

USP - ICMC - SSC
SSC 0714 (RMA) - 1o. Semestre 2010

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos SSC-0714

Prof. Fernando Santos Osório

Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }

Estagiário PAE: Maurício Acconcia Dias - maccddias [at] gmail.com

Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

Aula 11: Aprendizado e Robótica

Agenda:

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel: *Machine Learning*

1. *Aprendizado de Comportamentos Simples: ANN, RL*

Desvio de obstáculos, Buscar Alvo, Seguir Paredes

2. *Aprendizado de Seqüências*

Autômatos Finitos (FSM – *Finite State Machine*)

Aprendizado de um Autômato

Controle de Estacionamento de um Veículo Autônomo: SEVA

3. *Robôs com Pernas: Aprendizado do Caminhar*

Controle de um robô com Patas: LEGGEN

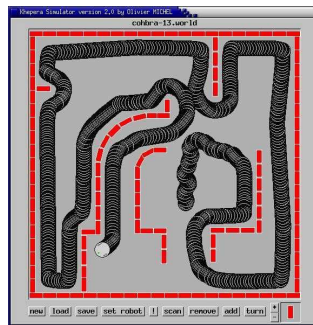
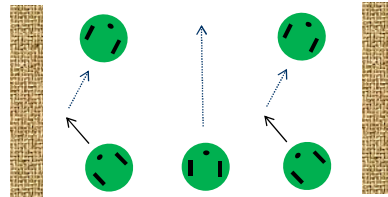
4. *Coordenação em Sistemas Multi-Robóticos*

Estratégias de Ação: Robombeiros

5. *Competições: Agentes Autônomos Inteligentes*

Aprendizado de Comportamentos Simples:

- Desvio de obstáculos
- Buscar Alvo
- Seguir Paredes



Técnicas de Aprendizado: RL, ANN, GA

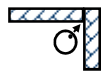
3

Maio 2010

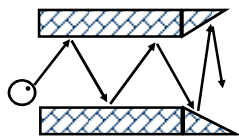
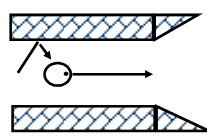
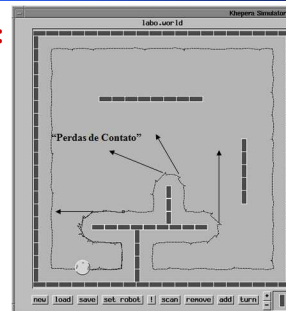
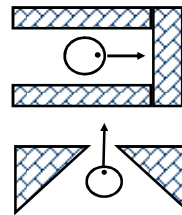
Aprendizado de Comportamentos Simples:

- Desvio de obstáculos
- Buscar Alvo
- Seguir Paredes

Problemas: Mínimos Locais, Falta de Contexto,
Planejamento Global de Rotas



Alternância: Oscilação
Esq, Dir, Esq, Dir, Esq, Dir, ...



Técnicas de Aprendizado: RL, ANN, GA

4

Maio 2010

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

Aprendizado de Sequências:

➤ Autômato Finito

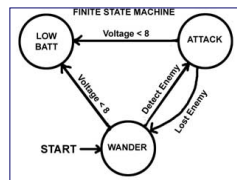
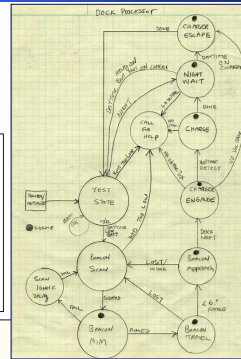
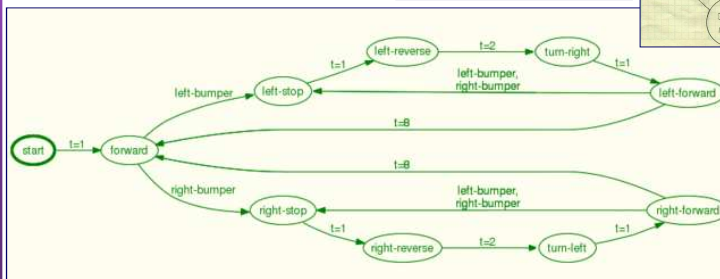
FSM – *Finite State Machine*

Estado

Contexto

Sequência

FSM:
Exemplos da Web...



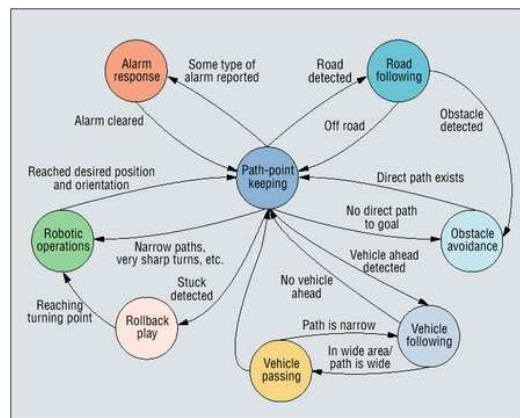
5

Maio 2010

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

Aprendizado de Sequências:

➤ Autômato Finito / FSM – *Finite State Machine*



DARPA Challenge

6

Maio 2010

Ohio State University at the 2004 DARPA Grand Challenge: Developing a Completely Autonomous Vehicle
 IEEE INTELLIGENT SYSTEMS – Sept./Oct. 2004

Aprendizado de Seqüências:

➤ Autômato Finito / FSM – *Finite State Machine*: SEVA

IEEE IJCNN - International Joint
Conference on Neural Networks 2006
Vancouver - Canadá - July 2006

Paper - Best Session Presentation Award

SEVA3D:

Using Artificial Neural Networks to
Autonomous Vehicle Parking Control



SEVA3D: Using Artificial Neural Networks to Autonomous Vehicle Parking Control
IJCNN 2006

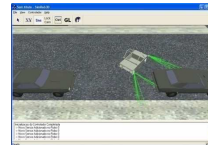
SEVA3D: Using Artificial Neural Networks to Autonomous Vehicle Parking Control

Applied Computing Research Post-grad Program - PIPCA
Autonomous Vehicles Research Group
[Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos - GPVA]

Web: <http://inf.unisinos.br/~osorio/seva3d>
or Google: veiculos autonomos

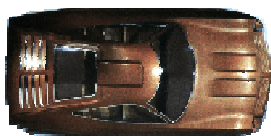
IEEE WCCI - IJCNN 2006
Vancouver, July 2006

Milton Roberto Heinen
Prof. Dr. Fernando S. Osório
Prof. M.Sc. Farlei José Heinen
Prof. Dr. Christian Kelber



Controle da Tarefa de Estacionamento de um Veículo Autônomo através do Aprendizado de um Autômato Finito usando uma Rede Neural J-CC

SBRN'02 - Simpósio Brasileiro de Redes Neurais



Fernando Osório

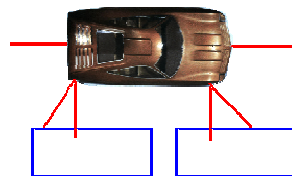
Farlei José Heinen

Luciane Fortes

Autômato SEVA: Estacionamento Autônomo

Componentes principais:

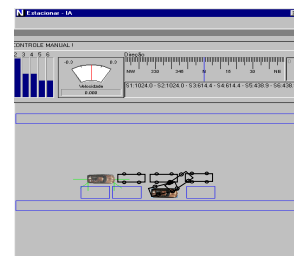
- Modelo de simulação dos *sensores*;
- Modelo de simulação da *cinemática* do veículo (modelo do deslocamento de um carro – Ackerman)
- Comandos do atuador relacionado ao *deslocamento* (avançar / recuar e velocidade);
- Comandos do atuador relacionado ao *giro* do veículo (rotação da direção).



SEVA-A
Seva Autômato

SEVA-H
Seva Humano

SEVA-N
Seva Neural

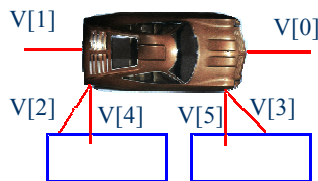


9

Maio 2010

Autômato SEVA: Estacionamento Autônomo

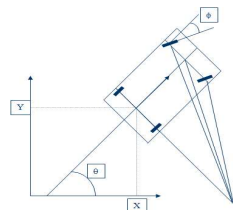
Modelo Sensorial



-Sensores de distância
Infravermelhos (V[0] a V[5]).

-Sensores posicionados de forma estratégica, especificamente para estacionamento em vagas paralelas.

Modelo Cinemático



Ackerman Steering

“Comportamento
de um automóvel”

$$X = V * \cos(\Phi) * \cos(\theta)$$

$$Y = V * \sin(\Phi) * \cos(\theta)$$

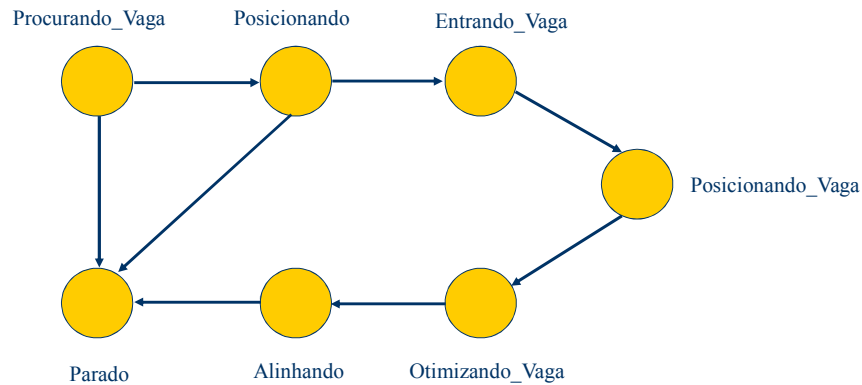
$$\theta += V / L * \sin(\Phi)$$

10

Maio 2010

Autômato SEVA: Estacionamento Autônomo

SEVA-A: Autômato de Controle



Autômato de estados finitos (FSA):
Estado E, Sensores S => Estado E', Comando C

11

Maio 2010

Autômato SEVA: Estacionamento Autônomo

Se Estado_Atual(Procurando_Vaga) e Próximo_ao_Obstáculo(V[4]) e
Próximo_ao_Obstáculo(V[5])
Então Speed = Avanço_Rápido e RotVel = Direção_Reta;

Se Estado_Atual(Procurando_Vaga) e Longe_do_Obstáculo(V[2]) e
Longe_do_Obstáculo(V[3]) e Longe_do_Obstáculo(V[4]) e
Longe_do_Obstáculo(V[5])
Então Troca_Estado(Posicionando) e Inicializa(Odômetro);

Se Estado_Atual(Posicionando)
Então Speed = Avanço_Rápido e RotVel = Direção_Reta;

Se Estado_Atual(Posicionando) e Longe_do_Obstáculo(V[4]) e
Deslocamento_Suficiente(Odômetro)
Então Estado_atual(Entrando_Vaga) e Inicializa(Odômetro);

Se Estado_Atual(Entrando_Vaga)
Então Speed = Ré_Rápida e RotVel = Giro_Esquerda_Max;

Problemas:

- Usuário deve explicitar as regras, estas regras são pouco robustas, estão sujeitas a erros, são pouco flexíveis e de difícil adaptação a novas situações;

12

Maio 2010

SEVA-N: Rede Neural Recorrente (J-CC)

- * Optamos por um modelo de Rede Neural Artificial baseado na arquitetura MLP (*Multi-Layer Perceptron*), com aprendizado supervisionado do tipo Incremental (*Cascade-Correlation*).
- * Devido a necessidade de nesta implementação se informar a rede sobre o contexto (memória), adotamos uma arquitetura de rede recorrente baseada nas redes de Jordan (*Jordan Nets*) permitindo assim tratar este problema.
- * A rede adotada foi assim denominada de J-CC
>> Jordan-Cascade-Correlation Network <<

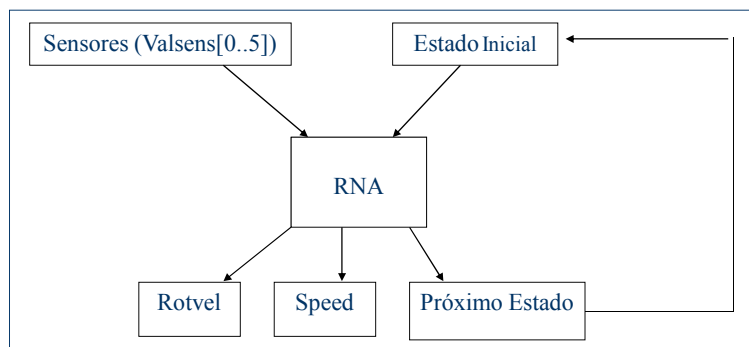
Rede Neural Artificial (RNA J-CC):
Estado E, Sensores S => Estado E', Comando C

13

Maio 2010

As variáveis (atributos) de entrada da rede que empregamos foram:
O estado dos seis sensores e uma indicação do estado atual do processo de estacionamento.

Na saída da rede iremos obter:
O estado dos atuadores (velocidade e rotação), assim como uma indicação do próximo estado do processo de estacionamento



14

Maio 2010

Estado Inicial: 1 - Procurando Vaga
Prox. Estado: 2 - Posicionando para Entrar
3 - Parado
4 - Entrando na Vaga
5 - Posicionando
6 - Ajustando Posição
7 - Alinhando na Vaga

Rotvel:

Vira Esquerda

Direção Reta

Vira Direita

Direita Max

Rede Neural (ANN)
Base de Dados de
Aprendizado

8

SEVA-N: Resultados da Simulações

Conjunto de 10 Experimentos - Resultados são valores médios

Base de Aprendizado: 392 exemplos

Base de Validação: 392 exemplos

Médias:

- Nro. de Épocas de aprendizado: 572 (Best epoch)
- N° de Neurônios Adicionados: 2
- Taxa de Erro do Aprendizado (% Acertos): 98,469
- N° de Exemplos Classificados Incorretamente: 6

Considerações sobre os experimentos

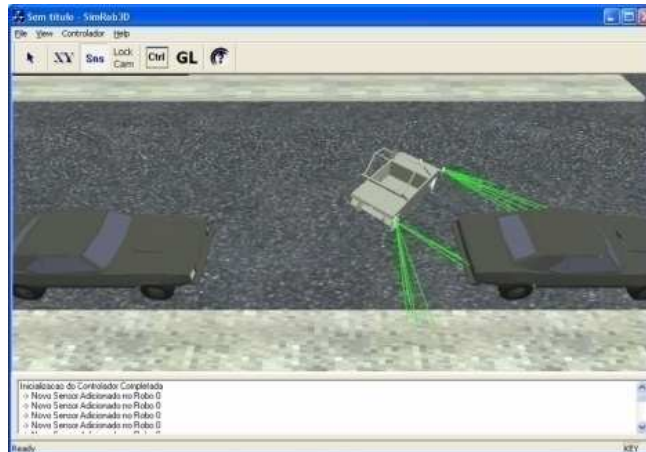
Os resultados obtidos até o presente demonstram que

- Ambos os controladores (SEVA-A e SEVA-N) são capazes de estacionar corretamente um carro, baseados apenas nas informações provenientes de seus sensores externos;
- O automato é bem mais sensível ao “ruído externo”;
- A rede neural J-CC foi capaz da “aprender” o autômato;
- A rede neural realiza perfeitamente a identificação e a troca de estados do autômato.

Autômato SEVA: Estacionamento Autônomo

Aprendizado de Seqüências:

➤ Autômato Finito / FSM – *Finite State Machine*: SEVA 3D



SEVA3D:

Simulação
Virtual em 3D

Sensores :
Realismo 3D
com erro/ruído

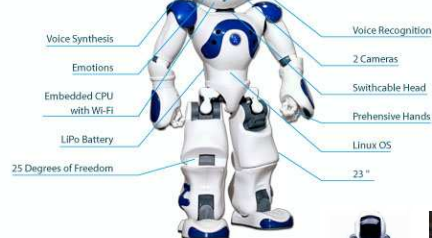
Aprendizado do
FSM-Neural:
A Rede Neural
funciona 100%
com dados
ruidosos e com
sensores em um
Ambiente 3D

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

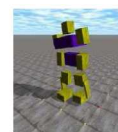
Aprendizado de Seqüências: “Robôs com Pernas”

MOTIVAÇÃO - Mobile Articulated Robots:
Walking Machines... Insects, Animals, Humans

Aldebaran Robotics
Nao Robot



[http://en.wikipedia.org/wiki/Nao_\(robot\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Nao_(robot))



(a) Honda Asimo

(b) Sony SDR-4X

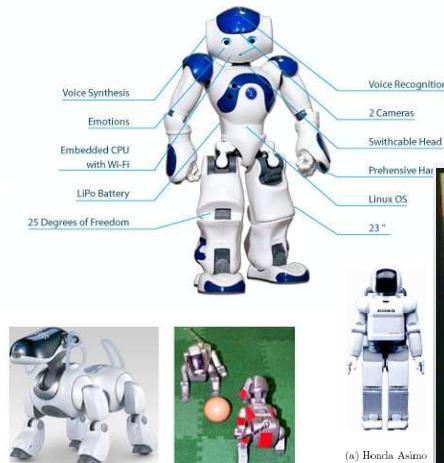
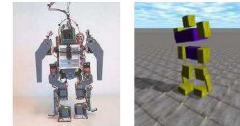
(c) Kawada H6

(d) Fujitsu HOAP-2

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

Aprendizado de Sequências: “Robôs com Pernas”

MOTIVAÇÃO - Mobile Articulated Robots:
Walking Machines... Insects, Animals, Humans



21

Maio 2010

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

Aprendizado de Sequências: “Robôs com Pernas”

MOTIVAÇÃO - Mobile Articulated Robots:
Walking Machines... Insects, Animals, Humans



Lynxmotion Hexapod II



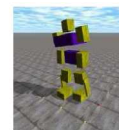
Genghis-II

LEGGEN

Dog
Horse ...
Tetrapod
Hexapod



(a) Robô real



(b) Robô simulado



The Sony Dream Robot
in the real world



The Sony Dream Robot
simulated into Webots



(a)



(b)



(a) Honda Asimo



(b) Sony SDR-4X



(c) Kawada H6



(d) Fujitsu HOAP-2

22

Maio 2010

Aprendizado de Sequências: “Robôs com Pernas”

➤ Autômato Finito / FSM – *Finite State Machine*: LEGGEN

Applying Genetic Algorithms
to Control Gait of Robots
M. Heinen and F. Osório

CEC 2006

IEEE World Congress on Computational Intelligence
Beijing, 2006

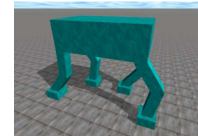
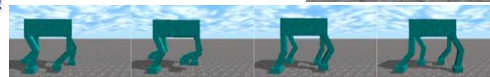
Pós-Graduação em Computação Aplicada - PIPCA
Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos - GPVA
>> Autonomous Vehicles Research Group <<

Web: <http://inf.unisinos.br/~osorio/leggen>
or Google: *veiculos autonomos*

Applying Genetic Algorithms to Control
Gait of Physically based Simulated Robots

IEEE WCCI - CEC 2006
Vancouver, July 2006

Prof. Dr. Fernando S. Osório
Milton Roberto Heinen



23

Maio 2010

Aprendizado de Sequências: “Robôs com Pernas”

➤ Autômato Finito / FSM – *Finite State Machine*: LEGGEN

- * **Virtual Reality Environment** and Simulation of Legged Robots
"Uso de Realidade Virtual para a Simulação do Caminhar em Robôs Móveis"
SVR 2006 - Belém, Brazil
- * Evaluate different **Robot Models** (hardware configurations)
"Applying Genetic Algorithms to Control Gait of Physically Based
Simulated Robots" - IEEE WCCI / CEC 2006 - Vancouver, Canadá
- * Evaluate different **Fitness Functions**
"Gait Control Generation for Physically Based Simulated Robots
using Genetic Algorithms" - IBERAMIA / SBIA 2006 - Ribeirão Preto, SP
- * **Robot, Vehicles and Human Simulation**
"Increasing Reality in VR Applications: Physical and Behavioral Simulation"
Virtual Concept Summer School - Nov. 2006 - Porto Alegre, RS / VC2006 Cancun
- * Evaluate **Neural Learning** of cyclic functions => SBRN 2006
- * Evaluate **Robot Morphology Evolution** => CLEI 2007

24

Maio 2010

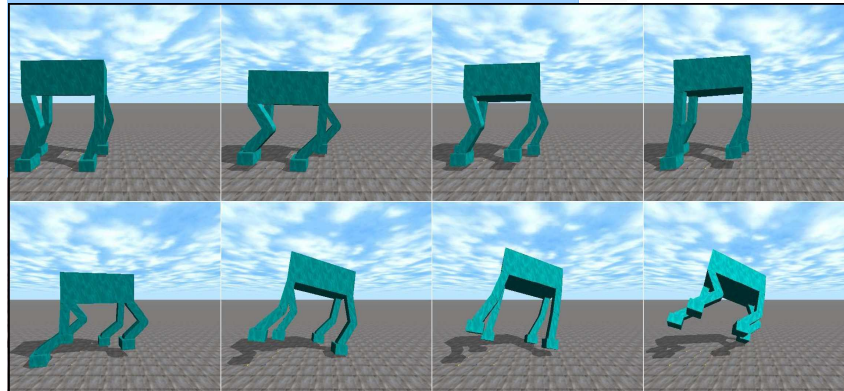
LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic
 Virtual Legged Robots
LEGGEN Simulator

DIMENSIONS OF THE SIMULATED ROBOTS

Part	TetraL3J		
	x	y	z
Body	45.0	15.0	25.0
Thigh	5.0	15.0	5.0
Shin	5.0	15.0	5.0
Paw	8.0	5.0	9.0

Genetic Evolved Control
 of Articulated Robots (w/legs)



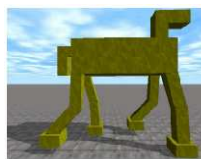
25

05 Jun 2007

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots
LEGGEN Simulator - Tools:

- 1. OSG - Open Scene Graph (OpenGL + Extensions)**
 [<http://www.openscenegraph.org/>] **Graphics Engine**
- 2. ODE - Open Dynamics Engine**
Rigid Body Physics Simulation
 (gravity, inertia, friction, collision, joints, etc)
 [<http://www.ode.org/>] **Physics Engine**



Parte	Dimensões		
	x	y	z
Corpo	45,0cm	15,0cm	25,0cm
Coxa	5,0cm	15,0cm	5,0cm
Canela	5,0cm	15,0cm	5,0cm
Pata	8,0cm	5,0cm	9,0cm

26

05 Jun 2007

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

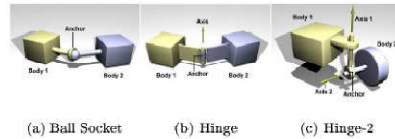
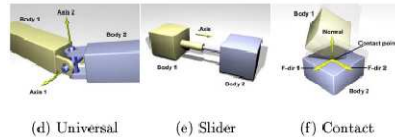
Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots

LEGGEN Simulator - Tools:

1. OSG - Open Scene Graph (OpenGL + Extensions)

[<http://www.openscenegraph.org/>]

2. ODE - Open Dynamics Engine



3. GALib

Genetic Algorithms Simulation
<http://www.lancet.mit.edu/ga/>

4. Robot Control: Joint Angles

Finite State Machine
 Artificial Neural Nets

27

05 Jun 2007

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots

LEGGEN Simulator - Tools:

1. OSG - Open Scene Graph (OpenGL + Extensions)

[<http://www.openscenegraph.org/>]

2. ODE - Open Dynamics Engine

Control:

- Joints with motors
- Activate motors to set a specific angle for each joint
- Sequence of angles = Walk!

3. GALib

Genetic Algorithms Simulation
<http://www.lancet.mit.edu/ga/>

4. Robot Control: Joint Angles

Finite State Machine
 Artificial Neural Nets

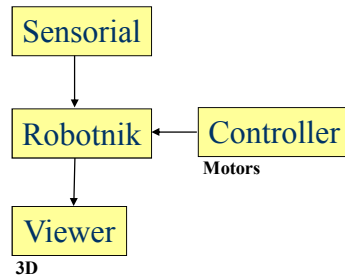
28

05 Jun 2007

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots

LEGGEN Simulator - Tools:



29

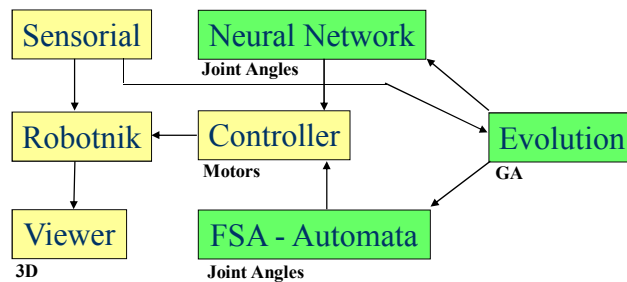
05 Jun 2007

Visualization

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots

LEGGEN Simulator - Tools:



30

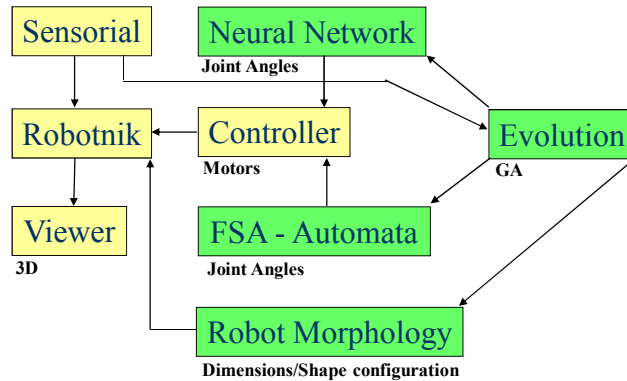
05 Jun 2007

Evolve Control +
Visualization

LEGGEN - ROBOT SIMULATION

Simulation of 3D Realistic Virtual Legged Robots

LEGGEN Simulator - Tools:



Evolve Robot +
 Evolve Control +
 Visualization

31

05 Jun 2007

LEGGEN SIMULATOR - GA

Genetic Algorithms Simulation

Algorithm 1 Pseudocode of the GA

```

F ← FitnessFunction
G ← NumberOfGenerations
M ← SizeOfPopulation
pc ← FrequencyOfCrossover
pm ← FrequencyOfMutation
Population ← RandomPopulation(M)
CalculateFitness(Population)
while GenerationNum < G do
  Parents ← Population
  Children ← Crossover(Parents, pc)
  NewPopulation ← Mutation(Children, pm)
  Population ← NewPopulation
  CalculateFitness(Population)
end while
return (BestIndividual)
  
```

GA Parameters:

Cross-Over: 0.80
 Mutation: 0.08
 Population: 350
 Generations: 700

Genome:

Evolve FSA
 Evolve ANN

32

05 Jun 2007

LEGGEN SIMULATOR - GA

Genetic Algorithms Simulation

Fitness Function:

$$F = \frac{D}{1 + B + a \times G}$$

F = Fitness
D = Walked Distance
B = Bumpers (paws touching ground ~ stability)
G = Gyro (gyroscope/accelerometers ~ stability)

$$B = \sum_{i=1}^P \left(\frac{n_i}{N} - \frac{1}{2} \right)^2$$

where
P = paws
ni = bumper contacts of paw i
N = total bumper sensor readings

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^N (z_i - \bar{z})^2}{N}}$$

G = Sum of x, y, z instability
where

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, \quad \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^N z_i}{N}$$

GA Parameters:

Cross-Over: 0.80
Mutation: 0.08
Population: 350
Generations: 700
Walking time: 30

33

05 Jun 2007

LEGGEN SIMULATOR - FSA

GA Finite State Machine

- The robot is placed in the starting position and orientation in the simulation environment;
- The genome is read and the robot control FSM table values are set;
- The physical simulation is executed during a predefined amount of time (sixty seconds in our experiments);
- Gait information and sensor data are captured during each individual physical simulation;
- Fitness is calculated and returned to the GAlib;

EXAMPLE OF A GENOTYPE

	State 1	State 2	State 3	State 4
Reference velocity	1.1703	2.0705	1.2499	1.5901
Front legs - hip	0.0698	-0.6283	-0.1570	-0.0698
Front legs - knee	1.0473	0.7504	0.2268	0.4363
Front legs - ankle	-1.1172	-0.1221	-0.0698	-0.3665
Rear legs - hip	-0.1570	-0.0698	0.0698	-0.6283
Rear legs - knee	0.2268	0.4363	1.0473	0.7504
Rear legs - ankle	-0.0698	-0.3665	-1.1172	-0.1221

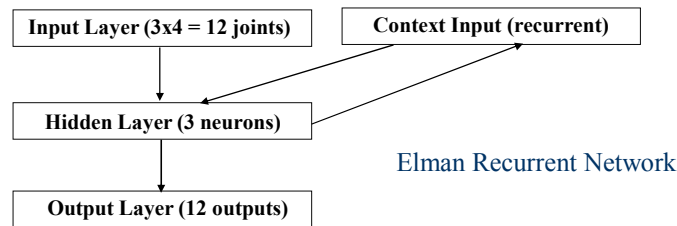
Genome:

- * FSM: Table of *Target States* (Sequence of Actions)
- * Target angles + Reference Angular velocity
- * Adjust velocity
- * Fitness Function: Sensor based

34

05 Jun 2007

GA Artificial Neural Network



Input: joint angles at time t $[-1: +1]$

Output: joint angles at time $t+1$ $[-1: +1]$

Temporal sequence of joint angles.

Learning: adjust ANN weights - **Not supervised**
 $\Rightarrow$ Genetic Algorithm weight adjust

35

05 Jun 2007

Simulation main goals:

Evaluate robot control...

1. Using evolved FSA (automata - sequence of target angles)
2. Using evolved ANN (sequence of joint angles)

Evolution:



FSA - Target angles evolved using a Genetic Algorithm

ANN - Weights evolved using a Genetic Algorithm

Robot Morphology - Dimension/Shape evolved by a GA

Fitness - Sensors (physical simulation)

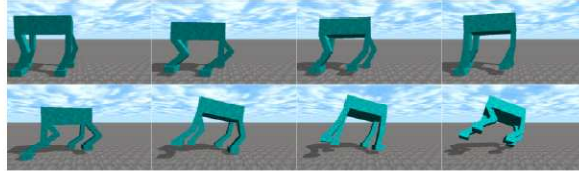
36

05 Jun 2007

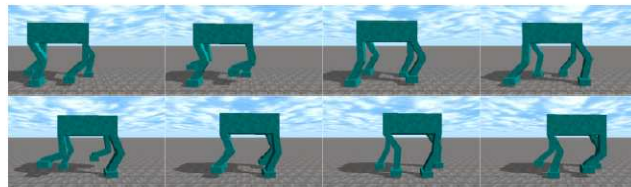
Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

EVOLVING ANN AND ROBOTS

Results: Evolving only ANN based robot control...



ANN => "Learning to Walk"



37

05 Jun 2007

Aprendizado de Máquina em Robótica Móvel

EVOLVING ANN AND ROBOTS

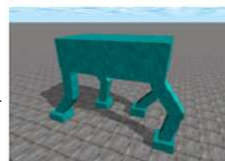
Results:

Evolving morphology...

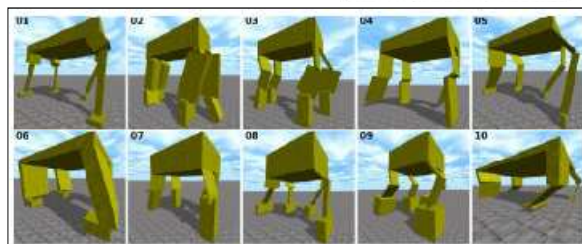
The chromosome includes x, y, z size for each segment

DIMENSIONS OF THE SIMULATED ROBOTS

TetraL3J			
Part	x	y	z
Body	45.0	15.0	25.0
Thigh	5.0	15.0	5.0
Shin	5.0	15.0	5.0
Paw	8.0	5.0	9.0



Typical
Robot



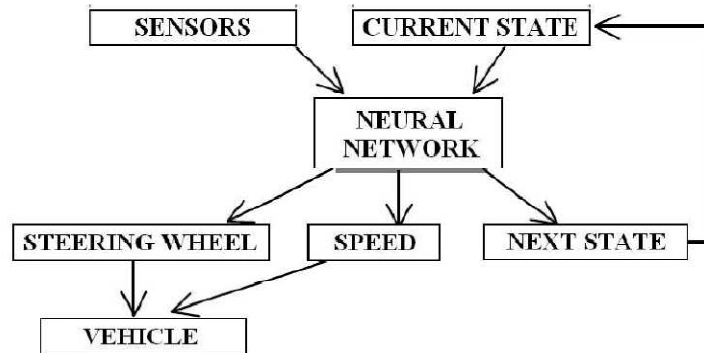
Robots with
Evolved
Morphology

38

05 Jun 2007

FUTURE WORK ?

Next steps... Autonomous parking control model (SEVA)
 integrated with LEGGEN control model
 [IEEE WCCI / IJCNN 2006]



39
 05 Jun 2007

Fig. 7. Artificial neural network model scheme

Aprendizado de Estratégias:

➤ **Sistemas Multi-Robóticos: Robombeiros**

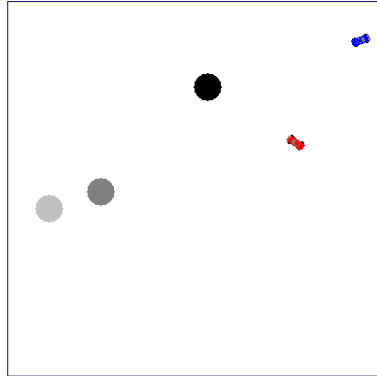


Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: Robombeiros
 Planejamento de Trajetórias – Otimização usando G.A.

40
 Maio 2010

Competições Robóticas:

- Simulação: Robôs, Veículos e Agentes Autônomos
- Aprendizado de Robôs e Agentes Autônomos



IEEE CEC 2007 Car Racing Competition



CIG2009
IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games
September 7-10, 2009 - Politecnico di Milano, Milano, Italy

41

Mai 2010

Competições Robóticas:

- Simulação: Robôs, Veículos e Agentes Autônomos
- Aprendizado de Robôs e Agentes Autônomos



Simulated Car Racing

The simulated car racing competition of CIG-2010 is the final event of the 2010 Simulated Car Racing Championship, an event joining the three competitions held at CEC-2010, GECCO-2010, and CIG-2010.

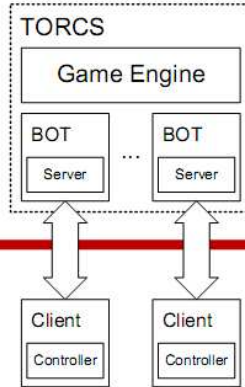
<http://www.ieee-cig.org/> Competitions

42

Mai 2010

Competições Robóticas:

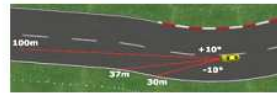
TORCS:
 The Open Racing Car Simulator
<http://torcs.sourceforge.net/>



Simulated Car Racing

The simulated car racing competition of CIG-2010 is the final event of the 2010 Simulated Car Racing Championship, an event joining the three competitions held at CEC-2010, GECCO-2010, and CIG-2010.

Sensors & Actuators Model



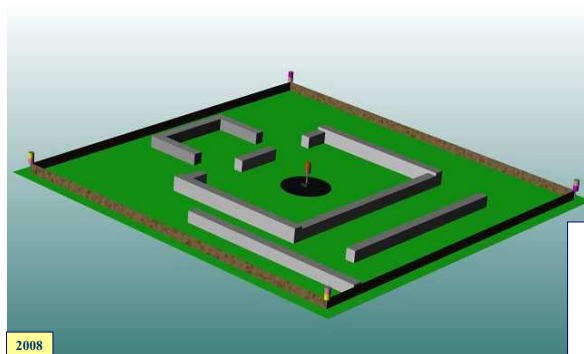
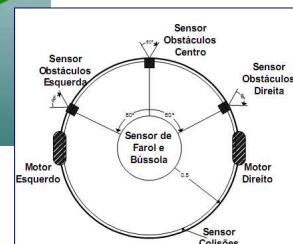
43

Maio 2010

<http://www.ieee-cig.org/> Competitions

Competições Robóticas:

Ciber-Rato / Micro-Rato:
 Competição Robótica organizada pela Universidade do Aveiro (Pt)



44

Maio 2010

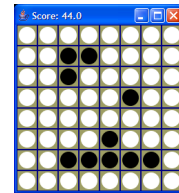
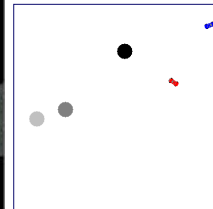
Competições Robóticas:

CIG Competitions 2007:

- * Ms. Pac-Man
- * X-Pilot AI

- * Simulated Car Racing
- * Othello

<http://cswwww.essex.ac.uk/cig/2007/>
 IEEE CIG 2007 Competitions



45

Maio 2010

Competições Robóticas:

CIG Competitions 2010:

- * The 2K BotPrize
- * The Defcon AI Competition
- * The Simulated Car Racing Competition

<http://www.ieee-cig.org/>
 IEEE CIG 2010 Competitions



46

Maio 2010

Referências: Machine Learning

Referências – Aprendizado e Agentes Autônomos:

>> Ferramentas

SNNS / JavaNNS => <http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/SNNS/>
WEKA => <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
GA-Lib => <http://lancet.mit.edu/ga/>

>> Referências – Competições Simuladas

Competições: CIG - http://www.ieee-cig.org/?page_id=119 (Games)
CEC - <http://www.cec-2010.org/competitions.shtml>
Car Racing => http://www.ieee-cig.org/?page_id=119 (Simulated)
http://cig.dei.polimi.it/?page_id=80
Pac-Man => <http://www.cec-2010.org/competitions.shtml#pacMan>
Bot Prize => <http://botprize.org/> (UnReal at CEC)
CiberMouse => http://www.ieeta.pt/~lau/web_CiberRTSS07/
Ciber-Rato => <http://microrato.ua.pt/>

Referências: Machine Learning

Referências – Aprendizado e Agentes Autônomos:

>> Referências – Competições com Robôs Reais

Competições:

DARPA Challenge => <http://www.darpa.mil/grandchallenge/>
ELROB => <http://www.elrob.org/>
LARC => <http://robotica.elo.utfsm.cl/competencia/>
RoboCup => <http://www.robocup.org/>
Fire-Fighting Contest => <http://www.trincoll.edu/events/robot/>
Ciber-Rato => <http://microrato.ua.pt/>
OBR => <http://obr.ic.unicamp.br/>
JRI / LARC => http://jri2008.dca.ufrn.br/LARC/index_en.php



INFORMAÇÕES SOBRE A DISCIPLINA

USP - Universidade de São Paulo - São Carlos, SP
ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
SSC - Departamento de Sistemas de Computação

Prof. Fernando Santos OSÓRIO

PAE Maurício Acconcia Dias

Web institucional: [Http://www.icmc.usp.br/ssc/](http://www.icmc.usp.br/ssc/)

Página pessoal: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

E-mail: fosorio[at]{ icmc.usp.br, gmail.com } # macccdias[at]gmail.com

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos

Web Disciplinas: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,

> Material de Apoio, Trabalhos Práticos