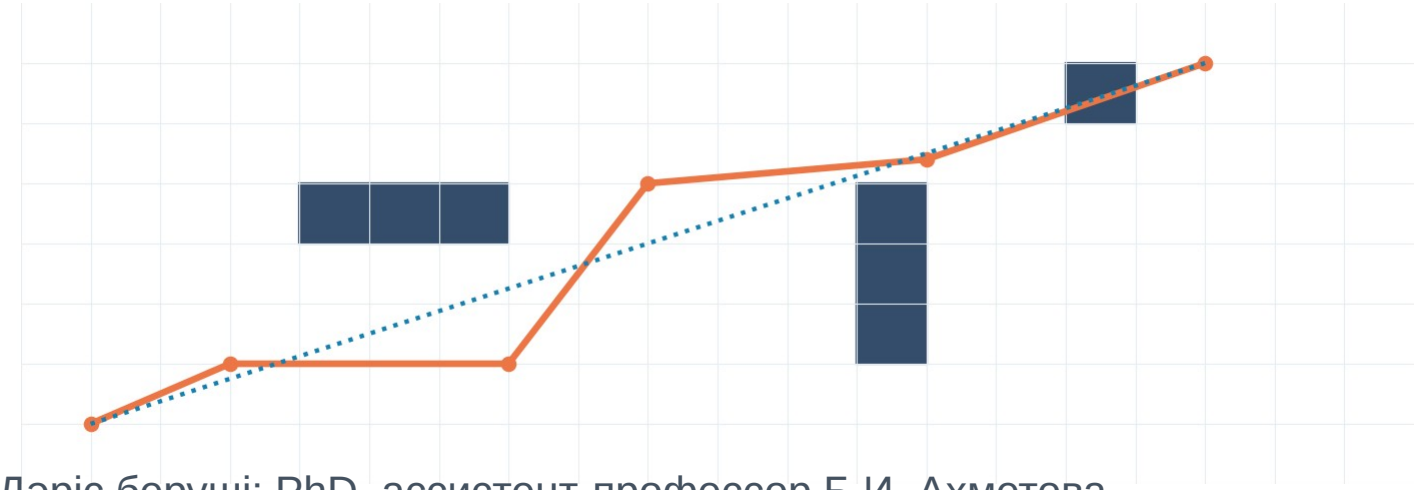
8-ДӘРІС

Навигация және SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)



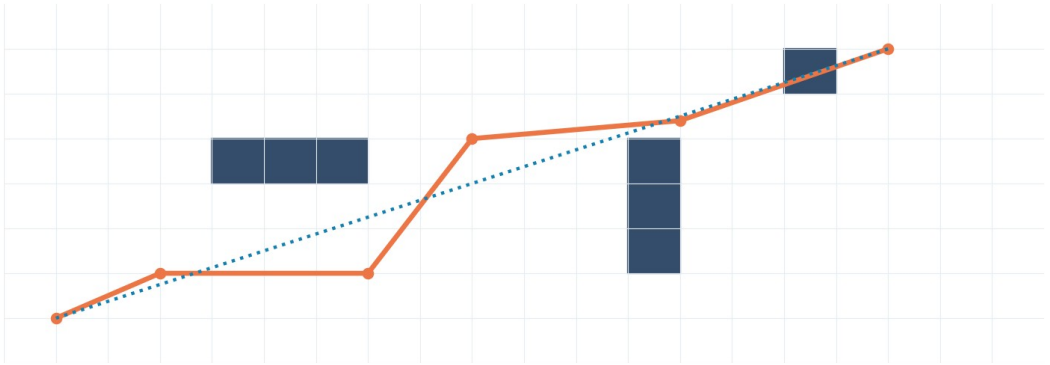
Дәріс беруші: PhD, ассистент-профессор Б.И. Ахметова

Оқу мақсаттары

- Робот навигациясының негізгі компоненттерін сипаттау
- SLAM-ның карта мен позицияны бір мезгілде бағалау қағидасын түсіндіру
- LiDAR, камера, IMU және одометрияның рөлін салыстыру

Навигацияның құрылымы

- Локализация: робот қайда орналасқан?
- Карталау: айналадағы кедергілер қайда?
- Жоспарлау және басқару: мақсатқа қауіпсіз жолмен қалай жетеді?



SLAM міндеті

- Белгісіз ортада робот өз орнын да, картаны да бір уақытта бағалайды.
- Өлшеулер қателігі жиналады; бұрын көрген орынды тану drift-ті түзетуге көмектеседі.
- SLAM шешімі карта, траектория және олардың белгісіздігі ретінде қаралады.

Негізгі сенсорлар

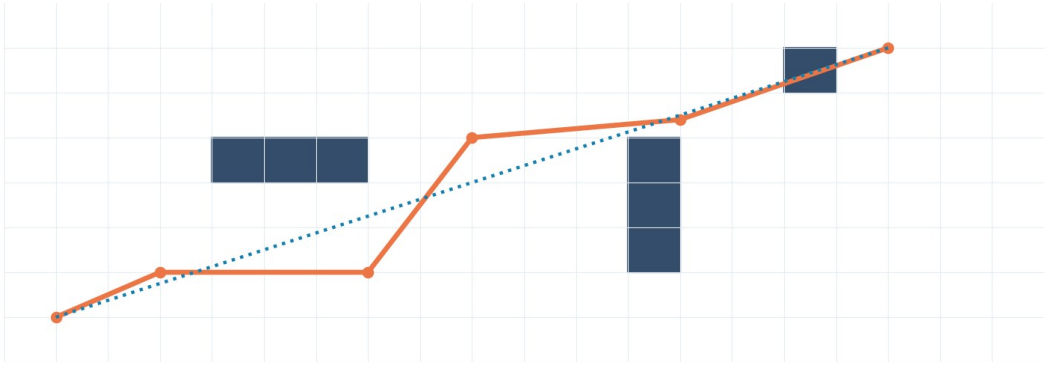
- LiDAR арақашықтық өлшейді; жарыққа тәуелділігі аз, бірақ кей беттер қиын.
- Камера текстураға бай ақпарат береді; жарыққа, масштабқа тәуелді.
- IMU бұрыштық жылдамдық пен үдеуді, дөңгелек энкодері одометрияны береді.

Координаталар және түрлендіру

• map → odom → base_link → sensor_frame тізбегі ROS 2 жүйесінде кең қолданылады.

• 2D pose: (x,y,θ); бір жүйеден екіншісіне айналу мен ығысу матрицасы қолданылады.

• Уақыт белгілерінің сәйкессіздігі картаны бұрмалайды.



Одометрия және drift

- Дөңгелек одометриясы жүрілген жолды интегралдайды, сырғанаудан қате жиналады.
- Visual odometry кадрлар арасындағы қозғалысты белгілер арқылы бағалайды.
- IMU қысқа мерзімде пайдалы, ұзақ мерзімде bias қатесі өседі.

SLAM алгоритмдерінің отбасылары

- EKF-SLAM күй мен белгілерді ықтималдық бойынша жаңартады.
- Graph SLAM pose graph түйіндері мен өлшеу шектеулерін оңтайландырады.
- Visual SLAM (ORB-SLAM), LiDAR SLAM және Visual-Inertial тәсілдер сенсорға сай таңдалады.

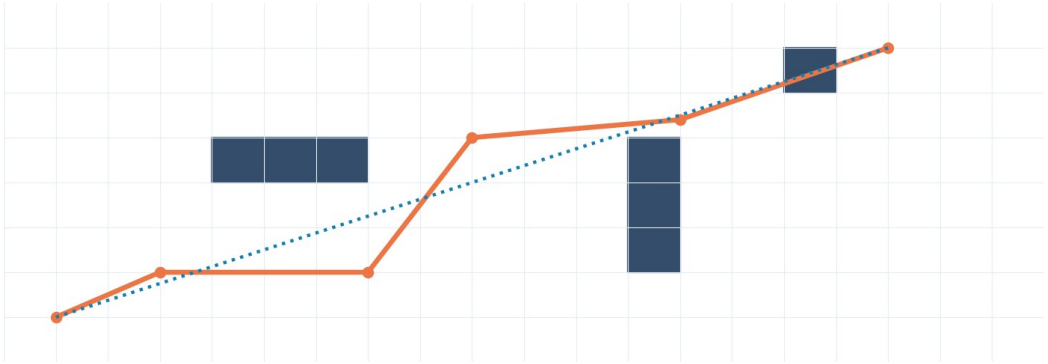
Loop closure және графтық оңтайландыру

- Робот бұрын барған жерді таныса, жаңа шектеу қосылады.
- Pose graph оңтайландыруы жинақталған drift-ті бүкіл траектория бойымен таратып түзетеді.
- Қате loop closure картаны бүлдіруі мүмкін; геометриялық тексеру қажет.

Occupancy grid және карта

• Кеңістік тор ұяшықтарына бөлінеді: бос, бос емес немесе белгісіз.

• Кедергілерді inflation жасау робот радиусын және қауіпсіз арақашықтықты ескереді.



• Карта сапасы ажыратымдылық, сенсор дәлдігі және орта динамикасына тәуелді.

Жол жоспарлау және кедергіден өту

- A* торда эвристикамен жол табады; Dijkstra ең қысқа жолды зерттейді.
- Жергілікті жоспарлаушы динамикалық кедергілер мен кинематиканы ескереді.
- Жоспарлау циклінде локализацияның сенімділігі тексерілуі тиіс.

Робототехникадағы кейс

- GPS жоқ қоймада робот LiDAR+IMU арқылы карта құрады.
- Бастапқы картада маршрут жоспарлайды, адам шықса жолды қайта есептейді.
- Өлшеу сенімділігі төмендесе, жылдамдықты азайтады немесе тоқтайды.

Инженерлік мәселелер және шешімдер

- Біркелкі дәліздер мен аз текстура: сенсор біріктіру, маркерлер.
- Динамикалық объектілер: қозғалған нүктелерді сүзу, тұрақты белгілерді таңдау.
- Уақыт синхрондауы және drift: аппараттық timestamp, loop closure, калибрлеу.

Практикалық тапсырма

- ROS 2 симуляторында шағын карта құрып, роботты бастапқы нүктеге қайтарыңыз.
- Loop closure дейінгі және кейінгі траектория қатесін салыстырыңыз.
- A* маршрутын кедергі қосылғаннан кейін қайта есептеп, жол ұзындығын өлшеңіз.

Бақылау сұрақтары

- SLAM мен жай локализация айырмашылығы қандай?
- Loop closure неліктен маңызды?
- LiDAR, камера және IMU қандай қателерді толықтыра алады?