

РОЗРОБКА СТАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ НА БАЗІ МЕТОДУ СОМЕТ

У статті проведено аналіз методів проектування робототехнічних систем, в результаті якого обрано метод СОМЕТ, як оптимальний для розробки системи керування мобільним роботом. Реалізовано апаратну складову мобільного робота для виконання задачі очищення території. Проведено моделювання вимог до системи керування мобільним роботом. Розроблено статичну модель системи керування мобільним роботом.

Ключові слова: мобільний робот, система керування, розробка вимог.

In the article methods of control systems development for mobile robots have been analyzed. The COMET method was chosen for development of control system. The hardware part of mobile robot for territory cleaning was developed. The requirements modeling of the mobile robot control system was conducted.

Keywords: mobile robot, control system, design requirements.

Вступ

На сьогодні, у промисловості активно впроваджуються робототехнічні системи. Відомі розробки використовуються також у побуті, військових цілях, медицині, в аграрній, аерокосмічній та інших галузях [1-4].

Поряд із успіхами у галузі робототехніки є ряд проблем, які потребують подальших досліджень і розвитку. Згідно статистики наведеній у [5], на сьогодні використовується більше 10 мільйонів роботів, однак лише 5 % оснащени хоча б одним сенсором. Інша частина є жорстко запрограмованими промисловими роботами, що виконують чітку послідовність кроків, не враховуючи можливі зміни зовнішнього середовища. Слід зазначити, що найбільш слабким місцем сучасних робототехнічних систем залишається їх автономність – властивість самостійно приймати рішення. Для успішної автономної діяльності робот повинен мати ефективні засоби для сприйняття, пізнавальної здатності та генерування дій [5]. Існуючі автономні роботи мають ряд обмежень таких як низький рівень адаптивності, недостатній рівень реагування на зміни зовнішнього середовища та ін., що робить їх вузькоспеціалізованими. Тому актуальними є дослідження у напрямку розвитку методів і засобів, що забезпечать підвищення рівня автономності і універсальності роботів.

Для проведення досліджень та апробації отриманих рішень було обрано клас автономних мобільних роботів. Мобільний робот – це робот, що здатний пересуватись у робочому середовищі відповідно до керуючої програми [6]. До задач, які вирішують мобільні роботи відносять: транспортування вантажів, дослідження небезпечних або важкодоступних територій, охорона та/або очищення території та інше. У якості базової обрано задачу очищення мобільним роботом заданої території від сторонніх об'єктів. Для розв'язання цієї задачі необхідно розробити систему керування автономним мобільним роботом. Основними вимогами, що висуваються до системи керування є: виконання дій згідно заздалегідь визначеної поведінкової моделі; пошук оптимального варіанту очищення території згідно її поточного стану; оперативна реакція робота на зміни в оточуючому середовищі.

Для автономних мобільних роботів використовується три типи систем керування: програмна, адаптивна та інтелектуальна. В програмних системах керування – робот функціонує у незмінному середовищі згідно заздалегідь заданої програми, строго виконуючи задану послідовність дій. Адаптивні системи керування передбачають вирішення типових задач з можливістю адаптації поведінки робота до змін середовища. Інтелектуальні системи керування дозволяють мобільному роботу функціонувати у середовищі що змінюється та виконувати різні типи задач. Задача очищення території автономним мобільним роботом при наявності невизначеності, наприклад, недостатньо інформації щодо кількості та властивості об'єктів на території, наявності перешкоди складної форми, складні комбінації розміщення об'єктів, та інше, не може бути ефективно вирішена програмними та адаптивними системами керування. Тому перспективним є використання інтелектуальних систем керування мобільними роботами.

На сьогодні найбільш поширеними об'єктно-орієнтованими методами для розроблення робототехнічних систем є:

- ОМТ (Object Modeling Technique). Система представляється у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей: об'єктна модель, що визначає статичні аспекти системи, переважно пов'язані з даними (статична структура); динамічна модель, що описує роботу окремих частин системи (динамічна структура); функціональна модель, яка описує взаємодію окремих частин системи. Для представлення моделей застосовується графічна форма;

- SA/SD (Structured Analysis/Structured Design). Його спільною рисою з методом ОМТ є підтримка трьох взаємоортогональних представлень проекрованої системи. Головна відмінність – пріоритети у розробці моделей. Головною є функціональна модель, наступними за важливістю є динамічна модель та об'єктна модель;

- JSD (Jackson Structured Development). У методі відсутні виокремлені етапи аналізу вимог до

системи та її реалізації. Вони поєднані в загальний етап розробки специфікації системи. Розробка системи передбачає шість етапів: розробка дій і об'єктів; структури об'єктів; вихідної моделі; функцій; почасових обмежень; реалізація системи. У порівнянні з іншими методами, JSD у меншій мірі орієнтований на застосування графічних представлень;

- група методів IDEF (Icam DEFinition), що містить: IDEF0 – метод і нотація опису бізнес процесів; IDEF1 – метод і нотація опису взаємозв'язків між інформаційними потоками; IDEF1X – метод і нотація розробки реляційних баз даних; IDEF3 – метод і нотація опису технологічних процесів; IDEF5 – метод і нотація опису онтологічних досліджень. Загальною рисою групи методів IDEF є використання власної достатньо складної графічної нотації та набір строгих формальних правил, що повинні виконуватись у процесі розробки;

- COMET (Concurrent Object Modeling and Architectural Design Method) [7]. Метод проектування паралельних додатків, в тому числі розподілених та реального часу. Процес розробки в COMET сумісний з уніфікованим процесом розробки ПЗ (USDP). Метод передбачає чотири етапи: моделювання функціональних вимог (Requirements Modeling), аналітичне моделювання (Analysis Modeling), архітектурне (імітаційне) моделювання (Design Modeling) та програмне моделювання (Program Modeling). Для представлення моделей застосовується нотація UML.

Проведений детальний аналіз наведених вище методів проектування систем керування мобільними роботами, з врахуванням вимог до розроблюваної системи, виявив, що у найбільш повній мірі задачі розробки подібних систем вирішує метод COMET. Він спеціально розроблений для реалізації розподілених та систем реального часу. У ньому поєднані об'єктно-орієнтовані та концепції паралельного виконання з використанням засобів уніфікованої мови моделювання. Метод COMET надає наступні переваги у порівнянні з іншими методами: підтримка темпоральних умов (формування умов, що посилаються на події в минулому, теперішньому, чи майбутньому); міжоб'єктний паралелізм (більше одного об'єкта може бути активним одночасно); внутрішньооб'єктний паралелізм (допускається одночасне існування двох чи більше потоків у одному об'єкті); використання широко розповсюджених CASE засобів UML.

Постановка задачі

Використовуючи метод COMET провести моделювання вимог до системи керування мобільним роботом, що вирішує задачу очищення обмеженої території від сторонніх об'єктів. Функціональні вимоги до системи представити в термінах акторів та прецедентів та провести їх аналіз. Розробити статичну модель системи керування автономним мобільним роботом.

Опис робототехнічної системи

Проектована робототехнічна система складається з наступних компонентів (рис. 1): обчислювальна система (ОС), відеокамера та мобільний робот. Для спрощення процесу отримання інформації про стан середовища, в якому оперує мобільний робот, прийнято рішення жорстко обмежити територію, яку слід очистити, та розташувати відеокамеру безпосередньо над нею. Таке рішення дозволило значно зменшити навантаження на модуль розпізнавання зображень, за рахунок переходу від тривимірного (у випадку розташування камери на мобільному роботі) до двовимірного зображення. Відеокамера передає отриманий відеопотік до обчислювальної системи. Інтерфейс каналу передачі відеопотоку залежить від типу використовуваної відеокамери та віддаленості її і мобільного робота від обчислювальної системи. В більшості випадків це USB, WiFi або Ethernet.

Обчислювальна система (ОС) – ядро розроблюваної робототехнічної системи. Всі рішення щодо пересування мобільного робота приймаються саме програмним забезпеченням обчислювальної системи. В якості ОС використовується персональний комп'ютер. В разі необхідності підвищити продуктивність, в якості ОС використовується потужніший сервер або кластер. Програмне забезпечення обчислювальної системи вирішує дві глобальні задачі – визначає стан області, що контролюється (модуль розпізнавання зображень, рис. 2) і генерує послідовність дій (команд) мобільного робота на основі даних про зміни стану області та поставлених задач (модуль керування).

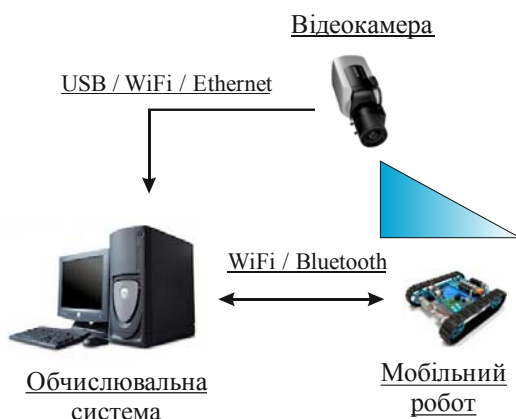


Рис. 1. Узагальнена структура робототехнічної системи



Рис. 2. Структура системи керування мобільним роботом

Вибір інтерфейсу взаємодії мобільного робота та ОС залежить від ступеня віддаленості та вимог щодо продуктивності каналу передачі даних. Серед можливих варіантів розглядалися WiFi, Bluetooth та LiWi.

Така організація системи керування мобільним роботом є досить універсальною, оскільки передбачає уніфікований інтерфейс взаємодії обчислювальної системи та робота, що дозволяє використовувати різні його фізичні реалізації. Обов'язковими вимогами до мобільного робота є наявність засобів контролю знаходження у активній області, засобів визначення наявності перешкоди за напрямком руху та засобів зв'язку з віддаленою обчислювальною системою.

Засоби контролю знаходження у заданій області передбачають можливість робота апаратно (без звернення до віддаленої системи керування) приймати рішення про зупинку виконання команд внаслідок імовірного перетину меж активної області. Наприклад, використання маркування області лінією чорного кольору. В такому випадку, засобами контролю будуть оптичні давачі напрямлені вниз (на поверхню).

Основна задача засобів визначення наявності перешкод за напрямком руху – уникати небажаних зіткнень мобільного робота з іншими об'єктами. Для цього можуть використовуватись фотоелементи, ультразвукові, інфрачервоні та інші давачі. Технологія прийняття рішень про зупинку виконання команд в даному випадку дещо складніша, оскільки контактна взаємодія з іншими об'єктами може бути передбачена задачею, яку виконує мобільний робот. Тому підхід до використання цих засобів визначається системою керування.

Для апробації проєктованої робототехнічної системи на кафедрі системного програмування Хмельницького національного університету розроблений мобільний робот (рисунок 3) з узагальненою структурою, представленою на рисунку 4.



Рис. 3. Реалізація мобільного робота

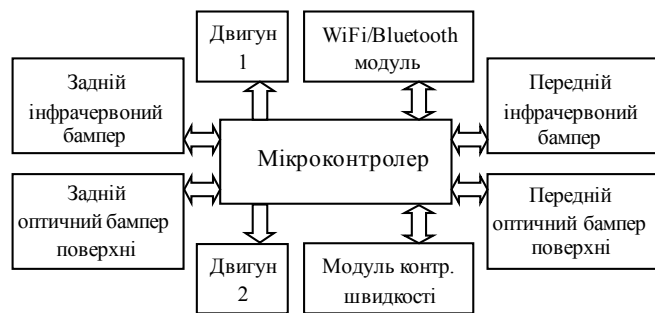


Рис. 4. Узагальнена структура мобільного робота

Модуль контролю швидкості складається з двох оптичних пар і призначений для можливості керування швидкістю обертів двигунів для їх синхронізації при реалізації руху прямо, а також для контролю кута повороту робота.

Передній та задній інфрачервоні бампери складаються з інфрачервоного випромінювача та пари приймачів. Використання двох приймачів дозволяє виявляти перешкоди не тільки безпосередньо перед платформою, але й ідентифікувати їх зліва або справа від платформи, що дозволяє оптимізувати алгоритми об'їзду перешкод.

Передній та задній оптичні бампери призначені для контролю поверхні. Залежно від умов експлуатації та налаштування давачів, оптичні бампери контролюють наявність поверхні під мобільним роботом (для уникнення падінь зі сходів, столу та таке ін.) або знаходження робота у заданій області, визначаючи колір поверхні.

Двигун 1 та двигун 2 використовуються для приведення у рух лівої та правої гусениць або коліс. Запропоновані апаратні рішення дозволяють використовувати різну фізичну реалізацію мобільних платформ. Зокрема, для апробації реалізовані мобільні роботи як на гусеничній так і на колісній платформах.

Етапи методу COMET

Першим етапом методу COMET є моделювання вимог (Requirements Modeling). На цьому етапі виконується збір та класифікація вимог до системи. Безпосереднє моделювання здійснюється у термінах акторів та прецедентів. Результатом виконання даного етапу є діаграма варіантів використання (use case diagram), що відображає функціональні вимоги до системи. Додатково формується словесний опис кожного з представлених прецедентів.

Наступним є етап аналітичного моделювання (Analysis Modeling) впродовж якого розробляються статична та динамічна моделі системи. Статична модель виконується в термінах класів (об'єктів) предметної галузі та задає структурні відношень між ними. Динамічна модель виконується в термінах взаємодії між об'єктами. Вона уточнює прецеденти представлені у моделі вимог, відображаючи об'єкти задіяні у кожному з прецедентів та їх взаємодію. Результатом розробки статичної моделі є системні діаграми контексту та об'єктні структурні діаграми. Динамічна модель представляється діаграмами кооперації чи послідовності.

Далі слідує етап архітектурного (імітаційного) моделювання (Design Modeling). Він виконується у термінах структури імітаційної моделі (класи та відношення між ними). На етапі архітектурного моделювання виконується об'єктна та почасова декомпозиція сутнісної моделі, формуються базові критерії розбиття системи на складові частини (підсистеми, модулі та ін.). Для послідовних систем виконується

акцент на об'єктно-орієнтовані концепції приховування інформації, класів та наслідування. При проектуванні паралельних, розподілених та систем реального часу, окрім об'єктно-орієнтованих концепцій, розглядаються концепції паралелізму.

Завершальним є етап програмного моделювання (Program Modeling), що виконується в термінах програмної моделі (атрибути і операції класів). На цьому етапі виконується трансляція опису системи з нотацій графічного і текстового опису моделей в нотацію конкретної мови програмування.

Моделювання вимог

Задачею, яку виконує мобільний робот є очищення певної обмеженої території. Під очищенням розуміється виштовхування роботом усіх об'єктів, що знаходяться в середні заданої зони за її межі. Кількість та місцезнаходження об'єктів довільні. Успішним виконанням задачі вважається ситуація, коли кількість об'єктів усередині заданої території дорівнює нулю. Базовий перелік функцій системи керування мобільним роботом містить:

- розпізнавання меж зони функціонування (визначення території для очищення);
- розпізнавання об'єктів у межах зони функціонування, що включає ідентифікацію рухомих та нерухомих об'єктів;
- визначення стратегій керування роботом;
- побудова маршрутів пересування робота;
- керування рухом мобільного робота.

Для відображення вимог до системи, згідно методу СОМЕТ, розроблено діаграму варіантів використання (Use Case Diagram) (рис. 5). Оскільки робот є автономним, у системі ідентифіковано лише два актори: *Camera* (відеокамера) та *Platform* (мобільний робот). Прецедент *Video Processing* активується актором *Camera*, що відповідає за

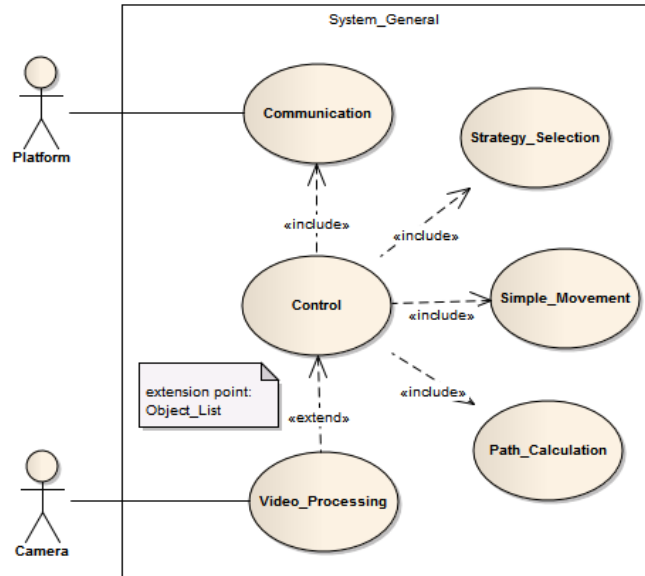


Рис. 5. Діаграма варіантів використання

визначення меж заданої території, ідентифікацію об'єктів у ній та формування переліку ідентифікованих об'єктів. Прецедент *Control* є розширенням до *Video Processing* та виконується лише при не порожньому переліку об'єктів у межах визначеної території. Він відображає функцію керування мобільним роботом, що передбачає: вибір стратегії керування, обчислення траєкторій руху, обробку команд руху та комунікацію з роботом. Під час виконання прецеденту, робот пересується по території та виконує її прибирання. Опис прецедентів *Video Processing* та *Control* подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Прецеденти Video Processing та Control

Прецедент: Video Processing	Прецедент: Control
ID: 1	ID: 2
Короткий опис: Обробка зображення з відеокамери	Короткий опис: Сегмент 1: виконує виштовхування об'єктів за межі визначеної території
Головні актори: Camera	Головні актори: Camera
Другорядні актори: Відсутні	Другорядні актори: Platform
Передумови: Отримано зображення з відеокамери	Сегмент 1 передумови: сформований перелік розпізнаних об'єктів
Основний потік: 1) ідентифікація заданої території на зображенні; 2) ідентифікація об'єктів на зображенні; 3) визначення центрів мас та меж об'єктів; 4) формування переліку ідентифікованих об'єктів; точка розширення: Object_List.	Потік сегменту 1: 1) обирається стратегія керування include (Strategy_Selection); 2) розраховується траєкторія руху include (Path_Processing); 3) виконується обробка команд для пересування за розрахованою траєкторією include (Simple_Movement); 4) комунікація з мобільним роботом include (Communication).
Постумови: Перелік ідентифікованих об'єктів	Постумови сегменту 1: усі розпізнані об'єкти виштовхані за межі визначеної зони

Результатом моделювання вимог системи керування мобільним роботом є отримана діаграма варіантів використання та словесний опис наведених прецедентів. Вимоги розпізнавання меж зони функціонування та розпізнавання об'єктів у межах цієї зони відображені прецедентом *Video_Processing*. Вимоги визначення стратегій керування, побудови маршрутів пересування та безпосереднього керування рухом робота представлені прецедентом *Control*. Отримана діаграма варіантів використання відображає усі визначені функційні вимоги до системи.

Аналітичне моделювання. Статична модель

Задача аналітичного моделювання полягає у визначенні зв'язків системи і зовнішнього середовища [8]. Опис статичної структури системи виконується шляхом розробки системної діаграми контексту. Системна діаграма контексту може бути визначена через моделювання зовнішніх класів, що взаємодіють з системою керування. Діаграма подана на рисунку 6.

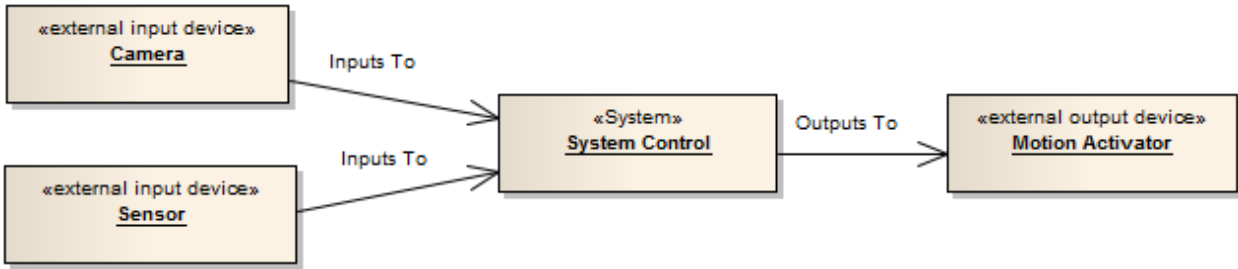


Рис. 6. Системна діаграма контексту

Вона відображає зв'язок системи керування мобільним роботом з зовнішніми класами. *System Control* отримує інформацію з датчиків, розміщених на платформі, та відеокамери, розміщеної над територією (*Camera* та *Sensor*). Команди керування рухом надсилаються роботу для активації руху (*Motion Activator*).

Наступним кроком є деталізація *System Control* до рівня об'єктів, що беруть участь у взаємодії. На структурній діаграмі відображені внутрішні об'єкти, ідентифіковані відповідно до критеріїв методу COMET (рис. 7).

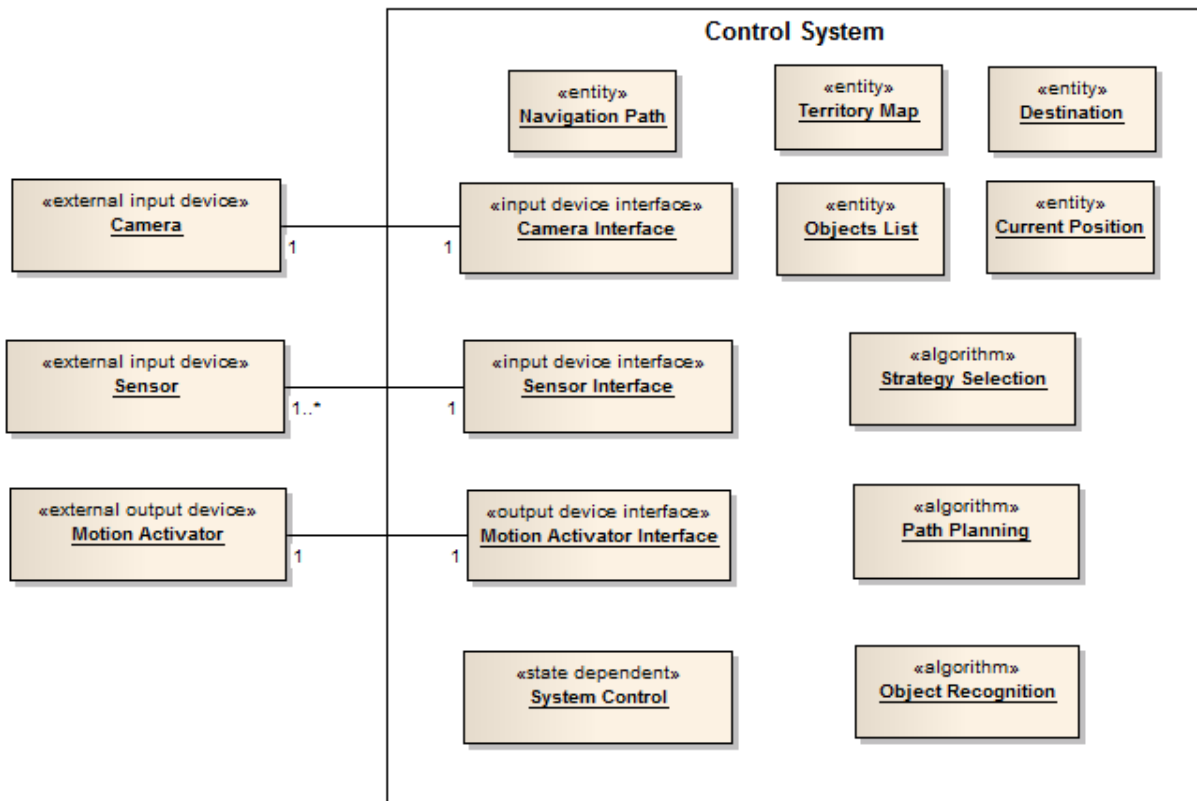


Рис. 7. Об'єктна структурна діаграма

Для взаємодії з зовнішніми класами *Camera*, *Sensor* та *Motion Activator* визначено три об'єкти інтерфейси: *Camera Interface*, *Sensor Interface* та *Motion Activator Interface*. Для зберігання ключових даних у системі передбачено п'ять сутностей, що відображають об'єкти: *Navigation Path* (шлях руху робота до цілі), *Territory Map* (представлення карти території), *Destination* (точка призначення руху робота), *Current Position*

(поточна позиція робота), *Objects List* (список ідентифікованих на території об'єктів). Система керування мобільним роботом повинна у реальному часі відслідковувати зміни у зовнішньому середовищі та керувати внутрішніми об'єктами, для чого необхідно реалізувати систему контролю стану *System Control*. Для цього необхідно реалізувати три основних алгоритми: *Strategy Selection* (інтелектуальна система вибору поведінки робота), *Path Planning* (розрахунок траєкторії руху робота) та *Object Recognition* (розпізнавання та ідентифікація об'єктів, розміщених в межах заданої території).

Представлена статична структура системи відображає внутрішні об'єкти та їх зв'язок з зовнішніми класами. Отримане рішення є першим етапом аналітичного моделювання, що забезпечує засоби для реалізації динамічного представлення системи.

Висновки

В результаті проведеного аналізу методів проектування визначено, що для реалізації системи керування мобільним роботом, який вирішує задачу очищення території, найбільш доцільно обрати метод СОМЕТ. Проведене моделювання вимог до системи керування розробленим мобільним роботом, доводить, що обраний метод дозволив врахувати всі поставлені вимоги.

Отримана в результаті проведення досліджень статична модель є основою для продовження процесу проектування системи керування мобільним роботом. Наступними кроками при проведенні досліджень у заданому напрямку є розроблення динамічної моделі системи керування мобільним роботом, проведення імітаційного та програмного моделювання.

Література

1. iRobot Create Open Interface Specification. iRobot Corporation. – 2006. – 25 p.
2. Patrick Lin Autonomous Military Robotics: Risk, Ethics, and Design / Patrick Lin, George Bekey, Keith Abney. – US Department of Navy. – 2008. – 108 p.
3. Ryan A. Beasley Medical Robots: Current Systems and Research Directions / Ryan A. Beasley // Journal of Robotics. Hindawi Publishing Corporation – 2012. – 14 p.
4. George Bekey International Assessment of Research and Development in Robotics / George Bekey, Robert Ambrose, Vijay Kumar, Art Sanderson, Brian Wilcox, Yuan Zheng. – World Technology Evaluation Center, Inc. – 2006. – 273 p.
5. Henric Christensen Cognitive Systems – From Internet to Robotics / Henric Christensen. – European Research Consortium for Informatics and Mathematics, № 84. – 2011. pp. 14-15.
6. Робототехника. Терминология / под редакцией Е.П. Попова: Российская академия наук. Комитет научной терминологии в области фундаментальных наук. – М., 2000. – 47 с.
7. Minseong Kim UML-based service robot software development: a case study / Minseong Kim, Suntae Kim, Mun-taek Choi, Munsang Kim, Hassan Goma // International Conference on Software Engineering – ICSE, 2006. – pp. 534-543.
8. Х. Гома. UML Проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений / Хассан Гома. – ДМК Пресс, 2002. – 704 с.

Надійшла 22.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.