

# Приложение на методите на изкуствения интелект в роботиката Application of artificial intelligence methods in robotics

Румен Трифонов, Галя Павлова

*Технически университет – София, Факултет Компютърни системи и технологии, Бул.  
„Климент Орхидски“ 8, София 1000  
r\_trifonov@tu-sofia.bg*

**Резюме.** Една от интересните области за прилагане на методите на изкуствения интелект е роботиката. В настоящата статия е направен кратък обзор на интелигентните роботизирани системи, архитектура и техните основни характеристики. Описани са и методите (алгоритмите) на изкуствения интелект и машинното обучение (невронни мрежи, генетични алгоритми и други) и задачите, които могат да се решават чрез тях.

**Ключови думи:** изкуствен интелект, машинно обучение, роботика, интелигентно поведение

## УВОД

Реализирането на интелигентен мобилен робот изисква проектиране на физическо тяло, способно да се движи и/или извършва определени действия, да бъде снабдено с различни сензори и да ползва интелигентни алгоритми [1]. Докато сензорната система спомага роботът да опознае своята среда, интелигентните алгоритми му позволяват да планира и да действа съобразно физическите си възможности и да изпълнява поставена му задача.

## ИНТЕЛИГЕНТНО ПОВЕДЕНИЕ

Интелигентното поведение е възможността на една система (интелигентен агент) да постигне определена цел или да поддържа определено поведение в условията на неопределеност дори и в слабо структурирани среди, т.е. среди, в които променливите характеристики не могат да бъдат измерени, където няколко характеристики се променят едновременно и по неочакван начин и

където не е възможно да се определи предварително как системата трябва да отговори на всяка комбинация от събития (например, ситуация, в която един мобилен робот трябва да направи разлика между човек и част от обзавеждането на лабораторията, в която работи, или да открие неизправност, с която системата за диагностика трябва да се справи и т.н.) [2].

Интелигентното поведение се характеризира със следните изключително разпознаваеми характеристики [3, 4]:

- *Адаптивност* – роботът е в състояние да възприема заобикалящата го среда и не само да събира данни от нея, но и я преобразува в знания (и дори мъдрост) за да може да я интерпретира и да модифицира своето поведение като резултат на това възприятие. Средата се характеризира с непредвидими външни промени.

- *Самонаддръжка* - роботът трябва да е в състояние да се поддържа в изправност за да може да работи нормално чрез самодиагностика, превантивна само-

поддръжка и самовъзстановяване чрез реконфигуриране в условията на непредвидени вътрешни промени (дефекти или повреди).

- *Комуникация* с човека (например разбиране на естествения език (разбиране значението на изреченията) на хората и в зависимост от контекста да може да отговаря адекватно) и с други работи и/или оборудване (за да упражнява контрол върху тях, да се отчита, да получава инструкции от тях или да участва съвместно с други системи в изпълнението на целите).

- *Автономност* – трябва да може да работи самостоятелно (до определена степен) от другите системи, включително и човека-оператор.

- *Разсъждение* – да е в състояние да прави изводи от данните/знанията, получени от възприемането.

- *Обучение* (формиране на модели на околния свят) – роботът трябва да възприема и да разбира новия опит за да прави изводи, но когато нещата се повтарят, процесът на обучение трябва да запазва знанията и да ускорява интелигентния отговор. Трябва да може да се обучава също така и от другите агенти или от човека-оператор. И да интегрира тези модели в изграждането на адаптивна и устойчива архитектура.

- *Прогнозиране* - системата е в състояние да предскаже промени в заобикалящата среда, които могат да повлияят на действието на робота

- *Вземане на решение* – роботът трябва да е в състояние да формулира и модифицира подцели, за да могат да се постигнат определените стратегически цели. Трябва също да може да генерира нови полезни концепции, принципи или теории и да може да взаимодейства с част от реалния свят автономно.

## **АРХИТЕКТУРА НА ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ РОБОТИ**

Всеки интелигентен робот се състои от [5]:

- **Изпълнителни органи** – манипулатори, ходова част и други устройства, чрез които роботът може да взаимодейства с околната среда и предметите. Това са сложни технически устройства, които включват серводвигатели, мехатронни части, електродвигатели и др.

- **Датчици** – системи за техническо зрение, слух, осезание, локатори и други устройства, които позволяват да получава информация за околната среда.

- **Система за управление** – това е мозъкът на робота, който приема информация от датчиците и управлява изпълнителните органи. В тази система влизат следните компоненти:

- **Модел на околната среда** – запомня състоянието на обектите и техните свойства, като моделът се изготвя в термини, удобни за съхранение и обработка от робота.

- **Система за разпознаване** – система за разпознаване на образи, реч и др. Задачата на тази система е идентификация на предметите и тяхното положение в пространството, в която роботът оперира. На базата на работата на тази система се изгражда модел на околната среда.

- **Система за планиране на действията** - осъществява «виртуалното» преобразуване на модела на околната среда (последователност от елементарни действия) с цел извършване на определено действие, като обикновено се проверява достигането на поставената цел.

- **Система за извършване на действия** – опитва се да изпълни планираните действия, подавайки команди към изпълнителните устройства и контролира процеса на изпълнението им. Ако изпълнението на планираното елементарно действие е невъзможно, процесът се прекратява и трябва да се направи ново (пълно или частично) репланиране.

- **Система за управление на целите** – определя йерархията, т.е. значимостта и редът на достигане на поставените цели.

Важно свойство на системата за управление е способността за обучение и адаптация, т.е. трябва да може да настройва своето поведение в

съответствие с промяната на околната среда за да може да изпълни поставените цели.

Обща архитектура на управляващата система на робот, основана на знания, е показана на фиг. 1.



**Фиг. 1.** Архитектура на управляваща система на робот

Известни са три типа архитектури за управление на интелигентни роботи: делиберативна (deliberative), реактивна и хибридна. Разликата между тези видове алгоритми е в компонентите за възприемане, планиране и действие [6, 7].

Особеност на делиберативните архитектури е наличието на стъпка на планиране между възприемането и действието, която се определя от глобалната карта средата, създадена на базата на информацията от датчиците. При този тип архитектури не може да се

извърши действие без планиране. Те са йерархични структури с ясно разграничително подразделение на функционалността. Комуникацията и контролът се извършват по предвидим и предварително определен начин нагоре и надолу в йерархията. По-високите нива в йерархията осигуряват подцели за по-ниски подчинени нива. Разчитат силно на символичното представяне на моделите на околната среда.

Реактивната архитектура се основава на рефлексни действия, които придвижват

робота до целта му. Използват се текущите данни от датчика, за да реши какви действия да предприеме робота. Принципът е постепенно да се генерират плавни премествания, които позволяват на робота да достигне целта, използвайки местната информация, наложена от околната среда. При генерирането на отговор се избягва използването на ясно изразени абстрактни представителни знания. При реактивните системи могат да се добавят нови поведения, без да се преосмислят или изхвърлят старите поведения. Това налага все по-сложни системи и софтуер за повторната им употреба.

В хибридната архитектура се комбинира делиберативното планиране на движението с реактивно поведение.

Сравнявайки тези архитектури се вижда, че делиберативните архитектури могат да генерират оптимизирани траектории за робота, т.е. те са високо интелигентни (когнитивни). Те обаче силно зависят от точността и пълнотата на модел на околната среда, скоростта на отговор е пониска. Също така, хибридните архитектури се нуждаят от частично познаване на околната среда, за да осъществят планиране на движението. Реактивните архитектури от своя страна имат по-бърз отговор на динамичните промени в околната среда, не е необходимо предварително да я познават и са много по-прости за изчисление. Те обаче са по-ниско интелигентни (фиг.2).



Фиг. 2. Спектър на системата за управление на робот

## МАШИННО ОБУЧЕНИЕ В РОБОТИКАТА

Целта на обучението в роботиката е роботът да може да се справя в непредвидени ситуации и обстоятелства в заобикалящата го среда (например промяна на терена) или вътрешното му състояние (повреда на задвижването, сензорите, загуба на енергия и др.), т.е. да се адаптира към промени за да работи пълноценно, а също и да оцелее физически. От друга страна обучението дава възможността да се

редуцират междинни структури, необходими за цялостното действие на робота.

Машинното обучение обикновено се класифицира в три категории: обучение с учител (supervised learning), обучение без учител (самообучение) (unsupervised learning) и подсилено (reinforcement learning).

**А. Обучение с учител.** Това е най-разпространения метод за машинно обучение, при който системата се обучава

пинудилнето чрез пример „стимул-реакция”, т.е. прави прогноза на базата на множество от примери. Между входовете и еталонните входни променливи може да съществува някаква зависимост, но тя е неизвестна. При този метод целевата функция се определя така, че да измерва грешката между изхода и обучаващото множество. Кам този метод се отнасят класификация, регресия, ранжиране, прогнозиране и откриване на аномалии.

През последните десетилетия бяха разработени голям брой алгоритми за обучение с учител. Те могат да бъдат категоризирани в няколко основни групи, както е описано по-долу.

- **Методи, основание на използването на невронни мрежи (НМ).** Невронните мрежи намират широко приложение в роботиката, като се използват за разпознаване на образи, класификация, идентификация на димиката на управлявания обект като се отчита динамиката на звената, геометричните размери, силите и моментите, действащи на елементите на системата. Невронната мрежа може да моделира предавателната функция на едно или няколко звена.

Основното предимство на обучението с учител, базирано на НМ е, че те са удобни за използване и не е нужно да се разбира решението много подробно. Например, не е необходимо да има информация за модела на робата – НМ може да бъде обучена да оценява състоянието на робота от входно-изходните данни на робота. Недостатък обаче е, че обучената НМ обикновено трудно може да бъде интерпретирана поради сложната ѝ структура.

Конкументните типове НМ намират приложение при обработка на сензорни данни с цел актуализиране на картата и изучаване на траекториите на роботите. При преодоляване на препятствия се използват рекурентни НМ, обучаващи се чрез техниката на обратно разпространение на градиента. За изследване на околната среда и нейното моделиране се използват също рекурентни НМ, може да се

предсказват входовете на сензорите и на тази основа да се генерират навигационни стъпки като команди към двигателите. За навигация могат да използват също невронни мрежи с размита логика [8, 9].

- **Генетични алгоритми.** Намират широко приложение за решаване на множество задачи, свързани с разпознаване на образи и прогнозиране, а също и в съвременните методи за оптимизация на управлението за настройка на класическите линейни регулатори и нелинейни контролери. Използват се също за планиране на траекторията на движение на многозвенни манипулатори, както и за избор на параметрите на структурата на робота при неговото проектиране – количество на звената, типът на кинематичните връзки и др.

- **Машина с поддържащи вектори (Support vector machine, SVM)** е широко използвана техника за класификация в машинното обучение [10]. Използва се при разпознаване на образи и класификация, разпознаване на ръкопис, идентификация на говор, разпознаване на лица, откриване на дефекти и др. Най-важната идея е, че всички моментни данни могат да се класифицират чрез хиперравнина, ако масивът от данни се трансформира в пространство с достатъчно големи размери. Следователно, SVM първо проектира моментните входни данни в пространство с по-големи размери, а след това разделя пространството с хиперплан сепарация, което не само свежда до минимум грешката при класифициране, но също така максимизира маржа, разделящ двата класа. SVM може да се използва за предотвратяване на преобръщане на робота (запазване на динамичния баланс), както и за достигане до целта, като в зависимост от разстоянието до обекта може да променя скоростта.

- **Обучение без учител (самостоятелно обучение).** Целта на алгоритъм за обучение без учител (надзор) е да се организират данните по някакъв начин или да определи тяхната структура.

Това може да означава групиране в клъстери или намиране на различни начини за разглеждане на сложни данни, така че да изглежда по-прости или по-организирани.

**В. Подсилено обучение.** В роботиката този тип обучение намира приложение за решаване на сложни инженерни задачи, като локализация, манипулация и автономно управление на мобилни роботи при движение по наклон и изкачване по стълби.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направеното сравнение на алгоритмите за машинно обучение се вижда, че различни алгоритми могат да бъдат използвани за решаване на един и същи тип задачи. За да се избере подходящ метод за решаване на определена задача, трябва да се вземат предвид: точността на апроксимация, необходимото време за обучение, линейност на алгоритъма, брой на използваните параметри (влият на поведението на алгоритъма, като толерантност към грешките, броят на итерациите, опциите между вариантите на поведение на алгоритъма), броят на характеристиките (използването на множество характеристики може да блокира някои линейни алгоритми). Някои от алгоритмите правят конкретни предположения за структурата на данните или желаните резултати. Ако се намери такъв, който отговаря на нужди на конкретното задание, той може да даде по-полезни резултати, по-точни прогнози или по-бързо време за обучение.

## Благодарности

Научните изследвания, резултат от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София 2017 г. по проект № 172ПД0001-09

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Arora, „Intelligent Mobile Robotics,“ *A Bimonthly S&T Magazine of DRDO*, Vol. 24 No. 6, 2016.
- [2] G. Rzevski, „Artificial Intelligence in Engineering: Past, Present and Future,“ *Keynote Paper. AIENG95 Conf, Udine, Italy, July, 1995*.
- [3] G. Rzevski, „On Behaviour and Architectures of Autonomous Intelligent Agents: An Engineering perspective,“ in *First International Round-Table on Abstract Intelligent Agents*, Rome, Italy, 25-27 January, 1993.
- [4] R. R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*, The MIT Press, 2000.
- [5] K. M. Hangos, R. Lakner, and M. Gerzson, *Intelligent Control Systems: An Introduction with Examples*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [6] S.F.R. Alves, J.M. Rosario, H. Filho, L. Rincon, R.T. Yamasaki, „Conceptual Bases of Robot Navigation Modeling, Control and Applications, Advances in Robot Navigation, in: Alejandra Barrera,“ 2011.
- [7] D. Nakhaenia, P. Payeur, T.S. Hong, B. Karasfi, „A hybrid control architecture for autonomous mobile robot navigation in unknown dynamic environment,“ *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, p. 1274–1281, 2015.
- [8] J. K. Williams, „Reinforcement learning of optimal controls,“ *Artificial intelligence Methods in the Environmental Sciences*, pp. 297-327, 2009.
- [9] I. Farkaš, T. Malík, and K. Rebrová, „Grounding the meanings in sensor motor behavior using reinforcement learning,“ *Frontiers in Neurobotics*, Tvol. 6, no. 1, pp. 1-13, 2012.
- [10] N. Cristianini and J. S. Taylor, *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods.*, Cambridge, U.K: Cambridge Univ. Press, 2000.