

Кібернетика та системний аналіз

УДК 621.3

С.В. Беседіна, Ю.М. Небилиця

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Черкаси

ФОРМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОСТОРУ РОБОЧОЇ ЗОНИ УТИЛІТАРНИМ РОБОТОМ

В статті розглядаються результати наукових досліджень по побудові віртуального простору функціонування утилітарного (практичного) робота. Проведено аналіз принципів функціонування сучасних утилітарних роботів. Сформована методологія та побудована модель формування віртуального простору робота. Викладені рекомендації по рішенню навігаційних задач та вимоги до інтелектуального рівня побутових утилітарних роботів.

Ключові слова: віртуальний простір, утилітарний робот, стратегія функціонування, навігаційні задачі.

Введение

Постановка проблеми. Одне з основних завдань робототехніки полягає у створенні автономних з погляду управління роботів, тобто таких, яким можна сказати, що потрібно зробити, не кажучи про те, як це робити. На протигагу застосування роботів у військовій, космічній та виробничих сферах, використання їх у побуті висуває додаткові вимоги: суттєве зменшення вартості, спрощення управління, аж до повного усунення операції програмування, підвищення рівня автономності, що виражається у зменшенні витрат енергії, збільшення рівня інтелектуальності та адаптивності до зовнішніх чинників.

Як показує аналіз джерел [1 – 3], стан розвитку автономних роботів ще далекий від зазначених вимог, що негативно позначається на темпах їх поширення. Причина полягає не в обмеженнях апаратних ресурсів, а у недостатній ефективності математичного та алгоритмічного забезпечення. Такий стан може бути усунений за рахунок визначення робочої зони програмним шляхом безпосередньо роботом та її представлення в його пам'яті у вигляді віртуальної моделі. Тому, ці питання залишаються актуальними і сьогодні.

Розробка теоретичних основ побудови віртуального простору робочої зони роботом дозволить отримати алгоритми та програмне забезпечення системи керування, які в свою чергу дозволять знизити вимоги до обчислювальної потужності бортового комп'ютера, що позитивно позначиться на вартості робота, оптимізує стратегію його управління, що в комплексі підвищить рівень автономності функціонування, експлуатаційні показники. Оскільки сьогодні робототехніка широко упродовжується в непромисловій сфері людської діяльності, то особливу цікавість викликають роботи з практичним значенням, які будемо називати в подальшому утилітарними.

Мета статті полягає у формуванні методологічних та алгоритмічних рішень визначення віртуального простору робочої зони утилітарним роботом.

1. Аналіз принципів функціонування сучасних утилітарних роботів

Найбільший вплив на принципи функціонування робота мають засоби збору інформації: сенсори наближення та переміщення, датчики зусилля, відеокамери і т.п. Їх класифікація, будова та особливості використання детально розглянуті в [4]. На практиці утилітарні роботи мають обмежений набір сенсорів, особливо це характерно для роботів низької цінової групи, робота яких базується на використанні оптичних, акустичних та контактних сенсорів. Як правило, вони направлені і дальність їх дії не перевищує декілька десятків сантиметрів. Запас відстані необхідний роботу для гальмування при наїзді на перешкоду чи вибору стратегії її об'їзду. Враховуючи складний характер взаємодії випромінювання локаційних сенсорів з об'єктами простору, отримані дані слід радше сприймати як якісні, ніж кількісні. По зазначеним причинам отримання первинного опису простору сучасними утилітарними роботами здійснюється шляхом сканування області через переїзди, в яких кожна ітерація передбачає зміну напрямку, що зумовлено направленістю сенсорів. Таке функціонування властиве роботам третього покоління, наприклад, роботу прибиральнику Roomba-550, хронограми переміщень та аналіз функціонування якого проведено у роботі [3]. Вибір даного робота в якості прикладу зумовлений тим, що фірма iRobot демонструє найбільш стрімку динаміку розвитку побутових роботів, тривалий час розвиває даний напрямок і безумовно є лідером на ринку продаж. Аналіз функціонування Roomba-550 засвідчує низький рівень інтелектуальності системи формування траєкторії цього робота, оскільки мають місце часті переїзди з повним або частковим накладанням. Повторення запуску процесу прибирання, у цій самій кімнаті дав аналогічний результат, крім того траєкторії також мали хаотичний вигляд, із цього слідує, що програмний пристрій робота не враховує набутий досвід попереднього циклу

прибирання. Можна припустити, що у даному випадку використовується метод випадкової генерації напрямку переміщення робота [3].

Сьогодні розроблені більш кращі методи формування траєкторії [2], зокрема, шляхом формування ламаної лінії у вигляді спіралі. Таке сканування робочої зони краще покриває територію, однак, накладання може становити 20..40 відсотків від загальної площі, що є не припустимим.

Принципово інший метод вирішення навігаційних задач полягає у використанні маячків. Зокрема цим методом досягається визначення меж кімнат роботом-прибиральником Roomba-550 шляхом використання двох маячків, які входять в комплект даного пристрою. В [5] запропонований метод організації руху робота на оснащеному системою маячків полігоні, заснований на побудові віртуальної смуги, яка формується в бортовому комп'ютері робота з таким розрахунком, щоб вона огинала включені маячки і забезпечувала проходження заданої траси. Автономне визначення на борту робота його узагальнених координат дозволяє сформуванню віртуальної оптронної лінійки, сигнал з якою пропорційний відхиленню робота від віртуальної смуги. Обмеження даного методу полягає у необхідності забезпечення цілісності оптичного каналу зв'язку, що в реальних умовах функціонування робота важко реалізувати.

На завершення аналізу принципів функціонування слід зазначити необхідність врахування кінематичних властивостей роботів, особливо тих, які пов'язані з радіусом їх повороту. Даний параметр є критичним, оскільки при значних радіусах повороту забезпечення довільного напрямку орієнтації робота у визначеній точці простору не завжди можливе. Вирішення задачі синтезу переміщення з врахуванням радіусу повороту вимагає від системи управління значного інтелектуального рівня [6].

На жаль, на основі проведеного аналізу не можливо пояснити, чому провідні виробники побутових роботів на даний час не забезпечили формування віртуального простору роботом, необхідність отримання якого є явним. Одним припущенням, що дана задача досить складна і високоінтелектуальна для рішення її програмними засобами робота, дати пояснення не можна. Слід очікувати, що причини полягають у похибках визначення кутів повороту та переміщень робота. В процесі функціонування робота похибки неминуче будуть накопичуватись, що може невілювати дані про робочу зону. Досягти мінімізації такого роду похибок можливо шляхом корекції представлення позиції робота у віртуальному просторі на основі періодичних під'їздів до характерних елементів обмежуючих контурів. Гіпотетично така корекція можлива, тому в межах даної роботи буде вважатись що така проблема є не суттєвою і не заперечує ефективність визначення віртуального представлення простору.

Приведений аналіз принципів функціонування утилітарних роботів дозволяє зробити наступні висновки:

– необхідно оптимізувати стратегію переміщень робота при виконанні операцій основного призначення;

– в набір режимів роботи робота повинна бути включена операція навчання, яка забезпечує формування уявлення робота про параметри робочої зони, визначення можливості та характеру проведення основних операцій.

2. Задача закону функціонування робота

Роботи універсального призначення мають мінімальний набір програм, які забезпечують виконання внутрішніх сервісів. Визначення загальної стратегії управління покладено на оператора і проводиться шляхом online- чи offline-програмування. У першому випадку, програмування робота здійснюється безпосередньо на місці його установки, в залежності від способу визначення переміщень виділяють Teach-in та Playback методи. Метод Teach-in проводиться консоллю, через яку оператор задає елементарні переміщення. У сукупності такі переміщення, визначають траєкторію самостійного руху робота. Метод Playback передбачає виконання навчання робота шляхом здійсненні першої операції безпосередньо оператором. Основними недоліками online-програмування вважають не високу точність обробки та неврахування вимог виробничого процесу. На відміну від зазначених методів, offline-програмування проводиться на звичайному комп'ютері, без безпосередньої участі робота та без зупинки виробничого процесу.

Зазначені методи програмування промислових роботів не придатні для отримання опису віртуального простору робочої зони побутових роботів, оскільки для першого випадку необхідні великі затрати часу і зусилля при навчанні робота, а для здійснення другого – відсутні засоби редагування і користувач, як правило, не має належної кваліфікації використання CAD-систем.

3. Методологія формування віртуального простору утилітарним роботом

3.1 Задачі, параметри та межі дослідження

Інформаційні системи утилітарних роботів повинні у загальному виді вирішувати такі задачі:

- забезпечення автоматичного руху;
- забезпечення стійкості функціонування на усіх режимах;
- визначення положення мобільного робота в просторі;

- формування віртуального простору робочої зони;
- визначення стратегії функціонування.

Встановлення ефективного способу вирішення цих задач і визначає мету досліджень. До параметрів, які мають суттєвий вплив на рівень вирішення зазначених задач та ефективності роботи утилітарного робота доцільно віднести: складність геометрії та розміри робочої зони, ширину зони функціонування (шітки робота, область дії ріжучого інструменту газокосарки і т.п.), параметри простору дії сенсора контакту. В даних дослідженнях не ставиться за мету встановлення характеру впливу апаратної будови на повноту вирішення зазначених задач, оскільки на сьогодні такий вплив в достатній мірі досліджений та представлений в роботі [6].

Дослідження у частині формування стратегії функціонування передбачають використання таких моделей як порядкове сканування простору і прохід по ламаній спіралеподібній траєкторії та співставлення їх методам, які були описані вище. За показники якості моделей було вибрано: загальну протяжність руху, коефіцієнт перекриття, відносні затрати часу.

3.2. Модель формування віртуального простору робота

Під терміном віртуальний простір буде розумітись набір даних, які несуть інформацію про обмеження переміщень та є основою для прийняття рішень щодо навігації чи виконання функцій утилітарного робота.

Для забезпечення можливості здійснення прибирання роботом у важкодоступних місцях, наприклад: під ліжком, тахтою, кріслами чи столом, висота останніх, як правило, не перевищує 6..8 см [2; 3]. Тому, виходячи з їх особливостей геометрії та способу функціонування, достатньо представляти віртуальний простір плоскими моделями (2D моделлю).

Робоча зона утилітарного робота визначена контуром приміщення, який у віртуальній моделі буде представлений вектором:

$$Ko = \{ a_i \}, a(x, y), i \in N$$

$$Kin_k = \{ Kin_k \}, k \in N$$

$$Kin_k = \{ b_{k,j} \}, b_{k,j}(x, y), j \in N$$

$$FrKo^* = \bigcup_{i=0}^{N-1} [a_i, a_{i+1}] \cup [a_N, a_0]$$

$$FrKin_k^* = \bigcup_{i=0}^{N_k-1} [b_{k,i}, b_{k,i+1}] \cup [b_{N_k}, b_0]$$

де a_i – характерні точки контуру.

Таке представлення не дозволяє описати всі види геометрії приміщення, але забезпечує спро-

щення математичних та логічних маніпуляцій у вирішенні задач навігації та стратегії функціонування. У випадку, якщо контур приміщення сформований із ліній вищих порядків, то його можливо апроксимувати ламаними. Контур приміщення представляє внутрішню область функціонування робота, однак вона обмежена геометрією предметів, які розміщені в площині переміщення робота. Дане обмеження виражається як:

$$\nabla \bar{O}kK_j = \{ b_j, n \}; n \in N,$$

де $K_j = \{ b_j, n \}; n \in N$ – контури опису предметів, які являють собою лінійний вектор, представлений у вигляді послідовності характерних точок контуру.

І зовнішній і внутрішні контури описуються точками у вигляді $a(x, y)$ і $b(x, y)$, де x, y – координати точок, причому $a, b \in R^2$. Слід уточнити, що для забезпечення математичної чіткості для опису множини точок можливого знаходження робота необхідно виразити як представлені множини опису контурів у вигляді замикаючих множин точок, що являють собою об'єднання точок відрізків. Потім виразити внутрішню множину точок і аж потім перейти до теоретико-множини. Однак, це ускладнить сприйняття викладок і абсолютно є не придатним для алгоритмічного вирішення задачі формування робочого простору.

Тому зазначені уточнення будуть умовно опускатися, як самі собою зрозумілі.

З врахуванням вище зазначеного, доцільно модель віртуального простору представити у вигляді:

$$F = \{ p \in P | p \in Ko, p \notin Kin \}, \quad (1)$$

У програмі управління роботом віртуальний простір представляється у вигляді структури, в якій зазначено кількість контурів та масив елементів типу контур, в якому указується кількість характерних точок та поміщається масив їх координат.

3.3. Методика визначення віртуального простору роботом

У відповідності до мети роботи необхідно отримати методику формування віртуального простору робочої зони безпосередньо самим роботом. На реалізацію даної операції має вплив вид сенсору (див. підрозділ 1) та область його дії. Використання локаційних сенсорів дальнього радіуса дії чи засобів комп'ютерного зору суттєво позначається на збільшенні вартості всього пристрою, значно ускладнює обробку інформаційних масивів, більш того мають місце ризики затінення об'єктів приміщення. Тому, встановлювати віртуальний простір шляхом використання методу сканування простору через переміщення самого робота, а зона збору даних про кон-

такт з об'єктами повинна бути співставлена з розмірами останнього (1..2 діаметра).

Оскільки, в початковий момент робот не має уявлення про оточення, то у відповідності зазначеної концепції доцільно здійснювати рух робота в прямому напрямку (змінна – напрямком установлений в нуль), перше зіткнення з об'єктом (рис. 1) дає точку O_2 . Вектор взаємодії сенсора з об'єктом P_c утворює з вектором швидкості руху V_p кут Θ , який повинен бути $\pi/2$. Тому напрямком робота коректується на величину $da = \pi/2 - \Theta$ та здійснюється прив'язка системи координат до нового положення робота. В подальшому проводиться об'їзд контуру, коли має місце швидка зміна напрямку $\overline{P_c}$ це сприймається як характерна точка об'єкту, координати якої зберігаються в структурі опису контуру.

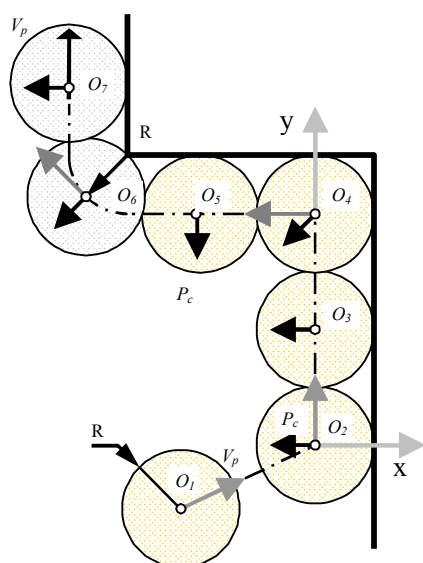


Рис. 1. Схема визначення меж робочого простору

У відповідності до вибраної моделі віртуального простору його формування слід проводити шляхом обходу усіх контурів кімнати та об'єктів, де лише периметр кімнати буде зовнішнім контуром. По завершенню виявлення усіх контурів доцільно систему координат перенести, щоб усі точки контуру кімнати знаходились у першому квадранті. Цією операцією завершується формування віртуального простору робочої зони робота.

3.4. Алгоритм виділення контуру

При побудові алгоритму виявлення та виділення контуру враховувались особливості функціонування колісних роботів [6], параметри локаційних та контактних сенсорів [1], методи оптимізації [8]. Отриманий алгоритм представлений у вигляді блок-схеми на рис. 2. У структурному виді слід розглядати його як два етапи: виїзд на контур (процеси п. 1 і п. 2, рис. 2), який здійснюється до події попадання в зону дії сен-

сора перешкоди та об'їзд контуру із забезпеченням постійного контакту із контуром об'єкту. На блок-схемі алгоритму номінальний рівень контакту P_n , позначає силу контакту з контуром, але дану величину також можливо сприймати як рівень відбитого об'єктом сигналу безконтактних сенсорів. Під номінальною величиною слід розуміти такий рівень наближення, який забезпечує стабільний об'їзд контуру без втрати контакту з контуром при наявності по відношенню до робота зовнішніх та внутрішніх завад, наприклад вібрації від обертання коліс, нерівності поверхонь чи їх неоднорідності властивостей.

При під'їзді до об'єкту сигнал від сенсорів збільшується. Оскільки з метою мінімізації витрат часу швидкість сканування вибирається максимальною, то при наближенні робота до контуру швидкість необхідно зменшити, що програмно реалізується в процесах п.3 і п.4. Коли рівень взаємодії досягне номінальної величини управління переміщенням передається підпрограми визначення напрямку руху п.5. Визначається новий напрямок, установлюється швидкість обходу контуру, а точка виходу на контур заноситься у пам'ять.

Подальше виконання даної підпрограми проводиться у циклічному процесі п.7-п.12. В ході якого підтримується рух вздовж контуру п.7, п.8. Перевірка досягнення замикання контуру п.9. Перевірка усередненої швидкості просторової зміни напрямку переміщення робота п. 10. У випадку перевищення швидкості зміни здійснюється фіксація даного положення як характерна точка контуру X_j, Y_j , координати якої заносяться у пам'ять у вигляді структури віртуального простору. Завершується процес обходу контуру досягненням точки входу в нього.

3.5. Визначення стратегії функціонування утилітарного робота

Проведення даної операції базується на даних віртуального простору і поділяється на дві частини – визначення стратегії руху між зонами та стратегії функціонування в зоні. В межах даної роботи основна увага приділялась вирішенню другої стратегії, яка включає вибір моделі переміщення в межах зони та визначення параметрів руху. Основні положення по визначенні стратегії функціонування утилітарного робота візуально представлені на рис. 3, де K_o – контур внутрішнього простору; K_p – контур приміщення; K_{in1} і K_{in2} – контури обмеження внутрішнього простору, які відображають наявність внутрішніх об'єктів $K1$ та $K2$ відповідно; траєкторії функціонування робота T_1, T_2 і T_3 .

Виходячи з досвіду розробки програми моделювання функціонування утилітарних роботів встановлено, що синтез траєкторії по моделі ламаної спіралеподібної лінії потребує більш складних алгоритмів, ніж алгоритм порядкового сканування, а таж вирі-

шення задачі виділення підзон та синтез траєкторії руху між ними. Шляхом імітаційного моделювання

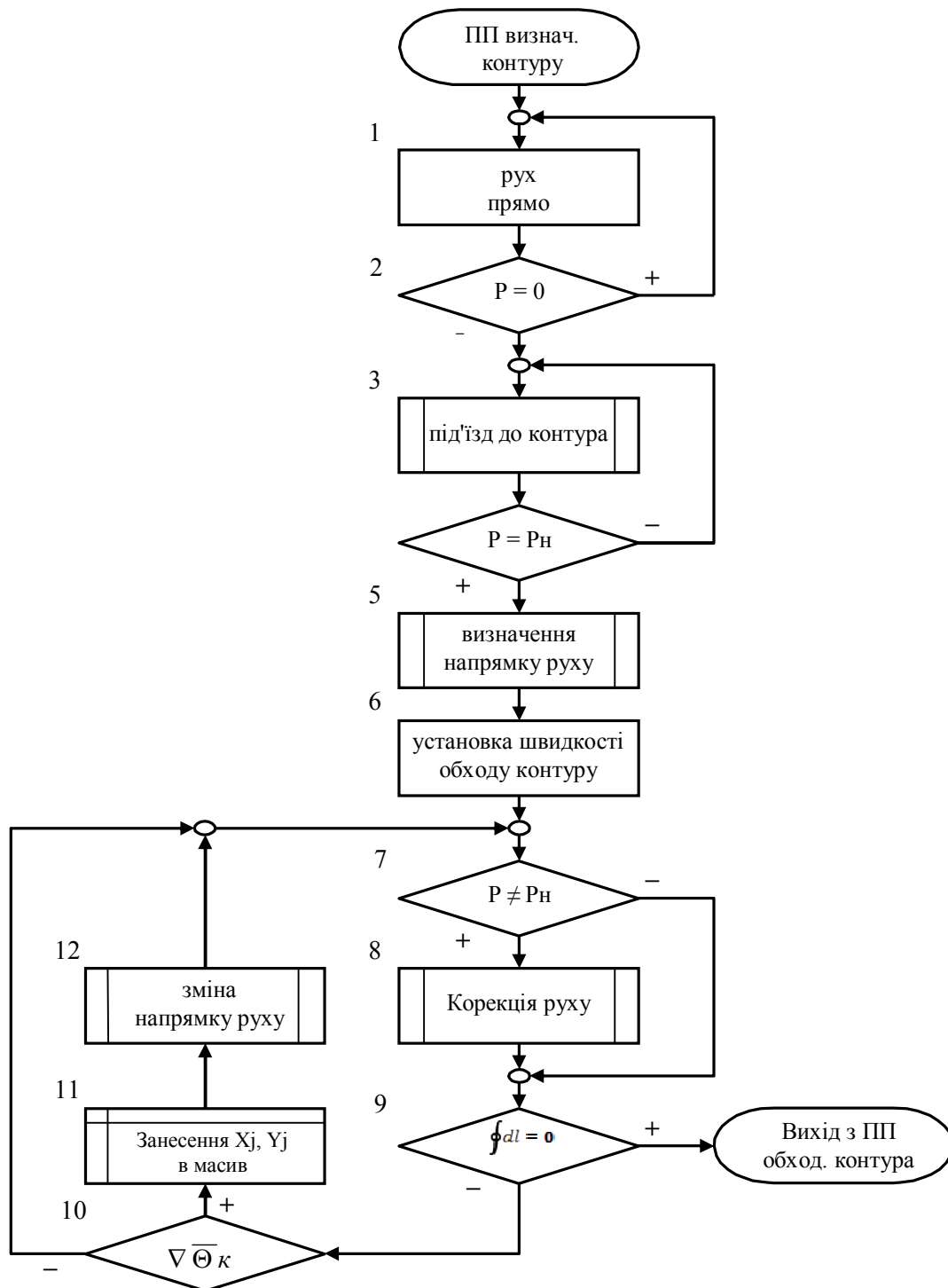


Рис. 2. Блок-схема алгоритму виділення контуру

встановлено, що ефективність функціонування робота за першою моделлю лише на 3..8% кращі за здійснення операцій за моделлю порядкового сканування, тому остання взята за основу і представлена на рис. 3.

Визначення стратегії функціонування утилітарного робота проводиться по такому алгоритму: по меншій стороні контуру внутрішньої області розбивається і формується масив крайових точок траєкторій, по кожній отриманій лінії здійснюється перевірка на перетин її з лініями контурів відображення

внутрішніх об'єктів, при наявності перетину визначаються координати, та здійснюється пересортування масиву точок траєкторії.

Висновки

Отже, в ході написання статті було встановлено, що сучасні побутові роботи третього покоління, наприклад, такі як Roomba-550, не формують віртуальне представлення робочого простору та не здійснюють оптимізацію переміщень при функціонуванні.

Дана обставина суттєво знижує рівень автономності та експлуатаційні показники утилітарних роботів.

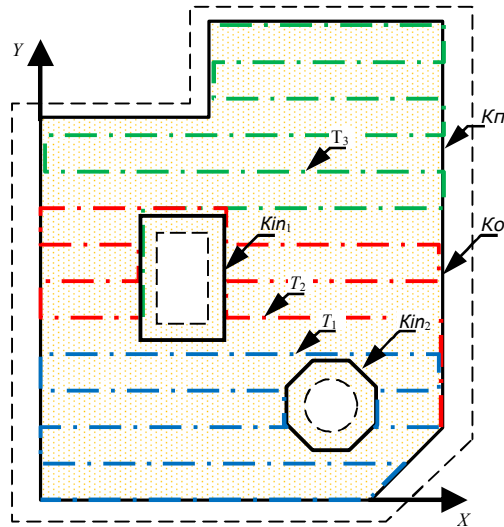


Рис. 3. Схема визначення стратегії функціонування побутового робота

Було отримано нові концепції складання карти приміщення, які базуються на виявленні та параметричному представленні зовнішніх та внутрішніх контурів, а також на ідентифікації характерних точок контуру по критерію перевищення швидкості просторової зміни кута взаємодії робота із перешкодою. Розроблено метод порядкового сканування робочої зони та послідовного обходу завод.

Підвищення рівня інтелектуальності реалізується шляхом визначення оптимальної стратегії функціонування через ітераційний процес моделювання порядкового сканування в межах визначеного робочого простору. Даний підхід забезпечує зменшення траєкторії переміщення, і відповідно часу функціонування робота у 2..4 рази у порівнянні до роботів третього покоління.

Отримані результати забезпечують формування віртуального простору робочої зони утилітарним роботом апаратними засобами, які можуть бути виконані навіть на таких низько-бюджетних контролерах як MEGA родини AVR, позитивно позначиться на зниженні енергоспоживання, рівні мобільності та автономності побутових роботів.

ФОРМИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ УТИЛИТАРНЫМ РОБОТОМ

С.В. Беседина, Ю.Н. Небылица

В статье рассматриваются результаты научных исследований по построению виртуального пространства функционирования утилитарного (практического) робота. Проведено анализ принципов функционирования современных утилитарных роботов. Сформирована методология та построена модель формирования виртуального пространства роботом. Изложены рекомендации по решению навигационных задач и требований к интеллектуальному уровню бытовых утилитарных роботов.

Ключевые слова: виртуальное пространство, рабочая зона, утилитарный робот, стратегия функционирования, навигационные задачи.

FORMATION OF A VIRTUAL SPACE WORK AREA UTILITARIAN ROBOT

S.V. Byesyedina, U.N. Nebulica

The article describes the results of scientific research on the construction of virtual space operation utilitarian (practical) robot. A review of the principles of functioning of modern utilitarian robots. Formed by the methodology that is built model of the virtual space robot. Recommendations for the solution of navigational problems and requirements for the intellectual level of domestic utilitarian robots.

Keywords: virtual space, work area, utilitarian robots, the strategy of operation, the navigation problem.

Список літератури

1. Robot Roomba. The official polish iRobot Roombawebsite [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://roomba.pl>.
2. Krzysztof Skrzypczyk, Agnieszka Pieronczyk Complex Structure Workspace Sweeping Using Semiautonomous Vacuum Cleaners. – WSEAS transactions on systems and control. – Issue 9, Vol. 5, September 2010. – С. 745-754.
3. Денис Стананчиков Организованный хаос, опыт эксплуатации Roomba-550. – 12.05.2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.irobots.biz.
4. Воронников С.А. Информационные устройства робототехнических систем: учебное пособие / С.А. Воронников. – [Под ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Юшенкова]. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 384 с.
5. Гусев Д.М. Навигация мобильного робота на полигоне, оснащённом системой маяков / Д.М. Гусев, А.И. Кобрин, Ю.Г. Мартыненко // Материалы науч. школы-конференции "Мобильные роботы и мехатронные системы", 5-6 декабря 2000 г. – М.: Изд. Моск. госуд. ун-та, 2000. – С. 140-151.
6. Бурдаков С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / С.Ф. Бурдаков, И.В. Мирошник, Р.Э. Стельмаков. – СПб.: Наука, 2001. – 352 с.
7. Жалдак М.І. Основи теорії і методів оптимізації: навчальний посібник / М.І. Жалдак, Ю.В. Триус. – Черкаси: Брама-Україна, 2005. – 608 с.
8. Кирилович В.А. Підвищення ефективності обслуговування промисловими роботами робочих позицій механоскладальних ГВС при використанні позицій проміжкового зберігання / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко, І.В. Сачук // Вісник ЖДТУ. – 2006. – №1 (36). – С. 102-111.
9. Кирилович В.А. Автоматизоване формування маршрутів обслуговування робочих позицій промисловими роботами / В. Кирилович, О. Підтиченко // Вісник ТДТУ: Приладобудування та інформаційно-вимірвальні системи. – 2008. – Т. 13. – № 4. – С. 152-158.
10. Кирилович В.А. Імітаційне моделювання в проблемі вдосконалення задачі автоматизованого планування обладнання гнучких виробничих систем / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко // Вісник ХНУ: Технічні науки. – Ч.1., Т.2. – 2005. – № 5. – С. 115-121.
11. Бурдаков С.Ф. Проектирование манипуляторов ПР и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.

Надійшла до редколегії 11.01.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.