

***AT-8 Интелигентне машине и
одлучивање
АУТОНОМНИ МОБИЛНИ
РОБОТ – ИНСЕКТ РОБОТ***

Проф. др Зоран Миљковић

:: Методе одлучивања ::

Мехатронски системи и интелигентно управљање

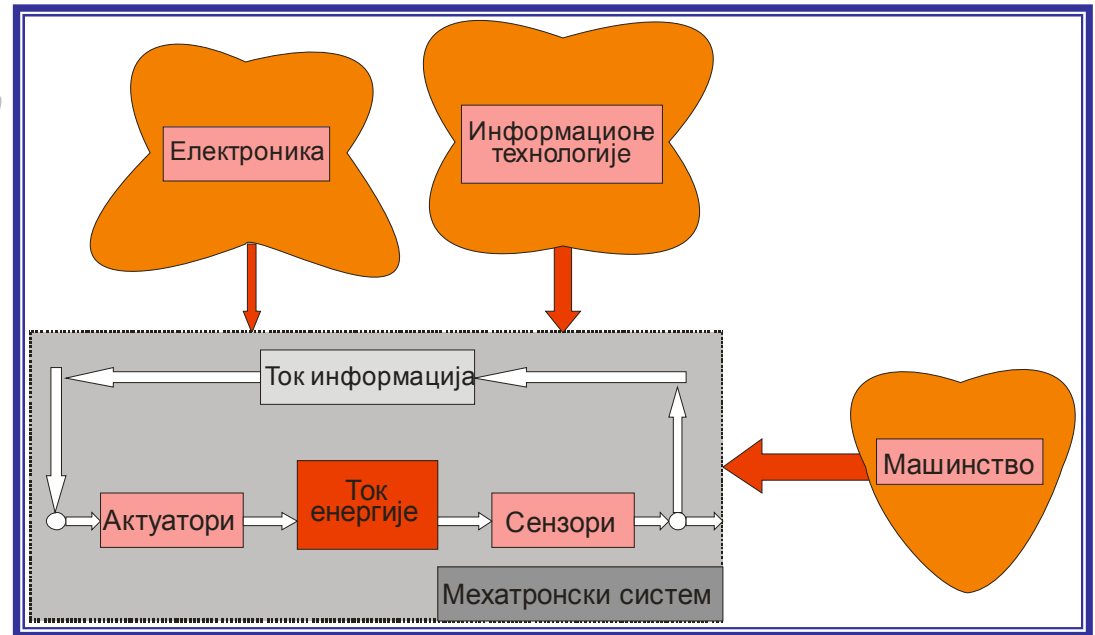
- Деф. „Мехатроника је синергетична комбинација машинства високе тачности, електронског управљања и информационих система при пројектовању производа и процеса”;
- Инжењерска област мултидисциплинарног карактера и базирана је на систем анализи, моделирању и управљању (индустријски роботи, мобилни роботи, персонални роботи, итд.);
- Мехатронски системи су реализовани коришћењем следећих функционалних подсистема:
 - Савремени управљачки и информациони подсистеми;
 - Подсистеми међусобних веза, базираних на претходно дефинисаним протоколима;
 - Сензорски подсистеми са способношћу издвајања корисних информационих сигнала;
 - Актуаторски подсистеми за трансформацију изворне енергије у користан рад;
 - Механизми за извршење жељених кретања у функцији процеса.

Општа структура мехатронског система

- Две врсте интеграције:

1. Интеграција компонената (хардверска интеграција);

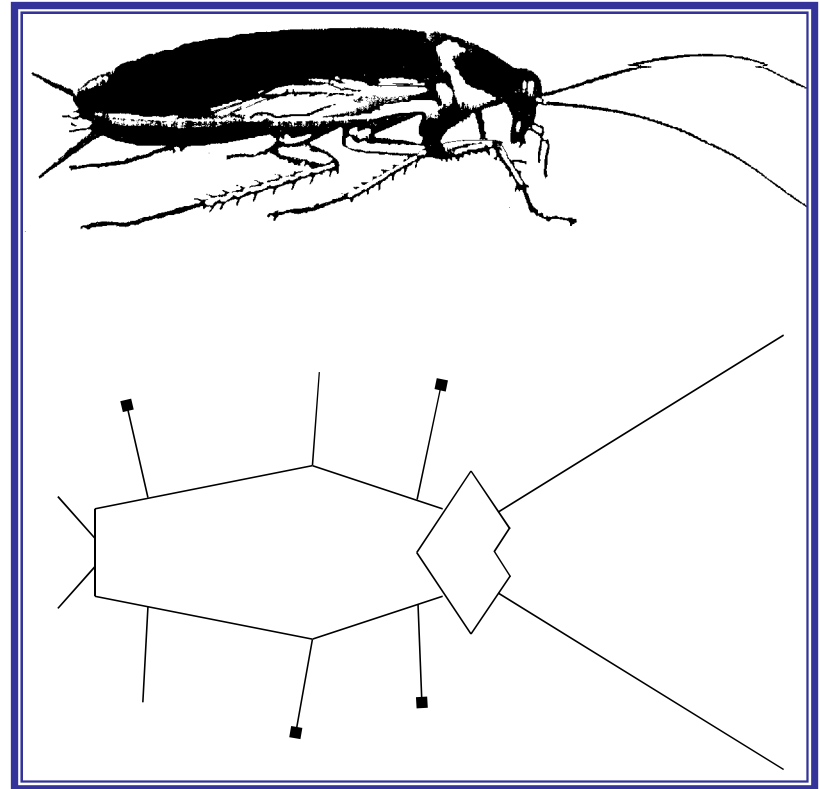
2. Интеграција преко процесирања информација



- Хардверска интеграција подразумева *компактне компоненте, једноставне механизме, аутономне јединице и комуникацију помоћу комуникационих магистрала (LAN мреже, MAP протоколи)*
- Софтверска интеграција омогућава *нелинеарно програмабилно дигитално управљање, супервизорско праћење са дијагностиком грешака и способност машинског учења.*
- У погледу процесирања информација, за мехатронски систем важи и то да је његов подсистем интелигентног управљања заправо *суштинска квалитативна надградња* у односу на конвенционални.

Нови приступ роботици – инсект робот

- Нови мехатронски концепт:
*аутономност при одлучивању,
једноставан слојевит управљачки
систем, интегрисане сензоре и
актуаторе, све мању величину и знатно
нижу цену;*
- Примена инсект робота у индустрији:
првенствено у електронској индустрији;
- Прекид у електричном току, инсект робот
има задатак да утврди локацију прекида
(мерењем кондуктивности
полупроводника) и на месту прекида би
извршио повезивање прекинутог тока;
- Инсект робот од тог тренутка постаје
саставни део штампане плоче.



- Неопходно је развити нове
технологије за израду:
*микросензора, интелигентних
управљачких система,
актуатора, извора енергије и
система за интеграцију.*

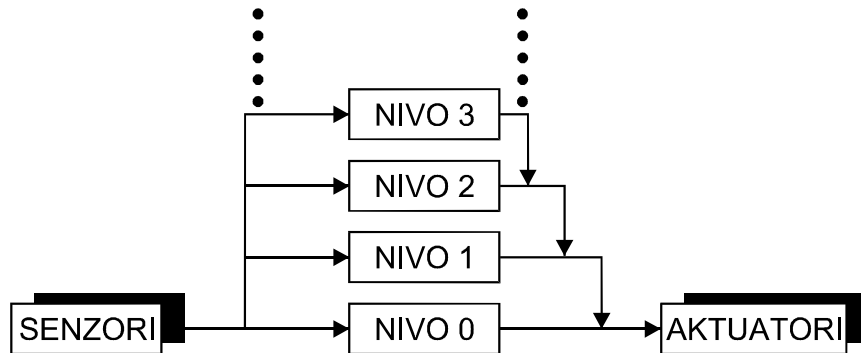
Нове технологије

- Микросензори: омогућују инсект роботу опажање околине.
 - За креирање интегрисаног микроробота потребно је да микросензори буду компатибилни са IC (*Integrated Circuit*) технологијом => минијатурно и јефтино „паковање”. На тржишту је расположив читав низ микросензора, од хемијских, преко инфрацрвених, оптичких сензора до минијатурних CCD камера;
- Интелигентан управљачки систем је заснован на неуро-контролерима или пак на коначним аутоматима;
- Актуатори су базирани на микромоторима и минијатурним механизмима.
 - Микромотори раде на електростатичком принципу или на пиезоелектричном. Електростатички мотори користе силиконску технологију (елементи) који не прелазе габаритну величину од 150 μm и могу бити линеарни и обртни;
- Енергетски извори инсект робота су: соларне ћелије и батерије (морају бити веома лаке).
- Захваљујући систему за интеграцију свих описаних елемената у тзв. „*on board*” чип, драстично је смањен број међусобних веза, чиме је поред компактности доста постигнуто и у погледу минимизирања величине робота и његове масе.

Нове тенденције у развоју роботике

- Последице развоја и пројектовања инсект робота:
 - одржавање робота је искључено,
 - специјална пажња при коришћењу робота више није потребна,
 - потреба за резервним деловима није присутна,
 - замена хаварисаног робота је крајње једноставна.
- Интелигентно понашање у непознатој средини исказују коришћењем вештачке интелигенције;
- Ниво интелигенције АМР је истоветан понашању инсеката у реалном свету, на нивоу примитивних функција које извршавају, попут хаотичног кретања, тражења хране, заобилажења препрека и сл.
- Механизми закључивања приликом доношења одлука код интелигентних бића су засновани на једноставним чињеницама,
- Дакле, инсект работи су пројектовани тако да буду једноставни, јефтине, а уједно представљају потпуно интегрисане минијатурне машине које могу да доносе одлуке.

Декомпозиција интелигентног управљачког система аутономног мобилног робота



- Декомпозиција интелигентног управљачког система AMP на независне модуле понашања;
- Кључна идеја: изградити слојевит управљачки систем.

Prof. Rodney Brooks (MIT) је такав систем управљања назвао **архитектура укључивања** ("subsumption architecture"), јер су практично сви нивои укључени у управљање.



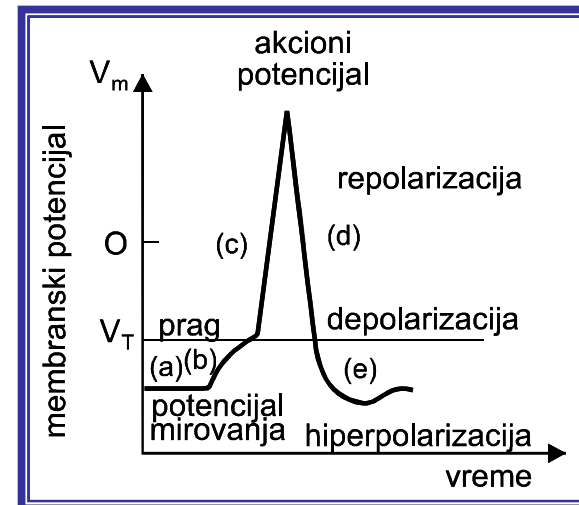
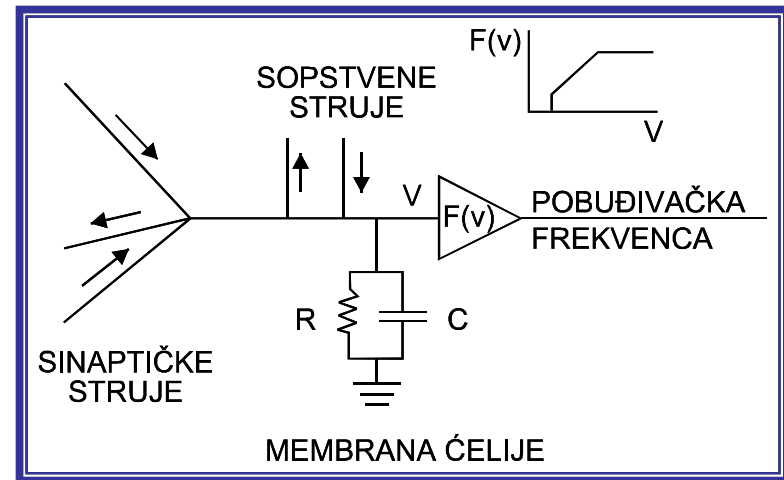
Неуронски управљачки систем инсект робота

- Неуронски модел инсект робота обезбеђује основу за развој вештачког неуронског система (Artificial Neural System - ANS; види AT-7);

- Заснован на принципима хетерогених неуронских мрежа, уз обезбеђивање реализације функција и интелигентног понашања AMP;

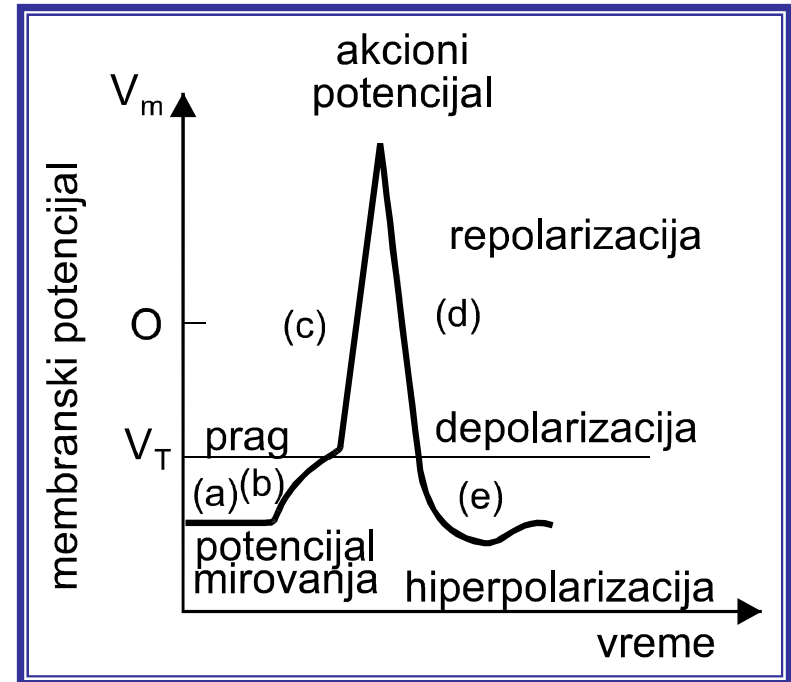
- Репрезентује екситациону (побуђивачку) фреквенцу неуронске ћелије као нелинеарну функцију улазног потенцијала;

- Потенцијал мировања нервне ћелије је -60 mV (a), да деполаризација ћелије (b) може бити „експлозивна“ (c), да би одмах затим процес реполаризације (d) био настављен у врло кратком временском интервалу, како би на крају потенцијал тежио нормализацији (e).



Неуронски управљачки систем инсект робота-наставак

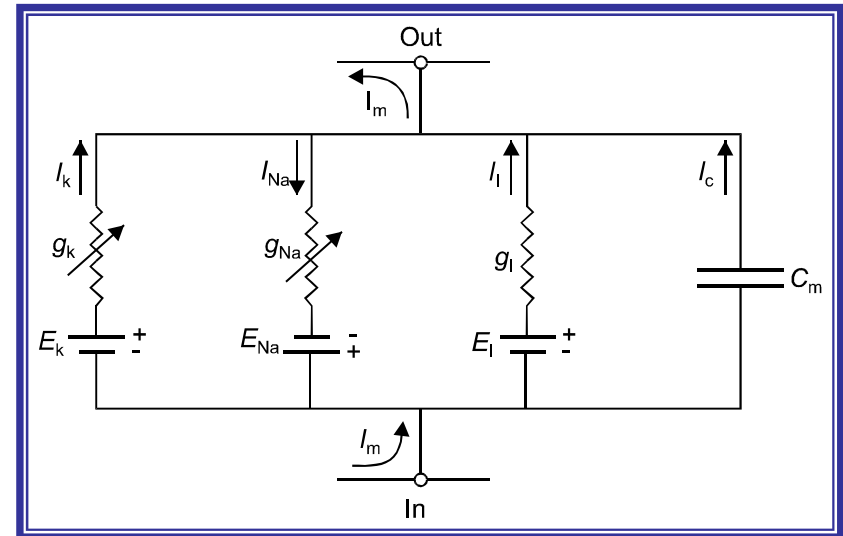
- Хиперполаризација смањује способност нервне ћелије да генерише акциони потенцијал, што значи да има *инхибиторни ефекат*, док деполаризација повећава ту способност, па је *екситациона*;
- Акциони потенцијал неурона почиње променом потенцијала мировања, његова вредност на прагу деполаризације V_T ћелије постаје импулсивна и веома позитивна (под c), траје кратко и враћа се на ниво потенцијала мировања, да би затим, у кратком временском интервалу, следећи акциони потенцијал био генерисан.



Промена мембранског потенцијала за време генерисања акционог потенцијала

Модел мембране према Hodgkin-Huxley_a

- Потенцијал мировања је представљен у електричном колу помоћу извора струје, док је пропустљивост мембране представљена отпорником променљивог интензитета;
- Додат је кондензатор који представља капацитет мембране, а *излазна величина* овог система је *електрични напон*;
- Мембрански потенцијал сваког неуронског модела је дат преко диференцијалне једначине:



$$C_N \cdot \frac{dV_N(t)}{dt} = \sum_{M \in pre(N)} S_{M,N} F_M(V_M(t)) + \sum_{L \in int(N)} INT_L(t, V_N(t)) + EXT_N - V_N(t) G_N$$

C_N - мембранска капацитативност неурона N,

$V_N(t)$ - мембрански потенцијал неурона N,

$pre(N)$ - сет неурона који формирају синапсе неурона N,

$S_{M,N}$ - јачина везе од неурона M до неурона N,

$F_M(V_M(t))$ - побуђивачка фреквенца неурона M,

$int(N)$ - сет сопствених струја неурона N,

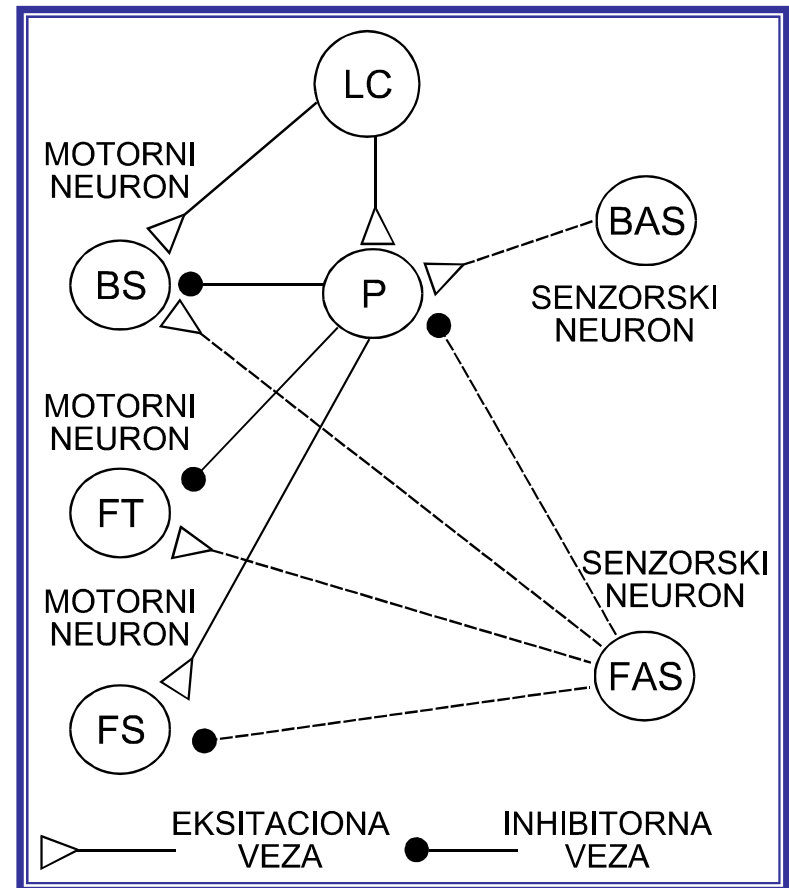
$INT_L(t, V_N(t))$ - вредност сопствене струје L,

EXT_N - вредност спољашње струје која је уведена на неурон N,

G_N - мембранска проводљивост (пропустљивост) неурона N.

Неуронски локомоциони контролер

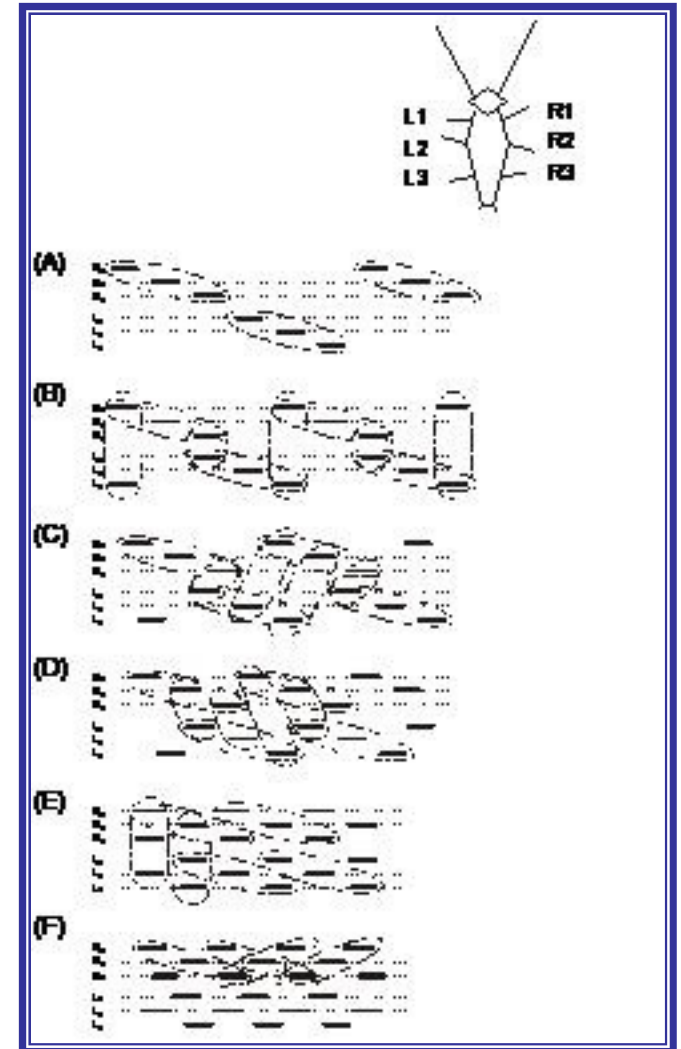
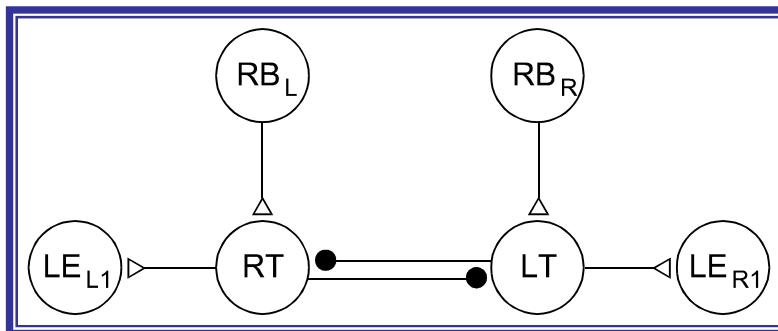
- Координација покрета свих шест ногу робота;
- Локомоциони контролер је робустан, тако да мале сметње ходу робота, попут колизије са објектима из околине, не могу да га озбиљно угрозе;
- Неурони на левој страни шеме контролера су моторни неурони (управљају кретањем ногу инсект робота) док су неурони на десној страни сензорски неурони;
- P је „пејсмејкер“ неурон (побуђивачка фреквенца варира ритмично), а LC је командни неурон који користе сви контролери рада ногу инсект робота;
- Троуглови су екситационе везе, а црни кругови инхибиторне везе.



- Основни централни патерн-генератор је приказан пуним линијама, а испрекидане линије репрезентују сензорске повратне везе (неке везе, попут FAS-BS, FAS-FT, FAS-FS укључују и рефлексе).

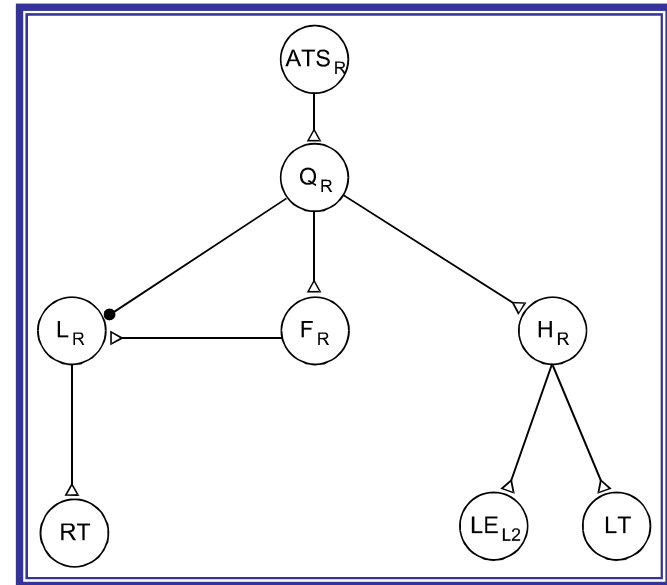
Шематски приказ кретања инсект робота

- Претходни неуронски локомоциони контролер пројектован искључиво за праволинијска кретања;
- Зато се у неуронску мрежу уграђују и неурони LT (за закретање у лево), односно RT (за закретање у десно), а неуронске ћелије RB имају улогу „пејсмејкера“ при регулацији мембранског потенцијала на нижи и виши ниво;
- Хаотично кретање приликом „истраживања“ околине је уобичајено почетна фаза рада АМР, тако да је путања којом се робот креће, рекло би се нетипична.



Неуронски контролер кретања инсект робота дуж ивице објекта

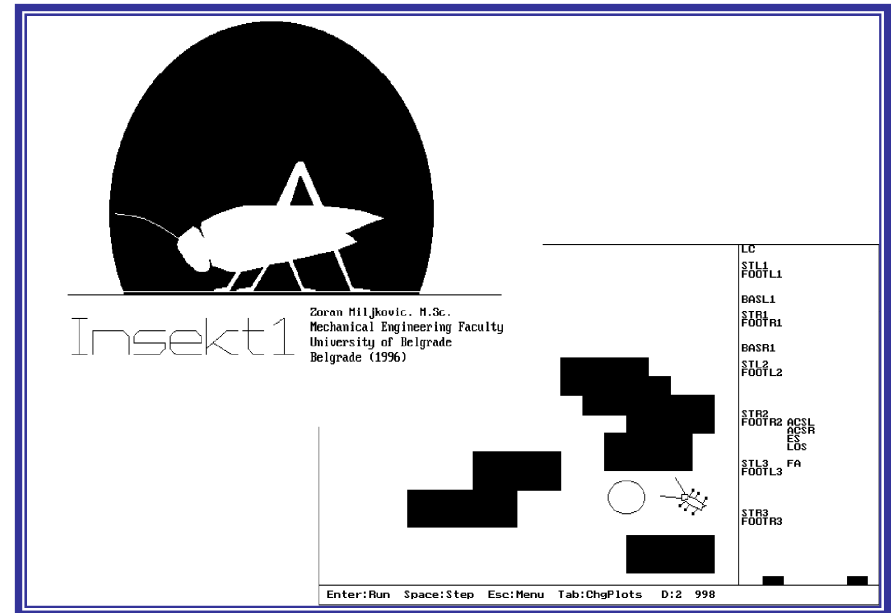
- Заобилажење препрека, односно кретање АМР дуж ивице објекта, припада категорији интелигентног понашања робота;
- За тај вид локомоционих активности неопходни су додатни неурони, за оријентацију;
- Основни задатак је да смање или повећају углове, под којим се тело робота налази у односу на ивицу објекта, како би се инсект робот налазио паралелно у односу на објекат дуж чије ивице се креће (H_R неурон и L_R неурон);
- Антенски тактилни сензор (АТСР) генерише ниво раздвајања, чија је фреквенца пропорционална углу између тела робота и ивице објекта у тачки додира;
- Директан контакт производи високи фреквентни одзив, а благи додир ниску фреквенцу.



- АТСР побуђује неурон Q_R (има велику капацитативност и утврђује дисконтинуитете на ивици објекта), неурон Q_R активира неурон F_R (има низак праг деполаризације и такође велику капацитативност) тако да имплементира хистерезис интелигентног понашања АМР приликом кретања дуж ивице објекта, а задатак му је и да оствари везу са неуроном L_R .

Симулација рада инсект робота

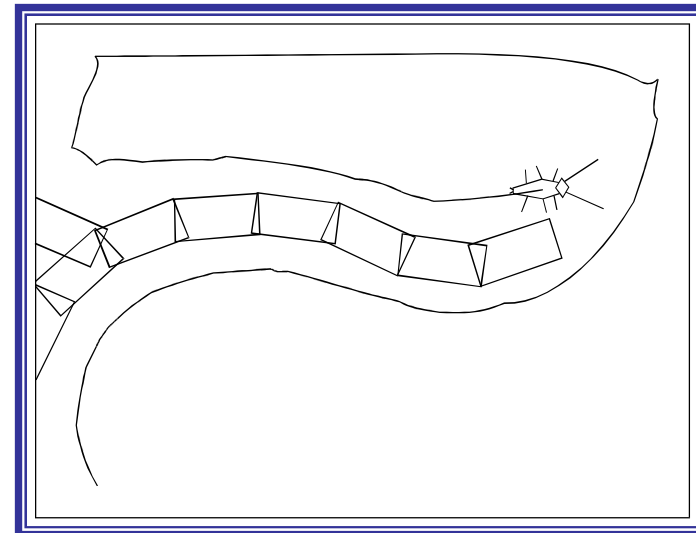
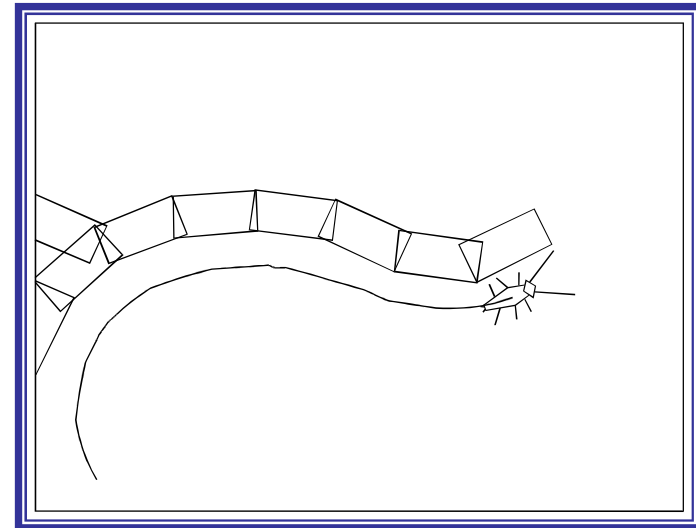
- Свака од примитивних функција (представља један вид интелигентног понашања *инсект робота*);
- Остварује се одговарајућим механизмом неуронских контролера, који су у међусобној вези, јер нпр. хаотично кретање *инсект робота* и кретање дуж ивице, имају кохерентан ниво заједничког понашања;
- Принцип декомпозиције интелигентног понашања *инсект робота* у паралелном поретку (*архитектура укључивања*) и уједно одлучивања је реализован;
- За свако индивидуално понашање робота развијен посебан неуронски контролер, што значи да не постоји централизован управљачки систем.



- Симулациони програмски пакет **ИНСЕКТ** је развијен на основама које су поставили *Pat* и *Greg Williams*;
- Базиран на хетерогеним вештачким неуронским мрежама. урађен је у програмском језику *TURBO C*;
- У односу на основни софтвер уведени су и креирани нови неурони и неуронске мреже.

Опис рада

- Кретање дуж ивице може да искључи хаотично кретање преко инхибиторне везе између свог кључног неурона и кључног неурона контролера за хаотично кретање;
- Код локомоционог контролера командни неурон *LC* управља и брзином кретања робота;
- Овај командни неурон може да се допуни модификованим неуронима *LCS* и *LCF* који имају задатак да зауставе и поново започну кретање робота, (у зависности од других активности које се у оквиру укупног понашања *AMP* одвијају);
- Приликом „истраживања“ окружења *инсект робот* прати објекте кретањем дуж ивице са десне (са леве стране), те је самим тим унутар контролера за кретање дуж ивице активиран леви или десни тактилни, сензорски неурон (антене – лева или десна) који одређују статус моторних, актуаторских неурона.

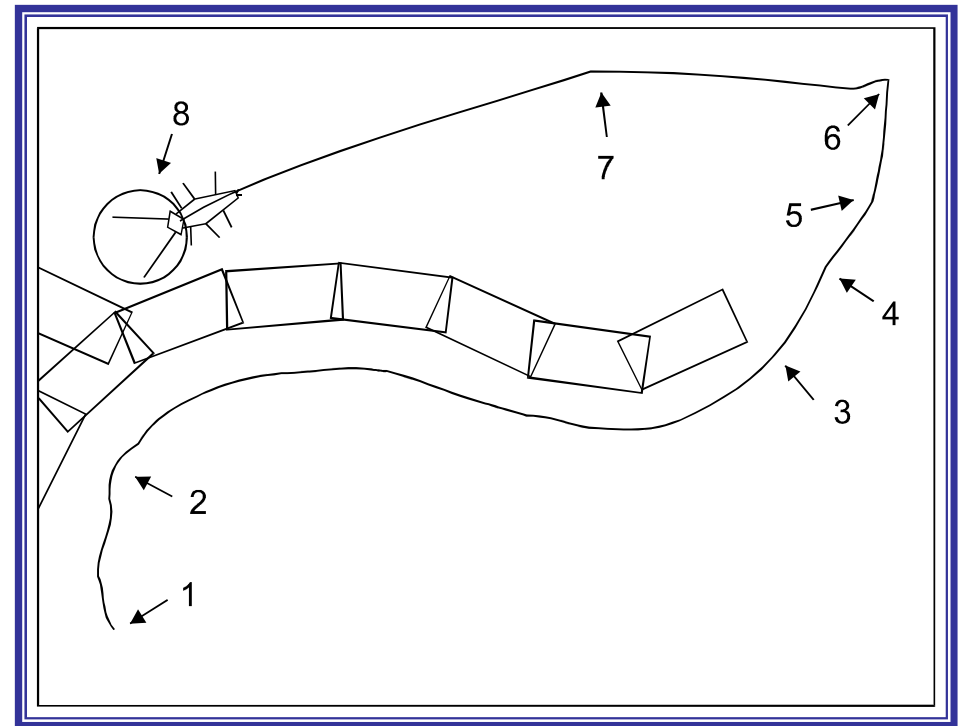


Путовања кретања и вештачки неуронски систем

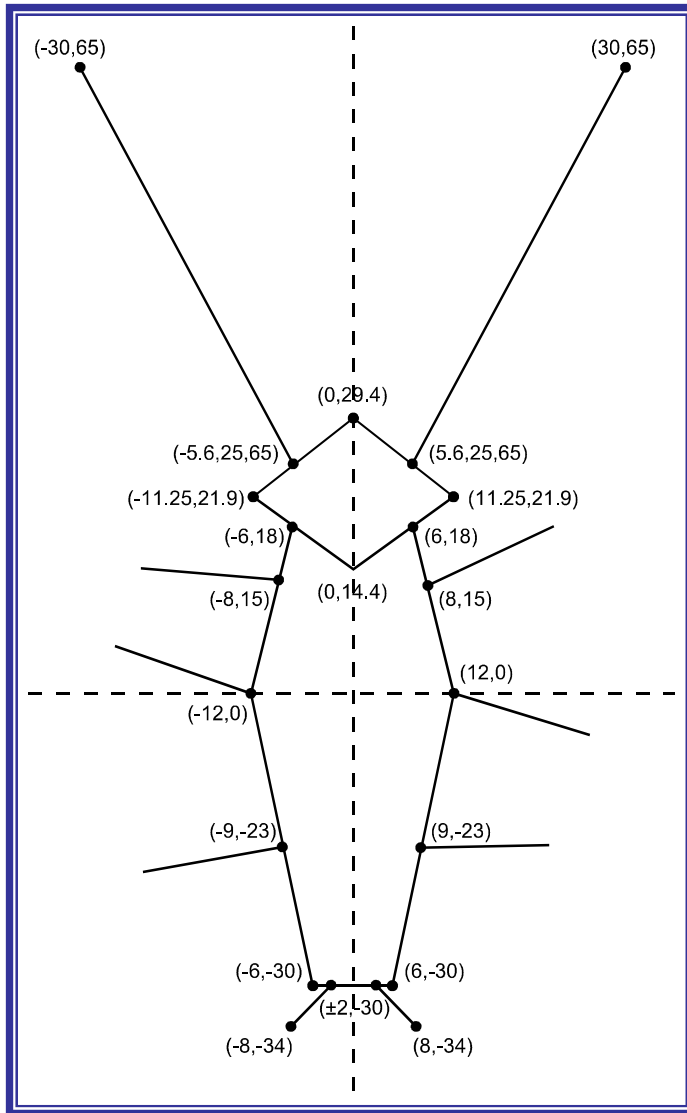
- Комплетан вештачки неуронски систем (AMS) *инсект робота* садржи 78 неурона и 156 веза (постоји могућност проширивања);
- Пример реализације интелигентног понашања => једноставан проблем „истраживања“ околине, са крајњим циљем проналажења локације за извршење радног задатка монтаже-регенерације чипа, унутар радног простора *инсект робота*;

- Робот почиње кретање из позиције (1), лаганим померањем у (2) почиње да прати објекат кретањем дуж његове ивице, а у (3) када губи контакт са њим закреће се тражећи евентуално нови додир са објектима из окружења (4);

- Слободним кретањем („лутањем“) из (5) се креће уз ивицу зида преко (6) да би у (7) напустио ивицу зида, јер је препознавањем уочена позиција (8) на којој ће се извршити радни задатак монтаже-регенерације чипа.



Пример пројектоване структуре



- Дужине ногу су 17, 15 и 17 [cm] за предње, средње и задње ноге, респективно;
- Угао ротације у зглобу сваке ноге је лимитиран у границама $[\pi/5, 0]$, $[\pi/12, -\pi/12]$ и $[\pi/12, -\pi/8]$ радијана за предње, средње и задње ноге, респективно;
- Према конвенцији, угао ротације ноге је једнак 0, када је она нормална на тело робота, позитиван је угао у смеру кретања казаљке на сату за ноге на левој страни тела робота, а за ноге на десној страни тела је позитиван угао у супротном смеру кретања казаљке на сату;
- Тежиште целе структуре робота се налази у координатном почетку;
- Статичка стабилност робота је одређена положајем тежишта, у смислу да ли се оно налази или не, унутар полигона који формирају ноге које у положају на тлу представљају ослоњце структуре робота.

Неуронски параметри

- Сваки неуронски модел чине следећи параметри:
 - мембранска проводност (G мембране),
 - мембранска капацитативност (C мембране),
 - минимална побуђивачка фреквенца (F_{min}),
 - напонски праг (V_T) и појачање.
- Комплекснији неуронски модели (попут `pacemaker_a`) имају додатне параметре као што су:
 - сопствена струја I_L и I_H (low – ниска, high – висока) и
 - параметри регулације T_L и T_H .
- Сензорски неурони имају такође параметар сопствене струје I_{sensor} , чија је величина у функцији од интензитета неке физичке вредности. Веза између неурона A и B је означена симболички $A \rightarrow B$, а тежински однос те везе је дат у nA (nano ampere, $1nA = 10^{-9}A$);
- Сложенија веза, у којој је нпр. неурон C у синаптичкој вези са A , а који је у вези са B , дата је симболички преко $C \rightarrow (A \rightarrow B)$.

Неуронски параметри - наставак

<p>Неурон LC G мембране: $0.1 \mu S$ C мембране: $75 \mu F$ $V_T: -3 \text{ mV}$ $F_{min}: 0.25$ Појачање: 0.1 mV^{-1}</p>	<p>Расетакер – неурон P G мембране: $0.5 \mu S$ $I_x: 20 \text{ nA}$ C мембране: $10 \mu F$ $T_x: 75 \text{ ms}$ $V_T: 10 \text{ mV}$ Појачање: 0.1 mV^{-1} $I_L: -10 \text{ nA}$</p>	<p>Моторни неурон BS G мембране: $0.5 \mu S$ C мембране: $10 \mu F$ $V_T: 0 \text{ mV}$ Појачање: 0.1 mV^{-1}</p>	<p>Моторни неурон FT G мембране: $0.5 \mu S$ C мембране: $10 \mu F$ $V_T: 0 \text{ mV}$ Појачање: 0.1 mV^{-1}</p>
<p>Моторни неурон FS G мембране: $0.5 \mu S$ C мембране: $10 \mu F$ $V_T: -2 \text{ mV}$ Појачање: 1 mV^{-1} Статус стопала: АКО је побуђивачка фреквенца > 0 ТАДА је стопало на тлу доле ИНАЧЕ је стопало горе.</p>	<p>Сензорски неурон BAS G мембране: $0.5 \mu S$ C мембране: $5 \mu F$ $V_T: 5 \text{ mV}$ Појачање: 1 mV^{-1} $I_{сензора}$: АКО је угао ротације ноге \leq максималном углу ТАДА је 10 nA ИНАЧЕ је 0 nA.</p>	<p>Сензорски неурон FAS G мембране: $0.5 \mu S$ C мембране: $5 \mu F$ $V_T: 5 \text{ mV}$ Појачање: 1 mV^{-1} $I_{сензора}$: АКО је угао ротације ноге \geq максималном углу ТАДА је 10 nA ИНАЧЕ је 0 nA.</p>	<p>Везе између неурона $LC \rightarrow BS: 5 \text{ nA}$ $LC \rightarrow P: 10 \text{ nA}$ $P \rightarrow BS: -10 \text{ nA}$ $P \rightarrow FT: -4 \text{ nA}$ $P \rightarrow FS: 10 \text{ nA}$ $BAS \rightarrow P: 10 \text{ nA}$ $FAS \rightarrow P: -15 \text{ nA}$ $FAS \rightarrow BS: 10 \text{ nA}$ $BAS \rightarrow FT: 10 \text{ nA}$ $FAS \rightarrow FS: -15 \text{ nA}$</p>

Хвала на пажњи!

Питања?

