

FURGBOL-SIM 2D: ARQUITETURA DE AGENTE AUTÔNOMO CONCORRENTE SOB UM MODELO DE ORGANIZAÇÃO MULTIAGENTE *MOISE*⁺

EDER MATEUS NUNES GONÇALVES*, SILVIA SILVA DA COSTA BOTELHO*

**Departamento de Física/Eleto-Eletrônica
Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Rio Grande, RS, Brasil*

Emails: eder@ee.furg.br, silviacb@furg.br

Abstract— This paper presents FURGBOL-Sim team description which combines elements from multiagent organization model *Moise*⁺, concurrent autonomous agent architecture and UvA Trilearn low-level behaviors. The *Moise*⁺ model permits to constraint the actions subset in a given environment setting. The agent action is defined in submitting this subset to a set of predictive functions which chooses the best next state.

Keywords— *Moise*⁺, Concurrent Autonomous Agent, UvA Trilearn

Resumo— Este artigo descreve a equipe FURGBOL-Sim, que combina elementos do modelo de organização multiagente *Moise*⁺, uma arquitetura de agente autônomo concorrente e os comportamentos de baixo nível do UvA Trilearn. O modelo *Moise*⁺ impõe restrições ao agente, determinando um subconjunto de ações que podem ser executadas no ambiente. Este subconjunto é submetido a um conjunto de funções preditivas que definem a ação do agente entre aquelas que levam a um melhor estado futuro.

Palavras-chave— *Moise*⁺, Agente Autônomo Concorrente, UvA Trilearn.

1 Introdução

Para que uma equipe atue de modo eficiente dentro do Soccerserver (Chen et al., 2001) são necessárias duas características fundamentais: comportamentos de baixo nível que atendam os requisitos de tempo real do ambiente e uma correta coordenação de ações dos agentes no sentido das metas da equipe. Dentro do FURGBol-Sim, estas características são obtidas por meio da integração entre o modelo de organização *Moise*⁺ (Hübner et al., 2006), uma arquitetura de agente autônomo concorrente (da Costa and Bittencourt, 1999) e os comportamentos de baixo nível do UvA Trilearn (Kok et al., 2003).

A organização de um Sistema Multiagente (SMA) é um conjunto de restrições ao comportamento dos agentes de modo a conduzi-los a uma finalidade comum (Dignum and Dignum, 2001). O *Moise*⁺ é um modelo de organização que impõe suas restrições segundo três especificações principais: estrutural (papéis), funcional (planos globais) e deontica (normas e obrigações). O aspecto estrutural aborda a organização segundo os papéis que a compõe e como estes são relacionados. O aspecto funcional especifica como as metas globais da organização podem ser obtidas, enquanto o aspecto deontico estabelece a relação entre os dois aspectos anteriores indicando a responsabilidade dos papéis dentro das metas globais.

O SMA é formado por agentes segundo uma arquitetura autônoma concorrente, cujo principal atributo é a existência de três níveis decisórios: nível reativo, nível instintivo e nível cognitivo. O nível reativo é composto por um conjunto de comportamentos de baixo nível que implementam as

habilidades necessárias para que o agente atue no ambiente. O nível instintivo tem a função de identificar os estados do ambiente e definir qual o comportamento ativo no nível reativo. Além disso, estas informações de estado devem ser enviadas para o nível cognitivo que as utiliza, juntamente com a meta global do SMA, para determinar as metas individuais do agente. Estas metas individuais correspondem a estados desejados que devem ser alcançados pelos agentes. A escolha do melhor estado é feita a partir de um conjunto de funções preditivas que selecionam a melhor ação a ser tomada pelo agente. Esta seleção considera apenas o subconjunto de ações restringida pela modelo de organização.

Para implementar os comportamentos reativos do FURGBol-Sim é utilizado a arquitetura e o código fonte do UvA Trilearn. A adequação do UvA Trilearn ao agente autônomo concorrente é possível devido a similaridade de características, especialmente nas camadas de mais baixo nível - aquelas mais próximas do ambiente. O UvA Trilearn utiliza uma arquitetura multi-thread que permite que o agente use um thread específico para as tarefas de percepção, ação e raciocínio. A thread de percepção lê as informações do ambiente e as transforma em um conjunto de variáveis de estado que permitem a caracterização do ambiente em um ciclo de simulação. A thread de ação transforma os comportamentos reativos em seqüências sincronizadas de comandos que modificam o ambiente. Os comportamentos reativos correspondem as habilidades necessárias para atuar no ambiente, nesse caso, passar, chutar, correr, girar, defender, marcar, etc.

Este artigo é estruturado da seguinte forma.

A próxima seção descreve o modelo *Moise*⁺, as dimensões envolvidas na sua especificação, e a especificação para o FURGBol-Sim. A seção 3 descreve a arquitetura interna do agente utilizado no FURGBol-Sim, e seção 4 descreve como dá-se o aproveitamento do código fonte do UvA Trilearn para esta implementação. Finalmente, o seção 5 apresenta as conclusões deste trabalho e as perspectivas de futuros trabalhos.

2 Modelo de Organização Multiagente

O FURGBol-Sim é implementado segundo uma abordagem *top-down*, ou seja, da especificação social, que regula as relações entre os agentes que compõem a equipe, em direção as camadas mais baixas de implementação do agente, considerando que este possui uma arquitetura hierárquica que apresenta ambos aspectos, deliberativo e reativo. Deste modo, a descrição da equipe parte da especificação do SMA e de seu modelo de organização.

A idéia básica de um SMA é permitir que um grupo organizado de agentes cooperem na resolução de problemas que estão além das capacidades de resolução individual de cada um deles. No entanto, esta definição contrapõem dois aspectos fundamentais da distribuição de problemas: buscar as metas do SMA e a autonomia dos agentes. A organização formal de um SMA permite identificar e ajustar o equilíbrio entre estes dois aspectos, por meio de um conjunto de restrições comportamentais adotada pelos agentes. Uma boa organização consiste em determinar um espaço de busca de ações menor que aquele determinado pelo ambiente, que corresponde a todos os mapeamentos entre percepções e ações, porém maior que aquele que leve a finalidade do SMA, de modo a respeitar a autonomia dos agentes (Hübner and Sichman, 2003).

Uma classificação para os modelos organizacionais divide-os em modelos baseados na dimensão *funcional, estrutural e deontica* (Hübner et al., 2006). Os modelos funcionais, como o STEAM (Tambe, 1997), operam no sentido de alcançar as *metas globais* do sistema. Os modelos estruturais, como o AGR (Ferber and Gutknecht, 1998), focam-se em conceitos como *papéis e grupos* para organizar os agentes. Já os modelos deonticos, como o ISLANDER (Esteva et al., 2001), baseiam-se na definição de *normas e permissões* dentro do SMA.

Para o FURGBol-Sim, o modelo adotado é o *Moise*⁺. Este modelo organizacional foi selecionado uma vez que é o único que aborda as três dimensões, estrutural, funcional e deontica. Segundo o modelo *Moise*⁺, as três dimensões organizacionais formam uma Especificação Organizacional (OS, do inglês *Organisational Specification*). Quando os agentes adotam uma determinada OS, eles formam um Entidade Organizacio-

nal (OE, do inglês *Organisational Entity*).

A Especificação Estrutural (SS, do inglês, *Structural Specification*) do modelo *Moise*⁺ é construída em três níveis: os comportamentos que um agente deve possuir quando ele é responsável por um papel, que corresponde ao seu *nível individual*; as relações de comunicação, autoridade e de conhecimento entre os papéis, que corresponde ao *nível social*; e a agregação dos papéis em grupos, que corresponde ao *nível coletivo*. A Especificação Funcional (FS, do inglês, *Functional Specification*) declara como o SMA alcança as *metas globais*, que são de caráter coletivo, decompondo-as em *planos* e distribuindo-os aos agentes por meio de *missões*. A Especificação Deontica (DS, do inglês, *Deontic Specification*) descreve as obrigações e permissões dos papéis para as missões.

Para a implementação do SMA do FURGBol-Sim é utilizada a organização apresentada por Hübner e Sichman (Hübner and Sichman, 2003). A SS é descrita pela figura 1. Pela especificação é possível identificar restrições como as possibilidades de comunicação entre os jogadores, o fato de que os jogadores conhecem o técnico e que o líder do time tem autoridade sobre todos os demais. Os jogadores são organizados em grupos, onde cada grupo é montado segundo os papéis que eles devem exercer. Deste modo, a SS restringe as ações dos agentes aos papéis que eles podem exercer. Dentro da SF, descrita pela figura 2, uma meta global representa um estado de mundo que é desejado pela SMA. Para que uma meta seja selecionada, três parâmetros devem ser atingidos: um nível de satisfabilidade que indica se a meta já foi alcançada ou se ainda é possível de ser alcançada; um nível de alocação que determina se há agentes comprometidos com sua execução; e um nível de ativação que indica as pré-condições para a sua execução. Uma missão é um conjunto de metas globais que pode ser atribuída a um agente de acordo com os seus papéis. Na SF cada ramo da árvore corresponde a uma meta global e tem associada a ela as missões necessárias para sua execução. A DS, definida na tabela 1, determina a relação entre a SS e a SF. Deste modo, os jogadores que possuem o papel de meia tem a obrigação de executar a missão m_2 , que está associada as metas globais *score a goal, be placed in the middle field, kick the ball to the goal area* e *go to the opponent back line*.

Papel	Relação Deontica	Missão
defensor	<i>permissão</i>	m_1
meia	<i>obrigação</i>	m_2
atacante	<i>obrigação</i>	m_3

Tabela 1: Especificação Deontica do FURGBol-Sim

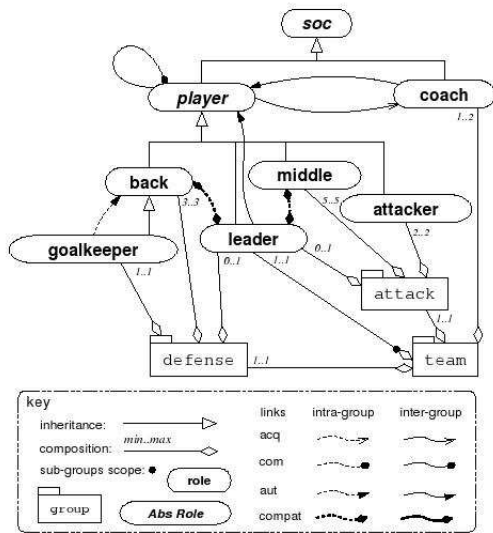


Figura 1: Especificação Estrutural do FURGBol-Sim

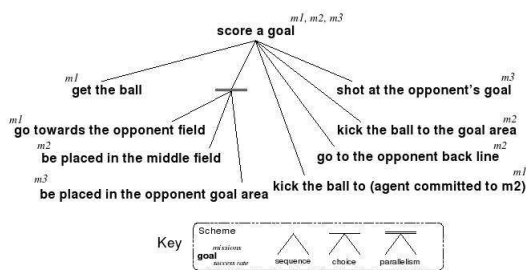


Figura 2: Especificação Funcional do FURGBol-Sim

3 Arquitetura de Agente Autônomo Concorrente

Nesta seção busca-se apresentar as características da arquitetura interna dos agentes que compõem o FURGBol-Sim, independente do modelo de organização SMA adotado.

Um ambiente complexo, como o Soccer Server, exige soluções que agreguem aspectos de baixo nível, formado por comportamentos reativos que atendam restrições de tempo real, bem como aspectos deliberativos que permitam tratar com questões de planejamento e atendimento de metas, por exemplo. Não obstante, o agente deve estar inserido em um contexto social que permita compartilhar seus planos e metas. Nesse sentido, propõe-se um modelo de agente cognitivo, denominado agente autônomo concorrente (da Costa and Bittencourt, 1999), que apresenta três níveis decisórios: reativo, instintivo e cognitivo.

O *nível reativo* permite a interação do agente com o ambiente, tratando dos aspectos de percepção e ação. Deste modo, este nível é responsável pelo tratamento das restrições de tempo-real do agente. É formado por um conjunto de compor-

tamentos reativos, que encapsulam as habilidades fundamentais do agente para atuar no ambiente. No caso do Soccer Server, citam-se como habilidades fundamentais, entre outras, passar, chutar, correr, marcar, interceptar a bola. Estes comportamentos podem ainda serem vistos como um nível de abstração hierárquico superior aos comandos básicos do ambiente.

O *nível instintivo* tem como funções básicas reconhecer o estado do jogo e executar a meta local do agente, que no âmbito do modelo *Moise+* corresponde a especificação de uma missão. A execução da meta local, ou missão, é dada pela seleção de uma seqüência de comportamentos reativos que levam o estado atual do jogo a um estado desejado. A meta local permanece válida enquanto determinados parâmetros associados ao estado atual do jogo são verificados. Quando o estado do jogo muda, seja para um estado desejado ou não, uma nova meta local deve ser selecionada.

O *nível cognitivo* tem a função de integrar o agente no SMA, coordenando objetivos coletivos com seqüências de ações individuais. Deste modo, o nível cognitivo transforma as metas globais em metas locais, por intermédio de uma instanciação da especificação funcional (FS) do modelo *Moise+*, segundo os papéis que possui e o grupo ao qual o agente pertence. Comparado aos níveis inferiores, o nível cognitivo possui restrições de tempo real mais brandas, o que permite a execução de tarefas mais complexas. A escolha da meta local dá-se por intermédio de um conjunto de funções preditivas do ambiente, que escolhem dentro do subconjunto de ações do ambiente, previamente restrita pelo modelo de organização, aquela que leva ao melhor estado futuro do ambiente, segundo as metas globais do SMA.

4 UvA Trilearn

A arquitetura descrita na seção anterior é implementada a partir do código base do UvA Trilearn (Kok et al., 2003), que possui uma arquitetura de baixo nível, referente aos níveis hierárquicos mais próximos do ambiente, muito similar ao agente autônomo concorrente. A arquitetura do UvA Trilearn é descrita pela figura 3.

A mais inferior é a *Camada de Interação*, que trata da interação do agente com o ambiente. A *Camada de Habilidades* usa a funcionalidade oferecida pela camada de interação para construir um modelo abstrato do mundo e para implementar os comportamentos dos agentes. A *Camada de Controle* contém os componentes deliberativos do agente. Sua função é escolher a melhor ação na camada de habilidades de acordo com o modelo de mundo e atual estratégia do agente.

O agente UvA Trilearn é implementado em C++ com suporte nativo em sistema operacional Linux, constituído por três threads: uma para per-

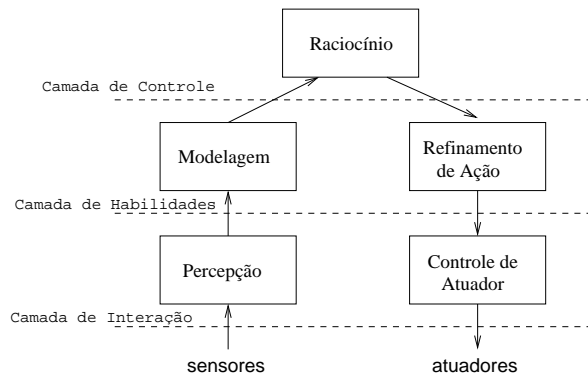


Figura 3: Arquitetura do Agente UvA Trilearn

cepção, uma para atuação, e outra para deliberação. A principal vantagem desta abordagem garantir um mínimo atraso em operações de entrada e saída com o servidor de simulação.

Para utilizar o UvA Trilearn como código fonte base, o objetivo é determinar uma estratégia de deliberação que garanta a escolha da melhor ação dado o modelo de mundo atual.

O mapeamento entre a arquitetura do agente autônomo concorrente e a implementação do UvA Trilearn é praticamente direta. A camada de interação mais o componente de refinamento de ação da camada de habilidades do UvA Trilearn correspondem ao nível reativo do agente autônomo concorrente. O componente de modelagem da camada de habilidades do UvA Trilearn implementa a função de identificação de estado do nível instintivo do agente autônomo concorrente. Finalmente, as funções restantes do nível instintivo mais o nível cognitivo do agente autônomo concorrente devem ser implementados na camada de controle do UvA Trilearn.

5 Conclusões

Este artigo descreveu a arquitetura e a implementação da equipe FURGBol-Sim, projetada para o Soccer Server 2D. Esta equipe integra aspectos do modelo de organização *Moise⁺* de SMA, uma arquitetura de agente autônomo concorrente e o código fonte base do UvA Trilearn. Esta abordagem possui o mérito de restringir o espaço de busca de decisões do agente a um tamanho que garanta a realização dos objetivos coletivos do SMA, respeitando a autonomia dos agentes.

A validação inicial desta implementação foi dada de duas formas. Primeiramente, em jogos contra o código fonte base do UvA Trilearn, em que venceu todas as partidas realizadas. Segundo, pela participação da equipe nas eliminatórias para a RoboCup 2007, quando ainda não possuía os elementos de organização SMA. O FURGBol-Sim, obteve em 15 partidas, um saldo de 2 vitórias, um empate, e 14 derrotas, se colocando como a segunda equipe brasileira melhor colocada entre as

inscritas.

Dentre as perspectivas de futuros trabalhos no FURGBol-Sim, prevê-se a inclusão de um esquema de verificação encadeada do estado de metas globais, que permite determinar se uma determinada meta global do SMA falhou e apontar a meta atual para uma imediatamente anterior aquela falseada; e a inclusão de um algoritmo de aprendizado que visa reduzir os espaços de busca de funções preditivas do nível cognitivo, fazendo com que o nível instintivo do agente aprenda e memorize as escolhas feitas em determinados cenários do ambiente.

Referências

- Chen, M., Foughi, E., Heintz, F., Huang, Z. X., Kapetanakis, S., Kostiadis, K., Johan Kummeneje, I. N., Obst, O., Riley, P., Timo Steffens, Y. W. and Yin, X. (2001). *RoboCup Soccer Server: for Soccer Server Version 7.07 and later*. www.robocup.org.
- da Costa, A. L. and Bittencourt, G. (1999). From a concurrent architecture to a concurrent autonomous agents architecture, *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'99)*.
- Dignum, V. and Dignum, F. (2001). Modelling agent societies: Co-ordination frameworks and institutions, *Proceedings of the 10th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA '01)*, Springer, Berlin, pp. 191–204. LNAI 2258.
- Esteva, M., Rodriguez-Aguiar, J. A., Sierra, C., Garcia, P. and Arcos, J. L. (2001). On the formal specification of electronic institutions, in F. Dignum and C. Sierra (eds), *Proceedings of the Agent-Mediated Electronic Commerce*, LNAI 1191, Springer, Berlin, pp. 126–147.
- Ferber, J. and Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems, in Y. Demazeau (ed.), *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agents Systems (ICMAS'98)*, IEEE Press, pp. 128–135.
- Hübner, J. F. and Sichman, J. S. (2003). Aplicação de organização de sistemas multiagentes em futebol de robôs, *XI Escola de Informática do SBC*, Vol. 1, Angelo Augusto Frozza, Lages-SC, pp. 119–147.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S. and Boissier, O. (2006). *S-Moise⁺*: A middleware for developing organised multi-agent systems, in O. Boissier, V. Dignum, E. Matson and J. S. Sichman (eds), *International Workshop on Organizations in Multi-Agent Systems*, from

Organizations to Organization Oriented Programming in MAS (OOOP'2005), Vol. 3913, LNCS.

Kok, J. R., Vlassis, N. and Groen, F. (2003). Uva trilearn 2003 team description, in D. Polani, B. Browning, A. Bonarini and K. Yoshida (eds), *Proceedings CD RoboCup 2003*, Padua, Italy.

Tambe, M. (1997). Towards flexible teamwork, *Journal of Artificial Intelligence Research* **7**: 83–124.