

# ИНДУСТРИЈСКИ РОБОТИ

## АТ- 9 Вештачка интелигенција у оквиру напредних роботских система

### ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА

#### Дефиниција (модерна)

**Вештачка интелигенција** (*машинска интелигенција*) се дефинише као способност емулирања<sup>1</sup> или дуплирања могућности сензорског процесирања и доношења одлука унутар компјутерског система.

#### **Напомене:**

- Интелигентни системи су базирани на примени вештачке интелигенције (*AI-Artificial Intelligence*), што значи да су способни да уче и да се адаптирају у неодређеном или делимично познатом окружењу, односно да се понашају аутономно;
- Интелигентни системи у производним технологијама 21. века подразумевају аутономно понашање, односно машинско учење и могућност адаптације на неодређености у радном окружењу, како би као такви могли да одговоре на све комплексније задатке који им се у индустријским условима намећу.

#### ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА - историјат

##### Кључни догађаји историјског развоја вештачке интелигенције

Период	Кључни догађај
Прапочетак (1937.), Manchester Univ. Велика Британија	<i>Alan Turing</i> , Концепт универзалне рачунарске машине.
Почетак (1943.), Columbia Univ. U.S.A.	<i>McCulloch, Walter Pitts</i> , Модел вештачких неуронских мрежа.
ENIAC-EDVAC компјутери (1941-1945.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>John von Neumann</i> , Manhattan пројекат нуклеарне бомбе.
Хеуристички приступ у тражењу решења (1950.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>Claude Shannon</i> , Програмирање компјутера за шаховску игру.
Први неуро-компјутер (1951.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>Marvin Minsky, Dean Edmonds &amp; John von Neumann</i>
Летња радионица (1956.), Dartmouth College U.S.A.	<i>John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon</i> , Машинска интелигенција, вештачке неуронске мреже и теорија аутомата. Дефинисана област: <i>вештачка интелигенција</i> .
Период уздицања области AI (1956.-1958.), MIT U.S.A.	<i>John McCarthy</i> , <b>LISP</b> – програмски језик. <b>Advice Taker</b> - програм за генерисање решења проблема, нпр. транспорта до аеродрома; први програм базиран на презентирању знања.
Развој вештачких неуронских мрежа, (1960. – данас)	<i>Widrow, Hopfield, Kohonen, Rumelhart&amp;McClelland, Grossberg, Haykin, Kosko</i> , Паралелно дистрибуирано процесирање сигнала.
Теорија <i>fuzzy</i> скупова (1965.-данас) Berkeley Univ. U.S.A.	<i>Lofti Zadeh, Mamdani, Sugeno, Kosko</i> , <i>Fuzzy</i> скупови, логика и алгоритми.
Развој експертних система (ране 1970. до средине 1980.) Stanford Univ. U.S.A.	<i>Feigenbaum, Shortliffe, Leibowitz</i> , DENDRAL, <b>MYCIN</b> , EMYCIN, PROSPECTOR, <b>PROLOG</b> -програмски језик вештачке интелигенције.
Еволутивне стратегије (ране 1970. – данас)	<i>Rechenberg, Holland, Koza, Schwefel, Fogel, Goldberg</i> , Генетички алгоритми и програмирање; Оптимизирано претраживање.

<sup>1</sup> Емулирање - опонашање, имитирање, угледање

## Шта је интелигенција?

**Интелигенција** је способност размишљања, разумевања и учења коришћењем инстинкта, а у 21. веку и вештачких (аутоматизованих) система, са циљем да се решавају проблеми и доносе одлуке.

## Да ли компјутери могу да буду интелигентни и да ли машине могу да мисле?

Одговори на ова питања се налазе у научној (и инжењерској у 21. веку) области која се зове ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА, а биће значајно разматрани у **Интелигентним Технолошким Системима** (ИТС), у трећем семестру МАС-ПРО.

## Интелигентни системи и вештачка интелигенција

Данашњи развој *интелигентних технолошких система* који је оријентисан на: *технолошко препознавање машинских делова, визуелну инспекцију и препознавање објеката, аутономне мобилне роботе*, итд., подразумева да ови системи раде у динамичким, нестационарним ситуацијама расуђивања и процесирања сензорских информација, и то најчешће у реалном времену. Комплексност интелигентних технолошких система није једина тешкоћа коју треба да савладају, јер се често појављују проблеми везани за то да се очит пут реализације решења, од иницијалног до коначног стања, тешко остварује. Зато се од модерних технолошких система захтева кооперативност и фузија многих методолошки дефинисаних процедура базираних на знању, како би се остварило коначно стање, односно циљ, на чијим је основама настала *нанотехнологија*.

НАНОТЕХНОЛОГИЈА није само нови појам у оквиру мултидисциплинарног приступа науци, већ представља потпуно нов начин размишљања у домену научних дисциплина које свој развој заснивају на истраживању и разумевању процеса сведених на ниво атома и молекула. Тако је физичар **Richard P. Feynman** још 1959. године разматрао концепт употребе машина алатки које израђују мање машине алатке (1960. објавио у свом раду „*There's Plenty of Room at the Bottom*”, Engineering and Science, Vol.23, pp.22-36), да би затим те машине израдиле још мање до нивоа атома (**K.Eric Drexler** *Massachusetts Institute of Technology-MIT, Molecular Machinery and Manufacturing With Applications to Computation*, докторска дисертација, 1991.).

Таква машина алатка је *Feynman-ова машина (FM)*, која подразумева обраду високе тачности у нанометарским границама и учешће минијатурних компјутера и наноробота (**K.Eric Drexler**, књига: *Nanosystems-Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, 1992.). Иначе појам *нанотехнологије* је дефинисао **Norio Taniguchi** (1974. у свом раду „*On the Basic Concept of Nano-Technology*”; Proc. Intl. Conf. on Production Engineering - Japan Society of Precision Engineering, Tokyo), сматрајући следеће:

*„Нанотехнологија представља интеграционе производне технологије и машинске системе који користе могућности обраде високе тачности у домену 1 нанометра ( $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ )”.*

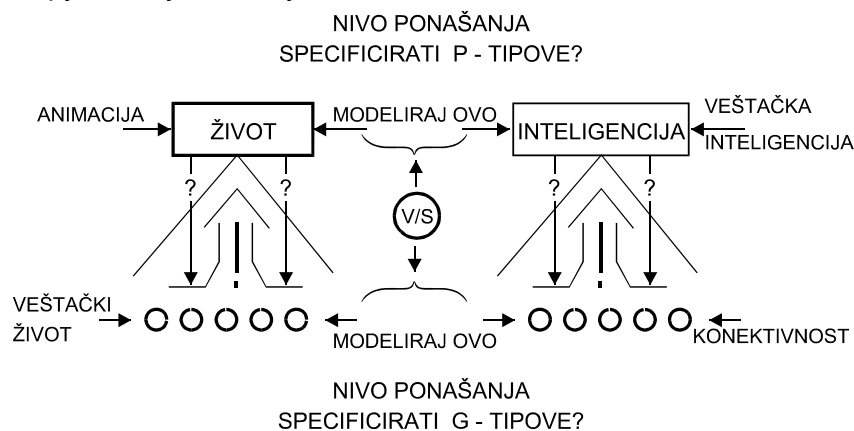
Феномен нанометарске скале постаје референтан за научне дисциплине као што су електроника, машинство, оптика, физика, биологија, и др. Постизање равнотеже између ових дисциплина у нанометарским границама изражава основни проблем, при чему не треба заборавити на време и управљање, јер се при одвијању процеса мора потпуно регулисати сваки параметар, а временски одзив је дат у екстремно кратком интервалу ( $10^{-9}$  до  $10^{-11}$  sec).

Развојем поменутих научних дисциплина у области нанотехнологије, интензивно еволуира и идеја о настанку *вештачког живота*. Вештачки живот представља покушај развоја нове компјутерске парадигме, базиране на природним процесима који се одвијају код живих организама. Од самог почетка вештачка интелигенција тражи могућности изградње аутономних система који су претеча *вештачког живота*, а *инсект робот* као Интелигентни Аутономни Микроробот (ИАМ) припада тој категорији (З.Милковић, књига-монографија). Основу дакле чини интелигенција која је својствена човеку, али може да се користи и у контексту неког вештачког система, тако да важи следећа дефиниција:

*„Интелигентни систем је онај који има богат простор понашања, а одређен је циљевима тог понашања”.*

Вештачка интелигенција је у директној вези са развијеним методологијама за генерисање интелигентног понашања на бази компјутерских парадигми. То значи да вештачка интелигенција користи технологију израчунавања („*computation*“) као модел представљања интелигенције. Посматрано из тог угла, вештачки живот користи технологију израчунавања као алат за истраживање динамике интерактивности информационе структуре.

Како би се суштина *вештачког живота* што боље схватила, потребно је увести два основна појма: *Гено-тип (G-type)* и *Фено-тип (P-type)*. Поједностављено речено G-типови у оквиру машине су дати преко спецификације саме машине. У живом организму G-типови представљају комплексан скуп генетских инструкција записаних у линеарној секвенци на нуклеидној бази, формирајући при томе DNK организма. P-типови се састоје од структуре која се активира у времену, са крајњим циљем извршења паралелних дистрибуираних „израчунавања“, која су управљана скупом генетских инструкција у одређеној средини. Моделирање комплексног система са структуром G-типова и P-типова је дато у оквиру слике у наставку.



#### Моделирање комплексног система-приступ „ОДОЗДО-НАГОРЕ“

Наводе се два блока који се моделирају и то **блок живот** и **блок интелигенција**. Анимација, односно оживљавање структуре на бази специфичних G-типова за организацију вештачког живота представља улаз у блок живот, а с друге стране, у домену интелигенције, динамички модел који описује менталне процесе може да се формира и преко „производних“ правила. Дакле, то је основна структура за формирање ова два блока, између којих на оба нивоа долази до моделирања са повратним везама.

Комплексно понашање које зовемо *живот* има једноставне генераторе, тако да је при креирању *вештачког живота* могуће те једноставне генераторе приступом „ОДОЗДО-НАГОРЕ“ активирати, што је на примеру *инсект робота* до одређеног нивоа разматрано у спроведеним истраживањима (З.Миљковић, књига - монографија). *Инсект робот* подразумева креирање *интегрисаног интелигентног електромеханичког система* који поседује четири основна подсистема: *интелигентни управљачки систем*, *микро-сензоре*, *микро-моторе* и *извор енергије*. То је аутономни мобилни микроробот базиран на интелигенцији (интелигентном понашању) инсекта.

Постоји више могућих приступа при коришћењу техника за креирање *вештачког живота*, које се могу искористити и за програмирање реалних, физички оличених робота. Треба одмах напоменути да постоје и одређени проблеми при трансферу програма развијених за симулацију вештачког живота у извршни облик програма за покретање стварних робота. Такав вид трансфера програма подразумева испитивање дуалности еволуције морфологије организма и нервног система у биологији, са морфологијом и програмском структуром робота. Рад на стварању вештачког живота је развио технике за програмирање и управљање структурама (конфигурацијама) робота креираних симулацијом. На неким од нивоа развоја вештачког живота, један од циљева је и излазак из дигиталног медија у физички оличен систем, што указује и на очит конструктиван сукоб у оквиру области *вештачки живот (Artificial Life)* и *вештачка интелигенција (Artificial Intelligence)*.

Истраживања, спроведена почетком 90-тих година 20. века у Лабораторији за вештачке инсекте (*Artificial Insect Laboratory*) на MIT-у (*Massachusetts Institute of Technology*), под руководством **Prof. Rodney Brooks**-а, указују на могућности коришћења техника за симулацију вештачког живота при развијању програма за управљање физички оличених мобилних робота.

Кључне идеје које су тим истраживањем проверене дате су у наставку:

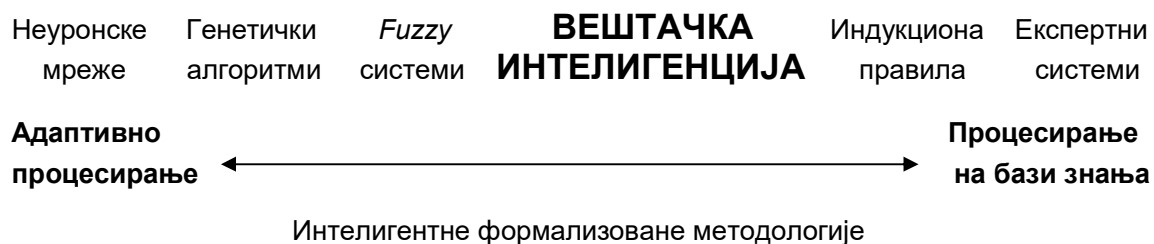
- За изградњу робота који су базирани на понашању према окружењу, користе се технике такозваног генетског програмирања, тада у LISP-у;
- Сви работи захтевају елементе адаптације у реалном времену (*алгоритам емпиријског управљања*, предавање АТ-7);
- Еволуција и адаптација у реалном времену су две потпуно одвојене ставке у концепту;
- Еволуција управљачке структуре треба да тече паралелно са еволуцијом морфологије робота, што значи да се то може симулирати прогресивним укључивањем већег броја сензора и актуатора као што се и нивои понашања развијају према оним нивоима који су већ оперативни;
- Регулаторност морфолошке структуре (нпр. симетрија или понављајући облик структуре) би требало да се огледа у регуларности управљачке структуре, а ова пак треба да буде репрезентативна у оквиру језика за управљање;
- Посебна пажња мора да се посвети приликом пројектовања језика за управљање, да би се минимизирало претраживање по дубини и ширини дрвета (одлучивања), одговарајућег корисничког програма;
- Постоје реалне методолошке опасности при коришћењу симулације као средства за тестирање, јер да би се развили програми који на крају треба да покрену аутономне роботе изузетна пажња се мора посветити развоју режима валидности (подсистем за вредновање).

Нови концепт у роботизици подразумева пројектовање аутономних мобилних микроробота са сензорима, актуаторима, извором енергије и интелигентним управљањем (предавање АТ-7), смештеним и фабрикованим унутар једног силиконског чипа. Тако интегрисан микроробот има одређене предности у поређењу са постојећим роботима, који су пре свега скупи, често гломазни и углавном су им ограничене могућности примене.

## **Интелигентне формализоване методологије и машинско учење**

Развој вештачке интелигенције је директно утицао на интелигентне (технолошке) системе, почевши од развоја сада већ класичних *експертних система*, најчешће преко правила базираних на индукцији, до техника *soft-computing\_a: fuzzy система, генетичких алгоритама и вештачких неуронских мрежа*.

Данашњи тренд развоја интелигентних система помера тежиште ка *адаптивном процесирању информација*, коме превасходно припадају *вештачке неуронске мреже* (З.Миљковић, књиге-монографија и уџбеник, збирка решених задатака), а биће представљене и изучаване у *Интелигентним Технолошким Системима* (ИТС), у трећем семестру МАС-ПРО. У основи свих ових интелигентних формализованих методологија се налази мања или већа способност система да учи.



Седам кључних области развоја и примене вештачке интелигенције су:

- *представљање знања*
- *разумевање говорних језика*
- **УЧЕЊЕ** – *интелигентни робот, технолошко препознавање, ...*
- *планирање – решавање проблема*
- **ДОНОШЕЊЕ ОДЛУКА** – *закључивање*
- **ИСТРАЖИВАЊЕ ОКРУЖЕЊА** – *аутономни мобилни робот*
- **СИСТЕМИ ПРЕПОЗНАВАЊА** – *камера и анализа слике*

## Машинско учење

### Шта је то учење?

У природи, искуство мења стање неког живог организма тако да ново стање функционише боље у истовестној ситуацији. Тај процес се назива учење. Код машинског учења је тај процес формализован кроз математичко-алгоритамске подлоге, тако да се код интелигентних система примењују различите стратегије учења које користе принципе вештачке интелигенције. Дакле, машинско учење укључује адаптивне механизме који омогућавају вештачком систему (нпр. компјутеру, роботу, итд.) да учи на основу искуства, преко примера или на бази аналогije. У зависности од начина закључивања и након тога доношења одлука о акцијама које ће интелигентни систем предузети, извршена је класификација стратегија машинског учења.

Класификација стратегија учења је пре свега заснована на степену закључивања који се тражи код оног који учи, а широко је прихваћена следећа подела на:

- рутинско учење,
- учење на основу инструкција,
- дедуктивно учење,
- индуктивно учење,
- учење на основу аналогije.

Рутинско учење је најнижи ниво машинског учења, као и учења уопште. Овај вид учења се своди на знање које је директно уграђено у интелигентни систем, кроз програмирање или кроз имплементирану једноставну базу података. Никакво додатно процесирање или трансформације података нису потребни да би се систем користио, што практично значи да се овакво учење може поистовестити са „учењем напамет” које је препознатљиво код човековог учења.

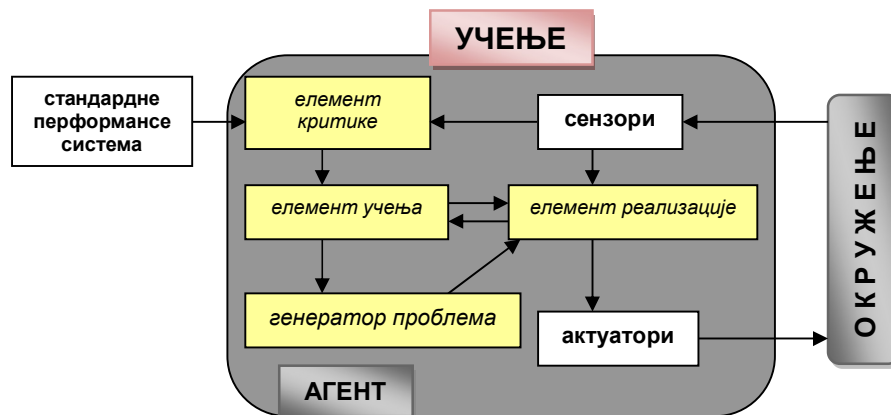
Учење на основу инструкција је засновано на стеченом знању од учитеља или из књиге, а трансформисано је у интерни облик кроз закључке које мора да изведе ученик, строго држећи се датих инструкција.

Дедуктивно учење подразумева да ученик, или систем који је подвргнут учењу, мора да изврши трансформацију знања дедуктивним закључцима, и да кроз реформулацију, компилацију и организационе процедуре дође до истините оригиналне формулације.

Индуктивно учење се своди на класификацију стечених искустава у одговарајуће категорије или концепте. Овај вид учења има много подкатегија, попут учења кроз примере и учења кроз експериментисање. Учење кроз примере укључује процес аквизиције, тако што се описи општег концепта закључивања, кроз скуп примера добијених од учитеља, окружења или преко базе знања самог ученика, прослеђују ученику. Учење кроз експериментисање користи концепт који је довољно генералан да може да објасни многе позитивне примере, тако да ако је извор примера окружење, ученик мора да буде у могућности да изврши експерименте од којих ће добити ваљане одзиве.

Учење на основу аналогije комбинује дедуктивне и индуктивне видове учења. Први корак је везан за индуктивно закључивање, које је неопходно да би се нашла заједничка подструктура између домена проблема који се решава и једног од аналогних домена који су меморисани као егзистирајућа база знања. Следећи корак подразумева пресликавање могућег решења из селектованог аналогног домена у домен проблема преко дедуктивне логике.

За учење се каже да представља резултат интеракција између оног ко учи и спољашњег света-окурења, на основу процеса одлучивања о свакој новој акцији (учи интелигентан агент-прима подстреке из окружења и делује најбољим могућим активностима у датој ситуацији, евалуирајући понашање преко искуства). Према претходно датој подели, могуће је констатовати да се учење своди на широк опсег акција које могу да буду везане понекад и за тривијално меморисање искустава, као и за веома комплексно закључивање (доношење одлука) које је базирано на комбинацији појединих описаних видова учења. У литератури (**S.J.Russell & P.Norvig, Artificial Intelligence – A Modern Approach**) може да се препозна покушај дефинисања општег модела учења, кога најчешће чине четири концепцијска елемента: елемент учења (то може да буде човек, машина,...), елемент реализације, елемент критике и генератор проблема (слика у наставку).



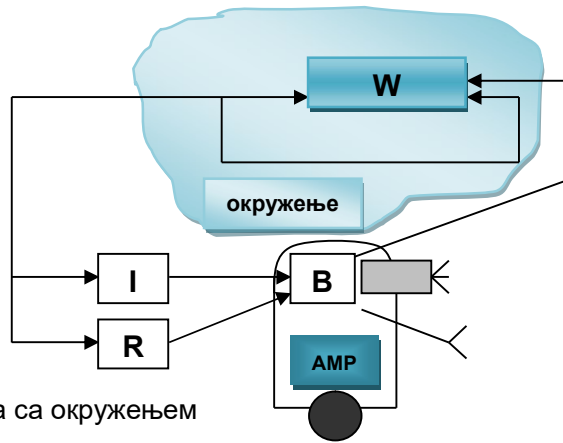
Концепцијски елементи општег модела учења

*Елемент реализације* је одговоран за избор акција, а модификује се у циљу бољег решења у току реализације акција, и то на основу знања и повратних веза које указују како је *елемент учења* реализовао претходни ниво знања. Те повратне везе се добијају од *елемента критике* који користи информације о стандардним перформансама система који учи, како би, на основу сензорске информације о претходној реализацији научног, уопште дошло до модификације *елемента реализације* кроз сталну двосмерну комуникацију са *елементом учења* (промене ↔ знање). *Генератор проблема*, на основу циљева учења, има задатак да предложи нове акције, слично ономе што раде научници када изводе своје нове истраживачке експерименте.

Да би се ови концепцијски елементи општег модела учења довели у везу са конкретном ситуацијом, посматрајмо пример аутономног мобилног робота. *Елемент реализације* се састоји од знања и процедура које аутономан робот поседује при извршавању задатка истраживања окружења: препознавање објеката, кретање у свим правцима, избегавање препрека и слично (пројектни задаци, **Интелигентни Технолошки Системи (ИТС)**, у трећем семестру МАС-ПРО). *Елемент учења* формулише циљеве, као што су учење оптималне путање кретања, учење мапе окружења, учење о томе како заобићи препреку и како избећи колизију са другим аутономним мобилним роботом. *Елемент критике* обезбеђује повратне информације користивши тактилне и визуелне сензоре, и формулише правила која треба да укажу на погрешну акцију робота (нпр. супротан правац кретања робота), а *елемент реализације* се модификује инсталирањем новог знања, кроз двосмерну интеракцију са *елементом учења*. Повремено, *генератор проблема* се активира са предлогом: промени руту кретања и прати ивицу препрека или зида и види да ли је та трајекторија кретања краћа, односно ефикаснија. Практично, *елемент учења* је одговоран за побољшање *ефикасности елемента реализације*.

Дакле, моделирање окружења може да се реализује као детерминистички коначни аутомат чија промена стања зависи од акција Аутономног Мобилног Робота (AMP). Такође је могуће формализовати моделирање окружења као тројку  $\langle S, Q, W \rangle$ , где је  $S$  скуп могућих стања окружења,  $Q$  је скуп могућих излаза од AMP-а ка окружењу (или акција које AMP треба да обави) и  $W$  је функција прелаза, односно пресликавање  $Q$  у  $S$ . Када је у једном тренутку стање окружења фиксирано, AMP се може моделирати као четворка  $\langle T, I, R, B \rangle$ , где је  $T$  скуп могућих улаза од окружења ка AMP,  $I$  је пресликавање од  $S$  ка  $T$  које одређује који улаз AMP прима од окружења када је оно у датом стању,  $R$  је функција појачања AMP-а које пресликава  $S$  у реалне вредности, и коначно  $B$  је понашање AMP-а које пресликава  $T$  у  $Q$ . Процес интеракције AMP-а са окружењем је приказан на слици у наставку. Окружење је у интерном стању ( $S$ ), које утиче на понашање ( $B$ ) AMP-а помоћу улазне функције  $I$  и функције појачања  $R$ , а резултира акцијом AMP-а кроз одговарајући излаз. Тај излаз са старим излазним стањем окружења трансформише окружење у ново стање помоћу функције прелаза  $W$ , што значи да овај интелигентни систем на тај начин учи.

Аутономни мобилни робот је архетипски пример интелигентног агента (система), а као што је показано на слици у наставку, он *организује сопствену интерну структуру у циљу адекватног остварења циљева у интеракцији са окружењем*. Другим речима, он **учи!** Спроведена истраживања (З.Милковић, књига-монографија), имала су намеру да покажу да побољшања у погледу програмирања, флексибилности, ефикасности и вештини аутономног индустријског робота потичу управо од степена развоја и реализације његовог машинског учења.



Интеракција AMP-a са окружењем

Веома је битно увести појмове *супервизорско учење* или „*учење под надзором*“, као и *несупервизорско учење* или „*учење без надзора*“. Код супервизорског учења важи да се и улазна и излазна стања у било којој ситуацији могу одредити, јер су успостављене детерминисане релације између њих. За несупервизорски вид учења важи то да се у току учења не могу одредити коректна излазна стања, тако да се код овог учења морају спознати релације између његових перцепција коришћењем супервизорског метода учења базираног на локалним информацијама и интерним правилима. Несупервизорско учење је познато и као *компетитивно учење* („*competition learning*“).