

CONTROLE SENSOR-MOTOR BIOLÓGICAMENTE INSPIRADO PARA ROBÔS SITUADOS

ANDERSON GRANDI PIRES*, BRUNO ANDRÉ SANTOS*, HENRIQUE ELIAS BORGES*

**Laboratórios de Sistemas Inteligentes - LSI
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG
Av. Amazonas, 7675 - Nova Gameleira
Belo Horizonte, MG, Brasil*

Emails: anderson@lsi.cefetmg.br, bruno@lsi.cefetmg.br, henrique@lsi.cefetmg.br

Abstract— The traditional paradigm (information processing metaphor) used in the development of intelligent control systems has been criticized. One of the main critics is related to the dissociation of perception and action. In attention of this kind of criticism, this paper presents a conceptual framework that brings together relevant characteristics to the development of perception-in-action mechanisms (sensor-motor control) in situated robots. In addition of this, it is presented the implementation of a mechanism that makes the navigation sensor-motor control of such robots. At the end, it is discussed the robot's behaviors.

Keywords— Sensor-Motor Control, Intelligent Control Systems, Mobile Robots, Biological Inspired Robots, Navigation.

Resumo— O paradigma tradicional (metáfora do processamento de informações) empregado no desenvolvimento de sistemas de controle inteligente tem sido criticado, tendo com uma de suas principais críticas a dissociação da percepção e da ação. Em atenção a tais críticas, este artigo apresenta um arcabouço conceitual que agrupa algumas características relevantes para o desenvolvimento de mecanismos de percepção-em-ação (controle sensor-motor) em robôs situados, além de propor a implementação de um mecanismo como controle de navegação sensor-motor de tais robôs. Ao final é mostrada a análise dos resultados efetuada após a observação dos comportamentos apresentados pelo robô.

Keywords— Controle Sensor-Motor, Sistemas de Controle Inteligentes, Robôs Móveis, Robôs Biologicamente Inspirados, Navegação.

1 Introdução

Os sistemas que apresentam comportamento “inteligente”, desenvolvidos segundo a metáfora do processamento de informações, têm sofrido críticas (Pfeifer and Scheier, 1994; Möller, 1999; Hurley, 2001). Entre as principais críticas encontram-se aquelas relacionadas à dissociação dos processos de percepção e ação. Além desses processos serem compreendidos de maneira distinta, ambos são separados dos processos cognitivos de mais alto nível (Hurley, 2001, p. 3). A cognição, compreendida como um processamento simbólico das informações percebidas, é suposta como central e distinta dos processos sensor-motores, sendo responsável por criar uma interface entre a percepção e a ação. Com isso, tem-se um fluxo de “informações” seqüenciais indo da percepção, passando pela cognição e, finalmente, pela ação. A ação, nessa concepção, constitui um processo passivo e dependente dos demais, o que tem contribuído para que a mesma tenha sido negligenciada nos estudos relacionados à cognição (Hurley, 2001, p. 11).

Em decorrência das questões colocadas anteriormente surgiram abordagens alternativas para a compreensão da cognição e, conseqüentemente, da percepção e da ação. Essas abordagens compartilham de um mesmo princípio epistemológico na constituição de suas teorias, que compreende os processos cognitivos a partir de uma perspectiva dinâmica, auto-referenciável e circular (Terra

et al., 2004). Além disso, nessas abordagens os processos da percepção e da ação são compreendidos como co-dependentes. A identificação dessa co-dependência torna-se relevante ao se desenvolver sistemas de controle sensor-motor de robôs biologicamente inspirados, pois é esperado que tais sistemas sejam também inspirados biologicamente o que, por conseqüência, sugere que os mesmos se conformem com essa concepção.

Assim sendo, a seção 2 apresenta os aspectos mais relevantes de algumas abordagens que compreendem os processos cognitivos em uma perspectiva situada, com ênfase nos aspectos relacionados à percepção e ação, além de apresentar a aplicação de tais teorias no desenvolvimento de sistemas artificiais. Posteriormente (seção 3) é apresentado o mecanismo de percepção-em-ação (sistema de controle sensor-motor) desenvolvido a partir dessas teorias. Na seção 4 são discutidos alguns resultados experimentais obtidos quando da implementação desse mecanismo como controle de navegação sensor-motor de robôs situados. Finalizando, a seção 5 considera os trabalhos futuros e as conclusões efetuadas com o trabalho desenvolvido.

2 Abordagens situacionistas da cognição

As abordagens situacionistas da cognição, apesar das particularidades inerentes a cada uma, compartilham da compreensão de que a percepção

e a ação constituem processos simultâneos e inseparáveis. Tais processos compõem o sistema cognitivo dos seres vivos e, sendo assim, torna-se incoerente seu estudo em desassociação com o restante do sistema. As seções 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, os fundamentos que corroboram a característica imbricada dos processos de percepção-ação e a aplicação de tais fundamentos no desenvolvimento de artefatos artificiais.

2.1 Teorias da percepção

Entre as teorias da cognição que tratam a percepção e a ação de modo imbricado, encontram-se a abordagem ecológica de Gibson, citada por Garbarini and Adenzato (2004), Hurley (2001) e Noë and Thompson (2002), a abordagem *enaction* de Varela et al. (2003) e a biologia do conhecer de Maturana and Varela (2003). A abordagem ecológica de Gibson é relevante nos estudos da cognição por enfatizar a co-dependência entre a percepção e a ação. Um dos momentos em que Gibson enfatiza essa co-dependência é apresentado em Garbarini and Adenzato (2004, p. 101) onde é dito que “[...] faz-se necessário perceber para movimentar, mas nós também devemos nos movimentar para perceber”.

No trabalho de Gibson a percepção e a ação são caracterizadas pela compreensão situada da cognição. No que diz respeito à percepção, Gibson argumenta que a mesma não é uma ocorrência que surge no cérebro daquele que percebe, mas sim constitui um ato do animal como um todo, o ato de perceptualmente guiar as explorações do ambiente. No tocante à ação, Gibson enfatiza o seu papel ativo, o que avança em um sentido inverso àquele presente no paradigma tradicional, onde a ação é compreendida em uma perspectiva passiva.

A abordagem *enaction* de Varela et al. (2003) se apresenta como um trabalho proeminente dentre as abordagens contemporâneas da cognição. Nesse trabalho a cognição é compreendida como *ação incorporada*. Na utilização do termo *incorporada*, Varela et al. (2003) pretendem enfatizar dois aspectos: no primeiro, a ênfase encontra-se na dependência intrínseca da cognição e dos tipos de experiências possibilitadas pelas inúmeras capacidades sensor-motoras que surgem devido ao fato de se ter um corpo; no segundo, é ostentado o contexto biológico, psicológico e cultural nos quais tais capacidades sensor-motoras encontram-se embutidas. A utilização do termo *ação* procura enfatizar a inseparabilidade dos processos sensoriais e motores – a percepção e a ação – na cognição vivida. Conforme apresentado pelos autores “[os processos sensoriais e motores] não estão apenas ligados contingencialmente nos indivíduos: eles também evoluíram juntos.” (Varela et al., 2003, p. 177). Varela et al. (2003) resumem a abordagem *enaction* nos seguintes termos: “(1) a per-

cepção consiste em ação perceptivamente orientada e (2) as estruturas cognitivas emergem dos padrões sensório-motores recorrentes que possibilitam a ação ser perceptivamente orientada”.

A Biologia do Conhecer – também referenciada por teoria da autopoiese – foi desenvolvida por Maturana and Varela (2003). Nessa teoria, os seres vivos são constituídos de sistemas dinâmicos determinados estruturalmente o que implica que tudo o que acontece neles é determinado a cada instante por suas estruturas (Maturana and Mpodozis, 1997, p. 67). Isso resulta em uma contínua congruência estrutural entre o ser e o meio, e a conservação dessa congruência é o que sustenta a existência do ser. Nessa teoria, o fenômeno conotado pela palavra *percepção* consiste na associação, por um observador, das regularidades de comportamento que o mesmo distingue no organismo observado, com as condições do meio que o observador vê como desencadeando essas regularidades.

Os conceitos discutidos acima têm sido utilizados no campo da inteligência artificial e vida artificial. A seguir são apresentados alguns trabalhos relevantes dessas áreas.

2.2 A percepção em mecanismos artificiais

A proposta de desenvolvimento de mecanismos artificiais que compartilhem os conceitos derivados das abordagens situacionistas da cognição traz consigo a preocupação de dotar tais mecanismos de estratégias que evitem a natureza representacionista das abordagens tradicionais. Essas estratégias visam possibilitar condições que auxiliem os artefatos constituídos a atuar de maneira situada em um ambiente complexo. Além disso, as abordagens situacionistas concentram-se no estudo e desenvolvimento de agentes inteligentes completos e situados em seus ambientes, em oposição às teorias que utilizam a simulação separada dos sub-sistemas cognitivos. (Cañamero and Corruble, 1999, p. 229)

Esse novo ramo dentro da inteligência artificial (IA) tem sido apresentado sob diversas denominações, dentre elas: *Embodied Cognition*, *New AI*, *Nouvelle AI*, *Situated activity* e *Situated cognition* (Clancey, 1997; Dautenhahn, 1996; Ziemke, 2001, entre outros). Entre as características compartilhadas pelos artefatos constituídos no âmbito dessas pesquisas, encontram-se os conceitos de *situatedness* e *embodiment*, considerados cruciais para um adequado desenvolvimento dos mesmos. Brooks (1987) apresenta a conotação para os termos no sentido de identificar *situatedness* ao caráter situado que um mecanismo deverá apresentar em relação ao ambiente. Tais mecanismos não lidam com descrições do ambiente mas, sim, com o próprio ambiente que, por sua vez, influencia diretamente os comportamentos do sis-

tema. O termo *embodiment* contempla a característica incorporada dos mecanismos de modo a possibilitá-los experienciar o mundo diretamente, *i.e.*, com o seu próprio corpo. Com isso, as ações compreendem uma parte da dinâmica do mundo e influenciam diretamente a percepção do mecanismo. Nesse contexto, procura-se substituir a ênfase empregada na racionalidade pela idéia da cognição como resultado da interação corpo-ambiente (Prem, 1996).

As questões envoltas com os termos *embodiment* e *situatedness* no contexto da IA são pertinentes para o estudo da percepção pois, conforme apresentado na seção 2.1, esta possui um caráter situado e está relacionada, diretamente, com as capacidades sensor-motoras do organismo. A concepção de um artefato sem uma respectiva modelagem do “corpo” que esse artefato utilizará para atuar no ambiente, tem sido freqüentemente criticada. A esse tipo de concepção atribui-se a idéia de que tal artefato foi concebido em um vácuo biológico (Cliff, 1990).

Packard e Bedau identificam a co-dependência e a simultaneidade dos processos cognitivos. Em Packard and Bedau (2000) eles argumentam: “A maioria das entidades que exibem comportamentos tais e quais aqueles encontrados em organismos vivos são sistemas complexos compostos de vários elementos interagindo simultaneamente uns com os outros.”. Em um outro momento do artigo eles enfatizam: “À medida que o sistema complexo se modifica no decorrer do tempo, cada elemento muda de acordo com o próprio estado e com o estado dos demais elementos com os quais interage.”.

Os comportamentos emergentes consistem de uma outra característica apresentada pelos sistemas cognitivos situados. Esses comportamentos não são explicitamente implementados nos sistemas computacionais, ou seja, os mesmos são produzidos sem uma programação específica pelo desenvolvedor. Segundo Franklin (1995, p. 186), “Comportamento local nos sistemas de vida artificial é freqüentemente construído, enquanto que o comportamento global é freqüentemente emergente.”.

Com base nos conceitos desenvolvidos nas seções 2.1 e 2.2, a seção seguinte relaciona algumas características relevantes para o desenvolvimento de sistemas de controle sensor-motor e sua consequente implementação em robôs situados.

3 O Mecanismo de percepção-em-ação

O desenvolvimento de um sistema de controle sensor-motor, doravante referenciado de mecanismo de percepção-em-ação, para robôs situados deve apresentar conformidade com os conceitos discutidos na seção 2. Como características gerais desse mecanismo, tem-se: ser composto de

vários elementos (estruturas) interagindo simultaneamente uns com os outros; ser determinado estruturalmente; possuir um operar com caráter dinâmico, paralelo e reentrante; consistir a percepção e a ação de processos co-dependentes; evidenciar as características de *situatedness* e *embodiment*; evitar o representacionismo; possuir uma estratégia de acoplamento entre as estruturas de maneira a possibilitar a emergência de comportamentos “inteligentes” observáveis. Tais características serão abordadas no decorrer dessa seção e da próxima.

Em atenção aos conceitos das abordagens situacionistas, um organismo artificial deve ser composto internamente de estruturas cujos estados evoluem de modo co-dependente no decorrer do tempo. Neste trabalho, o modelo computacional utilizado para conceber a estrutura dos componentes do domínio interno do robô consiste de um sistema de equações acopladas. Cada equação corresponde à dinâmica de cada estrutura participante desse domínio.

Devido ao acoplamento das equações, mudanças de estado em uma estrutura específica implica em mudanças de estado, concomitantes, nas demais estruturas. Em decorrência disso, não faz sentido tratar as partes (estruturas) em separado, uma vez que as mesmas incorporam, em suas dinâmicas de evolução, os estados das demais estruturas. Essa co-dependência entre as partes constituintes do domínio interno do robô possibilita mudanças de estados globais, por intermédio da co-evolução de suas partes.

Para possibilitar a simulação da evolução simultânea da estrutura interna do robô, cada equação (estrutura) foi implementada em uma linha de execução (*thread*) independente. Na Figura 1 é apresentado o modo de operação do sistema de controle elaborado, sendo cada barra horizontal a representação de uma estrutura do domínio interno do robô. Essa figura ilustra um único ciclo de controle (operação), embora sejam executados indefinidos ciclos de controle no sistema.

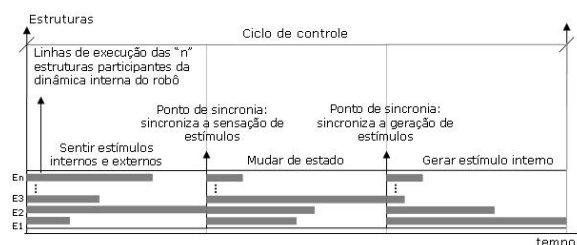


Figura 1: Simulação da simultaneidade da evolução das estruturas.

Pelo fato de se tratar de um mecanismo de percepção-em-ação para robôs situados, as características de *situatedness* e *embodiment* surgem de maneira implícita. Em consequência disso, tem-se

uma minimização das questões envolvidas ao representacionismo.

A seguir é apresentada a aplicação criada com o intuito de validar a operação do mecanismo de percepção-em-ação desenvolvido e a discussão de alguns aspectos dos experimentos realizados.

4 Domínio de aplicação e análise dos experimentos

Para validar a operação do mecanismo de percepção-em-ação proposto foi desenvolvida uma aplicação que possibilitou a criação de uma prova de conceitos onde os comportamentos emergentes apresentados pelo robô puderam ser examinados.

A escolha de um determinado domínio de aplicação implica nas possibilidades de interação do robô e, conseqüentemente, na escolha dos componentes de sua estrutura interna. Tais componentes auxiliam o robô, possibilitando-o ser estimulado e estimular seu ambiente. Nesse aspecto, o domínio de aplicação cria uma relação direta com a definição de parte dos componentes que compõem o robô.

Para os propósitos deste trabalho foi definido um domínio em que pudesse ser verificada a eficiência da operação do mecanismo de percepção-em-ação, quando utilizado para propiciar um controle de navegação sensor-motor. O ambiente simulado (Gerkey et al., 2003) consiste em uma pista com largura variável. Empregou-se para simulação o robô Pioneer (ActivMedia Robotics, 2000–2005), dos quais foram utilizados quatro sonares e um motor, o que foi suficiente para se obter o comportamento esperado. Ao longo da pista foram dispostos marcos (números) de modo a identificar nove regiões específicas no trajeto (Figura 2).

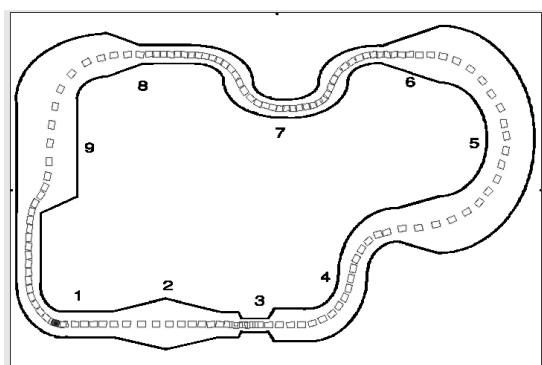


Figura 2: Ambiente simulado com o trajeto efetuado pelo robô e a identificação de nove regiões.

Nessa figura pode ser observado a existência de polígonos, que consistem do percurso efetuado pelo robô no ambiente, sendo aquele mais escuro no canto inferior esquerdo o robô propriamente dito. Tal localização do robô consiste do ponto de partida e chegada do percurso efetuado. Os

polígonos são marcados durante o trajeto em intervalos de tempo constantes. Assim, quanto mais próximos os polígonos, menor é a velocidade empregada pelo robô quando navegando no ambiente. Espera-se que o robô apresente um comportamento de navegação, expressando as emoções de medo e atenção.

Com o intuito de possibilitar a emergência dos comportamentos citados anteriormente foram criadas as estruturas mostradas na Figura 3. Tais estruturas foram concebidas tendo como inspiração os organismos vivos. Assim, cada sonar (S_1 , S_2 , S_3 e S_4), análogo aos órgãos sensores dos seres vivos, estimulam sua estrutura correspondente (S_{d1} , S_{d2} , S_{e1} e S_{e2}), que por sua vez é análoga às regiões funcionais do córtex cerebral (S_{d1} : estrutura do sonar à direita 1; S_{e1} : estrutura do sonar à esquerda 1). Os componentes “Medo” (M) e “Atenção” (A) podem ser comparados funcionalmente com o sistema límbico, enquanto que os componentes “Translação” (T) e “Rotação” (R) comparam-se às regiões motoras.

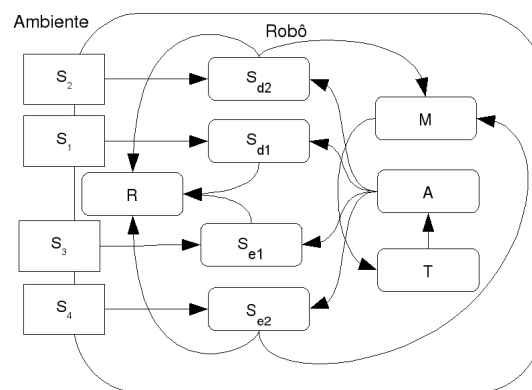


Figura 3: Esquema de acoplamento dos elementos da estrutura interna do robô.

O acoplamento entre as estruturas está representado pelos arcos direcionados. Os estímulos trocados pelos diversos elementos dessa figura ocorrem de modo simultâneo. Assim, na Figura 3 a estrutura “Medo” é estimulada pelos sonares S_2 e S_4 e, ao mesmo tempo, estimula a estrutura “Translação”. Essa, por sua vez, estimula a “Atenção” e todas as estruturas dos sonares. Observa-se, então, uma circularidade na dinâmica das estruturas.

O sistema de equações acopladas apresentado a seguir foi utilizado neste trabalho para compor a dinâmica dos elementos participantes da estrutura interna do robô. Tal sistema consiste da modelagem da estrutura interna do robô. Por intermédio do acoplamento das equações (acoplamento entre os elementos da estrutura interna) torna-se viável a emergência de um estado global, pois faz com que as mudanças de estado das estruturas estabeleçam uma dinâmica conjunta de evolução.

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{d1}(t) = S_1(t) \cdot A(t-1) \\ S_{d2}(t) = S_2(t) \cdot A(t-1) \\ S_{e1}(t) = S_3(t) \cdot A(t-1) \\ S_{e2}(t) = S_4(t) \cdot A(t-1) \\ A(t) = \begin{cases} 1 + \frac{2}{T(t-1)} & \text{se } T(t-1) \neq 0 \\ 1,0001 & \text{se } T(t-1) = 0 \end{cases} \\ M(t) = \begin{cases} \frac{1}{S_{e2}(t-1)} & \text{se } S_{d2}(t-1) \geq S_{e2}(t-1) \\ \frac{1}{S_{d2}(t-1)} & \text{se } S_{d2}(t-1) < S_{e2}(t-1) \end{cases} \\ T(t) = \frac{1}{M(t-1)} \\ R(t) = \begin{cases} -1 * \left(1 + \left| \frac{\min(S_{d1}, S_{d2}) - \min(S_{e1}, S_{e2})}{2} \right| \right) & \text{se } \min(S_{d1}, S_{d2}) < \min(S_{e1}, S_{e2}) \\ +1 * \left(1 + \left| \frac{\min(S_{d1}, S_{d2}) - \min(S_{e1}, S_{e2})}{2} \right| \right) & \text{se } \min(S_{d1}, S_{d2}) \geq \min(S_{e1}, S_{e2}) \end{cases} \end{array} \right.$$

Nos experimentos realizados, a operação do mecanismo de percepção-em-ação foi observada por meio dos comportamentos apresentados pelo robô e pela dinâmica de estados de suas estruturas internas, para diferentes regiões do ambiente. Pode-se observar na região 2 da Figura 2, a existência de um alargamento da pista, seguido de um estreitamento. Ao entrar nessa região a velocidade do robô está aumentando, atinge um valor “máximo” e começa a diminuir à medida que ocorre o estreitamento da pista. Espera-se que em situações como esta o robô apresente comportamentos semelhantes àqueles relacionados com a sensação de medo.

Analisando a dinâmica de estados das estruturas “Medo”, “Atenção” e “Translação” (Velocidade) na Figura 4, pode-se observar que quanto mais estreita a pista se torna, maior é a sensação de medo apresentada pelo robô. A região 3, por sua vez, apresenta-se como a mais estreita do percurso, o que impõe um maior sentimento de medo no robô. Para o caso da atenção, quanto maior a intensidade apresentada no gráfico, menor é a atenção dispensada pelo robô. Assim sendo, quanto maior a velocidade empregada pelo robô, maior sua atenção e menor o seu medo.

A Figura 4 possibilita ainda a verificação da evolução contínua e simultânea das estruturas. Apesar da figura mostrar somente três delas, é importante ressaltar que todas as demais estruturas mudam de estado continuamente e de modo simultâneo. Além disso, um estado global do robô emerge a partir do acoplamento de suas estruturas.

A Figura 5 consiste em uma aproximação de parte do gráfico da Figura 4, relativa às regiões 2 e 3 do ambiente. Nesse gráfico pode-se observar as características de fechamento informacional e determinismo estrutural apresentada pelo mecanismo. Ao analisar os pontos específicos de cada curva, situados sob a linha “Linhas de referência”, observa-se que apesar do Sensor 4 estar em um mesmo estado nos dois casos, a estrutura interna do robô é quem determina as suas possibili-

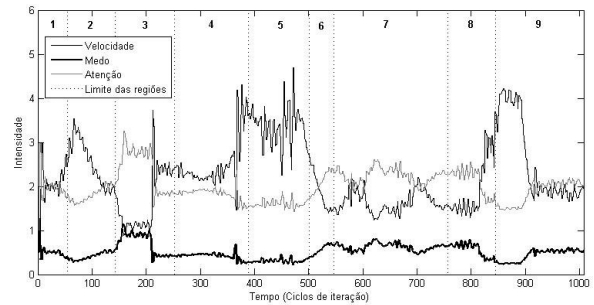


Figura 4: Comportamento do robô nas diversas regiões do ambiente.

dades de interação, pois o estado global emergente difere. Nesse caso, o sensor não determina um estado interno, mas estimula a evolução das estruturas internas. Assim sendo, não existe a noção de entrada, processamento e saída da maneira como ocorre no método tradicional. A entrada passa a ser somente um estímulo para o sistema, o qual evolui de acordo com seu estado interno.

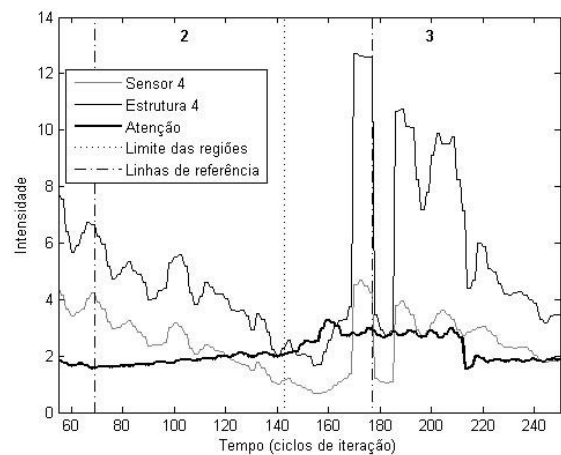


Figura 5: Comportamento do Sensor 4 e de sua respectiva estrutura

Um outro aspecto importante diz respeito à não existência do conceito de obstáculo (limite da pista) próximo ou longe, porém existe a sensação

de estar perto ou longe dependendo da atenção, sendo este um dos aspectos do não representacionismo. A seguir são apresentados as conclusões e trabalhos futuros.

5 Conclusão

Este artigo apresentou alguns aspectos das teorias situacionistas que tratam dos fenômenos da percepção e da ação. Baseado nessas teorias foi proposta uma implementação de um sistema de controle sensor-motor (mecanismo de percepção-em-ação) para robôs situados. Por intermédio dos experimentos desenvolvidos pôde-se observar o correto funcionamento do mecanismo de percepção-em-ação, pois as características gerais esperadas (seção 3) foram contempladas. Apesar do robô apresentar o comportamento esperado para diferentes configurações de ambiente, ele não apresenta cognição no sentido de variar a intensidade e a maneira do acoplamento entre as estruturas. A cognição poderia ser implementada por meio do *feedback* das estruturas emocionais.

A utilização de estruturas implementadas em linhas de execução distintas (*threads*) caminha em direção à construção de um mecanismo com maior plausibilidade biológica, apesar dessa técnica simular de maneira simplificada a dinâmica existente nos organismos vivos. Assim sendo, constitui objeto de trabalhos futuros a identificação de outras técnicas que apresentem uma maior conformidade com o objeto de inspiração biológica e o estudo de outras estruturas, tal como redes neurais artificiais dinamicamente acopladas, para a composição da estrutura interna do robô com, conseqüentemente, o estabelecimento de novas estratégias para possibilitar o acoplamento de tais estruturas.

Referências

- ActivMedia Robotics (2000–2005). Mobile robots, Site: Mobile Robots Inc Home. Disponível em: <<http://www.activrobots.com/>>.
- Brooks, R. A. (1987). Intelligence without representation, *Preprints of the Workshop in Foundations of Artificial Intelligence*.
- Cañamero, D. and Corruble, V. (1999). *Situated Cognition*, Pergamon Press Inc, Kidlington, chapter 17, pp. 223–235.
- Clancey, W. J. (1997). *Situated Cognition*, Cambridge University Press.
- Cliff, D. T. (1990). Computational Neuroethology, *Cognitive Science Research Paper* **162**: 1–25.
- Dautenhahn, K. (1996). Embodied cognition in animals and artifacts, in M. Mataric (ed.), *Embodied Cognition and Action. Papers from the AAAI 1996 Fall Symposium*, The AAAI Press, Boston, pp. 27–32.
- Franklin, S. (1995). *Artificial minds*, A Bradford Book, Cambridge.
- Garbarini, F. and Adenzato, M. (2004). At the root of embodied cognition, *Brain and Cognition* **56**: 100–106.
- Gerkey, B. P., T. Vaughan, R. and Howard, A. (2003). The player/stage project, *Proceedings of the International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2003)*, pp. 317–323.
- Hurley, S. (2001). Perception and action, *Synthese* **129**(1): 3–40.
- Maturana, H. R. and Mpodozis, J. (1997). *Percepção*, Editora UFMG, Belo Horizonte, pp. 67–76.
- Maturana, H. R. and Varela, F. J. (2003). *A Árvore do Conhecimento*, 3 edn, Editora Palas Athena, São Paulo.
- Möller, R. (1999). Perception through anticipation, in A. Riegler, A. von STEIN and M. Peschl (eds), *Understanding Representation in the Cognitive Sciences*, number 7, Plenum Press, New York, pp. 184–191.
- Noë, A. and Thompson, E. (2002). *Introduction to vision and mind*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Packard, N. H. and Bedau, M. A. (2000). Artificial life, *Encyclopedia of Cognitive Science* pp. 209–215.
- Pfeifer, R. and Scheier, C. (1994). From perception to action, *Proceedings “From Perception to Action” Conference*, number 7, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, pp. 1–11.
- Prem, E. (1996). Elements of an epistemology of embodied ai, in M. Mataric (ed.), *Embodied Cognition and Action. Papers from the AAAI 1996 Fall Symposium*, The AAAI Press, Menlo Park, CA, pp. 97–101.
- Terra, D. C., Anderson Grandi and Borges, H. E. (2004). A abordagem *enaction* para a cognição e suas implicações na modelagem de sistemas inteligentes, *8th Brazilian Symposium on Neural Networks*, ISBN: 85-89029-04-2, Universidade Federal do Maranhão, São Luis – Maranhão. Meio de divulgação: CD-Rom.
- Varela, F. J., Thompson, E. and Rosch, E. (2003). *A mente incorporada*, Artmed, Porto Alegre.
- Ziemke, T. (2001). The Construction of ‘Reality’ in the Robot, *Foundations of Science* **6**(1): 163–233.