlarining umumiy tuzilmasi

SLAM jarayoni odatda quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Ma'lumot yig'ish – sensorlardan o'lchovlar olinadi.
2. Xususiyatlarni aniqlash – tasvir yoki nuqtalardagi muhim obyektlar topiladi.
3. Moslik topish – yangi ma'lumotlar avvalgilari bilan solishtiriladi.
4. Pozitsiyani hisoblash – dronning yangi koordinatasi aniqlanadi.
5. Xarita yangilash va xatolikni tuzatish – xarita doimiy ravishda to'ldiriladi va optimallashtiriladi.

Natijada, SLAM dronlarga GPS bo'lmagan sharoitda ham aniqlik bilan harakatlanish imkonini beradi va ularning to'liq avtonom boshqaruvini ta'minlaydi.

### **SLAM ALGORITMLARINING TURLARI.**

EKF-SLAM (Extended Kalman Filter)

Among the initial models of SLAM algorithms, EKF-SLAM stands out as one of the most popular. This method operates based on the Kalman filter, assessing the drone's movement state with statistical probability. In EKF-SLAM, the drone's position and map elements are updated with each new measurement. Its advantage lies in high accuracy, while its downside is that it demands significant computational resources and tends to operate slowly in larger environments.

FastSLAM

FastSLAM is an advanced version of EKF-SLAM that utilizes particle filters to compute multiple probable states in parallel. Each "particle" creates its own map of the environment. This approach delivers stable results even in complex settings. The benefits include speed and adaptability in dynamic environments, but it does come with a high memory consumption and sensitivity to noisy data.

Graph-based SLAM

Graph-based SLAM represents the environment in a graph format: nodes signify the drone's positions, and edges represent the measurements between them. The system minimizes errors across the entire graph when constructing the map. Its strengths are high accuracy and stability, while the drawbacks include a complex computation process and substantial memory requirements.

Visual SLAM (V-SLAM)

V-SLAM operates based on cameras and calculates location by identifying feature points from images. The main types include:

- MonoSLAM – works with a single camera but estimates depth;
- ORB-SLAM – functions in real-time, providing accuracy and stability, though it requires a powerful processor;
- LSD-SLAM – analyzes light gradients in images, delivering high precision.

Visual SLAM is sensitive to lighting conditions, yet it offers an affordable and convenient solution.

#### Lidar-SLAM

LiDAR (Light Detection and Ranging) sends out laser beams and creates a 3D point cloud based on the returning signals. LiDAR-SLAM is the most accurate method for real-time mapping and is widely used in autonomous vehicles. Its advantages include high precision and independence, while its downsides are the high cost of the equipment and energy consumption.

#### RGB-D SLAM

RGB-D cameras provide both color (RGB) and depth (D) data together. This type of SLAM combines visual and 3D information, resulting in more accurate maps in complex environments. The benefits include precise and stable results, but the depth sensor's performance can be affected by distance and external lighting conditions.

#### SLAM algoritmlarining taqqoslama jadvali

| Algoritmi turi                 | Asosiy sensor | Afzalliklari                                | Kamchiliklari                         | Qo'llanilish sohasi                  |
|--------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| EKF-SLAM                       | IMU, kamera   | Yuqori aniqlik, nazariy barqarorlik         | Hisoblash murakkabligi, sekin ishlash | Nazariy tadqiqotlar, kichik muhitlar |
| FastSLAM                       | IMU, kamera   | Tez, moslashuvchan                          | Shovqinlarga sezgir                   | Dinamik muhitlar, mobil robotlar     |
| Graph-based SLAM               | LiDAR, kamera | Xatolikni minimallashtirish, global aniqlik | Katta xotira talabi                   | Avtonom transport, 3D xaritalash     |
| MonoSLAM / ORB-SLAM / LSD-SLAM | Kamera        | Arzon, vizual tahlil kuchli                 | Yorug'likka sezgir                    | Ichki binolar, AR/VR tizimlari       |
| Lidar-SLAM                     | LiDAR         | Juda aniq, ishonchli                        | Qimmat va energiya talabchan          | Avtomobil va dron navigatsiyasi      |
| RGB-D SLAM                     | RGB-D kamera  | 3D va rangli xarita, barqaror               | Chuqurlik diapazoni cheklangan        | Ichki muhit, servis robotlari        |

#### AMALIY TAJRIBA VA NATIJALAR

So'nggi yillarda SLAM algoritmlarining samaradorligini baholash maqsadida turli ochiq datasetlar asosida ko'plab eksperimentlar o'tkazildi. Eng ko'p ishlatiladigan KITTI va TUM RGB-D datasetlari bu sohada standart mezon sifatida tanilgan. Ular dronlar va avtonom robotlarning haqiqiy muhitda navigatsiya aniqligini baholash imkonini beradi.

Masalan, KITTI dataseti avtomobil va havo transporti uchun mo'ljallangan bo'lib, vizual va lidar ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Ushbu dataset asosida o'tkazilgan tajribalarda Graph-based SLAM algoritmi aniqroq xarita yaratgan, lekin bu jarayon

ko'proq hisoblash resurslarini talab qilgan. FastSLAM esa tez ishlagan, ammo aniqlik biroz past bo'lgan.

TUM RGB-D dataseti esa ichki muhitdagi dronlar uchun keng qo'llaniladi. ORB-SLAM2 va LSD-SLAM algoritmlarida aniqlik 1–3 sm oralig'ida bo'lib, real vaqt rejimida xaritalash imkonini beradi. Ayniqsa, Visual SLAM algoritmlari dronlarning GPS yo'q hududlarda orientatsiya imkoniyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, GPU (Grafik protsessor) asosida SLAMni tezlashtirish juda yaxshi natijalar berayotgan. GPU'lar yordamida Parallel Computing orqali hisoblash jarayoni 3–5 barobar tezlashgan. Shuningdek, Edge Computing texnologiyalari dronlarga ma'lumotni to'g'ridan-to'g'ri qurilma ichida qayta ishlash imkonini beradi, bu esa tarmoq kechikishini kamaytiradi va real vaqt aniqligini oshiradi.

Umuman olganda, tajribalar shuni ko'rsatadi: SLAM algoritmlari aniqlik, barqarorlik va hisoblash samaradorligi o'rtasidagi muvozanatga tayanadi. Har bir texnologiyaning o'ziga xos kuchli tomonlari bor: EKF-SLAM – barqarorlik, FastSLAM – tezlik, Graph-based SLAM – aniqlik, Visual SLAM – adaptivlik. Shu sababli, zamonaviy dronlar ko'pincha gibril yondashuvdan foydalanadi – ya'ni, bir nechta SLAM texnologiyalarini birlashtirib, har xil sharoitda eng yaxshi natijani olishga harakat qiladi.

#### **MUAMMOLARI VA ISTIQBOLLARI**

SLAM texnologiyasi avtonom dronlarning asosiy poydevorlaridan biri bo'lsa-da, u hali ham bir qator muammolarga duch kelmoqda. Eng avvalo, hisoblash resurslarining yetishmasligi masalasi dolzarb. SLAM algoritmlari ko'p sonli sensor ma'lumotlarini bir vaqtning o'zida qayta ishlashi kerak bo'ladi, bu esa kuchli protsessor va katta xotirani talab qiladi. Kichik hajmli dronlarda bunday resurslarni joylashtirish esa cheklangan.

Yana bir muammo — sensorlarning yuqori narxi va sinxronlashdagi noaniqliklar. Lidar, kamera va IMU kabi qurilmalar bir-biri bilan mukammal mos ishlashi lozim, aks holda dron harakati davomida hosil bo'ladigan xarita buziladi yoki kechikishlar yuz beradi. Sinxronlashdagi hatoliklar odatda joylashuv aniqligini pasaytiradi.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt yordamida SLAMni takomillashtirish bo'yicha tadqiqotlar faol olib borilmoqda. Ayniqsa Deep SLAM va Neural SLAM yondashuvlari an'anaviy matematik modellarni chuqur neyron tarmoqlar bilan birlashtirib, murakkab muhitlarda ham barqaror navigatsiyani ta'minlashga intilmoqda. Bu yondashuvlar real vaqt rejimida o'z-o'zidan o'rganish va muhitga moslashish imkonini beradi.

Kelajak istiqbolida esa GPSsiz to'liq avtonom navigatsiya texnologiyalari shakllanmoqda. Bunda dronlar kamera, lidar va sun'iy intellekt asosidagi SLAM orqali o'z atrofini mustaqil “tushunadi”, xarita tuzadi va xavfsiz yo'nalishni belgilaydi. Natijada dronlar GPS signali mavjud bo'lmagan joylarda — masalan, yerosti inshootlari, o'rmonlar yoki yopiq binolarda — ham to'liq avtonom tarzda harakatlana oladi.

## XULOSA

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, SLAM algoritmlari dronlarning GPSsiz muhitda mustaqil navigatsiya qilishida juda muhim rol o'ynaydi. Ular dronlarga bir vaqtning o'zida xarita tuzish va o'z joylashuvini aniqlash imkonini beradi. Har xil SLAM yondashuvlari — EKF-SLAM, FastSLAM, Graph-based SLAM, Visual SLAM va boshqalar — o'ziga xos afzalliklari va cheklovlari bilan ajralib turadi, lekin ularning birgalikda ishlatilishi eng yaxshi natijalarni taqdim etadi.

Eksperimental tahlillar shuni ko'rsatmoqda-ki, GPU va Edge Computing texnologiyalari yordamida SLAMning hisoblash tezligi oshmoqda, bu esa real vaqt rejimida aniq va barqaror harakatni ta'minlaydi. Shuningdek, Deep SLAM va Neural SLAM kabi sun'iy intellektga asoslangan yangi yondashuvlar dronlarning o'z-o'zini boshqarish qobiliyatini yanada kuchaytiradi.

O'zbekiston sharoitida bu texnologiya qishloq xo'jaligi, infratuzilma monitoringi, favqulodda vaziyatlarda qutqaruv ishlari va geologik tadqiqotlar sohalarida katta imkoniyatlarga ega. GPS signali beqaror bo'lgan hududlarda SLAM algoritmlarini joriy etish orqali dronlarning aniqligi, xavfsizligi va samaradorligini oshirish mumkin. Shu sababli, SLAM texnologiyasini o'zlashtirish va mahalliy sharoitga moslashtirish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

## REFERENCES:

1. Barros, A. M. (2022). A comprehensive survey of visual SLAM algorithms. *Robotics*, 11(1), Article 24. <https://doi.org/10.3390/robotics11010024>
2. Taketomi, T., Uchiyama, H., & Ikeda, S. (2017). Visual SLAM algorithms: A survey from 2010 to 2016. *IPSN Transactions on Computer Vision and Applications*, 9(1), Article 16. <https://doi.org/10.1186/s41074-017-0027-2>
3. Picard, Q. (2023). A survey on real-time 3D scene reconstruction with SLAM. *arXiv preprint arXiv:2309.05349*.
4. Placed, J. A., Strader, J., Carrillo, H., Atanasov, N., Carlone, L., & Castellanos, J. A. (2022). A survey on active simultaneous localization and mapping: state of the art and new frontiers. *arXiv preprint arXiv:2207.00254*.
5. Campos, C., Elvira, R., Gómez Rodríguez, J. J., Montiel, J. M. M., & Tardós, J. D. (2020). ORB SLAM3: An accurate open source library for visual, visual inertial and multi map SLAM. *arXiv preprint arXiv:2007.11898*.
6. Yu, C., Liu, Z., Liu, X., Xie, F., Yang, Y., & Wei, Q. (2018). DS SLAM: A semantic visual SLAM towards dynamic environments. *arXiv preprint arXiv:1809.08379*.
7. Bogdanova, K. A. (2021). Применение алгоритмов SLAM при навигации мобильных роботов. [Elibrary.ru].
8. Подтихов, А. В. (2024). Открытый набор данных для тестирования visual SLAM алгоритмов при различных погодных условиях. *CyberLeninka.ru*.

9. Павловский, В. Е. (2016). Базовые алгоритмы SLAM: фильтры Калмана, фильтры частиц. Робототехнические системы.
10. Luperto, M., Castelli, V., Bonsignorio, F., & Amigoni, F. (2021). Predicting performance of SLAM algorithms. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3162.
11. Liu, Y., & Fan, S. (2025). An improved SLAM algorithm for substation inspection robots based on 3D Lidar and visual information fusion. *Energies*, 18(11), 2797. <https://doi.org/10.3390/en18112797>
12. Чжаоян, Ц. (2021). Исследование алгоритма SLAM роботов на основе оптимизации графов. CyberLeninka.ru.
13. “Что такое SLAM сканирование и зачем оно нужно.” (2025, April 28). RusGeoCom.ru.
14. “SLAM (метод).” (n.d.). Wikipedia.ru.
15. “FastSLAM.” (n.d.). Wikipedia.ru