УДК 004.9+681.5.017

В.П. Квасніков, д-р техн. наук, проф., В.В. Зубарєв, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Немченко, здобувач, С.О. Пашков, канд. військ. наук, доц.

ПІДСИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В СТРУКТУРІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

У роботі представлений новий принцип створення системи керування автономним мобільним роботом в умовах впливу факторів зовнішнього середовища та наявності складних перешкод. Запропонована структура системи керування, в якій система прийняття рішень побудована на основі багаторівневої системи перетворення інформації. Координація елементів такої системи відбувається за методом висхідного синтезу елементів.

Ключові слова: інтелектуальний робот, система керування, багаторівнева система перетворення інформації, координація.

В работе представлен новый принцип создания системы управления автономным мобильным роботом в условиях воздействия факторов внешней среды и наличия сложных препятствий. Предлагается структура системы управления, в которой система принятия решений построена на основе многоуровневой системы преобразования информации. Координация элементов такой системы происходит методом восходящего синтеза элементов.

Ключевые слова: интеллектуальный робот, система управления, многоуровневая система преобразования информации, координация.

In this paper presented a new principle of creating the control system of an autonomous mobile robot under the influence of environmental factors and the presence of complicated obstacles. The offered structure of the control system in which the system of decision making is constructed on the basis of multilevel system of converting information. The coordination of elements in such a system is the method of synthesis of the rising elements.

Keywords: intelligent robot, control system, multi-system conversion information, coordination.

Вступ. Останнім часом все більшого розповсюдження знаходять мобільні роботи, які замінюють людину в умовах, небезпечних для її здоров'я, при виконанні монотонних, утомливих робіт, виступають як ігрові партнери і т. ін.

Найважливішою складовою частиною усіх сучасних роботів є система чуттєвості, у завдання якої входить сприйняття інформації про стан зовнішнього середовища та її обробка, що забезпечує розпізнавання роботом об'єктів та перешкод, оцінку параметрів та властивості об'єктів і середовища.

На даний час існує багато методів керування роботами на основі добре сформульованих моделей та алгоритмів, що забезпечують впевнене функціонування мобільних роботів відносно знайомих і добре структурованих робочих просторів. При роботі в незнайомому динамічному оточенні мобільний робот повинен вміти адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, реагувати на непередбачувані ситуації і діяти на підставі попереднього досвіду. Таким чином, актуальною є проблема створення системи керування мобільним роботом з елементами штучного інтелекту, який здатний буде приймати рішення у конкретних ситуаціях та автономно виконувати поставлені завдання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Успіхи різних наукових напрямків у розпізнаванні образів та управлінні складними технічними об'єктами впритул підвели людство до створення автономних мобільних роботів (АМР) різного призначення. Існує безліч напрямів, що застосовуються для реалізації подібних систем, штучні нейронні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми, автономне адаптивне управління та інші, а також поєднання різних методів. Відома також технологія, заснована на застосуванні адаптивного методу МГУА, ефективно показала себе при вирішенні інтерполяційних задач штучного інтелекту, ідентифікації нелінійних систем, класифікації образів, прогнозування та багатьох інших застосуваннях [1-3]. Незважаючи на безліч вдалих практичних застосувань, використання цього методу в задачі управління автономними роботами в науково-технічній літературі зустрічається вкрай рідко. Зокрема, відомо застосування поліноміальної нейронної мережі (ПНС) для планування траєкторії руху АМР [4,5] та ітераційного алгоритму МГУА для управління підводним АМР [6] Однак даний метод може бути широко використаний як при реалізації власне систем управління рухом АМР, так і при реалізації інших підсистем АМР, призначених для вирішення супутніх завдань: розпізнавання перешкод і знаходження цільових функцій робота.

Головним недоліком існуючих систем керування є високий рівень затрат на їх розробку. В більшості випадків такі системи доводиться розробляти заново, враховуючи індивідуальні характеристики виконуваних робіт, що безперечно призводить до підвищення їх рівня вартості.

Проблема побудови високоефективних автономних робото-технічних систем призводить до необхідності розв'язку цілого комплексу різноманітних завдань, що звичайними методами вирішити досить складно.

У зв'язку з цим, постає нагальна потреба у пошуку нових підходів до організації систем керування, які б не тільки гарантували необхідний рух робота при виконанні своєї технологічної місії в умовах неформалізованого зовнішнього середовища, але й забезпечували максимально ефективне використання його конструктивних особливостей.

Постановка задачі. Розробити нову інформаційну технологію, що базується на принципі керування мобільним роботом в умовах швидкої зміни умов зовнішнього середовища за рахунок використання засобів штучного інтелекту в багаторівневих ієрархічних системах.

Розв'язання задачі. Розробка систем керування мобільними роботами – складна та довготривала робота. При чому, синтез тієї чи іншої системи, значною мірою залежить від умов використання робота, задач, які перед ним стоять, та виглядом самого робота. Проте, можна виділити наступні основні завдання, що стоять перед розробником АМР:

– виконання цільових завдань;
– навігаційна робота;
– розпізнавання об'єктів;
– оптимальне управління виконавчими елементами;
– накопичення знань і адаптація.

Зауважимо, зазначені завдання представлені укрупнено. Так, наприклад, завдання навігації часто розбивається на локальну і глобальну, включає в себе як короткострокове прогнозування зміни положення об'єктів у просторі, так і довгострокове [7]. Виходячи з цього, було запропоновано наступну структуру керування АМР, що показана на рис. 1.

Дані про об'єкт отримують за допомогою зовнішніх сенсорів, якими оснащений робот, з подальшим їх аналізом

© Квасніков В.П., Зубарєв В.В., Немченко В.В., Пашков С.О., 2012

за рахунок існуючих методів: нейронних мереж, генетичних алгоритмів, індуктивних моделей та їх комбінації.

Основна частина системи керування АМБ – це СПР. Вона відіграє роль "містка" між сенсорами та виконувальними елементами робота. Суть її роботи полягає в генерації команд до СКВЕ, де вказується вектор переміщення, на основі інформації, яка отримується від зовнішніх сенсорів.

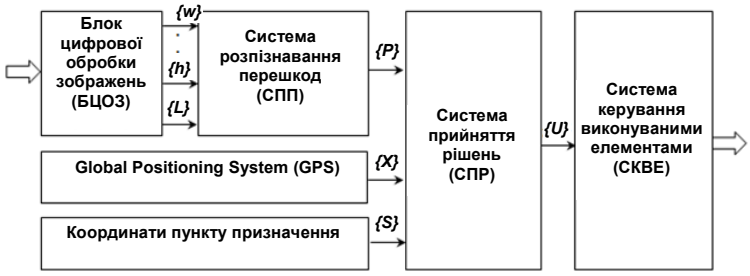


Рис. 1. Структурна схема системи керування АМР
де, *L, h, w* – геометричні параметри об'єкта; *{P}* – множина параметрів об'єкта;
{X} – множина координат положення робота на місцевості; *{U}* – множина керуючих впливів

Пропонується будувати систему прийняття рішень на основі багаторівневої системи перетворення інформації [8,9]. Прикладами застосувань таких систем можуть слугувати системи, описані в роботах [9, 10, 11].

Багаторівневі системи прийняття рішення дають нам в руки достатньо дієвий спосіб організації керування в робототехніці. В якості ілюстрації можна навести проблему переміщення робота. Питання переміщення по заданій траєкторії вже розглядалося не раз і є добре відомим. Але у випадку зміни оточуючого середовища, чи наявності складних перешкод, де пересування робота є ускладненим, задача з переміщення робота постає у новому світлі.

Для прийняття рішення будується дворівнева структура (рис. 2), в якій останній рівень "вирішує", в яку сторону переміщуватися. Отриманий вектор передається до системи керування виконуваними об'єктами, де вже відбувається генерація серії керуючих команд до рухомих частин робота.

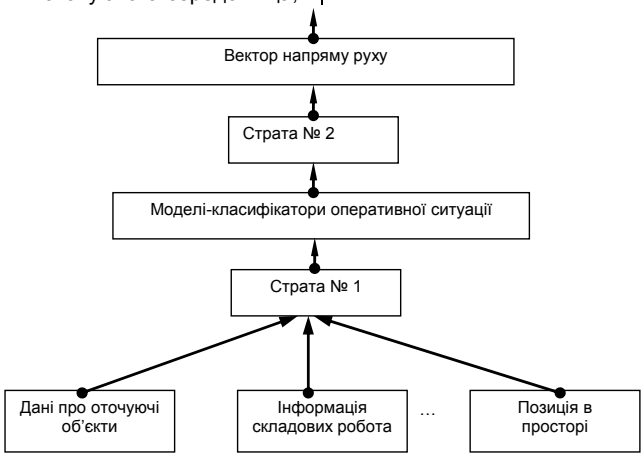


Рис. 2. Структура підсистеми перетворення інформації

Основною задачею, яку приходиться розв'язувати при створенні багаторівневих систем перетворення інформації є координація взаємодії елементів їх складної структури [12].

Розглянемо ієрархічну систему з так званою пірамідальною структурою. Прикладом системи з пірамідальною структурою є система, зображена на рис. 3 [12].

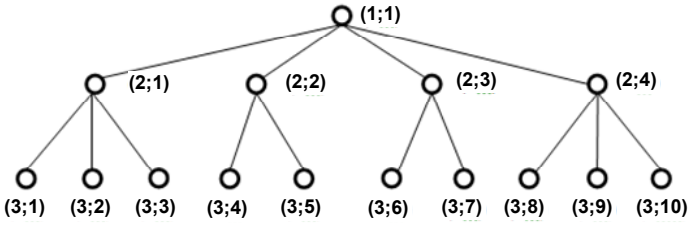


Рис. 3. Приклад системи з пірамідальною структурою

Нехай загальна кількість рівнів у системі дорівнює L (для системи на рис.4 L=3). На l –му рівні, $l \in [1:N]$ наявні N_i елементів, причому на найвищому, першому рівні наявний лише один елемент $N_1 = 1$ (для даного прикладу $N_2 = 4$, $N_3 = 10$). Позначимо i -й елемент l -го рівня через l, i.

Елементи всіх рівнів, починаючи з другого, належать до одного елемента верхнього рівня.

Отже, для елемента l, i можна ввести множину індексів елементів l 1-го рівня, що належать до елемента l, i. Позначимо ці множини через J_{li} , $l \in [1:L-1]$. Множини J_{li} мають такі властивості:

$$\bigcup_{i \in [1:N_l]} J_{li} = [1:N_{l+1}]; J_{li_1} \cap J_{li_2} = \text{ø} \text{ при } i_1 \neq i_2 \quad (1)$$

(в даному випадку $J_{11} = \{1;2;3;4\}; J_{21} = \{1;2;3\}; J_{22} = \{4;5\}; J_{23} = \{6;7\}; J_{24} = \{8;9;10\}$).

Нехай $x_{li}, l \in [1:L], i \in [1:N_l]$ – вектор, що характеризує стан елементу l, i, $F_{li}(x_{li})$ – вектор показників цього елемента, який передається на верхній рівень, а $\Phi_{li}(x_{li})$ – векторний критерій елемента.

Взаємозв'язок між елементами різних рівнів задається відношенням:

$$x_{li} = \{F_{l+1}, j \in J_{li}\}, l \in [1:L-1], i \in [1:N_i] \quad (2)$$

(в даному випадку $x_{11} = \{F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{24}\}$, $x_{21} = \{F_{31}, F_{32}, F_{33}\}$ і т.д.). Отже, стан елемента l, i визначається спільним вектором показників елементів нижнього, l 1-го рівня, які належать до елемента l, i.

Тепер зупинимося на обмеженнях, які мають задовольняти вектори x_{li} .

Для елементів найнижчого, L-го рівня обмеження записуються у вигляді

$$x_{L^i i} \in X_{Li}, i \in [1:N_L], \quad (3)$$

де X_{L^i} – деяка множина.

Для $l \in [1:L-1]$ вектори x_{li} повинні задовольняти обмеження:

$$x_{li} \in X_{li} = X_{li}^1 \cap X_{li}^2, \quad (4)$$

де

$X_{li}^1 = \left\{ x_{li} = \left\{ F_{l+1j}, j \in J_{ji} \right\} \middle| F_{l+1j} = F_{l+1j}(x_{l+1j}); x_{l+1j} \in X_{l+1j} \right\}$;

$X_{li}^2 = \left\{ x_{li} \middle| H_{li}(x_{li}) \geq b_{li} \right\}$; $H_{li}()$– вектор функції; b_{li} – вектори.

Глобальна цільова функція системи збігається з цільовою функцією елемента першого рівня і має вигляд

$$H_{11}(x_{11}) \to \max \ . \quad (5)$$

Отже, задача координації – це задача (2) – (5) [12].

Окрім описаної вище ієрархічної системи з пірамідальною структурою, існують системи, в структурі яких зв'язки між елементами ідуть одного до кожного. Таким чином усі елементи нижчого рівня з'єднані з усіма елементами вищого рівня.

Система з такою структурою дозволяє враховувати зв'язки між окремими елементами

Задача координації складної структури підсистеми перетворення інформації може бути вирішена за методом висхідного синтезу елементів структури [11].

Відповідно до даного методу, модель об'єкта певного рівня синтезується за вхідними сигналами на основі отриманої ззовні інформації та з метою забезпечення нормативних значень критерію якості результатів перетворення інформації. Множина сигналів на виході агрегатів нижньої страти визначає структуру алгоритму перетворення інформації (АПІ) верхньої страти.

Функція перетворення інформації та функція управління її якістю виконується окремими підсистемами. Функцією якості АПІ є середнє квадратичне відхилення результатів моделювання від дійсних значень вихідної характеристики, отриманої в режимі калібрування системи.

Як розвиток уведеного М.Д. Месаровичем поняття координуючого сигналу [13], для узгодження міжрівневих взаємодій окремих агрегатів автор [11] пропонує ввести поняття координуючого алгоритму.

Означення. Координуючим алгоритмом m^γ є послідовність дій із узгодження взаємодій локальних АПІ сусідніх страт шляхом висхідного синтезу їх структур.

Означення. Стратегія координації міжрівневих взаємодій γ – це принципи конструювання координуючих алгоритмів.

Задачі перетворення інформації, які вирішуються на нижніх стратах, скоординовані відносно глобальної задачі системи шляхом забезпечення виконання умови [11]:

$$(\exists \gamma)(\exists x)\left[P(x, D_i(\gamma)), \& P(\pi_\Delta(x), D_n)\right], \quad (6)$$

де γ – стратегія координації взаємодії одношарових моделей мікрострати; x – вхідні сигнали; $D_i(\gamma)$ – множина задач перетворення інформації, які вирішуються локальними АПІ відповідно до стратегії g; D_n – глобальна задача.

Система багаторівневого перетворення інформації координована, якщо існують стратегії координації $\gamma \in \Omega$, які забезпечують висхідний синтез координуючих алгоритмів m^γ як γ – оптимальні локальні рішення $m_i^\gamma = \left(x_i^\gamma, u_i^\gamma\right), 1 \leq i \leq n$, такі, що керуючий уплив у вигляді зміни властивостей локальних АПІ, скоординований відносно глобальної мети системи, $m^\gamma = \left(m_1^\gamma, ..., m_n^\gamma\right)$ є глобально оптимальним $m^\gamma = \overline{M}$.

Це означає, що структура системи перетворення інформації буде координованою тоді і тільки тоді, коли існує оптимальна координуюча стратегія. В якості оптимальної координуючої стратегії запропоновано використати процес висхідного синтезу локальних АПІ за допомогою нейронних мереж. Зміна властивостей локального АПІ реалізується шляхом синтезу нової моделі, характеристики якості якої відповідають нормативним. При зміні властивостей локального АПІ нижньої страти відбувається синтез нових АПІ для вищих страт.

Висновок. В даній статті запропоновано інформаційну технологію побудови системи керування автономним мобільним роботом за рахунок використання засобів штучного інтелекту в багаторівневих ієрархічних системах.

Система керування будується за рахунок формування дворівневої ієрархічної структури, яка складається з моделей, побудованих за рахунок нейронних мереж, яка, приймаючи дані про оточуючі предмети, генерує подальший вектор напряму руху.

Описаний принцип побудови системи керування мобільним роботом дозволяє поглянути на неї з точки зору теорії ієрархічних систем, в яких глобальна задача керування розкладається на множу локальних підзадач, вирішення яких не викликає труднощів.

Такий підхід є досить новим, тому заслуговує на більш детальний розгляд і подальше дослідження.

1. Inductive Method Permitting to Choose Model with Least Error and Least Bias Allowing the Solve Interpolation Tasks of Artificial Intelligence / A.G. Ivakhnenko, E.A. Savchenko, G.A. Ivakhnenko et al. 2. Kondo T. GMDH Neural Network Algorithm Using the Heuristic Self-Organization Method and Its Application to the Pattern Identification Problem // Proc. of the 37th SICE Annual Conf., July, 1998. – P. 1143-1148. 3. Ivakhnenko A G., Ivakhnenko G.A. The Review of Problems Solvable by Algorithms of the Group Method of Data Handling // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1995. – p. 527-535. 4. Philip Chen C.L., Ahmed F. Polynomial Neural Networks Based Mobile Robot Path Planning // Proc. of SPIE Conf. "Applications of Artificial Intelligence". – 1993. – P. 320-326. 5. Ahmed Philip Chen CJL. An Efficient Obstacle Avoidance Scheme in Mobile Robot Path Planning using Polynomial Neural Networks // Proc. of the IEEE National Aerospace and Electronics Conf. – 1993. – 2. – P. 848-850. 6. Nonliner Control for Autonomous Underwater Vehicles Using Group Method of Data Handling / T. Ko- bayashi, K_ Onji, J. Imae et al. // Proc. of Intern. Conf. on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea, 2007. – p. 695-700. 7. Foka A.F., Trahanias P.E. Predictive Autonomous Navigation // Proc. of IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robots and Systems. – 2002. – 1. – p. 490-495. 8. Немченко В.В. Багаторівневі системи прийняття рішення в робототехніці / В.В. Немченко // "Обробка сигналів і негаусівських процесів": науково–практична конференція: тези доп. – Ч.: ЧДТУ, 2011. – С. 211-212. 9. Голуб С.В., Немченко В.В., Нечипоренко В.Ю. Формування дублюючих рівнів в ієрархічних структурах автоматизованих систем багаторівневого перетворення інформації // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2011. – №9. – С. 294–297. 10. Голуб С.В., Сисоєнко Н.В., Немченко В.Ю. Інформаційна технологія соціогігієнічного моніторингу // Обчислювальний інтелект (рузультати, проблеми, перспективи). – 2011 – С. 297. 11. Голуб С.В. Координація взаємодій локальних агрегатів в структурі систем багаторівневого перетворення моніторингової інформації / С.В. Голуб // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 6(136). – Частина 1. – С. 325-329. 12. Алиев Р.А. М.И. Методы и алгоритмы координации впромышленных системах управления / Алиев Р.А., Либерзон М.И. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с., с.130. 13. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем /М.Месарович, Д.Мако, И.Такахара. – М.: Мир. – 1973. – 344с.

Надійшла до редколегії 10.09.12

УДК 681.3

С.В. Лєнков, д-р техн. наук, проф., Ю.О. Гунченко, канд. техн. наук, В.О. Осипа, канд. техн. наук, доц., В.Н. Цицарєв, канд. техн. наук, доц.

АНАЛІЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ СКЛАДНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Розроблено алгоритм розрахунку показника ремонтопридатності складного технічного об'єкта з урахуванням ієрархічної конструктивної структури. Запропоновано методику оптимізації конструктивної структури об'єкта за критерієм ремонтопридатності.

Ключові слова: ремонтопридатність, елементи, структура, об'єкти.

Разработан алгоритм расчета показателя ремонтопригодности сложного технического объекта с учетом иерархической конструктивной структуры. Предложена методика оптимизации конструктивной структуры объекта по критерию ремонтопригодности.

Ключевые слова: ремонтопригодность, элементы, структура, объекты.

The algorithm of calculation of index of repairabiliti of difficult technical object is worked out taking into account a hierarchical structural structure. Methodology of optimization of structural structure of object is offered on the criterion of repairabiliti.

Keywords: repairabiliti, elements, structure, objects.

Вступ. Згідно [1] під *ремонтопридатністю* (РП) розуміється властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до підтримки й відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування й ремонту. Поняття РП прийнято розглядати як часткова властивість більш загального поняття надійності об'єкта. У якості кількісних показників для оцінки РП найбільше часто застосовуються ймовірність відновлення за заданий час і середній час відновлення.

Властивість РП особливу важлива для складних технічних об'єктів, характерними ознаками яких є:

- велика кількість у складі об'єкта різнотипних комплектуючих елементів (механічних, електромеханічних, радіоелектронних і т.д.);
- ієрархічна конструктивна структура (наприклад, об'єкт може складатися із шаф, шафи – із блоків, блоки – з комірок і т.д.);
- складна надійнісна структура об'єкта (у більшості випадків, послідовно-паралельна).

Розглянуті об'єкти належать до класу відновлюваних об'єктів і призначені, як правило, для тривалої експлуатації. У випадку відмов проводиться поточний ремонт (заміна тих або інших конструктивних елементів). Під час поточного ремонту застосування об'єкта за призначенням переривається й система, у якій застосовується об'єкт, зазнає втрат (часові й вартісні). Чим вище (краще) РП об'єкта, тим меншими будуть ці втрати.

Основними факторами, що впливають на РП таких об'єктів, є:

- характеристики системи технічного діагностування (СТД) об'єкта;
- пристосованість конструкції до виконання операцій по заміні окремих конструктивних елементів.

У статті запропонований алгоритм розрахунку показників РП об'єкта з урахуванням параметрів його конструктивної структури й методика аналізу й оптимізації конструктивної структури за критерієм РП.

Розрахунок показників РП об'єкта. Як показник РП приймемо "середній час відновлення", величина якого визначається за формулою [2]:

$$T_в = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} p_i \tau_i \,, \qquad (1)$$

де $T_в$ – середній час відновлення об'єкта; N – число елементів об'єкта; p_i – імовірність відмови і-*го* елемента ($i = \overline{1,N}$); τ_i – середній час відновлення і-*го* елемента.

У загальному випадку ймовірності p_i залежить від тривалості експлуатації об'єкта $T_э$ й визначається за формулою:

$$p_i = \frac{n_i(T_э)}{N} = \frac{1}{N}\int_0^{T_э} \omega_i(t)dt \,, \qquad (2)$$

де $\omega_i(t)$ – параметр потоку відмов і-*го* елемента; $n_i(T_э)$ – середнє число відмов і-*го* елемента протягом часу експлуатації $T_в$.

Імовірності p_i повинні задовольняти умові $\sum_{i=1}^{N} p_i = 1$.

У формулі (1) ніяк не враховується конструктивна структура об'єкта, і поки не ясно, як конструктивна структура впливає на показник РП.

© Лєнков С.В., Гунченко Ю.О., Осипа В.О., Цицарєв В.Н., 2012