

ОБРОБКА ГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ОПОРНУ ПОВЕРХНЮ КРОКУЮЧОГО МЕХАНІЗМУ

*Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки, м.Київ,
Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

Розглянуто питання спряження силових блоків крокуючих машин з аналізаторами інформації про шлях крокування.

Постановка проблеми. Потреба аварійно-рятувальних служб України у транспортних засобах високої прохідності змусила звернутися до створення механічних рушіїв, які базуються на ідеї крокування [1]. Для забезпечення адаптації крокуючого рушія до профілю дороги необхідно обрати відповідну апаратну систему «зчитування» графічної інформації про навколишній шлях. Звичайно, для розпізнавання перешкод при русі крокуючих машин передбачається використання інформації стереопари, лазерного або ультразвукового далекомірів. Відома велика кількість таких систем, створених на основі різних фізичних принципів: стереооптики, акустики, радіолокації [2].

Роль стратегічного рівня керування звичайно виконує оператор. Він визначає й задає основні параметри руху машини - напрямок руху й швидкість. На тактичному рівні система керування на основі заданих оператором параметрів руху автоматично формує програмний рух корпусу та крокуючих рушіїв. Нижній рівень системи керування здійснюється за допомогою систем стеження, які реалізують програмні траєкторії опорних точок крокуючих механізмів в залежності від дефектів профілю шляху.

Але цим системам притаманні недоліки, які зокрема пов'язані з нестабільною роботою на надблизьких відстанях та у екстремальних умовах експлуатації. Тому під час проектування крокуючого механізму необхідно обирати апаратну систему «зчитування» інформації про шлях крокування, яка б базувалася на інших принципах. Все це вказує на необхідність розробок нових схем систем крокування, пов'язаних з сприйняттям та обробкою інформації про характер опорної поверхні у припустимому місці постановки стопи крокуючої машини.

Огляд відомих результатів. Забезпечення експлуатаційних властивостей крокуючої машини вимагає наявності розвинутої системи керування [3 - 5]. Прогрес в галузі автоматичного керування, поява малогабаритних ЕОМ створили базу для розробок систем керування рухом крокуючих машин. До найбільш важливих завдань, пов'язаних з системою керування, необхідно віднести такі: одержання і оброблення інформації про навколишнє середовище, координація руху ніг машини, побудова й стабілізація програмного руху машини в просторі [6]. Використовувані системи не завжди дозволяють оцінити форму опорної поверхні.

Для організації руху машини система керування повинна мати інформацію про можливість постановки ніг у ту чи іншу область не тільки залежно від її форми, але й залежно від її фізичних властивостей [3]. Система інформаційного забезпечення машини повинна вміти в дорожній обстановці відрізнити камінь від куща зелені, калюжу або поверхню рідкої глини від асфальту, «живий» камінь від жорстко зафіксованого, визначити, чи осиплеться край уступу при постановці на нього ноги, тощо [2 - 5]. Розробка такої системи інформаційного забезпечення є надзвичайно актуальною, як для крокуючих, так і для колісних та гусеничних транспортних засобів.

Постановка завдання. Розглянути питання спряження силових блоків крокуючих машин з аналізаторами інформації про шлях крокування.

Основна частина. Сучасні вимоги до систем технічного зору обумовлені необхідністю аналізу й обробки тривимірних сцен спостереження. Ці системи дозволяють вирішити проблему формування зображень високої якості й великої інформаційної ємності для більшості практичних завдань. Для виконання великого обсягу обчислень при проектуванні оптичної частини системи технічного зору звичайно використовується програмне забезпечення ZEMAX, OSLO, Code V, SYNOPSIS. У роботі [5] представлено варіанти моделювання оптичної системи з використанням програми ZEMAX. Розроблена система аналізу тривимірних сцен базується на реєстрації зображення на fotocутливому електронному приймачі з використанням різних голографічних методів.

Крім того, на теперішній час проводяться інтенсивні дослідження зі створення систем технічного зору з використанням механізмів паралельно-послідовної обробки інформації, які здійснюються в природних зорових аналізаторах. Започатковуються спроби створення моделей тривимірних систем сприйняття інформації, які ґрунтуються на методах аналізу зображень, що використовуються зоровою системою людини.

В якості відеодатчиків систем технічного зору значного поширення набули матричні структури на основі приладів із зарядовим зв'язком [2]. Основною перевагою таких інтегральних фотоприйомних структур є можливість створення на одному кристалі оптоелектронних систем з паралельно-послідовою обробкою інформації.

Проблемою створення систем технічного зору, які дозволяють досліджувати тривимірні сцени, є точне узгодження проекційної інтерференційної картини спостережуваної сцени й геометричних розмірів fotocутливих елементів матриці зарядовим зв'язком. Вимоги fotocутливих матриць зарядових зв'язках, істотно відрізняються від вимог, пропонуваних до них у телевізійних системах.

Для забезпечення можливості автономного функціонування автоматичний крокуючий апарат повинен бути оснащений системою збору інформації про місцевість, по якій він має переміщатися. Передбачається, що вимірювальна система здатна визначати відстань від фіксованої точки апарата до точки перетину вимірювального променя з опорною поверхнею. Напрямок променя може змінюватися, коли це необхідно для одержання більш повної

інформації про місцевість. Первинні виміри проходять кілька стадій обробки й фільтрації для виділення об'єктів і прийняття рішення про доцільний характер руху апарата з урахуванням властивостей місцевості й параметрів подоланих перешкод.

У роботі [1] розглянута схема шестиногого крокуючого апарата з дальновимірною системою. Система інформаційного забезпечення одержує й переробляє інформацію про місцевість, взаємодіючи із системою планування руху, яка на основі отриманої інформації визначає стратегію руху корпусу апарата, обирає точки постановки ніг на місцевості, і формує траєкторії руху кінцівок.

Виконавча частина системи керування реалізує синтезований рух з урахуванням інформації від тактильних датчиків, розташованих на кінцях кінцівок. При моделюванні системи на ЕОМ функцією виконання є також побудова рухомого зображення, на екрані дисплея для відображення результатів моделювання у вигляді, зручному для розробника.

Під блоком керування розуміється система більш високого рівня, що визначає цілі переміщення апарата та формує для нього відповідне "рухове" завдання. Так, наприклад, це може бути блок, що передає інформацію про трасу та швидкість руху у випадку, коли ці величини задаються водієм-оператором. При автоматичному виборі траси й швидкості переміщення їх формування повинно відбуватися на основі даних системи інформаційного забезпечення.

Дослідження показують, що організація системи керування буде більш зручною та гнучкою тоді, коли обмін між системою інформаційного забезпечення та системою побудови руху відбувається через спеціальний монітор, який забезпечує взаємодію цих систем. Така організація системи керування є особливою необхідною під час руху по місцевості зі складним рельєфом, який характерний для аварій та надзвичайних подій.

У якості «тестової» звичайно обирають перешкоду, яка має вигляд циліндра, вісь якого розташована горизонтально і співпадає з площиною, по якій здійснюється крокування. При цьому передбачалося, що рух відбувається перпендикулярно напрямку перешкоди. У такому випадку огляд місцевості уздовж траси руху є достатнім, щоб забезпечити одержання інформації, необхідної як для вибору закону руху корпусу, так і для вибору місць постановки ніг а також їх траєкторій.

Для місцевості більш загального вигляду прийняття рішення про рух апарата вимагає більш складної процедури огляду. У даному випадку процес огляду може бути оснований на вимірюваннях уздовж правої й лівої "слідової" колії та перевірки прохідності для простору між коліями.

Крім того, дослідження такого типу перешкод є надзвичайно корисним, тому що воно дозволяє на простому прикладі визначити раціональну логіку роботи інформаційного забезпечення та логіку взаємодії між системою інформаційного забезпечення та системою побудови руху. Це істотно полегшує розробку алгоритмів керування рухом при переміщенні крокуючого апарата по поверхні більш загального вигляду.

При побудові логіки роботи інформаційної системи доцільно використовувати багаторівневий принцип. Процес одержання інформації про місцевість складається з трьох рівнів: вимірювання та формування детальної моделі місцевості; попередня обробка й побудова “грубої” моделі; розпізнавання перешкод з формуванням їх ознак і формальних параметрів. Координація роботи рівнів інформаційного забезпечення здійснюється монітором інформаційного забезпечення.

Процес вимірювання полягає у формуванні напрямку лінії візування й визначенні нахиленої дальності, що відповідає цьому напрямку. У регулярному випадку напрямок лінії візування обирається постійним з таким розрахунком, щоб забезпечити дослідження поверхні уздовж траси вперед по руху апарата на відстань приблизно 1,5 довжини корпусу. Сканування місцевості при постійному напрямку вимірювального променя відбувається за рахунок переміщення апарата.

Підйом кута нахилу вимірювального променя проводиться у тих випадках, коли необхідно прискорити одержання інформації про місцевість. Логічна формула умови підйому променя має вигляд:

$$\{ [C \text{ (немає інформації)} \vee \text{неможливо перервати обробку}] \vee \\ \vee [\text{стрибок дальності}] \vee [\text{нахил поверхні різко змінився}] \} \wedge \\ (\text{підйом променя не завершений}).$$

Тут C — запит системою побудови руху через монітор про рельєф місцевості на більшому віддаленні від крокуючого апарата, ніж та, для якого інформація про місцевість була повідомлена системою побудови стратегії руху.

Обробку вимірювальної інформації доцільно проводити у декілька етапів. Перший етап обробки проводиться на нижньому рівні інформаційного забезпечення, і полягає у перетворенні результатів вимірювань у декартові координати поверхні, та формуванні буфера детальної моделі місцевості. Ступінь опрацювання моделі визначається частотою вимірювань. Якщо об'єм пам'яті ЕОМ, що відведений під буфер детальної моделі, заповнюється повністю, то нова інформація записується на місце найбільш застарілої.

На наступному етапі на основі детальної моделі будується «загрублена» модель рельєфу. Мета побудови такої грубої моделі полягає у відхиленні несуттєвих деталей та формуванні лише істотних особливостей рельєфу для прийняття рішення про рух апарата. Побудова «загрубленої» моделі проводиться таким чином. Нехай $z(x)$ — детальна модель поверхні, ε - величина припустимої похибки. Встановлюється п'ять класів крутості нахилу профілю:

- 1) наступати не можна - крутий підйом;
- 2) наступати можна - підйом;
- 3) наступати можна – рівна поверхня;
- 4) наступати можна – спуск;
- 5) наступати не можна - крутий спуск.

Номер класу позначається через M . Крутість нахилу s ділянки профілю між опорною точкою обробки $a_i(x_0, z_0)$ та поточною точкою

$a_i(x_i, z_i)$ визначається за формулою

$$\begin{cases} (z_i - z_0)/(x_i - x_0) & (a_i \neq a_0) \\ 0 & a_i = a_0. \end{cases}$$

Тоді за величиною крутості s ділянку $a_0 a_i$ можна віднести до одного зі вказаних класів. Вершини $A_k(x_k, z_k)$ «загрубленої» моделі розраховують шляхом використання відповідного фільтру з пам'яттю. Фільтр настроюють на якийсь один із класів крутості. В ньому також зберігається опорна точка a_0 . При обробленні поточної точки a_i обчислюється крутість для ділянки $a_0 a_i$. Якщо обчислена крутість належить класу, на який був настроєний фільтр, то точка a_0 виключається з подальшого розгляду та замінялася точкою a_i . Якщо крутість належить до іншого класу, то точка a_i залишається незмінною.

Настроювання фільтру на інший клас крутості відбувається при одночасному виконанні двох умов: 1) перехід відрізка $a_0 a_i$ в інший клас за крутістю; 2) вихід точки a_i з кола радіуса ε із центром у точці a_0 .

При перенастроюванні фільтру опорна точка a_0 розглядається як кінець чергового відрізка «загрубленої» моделі профілю й пересилається до масиву $\{A_k\}$. Ділянка «загрубленої» моделі закінчується також у випадку, якщо її проекція на вісь x починала перевищувати деяку фіксовану довжину. Ця довжина була підібрана такою, щоб похибка загрубленої моделі по вертикальній координаті не перевищувала ε .

Якщо в поточній точці a_i відбувається стрибок дальності, то відрізок $a_0 a_i$ заноситься в «загрублену» модель зі спеціальним значенням номера класу $N = 6$. Результатом побудови «загрубленої» моделі є послідовність вершин $\{A_h\}$ і послідовність номерів класів крутості $\{N_k\}$. Послідовність $\{N_h\}$ використовувалася верхнім рівнем системи інформаційного забезпечення для розпізнавання типів перешкод.

Для прискорення процесу розпізнавання ділянки послідовності $\{N_h\}$ відповідним чином кодуються. Припустимо, що необхідно ідентифікувати k послідовних відрізків «загрубленої» моделі, визначивши їх належність до певного типу перешкод. Маємо послідовність номерів $M(N_1, N_2, \dots, N_n)$. Якщо m_i - максимальне значення елемента з індексом i цього набору, n_i його мінімальне значення, а k_{\max} - максимальне значення, що може приймати число k для різних ділянок ламаних, які розглядаються, то точці M у k -му просторі можна однозначно поставити у відповідність число L_m за формулою [1, 4]:

$$\begin{aligned} L_m = & 1 + (N_1 - n_1) + \sum_{j=1}^{k-1} \left(\prod_{i=1}^j (m_i - n_i + 1) \right) (N_{i+1} - n_{j+1}) + \\ & + (k - 1) \prod_{i=1}^{k_{\max}} (m_i - n_i + 1) \end{aligned}$$

Зміст цієї формули полягає в такому. Вектор $M(N_1, N_2, \dots, N_A)$ записується в певній системі числення, вибір якої є змінним. Основою для такого запису є незалежність компоненти N_i (при $i \geq 2$) від вибору її мінімального значення n_i . Останній доданок, що відповідає старшому розряду, вводить в L_M додаткову інформацію про кількість компонентів вектора $M(N_1, N_2, \dots, N_k)$, що відповідає розглянутому набору відрізків «загрубленої» моделі.

При відпрацьовуванні алгоритмів взаємодії інформаційного забезпечення та системи побудови руху було взято $k_{\max} = 3$, $m_i = 6$, $n_i = 1$. Формула для визначення L_M матиме вигляд

$$L_m = N_1 + \sum_{j=1}^{k-1} 6^j (N_{i+1} - 1) + (k-1)6^3$$

За допомогою описаного процесу здійснюються перенумерації всіх можливих ситуацій взаємного розташування декількох послідовних відрізків загрубленої моделі, що відповідають розглянутим типам перешкод, які були зведені в упорядкований список їхніх номерів L . Побудовану у такий спосіб базу даних «ситуація - об'єкт» можна легко змінювати й доповнювати.

Ситуаціям, що входять до результатів обробки вимірювань, відповідає обчислене за формулою число L_M . Якщо ця ситуація входить до комплексу ситуацій, занесених до бази даних, то число L_M повинно збігтися з одним з номерів L у вхідному масиві бази даних. Тому що ідентифікатори перешкод L , які зберігаються в цьому масиві, є упорядкованими, то на ідентифікацію перешкоди затрачався максимум $\log_2 l + 1$ операцій, де l — довжина масиву.

Якщо у вхідному масиві бази даних число L не було знайдено, то проводиться спроба ідентифікувати ділянку «загрубленої» моделі шляхом її одержання з раніше розглянутого додаванням одного нового відрізка.

Для зменшення навантажень на ЕОМ під час оброблення вимірювань та побудові «загрубленої» моделі можна використати принцип програмувальної фільтрації. Початкові вимірювання аналізуються в спеціальному фільтрі з очікуваними значеннями, прогнозованими заздалегідь за результатами проведеного розпізнавання характеру опорної поверхні. При співпадінні прогнозованої і одержаної вимірювальної інформації (у межах прийнятої припустимої похибки) програма обробки для формування загрубленою моделі, не повинна включатися.

Це дозволило майже на порядок збільшити швидкість одержання графічної інформації про рельєф, необхідної для розроблення системи складання стратегії руху. У випадку розбіжності вхідної і прогнозованої інформації повинна включатися програма обробки графічної інформації, потім програма ідентифікації, після чого монітор інформаційного забезпечення має здійснювати прогноз профілю поверхні і виконувати настроювання фільтра.

Подібний фільтр функціонально відповідає апарату акцептора дії, описаного в роботі [5]. Використання принципу програмувальної фільтрації дозволяє різко скоротити потоки графічної інформації всередині інформаційної системи.

Висновок. Існуючі системи спряження силових блоків крокуючих машин з аналізаторами інформації про шлях крокування характеризуються складністю і потребують доопрацювання. Для автоматизації руху крокуючих машин доцільно використовувати системи технічного зору, що дозволяють визначати максимум інформації, яку необхідно знати перед постановкою стопи механізму на ділянку опорної поверхні.

Література

1. *Охоцимский Д. Е.* Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. / *Охоцимский Д. Е., Голубев Ю. Ф.* - М.: Наука, 1984 - 312 с.
2. Техническое зрение роботов/ *В. И.Мошкин, А. А. Петров, В.С. Титов, Ю. Г. Якушенков*; под общ. ред. *Ю. Г. Якушенкова.* – М.: Машиностроение, 1990. –272с.
3. *Попов Е.П.* Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. / *Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л.* - М.: Наука, 1978. – 400 с.
4. Управляющие системы промышленных роботов / Под ред. *И.М. Макарова и В.А. Чиганова.* -М., 1984.
5. *Каляев А.В.* и др. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. / *Каляев А.В.* - М.: Наука, 1990.
6. Системы очувствления и адаптивные промышленные роботы / Под ред. *Е.П. Попова и В.В. Ключева.* - М., 1985.
7. *Каргашин А.Ю.* Определение характеристик дискретного осмотра среды мобильным роботом с использованием дальномерной информационной системы. «Программирование прикладных систем», / *Каргашин А.Ю., Кирильченко А.А., Ярошевский В.С.* -М.: Наука, 1992, с. 155-163.
8. Техническое зрение роботов/ Под ред. *А. Пью*; Пер. с англ. *Д.Ф. Миронова*; Под ред. *Г.П. Катьса.* – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
9. *Адашевська І.Ю.* Основні типи механізмів крокування для машин опорної прохідності / *Адашевська І.Ю., Запольський Л.Л.* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2005. Вип. 4.- Т. 29.- С. 79–83
10. *Адашевська І.Ю.* Дослідження шестиланкового механізму крокування для машин опорної прохідності / *Адашевська І.Ю., Запольський Л.Л.* // Геометричне та комп'ютерне моделювання – Харків: ХДУХТ, 2005. – Вип.10.– С. 112-119.
11. *Запольський Л.Л.* Система технічного зору на основі сегментації зображень для крокуючих роботів / *Запольський Л.Л.* // Геометричне та комп'ютерне моделювання – Харків: ХДУХТ, 2006.–Вип.14.–С. 151-161.
12. *Куценко Л.М.* Геометричне моделювання циклічних механізмів крокування з пасивно та активно керованою стопою. У зб. «Пожежна безпека та аварійно-рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи». / *Куценко Л.М., Запольський Л.Л.* Київ: УкрНДПБ МНС України, 2005. – С. 213-217

**ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОПОРНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ ШАГАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА**

Л. Л. Запольский, С. В. Васильев

Рассмотрены вопросы сопряжения силовых блоков шагающих машин с анализаторами информации о пути шагания.

**GRAPHIC JOB PROCESSING ABOUT THE REFERENCE
SURFACES OF THE WALKING MECHANISM**

L. L. Zapolsky, S. V. Vasilyev

Questions of conjugation of force units of walking machines with analyzers of information on a pacing way are considered.