

УДК 621.331

doi:10.20998/2413-4295.2023.03.05

ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ З КОМП'ЮТЕРНИМ ЗОРОМ

Б. В. ВОРОБІЙОВ, С. О. СЕНЧЕНКО*, Я. О. КИРИЛЕНКО, Я. В. ЛІХНО, Л. ХАНЬ, Ю. М. КУТОВИЙ

Автоматизовані електромеханічні системи, НТУ "ХПІ", м. Харків, УКРАЇНА
* e-mail: Serhii.Senchenko@ieee.khpi.edu.ua

АНОТАЦІЯ Представлено підхід до інтеграції алгоритмів комп'ютерного зору в систему керування тяговими електроприводами залізничного транспорту. Він демонструє використання алгоритмів комп'ютерного зору для обчислення лінійної швидкості як альтернативи звичайним датчикам, таким як одометри коліс, GPS, DGPS та інерційні датчики, які можуть виявитися неефективними на слизькій поверхні та на низьких швидкостях. Як наслідок, ця стаття зосереджена на використанні лінійної швидкості як зворотного зв'язку в системі керування для підвищення енергоефективності під час старту та зупинки та запобігання пробуксовці коліс. Система керування електроприводом була успішно впроваджена та випробувана на робототехнічній платформі, розробленій для моделювання динамічної поведінки в реальних сценаріях залізничного транспорту. У статті детально описано процес розробки цієї робототехнічної платформи, яка використовується для імітації динамічних умов реального світу на залізничному транспорті. Запропонований алгоритм керування оцінкою швидкості оцінено на спеціально розробленому випробувальному стенді, що виявило його здатність прогнозувати швидкість з відносно високим ступенем точності. Крім того, представлений алгоритм оптичного потоку для оцінки швидкості, який оцінюється за допомогою спеціально розробленої випробувальної установки, що вказує на сильну кореляцію між прогнозованою швидкістю транспортного засобу та вимірюваннями точних оптичних кодерів. Дослідження також визначає оптимальний розмір вікна функції для оцінки швидкості оптичного потоку в реальному часі. Таким чином, цей підхід демонструє значний потенціал для точної оцінки швидкості. Поточні експерименти проводяться в різних реальних умовах, а майбутні дослідження спрямовані на розробку надійної автономної системи вимірювання швидкості. Інтеграція сучасних цифрових технологій комп'ютерного зору не тільки покращує тягові характеристики електроприводів, але й розширює можливості тягових електроприводів, щоб відповідати суворим вимогам промислового обладнання.

Ключові слова: тяговий електропривод; двигун постійного струму; пробуксовка коліс; комп'ютерний зір; робототехнічна платформа; датчик швидкості; одноплатний комп'ютер.

MEASUREMENT OF LINEAR VELOCITY USING A MOBILE ROBOTIC PLATFORM WITH COMPUTER VISION

B. VOROBIOV, S. SENCHENKO, Y. KYRYLENKO, Y. LIKHNO, L. KHAN, Yu. KUTOVYI

Automated electromechanical systems, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This article presents an approach to integrating computer vision algorithms into the control system of traction electric drives in rail transport. It demonstrates the utilization of computer vision algorithms for calculating linear velocity as an alternative to conventional sensors like wheel odometers, GPS, DGPS and inertial sensors, which may prove ineffective on slippery surfaces and at low speeds. As a result, this article focuses on employing linear velocity as feedback within the control system to enhance power efficiency during starting and stopping and to prevent wheel slip. The electric drive control system has been successfully implemented and tested on a robotics platform designed for simulating dynamic behaviors in real rail transports scenarios. The article details the development process of this robotics platform, which is employed to mimic real-world dynamic conditions in rail transport. The proposed control algorithm for speed estimation is assessed using a specially designed test bench, revealing its capability to predict speed with a relatively high degree of accuracy. Additionally, an optical flow algorithm for velocity estimation is introduced and evaluated through a specially designed test rig, indicating a strong correlation between the predicted vehicle speed and the measurements from precision optical encoders. The study also determines the optimal feature window size for real-time optical flow rate estimation. In summary, this approach exhibits significant potential for accurate speed estimation. Ongoing experiments are being conducted under various real-world conditions, with future research aimed at developing a dependable autonomous system for speed measurement. The integration of modern digital computer vision technologies not only enhances the traction characteristics of electric drives but also extends the capabilities of traction electric drives to meet the rigorous demands of industrial equipment.

Keywords: traction electric drive; DC motor; wheel slip; computer vision; robotics platform; speed sensor; single-board computer.

Вступ

Для виконання завдань руху під час маневрування, рушання з місця та гальмування

важлива оцінка фактичної швидкості руху залізничного транспорту. У цих режимах можуть виникати динамічні режими, що викликають негативні наслідки. При рушанні або зупинці

(гальмуванні) – буксуванні коліс при маневруванні або русі залізничного транспорту в звичайному режимі може виникнути фрикційне коливання [1-4]. Щоб уникнути перерахованих негативних ефектів важливо високоточне вимірювання таких параметрів руху, як швидкість і прискорення.

Традиційно одометрія коліс, GPS, DGPS та інерційні датчики використовуються для визначення швидкості залізничного транспорту та, можливо, його траєкторії. Незважаючи на популярність і корисність вищевказаних методів і датчиків, вони страждають від дрейфу, низької роздільної здатності або обмеженої застосовності. Показники одометрії коліс погіршуються при наявності ковзання залізничного транспорту. GPS і DGPS страждають від низької роздільної здатності та низької швидкості оновлення, тому вони непридатні для маневрів у режимах низької швидкості. У той час як інерційні датчики схильні до високого рівня шуму, особливо на низьких швидкостях, і на точність цих датчиків впливає, якщо потрібні оцінки швидкості та положення через необхідну одинарну та подвійну інтеграцію за часом [5-8].

За останнє десятиліття кілька дослідників досягли значних успіхів у використанні різних методів обробки зображення та зору для навігації, уникнення перешкод і керування наземними транспортними засобами. Більшість дослідників використовують методи обробки зображень для створення 3D-простору з 2D-зображень, виявлення перешкод або вилучення руху з отриманих послідовностей зображень. Нещодавно було розроблено багато навігаційних алгоритмів, які можуть обчислювати шлях робота та відносно надійно генерувати карти неструктурованих середовищ. Найбільш помітним є прогрес у методах навігації на основі SLAM. Однак ця стаття зосереджена на оцінці швидкості, яка застосовна для оцінки ковзання для залізничного транспорту.

Мета роботи

Розробити і промоделювати точний і надійний алгоритм оцінки швидкості залізничного транспорту з використанням техніки оптичного потоку та стереокамери для отримання точних значень. Цей метод заснований на використанні стереокамери, яка сканує місцевість і точно прогнозує швидкість залізничного транспорту. Потім виміряні сигнали можна використовувати для оцінки параметрів ковзання залізничного транспорту в реальному часі. Пропонується, щоб залізничний транспорт був оснащений стереокамерою, спрямованою до землі, яка отримувала зображення поверхні, по якій він рухається. Оскільки перевірка працездатності такої системи на реальному залізничному

транспорті є дуже складним завданням. Вирішено зібрати лабораторну установку у вигляді роботизованої платформи для колісних транспортних засобів з дистанційним керуванням.

Роботизована платформа

Експеримент з перевірки працездатності системи керування електроприводом залізничного транспорту з інтегрованим алгоритмом розрахунку лінійної швидкості з використанням реальної імітаційної моделі. Для цього була зібрана роботизована платформа колісного робота, яка показана на рис. 1.

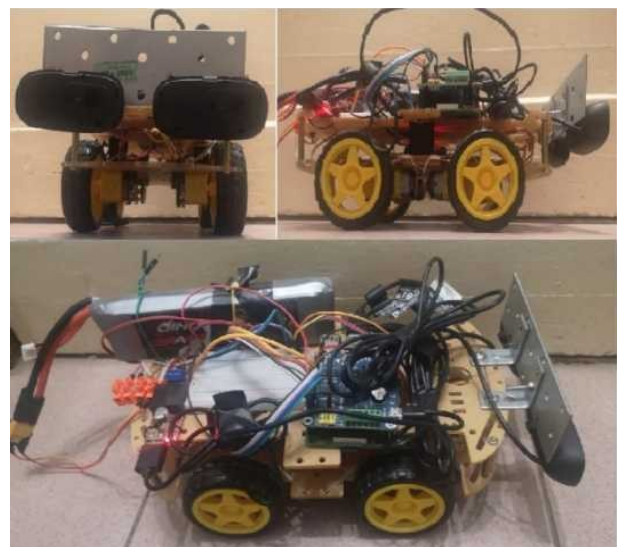


Рис. 1 – Збірний експериментальний майданчик для дослідження та моделювання системи керування тяговим електроприводом залізничного транспорту

Експериментальна платформа складається з чотирьох незалежних двигунів постійного струму, до яких підключений оптичний датчик швидкості. Структурна схема одного з вузлів електроприводу показана на рис. 2. Інші три вузли мають однакову структуру і використовують той самий двигун постійного струму, датчик швидкості та ШІМ-контролер.

Для реалізації системи керування роботизованою платформою обрано одноплатний комп'ютер Raspberry PI 3B+. Raspberry PI 3B+ включає всі необхідні інтерфейси, такі як GPIO, USB і Ethernet для підключення датчиків і генерації керуючих сигналів до ШІМ-контролера.

Датчик для оцінки лінійної швидкості представлений у вигляді стереокамери. Стереокамеру зібрали з двох однакових веб-камер і закріпили на роботизованій платформі. Основна мета стереокамери – отримати точне положення об'єктів на кадрах за допомогою алгоритмів

триангуляції. Крім того, стереокамера допомагає прив'язати знайдені об'єкти до отриманого кадру з реальними розмірами в одиницях SI. Структурна схема всієї роботизованої платформи показана на рис. 3.

Алгоритми комп'ютерного зору вимагають великої обчислювальної потужності. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3B+ не дозволяє працювати з комп'ютерним зором у реальному часі. Для вирішення цієї проблеми ми вирішили перенести

виконання алгоритмів комп'ютерного зору на окремий більш потужний комп'ютер. Для виконання алгоритмів керування реалізовано розподілену клієнт-серверну модель. Клієнт-серверна структура дистанційного керування роботизованою платформою, представлено на рис. 4.

Віддалений термінал керування та відображення значення швидкості був реалізований як графічний інтерфейс і показаний на рис. 5.

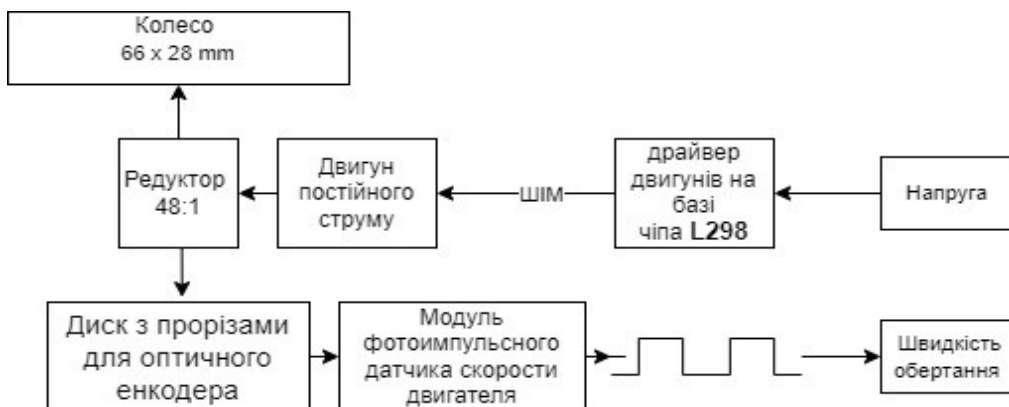


Рис. 2 – Структурна схема об'єкта керування



Рис. 3 – Структурна схема роботизованої платформи

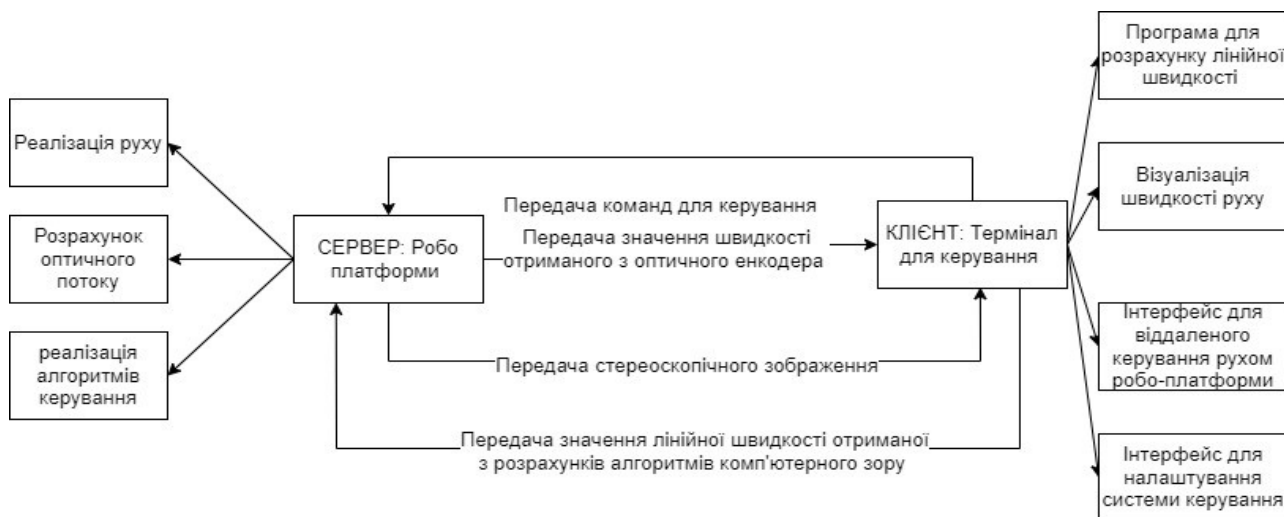


Рис. 4 – Клієнт-серверна структура дистанційного керування роботизованою платформою

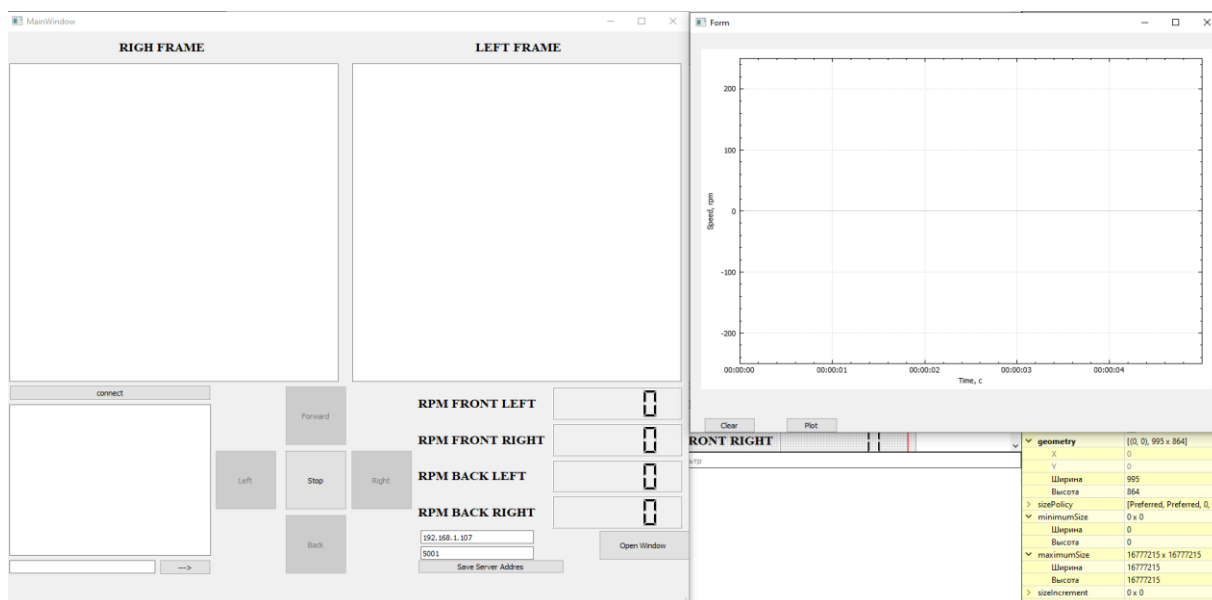


Рис. 5 – Програмне забезпечення для дистанційного керування роботизованою платформою

Віддалений термінал складається з двох вікон. Перші вікна використовуються для показу поточних наборів кадрів зі стереокамери та розміщення кнопок, які керують напрямком руху.

Реалізація програмного забезпечення виконується на C++ з використанням бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV [9,10] для створення графічної керуючої програми з використанням фреймворку QT.

Метод визначення лінійної швидкості

Велику кількість точок, що характеризують простір, у якому рухається залізничний транспорт, можна виділити шляхом запису змінних у часі послідовностей зображень за допомогою рухомої

камери. Послідовність зображень або відео – це серія двовимірних зображень, розташованих послідовно в часі. Оцінка руху тут визначається як оцінка зміщення та швидкості просторових точок у кадрі зображення відносно попереднього кадру в часовому ряді двовимірного зображення. Як показано, камера прикріплена до роботизованої платформи об'єктивом до рухомої поверхні. В ідеалі площина зображення перпендикулярна місцевості. Камери, розташовані в напрямку руху, визначаються як камери переднього огляду. Такий підхід в конструкції забезпечує виявлення змінних точок в полі зору камери на більш високих швидкостях.

Є два етапи для оцінки швидкості зібраної рухомої платформи. На першому етапі алгоритм

оптичного потоку використовується для оцінки оптичного потоку з пари зображень. Потім оптичний потік використовується для оцінки швидкості цієї платформи.

A. Алгоритм оптичного потоку

Алгоритм оптичного потоку визначає рух масивів яскравості, які, як передбачається, переміщуються під час руху об'єктів у послідовності зображень. Вихід оптичного потоку отримується у формі u_x і u_y компонентної швидкості, як показано на рис. 6. Загалом ми припускаємо, що картина оптичного потоку буде відповідати полю руху, хоча це не завжди вірно на практиці. Використовуючи деякі обмеження, такі як порівняння геометричних параметрів (форми), порівняння рівнів сірого та інтенсивності, функцію, знайдену на одному зображенні, зазвичай можна зіставити з ознакою на наступному зображенні.

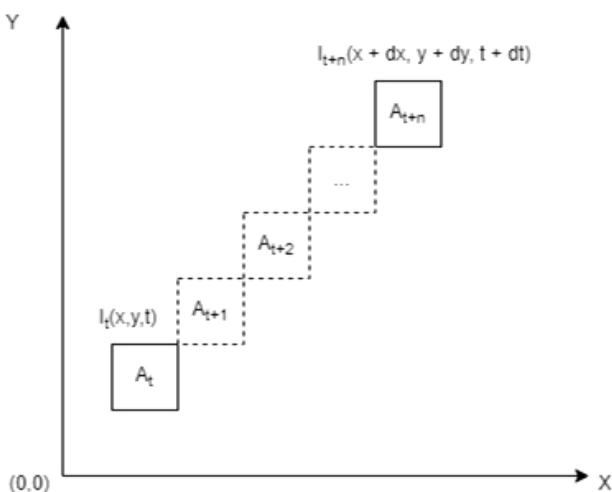


Рис. 6 – Особливості оптичного потоку та поле потоку

Основне припущення для оптичного потоку полягає в тому, що зовнішній вигляд сцени суттєво не змінюється між кадрами та що сцена плавно переходить від одного зображення до наступного. Потік часто локально рівномірний, однак на межах сцени можуть виникнути розриви. Інше припущення полягає в тому, що сцена складається з розширених досить гладких поверхонь, які рухаються жорстко або принаймні плавно спотворюються під час руху. Обсяг руху між кадрами невеликий і порівняно з розміром зображення, що означає, що вектори оптичного потоку малі для пари зображень. Хорн [11] зробив новаторську роботу з розробки методів оптичного потоку, заснованих на обчисленні просторово-часових відмінностей від послідовності зображень. З тих пір було розроблено багато методів і алгоритмів для визначення оптичного потоку, таких як диференціальні методи, методи

узгодження на основі області, методи на основі енергії та методи на основі фази [13].

Одним із таких алгоритмів є алгоритм оптичного потоку Канаде-Лукаса, який використовується, оскільки він надійний, точний, нечутливий до шуму та нерівномірних джерел світла та підходить для обчислень у реальному часі. У цьому методі нехай I_t буде зображенням у градаціях сірого, отриманим у момент часу t_t , і зображенням у градаціях сірого I_{t+1} у момент часу t_{t+1} . Нехай друге зображення переміститься на відстань $(\Delta x, \Delta y)$ відносно першого зображення протягом інтервалу часу між двома зображеннями Δt . Якщо масив просторових точок належить об'єкту A на зображенні I_t , і A є тим самим об'єктом, що й A , лише на зображенні I_{t+1} після часу Δt . Тоді можна побудувати вектори зміни об'єкта в часі, як показано на рис. 7.

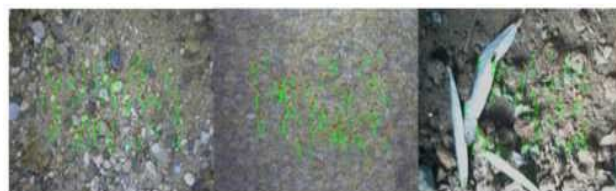


Рис. 7 – Оброблене поле оптичного потоку різного типу місцевості

B. Модель камери

Модель камери зображена на рис. 8, що дозволяє розрахувати залежність між положенням об'єкта в просторі та положенням його пікселя. У цьому дослідженні ми використали модель стереокамери, щоб встановити зв'язок між точками в 3D-просторі та точками на зображенні.

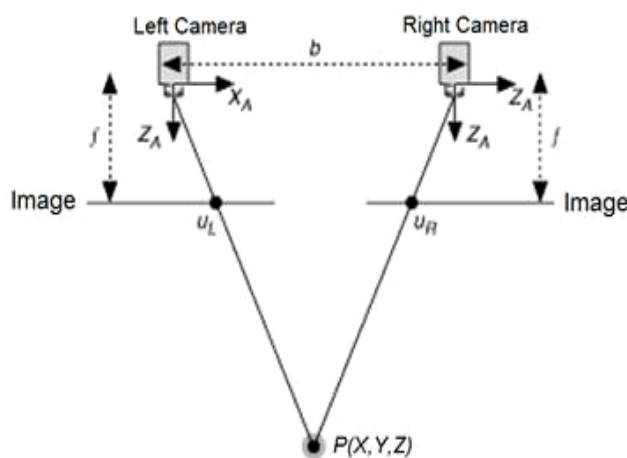


Рис. 8 – Схематична модель використаної стереокамери

Де $d = UL - UR$ різниця в положенні зображення однієї точки при проектуванні в перспективі на дві різні камери. Отже, глибина точки $Z=b \cdot f/d$, де b – відстань між двома камерами ліворуч і праворуч; f – фокусна відстань фотоапарата; X_A – вісь X камери; Z_A оптична вісь камери. P – фізична точка, визначена координатами X, Y і Z ; UL – проекція реальної фізичної точки P на зображення, зроблене лівою камерою; UR – це проекція реальної фізичної точки P на зображення, зроблене правою камерою.

С. Алгоритм розрахунку лінійної швидкості

Для одновимірної оцінки швидкості кожне вікно функції на одному зображенні рухатиметься з однаковою швидкістю. Якщо розглядається лише одне вікно функції, оцінена частота може коливатися через помилки вибірки. Таким чином, вибрано 10 вікон ознак, і середній оптичний потік d використовується для оцінки швидкості для кожної пари зображень. Потім розрахована швидкість фільтрується за допомогою ІІР-фільтра низьких частот для подальшого усунення шуму. Процедура оцінки швидкості така:

- Виконайте ініціалізацію стереокамери. Процес внутрішнього калібрування камери: фокусна відстань f . Встановіть початкову змінну, яка визначає кількість кадрів для визначення швидкості та початкової висоти камери.
- Отримайте два послідовних зображення I_t і I_{t+1} .
- Кількість хороших властивостей для відстеження визначається методом, запропонованим у [12, 13]. Цей метод має тенденцію вибирати кутові елементи на зображенні, що зменшує обчислювальне навантаження для визначення оптичного потоку кожного пікселя в цілому зображенні.
- Застосуйте алгоритм оптичного потоку до I_t і I_{t+1} , щоб отримати швидкість руху об'єкта, яка є середнім оптичним потоком 20 пар кадрів.
- Розрахувати лінійну швидкість за запропонованим у [12, 13] методом, використовуючи рівняння. Розрахункова швидкість, отримана після застосування ІІР-фільтра низьких частот.
- Повторіть описану вище процедуру для 20 послідовностей зображень. Далі ця процедура представлена на блок-схемі, показаній на рис. 9.

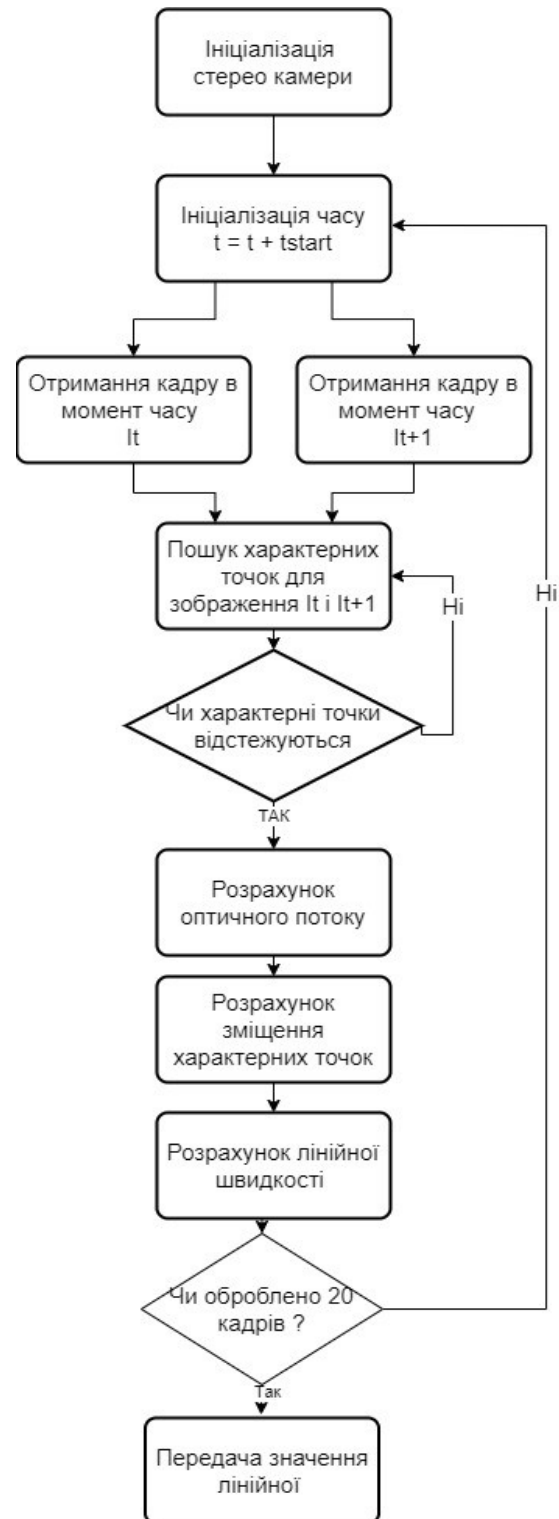


Рис. 9 – Алгоритм розрахунку лінійної швидкості

Регулятор швидкості електроприводу

Використання комп'ютерного зору в каналі керування електроприводом роботизованої платформи реалізовано шляхом інтеграції зворотного зв'язку на виході з блоку обробки

відеопотоку. Вихід блоку обробки відеопотоку формує значення лінійної швидкості. В якості регулятора для нашої роботизованої платформи був реалізований ПІД-регулятор. ПІД-регулятор є типовим блоком управління і широко використовується. ПІД-регулятор швидкості зі зворотним зв'язком із блогу обробки стереокамери, показаний на рис. 10.

Обговорення результатів

На рис. 11 показано три різних підходи до оцінки лінійної швидкості. Перший графік показує динаміку зміни лінійної швидкості отриману за допомогою симуляції та розрахунків в програмі MATLAB/Simulink. Другий графік демонструє зміну лінійної швидкості отриманої за допомогою оптичного енкадера і одометрії колеса робототехнічної платформи.

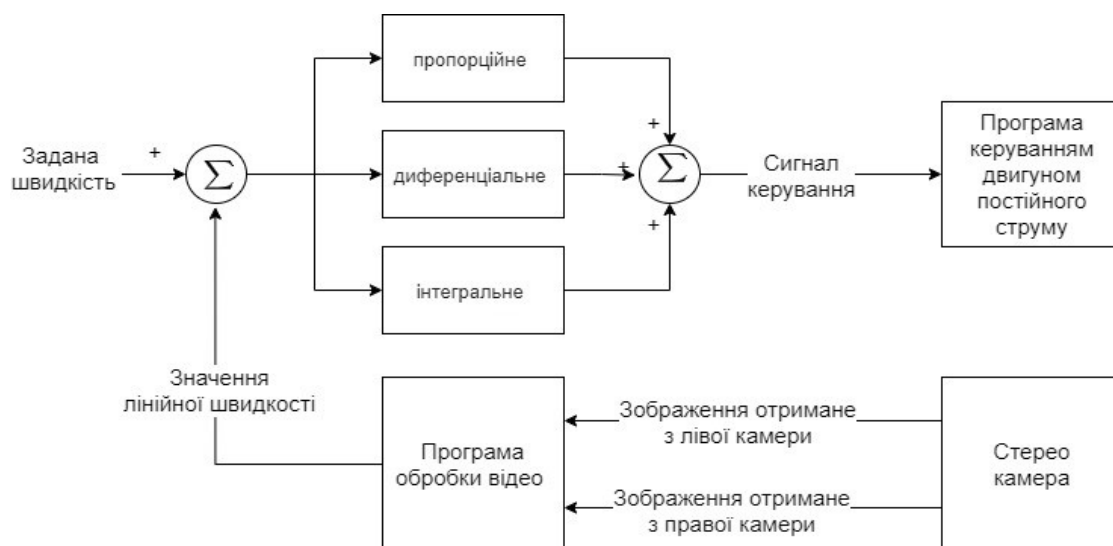


Рис. 10 – Регулятор потужності тягових двигунів для електроприводу роботизованої платформи з використанням комп'ютерного зору

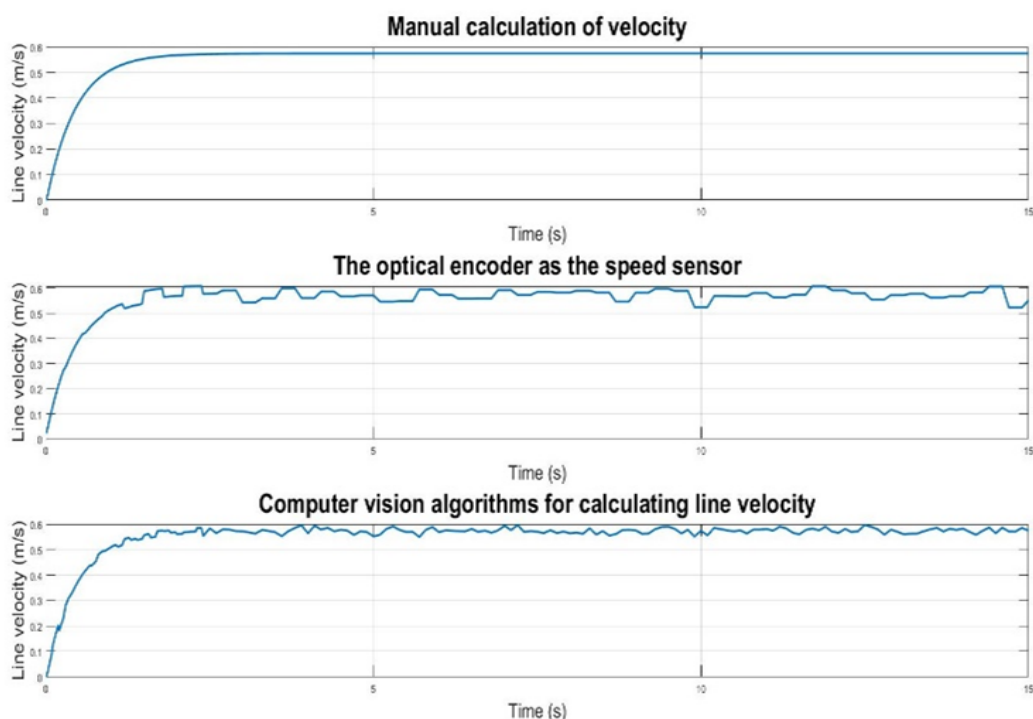


Рис. 11 – Експериментальні результати динаміки зміни лінійної швидкості роботоплатформи при використанні моделювання, оптичного енкадера та алгоритмів комп'ютерного зору

Результати виміру лінійної швидкості за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору продемонстровані на третьому графіку. Порівняння результатів показали працездатність використання алгоритмів комп'ютерного зору, так як похибка склала менше 2%.

Висновки

Запропонований алгоритм керування оцінкою швидкості та його доцільність оцінюється за допомогою спеціально розробленого випробувального стенду. Показано, що швидкість можна передбачити з відносно високою точністю.

Швидкості, виміряні точними оптичними енкадерами, порівнюються зі швидкостями, передбаченими алгоритмом оптичного потоку, показуючи дуже хорошу відповідність. Також було встановлено оптимальний розмір вікна ознак для оцінки швидкості оптичного потоку в реальному часі. Загалом підхід має потенціал для точної оцінки швидкості. Експерименти проводяться для різних реальних умов, а подальші дослідження будуть спрямовані на розробку надійної автономної системи вимірювання швидкості.

Впровадження сучасних цифрових технологій комп'ютерного зору дозволить не тільки покращити тягові характеристики електроприводу, а й розширити функціональні можливості тягового електроприводу в рамках високих вимог до промислового обладнання.

Список літератури

1. Клепиков В. Б. О фрикционных автоколебаниях в электроприводах. *Электричество*. 1986. № 4. С. 59-62.
2. Клепиков В. Б. *Динамика электромеханических систем с нелинейным трением: монография*. Х.: НТУ «ХПИ», 2014. 408 с.
3. Kyrylenko Y., Kutovyi Yu, Obruch I., Kunchenko T. Neural Network Control of a Frequency-Regulated Electric Drive of a Main Electric Locomotive. *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020. doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240880.
4. Kutovyi Yu., Kyrylenko Y., Obruch I., Kunchenko T. Application of Intelligent Control Systems in Electric Drives of Rail Vehicles. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 709-713. doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570026.
5. Georgiev A., Allen P. K. Localization methods for a mobile robot in urban environments. *IEEE Transactions On Robotics And Automation*. 2004. Vol. 20, № 5. P. 851-864. doi: 10.1109/TRO.2004.829506.
6. Panzieri S., Pascucci F., Ulivi G. An outdoor navigation system using GPS and inertial platform. *IEEE-ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*. 2002 Vol. 7, № 2. P. 134-142. doi: 10.1109/TMECH.2002.1011250.

7. Lobo J., Dias J. Vision and inertial sensor cooperation using gravity as a vertical reference. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*. 2003. Vol. 25, № 12. P. 1597-1608. doi: 10.1109/TPAMI.2003.1251152.
8. De Jong K. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective. *The First Int. Conf. on Genetic Algorithms: Proceedings*. 1985. P. 167 - 177.
9. Reinhard K. *An Introduction into Theory and Algorithms in Computer Vision*. 2014.
10. Howse J., Minichino J. *Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3*. 3rd Edition. 2020.
11. Horn B. K. P. and Schunck B. G. Determining Optical flow. *Artificial Inteligence*. 1981. 17. P. 185-203. doi: 10.1016/0004-3702(81)90024-2.
12. Lucas B. D. and Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proc. Imaging Understanding Workshop*. 1981. P. 121-130.
13. Barron J. L., Fleet D. J., and Beauchemin S. S. Performance of optical flow techniques. *International Journal of Computer Vision*. 1994. Vol. 12, № 1. P. 43-77. doi: 10.1007/BF01420984.

References (transliterated)

1. Klepikov V. *O frikcionnyh avtokolebaniyah v elektroprividah* [About frictional selfoscillations in electric drives]. *Elektrichestvo*, 4, 1986, pp. 59-62.
2. Klepikov V. *Dinamika elektromehaniicheskikh sistem s nelinejnym treniem: monografija* [Dynamics of electromechanical systems with nonlinear friction: monograph], *Kharkiv: NTU "KhPI"*, 2014. 408 p.
3. Kyrylenko Y., Kutovyi Yu., Obruch I., Kunchenko T. Neural Network Control of a Frequency-Regulated Electric Drive of a Main Electric Locomotive. *IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240880.
4. Kutovyi Yu., Kyrylenko Y., Obruch I., Kunchenko T. Application of Intelligent Control Systems in Electric Drives of Rail Vehicles. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2021, pp. 709-713, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570026.
5. Georgiev A., Allen P. K. Localization methods for a mobile robot in urban environments. *IEEE Transactions On Robotics And Automation*, 2004, Vol.20, № 5, pp. 851-864, doi: 10.1109/TRO.2004.829506.
6. Panzieri S., Pascucci F., Ulivi G. An outdoor navigation system using GPS and inertial platform. *IEEE-ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, 2002, Vol. 7, 2, pp. 134-142, doi: 10.1109/TMECH.2002.1011250.
7. Lobo J., Dias J. Vision and inertial sensor cooperation using gravity as a vertical reference. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 2003, Vol. 25, 12, pp. 1597-1608, doi: 10.1109/TPAMI.2003.1251152.
8. De Jong K. Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective. *The First Int. Conf. on Genetic Algorithms: Proceedings*. 1985. P. 167 - 177.
9. Reinhard K. *An Introduction into Theory and Algorithms in Computer Vision*. 2014.
10. Howse J., Minichino J. *Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3*. 3rd Edition. 2020.
11. Horn B. K. P., Schunck B. G. Determining Optical flow. *Artificial Inteligence*, 1981, 17, pp. 185-203, doi: 10.1016/0004-3702(81)90024-2.

12. Lucas B. D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proc. Imaging Understanding Workshop*, 1981, pp. 121-130.
13. Barron J. L., Fleet D. J., and Beauchemin S. S. Performance of optical flow techniques. *International Journal of Computer Vision*, 1994, Vol. 12, 1, pp. 43-77, doi: 10.1007/BF01420984.

Відомості про авторів (About authors)

Воробійов Богдан Віталійович – доктор філософії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри АЕМС; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-354X>; e-mail: bohdan.vorobiov@khpi.edu.ua.

Vorobiov Bohdan – Ph. D., National technical university "Kharkiv polytechnic institute", head of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-354X>; e-mail: bohdan.vorobiov@khpi.edu.ua.

Сенченко Сергій Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри АЕМС; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0486-2471>; e-mail: Serhii.Senchenko@ieec.khpi.edu.ua.

Senchenko Serhii – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", postgraduate student of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0486-2471>; e-mail: Serhii.Senchenko@ieec.khpi.edu.ua.

Кириленко Ярослав Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри АЕМС; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>; e-mail: Yaroslav.Kyrylenko@ieec.khpi.edu.ua.

Kyrylenko Yaroslav – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", assistant of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>; e-mail: Yaroslav.Kyrylenko@ieec.khpi.edu.ua.

Ліхно Ярослав Владленович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри АЕМС; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7082-7562>; e-mail: Yaroslav.Likhno@ieec.khpi.edu.ua.

Likhno Yaroslav – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", postgraduate student of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7082-7562>; e-mail: Yaroslav.Likhno@ieec.khpi.edu.ua.

Хань Лю – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри АЕМС; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8182-0040>; e-mail: seanhanzi@aliyun.com.

Khan Liu – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", postgraduate student of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8182-0040>; e-mail: seanhanzi@aliyun.com.

Кутовий Юрій Миколайович - к.т.н., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри АЕМС; Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>; e-mail: yurii.kutovyi@khpi.edu.ua

Kutovyi Yurii - Ph.D, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor of the department AEMS; Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>; e-mail: yurii.kutovyi@khpi.edu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Воробійов Б. В., Сенченко С. О., Кириленко Я. О., Ліхно Я. В., Хань Л., Кутовий Ю. М. Вимірювання лінійної швидкості з використанням мобільної роботизованої платформи з комп'ютерним зором. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 3 (17). С. 34-42. doi:10.20998/2413-4295.2023.03.05.

Please cite this article as:

Vorobiov B., Senchenko S., Kyrylenko Y., Likhno Y., Khan L., Kutovyi Yu. Measurement of linear velocity using a mobile robotic platform with computer vision. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 3(17), pp. 34-42, doi:10.20998/2413-4295.2023.03.05.

*Надійшла (received) 01.08.2023
Прийнята (accepted) 06.09.2023*