

### **Богдан Остроушко**

аспірант

Місце роботи: НУБіП України, кафедра комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, місто Київ, Україна

<https://orcid.org/0009-0003-0849-8990>

[b.ostroushko@nubip.edu.ua](mailto:b.ostroushko@nubip.edu.ua)

### **Семен Волошин**

Доцент, Кандидат технічних наук

Місце роботи: НУБіП України, кафедра комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, місто Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-4913-7003>

[voloshyn@nubip.edu.ua](mailto:voloshyn@nubip.edu.ua)

## МОДЕЛЬНО-ПРЕДИКТИВНЕ КЕРУВАННЯ В ROS 2 ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПЛАТФОРМ ІЗ LIDAR-ЛОКАЛІЗАЦІЄЮ: АРХІТЕКТУРА ТА ЗВ'ЯЗОК

**Анотація.** Подано практичний огляд архітектури «сенсори – локалізація – глобальне планування – локальне керування» у ROS 2 для колісних платформ. Локальний контур реалізується як модельно-предиктивне керування (MPC) з урахуванням обмежень, оцінювання стану ґрунтується на LiDAR-одометрії/SLAM у поєднанні з IMU та фільтрацією EKF/UKF. Узгоджено інтеграцію з Nav2 (планувальники, costmap\_2d, плагіни контролерів), комунікаційні аспекти DDS QoS і чинники реального часу. Наведено блок-схему та прикладові параметри для навчальних і дослідницьких стендів.

**Ключові слова:** ROS 2; Navigation2; LiDAR; IMU; LIO; SLAM; MPC; робототехніка; навігація; ф'южн сенсорів

### **1. ВСТУП**

**Постановка проблеми.** Автономна навігація наземних платформ у складних приміщеннях потребує керування, що враховує обмеження шасі, шум/неповноту сенсорики та жорсткий бюджет затримок у ROS 2-конвеєрі. На практиці неузгодженість між локалізацією, плануванням і DDS QoS спричиняє нестабільне відстеження та ривки керувань, особливо за обмежених ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Суттєвий прогрес дали тісно зв'язані LiDAR-IMU одометрії: LIO-SAM (зі згладжуванням і прив'язкою до карти), FAST-LIO2 (пряма реєстрація, ikd-Tree), FR-LIO (робочентричні воксели); у 2D — SLAM Toolbox. Navigation2 активно еволює (планувальники, smoother, costmap\_2d, розгортання). Паралельно досліджують E2E-затримки та вплив DDS-middleware, що підкреслює потребу проектувати контур із явним latency-бюджетом.

**Мета публікації.** Запропонувати й експериментально підтвердити відтворювану архітектуру ROS 2 для диференційних платформ, яка поєднує LiDAR/IMU-локалізацію, Navigation2 (planner, smoother, costmap\_2d) і локальний MPC з явним функціоналом, обмеженнями шасі та «м'якими» штрафами перешкод, а також узгоджені профілі DDS QoS і вимірний бюджет затримок. Очікуваний ефект — вища відтворюваність і стабільність у динаміці, менші ривки та нижча чутливість до мережевих/обчислювальних флуктуацій.

### **2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ**

Базовий стан  $(x, y, \theta, v, \omega)$   $(x, y, \theta, v, \omega)$  оцінюємо з поєднання LiDAR та IMU: для приміщень застосовуємо 2D-SLAM (наприклад, SLAM Toolbox) або тісно зв'язані LIO-алгоритми; злиття в robot\_localization (EKF/UKF) формує безперервний /odom і узгоджений TF-ланцюг map-odom-base\_link. У стеку Navigation2 Planner будує маршрут у map, Smoother згладжує траєкторію, а costmap\_2d (static, obstacle, inflation)

надає локальні «цінності»; на стійкість найбільше впливають `footprint`, `inflation_radius`, частоти оновлення та `transform_tolerance`. Локальний MPC мінімізує вагову суму позиційної/кутової похибок і енергії керувань та їх приростів під обмеженнями шасі; практична QP-постановка (OSQP) із підвищеними вагами на прирости для плавності, зростанням ваги кутової похибки поблизу цілі, бар'єрними «м'якими» штрафами за близькість до перешкод і помірно адаптивним горизонтом.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1. Локалізація за даними LIDAR та IMU і злиття сенсорів

Навігація. 3D LIO-SAM/FAST-LIO2; 2D: SLAM Toolbox; оцінки → `robot_localization` (EKF/UKF) дає `/odom` і стабілізує `odom-base_link`, SLAM/LIO підтримує `map-odom`; обов'язково синхронізація часових міток, реалістичні коваріації, калібрування IMU (REP-105); якість — за `bag`-логами (сталі TF, без тремтіння `/odom`); Navigation2 (`planner/smooth/costmap_2d`) + локальний MPC (штрафи з `costmap`).

Реальний час/мережа E2E ≈ 80 мс @ 20–30 Гц (сенсори 10–20, локалізація 15–25, планування/контролер 20–30, команди 5–10); QoS: `/scan/imu` — `SensorDataQoS best-effort`; `/odom` — `reliable keep_last≈10`; `/plan/cmd_vel` — `reliable keep_last=1`; `/tf` — `best-effort`; `/tf_static` — `transient_local+reliable`; CycloneDDS (стенд) / FastDDS (розподілено), без Wi-Fi; `use_intra_process_comms=true`, `composition`, фіксовані частоти, мінімум копій, моніторинг `topic hz/delay/bw`; за потреби — `CPU affinity`, `SCHED_FIFO`.

#### 3.2. Планування шляху та локальне керування в NAV2

Для відстеження траєкторій у ROS 2 ми використовуємо стек Navigation2, де Navigator (поведінкове дерево) координує Planner Server (Smac/Navfn) і Controller Server зі згладжувачем, а локальна карта `costmap_2d` поєднує шари `static`, `obstacle` (з LiDAR) та `inflation`. Глобальний план формується в системі координат `map`, згладжується і подається в локальний контролер MPC, який разом із `/odom` генерує `/cmd_vel` для `ros2_control`, враховуючи «м'які» штрафи за близькість до перешкод з `costmap_2d`. Критичні параметри: `footprint` платформи, `inflation_radius`, частоти оновлення карт і вузлів; типові налаштування контуру — 20–30 Гц, `transform_tolerance` 0.1–0.2 с, допуски до цілі XY 0.05–0.1 м і yaw 0.05–0.15 рад, з обмеженнями на прискорення. Тюнінг виконуємо поетапно: перевіряємо коректність глобального маршруту, добираємо радіус згладжування під габарити, поступово підвищуємо вагу кутової похибки біля цілі та ваги на прирости керувань за появи ривків. Для надійності додаємо апаратний E-stop і сторожовий таймер (за відсутності свіжих `/odom` чи `/plan` подаються нульові команди), а також виявлення «stall» (коли `/cmd_vel` не нульовий, а одометрія практично нульова) з автоматичним зниженням швидкості та переплануванням.

#### 3.3. Опис логіки та потоку даних у схемі

Сенсори формують вхідні дані: LiDAR публікує `'/scan'`, IMU — `'/imu/data'`. Підсистема локалізації (SLAM або LIO) обчислює карту `'map'` і перетворення `'map-odom'`. Модуль злиття (`'robot_localization'`, EKF/UKF) узгоджує вимірювання та видає безперервний `'/odom'` і перетворення `'odom-base_link'`, забезпечуючи стабільний TF-ланцюг для навігації. Навігаційний стек Navigation2 отримує ціль у системі координат `'map'`, будує глобальний маршрут (Planner), згладжує його (Smoother) і передає локальному контролеру. Локальний регулятор MPC споживає `'/plan'` та `'/odom'`, формує `'/cmd_vel'` з урахуванням обмежень шасі та «м'яких» штрафів за наближення до перешкод від `'costmap_2d'`. Команди надходять у `'ros2_control'` і виконуються приводами. За змін середовища `'costmap_2d'` і TF оновлюються, що призводить до

перепланування й корекції команд у реальному часі зі збереженням плавності та передбачуваності руху.

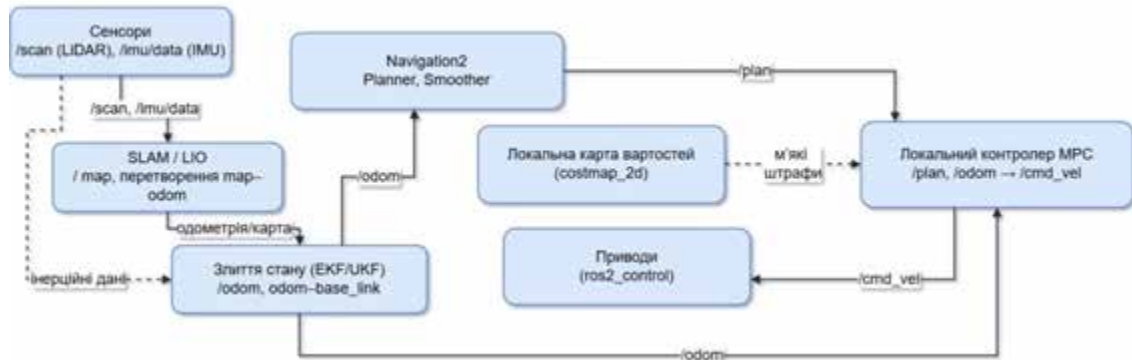


Рис. 1. Блок-схема контуру ROS 2: сенсори — локалізація — Nav2 — MPC — приводи.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонована архітектура ROS 2 для наземних платформ поєднує лідарно-інерційну локалізацію, злиття стану, Navigation2 та локальний MPC з урахуванням профілів DDS QoS і бюджету затримок. Інтеграція «м'яких» штрафів від `costmap\_2d` у функціонал MPC разом із належно узгодженими QoS та intra-process/composition забезпечує відтворювані плавні траєкторії та стабільне відстеження маршруту в динамічних приміщеннях.

## ПОСИЛАННЯ (ПЕРЕКЛАДЕНІ ТА ТРАНСЛІТЕРОВАНІ)

- [1] J. B. Rawlings, D. Q. Mayne, and M. M. Diehl, Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design, 2nd ed. Nob Hill, 2017.
- [2] J. M. Maciejowski, Predictive Control with Constraints. Prentice Hall, 2002.
- [3] S. Macenski, "SLAM Toolbox: SLAM for the dynamic world," Journal of Open Source Software, vol. 6, no. 61, p. 2783.
- [4] M. Labbé and F. Michaud, "RTAB-Map as an open-source lidar and visual SLAM library," Journal of Field Robotics.
- [5] T. Shan, B. Englot, and co-authors, "LIO-SAM: Tightly-coupled lidar inertial odometry via smoothing and mapping," in Proc. IROS.
- [6] W. Xu, P. Geneva, Y. Yang, and G. Huang, "FAST-LIO2: Fast Direct Lidar-Inertial Odometry," IEEE Trans. Robotics.

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY  
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE

FACULTY OF INFORMATION  
TECHNOLOGY

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

## PROCEEDINGS

XIII International scientific  
and practical conference

**GLOBAL AND  
REGIONAL PROBLEMS OF  
INFORMATIZATION IN  
SOCIETY AND  
NATURE USING  
'2025**

13-14 November 2025

Kyiv, NULES of Ukraine

Kyiv 2025

## МАТЕРІАЛИ

XIII Міжнародної науково-  
практичної конференції

**ГЛОБАЛЬНІ ТА  
РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ  
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В  
СУСПІЛЬСТВІ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ  
'2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

## **МАТЕРІАЛИ**

XIII Міжнародної науково-практичної конференції

# **ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ '2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 18.12.2025).

Укладач: д.т.н., доцент Шкарупило В.В.

Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2025", 13–14 листопада 2025 року, НУБіП України, Київ. – К.: НУБіП України, 2025. – 206 с.

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2025