

УДК 681.3.06

О.М. Цимбал, А.І. Бронніков

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АДАПТИВНІ ПРОЦЕСИ У ЗАВДАННЯХ РОБОТОТЕХНІКИ

В статті розглядається застосування адаптивних методів у розв'язанні прикладних завдань робототехніки. Адаптивна система прийняття рішень мобільного робота розглядається на основі марківських моделей прийняття рішень, що дозволяє врахувати багатостадійність завдань робототехніки. Окремо розглядається побудова системи адаптивного візуального керування, що дозволяє гнучко змінювати процеси керування роботами на основі інформації систем технічного зору роботів.

**Ключові слова:** адаптивна система, прийняття рішень, система технічного зору, марківські процеси.

### Вступ

Середовище функціонування мобільних роботів є динамічною системою, що має певний внутрішній стан і характеристики такого стану. Робот може отримувати інформацію про навколишній світ через систему датчиків, за допомогою яких робот може відтворювати модель світу і планувати свою активність (рис. 1).

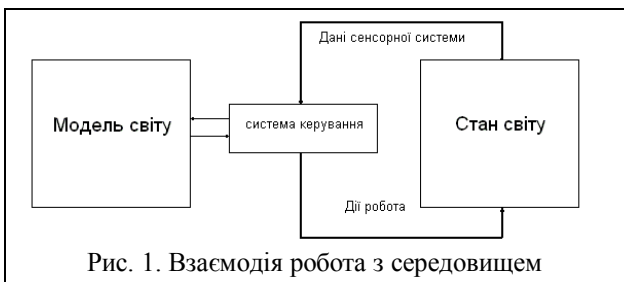


Рис. 1. Взаємодія робота з середовищем

Робот може впливати на середовище за допомогою маніпуляційної системи (проводити операції над об'єктами), своєї здатності рухатися (і штовхати предмети) або за допомогою інших чинників. Результат таких дій робота може виявитися бажаним або небажаним, крім того, непередбачуваним.

Адаптивною вважають систему, яка може пристосовуватися до змін внутрішніх і зовнішніх умов, інакше кажучи, зберігає працездатність при непередбачених змінах властивостей керованого об'єкта, мети управління або навколишнього середовища шляхом зміни алгоритму свого функціонування програми поведінки або пошуку оптимальних станів.

Стан імовірнісної робототехнічної системи може бути описаним за допомогою змінних:

- позиція робота, включно з поточним положенням і орієнтацією у глобальній системі координат;
- положення маніпуляційної системи робота (іноді зустрічається термін – актюатори робота) у значеннях кутів усіх суглобів маніпулятора;
- швидкість робота та суглобів його маніпу-

ляційної системи;

– положення та характеристики об'єктів (статичних та рухомих) навколишнього світу у вигляді набору характерних змінних.

Імовірнісні підходи у робототехніці застосовуються насамперед для розв'язання двох класів завдань: визначення положення мобільного робота (локалізація), планування та керування в умовах реального світу.

Завданням локалізації є оцінка координат робота відповідно до поточного положення у робочому середовищі. Робот зазвичай забезпечується картою середовища, однак для точного визначення свого положення він має використати дані датчиків. У завданні глобальної локалізації робот, розміщений у відомому середовищі, має визначити своє положення. Імовірнісний підхід представляє положення робота за допомогою імовірнісної функції щільності на просторі положень. Становище робота визначається за допомогою інформації, що надходить від датчиків сенсорної системи самого робота або ззовні. Завдання сприйняття середовища є імовірнісним і полягає у оцінці положення робота (Байєсівський фільтр для апостеріорної оцінки на просторі положень робота). Оновлення інформації забезпечується системою датчиків [1]. Друге завдання належить сфері планування і керування у робототехніці. Як вказувалося, імовірнісні алгоритми можуть обчислювати миттєву невизначеність становища робота. Також вони можуть передбачати невизначеності майбутніх положень і враховувати їх під час планування процесів керування. Одним з таких алгоритмів є прибережна навігація (coastal navigation), що полягає у визначенні найбільш оптимальних траєкторій руху мобільних роботів у обмежених робочих просторах. Зазвичай запланований рух робота відрізняється від кінцевої траєкторії саме з-за впливу невизначеностей. Хоча, не обов'язково врахування невизначеностей скорочує шлях переміщень. Навпаки, незнання простору частіше генерує найкоротші траєкторії, але не всі вони є безпечними для виконання завдання.

## Виклад основного матеріалу

### 1. Імовірнісний підхід у прийнятті рішень в робототехнічних системах

Імовірнісний підхід стосовно опису станів робота та його функціонування у робочому просторі звертає досить велику увагу дослідників (наприклад, [1, 2]) і розглядається, у тому числі, як класична альтернатива до більш нового підходу нечіткої логіки.

Стандартний підхід до планування дій робота виключає наявність невизначеності. Для робота достатнім є знання свого початкового стану і цілі. Більш того, дії, що виконуються у статичному фізичному світі, мають передбачуваний результат. У такому випадку нема необхідності оснащувати робот засобами чуття, а план дій робота має вигляд чітко визначеної послідовності кроків, яка обирається серед декількох альтернатив, різних за довжиною або складністю виконання.

Такий підхід до планування має, однак, очевидні вади. Зіткнення робота з перешкодами на шляху постійно змінює поточне положення та орієнтацію робота, які, фактично, неможливо утримати у фіксованому стані. Відповідно, уникнення зіткнень з перешкодами вимагатиме наявності органів чуття робота у вигляді розвиненої сенсорної системи. Сенсорна система має взаємодіяти з компонентою планування завдань.

Імовірнісний підхід має розглядати наявність множин поточного стану системи  $X$  та множини  $Y$ , яка характеризує цільовий стан роботизованої системи. Якщо множини  $X$  і  $Y$  є скінченими, вибір альтернативи в умовах невизначеності подається за допомогою матриці рішень, наприклад, зображеної у табл. 1 [2]:

Таблиця 1  
Матриця рішень в умовах невизначеності

X	Z				
	$z_1$	...	$z_j$	...	$z_m$
$x_1$	$y_{11}$	...	$y_{1j}$	...	$y_{1m}$
...	...	...	...	...	...
$x_j$	$y_{j1}$	...	$y_{jj}$	...	$y_{jm}$
...	...	...	...	...	...
$x_n$	$y_{n1}$	...	$y_{nj}$	...	$y_{nm}$

Тут  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{nm}\}$ . Вектор  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$  описує невизначеність робочого простору і також є скінченим. У результаті процес прийняття рішень описується функцією двох аргументів  $y=F(x, z)$ , інакше –  $F : X * Z \rightarrow Y$ , де  $F$  називають функцією реалізації.

Реалізація рішення залежатиме від значення параметра невизначеності  $z$ , який в залежності від

обставин має різне змістовне пояснення. Множина  $Z$  характеризує стан зовнішнього стосовно ОПР середовища або може характеризувати діяльність конкуруючого ОПР (іншого агента).

### 2. Марківські процеси прийняття рішень

У класичній парадигмі планування дій робота нема нечіткостей. Робот має знати своє початкове положення і положення цілі. До того ж, виконання будь-яких дій у детермінованому світі має передбачуваний ефект, тобто для отримання певного результату можна спиратися на певну сукупність дій робота. У такій ситуації органи чуття можуть бути зайвими, а план дій робота складатиметься з послідовності задалегідь визначених операцій.

На практиці, однак, навіть простий план для детермінованого світу досить важко реалізувати. Причинами тут є неточності у виконанні визначених рухів, обумовлені зіткненнями з об'єктами навколишнього світу, неточністю реакції двигунів на сигнали керування, нарешті, неповною відповідністю моделі, представленої системі керування її реальному прототипу. Все це призводить до того, що запланована послідовність дій робота, переведена у сигнали керування двигунами робота, не досягає поставленої цілі або не може бути виконана взагалі [3].

Одним зі шляхів опису дискретних імовірнісних процесів є марківські ланцюги та пов'язані з ними математичні моделі. Можна зауважити, що прийняття рішень у робототехнічних системах відповідає марківським процесам з дискретними станами та часом.

Система прийняття рішень забезпечуватиме перехід з одного стану до іншого у відповідності до мети робототехнічної системи. Проте питання досягнення мети не є ключовим з точки зору теорії ймовірностей. Вибір кінцевої мети досягається за допомогою, здебільшого, логічних методів. Місце теорії ймовірностей полягає скоріше у числовому вимірі тієї чи іншої стратегії забезпечення рішення, крім того – забезпечення оперативної підтримки прийняття рішень.

Місце логічної теорії можна визначити у роботі загальної стратегії рішення, а місце теорії ймовірностей у оцінці стратегії і здійсненні оперативного керування роботою технічною системою.

Таким чином, розглядаючи систему  $S$  у наборі станів  $\bar{S}_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) за допомогою теорії ймовірностей можна розглядати переходи системи зі стану  $S_i$  у інші стани  $S_1, \dots, S_n$ .

Розглянемо характеристики станів імовірнісної системи у формі послідовних кроків.

Крок 0 (початковий). Якщо у момент часу  $t_0$  система знаходиться у стані  $S_i$ , можна записати такі імовірності станів:

$$P_1(0)=0, P_2(0)=0, \dots, P_i(0)=1, \dots, P_n(0)=0.$$

Повна імовірність для Кроку 0 має вигляд:

$$P_0^Y = P_1(0) + P_2(0) + \dots + P_n(0) = P_1(0).$$

Крок 1 (враховуються імовірності переходів зі стану  $i$  у всі інші стани  $1, \dots, n$ , включно з поверненням у самий стан  $i$ ). Імовірності окремих станів:

$$P_1(1) = P_1(0) * P_{11}, P_2(1) = P_1(0) * P_{12}, \dots,$$

$$P_i(1) = P_1(0) * P_{i1}, \dots, P_n(1) = P_n(0) * P_{in},$$

де  $P_1(1)$  – імовірність стану 1 після кроку 0,  $P_1(1)$  – імовірність стану 2 після кроку 0, тощо, а  $P_{11}$  – імовірність переходу зі стану  $i$  у стан 1.

Повна імовірність для Кроку 1 має форму запису:

$$P_1^Y = P_1(0) * P_{11} + P_1(0) * P_{12} + \dots + P_1(0) * P_{in}.$$

Крок 2 (враховується імовірність переходів зі станів після кроку 1):

$$P_1(2) = P_1(1) * P_{21}, P_2(2) = P_2(1) * P_{22}, \dots,$$

$$P_i(2) = P_1(1) * P_{2i}, \dots, P_n(2) = P_n(1) * P_{2n},$$

із відповідним виразом для повної імовірності:

$$P_2^Y = P_1(1) * P_{21} + P_2(1) * P_{22} + \dots + P_n(1) * P_{2n}.$$

Крок  $N$  описується відповідно:

$$P_1(N) = P_1(N_{n-1}) * P_{(n-1)1}, P_2(N) = P_2(N_{n-1}) * P_{(n-1)2}, \dots,$$

$$P_i(N) = P_i(N_{n-1}) * P_{(n-1)i}, \dots, P_n(N) = P_n(N_{n-1}) * P_{(n-1)n},$$

де  $P_1(N)$  – імовірність стану 1 після виконання кроку  $N$  і аналогічним змістом інших виразів, а  $P_{(n-1)1}$  – імовірність переходу зі стану  $(n-1)$  у стан 1. Повна імовірність має вигляд:

$$P_n^Y = P_1(N_{n-1}) * P_{(n-1)1} + P_2(N_{n-1}) * P_{(n-1)2} + \dots + P_n(N_{n-1}) * P_{(n-1)n}.$$

Імовірності переходів від одного стану у інший, відповідно до теорії марківських ланцюгів, формують матрицю переходів:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}.$$

Яким чином формуватиметься матриця переходів? Імовірність передбачає наявність випробувань, проте у разі робототехнічної системи (маніпуляційного або мобільного типу) такої практики може і не бути. Тобто матриця переходів має формуватися під час процесу прийняття рішень або на основі наявного для системи прийняття рішень досвіду.

Як у випадку нового формування матриці переходів, так і для системи на основі досвіду, характерною може бути ситуація, коли характер світу робота та його конфігурація змінюються під час функціонування робототехнічної системи, тобто слід казати про необхідність її адаптації, а з точки зору прийняття рішень – про адаптивну імовірнісну систему прийняття рішень.

Якщо світ робота змінюється, наприклад об'єкти світу переміщуються або впливають інші чинники (наприклад, пройшов дощ і ділянка ґрунту стає важко прохідною для колісного робота, або на шляху утворилася глибока вибоїна), тоді зміни матриці ймовір-

ностей переходів відбуваються одночасно з отриманням інформації про такі зміни, тоді матриця імовірнісних переходів залежатиме від часу:

$$P_{ij}(t) = \begin{bmatrix} P_{11}^t & P_{12}^t & \dots & P_{1n}^t \\ P_{21}^t & P_{22}^t & \dots & P_{2n}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1}^t & P_{n2}^t & \dots & P_{nn}^t \end{bmatrix}.$$

Отже, якщо розглядати процес прийняття рішень як дискретну послідовність актів прийняття рішень, що мають імовірнісний характер, маємо опис:

$$S_0^a * D_0 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(0) \right) = S_1,$$

$$S_1^a * D_1 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(1) \right) = S_2,$$

$$S_2^a * D_2 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(2) \right) = S_3$$

$$\dots$$

$$S_{n-1}^a * D_{n-1} \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(n-1) \right) = S_n.$$

Для адаптивного прийняття рішень матимемо:

$$S_0^a(t_0) * D_0 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(0), t_0 \right) = S_1(t_1),$$

$$S_1^a(t_1) * D_1 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(1), t_1 \right) = S_2(t_2)$$

$$S_2^a(t_2) * D_2 \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(2), t_2 \right) = S_3(t_3),$$

$$\dots$$

$$S_{n-1}^a(t_{n-1}) * D_{n-1} \left( \begin{matrix} m \\ i=0,n \end{matrix} P_i(n-1), t_{n-1} \right) = S_n(t_n).$$

З практичної точки зору це означатиме:

1) система прийняття рішень функціонуватиме у дискретному часі;

2) у кожен дискретний момент часу за допомогою сенсорної системи робота відбуватиметься оновлення матриці переходів з одного стану системи у інший;

3) на кожному кроці прийняття рішень з матриці ймовірностей для кожного її рядка відповідного переходу зі стану  $S_i$  в стан  $S_{i+1}$  має обиратися найбільш імовірний перехід, або набір найбільш імовірних переходів, що мають оцінюватися;

4) оцінка всього процесу прийняття рішень може відбуватися за допомогою імовірнісних переходів від початкового до цільового стану робототехнічної системи.

Таким чином, власне, має описуватись імовірнісний процес прийняття рішень. Фактично, він в умовах подання процесу у вигляді марківського ланцюга полягатиме у перемноженні поточних (накопичених до певного кроку) ймовірностей з ймовірностями переходів у новий стан.

За результатами оцінки різних шляхів пересування робота має обиратися шлях, що має найвищу обраховану ймовірність. Проте, виникатиме і низка запитань щодо вибору ймовірностей, наприклад кожного нового кроку траєкторії пересування. Які

фактори мають бути враховані? Серед факторів маємо, як і раніше, виділити:

- наявність досвіду переходу маршрутом;
- інформація від сенсорів робота про стан ділянки маршруту;
- інформація про стан шасі робота;
- інформація про можливі загрози стану робота.

Крім того, впливатимуть і більш «звичайні» суто оптимізаційні фактори:

- оцінка ділянки з точки зору наближення до цілі і вибір ділянки, яка має ближчу відстань до цілі;
- відвідуваність ділянки роботом у попередні періоди;
- висока швидкість проходження ділянки;
- відсутність перешкод;
- відсутність впливів інших роботів та сторонніх об'єктів.

З точки зору адаптивного прийняття рішень маємо звертати увагу на зміну станів світу робота. Зміни у світі призводять до змін ймовірностей переходів. Одні ділянки будуть збільшувати свою ймовірність, інші – зменшувати її аж до 0. Таким чином, розроблені раніше плани, що враховували ймовірність переходів, можуть втрачати високі рівні ймовірностей, і викликать необхідність розробки нових планів рішення і, таким чином, їх адаптації до змін у робочому середовищі робота.

Сформульований та виконаний робототехнічною системою план, у тому числі з певними можливими модифікаціями, які виникатимуть під час повторного виконання плану (наприклад, послідовність рухів людини задля виконання тієї ж самої задачі, можливо ніколи не повторюваної) складатиме своєрідну пам'ять системи, виражену у досвіді здійснених рішень.

Таким чином, кожного нового разу, виконуючи розроблене рішення, СПР може користуватися накопиченим досвідом, як для виконання «відомих» їй завдань, так і застосовувати їх для спроб розв'язати нові завдання. Тобто мова може йти про навчання систем, але не на підсвідомому (як для штучних нейронних мереж рівні), а на суто логічному рівні, хоча, якщо таких розв'язків багато, цілком ймовірно, що система переходить на «підсвідомий» рівень, який скоріше краще відображати методами штучних нейронних мереж.

Розроблено імовірнісну модель прийняття рішень на основі марківських ланцюгів, яка розглядає прийняття рішень як дискретний багатостадійний процес і забезпечує прийняття рішень в умовах непевного опису станів робототехнічної системи.

### 3. Адаптивне візуальне керування та його основні характеристики

Таким чином, адаптивне управління є управлінням в системі з неповною апріорною інформацією про керований процес, яке змінюється у міру нако-

пичення інформації та застосовується з метою поліпшення якості роботи системи.

Сучасний рівень розвитку сенсорних систем забезпечує отримання різноманітної інформації про робочий простір робота, яка може бути використана для адаптації систем управління. Однією з таких систем є система комп'ютерного зору, яка забезпечує обробку візуальної інформації.

Адаптивне візуальне управління – управління, засноване на адаптації системи управління до змін параметрів робочого середовища роботизованої системи на основі інформації, яка надходить від системи технічного зору (візуальної підсистеми) в процесі функціонування системи.

Схеми систем адаптивного візуального управління представлені на рис. 2.

Основною особливістю адаптивних систем управління є можливість отримання інформації в процесі функціонування системи і використання цієї інформації для управління.

Прикладом застосування адаптивної системи управління може бути мобільний робот, обладнаний бортовою системою технічного зору (або система технічного зору розташована над робочою зоною), що функціонує в робочій зоні з невизначеною кількістю статичних (обладнання) та динамічних об'єктів (інші мобільні пристрої, персонал).

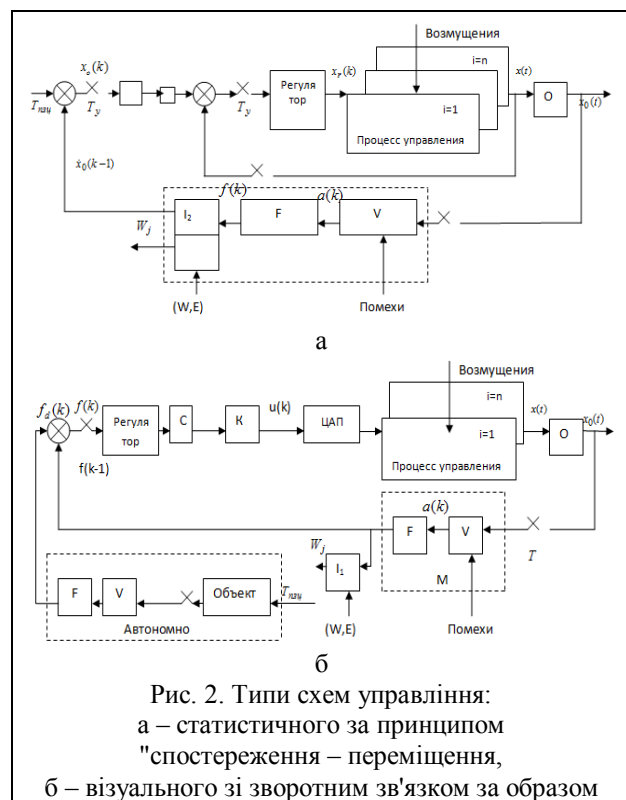


Рис. 2. Типи схем управління:  
 а – статистичного за принципом "спостереження – переміщення",  
 б – візуального зі зворотним зв'язком за образом

Характерним для роботизованого виробництва є завдання переміщення з початкової точки робочого простору в кінцеву. Задача вирішується з урахуванням положення об'єктів в просторі. Динамічні

об'єкти можуть змінювати своє положення. Це може негативно впливати на виконання роботом поставленого завдання, оскільки на шляху руху робота можуть виникати непрохідні ділянки.

Визначення таких ділянок можливо за допомогою бортових і глобальних систем технічного зору. На основі візуальної інформації робот обчислює оптимальний маршрут руху.

Перед адаптивною візуальною системою ставляться такі завдання:

- визначення місця розташування робота в початковій позиції і при переміщенні;
- орієнтація робота в просторі і відносно початкової точки;
- визначення і стеження за об'єктами, що знаходяться в робочому просторі;
- виділення непрохідних ділянок.

Приклад навігації робота полягає в наступному. Є робочий простір, модель якого можна розбити на сегменти, однакові по своїй довжині та ширині. Це дозволить нам судити про те, в яких з них знаходяться об'єкти і сам робот.

Робот може пересуватися тільки за вільними сегментами (комірками), отже, якщо на шляху переміщення робота з однієї точки в іншу, сегменти будуть зайняті (виникатимуть непрохідні ділянки), то блок адаптації буде змінювати шлях пересування робота таким чином, щоб він не потрапив у зайняті клітини.

Практично даний підхід буде реалізований таким чином. Нехай є гнучка виробнича дільниця. Над робочою зоною робота розташована система технічного зору (web-камера). Завданням робота є переміщення з однієї точки робочої зони в іншу. За допомогою СТЗ визначається розташування робота, його орієнтація, визначається положення об'єктів робочої зони, виявляються сторонні предмети, визначаються непрохідні ділянки траєкторії. Аналіз робочої зони дозволяє вибрати оптимальний шлях руху робота для досягнення кінцевої точки.

Формально, система адаптивного візуального управління визначається наступним чином.

Система візуального управління, що характеризується заданим значенням розпізнавання  $D_3$  та вектором параметрів  $V$ :

$$V = \{U_1, U_2, U_3, [U_{1\min}, U_{1\max}], [U_{2\min}, U_{2\max}], [U_{3\min}, U_{3\max}]\},$$

де  $U_1, U_2, U_3$  – параметри управління;  $[U_{1\min}, U_{1\max}]$ ,  $[U_{2\min}, U_{2\max}]$ ,  $[U_{3\min}, U_{3\max}]$  – діапазони зміни параметрів управління;  $K^*$  – критерій оптимальності, який в задачах управління процесом розпізнавання зазвичай вибирається мінімізацією витрат:

$$K^* = \min Z(P, D, P \geq P_3, D \geq D_3),$$

де  $P_3$  і  $P$  – задана і фактична продуктивність системи;  $D_3$  і  $D$  – задана і фактична достовірність оцінки стану навколишнього світу.

Модель системи адаптивного управління представлена на рис. 3.

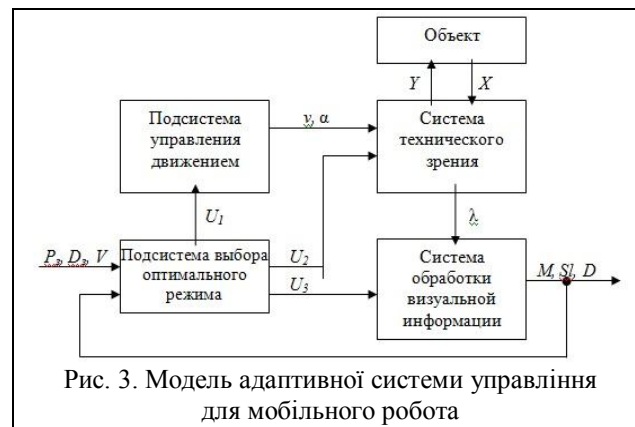


Рис. 3. Модель адаптивної системи управління для мобільного робота

Як видно з рис. 3, до складу моделі входять:

- об'єкт керування (робіт);
- система технічного зору робота;
- підсистема вибору оптимального режиму управління;
- система обробки візуальної інформації;
- підсистема управління рухом.

СТЗ за допомогою камери отримує інформацію про об'єкти робочої зони робота. Система обробки візуальної інформації забезпечує визначення розташування об'єктів робочої зони робота і їх окремі характеристики (лінійні розміри, центри мас і т.д.) Можливим розвитком системи є реалізація функцій розпізнавання та ідентифікації. Підсистема вибору оптимальних режимів на основі інформації системи технічного зору здійснює розрахунок оптимальних режимів переміщення мобільного робота, які реалізуються підсистемою управління рухом.

Параметри керування даної моделі системи можна представити так:

$U_1 = \{\Delta v, \Delta \alpha\}$ , де  $v$  – адаптація швидкості,  $\alpha$  – адаптація напрямку руху робота;

$U_2 = \{\Delta, R_K, L, F\}$ , де  $\gamma$  – кут повороту камери,  $R_K$  – режими роботи камери (частоту кадрів),  $L$  – параметри пристроїв впливу на об'єкт, яким є навколишній світ, наприклад за допомогою освітлення,  $F$  – фокусування камери. Цей параметр здійснює управління потоком інформації, що надходить на підсистему через пристрої та програми, що взаємодіють з об'єктом і передають даними;

$U_3 = \{S, W\}$ , де  $S$  – метод технічного зору,  $W$  – параметри методу. Метод здійснює адаптацію параметрів, тобто вибір алгоритмів та їх характеристик.

Спочатку задаються значення параметрів керування, які дорівнюють наступним вхідним параметрам:

$$U_1 = U_{10}, U_2 = U_{20}, U_3 = U_{30}.$$

Підсистема взаємодії з об'єктом може впливати на об'єкт з параметрами  $Y = \varphi_1(L)$ , а положення цієї підсистеми по відношенню до об'єкта визначається швидкістю і напрямком руху, задаються у відповідній підсистемі управління. Прийняті дані залежать від впливу:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}, X = \varphi_2(Y),$$

де  $K$  – кількість ознак.

Інтенсивність потоку інформації  $\lambda$  визначається режимами роботи коштів реєстрації блоку взаємодії (система технічного зору). Дані на систему технічного надходять порціями, тому потік характеризується обсягом інформації  $N$  порції, кількістю переданих знімків зображення  $X^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots\}$ , яке залежить від кількості камер, і періодом між попередньою групою даних  $\Delta t$ :

$$\lambda = X^* : \Delta t, N; X^* = \varphi_2(U_2, X).$$

В системі технічного зору здійснюється складання тривимірної моделі  $M$  видимої частини навколишнього світу, оцінка складності розпізнавання  $SI$  і достовірності  $D$ :

$$M = S_M(W, \lambda), D = S_D(W, \lambda), SI = S_{SI}(W, \lambda).$$

Так як дані надходять у реальному часі, то результат розпізнавання тривимірної моделі є функцією від часу  $M = f(t)$ , також як і  $SI = f_1(t)$ ,  $D = f_2(t)$ .

У підсистемі вибору оптимального режиму здійснюється розрахунок неузгодженості між заданою і фактичною оцінками достовірностей розпізнавання стану об'єкта:

$$\Delta D = D_3 - D.$$

Після чого, відповідно до критерію  $K^*$ , а також керуючись  $\Delta D$ ,  $SI$ ,  $M$  і вектором вхідних параметрів  $V$ , встановлюється оптимальний режим руху робота і функціонування підсистем з параметрами керування, обчисленими для конкретного випадку:

$$U_1 = F_{U_1}(V, \Delta D, SI, M), U_2 = F_{U_2}(V, \Delta D, SI, M),$$

$$U_3 = F_{U_3}(V, \Delta D, SI, M).$$

Вибір оптимального режиму здійснюється шляхом знаходження мінімуму цільової функції  $Z(P, D)$  для кожного моменту зміни режиму.

Таким чином, даний напрямок дослідження дозволяє автоматизувати процес переміщення об'єктів у межах робочої зони незалежно від виникаючих непрохідних ділянок.

## Висновки

Прийняття рішень у інтелектуальних робототехнічних системах має враховувати багатостадійність розв'язання завдань маніпуляції об'єктами або навігації для мобільних систем. Системи прийняття рішень мають сприймати зміни середовища, у якому функціонує робот і продукувати такі схеми розв'язання завдань, які б відповідали змінам у середовищі функціонування. Зазначений підхід вимагає появи нової властивості систем прийняття рішень роботів, а саме – здатності гнучко перебудувати (адаптувати) роботу у залежності від змін у навколишньому середовищі, змін у постановці мети або окремих підцілей, у стані самої робототехнічної системи. Застосування методів візуального керування дозволить адаптувати роботу пристроїв за допомогою широкого застосування візуальної інформації про стан робочого середовища роботів.

## Список літератури

1. Thrun S. Probabilistic Robotics [Текст] / S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. – The MIT Press, 2005. – 667 p.
2. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений [Текст] / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
3. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
4. Пью А. Техническое зрение роботов [Текст] / А. Пью. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

Надійшла до редколегії 23.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Сіногін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## АДАПТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАДАЧАХ РОБОТОТЕХНИКИ

А.М. Цымбал, А.И. Бронников

Рассматривается применение адаптивных методов в решении прикладных задач робототехники, в частности адаптивная система принятия решений мобильных роботов, адаптивная система визуального управления мобильных роботов.

**Ключевые слова:** адаптивная система, принятие решений, система технического зрения, марковские процессы.

## ADAPTIVE PROCESSES IN ROBOTIC TASKS

A.M. Tsymbal, A.I. Bronnikov

There is considered an application of adaptive methods for applied tasks of robotics, such as adaptive decision making system, adaptive visual control system of mobile robots.

**Keywords:** adaptive system, making a decision, system of technical sight, Markovian processes.