



**USP - ICMC - SSC – Pós-Grad. CCMC  
SSC 5897 (SMR) - 2o. Semestre 2010**

**Disciplina de  
Sistemas Multirrobóticos  
SSC-5897**

**Prof. Fernando Santos Osório**

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

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

**Prof. Eduardo do Valle Simões**

**Email: simoes [at] icmc.usp.br**

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

**Aula 01: Sistemas Multi-Robóticos**

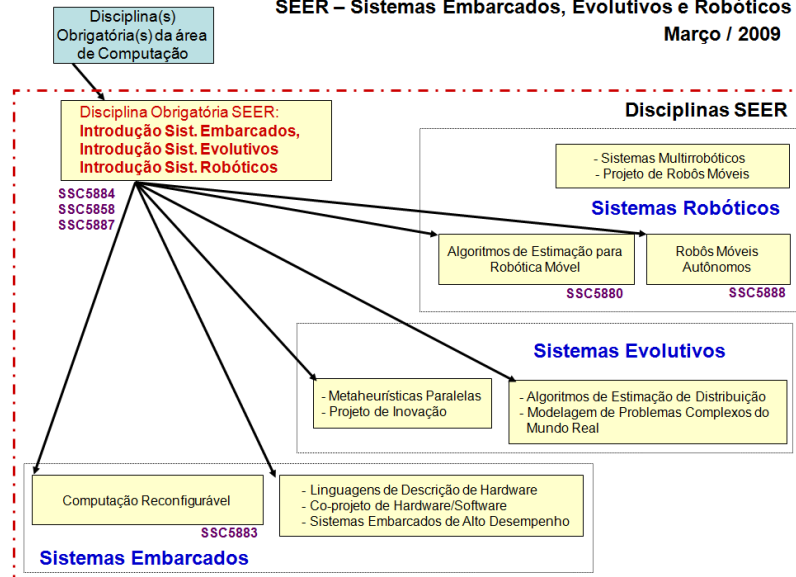
**Agenda:**

**Sistemas Multi-Robóticos**

- 1. Disciplinas do Grupo SEER**
- 2. Disciplina SMR – Sistemas Multirrobóticos**
- 3. Programa e Conteúdos**
- 4. Material de Apoio e Bibliografia**
- 5. Avaliação**
- 6. Sistemas Multirrobóticos – Conceitos**
  - Sistemas Multi-Agentes (SMA)**
  - Swarms, Ant Colony Systems, Groups, Teams and Squads**
  - Coordenação e Comunicação em Sistemas Multi-Robóticos**
  - Comportamento em Sistemas Multi-Robóticos**
  - Aplicações de Grupos Robóticos**
  - Aplicações de Enxames Robóticos**

## 1. Disciplina do Grupo SEER

SEER – Sistemas Embarcados, Evolutivos e Robóticos  
 Março / 2009



## 2. Disciplina SMR: Sistemas Multirrobóticos

### SSC 5897 –Sistemas Multirrobóticos

- **Objetivos** [ FenixWeb - <https://sistemas.usp.br/fenixweb/fexDisciplina?sgldis=SSC5897> ]

Esta disciplina aborda temas relacionados com as pesquisas atuais na área de **sistemas multirrobóticos**.

Serão apresentados sistemas de controle, de comunicação, de colaboração e de execução de tarefas coletivas, aplicados em sistemas compostos por múltiplos robôs.

Esta disciplina visa abordar temas relacionados com a área de sistemas robóticos multiagentes, englobando tópicos avançados como: robótica evolutiva, inteligência de enxames (Swarm Intelligence), algoritmos de otimização baseados em colônias de formigas (Ant Colony Systems) e estratégias de planejamento para esquadrões de robôs (Robotic Squads).

Os alunos irão desenvolver aplicações práticas de controle de múltiplos robôs móveis, através do uso de simuladores e de robôs reais, em que serão executadas tarefas de otimização e de colaboração, como por exemplo: auto-organização de grupos, exploração e busca de recursos, divisão de tarefas, perseguição em grupo, cercar um alvo, entre outras.

### 3. Programa e Conteúdos

#### SSC 5897 – Sistemas Multirrobóticos

- **Conteúdo** [ FenixWeb - <https://sistemas.usp.br/fenixweb/fexDisciplina?sgldis=SSC5897> ]
  - Introdução aos conceitos de robótica móvel:  
comportamento individual x comportamento coletivo;
  - Sistemas multirrobóticos: comunicação e colaboração entre robôs  
(comunicação direta e indireta; controle centralizado e distribuído;  
auto-organização);
  - Comportamento coletivo: otimização de processos e resolução de tarefas;
  - Robótica Evolutiva: algoritmos evolutivos aplicados no desenvolvimento  
automático do controladores para sistemas multirrobóticos;
  - Inteligência de enxames: Swarm Intelligence, Swarm Optimization;
  - Algoritmos de otimização baseados em colônias de formigas:  
Ant Colony Systems;
  - Estratégias de planejamento para esquadrões de robôs: Robotic Squads;
  - Aplicações: Abordagens de resolução de tarefas coletivas;
  - Implementação de sistemas multirrobóticos: algoritmos e métodos.

### 3. Programa e Conteúdos

#### SSC 5897 – Sistemas Multirrobóticos

- **Programa:**

##### AULA DATA Conteúdo Previsto

- 01 - 12/08 - Apresentação da Disciplina (Simões/Osório)
- 02 - 19/08 - SWARM e SwarmBots (Simões)
- 03 - 26/08 - ACS - Ant Colony Systems (Simões)
- 04 - 02/09 - Nano-robôs: Estudo sobre o Claytronics (Osório)
- 05 - 09/09 - SEM AULA [Semana da Pátria]
- 06 - 16/09 - Esquadrões Robóticos: Mapeamento e Localização (Osório)
- 07 - 23/09 - Aplicações de Swarms (Simões) [SemComp]
- 08 - 30/09 - Esquadrões Robóticos: Estratégias e Tarefas (Osório)
- 09 - xx/10 - Apresentação final dos trabalhos práticos: Alunos

Caso necessário o programa poderá ser atualizado.

## 4. Material de Apoio e Bibliografia

### SSC 5897 – Sistemas Multirrobóticos

- Material de Apoio

**Material on-line:**

WebPage do Professor - <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

**Informações Complementares e Atualizadas:**

Wiki ICMC - [http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC5897\(Fosorio\)](http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC5897(Fosorio))

Disciplina: Robôs Móveis Autônomos (Grad), ISR, RMA (Pós-Grad)

**Palestras e Cursos:**

- Curso JAI 2005
- Curso JAI 2009
- Curso de Extensão: Programação de Robôs

## 4. Material de Apoio e Bibliografia

### SSC 5897 –Sistemas Multirrobóticos

- Material de Apoio

LRM, LCR, Grupo SEER, Proj. SENA  
SBC - JAI 2005, JAI 2009  
INCT-SEC - Instituto Nac. de C&T  
*Sistemas Embarcados Críticos*

XXV Congresso da SBC  
MNI CURSO - JAI2009 / Jornada de Atualização em Informática  
Julho 2009 - UNISINOS - São Leopoldo-RS

"Computação Embarcada: Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes"

Responsáveis:

Prof. Dr. Christian Kubler  
Prof. Dr. Claudio Jung  
Prof. MSc. Fabio Simões  
Prof. Dr. Fernando Duarte

SLIDES de apresentação (em formato PDF)

Parte I - Prof. Roberto - Slides (Parte I) - Slides (Parte II)  
Parte II - Prof. Kubler - Slides  
Parte III - Prof. Duarte - Slides (Parte I) - Slides (Parte II)  
Parte IV - Prof. Jung - Slides

TEXTO de Msc-Curso - [Arquivo PDF](#) [Veja aqui!](#)

RESUMO do Msc-Curso

Este curso tem por objetivo apresentar um panorama sobre as novas tendências, técnicas e aplicações de computação embarcada em veículos baseados de robótica móvel, e de instrumentação e controle de veículos autônomos, com ênfase nas novas tecnologias computacionais utilizadas em aplicações de robótica computacional no campo de veículos autônomos, com ênfase em sistemas de apoio ao motorista. Além disso também serão implantados de sistemas de apoio ao motorista na sociedade brasileira, relativos ao aumento da segurança, mas questionado também quanto a finalidade, sendo apresentados projetos relativos a veículos autônomos desenvolvidos pelo Instituto Tecnológico e também por grupos de pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Veículos Autônomos de Tráfego (GPAV).

LENKS Complementares:

#### Laboratório de Robótica Móvel



#### Bem vindo!

O Laboratório de Robótica Móvel desenvolve pesquisas em diversas áreas relacionadas à robótica. Entre elas destacamos os veículos computacionais autônomos, computação embarcada, representação de mapas, sistemas computacionais heterogêneos, centros de controle através de rede e simulação. O laboratório conta com robôs e sensores avançados para a representação e teste dos sistemas desenvolvidos.

#### Temas de Pesquisa

- Mapeamento
- Localização
- Simulação
- Robótica
- Sistemas Multi-robôs
- Controle adaptativo

#### News

- ACM SACROB ROBOT - Special track on Intelligent Robotic Systems
- Projeto SEM - Cooperação com o Laboratório de Mecatrônica - EESC/USP



[http://csbc2009.inf.ufpa.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=28](http://csbc2009.inf.ufpa.br/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=28)

### XXIX CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO

Os Grandes Desafios Científicos e os Impactos da Computação na Sociedade

DE 1 A 10 DE JUNHO DE 2009  
BENTO GONÇALVES - RS

Início	Eventos
Notícias	
Programação	
Eventos	
Inscrições	
Local do Evento	
Coordenação	
Hospedagem	
Contato	

pesquisar

## 4. Material de Apoio e Bibliografia

### SSC 5897 - Sistemas Multirrobóticos

- **Bibliografia**

**Bibliografia Básica:**

- Ver Ementa

**Bibliografia Complementar:**

- Ver Ementa

## 4. Material de Apoio e Bibliografia

### SSC 5897 - Sistemas Multirrobóticos

- **Bibliografia**

**Bibliografia Complementar:**

- Dudek, Gregory & Michael Jenkin. *Computacional Principles of Mobile Robotics*. Cambridge Press, 2000.

- Mataric, Maja J. *The Robotics Primer*. MIT Press, 2007.

- Bekey, George A. *Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control*. The MIT Press: Cambridge, London. 563p (2005).

- Arkin, Ronald C. *Behavior-based robotics*. Cambridge, Mass. : MIT Press, c1998.

- Thrun, Sebastian; Wolfram Burgard; Dieter Fox. *Probabilistic robotics*. Cambridge, Mass. : MIT Press, c2006.

- Bräunl, Thomas. *Embedded robotics : mobile robot design and applications with embedded systems*. Berlin; New York : Springer, c2006.

- Jones, Joseph L.; Bruce A. Seiger; Anita M. Flynn. *Mobile robots : inspiration to implementation*. Natick, Mass. : A.K. Peters, c1999

- Siegwart, Roland & Illah R. Nourbakhsh. *Introduction to autonomous mobile robots*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 2004

## 4. Material de Apoio e Bibliografia

### SSC 5887 – Introdução aos Sistemas Robóticos

- **Bibliografia**

#### Bibliografia...

- Brooks, Rodney. *Cambrian Intelligence: The Early History of the new AI*. Bradford Book. MIT Press, 1999.
  - Pio, J. L. de Souza e Campos, M. F. M. (2003). *Navegação Robótica*. XXII Congresso da SBC. Anais JAI'03. Campinas, SP.
  - Medeiros, Adelardo A.D. (1998). *A Survey of Control Architectures for Autonomous Mobile Robots*. JBCS - Journal of the Brazilian Computer Society, Special issue on Robotics. v.4, n.3.
  - Latombe, J. (1991). *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publisher, Boston, MA.
- + Referências de I.A. (A.I. and Machine Learning):
- Mitchell, T. M. *Machine learning*. New York: McGraw-Hill - Computer Science, 1997. 414p.
  - Haykin, Simon. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall. 2nd Ed. 1999. 842p. (Tradução: *Neural Network: Princípios e Prática*. Bookman, 2001).
  - Rezende, Solange Oliveira. *Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações*. Manole Editora. 2003. 525p.
  - Mitchell, Melanie. *An introduction to genetic algorithms*. MIT Press, 1996. 209p.
- + Referências:
- SBC JAI 2005, SBC JAI 2009, Web: Artigos, Teses...

## 5. Avaliação

### SSC 5897 – Sistemas Multirrobóticos

- **Avaliação:**

#### SISTEMÁTICA DAS AULAS-SEMINÁRIOS

- Seleção de 3 artigos para serem estudados pelos alunos (3 p/cada aluno)
- Apresentação dos seminário sobre os artigos pelos alunos  
Seminários com duração de 30 a 45 minutos;
- Discussão sobre os conceitos, os métodos e as abordagens adotadas e apresentadas no artigo;
- Um aluno outro será escolhido o “chair” da sessão de apresentação de artigos
- Os alunos serão avaliados pelos seus seminários.

#### TRABALHO PRÁTICO FINAL

- Implementação de uma simulação de um sistema multirrobótico;
- O trabalho "padrão" será baseado no software player-stage, entretanto os alunos podem escolher um outro software para implementar o seu trabalho de simulação.

### Agenda:

#### Sistemas Multi-Robóticos - Coordenação e Colaboração:

##### 1. *Sistemas Multi-Agentes (SMA)*

Conceitos SMA (Sist. Multi-Agentes) e IAD (I.A. Distribuída)

Exames: ACO, Swarms

##### 2. *Coordenação em Sistemas Multi-Robóticos*

Conceitos, Tipos de Coordenação, Comunicação

Aplicações de Grupos Robóticos

Aplicações de Enxames Robóticos

##### 3. *Comportamento em Sistemas Multi-Robóticos*

A\* Colaborativo/Distribuído

Reynolds: Boids, Flocks, Steering Behaviours

Aplicações: Futebol de Robôs, Robombeiros, Swarm-Bot Project

### Sistemas Multi-Agentes:

#### *Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...*



### Sistemas Multi-Agentes:

*Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...*



15

Agosto 2010

### Sistemas Multi-Agentes:

*Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...*

Projeto de Sistemas Multi-Agente: [Wooldridge 2002]

- A multiagent system is one that consists of a number of agents, which interact with one-another
- In the most general case, agents will be acting on behalf of users with different goals and motivations
- To successfully interact, they will require the ability to **cooperate**, **coordinate**, and **negotiate** with each other, much as people do
- The first problem is **agent design**, the second is **society design** (micro/macro)

16

Agosto 2010

"An Introduction to MultiAgent Systems" by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002



### Sistemas Multi-Agentes:

*Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...*

**Problemas do Projeto de Sistemas Multi-Agente: [Wooldridge 2002]**

- In Multiagent Systems, we address questions such as:
  - How can cooperation emerge in societies of self-interested agents?
  - What kinds of languages can agents use to communicate?
  - How can self-interested agents recognize conflict, and how can they (nevertheless) reach agreement?
  - How can autonomous agents coordinate their activities so as to cooperatively achieve goals?
  - ***How can they share Knowledge and Goals?***

### Sistemas Multi-Agentes:

*Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...*

**Onde aplicar Sistemas Multi-Agente:**

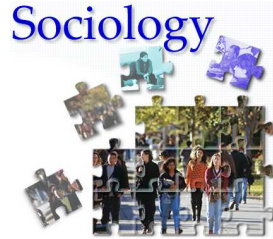
Apply MAS when some of the following features show up in a problem

- Decentralization
- Complex components, often best described at the knowledge level
- Adaptive behavior
- Complex interactions
- Coordination
- Emergent, aggregate behaviors

### Sistemas Multi-Agentes:

#### *Multiagent Systems is Interdisciplinary*

- The field of Multiagent Systems is influenced and inspired by many other fields:
  - Economics
  - Philosophy
  - Game Theory
  - Logic
  - Ecology
  - Social Sciences
- This can be both a strength (infusing well-founded methodologies into the field) and a weakness (there are many different views as to what the field is about)
- This has analogies with artificial intelligence itself



19

Agosto 2010

“An Introduction to MultiAgent Systems” by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002

### Sistemas Multi-Agentes:

#### *Multiagent Systems is Interdisciplinary*

- The field of Multiagent Systems is influenced and inspired by many other fields:
  - Economics
  - Philosophy
  - Game Theory
  - Logic
  - Ecology
  - Social Sciences
- This can be both a strength (infusing well-founded methodologies into the field) and a weakness (there are many different views as to what the field is about)
- This has analogies with artificial intelligence itself

Teoria de Jogos:

Competição  
Cooperação  
Ganho / Perda  
Reputação

20

Agosto 2010

“An Introduction to MultiAgent Systems” by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Questões...

- What are multi-agent systems?
- What are the problems with teams of multiple agents?
- What is heterogeneity in multi-agent systems?
- How do we control multi-agent systems?
- How do agents cooperate in multi-agent systems?
- How do agents communicate in multi-agent systems?
- How do agents work on a goal in multi-agent systems?

Tasks, Agents (sensors/actuators), Goals, Organization  
AEIO = Agent, Environment, Interaction, Organization

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Conceitos:

- SMA Homogêneo / Heterogêneo
- SMA Abertos / Fechados (projeto único, objetivo comum)
- Agentes: Especificação de Recursos e Capacidades
- Plano de Ação, Divisão de Tarefas e Coordenação:
  - \* Sistema Centralizado
  - \* Sistema Hierárquico
  - \* Sistema Distribuído e Descentralizado
  - \* Negociação Tarefas e Objetivos: Papéis, Autoridade, Comportamentos
- Comunicação:
  - \* Broadcast, MultiCast, Peer-to-Peer
- Conhecimentos: Local, Centralizado, Distribuído

## Sistemas Multi-Robóticos: SMA

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Conceitos:

##### ➤ Tipos de Cooperação

- *Active Cooperation*: Acknowledging one another and working together
- *Non-active Cooperation*: Individually pursue a goal without acknowledging other robots but cooperation emerges
- *Physical Cooperation*: Physically aid each other or interact in similar ways

##### ➤ Tipos de Objetivos

- *A shared single goal*: All robots in the collection work on attaining the same explicit goal
- *Individual goals*: Each robot has a single goal and shares a common goal
- *Emergent cooperation*: Not the same as having a single goal



23

Agosto 2010

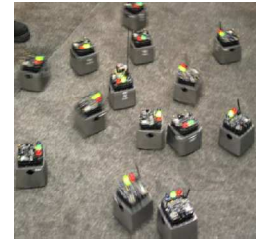
## Sistemas Multi-Robóticos: SMA

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Aplicações:

##### ➤ Enxames

ACO – Ant Colony Optimization  
Swarms



24

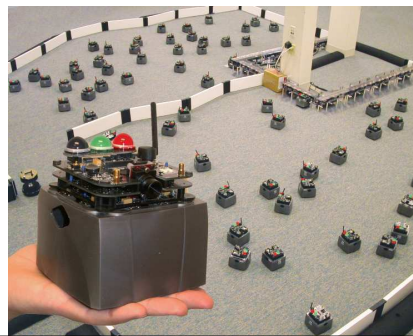
Agosto 2010

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Aplicações:

- Enxames

ACO – Ant Colony Optimization  
 Swarms



25

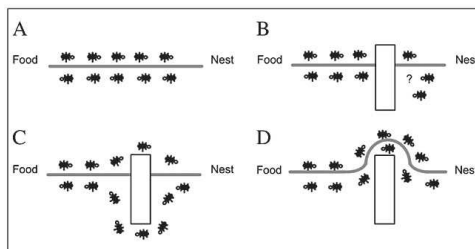
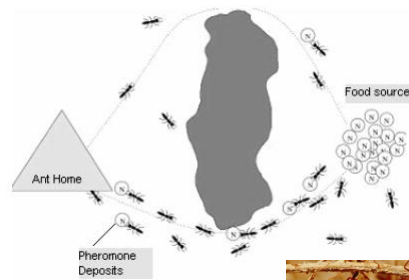
Agosto 2010

### Sistemas Multi-Agentes:

#### Aplicações:

- Enxames

ACO – Ant Colony Optimization  
 Swarms



Exploração  
 Coordenação  
 Otimização



Figure 2. A, Ants in a pheromone trail between nest and food; B, an obstacle interrupts the trail; C, ants find two paths to go around the obstacle; D, a new pheromonic trail is formed along the shorter path.

26

Agosto 2010

### Sistemas Multi-Agentes:

#### *Vantagens:*

- “Unidos venceremos”, “A união faz a força”  
=> Ganho coletivo, cumprir uma tarefa, atingir objetivos
- **Otimização: distribuição de tarefas, colaboração**
- **Explorar melhor os recursos disponíveis**
- **Agregar capacidades, conhecimentos e força**

#### Robótica:

**Cooperação, Estratégia, Colaboração, Ação Coordenada**  
**Equipe, Grupos, Times, Enxames, ...**   **Sistemas Multi-robóticos**

### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

#### *Conceitos:*

Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada:

- **Comunicação Implícita (sensores - através do ambiente) ;**
- **Comunicação Explícita (troca de mensagens);**

#### Tipos de Tarefas:

- **Colaboração: robôs cooperam para alcançar um objetivo comum;**
- **Competição: predador(es)-presa(s), futebol de robôs;**
- **Otimização do Desempenho: busca e resgate de vítimas, mapeamento do ambiente de forma distribuída;**

#### Tipos de Coordenação:

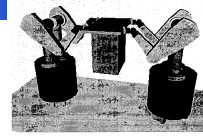
- **Centralizada**   - **Distribuída**
- **Hierárquica**   - **Auto-Organizada**

## Sistemas Multi-Robóticos

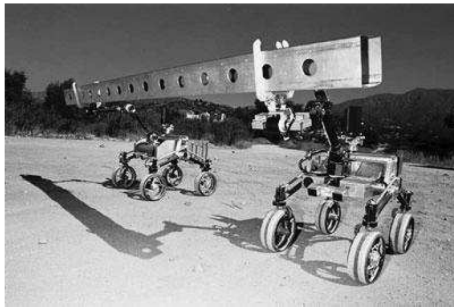
### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

#### Aplicações:

#### Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



Cooperation by multiple branching robots



Robots performing a cooperative task (Courtesy: NASA/JPL-Caltech).



"The Augmented Object Model: Cooperative Manipulation and Parallel Mechanism Dynamics". Chang, K., Holmberg, R., Khatib, O. Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, April 2000, pp. 470-475.

R. Fierro, L. Chaimowicz, V. Kumar "Multi Robot Cooperation".  
In Autonomous Mobile Robots: Sensing, Control, Decision-Making, and Applications.  
S. S. Ge and F. L. Lewis (Eds.). CRC Press - Taylor & Francis Group, pp. 417-459, 2006

29

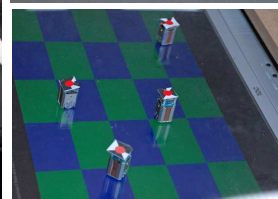
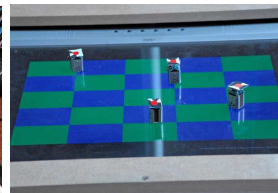
Agosto 2010

## Sistemas Multi-Robóticos

### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

#### Aplicações :

#### Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



30

Agosto 2010

### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

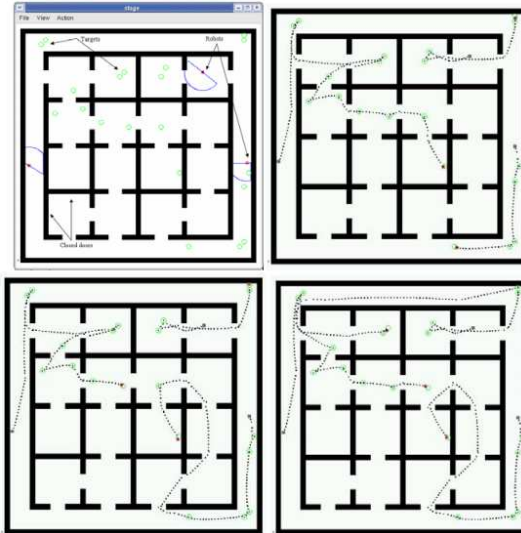
#### Aplicações :

**Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada**



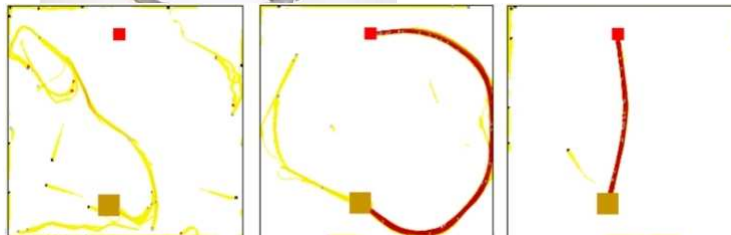
Multi-robot team composed of air and ground vehicles.

Multi-Robot Systems:  
From Swarms to Intelligent Automata (Volume III).  
Proceedings from the  
2005 International Workshop on Multi-Robot Systems.  
Edited by  
LYNNE E. PARKER,  
FRANK E. SCHNEIDER,  
ALAN C. SCHULTZ



### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

**Aplicações : Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada**

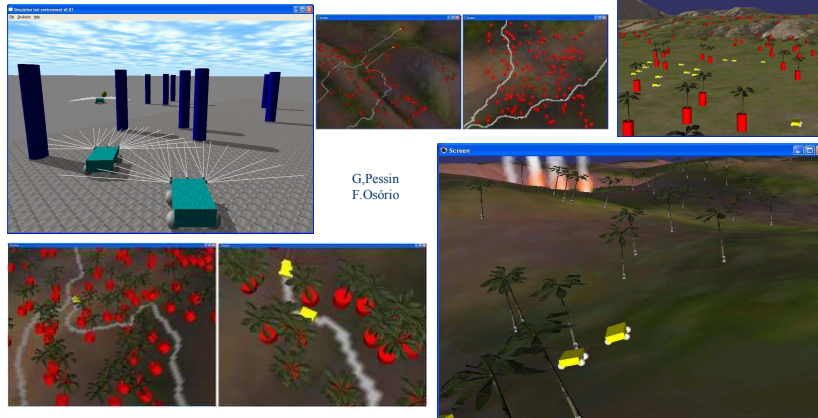




### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

**Aplicações:** Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada

**RoBombeiros – Simulador Robôs para Combate à Incêndios**



33

Agosto 2010

### Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

**Aplicações:**

**Grupos Robóticos / Enxames Robóticos**

- Monitoramento e Segurança de Ambientes
- Mapeamento Cooperativo de Ambientes
- Reação a Incidentes e Resgate em Acidentes (Segurança)
- Forças Táticas e Estratégicas (Aplicações Militares)
- Times em competições (Futebol de Robôs)

**Técnicas:**

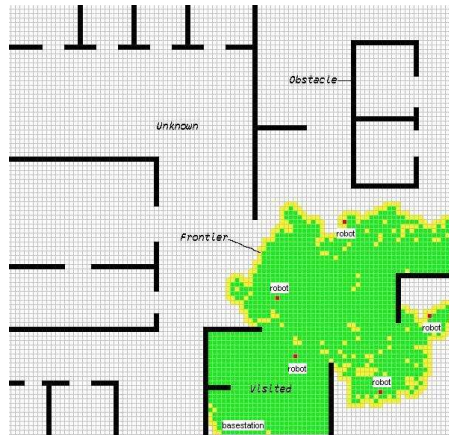
- Cercar um alvo
- Busca e Exploração em Paralelo
- Predador e Presa
- Formação de Esquadrões e Times
- Otimização
- Divisão de Tarefas e Responsabilidades

34

Agosto 2010

### Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A\*

#### Planejamento de Trajetórias em Equipes

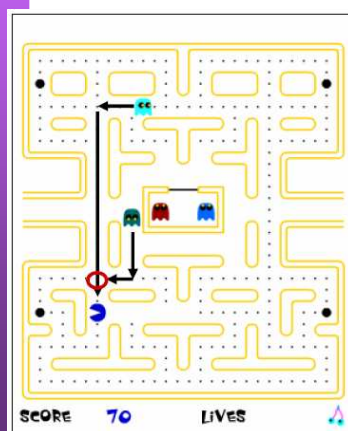


35

Agosto 2010

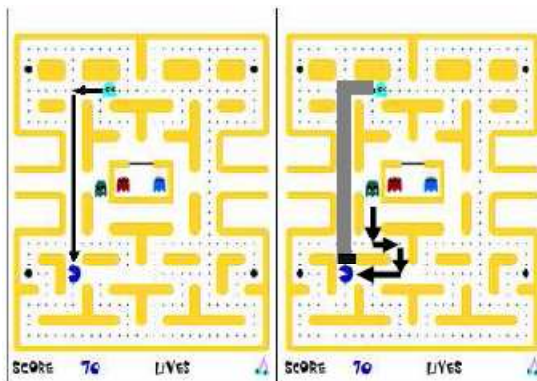
### Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A\*

#### Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada

EXPLORANDO O A\*



Perseguição coordenada

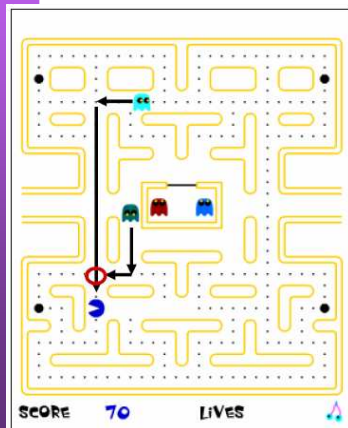
36

Agosto 2010

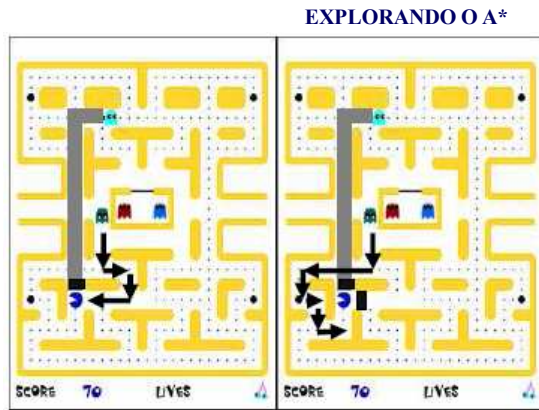
Tutorial SBGames 2007 - Agentes Especiais. F. Osório et al.

### Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A\*

#### Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada



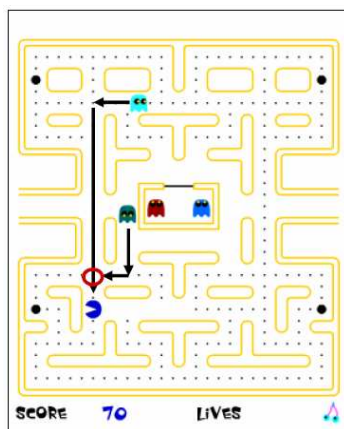
Perseguição coordenada

37

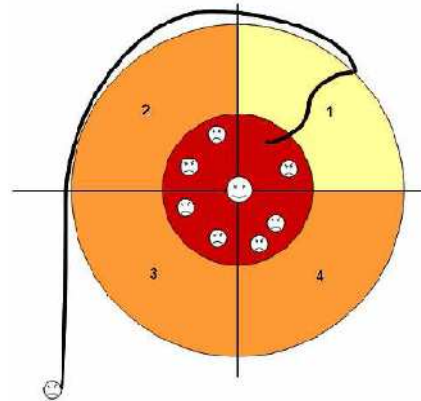
Agosto 2010

### Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A\*

#### Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada



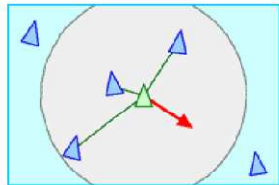
Perseguição coordenada  
"Cercar um Alvo"

38

Agosto 2010

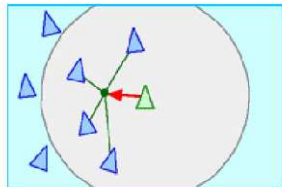
### Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: Reynolds

#### Planejamento de Trajetórias – Boids, Flocks, Steering Behaviors



(a)

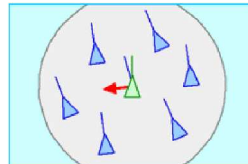
**Separation:** Direcionar o movimento dos agentes para evitar um aglomeramento local dos membros do grupo.



(c)

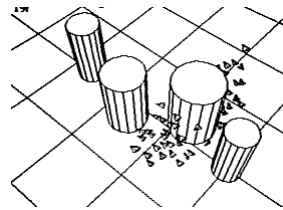
**Cohesion:** Direcionar o movimento de modo a ir em direção a posição central média dos membros do grupo.

#### Boids [Reynolds 2007]



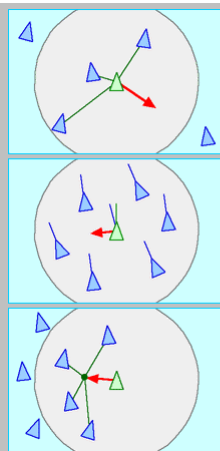
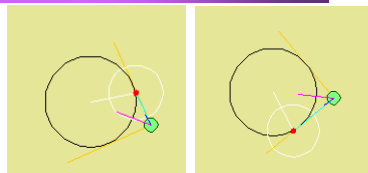
(b)

**Alignment:** Direcionar o movimento de modo a seguir o alinhamento médio (*heading*) dos membros do grupo.



39

Agosto 2010

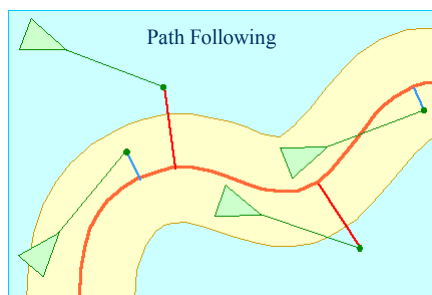


**Separation:** steer to avoid crowding local flockmates

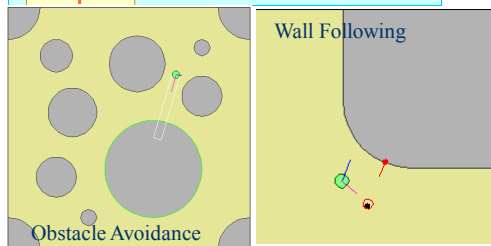
**Alignment:** steer towards the average heading of local flockmates

**Cohesion:** steer to move toward the average position of local flockmates

#### [Craig Reynolds]



#### Path Following

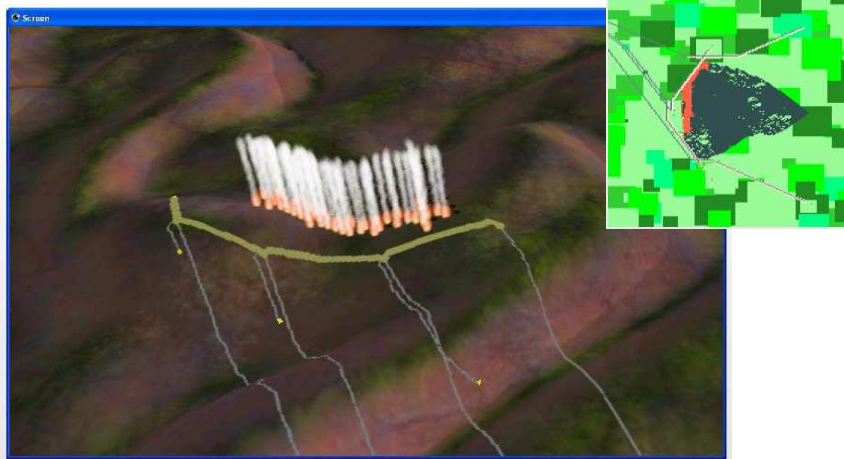


#### Wall Following



#### Obstacle Avoidance

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



41

Agosto 2010

### Referências – Sistemas Multi-Robóticos:

#### >> Ferramentas

- A\* => <http://www.inf.unisinos.br/~sbgames/anais/tutorials/>
- Reynolds Boids => <http://www.red3d.com/cwr/boids/>
- Reynolds Steering => <http://www.red3d.com/cwr/steer/>
- Robombeiros => <http://pessin.googlepages.com/>

#### >> Referências

- Stanford Robotics Institute: Romeo and Juliet
- Swarm-Bots Project => <http://www.swarm-bots.org/>
- Futebol de Robôs: Peter Stone and Manuela Veloso
- CyberMouse RTSS2008 => <http://www.ieeta.pt/lse/ciberRTSS08/info.htm>

42

Agosto 2010



**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**

**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](mailto:fosorio@icmc.usp.br) ou [fosorio \[at\] gmail. com](mailto:fosorio@gmail.com)**

**Disciplina de Sistemas Multirrobóticos**

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

**Web Wiki: [http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC5897\(Fosorio\)](http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC5897(Fosorio))**

**> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,**

**> Material de Apoio, Trabalhos Práticos**