

УДК 004.896

# ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПОВЕДІНКИ КОГНІТИВНОГО РОБОТА НА ОСНОВІ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ

К.т.н. О.А. Левтеров<sup>1</sup>, Ю.А. Нечитайло<sup>2</sup>, О.Г. Степанова<sup>2</sup>

1. Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

2. Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*У статті описані принципи побудови інтелектуальних гібридних систем мобільного робота. Проведено аналіз проблем, пов'язаних зі швидкістю інтелектуальних модулів в режимі реального часу. Запропоновано підхід вирішення даної проблеми із застосуванням генетичних алгоритмів і нечітких часових рядів.*

*В статье описаны принципы построения интеллектуальных гибридных систем мобильного робота. Проведен анализ проблем, связанных с быстротой интеллектных модулей в режиме реального времени. Предложен подход решения данной проблемы с применением генетических алгоритмов и нечетких временных рядов.*

*In article the principles of creation of intellectual hybrid systems of the mobile robot are described. The analysis of the problems connected with speed of intelligent modules in real time is carried out. Approach of the solution of this problem with application of genetic algorithms and indistinct temporary ranks is offered.*

**Ключові слова:** робототехніка, інтелектуальний мобільний робот, гібридна система

Сучасну діяльність людини важко уявити без використання різних автоматичних і автоматизованих пристроїв. Такі пристрої набувають все більшого поширення у всіх сферах людської діяльності – від побутової техніки до складних систем управління виробничими процесами.

Як відомо, автоматичні та автоматизовані пристрої складаються з апаратної частини і системи управління. Традиційно системи управління конструювалися на основі математичних моделей об'єктів управління та їхньої поведінки в середовищі функціонування.

Робототехніка є науковою і практичною областю, яка займається дослідженнями, розробкою і виробництвом роботів різного типу та призначення (промислових, дослідницьких, сервісних, домашніх та ін.). Когнітивна робототехніка є гілкою робототехніки, яка забезпечує роботу інтелектуальну поведінку і когнітивні здібності за рахунок спеціальної архітектури системи управління, яка дозволяє йому вчитися і робити ментальні висновки про те, як організувати свою поведінку у відповідь на складні цілі в складних середовищах. Ця архітектура повинна забезпечити роботу взаємодію з середовищем і поведінку у відповідності з цілями, які можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми. Зовнішні цілі зазвичай задаються оператором, а внутрішні – формуються самим роботом відповідно із закладеними в нього критеріями. Якщо робот здатний ставити цілі сам, він вважається автономним. Автономний інтелектуальний робот може навчатися в процесі роботи і за рахунок цього

адаптуватися до змін середовища. Когнітивні здібності пов'язані також з можливістю планування дій, передбачення їхніх наслідків, організації взаємодії з іншими роботами і людьми, тощо. Розвиток когнітивної робототехніки стався на шляху вдосконалення інтелектуальної робототехніки на основі нових психологічних і нейрофізіологічних розробок. Стартовою точкою такого розвитку було вивчення здатності до пізнання у тварин. Результати такого вивчення дозволили розробити обчислювальні алгоритми і засоби для моделювання пізнання в роботах. Передбачається, що робот, який володіє здібностями пізнання, повинен раціонально діяти в реальному світі, використовуючи побудовану ним модель цього світу і закладені або придбані правила поведінки в цьому світі. Ці примітивні інспіровані ідеями когнітивної науки і нейронауки.

В даний час прийнято, що когнітивний робот повинен демонструвати:

- знання, переконання, переваги, цілепокладання, наміри;
- атрибути мотивації, такі як спостереження, передбачення, ревізію переконань, планування, комунікації;
- здатність функціонувати в реальному світі і безпечно взаємодіяти з об'єктами цього світу, включаючи маніпуляції цими об'єктами і переміщення.

Навчання є головним засобом, що забезпечує здатність робота функціонувати в мінливому реальному світі. Поширена техніка навчання – імітація спостережуваної поведінки. Для цього робот повинен бути забезпечений сенсорами, потрібними для виконання людських завдань, моніторингу людини, що виконує завдання, а також засобами запам'ятовування і відтворення дій людини. У сучасному варіанті використовуються сенсорні системи, здатні створювати тривимірне уявлення середовища і розпізнавання об'єктів в ньому. Головне завдання робота – інтерпретувати сцену і розуміти, які об'єкти потрібні для вирішення поставленого завдання. Більш складна техніка навчання заснована на методах автоматичного вилучення знань в процесі функціонування робота і взаємодії з середовищем. Використовуючи таку техніку, можна намагатися вирішити і найбільш важке завдання розкриття своїх здібностей самим роботом.

Раціональна поведінка робота, що приводить до ефективного досягнення мети і, зокрема, до цілеспрямованого функціонування в складному мінливому середовищі вимагає штучної еволюції, наприклад, в плані розширення набору когнітивних функцій. Формальна математична або комп'ютерна імітаційна модель еволюції повинна мати певну універсальність. У цьому випадку її можна використовувати не тільки за прямим призначенням,

тобто для дослідження самого процесу, а й при дослідженні інших подібних процесів, а також при розробці ефективних робототехнічних пристроїв і систем управління складними економічними, господарськими та іншими комплексами.

Яскравий приклад творчого запозичення ідей теорії біологічної еволюції і використання їх у небіологічних областях – вибуховий характер розвитку так званих еволюційних обчислень, еволюційного дизайну і еволюційної робототехніки [1, 2]. Зараз це дуже велика, розгалужена область прикладних обчислень, що безперервно розвивається і охоплює генетичні алгоритми, генетичне програмування та інші типи еволюційних схем.

В останні роки все більш широке поширення набувають системи управління, чії принципи функціонування відносяться до області роботи зі знаннями – до штучного інтелекту. До систем такого роду відносяться експертні системи, штучні нейронні мережі, системи з підкріплювальним навчанням, системи на основі нечіткої логіки, і т.п. в цій області. До підходів, що розвиваються, також відноситься оригінальний підхід, званий методом автономного адаптивного управління (ААУ) [1].

Методологія ААУ дозволяє створювати адаптивні системи управління для додатків, в яких створення точних математичних моделей об'єкта управління ускладнене або неможливе. Використовуючи підсистеми, що входять до складу системи ААУ (блок датчиків, виконавчі органи, систему формування і розпізнавання образів, базу знань, систему моделювання емоцій, блок прийняття рішень), система ААУ накопичує емпірично знайдені знання про властивості об'єкта управління і знаходить спосіб керувати ним. Підсистеми організовані у вигляді структури, загальної для всіх систем ААУ. Справжня робота присвячена системам ААУ на основі мереж нейроподібних елементів за допомогою застосування генетичних алгоритмів.

Для реалізації інтелектуальних алгоритмів управління першочерговим є завдання поточної ідентифікації ситуації, в якій знаходиться робототехнічна система. Для вирішення цього завдання використовуємо структурну схему системи ситуаційної ідентифікації (рис. 1).

Блок технічного зору (ТЗ) і сенсорних почуттів призначений для визначення змін стану зовнішнього середовища та подання сенсорної карти середовища для подальшої обробки. Сенсорна карта середовища – це образ ситуації, в якій знаходиться робот в поточний момент часу. Інтервал часу побудови сенсорної карти обирається, виходячи зі специфіки предметної області.

Система ситуаційної ідентифікації (CIS) повинна входити до складу будь-якої інтелектуальної системи управління робототехнічною системою. Інтелектуальний пристрій управління містить в своєму складі базу знань і блок вибору програми управління. Призначення цього блоку – вироблення керуючого впливу для системи електроприводів, що впливають на механічну систему робота.

Хронологічно наступним етапом після планування поведінки може виступати проблема видачі робототехнічній системі команд управління природною мовою. Для створення природно-мовного інтерфейсу найбільш придатним інструментом реалізації є теорія нечітких множин [3].

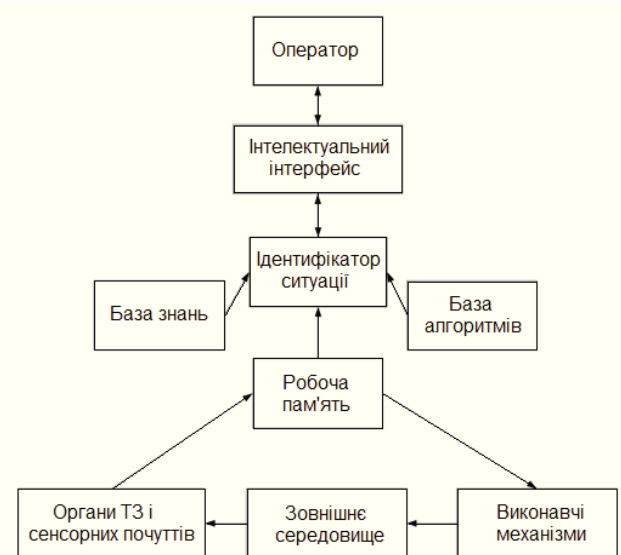


Рис. 1. Структурна схема ситуаційної ідентифікації

За допомогою лінгвістичних змінних, що містять певне, заздалегідь описане терм-множина, проводиться опис предметної області, обмеженої системи команд і об'єктів, які мають вплив на робототехнічну систему і змінюються під його дією. Використовувані при цьому методи фазифікації і дефазифікації, а також алгоритми нечіткого логічного висновку істотно впливають на точність відпрацювання керуючих впливів і швидкість.

Основною перевагою нейронної мережі є відсутність необхідності знати або створювати математичну модель об'єкта, оскільки нейронна мережа є універсальним нечітким аппроксиматором [4].

Об'єкт (робототехнічна система) виступає в ролі «чорного ящика». Нейронна мережа може виступати в якості еталонної моделі керованої робототехнічної системи. Слід зазначити, що це повинна бути багатопшарова нейронна мережа, що навчається (ідентифікатор об'єкта). Нейромережева модель налаштовується на об'єкт управління з неузгодженості вихідних сигналів об'єкта і моделі. Вона ж формує навчальну вибірку для підстроювання і коригування пристроїв управління відповідно до обраного критерію якості.

Евристичний алгоритм пошуку, який використовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію є генетичний алгоритм. Є різновидом еволюційних обчислень [5]. Відмінною особливістю генетичного алгоритму є акцент на використання оператора «схрещування», який виробляє операцію рекомбінації рішень-кандидатів, роль якої аналогічна ролі схрещування в живій природі. Завдання формалізується таким чином, щоб її рішення могло бути закодовано у вигляді вектора генів («генотипу»), де кожен ген може бути бітом, числом або якимось іншим об'єктом. У класичних реалізаціях генетичного алгоритму передбачається, що генотип має фіксовану довжину. Однак існують варіації генетичних алгоритмів, вільні від цього обмеження.

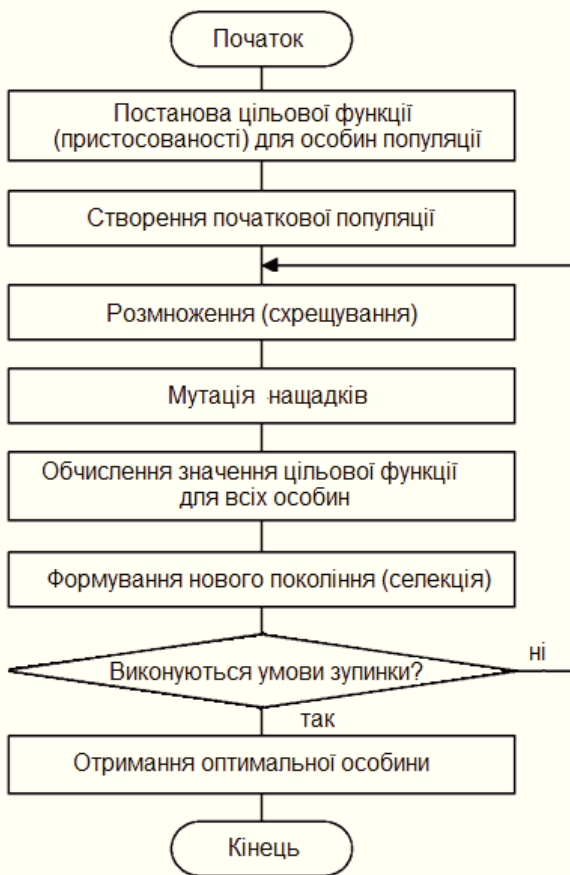


Рис. 2. Узагальнена схема генетичного алгоритму

Робота генетичного алгоритму представляє ітераційний процес, який триває до тих пір, поки не виконається задане число поколінь або будь-який інший критерій зупинки (рис.2). У кожному поколінні генетичного алгоритму реалізується відбір пропорційної пристосованості, одноточковий кроссингвер і мутація.

Спочатку, пропорційний відбір призначає кожній структурі ймовірність  $P_s(i)$ , рівну відношенню її пристосованості до сумарної пристосованості популяції:

$$P_s(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^n f(i)},$$

де  $f(i)$  – пристосованість структури;

$\sum_{i=1}^n f(i)$  – сумарна пристосованість популяції

Потім відбувається відбір (із заміщенням) усіх  $n$  особин для подальшої генетичної обробки, відповідно величині  $P_s(i)$ .

При такому відборі члени популяції з високою пристосованістю з більшою ймовірністю будуть вибиратися частіше, ніж особини з низькою пристосованістю. Після відбору,  $n$  обраних особин випадковим чином розбиваються на  $n/2$  пари. Для кожної пари з імовірністю  $P_s$  може застосовуватися кроссингвер. Відповідно, з імовірністю  $(1 - P_s)$  кроссингвер не

відбувається і незмінені особини переходять на стадію мутації [5]. Якщо кроссингвер відбувається, отримані нащадки замінюють батьків і переходять до мутації.

Для застосування генетичного алгоритму до вирішення завдань автоматичного синтезу систем управління мобільними роботами, необхідна модель хромосоми. У нашому випадку хромосома являє собою закодований спеціальним чином кінцевий автомат. Розглянемо спосіб кодування більш докладно.

Результат кодування – байт-рядок, що задає кінцевий автомат єдиним способом (рис. 3).

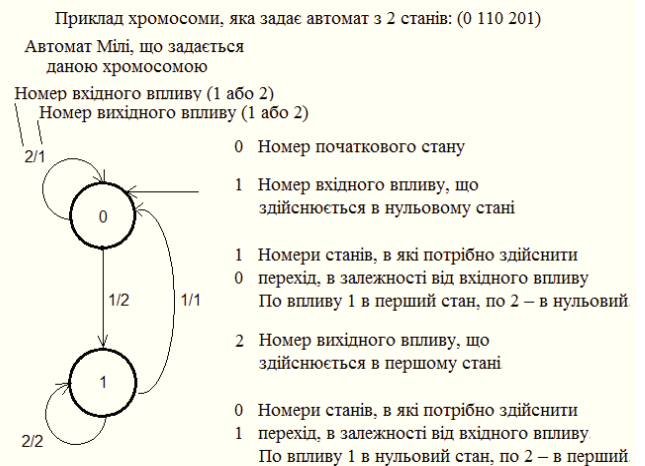


Рис. 3. Приклад кодування хромосоми

Розглянемо подання байт-рядки для кінцевого автомата з  $N$  станів з  $L$  вихідними впливами. Перший байт – номер початкового стану, його значення менше  $N$ . Кожне з станів кодується таким чином: перший байт – номер вихідного впливу (їхати вперед / назад, повертати), потім  $L$  байт – номери станів для переходу по вхідним впливам. Таким чином, на початку байт-рядки йде один байт – номер початкового стану, а потім  $N*L$  байт – опис станів. Отримана модель хромосоми є однією з найпростіших. Це дозволяє ефективно застосовувати оператори схрещування і мутації [6].

Як зазначалося вище, генетичний алгоритм здійснює процес еволюції особин, який схожий на біологічну еволюцію. В ході цього процесу застосовуються два основні інструменти – селекція і схрещування. Для схрещування особин застосовується спеціальний оператор схрещування, завдання якого – створення особин нового покоління на основі особин попереднього покоління.

В якості оператора схрещування застосуємо операцію одноточкового кросовера. Він працює таким чином: генерується випадкове натуральне число  $C$ , менше довжини хромосоми. Потім обидві батьківські хромосоми діляться на дві частини, перша з яких містить перші  $C$  генів, а друга – залишився генотип. Дві дочірні особини виходять шляхом складання нового генотипу на основі частин генотипу обох батьків.

Розглянемо приклад (рис. 4) застосування операції одноточкового кросовера до хромосом А (0110201) і В (1201101).



Рис. 4. Застосування оператора схрещування до хромосом А(0 110 201) і В(1 201 101)

Довжина кожної з хромосом дорівнює семи. Припустимо, що число  $C$  дорівнює чотирьом, тоді перша дочірня хромосома буде складатися з чотирьох перших байт хромосоми  $A$  і трьох останніх хромосоми  $B$ . Друга дочірня хромосома буде складатися з чотирьох перших байт хромосоми  $B$  і трьох останніх хромосоми  $A$ . Частина, якими обмінюються кінцеві автомати, виділені пунктирними лініями.

Оператор мутації здійснює випадкові зміни в генотипі випадкових особин. У нашому випадку, оператор мутації змінює один (випадково обраний) байт в хромосомах п'яти випадкових особин.

Генетичний алгоритм зазвичай застосовується в задачах пошуку вирішення складного, трудомісткого за обчислюванням завдання, найчастіше з величезним числом параметрів.

У двох випадках генетичні алгоритми дуже ефективні. Перший випадок, – коли не відомий спосіб точного рішення задачі. Якщо ми знаємо, як оцінити пристосованість хромосом, то завжди можемо змусити генетичний алгоритм вирішувати цю задачу. Другий випадок, – коли спосіб для точного рішення існує, але він дуже складний в реалізації, вимагає великих витрат часу і грошей, тобто, просто кажучи, справа того не варто. Приклад – створення програми для складання персонального розкладу на основі техніки покриття множин з використанням лінійного програмування.

Застосування такого підходу в інтелектуальних системах робото технічних систем (РТС) дозволяє підвищити ступінь пристосованості автономних мобільних систем до змін навколишнього простору.

Системи ААУ є новим видом нейроподібних систем управління, які застосовують генетичні алгоритми. Оскільки такого роду системи імітують роботу біологічних нервових систем, то дослідження в цій області спираються не тільки на знання теорії управління, розпізнавання, статистики та інших необхідних розділів математичних наук, а й на знання основ нейрофізіології, генетики, біології розвитку. Концепція систем ААУ спирається на уявлення про структуру та функції нервової системи, які логічно вимушено йдуть з тих умов, в яких існують нервові системи. Згідно з концепцією ААУ, така система управління повинна одночасно вирішувати кілька складних завдань, а саме: завдання автоматичної класифікації, розпізнавання, моделювання емоцій, отримання, виведення і подання знань, прийняття рішень і деякі інші. До цих властивостей, які характерні і для

системи ААУ, відносяться: адаптивність, навчання і управління в одному процесі, багатокритеріальність управління, незалежність від математичних моделей об'єктів управління, універсальність, придатність для адаптивного управління різноманітними об'єктами – від технічних і технологічних процесів до соціальних об'єктів.

Система ААУ складається з декількох функціональних підсистем, відповідальних за виконання кожної з перерахованих вище завдань. Саме, це такі підсистеми: блок датчиків, система формування і розпізнавання образів, база знань і система її формування, система прийняття рішення, блок виконавчих органів (актуаторів).

Всі основні підсистеми можуть бути реалізовані на основі мереж спеціальних нейроподібних елементів [7].

Синтез системи ААУ є завданням великої розмірності, вирішити яке аналітично на даному етапі не вдається. Для вирішення цього завдання потрібно знати точну модель взаємозв'язку параметрів, що визначають систему, а також критерії, що характеризують успішність її реалізації. Такі характеристики можна отримати тільки в результаті спостережень за серією експериментів з моделювання поведінки системи. З причини відсутності повної математичної моделі, яка пов'язує параметри, що визначають систему ААУ з критеріями якості її реалізації, завдання синтезу необхідно вирішувати методом підбору параметрів. Одним з найбільш перспективних напрямків, які реалізують метод підбору параметрів, є генетичні алгоритми.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Добрынин Д.А. Адаптивный мобильный робот / Д.А. Добрынин, В.Э. Карпов, Т.В. Мецержакова, С.Н. Степанов // Мобильные роботы и мехатронные системы: Материалы научной школы-конференции, Москва, 21-25 марта 2005. Часть 1. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005., стр. 137-143.
2. Mori H. et al. A hybrid intelligent system for fault detection in power systems. – IEEE, 2002. – Pp. 2138-2143.
3. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А.В. Колесников. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 711с.
4. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы / А.В. Гаврилов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 162 с.
5. Гаврилов А.В. Архитектура гибридной системы управления мобильным роботом / А. В. Гаврилов, В. В. Губарев, К. Х. Джо, Х. Х. Ли // Научный вестник НГТУ, Новосибирск. – 2004. – № 2 (17). – с. 3–13.
6. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
8. Усков, А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А. А. Усков, А. В. Кузьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 143 с.
9. Езупов, Н. Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Н. Д. Езупов. – 2-е изд. – М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 744 с.
10. Hartmann A.K., Rieger H. Optimization Algorithms in Physics. – Berlin: Wiley-VCH, 2002. – 383 с. – ISBN 3527403078.