

Considerações sobre o uso de Redes de Agentes Modulares na modelagem de Sistemas com Antecipação Fraca

J. Gonzaga Souza Jr.
R.A. 875166

Abstract—Esta monografia propõe o desenvolvimento de uma versão modificada das Redes de Agentes Modulares, visando permitir o modelamento de Sistemas Antecipativos. A proposta é voltada para os Sistemas que exibam antecipação fraca, com a predição do comportamento futuro sendo feita com base em um modelo que serve como uma teoria descritiva, porém não interpretativa, do Sistema em si. A adoção desta versão restrita de comportamento antecipativo traz como vantagem, a possibilidade de representação do Sistema através de um modelo computacional, o que é ainda objeto de polêmica no caso dos Sistemas com antecipação forte, sendo mesmo considerado impossível se não for adotado um modelo descritivo e sim interpretativo. Uma característica relevante da arquitetura proposta, na qual esta difere de outras encontradas na literatura, é a não inclusão do ambiente explicitamente dentro do modelo do Sistema, evitando-se desta forma os problemas enfrentados pelas arquiteturas do tipo SMPA (*Sense-Model-Plan-Act*). Sob o ponto de vista das Redes de Agentes, o principal desafio é a adaptação da chamada *Função de Seleção*, mecanismo autônomo responsável pela dinâmica da Rede, a qual deverá ser implementada para atuar sobre duas cópias de uma mesma Rede, operando em unidades de tempo distintas, e mantendo uma relação do tipo mestre-escravo.

Index Terms—Weak Anticipatory Systems, Modular Agent Networks.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de antecipação tem sido estudado desde Aristóteles e, a partir da primeira metade do século XX, foi objeto de trabalhos em diversas áreas como filosofia, psicologia e ciência cognitiva, feitos por pesquisadores do porte de Skinner e Piaget, entre outros. Entretanto, a referência primária, reconhecida pela quase totalidade da literatura subsequente, é o livro clássico de Robert Rosen [19],¹ onde um sistema antecipativo é definido como:

“...a system containing a predictive model of itself and/or of its environment, which allows it to change state at an instant in accord with the model’s predictions pertaining to a latter instant”.

A figura 1 reproduz o diagrama de blocos original para um sistema antecipativo proposto por Rosen. Em relação a figura, S representa o sistema de interesse, sendo um sistema dinâmico não-antecipativo; M é também um sistema dinâmico não-antecipativo que corresponde, de alguma forma, a um modelo de S, estando porém sujeito a uma escala de tempo

¹Em [20] e [12] podem ser encontradas citações a referências anteriores ao trabalho de Rosen, as quais entretanto não cabe discutir aqui.

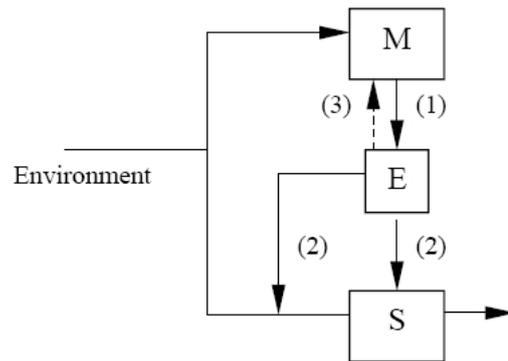


Fig. 1. diagrama de blocos de um sistema antecipativo segundo Rosen [19].

mais rápida que o tempo real (que rege o funcionamento de S), permitindo que M *prediga*² o comportamento de S; E representa o conjunto de atuadores (*effectors*) através dos quais M pode intervir no funcionamento de S, diretamente ou através das entradas de S, sempre que a trajetória de M no diagrama de estado-espaco atingir um estado considerado como indesejado.

O sistema da figura 1 será considerado antecipativo apenas se M for um modelo perfeito de S e o ambiente constante ou periódico. Neste caso [6], o próximo estado de S (S_{n+1}) seria dado pela função da equação 1:

$$S_{n+1} = F(S_1, S_2, \dots, S_n, S_{n+1}, \dots, S_k), \quad k > n \quad (1)$$

no entanto, se as condições ideais de antecipação não forem satisfeitas, o sistema é dito “quasi-antecipativo” e S_{n+1} passa a ser calculado na forma da equação 2, onde \hat{S}_{n+i} e a predição do valor de S_{n+i} :

$$S_{n+1} = F(S_1, S_2, \dots, S_n, \hat{S}_{n+1}, \dots, \hat{S}_k), \quad k > n \quad (2)$$

Para Rosen, o comportamento antecipativo por ele proposto seria uma característica exclusiva dos seres vivos explicando porque os organismos, vistos como sistemas complexos, são diferentes das máquinas³ e estando em sintonia com a “cláusula final” proposta por Aristóteles.

²termo com ênfase no texto original.

³a afirmação deve ser entendida como uma crítica a aplicação do reducionismo no estudo dos sistemas complexos.

O trabalho de Rosen foi recebido inicialmente com ceticismo, notadamente pela comunidade de ciências exatas, mas hoje revela-se uma visão até acanhada do conceito de antecipação como discutido na seção II a seguir, onde se apresenta um breve panorama das principais evoluções do modelo para sistemas antecipativos, além trabalhos de alguma forma correlatos ao desta monografia, que foram considerados relevantes para o desenvolvimento do tema. A seção III introduz a proposta de modelo para uma classe de sistemas antecipativos que é o objeto da monografia, sendo as condições para sua implementação através de uma arquitetura baseada em Redes de Agentes Modulares discutidas na seção IV. Por fim, a seção V elenca pontos em aberto na arquitetura proposta e sugere uma linha para o trabalho futuro.

II. PANORAMA ATUAL PARA OS SISTEMAS ANTECIPATIVOS

A alegação de que o comportamento antecipativo é algo próprio apenas dos seres vivos e a impossibilidade de seu modelamento analítico, foram questionadas pelo ponto de vista revolucionário introduzido por Dubois [8], [9] para quem a antecipação é uma propriedade de todos os sistemas físicos. Através de exemplos envolvendo a teoria do caos, sistemas eletromagnéticos com atraso, osciladores harmônicos, fractais, etc, Dubois identifica uma nova classe de sistemas antecipativos que ele denomina sistemas com “antecipação forte”, os quais não possuem um modelo preditivo explícito, mas realizam a antecipação de forma implícita com a função que expressa a dinâmica do sistema contendo um modelo de si mesma (endo-antecipação). O estado de S em um instante de tempo futuro ($S_{(t+\Delta t)}$) seria então dado pela equação 3:

$$S_{(t+\Delta t)} = F(S_t, S_{(t+\Delta t)}) \quad (3)$$

a qual é solucionada substituindo-se recursivamente $S_{(t+\Delta t)}$ no termo à direita da igualdade por, $F(S_t, S_{(t+\Delta t)})$ resultando na equação 4:

$$S_{(t+\Delta t)} = F(S_t, F(S_t, S_{(t+\Delta t)})) \quad (4)$$

se a equação 4 tiver mais do que uma solução, o sistema é chamado de *hipercursivo*, caso contrário é dito apenas *incursivo*. Apesar de revolucionário, o modelo de sistemas com antecipação forte é de aplicação restrita, pois ainda carece do suporte de uma teoria abrangente, que permita extrapolar além dos exemplos apresentados, já que a solução para a equação 4 deve ser garantida caso-a-caso, não havendo uma solução analítica geral. A taxonomia de Dubois contempla também os sistemas antecipativos na forma proposta por Rosen, os quais são classificados como sistemas com “antecipação fraca” ou exo-antecipativos, por terem a predição baseada em um modelo, sendo definidos pela equação 5:

$$S_{(t+\Delta t)} = F(S_t, M_{(t+\Delta t)}) \quad (5)$$

Concentrando-se nos sistemas com antecipação fraca é possível estabelecer-se um escopo seguro de trabalho, a partir da análise sobre a viabilidade da sua implementação computacional feita por Ekdahl em [12], [10], [11], a qual

possui duas particularidades: a associação do comportamento antecipativo com o conceito de *agência*, e o tratamento de sistemas antecipativos como sistemas linguísticos. As conclusões de Ekdahl restringem o tratamento analítico a sistemas que contenham apenas modelos descritivos, quais sejam, modelos formados por um conjunto de axiomas a partir dos quais o comportamento antecipativo possa ser gerado.

TABLE I
APLICAÇÕES BASEADAS EM SISTEMAS ANTECIPATIVOS.

antecipação	aplicação
fraca	modelo populacional estatístico baseado em controle antecipativo [3].
fraca	modelamento adaptativo do comportamento de sistemas econômicos baseado em um sistema antecipativo multi-agente [18].
fraca	controle baseado em antecipação preventiva de estados indesejados, usando antecipação linear em uma arquitetura multi-agente [5].
forte	controle do movimento caótico de um braço de robô, por meio de um sistema incursivo [7].
forte	sistema multi-agente incursivo com uso de autómatos celulares aplicado ao estudo da teoria de Luhmann para os sistemas sociais [17].

O debate atual vai além dos trabalhos de Dubois e Ekdahl, como pode ser comprovado por [4], [20] e pela tabela I, que contém referências a aplicações baseadas em sistemas antecipativos. Das três aplicações da tabela baseadas em agentes, duas fazem uso de antecipação fraca ([5], [18]), ambas se valendo de um modelo do ambiente para geração da predição como ilustrado na figura 2.

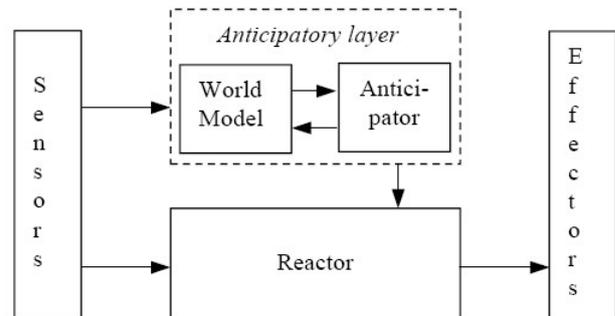


Fig. 2. arquitetura do agente antecipativo proposto por Davidsson [5].

III. PROPOSTA DE MODELO DE SISTEMA ANTECIPATIVO

Nesta seção é desenvolvido uma arquitetura antecipativa aplicável a sistemas com antecipação fraca. Ao contrário do que foi adotado por [5], [18], propõe-se o não modelamento do ambiente,⁴ o que é considerado adequado pelas razões apresentadas por Anderson [1] (a partir do trabalho original de Brooks [2]), relativas as dificuldades associadas com as arquiteturas do tipo SMPA (*Sense-Model-Plan-Act*). Como decorrência, assume-se que os sensores do sistema

⁴“The world is its own best model” [2].

responsáveis pela discretização das entradas, sejam capazes de detectar as mudanças relevantes do ambiente em tempo hábil para seu processamento, como representado pelo gráfico da figura 3 onde W representa a duração do evento externo de menor duração e T_s representa o período do sinal de amostragem. A condição é satisfeita para $W > 2T_s$.

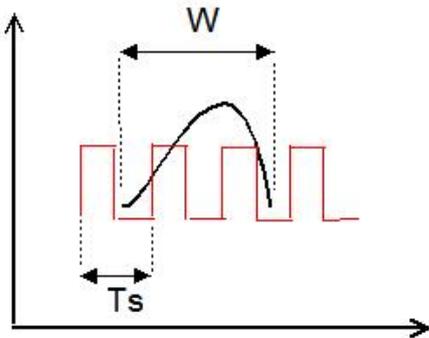


Fig. 3. relação entre duração do evento externo (W) e o período de amostragem do sensor (T_s).

Por outro lado, a supressão do modelo do ambiente requer uma maior restrição sobre o critério de antecipação que propõe-se seja reduzido ao esquema de “antecipação do próximo estado”.

Como o modelo M (fig. 1) contém agora apenas a descrição de S e podemos assumir que,

$$M \equiv S \tag{6}$$

com M sendo operado em uma frequência superior. A suposição da equação 6 permite uma grande simplificação do sistema como um todo, como visto na figura 4, onde tanto o sistema “ S_s ” quanto o modelo “ S_m ” diferem apenas pela velocidade de operação feita, no caso do modelo, igual a taxa de amostragem.

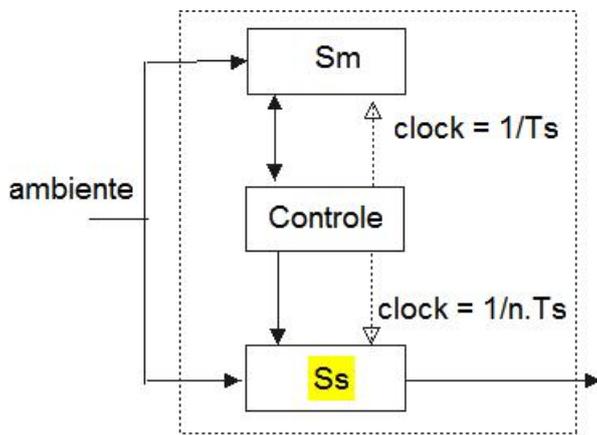


Fig. 4. modelo de sistema antecipativo proposto.

Uma consequência da simplificação do modelo é a necessidade de se inserir um módulo controlador, o qual deve atuar

sobre o sistema sempre que o modelo indicar que um estado indesejado será atingido. Isto significa que cabe ao controlador conhecer de antemão os estados indesejados do sistema os quais devem ser programados juntamente com a programação do próprio sistema.

IV. ARQUITETURA BASEADA EM AGENTES MODULARES

Uma Rede de Agentes Modulares (RAM) [13] é uma ferramenta formal que possibilita o modelamento de sistemas a eventos discretos heterogêneos de forma hierárquica, com vários níveis de abstração, sendo uma especialização das Redes de Objetos [14]. Uma Rede de Objetos é um grafo orientado, inspirado nas redes de Petri, contendo *lugares*, *arcos* e *objetos*. Entretanto, ao contrário das redes de Petri, as transições em uma rede de objetos são controladas por métodos específicos de alguns dos objetos (chamados ativos); adicionalmente, a possibilidade de criação de novos objetos implica em um número variável de transições, o que também não ocorre em uma rede de Petri [15].

O funcionamento dinâmico de uma RAM por sua vez, é determinado pela chamada “Função de Seleção” (FS), um mecanismo centralizado que permite dirimir potenciais conflitos e determinar quais ações dos agentes habilitados na rede serão executadas em um dado instante; a FS usa o algoritmo BMSA (*Best Matching Search Algorithm*) [16], que opera baseado na propagação de restrições, para a determinação da dinâmica da Rede.

Para atendimento do proposto na seção III, o módulo controlador da figura 4 deve, com base em S_m , obter qual o próximo estado a ser alcançado por S_s o que pode ser feito, por exemplo, pela sequência a seguir:

- 1) Obter do modelo S_m o próximo estado a ser “naturalmente” atingido por S_s , o que é feito aplicando-se a FS na forma tradicional, sobre a cópia da RAM que serve como S_m .
- 2) Avaliar se o estado resultante para S_m corresponde a um dos estados indesejáveis. Em caso positivo, um novo estado para S_m deve ser buscado, possivelmente aplicando-se uma variação do BMSA que possibilite a escolha de uma solução com condição de restrição inferior àquela originalmente escolhida, porém dentro do conjunto de estados desejáveis.
- 3) com base no conhecimento obtido em 2, o controlador atua para gerar o próximo estado de S_s .

Uma variante da sequência anterior imediatamente imaginada, é a inclusão no passo 1 de uma versão modificada do BMSA que, alimentada pelo controlador com os estados indesejáveis, inclua tal informação dentro do conjunto de restrições do problema de determinação do próximo estado. Isto permitiria a supressão do passo 2, na sequência original. A escolha entre qual sequência adotar requer porém uma avaliação da eficiência operacional em cada caso. Esta e outras questões de segunda ordem como por exemplo, o procedimento em caso de impossibilidade de se alcançar um próximo estado dentro do espaço de estados desejáveis não são exploradas neste momento porque demandam um maior detalhamento das variantes do BMSA, o que ainda não ocorreu.

V. CONCLUSÃO

Esta monografia apresentou, com base na análise de trabalhos correlatos e do fundamento teórico existente, um modelo de arquitetura para sistemas com antecipação fraca que permite uma operação do tipo “antecipação de próximo estado” e usa como modelo a própria descrição do sistema, sem a presença de informação adicional sobre o ambiente externo, a qual é obtida diretamente dos sensores. Em seguida foi apresentada uma proposta de implementação, usando-se Redes de Agentes Modulares, a qual contempla um sumário das potenciais alterações demandadas no mecanismo que controla o funcionamento dinâmico da RAM para que esta torne-se aderente ao modelo de sistema antecipativo. Cabe aqui ressaltar alguns pontos positivos da solução proposta:

- não interferência com o fundamento formal no qual se baseia a RAM, atuando-se basicamente sobre o BMSA;
- natureza compacta da solução uma vez que a mesma Rede serve como descrição do sistema e do modelo.

Cumprido no entanto notar, como ponto potencialmente negativo, a não confrontação direta do modelo proposto em III contra o comportamento de sistemas antecipativos reais. Entretanto esta deficiência pode ser encarada positivamente como uma demanda de trabalho futuro. De imediato, pode-se porém especular que dada a característica de “antecipação de próximo estado”, o modelo contém capacidade reduzida de antecipação, eventualmente similar ao apresentado no mundo natural por alguns organismos mais simples.⁵

REFERENCES

[1] M. L. ANDERSON, *Embodied cognition: A field guide*, Artificial Intelligence, 149 (2003), pp. 91–130.

[2] R. BROOKS, *Intelligence without reason*, in IJCAI-91, 1991.

[3] M. BURKE, *Avoiding extinction in a managed single species population model by means of anticipative control*, in CASYS'05, 7th International Conference on Computing Anticipatory Systems, AIP, American Institute of Physics, August 2005. www.staff.ul.ie/burkem/research/ea.pdf.

[4] M. BUTZ, O. SIGAUD, AND P. GERARD., eds., *Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems*, Springer-Verlag, 2003.

[5] P. DAVIDSSON, *A framework for preventive state anticipation*, in Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems, M. Butz, O. Sigaud, and P. Gerard, eds., Springer-Verlag, 2003.

[6] P. DAVIDSSON, E. ASTOR, AND B. EKDAHL, *a framework for autonomous agents based on the concept of anticipatory systems*, in Cybernetics and Systems 94, World Scientific, 1994. www.ide.hk-r.se/pdv/mypublications.html.

[7] D. DUBOIS, *Incurative anticipatory control of a robot arm*, in CASYS 97 - First International Conference on computing Anticipatory Systems, AIP, American Institute of Physics, 1997. www.ulg.ac.be/mathgen/CHAOS/AIP/AIP_437_DD_2.pdf.

[8] ———, *Review of incurative, hyperincurative and anticipatory systems - foundation of anticipation in electromagnetism*, in CASYS 99 - Third International Conference on computing Anticipatory Systems, AIP, American Institute of Physics, 1999. www.ulg.ac.be/mathgen/CHAOS/DDReview.pdf.

[9] ———, *Incurative and hyperincurative systems, fractal machine and anticipatory logic*, in CASYS 2000 - Fourth International Conference on computing Anticipatory Systems, AIP, American Institute of Physics, 2000. www.ulg.ac.be/mathgen/CHAOS/AIP/AIP_573_DD_2.pdf.

[10] B. EKDAHL, *Classification of anticipatory systems*, in 1st World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, AIP, American Institute of Physics, July 1997. www.cs.lth.se/home/Bertil_Ekdahl/publications/CofAS.pdf.

[11] ———, *Approximation of anticipatory systems*, in 2nd World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, AIP, American Institute of Physics, July 1998. www.cs.lth.se/home/Bertil_Ekdahl/publications/AofAS.pdf.

[12] ———, *Anticipatory systems as linguistic systems*, in CASYS 99 - Third International Conference on computing Anticipatory Systems, AIP, American Institute of Physics, August 1999. www.cs.lth.se/home/Bertil_Ekdahl/publications/ASasLS.pdf.

[13] A. S. R. GOMES, *Contribuições ao Estudo de Redes de Agentes*, master's thesis, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, June 2000. www.dca.fee.unicamp.br/.../TeseASRG.pdf.

[14] R. GUDWIN, *Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes*, PhD thesis, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, May 1996. www.dca.fee.unicamp.br/gudwin/.../thesis.html.

[15] R. GUDWIN AND F. GOMIDE, *Object networks – a modeling tool*, in Proceedings of FUZZ-IEEE98, WCCI'98 - IEEE World Congress on Computational, May 1998. citeseer.ist.psu.edu/.../object98object.html.

[16] J. A. GUERRERO, *Rede de Agentes: Uma Ferramenta para o Projeto de Sistemas Inteligentes*, master's thesis, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, February 2000. www.dca.fee.unicamp.br/.../JasgThesis.pdf.

[17] L. LEYDESDORFF, *Anticipatory systems and the processing of meaning: a simulation study inspired by luhmann's theory of social systems*, 2005.

[18] S. RIVERO, B. STROB, AND R. WAZLAWICK, *Economic theory, anticipatory systems and artificial adaptive agents*, 1999.

[19] R. ROSEN, *Anticipatory Systems - Philosophical, Mathematical and Methodological Foundations*, Pergamon Press, 1st ed., 1985.

[20] T. ZAMENPOULOS AND K. ALEXIOU, *Design and anticipation: towards an organisational view of design systems*, working paper, no.76, The Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College-London, 2004. www.casa.ucl.ac.uk/publications/full_list.html.

SOBRE O AUTOR



José Gonzaga Souza Júnior é engenheiro elétrico formado pela Unicamp em 1983 e técnico em eletrônica formado pela "Escola Técnica Professor Everardo Passos" - ETEP em 1979. Trabalhou no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (estágio técnico), Prológica Microcomputadores (Eng. Eletrônico), University of Wisconsin-Madison (Eng. Eletrônico), PUC-Campinas (Prof. Horista) e está, desde novembro de 1984, no Centro de Pesquisas Renato Archer - CenPRA. Sua experiência profissional prévia inclui o projeto e teste de sistemas microprocessados e de processadores vetoriais baseados em arquiteturas VLIW (*very long instruction word*), o desenvolvimento de micromontadores e micro-simuladores, e o co-projeto hardware-software baseado na linguagem para descrição de hardware VHDL. No CenPRA, trabalha atualmente na Divisão de Software para Sistemas Distribuídos-DSSD, no desenvolvimento de aplicações distribuídas sobre internet para suporte a Serviços de Governo Eletrônico.

⁵Se tanto :-)