

УДК 004.934.1'1

К.С. Бабіч, Л.О. Бабіч
Національний авіаційний університет
E-mail: LBabich@espiga.com.ua

КОНЦЕПЦІЯ АВТОНОМНОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Abstract

Babich K.S., Babich L.O. Conception of autonomous intellectual mobile robot. *Conception of autonomous intellectual mobile robot is offered. The expert rules of conduct will be generated by neuron networks, and originative rules will be turn out on the basis of the statistical teaching. The use of category architecture is offered in control system by an intellectual mobile robot.*
Keywords: *neuron networks, intellectual mobot, category architecture.*

Анотація

Бабіч К.С., Бабіч Л.О. Концепція автономного інтелектуального мобільного робота. *Запропонована концепція автономного інтелектуального мобільного робота. Для генерування експертних правил поведінки застосовуються нейронні мережі, а породжуючи правила отримуються за допомогою статистичного вчення. Запропоновано використання категоріальної архітектури системи управління інтелектуальним мобільним роботом.*
Ключові слова: *нейронні мережі, інтелектуальний мобільний робот, категоріальна архітектура.*

Аннотация

Бабич Е.С., Бабич Л.О. Концепция автономного интеллектуального мобильного робота. *Предложена концепция автономного интеллектуального мобильного робота. Для генерирования экспертных правил поведения используются нейронные сети, а порождающие правила получают с помощью статистического обучения. Предложено использование категориальной архитектуры системы управления интеллектуальным мобильным роботом.*
Ключевые слова: *нейронные сети, интеллектуальный мобильный робот, категориальная архитектура.*

Вступ. Інтелектуальний мобільний робот (ІМР) — це технічна система, що здатна автономно, виконувати попередньо поставлені задачі (рухатися до попередньо поставлених цілей) в попередньо невідомому середовищі без допомоги людини. Функціонування ІМР відбувається в умовах невизначеності інформації. Тобто, задачі, що вирішуються інтелектуальним роботом не припускають повноти знань, а сам ІМР повинен мати здатність до упорядкування отриманих даних та знань з виділенням існуючих параметрів, до вивчення на основі позитивних і негативних прикладів навколишнього середовища, до адаптації у відповідності зі зміною множини факторів та знань. Другим критерієм, якому повинен відповідати ІМР, це здатність виконувати завдання, що поставлено не в конкретному вигляді, а в загальному. У такому випадку, роль людини в керуванні інтелектуальним мобільним роботом зводиться лише до постановки задачі.

Аналіз існуючих підходів до побудови інтелектуального мобільного робота. Сьогодні існують різні підходи до побудови мобільного робота з системою автономного мобільного керування. Серед них можна виділити чотири досить різні підходи.

Логічний підхід. Основою для логічного підходу служить Булева алгебра. Свій подальший розвиток Булева алгебра отримала в вигляді числення предикатів у котрому вона розширилась за

допомогою введення предметних символів, відношення між ними, кванторів існування та загальності. Практично кожна побудована на такому принципі система представляє собою машину з доведення теорем. При цьому вхідні дані зберігаються у вигляді аксіом, правил логічного виведення як відношення між ними. Окрім того, кожна така машина має блок генерації цілі, а система виведення намагається довести дану ціль як терему. Якщо ціль доведена, то трасування використаних правил дозволяє отримати порядок дій, необхідних для реалізації поставленої цілі. Такі системи відомі як експертні системи. Потужність такої системи визначається можливістю генератора цілей та машиною доведення теорем. Досягнути більшої виразності логічному підходу дозволяє такий, відносно новий, напрямок як нечітка логіка. Основною відмінністю цього напрямку є те, що істинність висловлювання в ньому може приймати не лише чітких да/ні (1/0), але й проміжних значень, наприклад «не знаю» (0,5).

Структурний підхід. Під структурним підходом мається на увазі побудова ІМР шляхом моделювання структури людського мозку. Однією з перших таких спроб був перцептрон Френка Розенблатта. Основною структурною одиницею що моделюється в перцептроні являється нейрон. Пізніше виникли й інші моделі, які відомі під назвою штучні нейронні мережі (НМ). Ці моделі різняться за будовою окремих нейронів, за топологією зв'язків між ними та за алгоритмами вчення.

Еволюційний підхід. При побудові систем ІМР по даному підходу основна увага приділяється побудові початкової моделі та правилам, за якими вона може змінюватись (еволюціонувати). При цьому, модель може бути побудована найрізноманітнішими способами. Це може бути і НМ, і набір логічних правил, і будь яка інша модель. Після цього, ІМР самостійно відбирає найкращі з них, на основі яких за певними правилами генерує нові моделі. Серед еволюційних алгоритмів класичним вважається генетичний алгоритм.

Імітаційний підхід. Даний підхід являється класичним для кібернетики з одним з її базових понять «чорний ящик». Об'єкт, поведінка якого імітується, як раз представляє собою «чорний ящик», тобто нам неважливо як модель улаштована. Головне щоб наша модель в аналогічних ситуаціях поведила себе в точності як об'єкт. Таким чином моделюється інша якість людини — здатність копіювати те, що роблять інші.

Постановка задачі. Жоден з вищенаведених підходів самостійно не забезпечує ефективність рішення поставлених перед ІМР задач. Необхідно сформулювати структурну схему ІМР, а також запропонувати гібридний підхід до побудови ІМР, де експертні правила поведінки генеруватимуться нейронними мережами, а породжуючі правила отримуються за допомогою статистичного вчення.

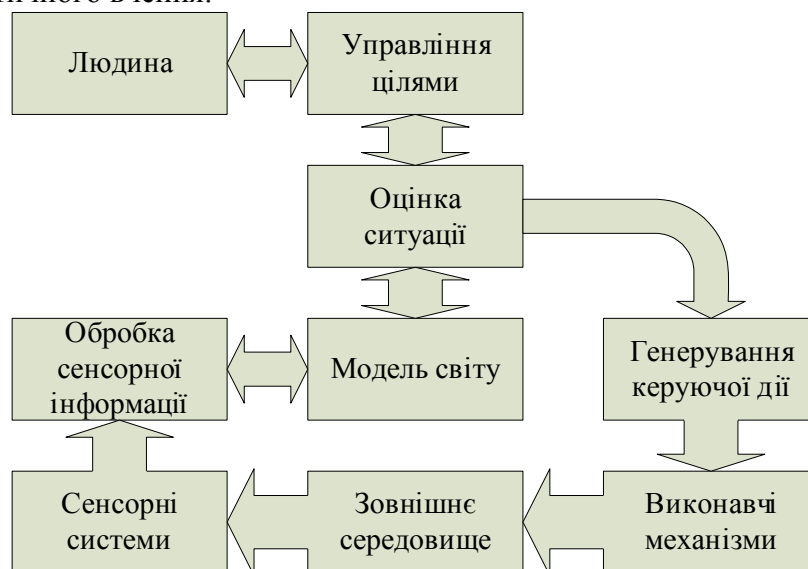


Рисунок 1 — Модель інтелектуального мобільного робота

Рішення поставленої задачі.

Розглянемо запропоновану модель інтелектуального мобільного робота.

У центрі моделі знаходиться модель світу. Модель світу — це база знань про зовнішнє середовище, що може вміщати в собі апріорну інформацію, що вводиться до початку роботи людиною, та апостеріорну, сенсорну інформацію, що здобувається в процесі сприйняття навколишнього середовища при виконанні роботом заданих дій, а також в процесі його спеціальних пізнавальних дій для вивчення цього середовища. Ця інформація може включати в себе опис геометричних та інших фізичних характеристик об'єктів середовища та їх взаємозв'язок. Такий опис має ієрархічну структуру. Оскільки, наприклад, датчики дальньої дії формують карту місцевості на значній відстані від ІМР, а датчики ближньої дії, більш детальний план ближньої частини навколишнього середовища, в якому знаходиться ІМР.

Введення в ці карти (плани) часу, як параметру дає картину зовнішнього середовища в динаміці, з урахуванням взаємодії її об'єктів один з іншим та з ІМР.

Блок обробки сенсорної інформації отримує від блоку моделі світу інформацію про стан навколишнього середовища на момент часу t_{n-1} порівнює з отриманою сенсорною інформацією на момент часу t_n і передає в нього сформовану корекцію моделі світу на момент часу $\Delta t = t_n - t_{n-1}$.

Блок управління цілями — це база даних, що вміщує інформацію про поставлені перед ІМР цілі, виконання та пріоритетність виконання поставлених цілей.

Блок оцінки ситуації та прийняття рішення отримує від блоку моделі світу інформацію про стан зовнішнього середовища, а від блоку управління цілями — інформацію про поставлені та виконані цілі. В результаті оцінки отриманої на відповідність певним критеріям синтезується план управління ІМР для виконання поставлених цілей.

При синтезі плану управління ІМР можуть використовуватися різні методи вирішення задач розроблені в рамках штучного інтелекту, наприклад:

- опошук рішення в просторі станів;
- озведення задачі до під задач;
- орішення в формі доказу теорем.

В задачі блока оцінки ситуації також входить корекція цілей, а також корекція пріоритетів цілей з урахуванням стану навколишнього середовища.

Отриманий план дій ІМР для виконання поставлених цілей передається до блоку генерування управляючої дії, функціями котрого є керування виконавчими механізмами.

Для генерування експертних правил поведінки може бути використана мережа Кохонена. Мережа Кохонена (карта, яка сама організовується) належить до мереж, які при надходженні вхідних сигналів на відміну від мереж, як використовують навчання з вчителем, не отримують інформації про бажаний вихідний сигнал. У зв'язку з цим неможливо сформулювати критерій налаштування, заснований на невідповідності реальних та необхідних вихідних сигналів штучної нейтронної мережі, тому вагові параметри мережі корегують, виходячи з інших міркувань. Усі вхідні сигнали, що пред'являються з заданої навчаючої множини мережа, що самоорганізовується, в процесі навчання розділяє на класи, будуючи так звані топологічні карти.

Мережа Кохонена складається з M нейронів, які утворюють прямокутну решітку на площині — шар. До нейронів, розміщених в одному шарі, що представляють собою двомірну площину, підходять нервові волокна, по яким поступає N -мірний вхідний сигнал. Кожен з нейронів характеризується його розміщенням в шарі та ваговим коефіцієнтом. Положення нейронів в свою чергу характеризується деякою метрикою та визначається топологією шару, при якій сусідні нейрони під час навчання впливають один на одного сильніше, ніж розміщені далі. Кожен з нейронів утворює зважену суму вхідних сигналів :

$$f(x, w) = \sum_{i=1}^N x_i w_{ij}, \quad (1)$$

де $w_{ij} > 0$, якщо синапси прискорюючи і $w_{ij} < 0$, якщо синапси гальмуючі.

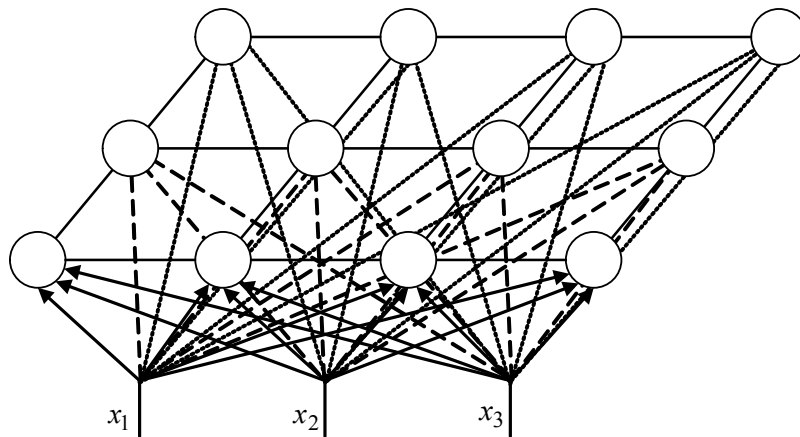


Рисунок 2 — Модель мережі Кохонена

Наявність зв'язків між нейронами призводить до того, що при збудженні одного з них можна обчислити збудження інших нейронів в шарі, при чому це збудження зі збільшенням відстані до збудженого нейрона зменшується. Тому центр виникаючої реакції шару на отримане подразнення відповідає положенню збудженого нейрона. Зміна вхідного навчаючого сигналу призводить до максимального збудження іншого нейрону i , відповідно, до іншої реакції шару.

Замість того, щоб шукати положення нейрона шляхом рішення загальних рівнянь збудження, Кохонен істотно спростив рішення задачі, виділяючи зі всіх нейронів шару лише один c -тий нейрон, для якого зважена сума вхідних сигналів максимальна

$$c = \arg \max_j (x^T w_j), \tag{2}$$

Відмітимо, що досить корисною операцією попередньої обробки вхідних векторів є їх нормалізація

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{\|x\|}, \quad i = \overline{1, N}, \tag{3}$$

що перетворює вектори вхідних сигналів в одиничні з тим же напрямом.

У виразі (3) $\|x\| = \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$.

В цьому випадку внаслідок того, що сума вагів кожного нейрона вхідного шару $\sum_i w_{ij}$ для всіх нейронів цього шару однакова і $\|x\| = 1$, умова (1) еквівалентна умові

$$c = \arg \min_j \|x - w_j\|. \tag{4}$$

Таким чином буде активований тільки той нейрон, вектор ваг якого w найбільш близький вхідному вектору x . Через те, що перед початком навчання невідомо, який саме нейрон буде активуватися під час пред'явлення мережі конкретного вхідного вектора, мережа навчається без вчителя.

Вводячи потенціальну функцію — функцію відстані f_{ij} («сусідства») між i -тим та j -тим нейронами з положеннями r_i і r_j відповідно, монотонно спадаючу зі збільшенням відстані між цими нейронами, Кохонен запропонував наступний алгоритм корекції вагів:

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \alpha(k) f_{ij}(k) (x(k) - w_{ij}(k)), \tag{5}$$

де $\alpha(k) \in (0, 1]$ — змінюючийся у часі коефіцієнт підсилення;

$f_{ij}(k)$ — монотонно спадаюча функція

$$f_{ij}(k) = f(\|r_i - r_j\|, k) = f(d, k) = f(d, \sigma); \tag{6}$$

r_i і r_j — вектора, що визначають положення нейронів i та j в решітці.

При прийнятій метриці $d = \|r_i - r_j\|$ функція $f_{ij}(k)$ зі зростанням часу k прямує до нуля.

Алгоритм налаштування мережі Кохонена.

1. Встановити випадковим чином значення матриці вагових коефіцієнтів $W(t)$.
2. У процесі руху ІМР отримує інформацію від датчиків, а також інформацію про власний стан у вигляді:

$$x(t) = \begin{cases} x_0(t) \\ x_1(t) \\ \dots \\ x_n(t) \end{cases} \quad (7)$$

Знайти вузол мережі, для якого виконується умова $\text{Min}(|x(t) - w_i|)$

3. Знайти коефіцієнт корекції вагових коефіцієнтів:

$$\Delta_{ci}(t) = \eta(t) \cdot e^{-\frac{|r_c - r_i|^2}{\theta(t)}}, \quad 0 < \eta(t) < 1 \quad (8)$$

4. Встановити нові вагові коефіцієнти для кожного вузла мережі, розраховані з урахуванням коефіцієнта корекції вагових коефіцієнтів:

$$w_i(t) = w_i(t-1) + \Delta_{ci}(t) \cdot (x(t) - w_i(t-1)) \quad (9)$$

Після закінчення навчання нейронної мережі, тобто $\eta(t) \rightarrow 0$, відбулася кластеризація вхідних даних, тобто, за допомогою налаштованої мережі класифікуються вхідні дані для визначення ймовірності зіткнення ІМР з перешкодами.

Категоріальна архітектура в системі керування інтелектуальним мобільним роботом. Категоріальна архітектура в системі керування інтелектуальним мобільним роботом представляє собою сукупність об'єктів-обробників призначених для рішення окремих задач. Кожен з таких об'єктів являє собою штучну нейронну мережу, що здатна навчатися без вчителя, яка неперервно перетворює вхідну інформацію в вихідну керуючу дію.

На рисунку 3 представлена запропонована трирівнева категоріальна архітектура управління інтелектуальним мобільним роботом. Кожен з рівнів представляє собою штучну нейронну мережу, що здатна до самонавчання. Ці нейронні мережі працюють асинхронно, але між рівнями архітектури існують зв'язки для обміну інформацією.

Інтелектуальний мобільний робот оснащений дванадцятьма оптичними датчиками ближньої дії (зіткнення), ультразвуковим локатором (датчиком дальньої дії) та системою глобального супутникового позиціонування (GPS).

На найнижчому рівні категоріальної архітектури реалізовано функцію «Запобігти», яка запобігає зіткненню інтелектуального мобільного робота з об'єктами в незалежності від того, чи є вони статичними, чи рухомими. На основі інформації від ультразвукового локатора, а також від оптичних датчиків ближньої дії генеруються наступні керуючі дії:

- втекти;
- обійти — для того, щоб уникнути небезпеки;
- зупинитись — для уникнення зіткнення.

Ця інтелектуальна мережа найнижчого рівня генерує інструкції «зупинитись» та «обійти» для всієї системи. Наступний рівень «Переміщення» визначає спосіб переміщення системи. Рівень «Запобігти» (найнижчий рівень) отримує інструкцію «Напрямою» від рівня «Переміщення» і зв'язує його з результатом роботи рівня «Запобігти». Рівень «Переміщення» використовує цей результат для придушення поведінки більш низького рівня та змушуючи інтелектуального мобільного робота рухатися в напрямку, що близький до заданого, і в той же час запобігати зіткненню з усіма перешкодами. І, нарешті, активізуючись верхній рівень категоріальної архітектури «Дослідження», генерую-

чи інструкції «наліво», «направо», «вперед», «назад», буде придушувати будь-які нові імпульси, що надійшли з рівня «Переміщення».

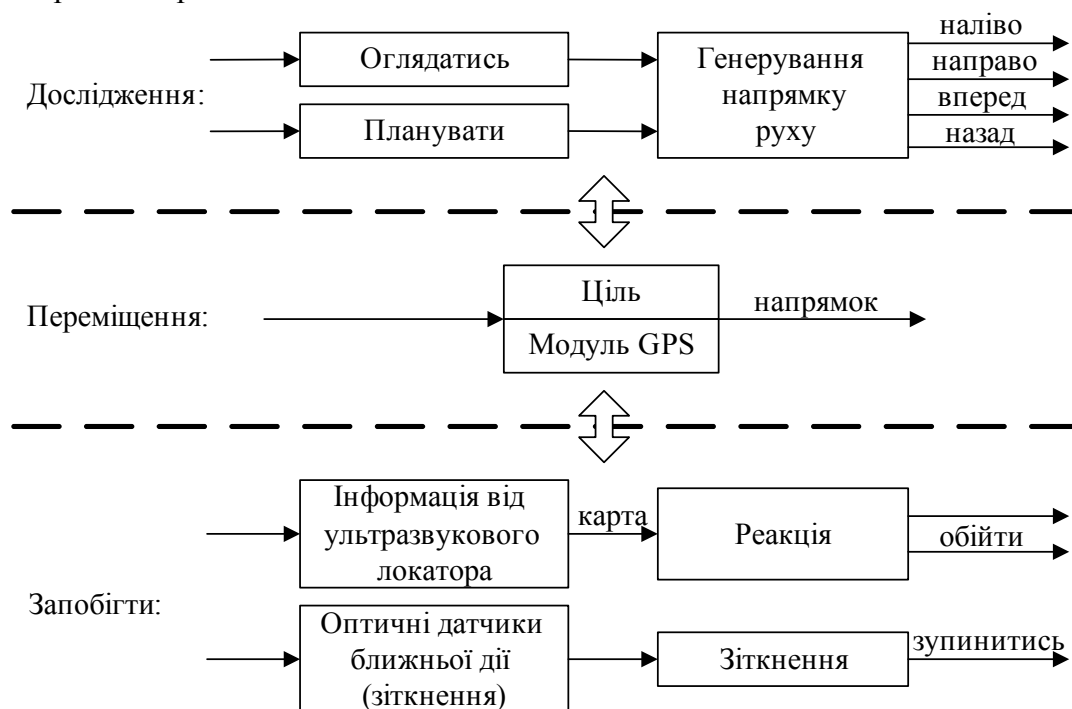


Рисунок 3 — Категоріальна архітектура управління інтелектуальним мобільним роботом

Найвищий рівень «Дослідження» дозволяє вивчити навколишнє середовище інтелектуального мобільного робота. При цьому він оглядає віддалені місця та досягає їх плануючи шлях. Цей рівень здатен подавати інструкції рівня «Переміщення» і спостерігати за тим, як зусиллями нижнього рівня інтелектуальний мобільний робот огинає перешкоди. Він корегує відхилення і фокусує роботу на досягненні цілі, стримуючи блукаючу поведінку, але дозволяючи найнижчому рівню ухилятися від перепон на шляху. При реалізації відхилень, що згенеровані на більш низькому рівні, рівень «Дослідження» генерує керуючу дію планування, щоб знову зорієнтувати систему на досягненні цілі.

Висновок. Запропонована концепція мобільного робота з системою автономного інтелектуального керування з блоком оцінки ситуації реалізованому на основі гібридного підходу з використанням багаторівневої нейронної мережі зі зворотнім зв'язком при вченні та породжуючих правил на основі статистичного вчення. Система керування інтелектуальним мобільним роботом буде реалізована на основі категоріальної архітектури. Подальшим розвитком буде реалізація запропонованої концепції в реальному робото-технічному комплексі та натурних досліджень поведінки ІМР.

Література

1. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. — М.:Наука, 1988.
2. Попов Э.В., Фридман Г.Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта/ — М: Наука, 1976.
3. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники: Введение в специальность. — М.:Высш.шк., 1990.

Здано в редакцію:
19.03.2009р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Чичикало Н.І.