

УДК 681.007.05

О.В. Ліпанов, М.В. Фесенко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

У статті розглядаються існуючі системи управління мобільним роботом на основі візуальної інформації. Системи такого роду можуть бути успішно застосовані у найрізноманітніших сферах життя людини. Пропонується структурна модель системи управління мобільним роботом на основі принципу самонавчання, робота якої опирається на інформацію від відеокамер та датчика системи глобального позиціонування. Особливістю запропонованої системи є менша кількість датчиків у порівнянні з аналогічними розробками.

Ключові слова: мобільний робот, підсистема управління, підсистема аналізу зображень, відеопотік, об'єктно-орієнтована модель сцени.

Вступ

Побудова систем управління мобільними роботами є актуальною проблемою сьогодення. Рішення у цій області можуть бути застосовані у найрізноманітніших ситуаціях – замінити людину при спостереженні, на виробництві, при дослідженні середовища в умовах, небезпечних для людини. Методи та техніки з області комп'ютерного зору є невід'ємною частиною при дослідженні цієї проблематики.

Наприклад, у лабораторії комп'ютерного зору при університеті Токіо був розроблений робот, що відтворює процедуру малювання за допомогою пальців рук та стереозору [2]. Цією ж групою був розроблений танцюючий робот-гуманоїд, у якому була реалізована парадигма навчання за спостереженням. Згідно з нею робот спостерігає за рухами людини, розпізнає їх і трансліює у команди для роботи.

Групою LIS при MIT було розроблено ряд алгоритмів планування маніпуляцій для робота, що пересуває об'єкти [4]. На вході описаних алгоритмів пла-

нування є набір об'єктів, множина можливих дій для пересування, початкова конфігурація розташування об'єктів та кінцева. Алгоритм планування має сформувати оптимальну послідовність дій для переходу з початкової конфігурації у кінцеву. Ці алгоритми були перевірені на роботі Willow Garage PR2 з наступним набором дій:

- переміщення робота;
- перенесення об'єкта;
- pick – робот хапає об'єкт та піднімає його;
- push – робот штовхає об'єкт

В університеті Берклі розробили ряд методів визначення форми об'єктів у сцені на основі одного зображення, а також за допомогою RGB-D зображень.

Також у США розробляються автономні мобільні системи (CAST, AMAS), які забезпечують повну автономність руху колони автомобілів [3]. Технології CAST передбачають поступове зменшення ролі водія при пересуванні автомобіля з метою зменшення кількості аварій на дорозі. Система за-

безпечує просте і швидке переключання між режимами ручного та автоматичного керування автомобілем. У режимі автоматичного керування система підтримує задану відстань між автомобілями та автоматично обирає швидкість.

Системи AMAS розробляються для різноманітних сценаріїв руху автомобілів автомагістралями. Також передбачається, що з додаванням певної кількості датчиків автомобілі зможуть автоматично виконувати очищення дороги від снігу. До складу системи AMAS входять:

- система зору;
- навігаційна система;
- система роботи с радаром та лідаром;
- засоби радіокомунікації;

- велика кількість датчиків, що залежать від платформи та забезпечують безпосереднє контролювання руху автомобіля.

Програмне забезпечення такої системи виконує планування маршруту, дозволяє обирати кінцевий пункт прямування, проводить діагностику та прогнозування безпечності руху. Були проведені випробування, що підтвердили здатність AMAS працювати в умовах населених пунктів. Автомобілі без водія змогли дістатися визначеного кінцевого пункту, враховуючи смуги зустрічного руху та дорожні розв'язки, уникнувши зіткнення з пішоходами, іншими автомобілями та нерухомими об'єктами.

Лабораторія Google X розробляє безпілотний автомобіль, який часто називають гугломобіль [1]. Джерела інформації для системи управління рухом безпілотного автомобіля:

- сервіс Google Street View;
- відеокамера;
- радар у передній частині автомобіля;
- датчик LIDAR, встановлений на даху автомобіля;

- датчик, що дозволяє встановити положення автомобіля на карті, підключений до одного з задніх коліс.

Перевірка роботи системи в реальних умовах була проведена у 2010 році, при цьому автомобіль самостійно без участі людини проїхав 1600 км, а з частковим втручанням людини – 225 308 км. Під час тестування сталося одне ДТП, спричинене тим, що інший автомобіль врізався у гугломобіль, який зупинився на світлофорі. Розробники запевняють, що їх система може знизити кількість ДТП на дорогах, оптимізувати використання палива та доріг. Інженери наполягають, що робот є кращим водієм, завдяки вищій швидкості реакції, можливості сприйняти більшу кількість візуальної інформації. Робот не відволікається, не стомлюється, не може заснути за кермом. У будь-який момент часу людина у автомобілі може взяти на себе контроль за рухом автомобіля виконавши одну з наступних дій:

- натиснути червону кнопку;
- натиснути на гальма;
- повернути кермо.

Оскільки ідентифікація місцевості проводиться шляхом порівняння заздалегідь зроблених фотографій місцевості з результатами візуалізації оточення безпілотні автомобілі не можуть пересуватися під сильних дощем та в умовах засніженої місцевості. Незважаючи на значні досягнення в області розробки безпілотних автомобілів, їх масове виробництво у найближчому майбутньому не планується. Крім технічних проблем роботи таких системах в реальних умовах є певні законодавчі перепони для їх використання.

Автономні мобільні системи можуть бути корисними у найрізноманітніших ситуаціях: геологічних дослідженнях, управління рухом автомобілів з метою зменшення кількості аварій, системи автоматичного паркування транспортних засобів, прибирання доріг, перевезення вантажів, доставка пошти.

Структурна модель системи управління мобільним роботом

У даній роботі пропонується структурна модель системи управління мобільним роботом на основі відеопотоків. Метою роботи системи є досягнення роботом початково заданого пункту призначення. Розіб'ємо задачу побудови такої системи на наступні частини:

- розробка підсистеми управління;
- розробка підсистеми аналізу зображень.

У роботі вивчаються методи розпізнавання образів з метою вибору методу для використання при реалізації бібліотеки аналізу відеопотоку.

Підсистема управління мобільним роботом

Універсальна система управління має забезпечувати управління кількома системами. Розглянемо узагальнену модель об'єкту управління, у якого є наступні органи управління:

- кермо повороту;
- кермо висоти/глибини;
- управління креном;
- регулятор потужності двигуна;
- система гальмування.

В залежності від особливостей реалізації певні органи керування можуть не використовуватися. Наприклад, якщо об'єкт управління – літак, то він має органи управління висотою та креном, а якщо розглядається автомобіль – то у ньому вони відсутні.

Кожному органу управління ставимо у відповідність змінну, яка характеризуватиме величину зміни відповідного параметра органу управління. Таким чином для системи управління, що розглядається, можна виділити наступні змінні:

- x_1 – кут повороту керма повороту;

- x_2 – кут повороту керма висоти/глибини;
- x_3 – кут повороту органу управління креном;
- x_4 – потужність двигуна, Вт;
- x_5 – величина тиску на гальмівні колодки, Па.

Крім органів управління система управління має датчики, що надають інформацію про оточуюче середовище. Приклади датчиків:

- відеокамера;
- система глобального позиціонування;
- альтиметр (визначення висоти польоту);
- датчик вимірювання кута керма повороту;
- тахометр (визначення кількості оборотів двигуна);
- датчик гальмівного посилення;
- глибинометр.

Таким чином узагальнена модель управління мобільним роботом має 5 органів управління та п датчиків, які використовуються в залежності від ситуації. Запропонована система управління може бути адаптована для керування будь-яким мобільним роботом шляхом заміни модуля формування сигналів для органів управління мобільним роботом.

У системі, що розглядається, мобільний робот оснащений наступними датчиками:

- дві відеокамери;
- датчик системи глобального позиціонування (GPS).

Пересування мобільного робота забезпечується за допомогою двигуна та двох пар коліс. Для зміни швидкості руху регулюється потужність роботи двигуна. Для управління рухом такого робота достатньо, щоб система технічного зору формувала наступні сигнали управління:

- потужність роботи двигуна;

- кут повороту керма.

Для виконання повороту необхідно заблокувати ліву або праву пару коліс на певний інтервал часу. Тому змінну для управління кутом повороту можна транслювати у наступні сигнали управління:

- час блокування лівої пари коліс;
- час блокування правої пари коліс.

Підсистема аналізу сцени

При побудові системи аналізу сцени був використаний принцип самонавчання в процесі роботи. Через визначені проміжки часу система отримує нові зображення від відеокамер. Відразу після початку роботи системи починається накопичення певної кількості N кадрів для того, щоб сформувати перше представлення сцени. Після того, як вони були отримані, проводиться їх аналіз з метою визначення рухомих та нерухомих об'єктів в межах сцени. Далі проводиться аналіз сцени з метою визначення областей, де рух можливий, та де рух неможливий. На основі цієї інформації визначається траєкторія, за якою починає рухатися мобільний робот. В процесі руху постійно відбувається звіряння правильності руху за траєкторією допомогою системи глобального позиціонування. З кожним новим кадром відбувається повторний аналіз сцени. Для рухомих об'єктів проводиться аналіз та прогнозування траєкторії, прогноуються можливі зіткнення мобільного робота з ними і на основі правил поведінки траєкторія корегується.

Запропонована модель системи технічного зору для аналізу сцени (рис. 1) включає в себе наступні бази даних (БД):

- БД «знайомих» об'єктів;
- БД з правилами поведінки;
- БД з обмеженнями руху.

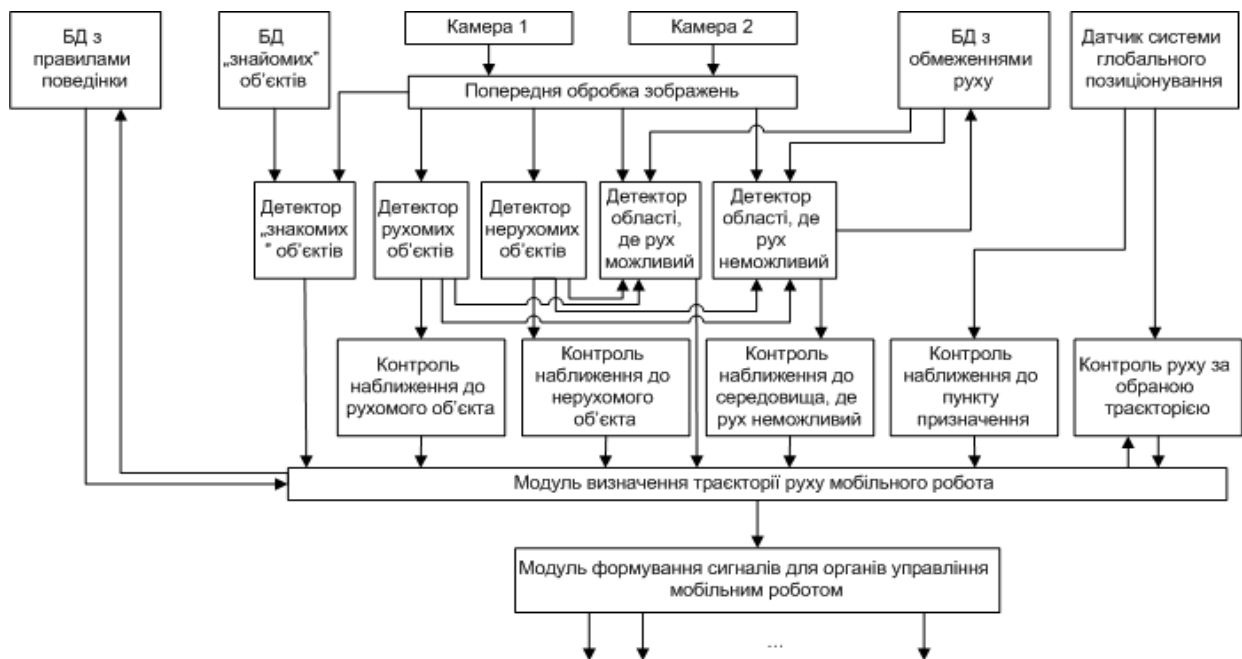


Рис. 1. Структурна модель системи управління мобільним роботом

Вказані БД можуть змінюватися в процесі роботи, оскільки система постійно навчається.

Кожен кадр, отриманий від відеокамер, проходить попередню обробку за допомогою серії фільтрів, після чого проводиться аналіз сцени на їх основі. В ході аналізу сцени за допомогою відповідних детекторів визначаються рухомі та нерухомі об'єкти в межах сцени, «знайомі» об'єкти. З урахуванням обмежень руху та розташування визначених об'єктів визначаються області, де рух можливий, та області, де рух неможливий. Інформація, отримана при аналізі сцени, обробляється наступними контролерами:

- контролер наближення до рухомого об'єкта;
- контролер наближення до нерухомого об'єкта;
- контролер наближення до області, де рух неможливий;
- контролер наближення до пункту призначення;
- контролер правильності руху за заданою траєкторією.

Перші три контролери роблять висновки на основі результатів аналізу сцени, а наступні аналізують інформацію, отриману від датчика системи глобального позиціонування. Інформація від контролерів аналізується у модулі визначення траєкторії руху з урахуванням правил поведінки. Наприклад, якщо БД правил поведінки містить правило, за яким при наближенні до рухомого об'єкта робот має уникнути зіткнення з ним, то траєкторія має бути скорегована для виконання цього правила. Також необхідно скоригувати траєкторію, якщо контролер правильності руху за заданою траєкторією визначив відхилення від неї. Після того, як траєкторія руху мобільного робота була визначена, вона передається: контролеру правильності руху за обраною траєкторією; модулю формування сигналів для органів управління мобільним роботом. Однією з основних проблем при реалізації розглянутої системи є вибір методів та алгоритмів аналізу сцени, які можуть ефективно працювати в режимі реального часу.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

А.В. Липанов, М.В. Фесенко

В статье рассматриваются существующие системы управления мобильным роботом на основе визуальной информации. Системы такого рода могут быть успешно применены в самых различных сферах жизни человека. Предлагается структурная модель системы управления мобильным роботом на основе принципа самообучения, работа которой опирается на информацию от видеокамер и датчика системы глобального позиционирования. Особенностью предлагаемой системы является меньшее количество датчиков по сравнению с аналогичными разработками.

Ключевые слова: мобильный робот, подсистема управления, подсистема анализа изображений, видеопоток, объектно-ориентированная модель сцены.

STRUCTURAL MODEL OF CONTROL SYSTEM FOR MOBILE ROBOT BASED ON VIDEO STREAM ANALYSIS

O.V. Lipanov, M.V. Fesenko

This paper contains overview of existing control systems for mobile robot which use visual information analysis. Systems like that can be successfully used in different fields of human life. We propose structural model of control system based on self-learning approach which uses information from videocameras and global positioning system sensor. Proposed system has less sensors compared to similar solutions.

Keywords: mobile robot, control subsystem, image analysis subsystem, videostream, object-oriented scene model.

Висновки

Побудова системи управління мобільними роботами є актуальною науковою проблемою, що розробляється науковцями багатьох країн світу. Розв'язання цієї проблеми може бути застосоване у найрізноманітніших сферах життя людини, зробити його безпечнішим, легшим та зручнішим. На даний момент немає універсального підходу до побудови таких систем. В результаті даного дослідження була розроблена структурна модель системи управління мобільним роботом, яка у своїй роботі опирається на інформацію від двох відеокамер та датчик системи глобального позиціонування. На основі інформації від датчиків система будує об'єктно орієнтовану модель сцени та на її основі будує траєкторію руху до визначеного заздалегідь пункту призначення. Запропонована система побудована з використанням принципу самонавчання, тому вона постійно удосконалює себе в процесі роботи. Подальші дослідження будуть направлені на побудову комп'ютерної моделі такої системи.

Список літератури

1. Jaffe E. *The First Look at How Google's Self-Driving Car Handles City Streets* [Електронний ресурс] / E. Jaffe - Режим доступу: <http://www.citylab.com/tech/2014/04/first-look-how-googles-self-driving-car-handles-city-streets/8977>.
2. *Manipulation with Multiple Action Types* [Електронний ресурс] / J. Barry, K. Hsiao, L.P. Kaelbling, T. Lozano-Pérez. – Режим доступу: <http://lis.csail.mit.edu/pubs/barry-iser12.pdf>.
3. Matsumura J.M. *An Alternative Approach for Assessing and Implementing Autonomous Ground Robotic Systems* [Електронний ресурс] / J.M. Matsumura – Режим доступу: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1185&context=dissertations>.
4. *Painting Robot with Multi-Fingered Hands and Stereo Vision* / S. Kudoh, K. Ogawara, M. Ruchanurucks, K. Ikeuchi // *Proc. of 2006 IEEE Intl. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems – 2006* – P. 127-132.

Надійшла до редколегії 15.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.