

# Про методику ідентифікації об'єктів за візуальними та сенсорними даними інтелектуальної рухомої платформи

*О.М. Сухоручкіна, А.О. Захаров*

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України, Україна  
sukhoru@irtc.org.ua

## Анотація

Для ідентифікації об'єктів оточення автономної рухомої платформи запропоновано методику визначення контурів зображень досліджуваних об'єктів з використанням крім візуальних додаткових даних інших модальностей, а саме, сенсорних та синтезованих за математичними моделями.

## 1. Вступ

Підвищення автономних можливостей рухомих технічних систем суттєво залежить від використання в їх управляючих системах вданих методів розпізнавання або ідентифікації об'єктів оточення за поточною інформацією про зовнішнє середовище від відеосистем, локаційних сенсорів, лазерних сканерів та інших засобів реєстрації тих чи інших характеристик середовища. Останні роки поширюється різноманіття датчиків (сенсорів), які одночасно використовують у оснащенні рухомих технічних систем для сприйняття інформації про середовище їх функціонування. Існують методи аналізу сумісної інформації про один та той же об'єкт від декількох типів сенсорів (мультимодальний аналіз) або від декількох сенсорів одного типу (мультисенсорний аналіз) [1]. Ці методи, як правило потребують злиття даних, що є окремою і часто трудомісткою задачею [2].

Обов'язок автономної рухомої системи своєчасно реагувати на оточення накладає суворі вимоги не тільки до якості алгоритмів розпізнавання об'єктів, але і до обчислювальних ресурсів, які витрачаються на рішення цих задач. Тому при розробці кожного типу рухомих об'єктів в залежності від їх призначення, сенсорного оснащення, бортових обчислювальних ресурсів та умов функціонування стає питання вибору відповідних засобів отримання, методів аналізу та інтерпретації інформації про оточення.

Істотною характеристикою більшості об'єктів навколишнього середовища є їх зовнішня форма, яка дозволяє ефективно розрізняти та ідентифікувати об'єкти. Для автономних рухомих систем також актуальними є задачі визначення геометричної форми оточуючих об'єктів. Найбільш інформативним каналом сприйняття оточення для людини є візуальний. Але сама по собі візуальна інформація про оточення є складною для автоматичного аналізу.

Аналіз зображень від камери для виявлення просторових та візуальних характеристик об'єкта поперед всього потребує виділення даного об'єкта на довільно зашумленому фоні. Існують об'єктивні проблеми, пов'язані з високою варіабельністю кольорових градацій елементів зображення, що належать фізично зв'язаним областям простору, на рішення яких потрібні значні обчислювальні ресурси. Це одна з суттєвих перепон

ефективному використанню технічного зору у навігації автономних рухомих систем. Тому ж успішне дослідження форм об'єктів та їх ідентифікація при комп'ютерному аналізі зображень суттєво залежать від умов зовнішнього освітлення та складності просторових сцен, що зафіксовані у цих відеоданих. Оскільки для автономного рухомого об'єкта суттєвим є режим реального часу визначення параметрів управління, бажано знайти підходи більш гарантованого та прискореного дослідження оточення, наприклад з використанням інформації різних модальностей без злиття даних.

У даній роботі приведено задача визначення контурів зображень об'єктів з використанням даних сенсорного сканування цих об'єктів та їх синтезованих моделей. Робота виконується за ДНТП „Образний комп'ютер”.

## 2. Джерела даних для дослідження об'єктів

Базовою технічною системою у даному випадку є автономна багатофункціональна рухома платформа з інтелектуальною управляючою системою. Загальний склад рухомої платформи та структури її управляючої системи показано в [3].

Кожна технічна система має певні спроможності сприйняття характеристик об'єктів зовнішнього світу. Дотепер у практично реалізованих технічних системах автоматичне розпізнавання об'єктів вирішується успішно як правило лише для обмеженого класу об'єктів в певних умовах середовища функціонування таких систем. У даній роботі умовами функціонування рухомої платформи є приміщення з горизонтальною площиною її рухів. Часткова інформація про стаціонарні об'єкти оточення платформи та їх положення може бути наперед відома та відображена у моделі середовища, але інші об'єкти можуть довільно переміщуватись. Для автономного функціонування рухомої платформи її бортові засоби повинні своєчасно реагувати на зміни оточення та корегувати його модель.

Покажемо, які джерела даних використані для дослідження об'єктів у даному випадку.

Рухома платформа оснащена стандартною Web-камерою Logitech 4000 Pro, яка має USB-інтерфейс з бортовим комп'ютером. Камера жорстко закріплена на корпусі рухомої платформи з нахилом 21° вниз для отримання зображення середовища безпосередньо перед платформою. Центральна вісь зони сприйняття камери співпадає з поздовжньою віссю платформи. Камера має горизонтальний кут зору 43° та роздільну здатність 640×480 пікселів з 24-ма бітами кодування кольору. Платформа також оснащена сенсорами-далекомірами Sharp GP2Y0A02YK з вузьконаправленою діаграмою чутливості, які закріплено на її корпусі. Дані сенсори дозволяють відчутти поверхню об'єктів на відстані 25-

150 см. Сенсорне сканування оточення виконується під час обертальних рухів платформи за спеціальними програмами поведінки платформи. При цьому алгоритми, що розроблено, дозволяють визначити початок та кінець неперервної поверхні сканованого об'єкту та сформувати вибірку значень послідовних координат  $(t_i, x_i, y_i, z_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , цієї поверхні відносно системи координат рухомої платформи [4]. Тут  $n$  – кількість сенсорних вимірювань під час сканування;  $t_i$  – час отримання  $i$ -го вимірювання.

Точність координат поверхонь, безумовно, залежить від фізичних здатностей сенсору та якості моделі інтерпретації його фактичних сигналів як вимірювань відстані до поверхонь, які породжували ці сигнали. Під час сканування сенсором-далекомір оточуючого простору його дані підлягають фільтрації та статистичній обробці.

Програмне забезпечення управляючої системи платформи дозволяє формувати динамічні просторові комп'ютерні моделі середовища функціонування та самої рухомої платформи у ньому, спираючись на сформовані користувачем геометричні моделі цих об'єктів у вигляді сукупностей опуклих багатогранників, які зберігаються у Базі знань у формалізованому математичному описі [3].

Моделі фрагментів поверхонь об'єктів, які попали до зони чутливості сенсору, за даними їх сенсорного сканування будуються автоматично безпосередньо під час отримання управляючою системою фактичної сенсорної інформації з врахуванням моделі рухомої платформи як системи взаємозв'язаних функціональних модулів.

Одночасно з фактичними даними, джерелом яких є безпосередньо спостережувані параметри фізичних пристроїв платформи, за математичними моделями формуються відповідні дані у відповідних станах моделі рухомої платформи, що поширює можливості аналізу форми та відносного положення досліджуваного об'єкту.

Таким чином програмні засоби рухомої платформи дозволяють не тільки генерувати просторову модель фрагмента поверхні об'єкта, яка побудована за результатами її сенсорного сканування, але і одночасно отримувати модельне та фактичне зображення оточення, які відповідають тому ж саме просторовому положенню моделі рухомої платформи з відеокамерою та її фізичного прообразу (рис. 1).

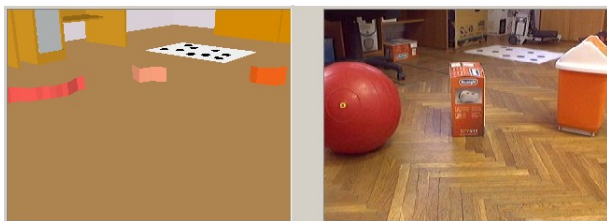


Рис. 1. Модельне та фактичне зображення оточення після сканування об'єктів сенсором-далекомір

У даній роботі первинне виділення області зображення, яка належить зображенню деякого об'єкта, здійснюється не традиційним шляхом аналізу зображення як матриці пікселів, а проектуванням на дане зображення контуру моделі зображення елемента поверхні даного об'єкта, яка побудована за даними сенсорного сканування (лівий кадр на рис. 1).

На рис. 2 схематично показано джерела інформації, їх взаємне положення, послідовні та паралельні обчислювальні процеси визначення фрагменту зображення від відеокамери, що свідомо належить зображенню об'єкта дослідження.



Рис. 2. Схема отримання фрагмента зображення об'єкта. Тут 0 – площина підлоги у приміщенні; 1 – рухома платформа; 2 – відеокамера та зона її сприйняття; 3 – сенсор-далекомір та зона його сприйняття; 4 – об'єкта дослідження.

Раніше показано, що така методика виділення фрагменту зображення сцени, де знаходиться зображення об'єкта дослідження, може бути використана для автоматичного формування вхідних зображень об'єктів для формування опису їх характерних візуальних ознак і навчання їх розпізнаванню [5]. Але далеко не всі об'єкти мають поверхню з достатньою кількістю стійких візуальних ознак і тому не можуть бути ідентифіковані методом з попереднім навчанням. Наприклад, якщо поверхня об'єкту рівномірно пофарбовано і не має значного рельєфу, або має ефект блиску.

Далі розглянуто методику визначення контуру зображення об'єкта з однотонною поверхнею, після його сенсорного сканування.

### 3. Визначення контуру об'єкта

Колір є важливою характеристикою об'єктів оточення. Але відомі складні залежності параметрів кольорових параметрів зображення навіть однотонних об'єктів від напрямлення, інтенсивності та спектрального складу освітлення сцени, ракурсу зйомки та форми самого об'єкта. Тому ж детальний аналіз повнокольорових зображень потребує значних обчислювальних ресурсів, що сповільнює прийняття рішень бортовою управляючою системою рухомої платформи.

Задача сегментації зображення, у тому числі за кольором, в загальному вигляді є складною і її розв'язок дає нестійкі результати. Однак показана вище технологія дозволяє виділити зв'язну область зображення, яка явно належить зображенню об'єкта дослідження і може бути використана як початкова підказка, де шукати контур об'єкту. Визначена область зображення оточуючого середовища для шуканого контуру завжди є внутрішньою підмножиною зображення цільового об'єкта дослідження.

Виділення цієї області (прямокутна область праворуч внизу рис. 3а) на досліджуваному зображенні дає інтегральну кольорову характеристику  $(R, G, B)$  поверхні об'єкту, на основі якої виконується перетворення повнокольорового зображення відносно градацій даного

тону, як максимального розтягнення компонент (R, G, B) (рис. 3б). Таким чином відбувається збереження інваріантності заданого кольору незалежно від умов освітлення об'єкту та його форми.

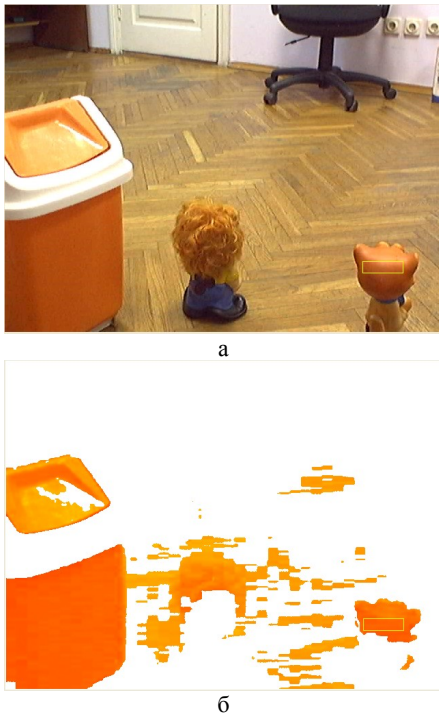


Рис. 3. Вихідне зображення (а) та його перетворення відносно заданого тону (б)

Параметри перетворення залежать від конкретного зображення і цільового кольору, тому вкрай необхідним є їх адаптивний підбір, критеріями якого виступають результати наступних етапів дослідження.

Згадані умови постановки задачі дозволяють провести сегментацію з достатньою точністю. Результатом є градієнт відеозображення, який дає бінарне зображення перепадів яскравості (рис. 4).



Рис. 4. Бінарне зображення

Виникає задача виокремлення на цьому бінарному зображенні зв'язних границь контуру цільового об'єкту серед шумів та границь конкуруючих множин пікселів.

Для зменшення шумового впливу, а також мінімізації обсягу даних на бінарне зображення накладається сітка з деяким фіксованим кроком, значення якого визначається необхідними швидкістю роботи алгоритму та точністю апроксимації, відносними розмірами цільових об'єктів

також. Це дозволяє позбутися розривів границі та шумів, менших за крок сітки.

На наступному етапі виконується повний математичний опис зв'язних елементів границь, представлених на зображенні. Для цього розроблено структуру графа та програмно реалізовано методику його динамічного поповнення під час досліджуючого пошуку зв'язних локальних екстремумів градієнта зображення. Пошук виконується ітеративно у 8-зв'язній області з оптимізацією графа – прямолінійні елементи, що не мають розгалужень представлені одним ребром (рис. 5). Складність задачі полягає у коректному відображенні замкнених гілок і ефективній структурі графа для подальшого пошуку циклів.

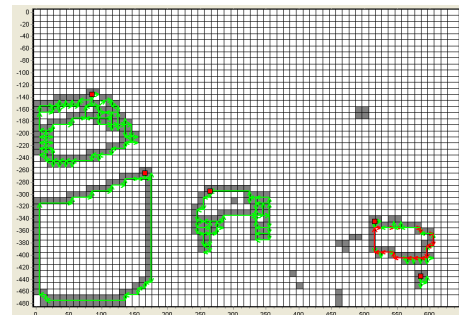


Рис. 5. Зв'язні елементи границь конкуруючих областей

Для кожного побудованого зв'язного графа границі, виконується пошук циклу, що охоплює та є найближчим до області зображення завідомо належної об'єкту (на рис. 5 праворуч вниз). Швидкість роботи алгоритму є дуже суттєвою, тому неефективним є пошук усіх можливих циклів і вибір з них такого, який відповідає поставленим вимогам. Процедура пошуку одразу рухається за графом таким чином, щоб перший знайдений цикл, що охоплює область інтересу, був і найближчим. Це досягається при переході до наступної вершини шляхом вибору з декількох можливих непройдених гілок  $e_i$  такої гілки  $e$ , що

$$(r, e) = \max_i (r, e_i),$$

де  $r$  – нормований вектор, що з'єднує поточну вершину і центр області;

$(r, e)$  – скалярний добуток векторів.

Якщо знайдений цикл не охоплює область, виконується повернення до найближчого розгалуження і пошук продовжується. Знайдений цикл з великою вірогідністю відповідає контуру поверхні шуканого об'єкту і може використовуватись для його ідентифікації.

Програмні засоби управляючої системи даної рухомої платформи забезпечують можливість пошуку образу об'єкту по множині моделей об'єктів, які раніше попали до бази знань, за декількома ознаками, фактично сприйнятими бортовими засобами платформи.

Закладена у правилах поведінки управляючої системи рухомої платформи методика дослідження об'єктів оточення за візуальною та сенсорною інформацією приводить до виявлення у тому числі двох параметрів – довжини фрагменту поверхні об'єкту, яку скановано сенсором, та інтегральної оцінки кольору (R, G, B) відповідного фрагменту зображення цього об'єкту. Пошук

по базі серед всіх відомих системі об'єктів таких, що мають близькі геометричні розміри та колір, може дати декількох претендентів.

На рис. 6а показано копію головного вікна інтерфейсу управляючої системи рухомої платформи після виконання завдання по сенсорному скануванню об'єкта та результат пошуку по визначеним признакам об'єктів, що мають близькі ознаки розміру та кольору (рис. 6б).

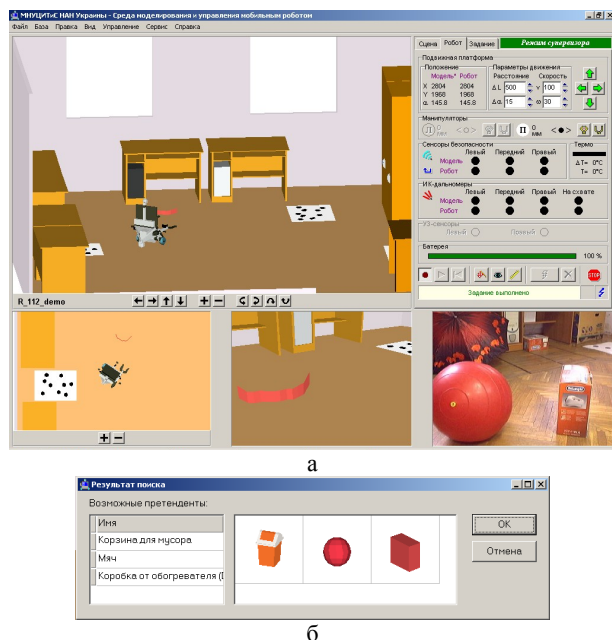


Рис. 6. Інтерфейс користувача рухомої платформи

Остаточну ідентифікацію цільового об'єкта серед цих претендентів можна виконати порівнянням контуру досліджуваного об'єкта та контурів моделей претендентів зі спорідненими ознаками розміру перерізу та кольору.

Результати визначення контуру зображення сканованого об'єкта показано на рис. 7 та рис. 8.

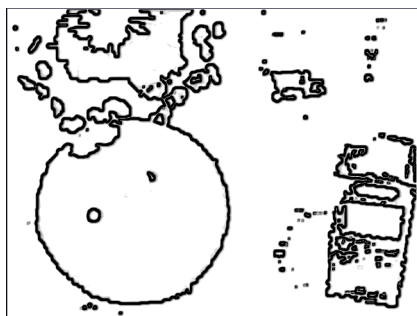


Рис. 7. Зв'язні області заданого тону на зображенні

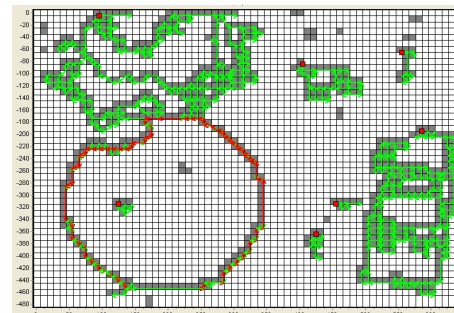


Рис. 8. Контур досліджуваного об'єкта

#### 4. Висновки

Дослідження об'єктів оточення автономної рухомої платформи у даному випадку базуються на комплексному використанні різномірної інформації управляючої системи платформи. Трудомістка задача злиття даних під час сумісного аналізу сенсорних та візуальних даних безпосередньо не вирішується. Але виділення контуру зображення об'єкта за сенсорними та візуальними даними за вказаним шляхом можливо лише завдяки розробленим структурі управляючої системи рухомої платформи та програмним механізмам синхронізації багатьох паралельних обчислювальних процесів, які обслуговують паралельні інформаційні процеси автономного функціонування складної кібернетичної системи у непевно визначеному оточенні.

Вказана постановка задачі ідентифікації об'єктів має сенс тільки при наявності системної організації збору, аналізу та функціонального використання різномірної інформації про оточення, що особливо характерно для систем управління складними рухомими технічними системами, наприклад, мобільними роботами.

#### 5. Література

- [1] Heather J. P., Smith M. I. [Multimodal image registration with applications to image fusion](#) // Proceedings of the 8th International Conference on Information Fusion, Philadelphia, PA, USA, 25-29 July, 2005.
- [2] Foresti G.L., Regazzoniand C.S., Varshney P.K. (Eds.), *Multisensor Surveillance Systems: The Fusion Perspective*, Kluwer Academic Press, 2003.
- [3] Сухоручкина О.Н. Структуры функциональной организации интеллектуализированного управления мобильной системой // УСиМ, 2007. — № 3. — С. 26–33, 63.
- [4] Сухоручкина О.Н., Прогонный Н.В., Ланбин В.С., Людовик Т.В. Об обработке дальнометрической сенсорной информации // УСиМ, 2006. — № 5. — С. 77–84.
- [5] Сухоручкина О.Н., Ильин С.А., Прогонный Н.В., Довжик М.В. К проблеме комплексирования сенсорной информации при формировании и распознавании образов в системе управления мобильного робота // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Тр. 8-й Всероссийской науч.-практич. конфер., 4–7 апреля 2005 г., С.-Петербург. — С.-Петербург, 2005. — Т. 5 «Экстремальная робототехника». — С. 85–90.