

## ЛЕКЦИЯ 1.

*Обхват и цел на курса. Няколко дефиниции. Роботите – важен и специфичен клас СИП. Сложност на задачите и несигурност на информацията. Връзка между ТАУ и Изкуствения интелект. Базови архитектури на СИП.*

### 1. НЯКОЛКО ДЕФИНИЦИИ ОТ КУРСА ПО ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

- **Агент** (*от agere – “to do”*): всяка система, която може да възприема информация от външната среда посредством сензори и да изпълнява действия в нея посредством ефектори (изпълнителни устройства). Примери: термостат, софтбоут, робот, мравка, човек. Защо класическият (механичен) часовник не е агент? Агент ли е манипулационната система на робота Пума?
- **Поведение**: Всяка регулярност в динамиката на взаимодействие между агента и средата. Поведението на произволен агент може да зависи от цялата предистория на неговите перцепти  $P^*$  (интерпретирана и структурирана сензорна информация), от множеството възможни негови действия  $A$  и от знанията му за средата в която той действа.
- **Функция на агента**: Поведението на агента може да бъде математически описано като абстрактна функция  $f: P^* \rightarrow A$ , която изобразява последователности от перцепти в съответни негови действия.
- **Програма на агента**: Реализира абстрактната функция на агента в конкретна физическа архитектура.
- **Интелигентно поведение**: характерно за него е възможността да се знае, разсъждава и действа целенасочено. Обикновено то включва перцепция, логически разсъждения, обучаване, вземане на решения и действие.
- **Рационалност**: Идеализирана концепция за *синтетична интелигентност*. Позволява да се избегне “неперфектността” на хората в техните дейности (те често допускат грешки, не всеки взема изпитите си с отлична оценка и т.н.). Представява обосновано очакване за успешно поведение на един агент, при отчитане на ограниченията на сензорната му система и ограничения му репертоар от действия. Да бъдеш рационален означава да извършваш правилни неща (да действаш “подходящо” в дадена ситуация). Припомням, че:

➤ *рационалността ≠ всезнайството, ясновидството, винаги успешното.*

- **Мяра за успеваемост (МУ)**: Да се действа “подходящо” е по-добре отколкото “неподходящо”, но как да се изрази това? – МУ е целочислена функция, *външна за агента*, (възможно да е бинарна), която се използва като обективна оценка за успеха на неговото поведение.
- **Принцип на рационалност**: Избор на такова следващо действие, което ни приближава към зададена цел или към представата ни за нея.

- **Рационален агент, (интелектуален агент, СИП):** За всяка възможна последователност от перцепции, той изпълнява онези действия от своя репертоар, за които се очаква да максимизират неговата МУ.
- **Автономност.** Един агент е автономен в такава степен в каквато неговото поведение се определя от собствения му опит. Ако рационалният агент използва единствено вградените си знания, такива, че да не е необходимо да използва перцепциите си, агентът не притежава автономност.

## 2. РОБОТИТЕ – ВАЖЕН И СПЕЦИФИЧЕН КЛАС СИП

### 2.1. Значимост на роботите.

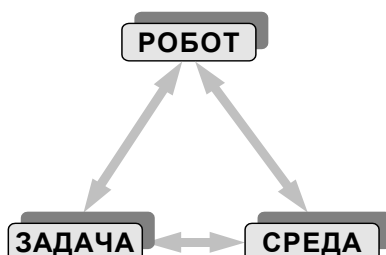
➤ От позицията на горните дефиниции, **роботите** са важен клас агенти – **синтетични физически агенти**, които осъществяват разнообразни поведения в **реални физически среди**. Тези среди обхващат физически обекти и са подчинени на природните закони. Роботите осъществяват **задачи**, като изпълняват **движения** в средата. **Значимостта** им се обосновава от редица фактори, от които ще изтъкна само два:

➤ Несъмнено, **съвременните машини се превръщат в роботи**. “Професиите” на роботите стават трудно изброими - те вече широко навлизат във всички области на индустрията, здравеопазването, сферата на обслужване, образованието, транспорта, строителството, генното инженерство, военното дело, космоса, домашния бит и др.

➤ Роботите са постоянно развиващ се клас агенти и са превъзходен **инструментарий за тестване** на хипотези относно познавателни процеси и експериментиране с архитектури за интелигентно поведение. Не случайно **Роботиката** се определя като научна и инженерна област за **“интелигентна връзка между перцепция и действие”**. Редица нейни резултати са валидни и за “чисто” софтуерни агенти.

### 2.2. Какво е специфично за роботите като клас СИП?

➤ Както за всеки агент, поведението на един робот **не може** да бъде разглеждано и оценявано **независимо** от средата в която той оперира и от задачата, която той изпълнява. **Роботът, средата и задачата** зависят един от друг и взаимно си влияят.



- Много характерен пример за това е *паякът* – изключително гъвкав и способен да оцелява в природата, но напълно безпомощен в тръбите на банята. Един и същи агент може да бъде рационален в една ситуация и некомпетентен в друга. Напълно универсални работи (както и живи същества) няма.
- В този увод ще изтъкнем само *някои основни особености* на роботите като клас СИП, като ги класифицираме в следните три категории:
  - *Манипулационните работи* в момента са най-разпространени в индустрията - много компании биха фалирали без тях. Те обикновено са стационарни и работят в *добре структурирани среди*, Фиг.1.6. В тях действията на работа са почти единственият източник на промяна. Налице е слаба вариативност на това, което се случва и как то се случва. Известно е какво и как трябва да се манипулира, както и разположението на съответните обекти. За организирането на такива среди, обаче, е необходима *предварителна и инженерна подготовка*, инвестициите за която често са по-високи отколкото тези за самите работи.
  - *Автономните мобилни работи* са първите и *най-развити екземпляри на СИП*. В момента вече ясно се очерта се *пазар за тях*.
    - Интересът към изследване и развитие на *автономните мобилни роботи* е продиктуван от нуждата и желанието за работи, които да оперират във *всекидневните среди на хората* (Фиг. 1.1, 1.2) – офиси, болници, музеи и галерии, спортни центрове, търговски и изложбени зали, университети и училища, селскостопански полевы среди, а вече и в домовете. Тези среди, обаче, са *коренно различни* от средите, в които работят индустриалните работи. Те също са структурирани, но специално с мисълта хората да могат да живеят, да работят и да се забавляват в тях. *Те не са проектирани за индустриални работи, а и не бихме искали да бъде така (!)*.
    - От казаното следва, че мобилните работи трябва да са в състояние да оперират в среди с естествена вариативност и несигурност. Това изисква от тях такива *интелектни качества, каквито индустриалните работи не притежават*, и от каквито те не се нуждаят. Към този клас работи се отнасят и *безпилотните въздушни, подводни и изследователски космически апарати*, (Фиг.1.3.a) които оперират в екстремално-сложни среди.
  - ⊕ *Хибридни работи*. Нараства броят на роботите, които представляват мобилни платформи, съоръжени с някакъв вид манипулационни системи. Важен подклас тук са т.н. *хуманоидни работи* (Фиг.1.3 b, произвеждани от Японската корпорация Хонда), физическият дизайн на които е мотивиран от изгледа на човешкия торс.

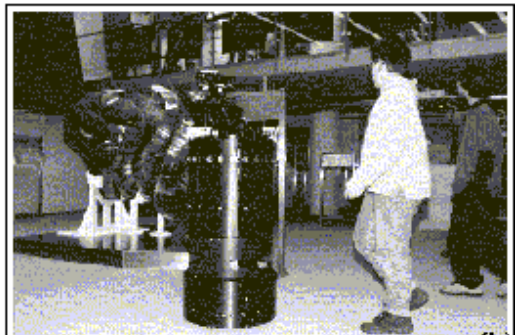
- Разбира се не всички роботи попадат в изброените три групи. Съвременната роботика включва разнообразни *протези и екзоскелетони* (изкуствени крайници и органи, закрепени към човешкото тяло). Тя обхваща и т.н. *интелигентни среди*, в които цяла сграда е снабдена със сензори и ефектори. Тук трябва да се споменат и т.н. *роботи-рояци* – групи от мобилни роботи, които могат да водят координирано и целенасочено поведение за постигане на обща цел. Напоследък, се съобщава и за *модулни самореконфигуриращи се роботи*, за роботи използващи *имунни, емоционални и мотивационни механизми* в своето поведение. Не е изненадващо, че роботи се използват и за *артистични работи* (роботът музикант Vabot).
- Подразбира се, че тук не е възможно да посочим всички екземпляри на роботи. Извън съмнение, обаче, е едно:

РОБОТИКАТА е *забележителна научна и инженерна област*, която създава полезни машини и несъмнено хвърля светлина върху въпроса:

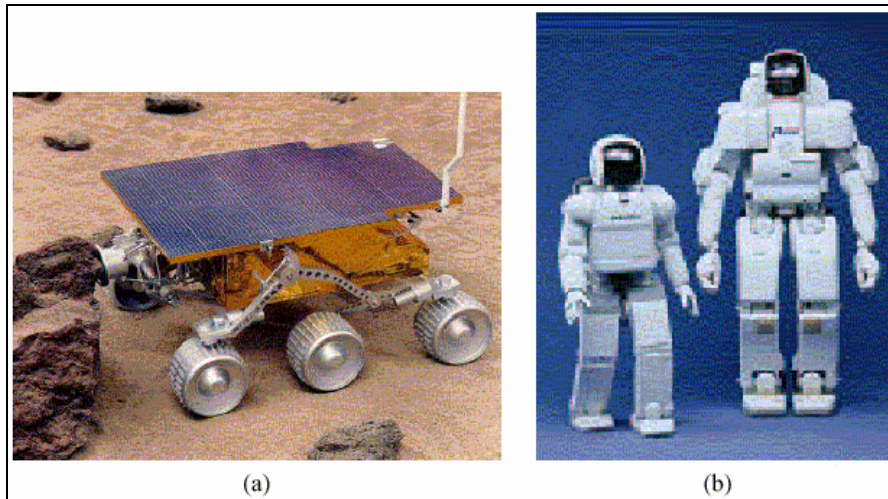
**Какви са основните строителни блокове на интелигентното поведение?**



Фиг1.1. Робот медицинска сестра в болнична среда (2001 г.)



Фиг. 1.2. Роботът гид Rhino – тур в Националния музей на Германия, Бон

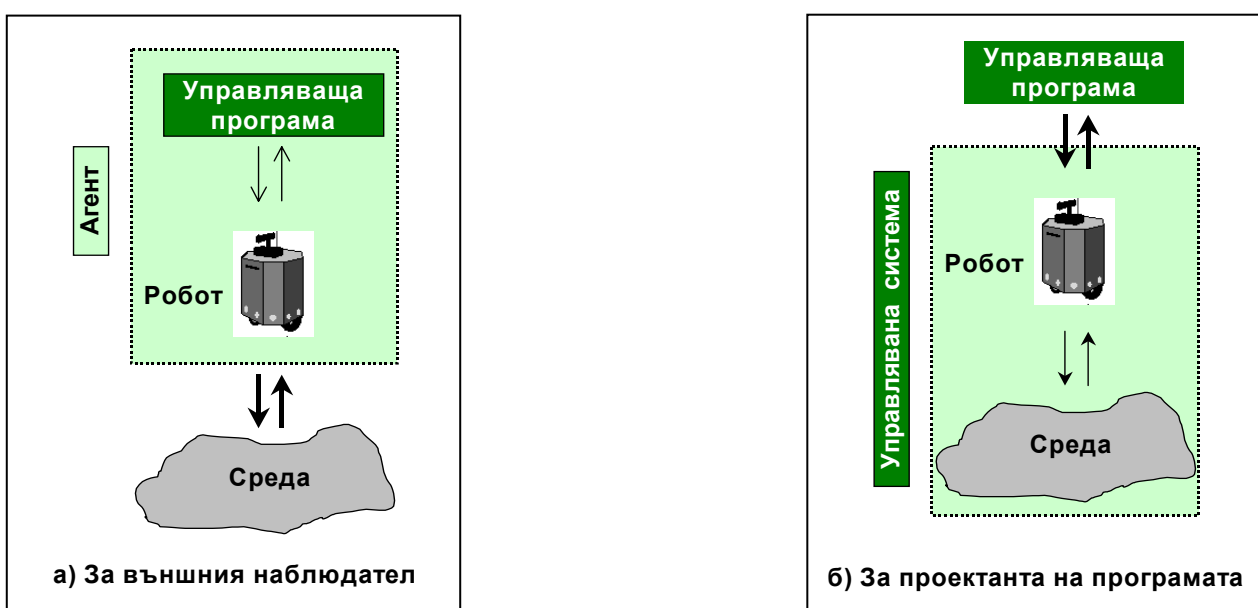


Фиг1.3. (a) *Sojourner*- робот за планетарни изследвания. (b) Хуманоидите на Хонда – P3 и *Asimo*

- Естествено е в този курс да се интересуваме от развитите екземпляри на СИП, - автономните (мобилни и хибридни) роботи. Ето защо сега ще поставим въпроса “Какво влияние оказват изтъкнатите по-горе техни особености върху **общия проблем за тяхното управление?**”

### 2.3. Гледни точки за управлението на роботите

- На Фиг.1.4. са илюстрирани две гледни точки, които ще ни помогнат да отговорим на поставения по-горе въпрос:
- От гледната точка на **външния наблюдател** (Фиг. 1.4 а), роботът взаимодейства със средата и на пръв поглед проблемът за управлението му се свежда до формиране на такава програма, която да позволи **автоматично реализиране** на основните негови функционалности (например мобилност), при решаването на дадена задача.



Фиг.1.4. Две гледни точки за управлението на робота

➤ От гледна точка на *проектанта на управляващата програма* (Фиг.1.4 б), обаче, е необходимо да разсъждаваме по-различно. Всяка програма за управление трябва да има някакъв *модел* (спецификация) на управляваната система. В конкретния случай, този модел трябва да включва знания както за *робота*, така и за *средата* в която той оперира. Именно тук трябва да се имат предвид две неща:

- Роботът има относително проста динамика (макар и силно нелинейна и/или нехолономна).
- **СРЕДАТА, ОБАЧЕ – НЕ (!).**

➤ Ключова роля за това имат:

(а) *Сложността на задачите*, които роботът ще решава в средата.

(б) *Несигурността на*: априорните знания за средата, перцептуалната информация, резултатите от действията на робота.

- *Априорните знания за средата* – те може да бъдат непълни или изобщо да липсват. Средата може да е динамична - хората се движат и не можем да се надяваме да съставим, например, значимо вероятно разпределение, характеризиращо тези събития.
- *Перцептуалната информация* - апостериорните знания получавани от сензорите в повечето случаи са зашумени, недостатъчно точни, непълни и несигурни.
- *Резултатите от възможните действия на робота* – при мобилните роботи, например, малки одомерични (в управлението) грешки) оказват значимо влияние в оценките на следващите позиции. На Фиг. 1.5. са показани карта на средата в която оперира мобилен робот и одомерично определения път, който той би изминал.



Фиг.1.5. Пример за одомерична грешка

### 2.3. Сложност и несигурност

- И така, оперирането в реални среди се характеризира със *сложност* на задачите, *несигурност* на информацията и на резултатите от действията. *Какви са възможностите за тяхното преодоляване?* Тези въпроси предстои да обсъждаме подробно в следващите лекции. Тук накратко ще отбележим само следното:
- *Преодоляване на проблема “сложност на задачите”*. За решаване на дадена задача един робот трябва да извърши някаква последователност от действия (която може да е предварително неизвестна или не).
- При *априори схематизирани задачи* (последователността от действия е известна) е налице *невисока сложност*. Тук може да се прилагат *точни математически методи* за намиране на най-добрите решения. Научните области Изследване на операциите и Теорията на автоматичното управление обикновено предлагат такива методи.
- При *априори несхематизирани задачи* последователността от действия не е известна и роботът трябва най-напред да я формира. Разбира се, възможно е тази последователност да бъде *предварително* генерирана от човека, след което роботът да бъде програмиран по подходящ начин. Така се постъпва в повечето случаи при манипулационните работи. Проблемът, обаче, е в това, че роботът трябва да се *препрограмира* за всяка отделна задача. Ето защо, даже и в такива случаи, несъмнено полезно е той да притежава *система за автоматично планиране*, дори за режим *off-line – програмиране*. Това би позволило на човека-оператор да *специфицира задачата* на работа *по-декларативно* – т.е. като описва *какво* трябва да се направи пряко в термините на *логиката* на самата задача и средата, а не *как* то да се направи в термините на използвания изчислител или на кинематиката на движение на работния орган. За задачи със *средна и висока сложност* тук може да се прилагат подходи за *търсене и планиране*, които гарантират намирането на *оптимално* решение (например A\*).
- ⊕ Съществува, обаче, клас задачи с *експоненциална трудност* (т.н. NP-трудни задачи, виж Лекция 2), за които намирането на оптимално решение е *непрактично, често дори невъзможно*. За такива задачи, единственият подход е да се използват т.н. *метаевристични алгоритми*, които бързо намират добри, макар и неоптимални решения.
- За *преодоляването на несигурността* е възможно да се използват следните четири подхода:
- *Елиминиране на източника на несигурност* в системата, като се извършат подходящи *инженерни промени* на работа и/или средата (Фиг.1.6). Недостатъците на този подход са:



Фиг. 1.6. Изкуствено структуриране на средата

- Големи разходи за подходящи помощни съоръжения.
  - Редуцирана робастност и автономност (ограничена мобилност, строго фиксирана геометрия на движенията и др.).
  - Подходът не винаги е възможен (работа в екстремални среди).
  - Цялата неопределеност не може да бъде премахната (случайни движения на хора, осветителни условия и др.).
- **Допълване на липсващите знания:**
- (ИИ) Изграждане на модел (база знания) на средата.
  - (ТАУ) Идентификация на средата.
- ③ **Инкорпориране на несигурността в модела:**
- (ИИ) Разсъждения върху несигурни знания.
  - (ТАУ) Стохастично управление, теория на оценките,...
- ④ **Толериране на грешките и пропуските:**
- (ИИ) Условно планиране, съчетаване на планиране и изпълнение,...
  - (ТАУ) Робастно управление.

## 2.4. Връзка между ТАУ и ИИ

- Както бе отбелязано, за реализиране на подходите 2,3 и 4 може да се използват както средства на ТАУ, така и на ИИ. По какво си **приличат** тези средства, какви са техните **различия**, кога е целесъобразно да се **прилагат** едните и другите.
- **Съвпадение на основната цел.** В съвременната ТУ (например стохастичното оптимално управление) като основна цел се поставя максимизирането на някаква целева функция, зависима от времето. Това е същата цел, каквато се поставя и в ИИ - проектиране на системи, които **максимизират във времето мярката си за успеваемост**.
- **Различия.** **Защо** тогава, след като имат толкова силна връзка в основната си цел, **ТАУ и ИИ са две различни области?**



Отговорът се крие в тясната обвързаност между *математическите техники* (познати, предпочитани и използвани от изследователите) и *множеството от решавани задачи*, които са обхванати от *гледните точки на двете области*.

- В ТАУ основният *инструментарий* включва матричната алгебра, диференциалното и интегрално смятане. Общо казано, задачите се формулират в подходящо *векторно пространство*. *Системите* се разглеждат като преобразуване на множество входни в множество изходни *сигнали*. Всеки сигнал представлява функция, изобразяваща множество от реални числа  $R$  в  $R^n$ . *Основният стремеж* е синтез на такъв закон (структура на устройство) за управление и подходящи параметри, чрез който да се постигне удовлетворяване на зададени изисквания за качество на процесите при осигуряване на вътрешна устойчивост на системата. Като правило, точен математически анализ е възможен само за линейните системи.
- *ИИ* се формира през 1950 – 1956, в частност, като път към избягване на ограниченията на математическите формулировки в ТАУ. *Хипотезата за физическа знакова система* на Нюел и Саймън, *тезата на Чърч и Тюринг* позволиха на изследователите в ИИ да излязат извън векторните пространства и да изградят формални системни модели от позицията на *нивото на знанията*. *Инструментарийът на логическите разсъждения и теорията на формалните аксиоматични системи* позволи формулирането и решаването на такива задачи като частично наредено планиране на действия, знаково обучение и самообучение и др., които изцяло попадат извън гледната точка на изследователите от ТАУ.
- ⑧ *Интегриране*. С появата, обаче, на *агентно ориентирания подход* към изследване на интелигентното поведение и синтеза на СИП, настъпи двупосочен процес на *интегриране на гледните точки на ИИ и ТАУ*. От една страна се появиха формални средства за хомогенизиране между знаковите и числовите разсъждения, а от друга, се създадоха архитектури на реално действащи СИП, примери за каквито вече посочихме. *Архитектурата* на една СИП определя именно как е организиран процесът на генериране на действия на основата на възприеманите перцепти и наличните знания на агента.

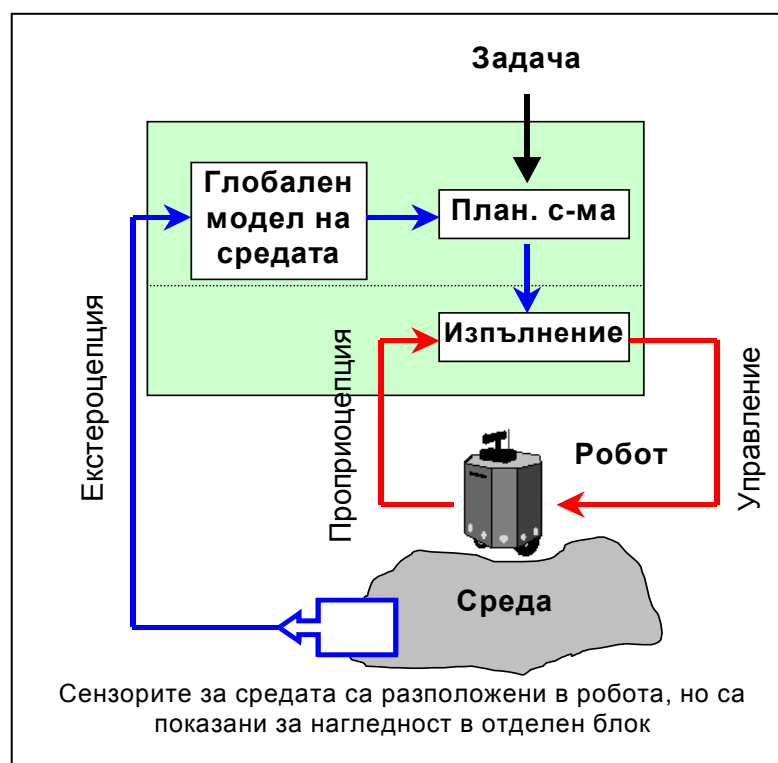
## 2.4. Базови архитектури на СИП

За да илюстрираме казаното, ще анализираме следните *три основни архитектури*, през които е преминало развитието на мобилните работи.

➤ *Класическа архитектура* (Фиг.1.7). Тя е характерна за ранния стадий на мобилната роботика (1969г.). Нейни типични представители са робо-

тите SHAKEY и Stanford Cart, на Станфордския изследователски институт. Тя идва като стремеж за **разширяване** на доминиращата тогава идея на **кибернетиката** - един от предшествениците на ИИ. Най-общо идеята е следната. Наблюдател (вътрешна за една система функция или човек-оператор) сравнява статуса на системата  $x_t$  в момент  $t$ , с желанния статус  $r_t$ . Грешката  $e_t = x_t - r_t$  е входен сигнал към контролер, чиято цел е да минимизира  $e_t$ . Контролерът генерира следващо действие  $= y_{t+k}$ , а уравнението  $y_{t+k} = f(e_t) = f(x_t - r_t)$ , описва цялостния модел на управление на системата, където  $f$  е първоначално неизвестна функция на управление. Целта на кибернетиката е да дефинира функцията  $f$  и всички необходими параметри (закъснения, входни, изходи сигнали и т.н.) по такъв начин, че системата да отговаря подходящо на сензорните стимули. С други думи, кибернетиката **свежда интелигентното поведение до минимизация на функцията на грешката**.

- В разглежданата архитектура, управляващата система е декомпозирана в пет функционални модула: **перцепция, моделиране, планиране, изпълнение на задачата, мониторинг на управлението**.



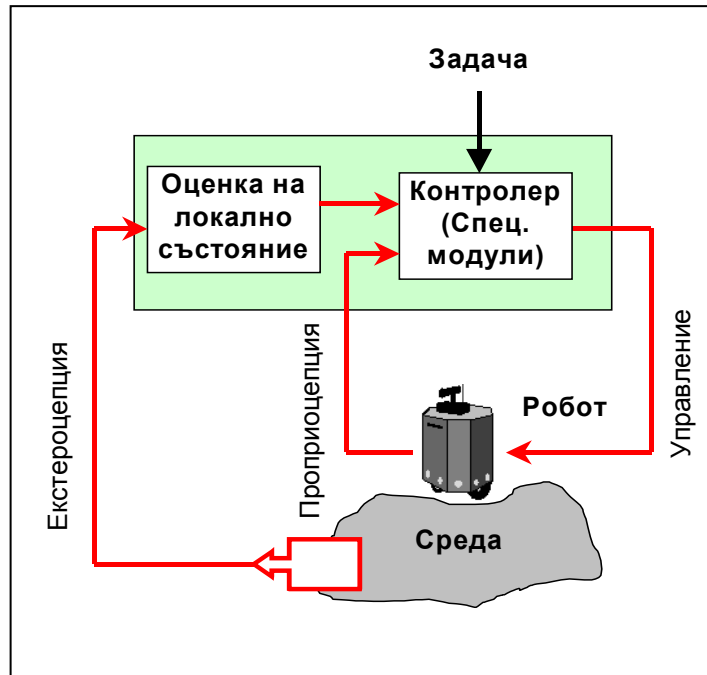
Фиг.1.7. Класическа архитектура (70-те год.) – сензорирание, моделиране, планиране, действие (сляпо).

- Тази архитектура **преодолява** проблема за несигурност на знанията за средата, като **отхвърля** идеята за **цялостно моделиране** на средата още във фазата на проектиране на агента. Роботът **сам форми-**

*ра* (модифицира) модела за средата такава каквато е, в момента в който задачата предстои да бъде изпълнена.

- Първият модул формира перцепти като обработва информация от сензорите за средата - процес наречен *екстероцепция*. Тази информация се използва от втория модул, за формиране (модифициране) на *глобален модел* на средата - *база знания*.
- Третият модул – системата за планиране, използва модела на средата и изгражда план (последователност от действия) които водят до решаване на поставената задача в конкретната среда.
- Четвъртият и петият модул *следват този план* - изпълняват задаваните действия, като управляват изпълнителните механизми на робота. Забележете, обаче, че изпълнението на действията на робота е *“сляпо”*. Контролерът използва модела на робота и обработва информацията от вътрешните сензори за състоянието на ефекторите - процес наречен *проприоцепция, без повече да сензорира средата*.
- Фактически, средата не участва пряко в контура на управлението. Планиращата система използва единствено глобалния модел, а той може да съдържа *неактуална информация*. Например, в средата може да се появи динамичен обект, който би имал значение за планиращата система, но който да не е представен в модела, поради което ще бъде пропуснат при вземането на решение за съответно действие.
- Роботите с такава архитектура имат *предимството*, че могат да генерират *оптимални планове*, по един рационален и еднороден начин. Техният *недостатък* е, в липсата на достатъчна *реактивност* в динамични среди. Поради това те са бавни и успешно действат в статични среди. При *отказ от генериране на оптимални планове* може да се получат значително по-добри резултати. В Университета Карнеги Мелон (САЩ) са създадени (в рамките на проекта DARPA) роботи с такава архитектура и скорост на движение при неравен (външен) терен около 4 км/ч. За тях обаче, остават ограниченията за извършване на по-бързи и сложни маневри.

➤ *Реактивна архитектура*. През 80-те години, развитието на мобилната роботика получи бурен тласък, като основният стремеж беше *посилното интегриране между перцепция и действие*. Появиха архитектури, които *пряко включиха* перцептуалната информация в изпълнителното ниво Фиг. 1.8.

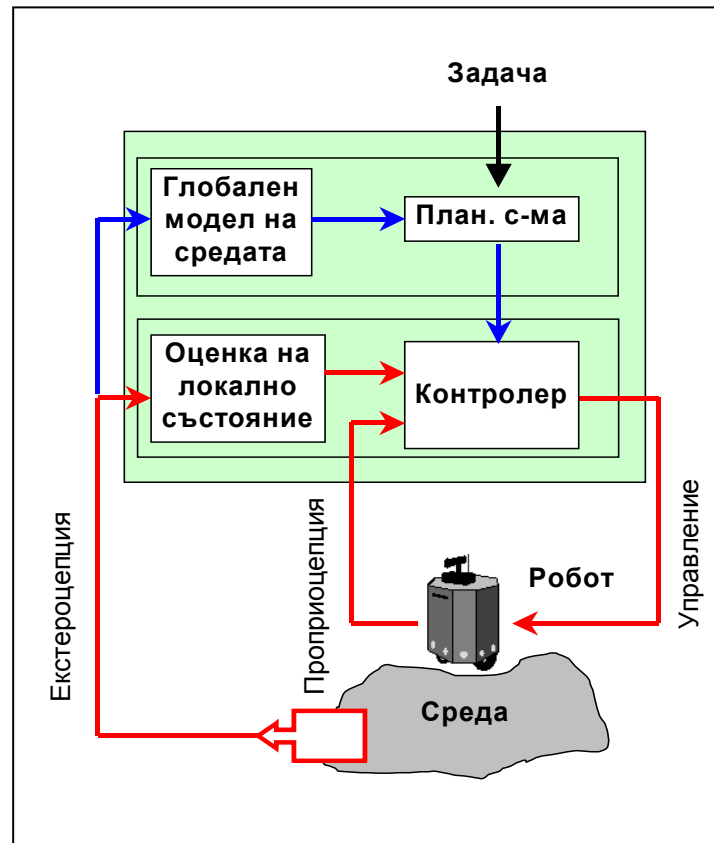


Фиг.1.8. Реактивна архитектура (края на 80-те год.) – сензориране, действие (без разсъждаване)

- В основата на изследванията застана т.н. *поведенски подход*, основаващ се на *принципа на възникващата функционалност*. Вместо изграждането на глобален модел и формирането на оптимални планове, поведенската архитектура включва *специализирани модули*, всеки от които осъществява свое *поведение* за постигането на определена проста задача (например следване на път, заобикаляне на препятствие, преминаване през врата и др). Модулите работят паралелно и независимо един от друг, като възприемат само онази част от сензорната информация, която им е необходима. Това им позволява незабавна реакция на промените в средата. Отделните поведения се *комбинират* и в резултат *възниква съставно поведение*, което от една страна е насочено към *постигане на стратегическите цели* на робота, а от друга му позволява *ефективно реагиране* в отговор възникналите динамичните промени.
- Основният и много сериозен *недостатък* на тази архитектура е невъзможността роботът изобщо да *представя* планове в какъвто и да е вид, *даже и когато те са известни (!)*, както и да води *разсъждения относно собствените действия, ресурси, цели и намерения*. Съществуват множество базови сензомоторни компетентности, които не изискват такъв вид интелектуални качества. В редица случаи, обаче, както целите, така и отделните действия *са зависими едно от друго* и постигането на рационално поведение е невъзможно без планиране. Ето защо, приложенията на разглежданата архитектура се

*ограничават* до среди, в които явно представяне на планове и мета разсъждения върху тях не са необходими.

- *Хибридна архитектура.* Използва се в повечето съвременни роботи.



- Фиг.1.9. Хибридна архитектура (90-те год.) – сензориране, моделиране, планиране, действие (със сензориране)