

*Глухов О.В., кандидат фізико-математичних наук, доцент
Кравчук О.О., асистент
Чекубашева В.А., студентка
Роговець В.Є., студент
Левченко Є.В., асистент
Харківський національний університет радіоелектроніки
м. Харків, Харківська область, Україна*

РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ОРГАНІЗМУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В УМОВАХ COVID-19

Актуальність роботи. Із початку пандемії COVID-19 кількість інфікованих у світі станом на червень 2021 року становила близько 173 мільйонів людей, а кількість смертей сягала майже 3 мільйонів, тому уповільнення поширення інфекції стало одним із пріоритетних напрямків біомедичних досліджень сьогодні. Основними центрами можливого розповсюдження інфекційних хвороб є відділення лікарень. Крім того, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, від початку епідемії COVID-19 в всьому світі від коронавірусу померли щонайменше 115 тисяч медичних працівників [1]. У цей час ведеться пошук рішення для автоматизації процесу опитування та моніторингу стану стаціонарних пацієнтів для зменшення загальної кількості захворювань.

Часто стан пацієнта залишається стабільним під час обходу, але протягом кількох годин може різко погіршитися. Застосування роботизованих систем не може повністю замінити огляд лікаря, однак це може дозволити більшою мірою замінити моніторинг параметрів, які проводяться під час сестринського огляду, одночасно фіксуючи пацієнтів, які потребують невідкладної допомоги.

Мета. У рамках цієї роботи зусилля направлені на розробку робота-асистента як платформи для експериментальних досліджень, здатного записувати стандартні параметри тіла для покращення оснащення лікарень. Розглянуто альтернативний метод моніторингу стану інфекційних пацієнтів, які перебувають на стаціонарному лікуванні, та обрано стандартні параметри для сканування стану людей для своєчасного виявлення патологій із реалізацією миттєвого повідомлення лікарів. На основі функціональних можливостей платформи розробника TI-RLSK та додаткових датчиків створено автономний сканер-робот, який запам'ятовує місцевість і може виконувати повторні обходи з мінімальними витратами часу за допомогою методу EKF SLAM. Розглянуте втілення моделі дозволяє розпізнавати конкретного пацієнта та систематизувати параметри стану здоров'я в базі даних. Крім того, навігаційна система з оновленою картою району в режимі реального часу дозволяє роботу доставляти ліки пацієнтам протягом короткого часу.

Основні результати. Для реалізації завдання обрано платформу розробника TI-RSLK через її низьку вартість і гнучку систему з можливістю розширення функціональних властивостей. Змодельовано алгоритм картографування місцевості та випробувано робота, який буде подорожувати по палатах, згідно з представленим алгоритмом роботи, збираючи дані про стан пацієнтів і надсилаючи їх на комп'ютер лікаря за допомогою модуля BLE CC2650.

COVID-19 – це тяжка інфекційна хвороба, головним органом-мішенню якої є легені. Його патофізіологічні механізми містять запалення, лихоманку, гіпоксію, порушення кислотно-лужного балансу, шок та інші патологічні процеси. Згідно з наявними дослідженнями та літературними звітами, пацієнти з COVID-19 часто страждають від таких дисфункцій: задишка, лихоманка, втома та поганий апетит, тахікардія та зниження здатності переносити

кисень. Споживання кисню є найважливішим показником аеробної здатності та фізичного потенціалу організму. До факторів, що впливають на засвоєння кисню, відносять здатність крові переносити кисень, параметри серцево-судинної системи, перерозподіл периферичних кровотоків, показник поглинання тканинами тощо. Залежність між частотою серцевих скорочень і споживанням кисню зазвичай нелінійна при русі малої потужності, але стає майже лінійною, коли потужність поступово збільшується до максимальної [2]. Ось чому основними параметрами, які контролює медперсонал при обході пацієнтів, є насичення, температура тіла, тиск, пульс, діурез і частота дихання. Вимірювання перших чотирьох параметрів можна проводити на основі роботизованої системи за допомогою датчиків певної функціональності.

Робот використовує три інфрачервоні датчики діапазону 2Y0A21, які розташовані на передній панелі робота, для навігації місцевостю та сканування навколишнього середовища у трьох напрямках [3] – спереду та з боків. Для стабілізації лінії електропередачі встановлено конденсатори з номінальними значеннями 10 мкФ, кожен на виводах Vcc і GND. Ці датчики фіксують основну інформацію, необхідну для переміщення робота, тому точність їх положення дуже важлива й потребує калібрування перед кожним використанням роботизованої системи. Датчики також представлені двома тахометрами Romi encoder. Ці датчики кутового переміщення дозволяють контролювати пройденою роботом відстань. Для реалізації проєкту додатково встановлено ударні перемикачі. Вони розміщені на зовнішній стороні робота, що дозволяє йому реагувати на навколишнє середовище. При натисканні на перемикач, при зіткненні з перешкодою, він замикає електричне коло й надсилає сигнал на плату управління для перезапуску руху. Переміщення робота здійснюється за допомогою кінематичної схеми "диференціального приводу". Рівновага підтримується третім колесом, яке не має електричного управління [4]. Пройдена відстань, обертання й повороти, а також відстань до перешкод передаються оператору за допомогою Bluetooth Booster Pack для модуля CC2650. Водночас для ідентифікації пацієнта використовується датчик відбитків пальців FPC1020, що дає можливість визначити відповідну чарунку в базі даних, призначену для показників здоров'я конкретного пацієнта. На їх основі надалі реалізується алгоритм EKF SLAM для побудови лікарняної карти та визначення самої системи в ній. Альтернативою для реалізації алгоритму одночасної локалізації та побудови карти є використання декількох датчиків із полями зору, що перекриваються, і об'єднання просторової інформації з датчиків для отримання більш точних результатів. Вимірювання температури тіла пацієнта здійснюється безконтактним модулем датчика температури MLX90614. Вимірювання насиченості та частоти серцевих скорочень проводиться датчиком KY039, який містить один інфрачервоний (довжина хвилі 950 нм) світлодіод і один червоний світлодіод (довжина хвилі 600 нм). Оскільки світло кров'ю, залежно від довжини хвилі світлодіода, поглинається по-різному, кров, що містить більше кисню, краще буде поглинати червоне світло [3]. Пацієнт кладе палець на датчик, розміщуючи його між фотодіодом і світлодіодами. Світло, що випромінюється інфрачервоним світлодіодом, частково поглинається нігтем, шкірою та іншою частиною пальця, але поглинання не залишається незмінним, оскільки змінюється з потоком крові по венам. Коли серце скорочується, воно проштовхує кров венами зі зміною поглинання світла. Нарешті, контролер отримує дані про струм, який генерується світлом, поглиненим фотодіодом.

EKF SLAM використано в роботі для кращої орієнтації в навколишньому середовищі та для створення карти оптимального швидкого пересування від палати до палати [3], не заважаючи персоналу лікарні. Структурна схема компонентів робота наведена на рисунку 1.

Робота пристрою ґрунтується на двох постійно повторюваних фазах [4] (рисунок 2).

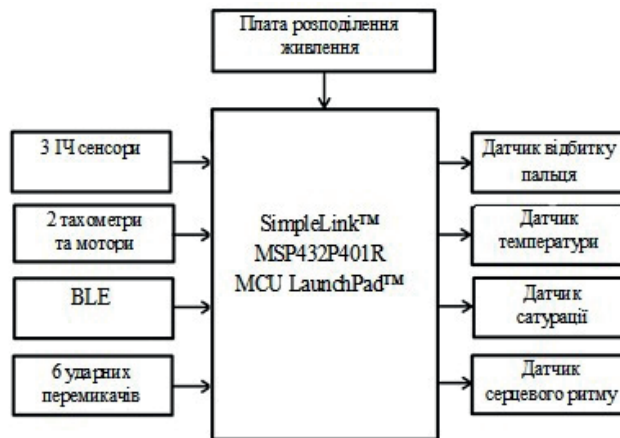


Рис. 1 – Структурна схема пристрою для автоматичного опитування пацієнтів

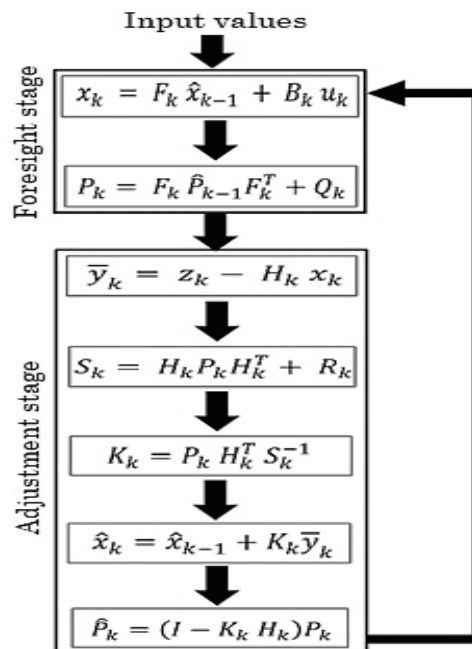


Рис. 2 – Схема алгоритму побудови карт

По-перше, розраховується передбачення стану на наступний момент, що зменшує неточність у кожному циклі. Інакше кажучи, значення системи прогнозуються шляхом реалізації методу екстраполяції. Датчики фіксують деяку вхідну інформацію, яка використовується для прогнозування стану системи на крок уперед, де значення F_k – матриця залежності поточного стану системи від попереднього, \hat{x}_{k-1} – попередній стан системи, B_k – це матриця впливу стану управління на систему, а u_k – вплив управління на систему. Тоді визначається помилка коваріації системи P_k , де \hat{P}_{k-1} виправляється коваріаційна матриця вектора стану та Q_k – це коваріаційна матриця шуму процесу, і отримані теоретичні дані потребують корекції з новими значеннями, що постійно надходять у вхід системи. У пам'яті зберігаються два різних значення, що означає стан одного динамічного процесу: екстрапольоване значення динамічної системи та вимірне значення зараз. Необхідно визначити,

наскільки кожен із них відповідає розташуванню. Відхилення фактичного стану системи від екстрапольованого значення \underline{y}_k визначається на основі наявних даних: z_k – це фактичний стан системи, H_k – матриця вимірювань, а x_k – екстрапольоване значення динамічної системи. Потім для вектора помилки формується коваріаційна матриця S_k , коли P_k екстрапольована векторною матрицею стану, а R_k – коваріаційною матрицею вимірювального шуму [2]. Необхідно також визначити оптимальне значення приросту, яке відображає ступінь упевненості в розрахункових і емпіричних значеннях. Він представлений коефіцієнтами Калмана K_k . На основі цих даних коригуються значення стану системи \hat{x}_k та матриця коваріаційної оцінки вектора стану \hat{P}_k . Далі система знову переходить до першого етапу. Це постійно повторюваний цикл оновлення даних новими зі зберіганням тих значень, які до моменту сканування ще не були зареєстровані роботом.

Висновки. У цій роботі описана модель роботизованої системи, що розроблена на базі TI-RSLK, мета якої здійснювати орієнтування в невідомій місцевості, аналізувати та передавати дані про стан пацієнта на пристрій оператора за допомогою BLE модуля, тим самим зменшуючи навантаження на лікаря.

У статті запропоновано алгоритм автономного переміщення робота, який реалізується без практичної участі оператора. Це зменшує загальну вартість обладнання в лікарняних палатах і дозволяє переміщувати датчики з кімнати в кімнату на роботизованій платформі, що усуває необхідність надавати їх окремо кожному пацієнту зі стабільним станом здоров'я. Розглянуто методи аналізу навколишнього середовища за допомогою недорогих інфрачервоних далекомірів і магнітних датчиків Холла. Представлено математичний принцип організації та можливе застосування EKF SLAM для оптимізації пройденої відстані. Досліджено основні проблеми організації медичної допомоги в умовах епідемії, крім того, основні діагностичні ознаки пошкодження організму COVID-19 та способи контролю необхідних параметрів людського організму за допомогою доступних електронних компонентів.

Ця система покращить оснащення лікарень в умовах підвищеної частоти інфекційних захворювань. Зменшення кількості частих контактів між людьми, лікарями та пацієнтами зменшить ймовірність як передачі хвороби, так і відсоток смертності. Крім того, пристрій допоможе полегшити звітування та складання баз даних про стан пацієнта, тим самим надаючи спеціалістам більше можливостей для надання прямої медичної допомоги та проведення якісної діагностики.

Список використаних джерел.

1. Глухов О.В., Чекубашева В.А. Реалізація алгоритму EKF SLAM на базі програмного пакету MATLAB. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: зб. матеріалів форуму. Т. 1. матеріалів XXV міжнар. молодіжного форуму (м. Харків, 20-22 квітня 2021 р.). Харків: ХНУРЕ, 2021. С. 75–76.

2. Кравчук О.О. та ін. Розробка прототипу системи дослідження стану мікроклімату приміщення на основі плати розробника TI-RSLK. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій: матеріали Всеукраїнської XXI науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, 22-23 квіт. 2021 р. Одеса: Видавництво ОНАХТ, 2021 р. С. 188–190.

3. Глухов О.В., Чекубашева В.А. Система огибання перешкод на базі роботизованої системи TI-RSLK. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: зб. матеріалів форуму. Т. 1. матеріалів XXIV міжнар. молодіжного форуму (м. Харків, 7-9 квітня 2020 р.). Харків: ХНУРЕ, 2020. С. 13–14.

4. V. Chekubasheva, O. Glukhov, O. Kravchuk, V. Rohovets. Creation of a remote presence robot based on the TI-RSLK development board / II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Physics 2021 (6-12 June 2021, Kharkiv): Conference Program and Book of Abstract / Editor: Natalia Mysko-Krutik. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2021. p. 229.