

# Geração de Comportamento em Criaturas Artificiais: Estudo Comparativo de Métodos Computacionais

José Roberto Costa da Silva Filho - FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação,  
UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas-SP, Brasil

**Resumo** — Este paper trata da geração de comportamento em criaturas artificiais, com foco nas emoções. O tema central é a comparação entre métodos computacionais que se utilizam de emoções humanas básicas como medo, fome, raiva, para gerar /selecionar um comportamento/ação.

**Palavras Chave** – Geração de Comportamento, Sistemas Cognitivos, Emoções, Métodos Computacionais

## I. INTRODUÇÃO

O comportamento humano e sua relação com as emoções vem sendo estudados há séculos por filósofos, psicólogos, neurocientistas, e mais recentemente por engenheiros de computação. Comportamento [1] é a interação entre um organismo, fisiologicamente constituído como um equipamento anatomo-fisiológico, e o seu mundo, histórico e imediato. Definimos comportamento como a relação entre estímulo e resposta. Estímulo é uma parte ou mudança em uma parte do ambiente; resposta é uma mudança no organismo. Maturana [2] define as emoções como “disposições corporais dinâmicas que definem os diferentes domínios de ação em que nos movemos”. Uma outra definição de emoção pelo Dicionário Aurélio [3]: “Reação intensa e breve do organismo a um lance inesperado, a qual se acompanha de um estado afetivo de conotação penosa ou agradável”. Ao longo dos anos houve uma evolução sobre o entendimento do comportamento dos seres humanos. Inicialmente havia uma visão puramente racionalista pela qual o comportamento era influenciado apenas pela razão. Alguns pesquisadores consideravam as emoções como um fator desestabilizante que afetava a razão e, por consequência, o comportamento. Atualmente os modelos de geração de comportamento tomam as emoções como um componente primordial. O neurocientista Damásio [4] defende a importância das emoções no comportamento humano com seu livro “A razão das emoções: um ensaio sobre o Erro de Descartes”.

Com o advento da inteligência artificial nos anos 50 houve o desenvolvimento de sistemas que imitavam o comportamento jogando xadrez ou resolvendo problemas de lógica. A abordagem tradicional da inteligência artificial clássica

desenvolveu algoritmos baseados apenas na razão e lógica com sérias limitações (toy-problems, falta de aprendizado). Posteriormente novas abordagens foram criadas sendo a baseada em emoções proposta por pesquisadores como Sing e Minsky [5]. Também podemos destacar as abordagens de Machado et al. [6], que se utiliza de machine learning para a criação de uma biblioteca básica de experiências que são usadas para a geração de comportamentos emergentes, Vilhjálmsson et al. [7] e sua Behavior Markup Language (BML) para geração de comportamento multimodal em agente conversacional incorporado.

Ao longo deste paper discutiremos alguns métodos computacionais com foco nas emoções para gerar comportamento em criaturas artificiais. Um trabalho correlato, mas muito mais abrangente, pode ser visto na tese de Tyrrell [8].

## II. MÉTODOS COMPUTACIONAIS

### A. Roesener et al

O método proposto por Roesener [9] é parte do projeto “Artificial Recognition System (ARS)” [10] que trata de sistemas de reconhecimento de situações para robôs ou sistemas de automação de ambientes. A meta do projeto é desenvolver sistemas autônomos inteligentes capazes de trabalhar e se adaptar a imprevistos sem ajuda externa. A arquitetura proposta é hierárquica e parcialmente baseada na de Sloman [11].

O embasamento teórico da arquitetura é calcado no trabalho de M. Solms [12] que mesclou a neurociência e psicoanálise. Enquanto a neurociência tenta explicar o funcionamento do cérebro com uma abordagem bottom-up (das partes para o todo), a psicoanálise faz o mesmo com uma abordagem top-down (do todo para as partes). A figura 1 mostra o modelo emocional de avaliação de situações:



*Reactive* são passadas ao módulo *Decision/Ego*. O sub-módulo *Complex Emotions* combina a situação corrente com uma ou mais emoções sociais como compaixão, desprezo, vergonha, etc. Para conseguir esta combinação este sub-módulo interage com o a memória *Episodic Memory* e *Super-Ego* buscando situações semelhantes à atual, inclusive a nota emocional associada. Caso nenhum comportamento seja selecionado como resultado desta busca, o sub-módulo *Strategies* tem a palavra final. Este sub-módulo contém um mecanismo de planejamento estratégico criando representações hipotéticas de possíveis comportamentos alternativos. Este mecanismo é influenciado pelas emoções passadas invocadas pelo sub-módulo *Complex Emotions*. Uma versão simples de aprendizado vem à tona quando novas situações são experienciadas e entram na memória *Episodic Memory*, desse modo influenciando processos reflexivos subsequentes.

- Preparação da ação e Execução: existem dois tipos de comportamentos (representados por dois módulos), rotineiros e reativos. Comportamentos reativos são ativados pelo módulo *Pre-Decision* e servem para manter o agente à salvo de situações perigosas. Comportamentos rotineiros são longas sequências de ações pelas quais padrões de comportamento são salvos na memória *Procedural Memory* e são invocados pelo módulo *Pre-Decision* ou *Decision/Ego*.

Os resultados das simulações e testes reais desta arquitetura resultaram em uma bem sucedida arbitragem de comportamento em baixo nível. Os resultados baseados em drives como fome e exploração, e emoções básicas como medo e raiva demonstraram que os robôs são capazes de perceber e controlar situações críticas e conflitos autonomamente. O mecanismo de caracterizar uma ação como boa ou ruim ajudou a evitar padrões de comportamento mal sucedidos.

#### B. Izumi et al.

O trabalho de pesquisa de Izumi et al [13] está relacionado à geração de comportamento em robôs com uma arquitetura computacional para modelo emocional e mecanismo motivacional. O estado emocional de cada robô é gerado pelo modelo de emoção de Markov.

As seções a seguir descrevem os tópicos principais da pesquisa:

- Fenômenos Básicos para Geração de Emoção.

A geração de emoção para um robô enquanto ele está atuando em uma tarefa depende de um conjunto básico de variáveis como metas ( $\langle G \rangle$ ), estados ambientais ( $\langle S_e \rangle$ ) e habilidades do robô ( $\langle R_a \rangle$ ). Um robô tem um certo conjunto de metas com nível de prioridade e também um conjunto de estados ambientais. As habilidades são o resultado de variáveis internas como habilidades mecânicas, estados emocionais, motivos,

etc. Os fenômenos de elicitación de emoções tem uma posição central no triângulo formado por (G),(S<sub>e</sub>) e (R<sub>a</sub>). A mudança do estado atual emocional do robô pode ser expresso como:

$$\langle E \rangle = f(\langle G \rangle, \langle S_e \rangle, \langle R_a \rangle)$$

Para manter a simplicidade foram consideradas apenas 4 emoções básicas: alegria, raiva, medo e tristeza. Um robô no estado de alegria tem alto nível de energia ou atua nas tarefas com maior tolerância à carga de trabalho. A raiva é ativada quando o robô encontra barreiras que o impedem de atuar nas tarefas. O medo aumenta a medida que o nível de energia diminui. Finalmente a tristeza aumenta com a probabilidade de falhar para se atingir uma meta.

#### • Estrutura do Modelo

A estrutura básica de controle consiste de cinco subsistemas conforme a figura 3: sensoriamento, percepção, motivação, geração de emoção e seleção de ação.

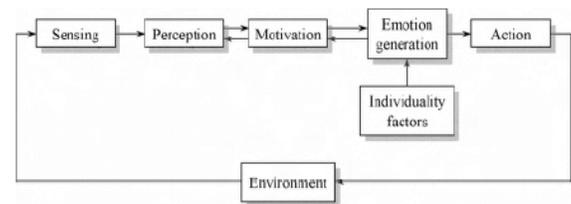


Figura 3

O sensoriamento utiliza sensores de proximidade e módulo de extensão de visão linear. Com as entradas do sensoriamento e variáveis internas, o sistema de percepção cria questões com prioridade e nível do valor para o sistema motivacional. Com as questões de prioridade e com considerações do estado emocional atual, o sistema motivacional motiva o robô para atuar em tarefas seletivas. O sistema de geração de emoção gera estados emocionais baseados no modelo estocástico de Markov. Finalmente o sistema de seleção de ação seleciona a ação para ser executada para satisfazer a condição atual.

#### • Modelo Emocional

A pesquisa utiliza o modelo de emoção de Markov pela simplicidade e por não ter memória, e também adiciona um novo fator: o fator de indução de emoção. O modelo de emoção de Markov para um agente com 4 estados emocionais pode ser expresso como abaixo:

$$X_{k+1} = AX_k$$

com os seguintes pontos de estado emocional

$$\Omega = \{\text{Alegria, Raiva, Medo, Tristeza}\}$$

onde  $X_k$  representa o estado emocional atual e  $A$  é a matriz de transição de estado emocional (também chamada matriz estocástica). Para obter impulsos de intensidade emocional do estado emocional respectivo utiliza-se um modelo de princípios iterativo considerando meta-estados das emoções como  $e4$ ,  $e3$ ,  $e2$  e  $e1$  para alegria, raiva, medo e tristeza respectivamente, conforme mostrado na figura 4:

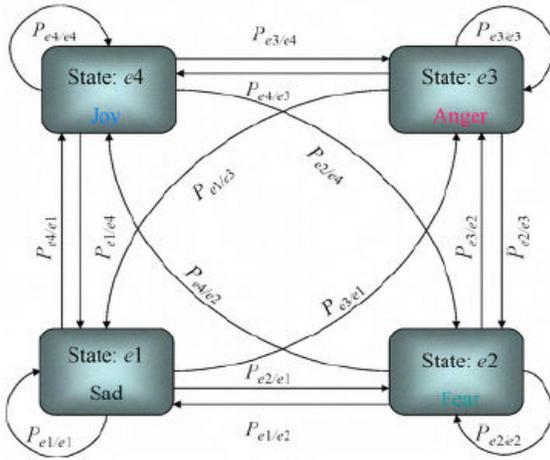


Figura 4

Os nós da figura 4 acima representam os estados emocionais e os arcos indicam a probabilidade de transição do estado presente para o próximo estado. A vetor de intensidade de emoções é derivado da probabilidade da respectiva emoção no modelo de princípios. Considerando-se os meta-estados, a matriz estocástica  $A$  se torna:

$$A = \begin{bmatrix} P_{e4/e4} & P_{e4/e3} & P_{e4/e2} & P_{e4/e1} \\ P_{e3/e4} & P_{e3/e3} & P_{e3/e2} & P_{e3/e1} \\ P_{e2/e4} & P_{e2/e3} & P_{e2/e2} & P_{e2/e1} \\ P_{e1/e4} & P_{e1/e3} & P_{e1/e2} & P_{e1/e1} \end{bmatrix}$$

Para se obter a matriz de transição de estados inicial do modelo de Markov, os valores dos arcos recebem valores iniciais como  $q_1, q_2, \dots, q_{16}$ , resultando na matriz de transição de estados inicial ( $A_0$ ) como mostrada abaixo:

$$A_0 = \begin{bmatrix} q_1 & q_5 & q_9 & q_{13} \\ q_2 & q_6 & q_{10} & q_{14} \\ q_3 & q_7 & q_{11} & q_{15} \\ q_4 & q_8 & q_{12} & q_{16} \end{bmatrix}$$

Esta matriz pode ser modificada posteriormente pela influência dos fatores de indução de emoção  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\delta$

para alegria, raiva, medo e tristeza respectivamente. Estes fatores refletem as mudanças ambientais como também mudanças internas de um robô. Existem quatro tipos de probabilidades de transição para cada estado. Por exemplo, a probabilidade de transição de estado de alegria para outros estados pode ser expressa como

$$\left. \begin{aligned} P_{e3/e4} &= q_2 + (\beta - \alpha)q_2 \\ P_{e2/e4} &= q_3 + (\gamma - \alpha)q_3 \\ P_{e1/e4} &= q_4 + (\delta - \alpha)q_4 \\ P_{e4/e4} &= 1 - (P_{e3/e4} + P_{e2/e4} + P_{e1/e4}) \end{aligned} \right\}$$

Similarmente, a probabilidade de transição de estado de raiva:

$$\left. \begin{aligned} P_{e4/e3} &= q_5 + (\alpha - \beta)q_5 \\ P_{e2/e3} &= q_7 + (\gamma - \beta)q_7 \\ P_{e1/e3} &= q_8 + (\delta - \beta)q_8 \\ P_{e3/e3} &= 1 - (P_{e4/e3} + P_{e2/e3} + P_{e1/e3}) \end{aligned} \right\}$$

seguida de medo:

$$\left. \begin{aligned} P_{e4/e2} &= q_9 + (\alpha - \gamma)q_9 \\ P_{e3/e2} &= q_{10} + (\beta - \gamma)q_{10} \\ P_{e1/e2} &= q_{12} + (\delta - \gamma)q_{12} \\ P_{e2/e2} &= 1 - (P_{e4/e2} + P_{e3/e2} + P_{e1/e2}) \end{aligned} \right\}$$

e finalmente tristeza:

$$\left. \begin{aligned} P_{e4/e1} &= q_{13} + (\alpha - \delta)q_{13} \\ P_{e3/e1} &= q_{14} + (\beta - \delta)q_{14} \\ P_{e2/e1} &= q_{15} + (\gamma - \delta)q_{15} \\ P_{e1/e1} &= 1 - (P_{e4/e1} + P_{e3/e1} + P_{e2/e1}) \end{aligned} \right\}$$

A equação acima correspondente à alegria tem limitações (constraints) definidas pela seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^4 P_{ei/e4} = 1$$

Quando as probabilidades não satisfazem a condição da equação acima um método de supressão é aplicado para manter a mesma razão de probabilidades. Em alguns casos a esta condição não pode ser satisfeita por que o método de atualização com informação de sensores contém erros de aproximação. Equações similares são aplicadas as outras emoções.

Os 16 valores das equações de probabilidade de transição de estado são utilizados para construir a matriz atualizada de transição de estados. As probabilidades de transição de estado são modificadas

por estímulos/experiências positivos ou negativos. Maiores detalhes do modelo são dados em [14] e [15].

- **Atualização dos Fatores de Indução de Emoção**  
O sistema de percepção percebe o mundo através de parâmetros como carga de trabalho ( $w$ ), nível de bloqueio ( $bl$ ) e nível de energia ( $e$ ) como mostrado na figura 5:

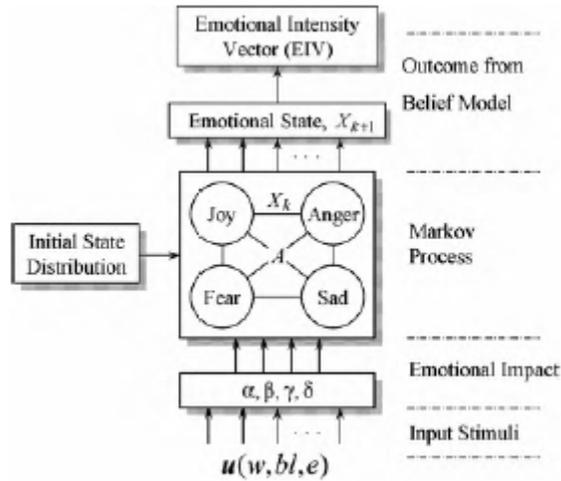


Figura 5

Os fatores de indução de emoção são alterações nos parâmetros acima. A carga de trabalho é uma das variáveis principais que afetam a atualização dos fatores de indução de emoção. Utilizando-se um fuzzy inference system (FIS) do MATLAB podemos mapear os parâmetros  $w$ ,  $bl$  e  $e$  para atualizar os fatores de indução de emoções conforme a figura 6 abaixo:

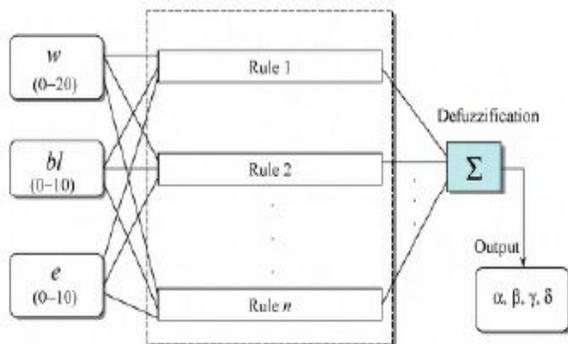


Figura 6

- **Emoção dominante**  
A tarefa de determinar a emoção dominante é complicada por que as emoções são uma mistura de estados, podendo ser inibidas ou potencializadas por outros estados. Por exemplo, a inibição da alegria pela tristeza, o medo inibido pela raiva, tudo dependendo da intensidade e polaridade das emoções. Para lidar com estes casos uma nova variável, o humor (mood), é introduzida:

$$\text{mood} = \begin{cases} \text{positive} & \text{if } \sum_{i=-n}^{-1} I_i^+ > \sum_{i=-n}^{-1} I_i^- \\ \text{negative} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Onde  $I_i^+$  é a intensidade das emoções positivas no instante  $i$ , e  $I_i^-$  é a intensidade das emoções negativas no instante  $i$ .

- **Seleção de Comportamento**  
A lógica fuzzy é utilizada para geração de comportamento a partir de um conjunto de emoções e eventos. O comportamento depende do estado emocional atual e dos eventos ocorridos. Por exemplo,

SE “emoção” é “medo” com intensidade “alta” E “evento” é “carga de trabalho aumentada” ENTÃO “comportamento” é igual a “chamar ajuda”.

O comportamento “chamar ajuda” é dependente do estado emocional “medo” e do evento ou situação “carga de trabalho aumentada”. Os comportamentos são representados no modelo como estados discretos (singleton) como “chamar ajuda”, “procurar energia”, “aceitar ajuda”, etc. O rastreamento da mudança da intensidade das emoções é importante para tomar ações necessárias em certas situações. A lógica fuzzy é principalmente utilizada para desenvolver comportamento individual e interativo. Além disso, ela é necessária para analisar a intensidade das emoções para desenvolver comportamentos emergentes.

Os resultados das simulações mostraram a geração bem sucedida de emoções usando o modelo proposto. O robô foi capaz de gerar comportamentos em um ambiente complexo. Por exemplo, durante a tarefa de busca por energia, quando o robô estava enfrentando um grande número de obstáculos sua raiva se tornou gradualmente maior e por outro lado o medo também aumentou à medida que o nível de energia diminuiu.

### C. Hu et al.

A arquitetura proposta por Hu et al [16] é sub-dividida em 2 camadas: emocional, responsável pela modelagem e geração da emoção, e comportamental, responsável por implementar o mecanismo gerador de comportamentos.

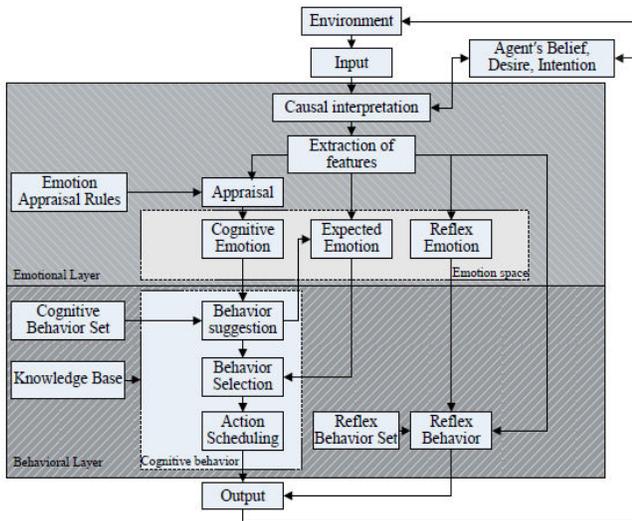


Figura 7

Na camada emocional os módulos mais importantes são aqueles responsáveis pela geração das emoções. As emoções do módulo Cognitive Emotion são geradas a partir de avaliações de eventos (avaliação baseada no modelo OCC [17]). Por outro lado, as emoções do módulo Expected Emotion são baseadas no conceito de que os seres humanos tem preferências por algumas ações, evitando ações que levam a experiências negativas. Finalmente, as emoções do módulo Reflex Emotion são muito simples pois são causadas por estímulo ambiental intenso, muito semelhante a um reflexo condicionado.

Na camada comportamental temos 2 tipos de comportamentos possíveis: cognitivo e reflexo. O comportamento cognitivo é fruto da racionalização sendo modelado pela arquitetura SOAR [18]. Através do SOAR um grupo apropriado de comportamentos é proposto, depois um comportamento é selecionado e enviado para execução. O comportamento reflexivo por sua vez está diretamente ligado a um estímulo interno ou externo em uma relação 1:1.

A simulação conduzida na pesquisa utiliza um campo de batalha virtual onde uma equipe tática se infiltra no campo inimigo. A equipe tática tem que selecionar ações para atingir seus objetivos e escapar de ameaças inesperadas. Por exemplo, quando a equipe esta se movendo e escuta o som das vozes dos inimigos o SOAR propos 2 comportamentos apropriados: esconder ou procurar o local dos inimigos. O comportamento esconder foi selecionado e aplicado com sucesso.

### III. DISCUSSÃO

Os comportamentos gerados pelo método computacional de Roesener et al. são mais complexos e semelhantes aos comportamentos humanos. Além disto, o método de Roesener et al. pode ser utilizado em uma gama maior de problemas e em situações mais complexas. A utilização de memória episódica aliada as emoções permite tomar decisões mais rápidas e com maior chance de acerto. Por outro lado, o método de Izumi et al. necessita menor poder computacional (menos módulos) e pode ser empregado em agentes simples e em ambientes com multi-agentes para tarefas colaborativas.

Por sua vez, o método de Hu et al. permite um maior detalhamento e separação lógica dos tipos de emoções, além de fazer uso de arquiteturas comprovadamente eficazes como OCC e SOAR. Porém em nenhum momento os drives internos do agente são explicitamente discutidos, o que se mostra uma desvantagem em relação a Roesener.

### IV. CONCLUSÃO

O comportamento das criaturas artificiais vem se tornando mais “humano” à medida que as novas metodologias computacionais incorporaram conceitos como emoções, drives, ego, memória. Emoções e drives permitem gerar tanto comportamentos simples, que levam a preservação da vida, quanto comportamentos complexos que permitem atingir objetivos de longo prazo.

Citando Minsky [19]: “A questão não é se as máquinas inteligentes podem ter emoções mas se máquinas podem ser inteligentes sem nenhuma emoção”

### REFERENCIAS

- [1] A. M. Lima, “O Conceito de Análise de Comportamento”, <http://artigos.psicologado.com/abordagens/comportamental/o-conceito-de-analise-do-comportamento>, 2009
- [2] H. Maturana, “*Emoções e Linguagem na Educação e na Política*”, Editora UFMG, 2002, p 15.
- [3] DICIONÁRIO AURÉLIO. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. Editora Nova Fronteira. 1 cd-rom. 1994.
- [4] A. R. Damasio, “O Erro de Descartes: Emoção, Razão e o Cérebro Humano”, Companhia das Letras, 1996
- [5] P. Singh; M. Minsky; “An architecture for combining ways to think”. Proceedings Int. Conf. on Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, Cambridge, MA.; 2003, pp. 669-674
- [6] A. F. V. Machado; E. W. Clua; B. Zadrozny; “A Method for Generating Emergent Behaviors using Machine Learning to Strategy Games”, Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment, 2010
- [7] H. Vilhjálmsón, N. Cantelmo, J. Cassell, N.s E. Chafai, M. Kipp, S. Kopp, M. Mancini, S. Marsella, A. N. Marshall, C. Pelachaud, Z. Ruttkay, K. R. Thórisson, H. van Welbergen, R. J. van der Werf, “The Behavior Markup Language: Recent Developments and Challenges”, Lecture Notes in Computer Science, 2007, Volume 4722/2007, 99-111, DOI: 10.1007/978-3-540-74997-4\_10
- [8] T. Tyrrell, “Computational Mechanisms for Action Selection”, PhD University of Edinburgh, 1993
- [9] C. Roesener; B. Lorenz and K. Vock; G. Fodor, “Emotional Behavior Arbitration for Automation and Robotic Systems”, Industrial Informatics, 2006 IEEE International Conference
- [10] D. Dietrich, W. Kastner, T. Maly, Ch. Roesener, G. Russ, H. Schweinzer, “Situation Modeling”, Proceedings 5th IEEE Int. Workshop on Factory Communication Systems WFCS04, 2004, pp. 93-102.
- [11] A. Sloman. “How many separately evolved emotional beasts live within us?”. Emotions in Humans and Artifacts (R. Trappl et al., eds), MIT Press, 2002, pp 35-114.
- [12] M. Solms, O. Turnbull, The Brain and the Inner World, Karnac/Other Press, Cathy Miller Foreign Rights Agency, London, England, 2002.
- [13] Izumi, K. ; Banik, S.C. ; Watanabe, K.; “Behavior generation in robots by emotional motivation”, Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium on.
- [14] C. Awn , “A computational architecture to model human emotions ,” in Proc. of Int. Conf. on Intelligent Information System, 1997, pp. 86-89..
- [15] K. Kolja and B. Martin, “Towards an emotion core based on a Hidden Markov Model,” in Proc. of 13th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2004, pp. 119-124..
- [16] J. Hu, Q. Yin, L. Feng, H. Deng, “A Computational Architecture for Modeling Emotional Behavior in Synthetic Agent”, Second International Conference on Computer Modeling and Simulation, 2010
- [17] Ortony, A., Clore, G., and Collins, A., “The Cognitive Structure of Emotions”, Cambridge University Press, 1998

- [18] John E. Laird and Clare Bates Congdon, The Soar User's Manual  
Version 8.6.3. Electrical Engineering and Computer Science Department  
University of Michigan. October 31, 2006
- [19] M. Minsky, The Society in Mind, Simon and Schuster, New York, 1986.