

УДК 622.23.05: 528.716.1.021.6: 004.932.72'1

Фарафонов О.Ю.¹, Малий О.Ю.¹, Фурманова Н.І.¹, Онищенко В.Ф.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ НАВІГАЦІЙНИХ НАЗЕМНИХ СИСТЕМ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ У ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

У світі спостерігається тенденція широкого використання електромобілів. Електромобілі проникли у вантажний сегмент і навіть у гірничодобувну промисловість. Іншою паралельною тенденцією є розробка автономних систем. Найбільшого поширення набули UAV (Unmanned aerial vehicle). Проте успішними є й розробки наземного сегмента: Tesla, Waymo. Набагато гірші справи у наземного автономного вантажного транспорту в гірничодобувній галузі. Єдиним проектом, готовим до експлуатації, позиціонується автономна кар'єрна вантажівка компанії Volvo.

Основною проблемою таких систем є використання GPS як основної системи для навігації. Хоча такі системи використовують повний навігаційний набір мобільних роботів: камери, лідари, радары, GNSS (Global navigation satellite system) з RTK (Real Time Kinematic) – в умовах кар'єрних розробок навігація стає ненадійною. Тому є кілька причин. Основною причиною є геометрія кар'єру, яка може призводити до неприпустимого зниження точності GPS сигналу. Зазвичай автономні роботи підтримують свою навігацію застосуванням одометрії та показань IMU (Inertial measurement unit). Однак колісна одометрія ненадійна в таких умовах через особливості ґрунтових доріг. А візуальна одометрія не завжди доступна і належить до складних систем. Автономні роботи, які працюють на дорогах загального користування, використовують алгоритми розпізнавання дорожнього полотна, дорожньої розмітки, знаків, транспортних засобів для уточнення своєї локалізації. Мобільні роботи, що застосовуються в закритих приміщеннях, завжди обмежені стінами приміщення і використовують мапу приміщення для локалізації.

Проблемою для автономних роботів в умовах кар'єру стануть великі відкриті простори за межами зони дії датчиків автомобіля і відсутність штучної інфраструктури для розпізнавання з використанням навчених нейронних мереж.

Другою причиною помилок систем GPS навігації є радіоперешкоди як індустріального походження, так і штучно утворені (jamming and GPS spoofing) [1, 2]. Таке втручання у роботу навігаційних систем стає де-далі

поширеним. Тому використовувати системи GPS без додаткових резервних систем навігації не можна.

Гарним рішенням при короткочасній втраті зв'язку було б використання інерційних навігаційних систем високої точності – таких як авіаційні системи. На жаль такі системи дуже дорогі, а точність їх для наземного використання має бути ще вищою, ніж для використання в авіації [1]. Ще одним рішенням було використання радіомаяків. Однак для навігації в умовах гірничодобувної промисловості це часто буває неприйнятним через форму кар'єру або штучні заборони та небажання замовника. Тому основні зусилля розробників спрямовано до вдосконалення систем візуальної навігації. Основою для роботи візуальних систем навігації є скани 3D лідарів та RGBD камер (зазвичай, для відкритих просторів та сонячного світла, використовуються стереокамери, а не камери з інфрачервоним підсвічуванням). При цьому подальша робота з хмарою точок призводить до побудови мапи та спроб розпізнавання об'єктів на мапі.

Основою для роботи візуальних систем навігації є скани 3D лідарів та RGBD камер (зазвичай, для відкритих просторів та сонячного світла, використовуються стереокамери, а не камери з інфрачервоним підсвічуванням) [4]. При цьому подальша робота з хмарою точок призводить до побудови мапи та спроб розпізнавання об'єктів на мапі [4].

Побудова карти пов'язані з визначенням локальних дескрипторів і алгоритму співставлення RANSAC. А подальша локалізація робота залежить від визначення глобальних геометричних дескрипторів та роботи нейронних мереж для розпізнавання об'єктів на карті. Ось тут і криється головна проблема навігації в таких природних умовах, пов'язана з малим діапазоном дії датчиків вимірювання відстані та монотонною зовнішньою геометрією кар'єру. При цьому, наприклад, якщо геометрія скельних полиць гранітного кар'єру практично незмінна, то геометрія полиць для рудного або вугільного кар'єру часто змінюється через осипи. Тому стає важко визначити постійні глобальні геометричні дескриптори у межах дії датчиків. Дальність дії лідарів для навігації зазвичай не перевищує 200 м. А діапазон виміру дальностей стереокамерою обмежений максимум 40 метрами.

У маркшейдерській справі набула популярності побудова повної 3D моделі кар'єру з використанням лазерного сканування та квадрокоптерів. При цьому можлива побудова не лише мапи за даними лідара, а й отримання панорамного зображення кар'єру з використанням камер. Таку деталізовану панораму кар'єру та точні дані моделі на основі лідарних даних можна використовувати для навігації мобільних роботів.

Ідея навігації полягає в використанні стародавнього методу тріангуляції для визначення місцезнаходження. Для цього у вигляді маяків використовуються глобальні геометричні дескриптори – ділянки поверхні кар'єру значної

площі (наприклад 10 на 10 метрів), які вже досить немонотонні, щоб містити точки для локальних алгоритмів виділення особливих точок (SURF, SIFT або інші). Такі ділянки визначаються шляхом порівняння загальної панорами кар'єру та даних стереокамер, що отримуються з відеопотоку.

При співставленні глобальних геометричних дескрипторів визначається напрямок щодо системи координат робота. Під час руху робота на підйом або спуск ділянки, що містять глобальні дескриптори, розташовані на відстані 300-800 метрів від робота – далеко за межами дії його навігаційних лідерів. Запропонований метод уточнення розташування не повинен працювати із частотою дії лідара (10-20 Гц). Уточнювати локалізацію досить 1 раз на кілька секунд або навіть рідше. Для однозначного визначення місця розташування робота, крім направлення на маяки, необхідно додати відстань до них. Це дозволить наблизити точність навігації до значення ± 1 м. Відстань до стінок кар'єру пропонується вимірювати лазерними далекомірами на основі зсуву фази сигналу [5], які юстовані з оптичною віссю камер RGBD. Або використовувати більш вартісні рішення [6]. При цьому локалізацію робота по висоті можна значно уточнити, використовуючи барометр та історію переміщення (відлік пройдених рівнів кар'єру – кількість полиць).

Точність і висока дальність сучасних лазерних далекомірів зі зсувом фаз, висока роздільна здатність сучасних цифрових камер і сучасна потужність локальних обчислювальних систем у завданнях розпізнавання в реальному часі, дозволяють використовувати перевірені часом геометричні методи навігації та створювати резервні навігаційні системи для підвищення надійності роботи автономних мобільних роботів в умовах штучного гірничого рельєфу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Osechas, O., Fohlmeister, F., Dautermann, T., & Felux, M. (2022) Impact of GNSS-band radio interference on operational avionics. NAVIGATION, 69(2).
2. Eurocontrol, A. I. U. (2021). Does radio frequency interference to satellite navigation pose an increasing threat to network efficiency, cost-effectiveness and ultimately safety?. Brussels, Belgium, Tech. Rep., Mar, 2021-03.
3. Малий, О., Фурманова, Н., Фарафонов, О., Костяной, П. (2022). Система навігації на основі технології комп'ютерного зору для БПЛА. Виробництво & Мехатронні Системи 2022: матеріали VI-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2022 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)]. -Харків: [електронний друк], 2022. – с. 74-77.
4. Фарафонов, О., Фурманова, Н., Костяной, П. Визначення основних критеріїв для вибору програмного забезпечення для картографування за допомогою дронів. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей XI Міжнародної

науково-практичної конференції (12-14 грудня 2022 р., м. Запоріжжя). – с.117-119.

5. 1000m mini laser distance meter metal material module range finder rs232 serial module. Retrieved from https://www.alibaba.com/product-detail/long-distance-1000m-1m-measurement-resolution_60526994002.html,%20https://www.alibaba.com/product-detail/1000m-mini-laser-distance-meter-metal_1600239078927.html

6. LS30MVA Long-range Visually Adjustable Laser RangingSystem. Retrieved from <https://www.leishenlidar.com/wp-content/uploads/2022/03/LS30MVA.pdf>