

Aplicação de Organização de Sistemas Multiagentes em Futebol de Robôs

Jomi Fred Hübner e Jaime Simão Sichman

Universidade Regional de Blumenau
Departamento de Sistemas e Computação
Grupo de Inteligência Artificial
Campus IV, rua Braz Wanka, 238, Vila Nova
89035-160, Blumenau, SC
(47) 321-7810, jomi@inf.furb.br

Universidade de São Paulo
Laboratório de Técnicas Inteligentes
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158, tv. 3
05508-900 São Paulo, SP
(11) 3091 5397, jaime.sichman@poli.usp.br

Resumo

Enquanto a área de Sistemas Multiagentes (SMA) vem amadurecendo e aprimorando suas teorias e ferramentas, um novo domínio de aplicação está se tornando cada vez mais comum: o futebol de robôs. Como este domínio de aplicação apresenta várias características de um SMA, tem-se um ótimo contexto de testes e avaliação para as ferramentas propostas pelo estudo de SMA. Neste trabalho, serão apresentadas algumas formas de aplicação de *organização de SMA* no desenvolvimento de times, particularmente times de futebol de robôs.

1 Introdução

Tanto a Ciência da Computação quanto a Inteligência Artificial (IA) têm buscado formas de conceber sistemas que se aproximam da realidade considerando, em geral, as visões que outras áreas do conhecimento têm da realidade. Assim surgiram a orientação a objetos (da Matemática), a representação de conhecimento e raciocínio (da Psicologia e da Lógica), as redes neurais (da Biologia), etc. De forma análoga, a área de Sistema Multi-Agentes (SMA) é influenciada pela Sociologia e, portanto, tem vislumbrado uma concepção de sistema com propriedades que até então somente sociedades possuíam. O estudo de SMA, ao contrário dos paradigmas tradicionais da IA, têm como objeto de estudo a *coletividade* e não um único indivíduo. Desta forma, deixam de ter atenção as

iniciativas de compreender e simular o comportamento humano isoladamente, seja mental (IA simbolista) ou neural (IA conexionista), passando o foco da atenção para a forma de interação entre as entidades que formam o sistema (chamadas de agentes) e sua organização. Este paradigma é motivado pela observação de alguns sistemas naturais, nos quais se percebe o surgimento de um comportamento inteligente a partir da interação de seus elementos (Johnson, 2001). Por exemplo, apesar de uma colônia de formigas ser formada por seres simples, pode-se dizer que o formigueiro como um todo é um sistema complexo cujo comportamento é mais inteligente do que os das formigas que o formam; os neurônios são células simples, mas de sua interação e organização emerge um comportamento complexo e inteligente. Estes dois exemplos mostram que a coletividade possui características que não podem ser reduzidas aos componentes que a formam, mas que são essenciais para o comportamento bem adaptado que tais sistemas apresentam.

Enquanto a pesquisa na área de SMA avança, um domínio de aplicação comum para a IA, particularmente para a robótica, tem se sobressaído: o futebol do robôs. A solução de vários problemas neste domínio, como a execução de uma jogada ensaiada, por exemplo, requer técnicas tanto de paradigmas deliberativos (como o planejamento) quanto de paradigmas reativos. Porém, o desenvolvimento de um único jogador, completamente independente dos demais, não é suficiente para formar um time que apresenta comportamento coeso e organizado. Justamente para facilitar a especificação de *times*, as técnicas de SMA podem ser úteis. Este texto tem, portanto, o objetivo de apresentar uma das facetas dos SMAs que pode ser útil no desenvolvimento de times. Esta faceta é a organização do time.

Este texto está organizado da seguinte forma. A próxima seção apresenta uma introdução geral aos principais conceitos de SMA. Das principais facetas de um SMA (agentes, interação, ambiente e organização), a seção 3 irá detalhar a última. Na seção 4, será exemplificado como um time de futebol pode ser especificado utilizando ferramentas organizacionais provenientes da área de SMA. Algumas conclusões e problemas ainda não resolvidos são apresentados na seção 5.

2 Sistemas Multiagentes

A área de SMA estuda o comportamento de um grupo *organizado* de agentes *autônomos* que cooperam na resolução de problemas que estão além das capacidades de resolução de cada um individualmente. Duas propriedades, aparentemente contraditórias, são fundamentais para os SMA: a autonomia dos agentes e sua organização (Briot e Demazeau, 2002). O atributo autônomo significa aqui o fato de que um agente tem sua existência independente dos demais e mesmo do problema sendo solucionado (Weiß, 1999, p. 548). No caso, trata-se de uma autonomia de existência. Para funcionar, um agente não precisa de outros agentes, mesmo que para alcançar seus objetivos ele eventualmente precisará da ajuda de outros. Existem outras formas de autonomia, Castelfranchi (1990), por

exemplo, define um agente autônomo como aquele que decide quais objetivos adotar. Por outro lado, a organização estabelece restrições aos comportamentos dos agentes procurando estabelecer um comportamento grupal coeso. Muitas das propriedades desejadas nos SMA advém do equilíbrio destes dois opostos, portanto, compreender como estas duas propriedades interagem é uma questão importante (e interessante) no contexto dos SMA. A definição mais detalhada de SMA, seus problemas e aplicações podem ser encontradas nas seguintes referências [Alvares e Sichman \(1997\)](#); [Bordini et al. \(2001\)](#); [Demazeau e Müller \(1990\)](#); [Ferber \(1999\)](#); [Jennings e Wooldridge \(1998\)](#); [Weiß \(1999\)](#); [Wooldridge \(2002\)](#).

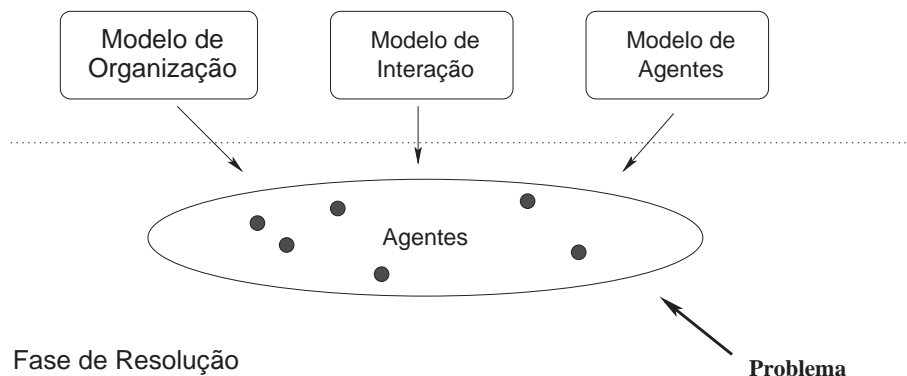
Tomando um ponto de vista de desenvolvimento de sistemas computacionais, o objetivo da área de SMA passa a ser a definição de modelos genéricos de agentes, interações e organizações que possam ser instanciados dinamicamente dado um problema (estas etapas são brevemente descritas na figura 1). Dado este ideal de metodologia de desenvolvimento de sistema, esta abordagem apresenta as seguintes características ([Alvares e Sichman, 1997](#)):

- os agentes são concebidos independentemente de um problema particular;
- a interação entre os agentes não é projetada anteriormente, busca-se definir protocolos que possam ser utilizados em situações genéricas;
- a decomposição de tarefas para solucionar um dado problema pode ser feita pelos próprios agentes;
- não existe um controle centralizado da resolução do problema.

Das quais decorrem algumas vantagens:

- Viabilizam sistemas *adaptativos* e *evolutivos*: o SMA tem capacidade de adaptação a novas situações, tanto pela eliminação e/ou inclusão de novos agentes ao sistema quanto pela mudança da sua organização.
- É uma *metáfora natural* para a modelagem de sistemas complexos e distribuídos: em muitas situações o conhecimento está distribuído, o controle é distribuído, os recursos estão distribuídos. E, quanto à modelagem do sistema, a decomposição de um problema e a atribuição dos sub-problemas a agentes permite um alto nível de abstração e independência entre as partes do sistema ([Jennings e Wooldridge, 1998](#)).
- Toma proveito de ambientes *heterogêneos* e *distribuídos*: agentes com arquiteturas diferentes, que funcionam em plataformas diferentes, distribuídas em uma rede de computadores, podem cooperar na resolução de problemas. Isto permite o uso das potencialidades particulares de cada arquitetura e, pela distribuição, melhora o desempenho do sistema.
- Permite conceber *sistemas abertos*: os agentes podem migrar entre sociedades, isto é, agentes podem sair e entrar em sociedades, mesmo que desenvolvidos por projetistas e objetivos distintos. Tal abertura permite

Fase de Concepção



De forma geral, o ciclo de vida de um SMA passa por duas etapas: concepção e resolução (Sichman, 1995). Na concepção são definidos modelos de propósito geral para os agentes, para suas interações e para suas formas de organização. Na resolução, um grupo de agentes adota estes modelos para resolver os problemas que lhe são apresentados. Diferentes tipos de problemas demandam dos agentes diferentes escolhas de modelos. A principal característica é a independência entre a concepção dos modelos e o problema, isto é, os modelos não são desenvolvidos para solucionar um problema particular. Por exemplo, os protocolos contratuais de Smith (1980) são um modelo de interação aplicável em vários tipos de problemas.

Figura 1: Desenvolvimento ideal de Sistemas Multiagentes.

a evolução e a adaptabilidade do sistema. Esta noção de sistema aberto (baseada, entre outros, em (Bordini, 1994, 1999; da Rocha Costa et al., 1994; Hübner, 1995)) difere da noção adotada, por exemplo, na área de engenharia de software, onde a principal característica de um sistema é aberto é seguir determinados padrões.

Um componente indispensável em um SMA são os agentes. Dentre as definições possíveis para o termo agente (Franklin e Graesser (1997) discutem várias delas), a mais próxima do cenário apresentado acima é a seguinte:

Um agente é uma entidade lógica ou física à qual é atribuída uma certa missão que ela é capaz de cumprir de maneira autônoma e em coordenação com outros agentes. (Briot e Demazeau, 2002)

O comportamento apresentado pelos agentes para cumprir suas missões normalmente é explicado seguindo dois grandes modelos de funcionamento interno: agentes *reativos* e agentes *cognitivos*. Os agentes reativos têm um comportamento muito simples: escolhem suas ações baseados unicamente nas percepções

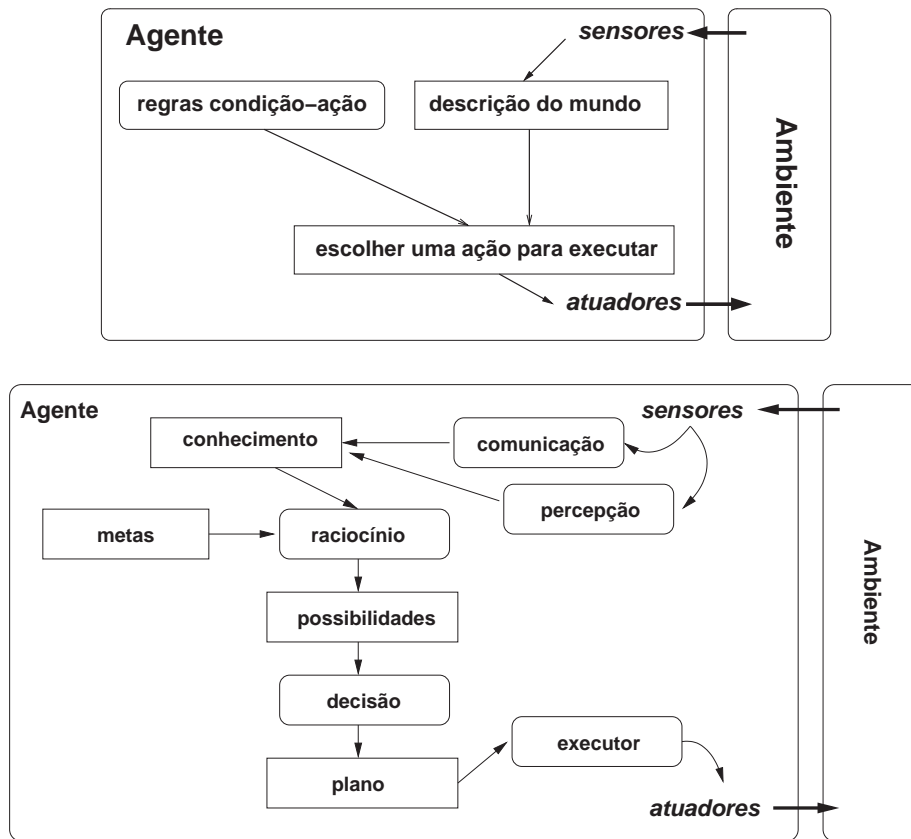
que têm do ambiente (na figura 2 é descrito uma possível arquitetura, entre outras, para este modelo de funcionamento). Considerando este funcionamento bastante simples, este tipo de agente apresenta em geral as seguintes propriedades: somente possui representação de conhecimento implícita no código, ou seja, não tem representação do ambiente (objetos e outros agentes); por não possuir memória, não tem história dos fatos que aconteceram e das ações que executou; não tem controle deliberativo (planejado) de suas ações; em geral, formam organizações do tipo etológico; e as sociedades são formadas por muitos agentes. Nestas sociedades, o interesse está voltado para a emergência de um comportamento global a partir da interação de um grupo grande de agentes (como no exemplo da colônia de formigas).

Nos modelos cognitivos, normalmente se considera que os agentes possuem um *estado mental* e funcionam racionalmente, isto é, raciocinam para construir um plano de ações que leva a um objetivo pretendido (figura 2). Estados mentais são representações mentais que estão dirigidas para objetos ou coisas no mundo (Cohen e Levesque, 1987; Searle, 1983). Crer que está chovendo é uma representação mental de um certo tipo (crença) sobre algo do mundo (estar chovendo). Outros tipos de estados mentais são, por exemplo: desejo, intenção, temor, dúvida e ódio. Estes agentes apresentam, portanto, características particulares que os diferenciam de programas convencionais e dos agentes reativos, dentre elas, convém citar as mais importantes: tem autonomia funcional (podem alterar seu funcionamento a fim de adaptarem-se melhor ao seu ambiente (Rao e Georgeff, 1995)); estão continuamente em funcionamento; são sociáveis (possuem a capacidade de comunicação e de modelagem dos outros); possuem representação de conhecimento explícita no código (conhecimento introspectivo); o mecanismo de controle é deliberativo, ou seja, o agente raciocina sobre que ações realizar; tem história; e normalmente, as sociedades são formadas por poucos agentes.

3 Organização de SMA

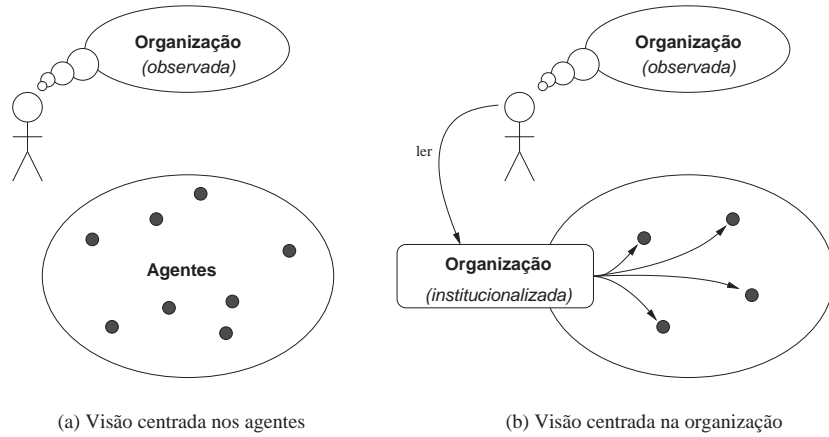
A noção de organização é facilmente percebida ao nosso redor. Por exemplo, o usuário de uma mesa de trabalho sabe se ela está bem organizada ou não, a organização de um grupo de onze pessoas jogando futebol é que as diferenciam de um grupo de onze pessoas quaisquer, uma empresa é um sistema que somente existe como sendo organizado. A partir destes exemplos, é possível inferir o propósito principal que a organização tem nos sistemas: fazer com que a finalidade do sistema seja facilmente alcançada. Enquanto parece simples caracterizar um sistema como mais bem organizado com base no modo como mantém e busca sua finalidade, definir o que é uma organização, o que a constitui, quais suas formas e estruturas não é uma tarefa tão simples. Contudo, há certo consenso na seguinte definição geral de organização:

a organização de um SMA é um conjunto de restrições ao comportamento dos agentes a fim de conduzi-los a uma finalidade comum.
(baseado em (Dignum e Dignum, 2001))



No diagrama de cima, a arquitetura proposta por [Russel e Norvig \(1995\)](#) para o modelo reativo de agente é ilustrada. O comportamento do agente é determinado unicamente pela percepção do ambiente e por um conjunto fixo de regras. Normalmente se pode dizer de um agente reativo: “o agente percebeu y e portanto fez x ”. Para o modelo cognitivo, tem-se no diagrama de baixo a arquitetura proposta por [Demazeau e Müller \(1990\)](#): o conhecimento (um tipo de estado mental) que o agente possui é formado a partir da sua percepção do ambiente e da comunicação com outros agentes. Dado este conhecimento e uma meta (outro tipo de estado mental), o agente gera um conjunto de possíveis planos que atingem esta meta. Dadas estas possibilidades, o agente delibera sobre o melhor plano a ser executado. Aqui se pode dizer que “o agente fez x porque tem por objetivo y e x faz parte de um plano que leva à satisfação de y ”. Obviamente esta diferença entre as arquiteturas somente pode ser percebida olhando-se “dentro” dos agentes, somente pela observação do comportamento não se pode dizer se um agente é reativo ou cognitivo.

Figura 2: Duas arquiteturas clássicas de agentes.



Em (a) a organização existe (explícita ou implicitamente) somente dentro dos agentes, um observador do SMA não tem acesso a ela e somente pode criar uma visão subjetiva de tal organização a partir da observação do comportamento do sistema. Em (b), além da organização observada, existe uma descrição explícita da organização e tal descrição está fora dos agentes. Um observador do sistema pode, portanto, conhecer a organização do sistema tanto consultando tal descrição quanto contruindo uma descrição subjetiva por meio de observação.

Figura 3: Pontos de vista para organização de um SMA.

Restrições que os agentes aceitam quando entram na sociedade ou segundo as quais são projetados. Restrições que têm por objetivo controlar a autonomia dos agentes buscando produzir um comportamento global direcionado a uma finalidade. Restrições que ora são descritas estruturalmente (na forma de papéis) ora funcionalmente (na forma de planos).

3.1 Tipos de organização em SMA

A literatura de SMA apresenta várias definições para organização que são agrupadas em dois pontos de vista por [Lemaître e Excelente \(1998\)](#): *centrado nos agentes* e *centrado na organização*. Na primeira abordagem, o SMA não possui uma representação explícita de sua organização, tal representação está distribuída nos seus agentes. Um observador ou um agente da sociedade somente pode inferir uma descrição subjetiva da organização, isto é, uma descrição *construída* por ele mesmo a partir da observação do comportamento dos agentes de tal sociedade (figura 3). Esta descrição subjetiva da organização será chamada de *organização observada*. Por exemplo, pode-se apenas *observar* a organização de um formigueiro, não se pode obter uma descrição única da sua real organização porque tal organização está distribuída e implícita no DNA das várias formigas do formigueiro.

No segundo ponto de vista, a organização existe objetivamente, isto é, o observador pode *obter* uma descrição da organização que a sociedade está adotando sem precisar observar seu comportamento ou mesmo considerar os agentes que a compõem. Esta descrição será chamada de *organização institucionalizada*. Por exemplo, em uma escola a descrição de sua organização existe fora dos agentes na forma de manuais de procedimentos, organogramas, etc. É claro que, mesmo possuindo uma organização institucionalizada, um observador deste segundo tipo de sociedade, eventualmente um dos seus agentes, pode construir uma descrição subjetiva desta última a partir da observação de seu comportamento. Esta possibilidade contribui para a complexidade das organizações pois o processo de construção da organização observada é subjetivo e portanto não é único, isto é, diferentes agentes podem construir descrições organizacionais distintas a partir da observação do mesmo sistema. Razão essa que leva vários sistemas a criarem uma descrição institucionalizada (objetiva) procurando minimizar estas diferenças.

Se do ponto de vista de um observador externo ao SMA podem existir duas situações, do lado dos agentes que formam a sociedade também podem ser concebidas duas situações: uma onde os agentes são capazes de explicitamente representar uma organização e outra onde os agentes não são capazes disto. O fato dos agentes terem ou não uma representação interna de sua organização não implica que sua sociedade tenha ou não uma organização institucionalizada. Portanto, propõe-se estender a classificação proposta por [Lemaître e Excelente \(1998\)](#) para quatro tipos de sociedade (ilustradas na figura 4).

- Agentes que não representam e, conseqüentemente, não raciocinam sobre a organização observada (esse tipo de sistema será chamado de **tipo AR**): visão centrada nos agentes sendo os agentes incapazes de gerar uma representação interna de sua organização. Exemplo: o formigueiro.
- Agentes que representam e raciocinam sobre a organização observada (**tipo AC**): visão centrada nos agentes tendo os agentes capacidade de representação, eventualmente parcial, de sua organização. Neste caso, os agentes raciocinam sobre uma representação interna de sua organização construída a partir de percepção ou comunicação. Exemplo: agentes que representam e utilizam as relações de dependência para terem sucesso nos seus processos decisórios ([Sichman, 1998](#); [Sichman et al., 1994, 1992](#)).
- Agentes que não representam a organização institucionalizada (**tipo OR**): visão centrada na organização com agentes sem capacidade de gerar uma representação de sua organização. Apesar da sociedade ter uma descrição de sua organização, os agentes não a representam internamente de modo explícito. Contudo, os agentes têm seu comportamento parcialmente determinado pela organização estabelecida. Por não terem uma representação da organização, eles não têm capacidade de raciocinar sobre ela e tirar proveito deste conhecimento na realização de suas tarefas. Quem conhece a organização e faz uso dela para determinar o comportamento do SMA é, por exemplo, o projetista do sistema ([Baeijs, 1998](#)).

O tipo de restrições que esse tipo de organização impõe aos agentes será chamado de *restrição forte*, já que os agentes não têm como fugir do comportamento que a organização estabelece.

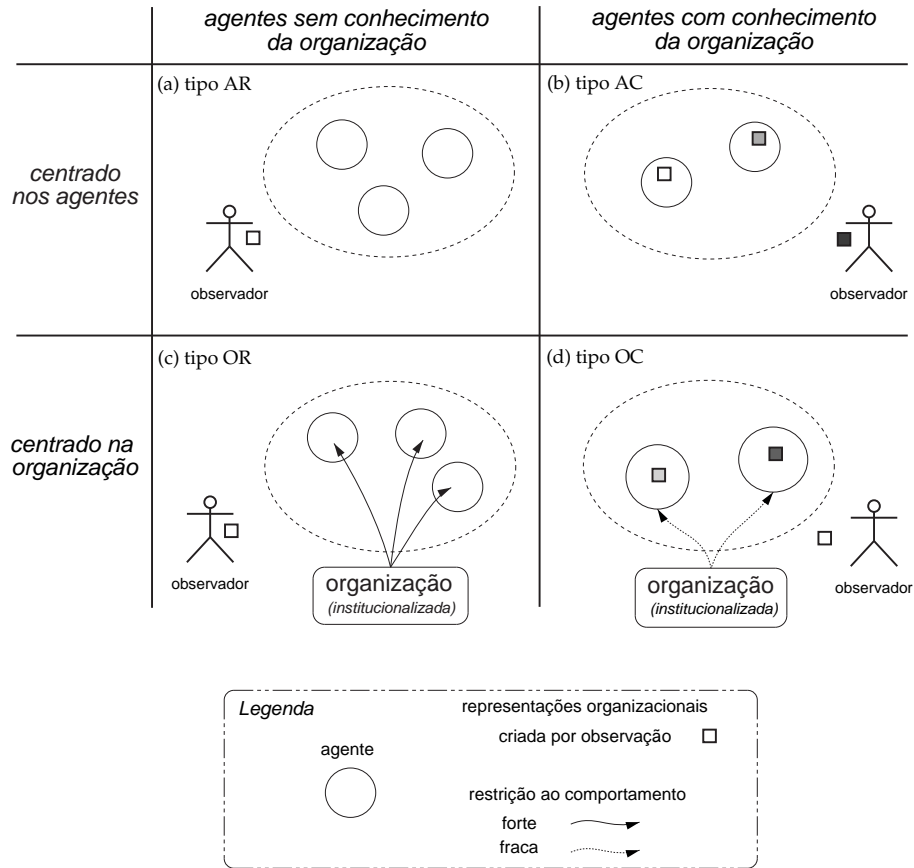
- Agentes que representam a organização, seja observada ou institucionalizada (**tipo OC**): visão centrada na organização com agentes com capacidade de gerar uma representação de sua organização. Os agentes conhecem sua organização, têm seu comportamento parcialmente determinado por ela, sabem disso, sabem como a organização interfere no comportamento dos demais agentes e utilizam estas informações para melhorar seu funcionamento. Neste tipo e no tipo AC, os agentes podem, por exemplo, assumir o lugar de observador da figura 3 (a) e construir uma descrição subjetiva de sua organização. Entretanto, somente no tipo OC os agentes podem assumir o lugar do observador da figura 3 (b), podendo “ler” a organização institucionalizada. Neste último caso, porém, há que se fazer uma ressalva: enquanto observador do sistema, o agente pode construir uma organização observada distinta daquela obtida objetivamente (figura 4 (d)).

O tipo de restrições que esse tipo de organização impõe aos agentes será chamado de *restrição fraca*, já que os agentes, por conhecerem a organização institucionalizada, podem fugir do comportamento que a organização estabelece.

3.2 O modelo organizacional AALAADIN

Um modelo de organização de SMA que representa bem o ponto de vista centrado na organização é o proposto por [Ferber e Gutknecht \(1998\)](#). Neste modelo, chamado de AALAADIN, a organização é definida como um conjunto de grupos que possuem uma determinada estrutura. Cada grupo contém um conjunto de papéis necessários ao seu funcionamento e um conjunto de agentes membros (figura 5). Os papéis são representações abstratas para as funções que os agentes disponibilizam. Nenhuma restrição é feita quanto à arquitetura interna dos agentes: um agente é considerado simplesmente como uma entidade ativa e comunicativa que assume papéis nos grupos onde é membro. Portanto, este modelo pode ser utilizado tanto para sociedades Tipo OR quanto Tipo OC. Essa propriedade é comum entre os modelos que seguem a visão centrada na organização.

Percebe-se que segundo este ponto de vista, surge a distinção entre tipos abstratos de agentes (representados pelos papéis) e instâncias destes tipos (os agentes reais e concretos), um aspecto *estático* e um aspecto *dinâmico* da organização. O termo utilizado por Ferber para designar este aspecto estático de uma organização é estrutura organizacional. No AALAADIN, a estrutura organizacional é representada pelos grupos e papéis, o aspecto dinâmico surge no funcionamento da sociedade quando os agentes entram em grupos assumindo determinados papéis.



Em (a) não existe organização dentro do SMA, apenas um observador pode modelar o comportamento do sistema como sendo organizado. Em (b), a organização que existe no SMA é construída pelos próprios agentes a partir da observação do sistema. Por serem construções subjetivas, cada um dos agentes pode construir uma representação organizacional distinta. Na figura, estas diferenças são representadas por quadrados de tons diferentes. Em (c), o sistema possui uma organização, mas os agentes não têm capacidade para conhecer tal organização. E, por último, em (d) tem-se que os agentes podem tanto conhecer a organização institucionalizada quanto a organização observada. Novamente, os agentes podem ter representações distintas devido ao seu processo de percepção.

Figura 4: Tipos de organização.

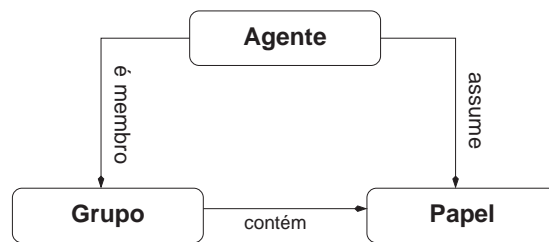


Figura 5: Modelo AALAADIN de organização segundo [Ferber e Gutknecht \(1998\)](#)

3.3 O modelo organizacional TOVE

[Fox et al. \(1998\)](#) apresentam uma definição mais detalhada para organizações no contexto empresarial (figura 6). As seguintes entidades são definidas:

Organização Uma organização consiste de várias divisões e subdivisões, um conjunto de agentes alocados nestas divisões, um conjunto de papéis que os agentes assumem e um conjunto de metas.

Papel Papéis são protótipos de funções a serem desempenhadas pelos agentes na organização. A cada papel são associadas as seguintes propriedades:

1. um conjunto de metas que o agente que assume o papel deve buscar,
2. um conjunto de processos que definem como as metas podem ser alcançadas (tais processos são descritos como uma estrutura de atividades),
3. um conjunto de autoridades que o agente necessitará para alcançar as metas (direitos sobre determinados recursos, por exemplo),
4. um conjunto de habilidades que o agente que pretende assumir o papel deve possuir,
5. um conjunto de restrições na execução dos processos, e
6. um conjunto de recursos necessários para o papel ser desempenhado.

Sobre os papéis também existem as seguintes relações:

1. hierarquia, um papel pode ser subordinado a outro (por exemplo quem assume o papel de chefe de divisão é subordinado a quem assume o papel de presidente da empresa), e
2. especialização, um papel pode especializar outro papel e herdar os direitos, obrigações, autoridades, etc. deste último (por exemplo, o papel de atacante especializa o papel de jogador).

Agente Um agente é membro de uma divisão da empresa, assume um ou mais papéis e pode se comunicar com outros agentes.

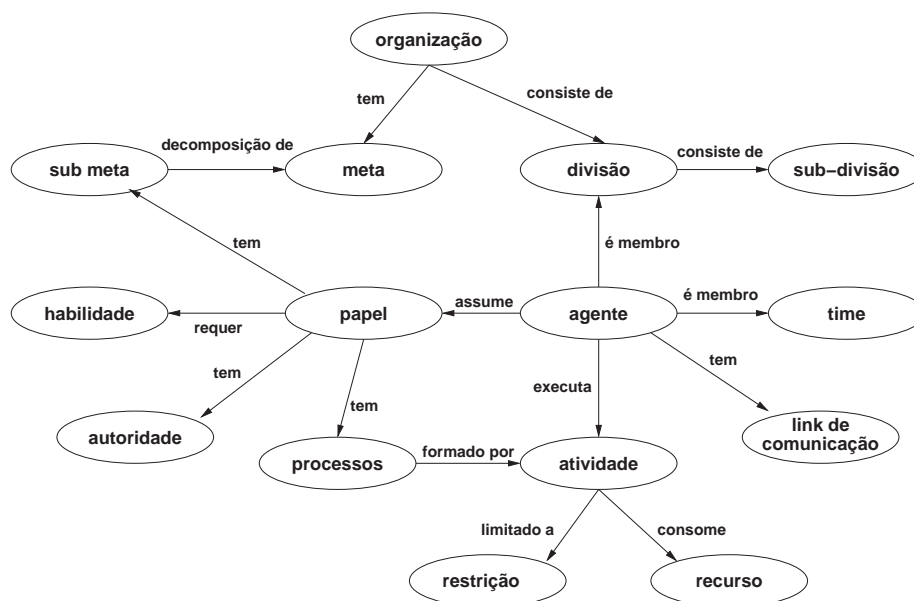
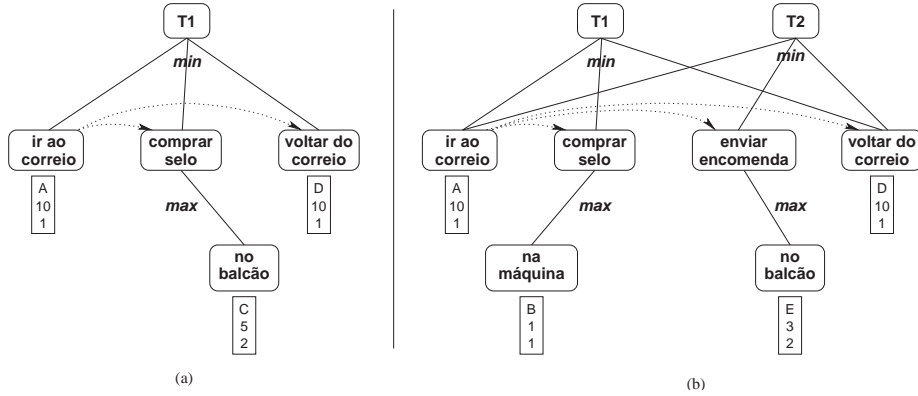


Figura 6: Taxonomia organizacional proposta por Fox et al. (1998)

3.4 Um modelo organizacional funcional: TÆMS

Os modelos de organização vistos até aqui procuram especificar vários dos atributos de uma organização, tendo o conceito de papel social uma função central. Uma forma bastante distinta de conceber a organização é o modelo TÆMS (Task Analysis, Environment Modeling, and Simulation), no qual a noção central é a de *tarefa* (Decker e Lesser, 1994; Decker, 1996, 1998; Prasad et al., 1996). Como o nome sugere, o objetivo deste modelo é descrever a estrutura de tarefas de modo a viabilizar a análise e a simulação da organização.

As tarefas podem ser abordadas por três pontos de vista diferentes: objetivo, subjetivo e generativo. A visão *objetiva* considera a estrutura de tarefas completa, real, que resolve um problema em um determinado período de tempo. A visão *subjetiva* é tida pelos agentes que participam na execução da tarefa, ou seja, é a tarefa vista pelos agentes. Em geral os agentes não vêem a tarefa como um todo, mas somente a parte que lhes cabe, aquela que a organização do sistema permite. Apesar do modelo descrever o que os agentes vêem das tarefas, a maneira como eles irão executar os métodos não é relevante. A visão *generativa* contém informações de como gerar várias visões objetivas e subjetivas para a resolução de problemas em um dado domínio. A partir destas visões geradas, pode-se calcular informações mais gerais (estatísticas) sobre a tarefa. Por exemplo, as visões objetivas e subjetivas das figuras 7 e 8 poderiam ter sido geradas, junto com várias outras visões, a partir de uma visão generativa. Com a avaliação das propriedades das visões geradas, descobre-se que tipo de visão



Em (a) tem-se a visão de um agente que somente conhece a tarefa $T1$ e que somente pode comprar selo no balcão. Em (b), o agente conhece as duas tarefas, mas não tem como utilizar a relação de “facilita” entre elas sendo obrigado a passar na máquina para comprar selo e depois passar no balcão para despachar a encomenda.

Figura 8: Visão subjetiva de uma tarefa no modelo TÆMS.

No exemplo, a tarefa “comprar selo” tem qualidade 1 se o método B for executado e qualidade 2 se o método C for executado. A tarefa $T1$ tem, no máximo, qualidade 1 se todas suas sub-tarefas forem executadas.

O segundo tipo de relação entre as tarefas, chamado de *nonlocal-effects* (NLE), permite identificar se uma tarefa altera positivamente ou negativamente a qualidade de outra tarefa. A NLE “ t_x habilita t_y ”, por exemplo, diz que a qualidade de t_y será zero se t_y for executada antes de t_x (comprar o selo antes de ir ao correio) e será a qualidade calculada para t_y caso contrário. A NLE “ t_x facilita t_y ”, diz que a qualidade de uma tarefa será aumentada com um fator f caso as duas tarefas sejam executadas juntas. No caso em que a NLE relaciona tarefas sendo realizadas por agentes diferentes, tem-se a necessidade de coordenação entre estes dois agentes. Percebe-se então que o cálculo da qualidade de uma tarefa depende também do escalonamento utilizado pelos agentes para realizá-las. Embora a representação do TÆMS não tenha o propósito de descrever o escalonamento (e conseqüentemente os compromissos de coordenação), esse tipo de informação pode ser gerado a partir do modelo (Decker e Lesser, 1995, 1992). Resumidamente, a visão generativa gera várias visões objetivas/subjetivas para as quais vários escalonamentos podem ser gerados. A partir destes escalonamentos, é possível avaliar quais estruturas de tarefa são mais adequadas, robustas, rápidas, etc. para um determinado problema.

3.5 O modelo organizacional Moise^+

O Moise^+ , como sugere o nome, é fortemente baseado no modelo MOISE (Hannoun, 2002; Hannoun et al., 2000). O Moise^+ além de apresentar uma visão centrada na organização considera claramente três formas de representar restrições organizacionais: a estrutura (papéis), o funcionamento (planos globais) e as normas (obrigações) da organização. O aspecto estrutural atém-se aos componentes elementares da organização (papéis) e como estão relacionados (ligações entre papéis, grupos de papéis, hierarquias, ...). O aspecto funcional especifica como os objetivos globais podem ser atingidos (planos globais, missões, ...). Por fim, o aspecto deontico liga os dois anteriores indicando quais as responsabilidades dos papéis nos planos globais.

A relação entre estas três dimensões e a forma como contribuem para a finalidade do SMA é detalhada na figura 9 onde é considerado um SMA que procura manter o comportamento dos agentes como definido pelo conjunto P que contém os comportamentos que conduzem à finalidade do SMA. Por *comportamento* de um sistema entende-se suas ações no ambiente dadas as percepções que teve do ambiente. Sendo O o conjunto das percepções possíveis e A o conjunto das ações possíveis para o sistema, um comportamento b normalmente é representado por um mapeamento entre uma seqüência de observações do ambiente (denotada por $(o_1, o_2, \dots) \in O^*$) e uma ação do sistema (denotada por $\alpha \in A$). b é, portanto, um mapeamento com o seguinte tipo $b : O^* \rightarrow A$. Sendo que B denota o conjunto de todos mapeamentos deste tipo ($B = O^* \rightarrow A$), tem-se que $P \subset B$, isto é, P é um subconjunto de comportamentos. Na mesma figura, o conjunto E representa todos os comportamentos possíveis em um dado ambiente ($E \subset B$). A estrutura organizacional restringe o comportamento dos agentes àqueles dentro do conjunto S ($S \subset B$), mais precisamente, a cada papel é relacionado um sub-conjunto de S . Assim, os comportamentos possíveis para os agentes ($E \cap S$) passam a estar mais próximos dos comportamentos desejados (P). Contudo, encontrar P dentro de $E \cap S$ pode ser um problema para os agentes nos casos onde esta intersecção ainda é um conjunto muito grande de comportamentos possíveis. Para ajudá-los nesta busca, a especificação funcional contém um conjunto de planos globais F que têm se mostrado eficientes em conduzir o comportamento dos agentes de um ponto em $(E \cap S) - P$ para um ponto em $E \cap S \cap P$. Neste contexto, a especificação deontica indica que papéis (em S) devem utilizar os comportamentos definidos em F .

Normalmente não se deseja especificar uma organização onde os comportamentos possíveis são exatamente aqueles que levam à finalidade ($S = P$). Como P depende do ambiente (diferentes ambientes demandam diferentes comportamentos para atingir a finalidade), se $S = P$ e o ambiente mudar (os comportamentos que levam à finalidade passarem a ser P'), a organização pode deixar de ser eficaz ($S \cap P' = \emptyset$). Ou seja, se S é muito pequeno, o SMA pode ter problemas de adaptação a mudanças ambientais, já que a autonomia dos agentes pode ter sido extinta. Por outro lado, se o conjunto S é muito grande, a organização não é eficiente já que não restringe a autonomia dos agentes. Surge aqui, de forma mais clara, o problema que motivou essa tese (já apresentado na

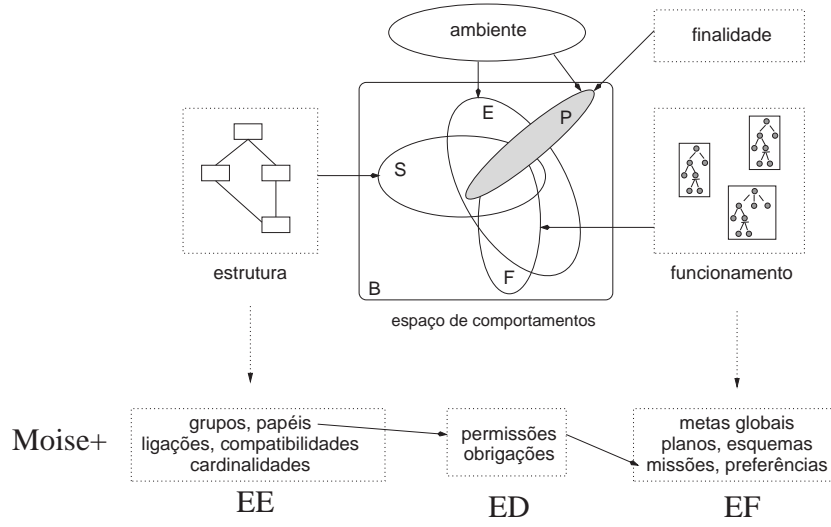


Figura 9: Como a organização contribui para a finalidade do SMA no Moise+.

introdução): como conciliar a organização com a autonomia dos agentes, isto é, como especificar uma boa organização.

A visão apresentada na figura 9 permite considerar o problema de encontrar uma boa organização (um bom tamanho para $S \cap F$) como um problema de busca no espaço de comportamentos (B). Considerar o problema de alcançar um objetivo social como um problema de busca é uma estratégia proposta por [Durfée e Montgomery \(1991\)](#) aplicada ao problema de coordenação entre agentes. Eles definiram o espaço de busca em seis dimensões: quem, (faz) o que, quanto, onde, como e por que. A busca consiste em encontrar um sextupla que resolva o problema dado. Portanto, somente aspectos funcionais (o que, como e por que) e de escalonamento (quem, quando e onde) foram considerados por estes autores.

O sucesso na manutenção da finalidade em uma sociedade depende da sua organização (que determina os comportamentos permitidos $S \cap F$) e do ambiente (que determina o conjunto P). Como os agentes não têm controle total sobre o ambiente, uma forma de manter a finalidade da sociedade numa eventual mudança de ambiente é alterar sua organização nos aspectos estruturais, funcionais e/ou normativos. O detalhamento destes três aspectos será apresentado na por meio do exemplo da próxima seção, uma apresentação mais formal pode ser obtida em ([Hübner et al., 2002a,b,c](#)).

4 Futebol de Robôs como um SMA organizado

O uso de futebol de robôs como ambiente de testes na área de IA, e particularmente na área de SMA, tem se tornado comum devido aos novos desafios que apresenta (Hiroaki et al., 1997). Ao contrário de ambientes de teste anteriores (como os jogos, o xadrez, por exemplo), várias sub-áreas da IA (a robótica e a lógica, por exemplo) podem (e devem) ser utilizadas em conjunto. A área de SMA tem neste domínio a maioria das propriedades de um problema adequado ao uso de SMA: distribuição, controle descentralizado, autonomia e reatividade dos agentes, necessidade de coordenação, etc.

Além desta adequação entre técnica e problema, a configuração do jogo (tamanho do campo, número de jogadores, regras de jogo, etc.) é definida por uma entidade, viabilizando assim a realização de competições entre os times e sua conseqüente avaliação. Esta entidade promove competições, chamadas de RoboCup, onde projetistas de times podem avaliar o desempenho de seus times frente a outros times (<http://www.robocup.org>). Na RoboCup, cinco categorias de times são possíveis: robôs pequenos, médios, de quatro patas, humanóides e simulados. Na primeira categoria (robôs pequenos) cada time tem cinco robôs que jogam em um campo de 152,5 cm por 274 cm. Mesmo sendo uma categoria de robôs reais, existem simuladores para esta categoria, como o TeamBots ilustrado na figura 10 (Balch, 2000).

Nas seções seguintes será detalhado como a organização (um conjunto de restrições comportamentais) de um time de futebol pode ser definida por meio do modelo MOISE^+ descrito na seção 3.5. Um outro exemplo de abordagem organizacional para auxiliar a definição de times de futebol pode ser encontrada em (?).

4.1 Especificação da estrutura organizacional do time

No aspecto estrutural, o modelo MOISE^+ utiliza os conceitos de: papéis, relações entre papéis e grupos. Por exemplo, na figura 11 é apresentada uma possível especificação de time de futebol. Nesta figura, podem ser observadas algumas propriedades do modelo organizacional e sua capacidade de representação:

- um jogador (*player*) pode se comunicar com outro: isso é estabelecido pela relação de comunicação entre o papel de jogador e ele mesmo;
- um jogador pode conhecer o técnico (*coach*): isso é estabelecido pela relação de conhecimento entre o papel de jogador e o papel de técnico;
- o líder do time tem autoridade sobre os demais jogadores: isso é estabelecido pela relação de autoridade entre o líder e os jogadores;
- um atacante *é um* jogador: existe uma relação de herança entre os papéis que diz “todas as propriedades de jogador são herdadas por atacantes”, portanto um atacante também pode se comunicar com outros jogadores e conhecer o técnico;

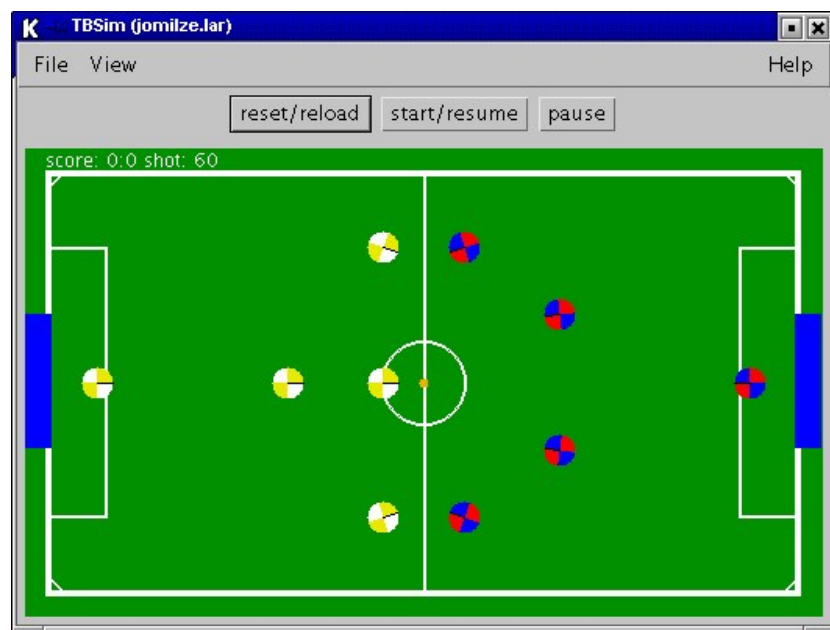


Figura 10: Tela do simulador TeamBots.

- os papéis e líder de atacante são compatíveis, ou seja, um agente que esteja assumindo o papel de atacante pode também assumir o papel de líder;
- os papéis formam grupos (ataque e defesa) e, dentro destes grupos, tem uma cardinalidade: um número mínimo e máximo de agentes que podem assumir tal papel no grupo. Por exemplo, o grupo de defesa pode ter um, e no máximo um, goleiro;
- o grupo time (*team*) tem um, e no máximo um, sub-grupo de ataque;
- o grupo time tem um, e no máximo um, sub-grupo de defesa.

Portanto, esta especificação estrutural restringe o comportamento dos agentes: eles somente podem fazer aquilo que seus papéis permitem. Um agente não pode, por exemplo, se comunicar com um agente com o qual não possua uma ligação de comunicação; um agente não pode assumir um papel em um grupo que já possua o número máximo de agentes possíveis com tal papel; um agente não pode assumir um outro papel que não seja compatível com os papéis que já possui; etc. Neste sentido, a organização restringe o comportamento possível dos agentes autônomos, ou seja, o comportamento dos agentes pode ser, via organização, direcionado à finalidade do sistema.

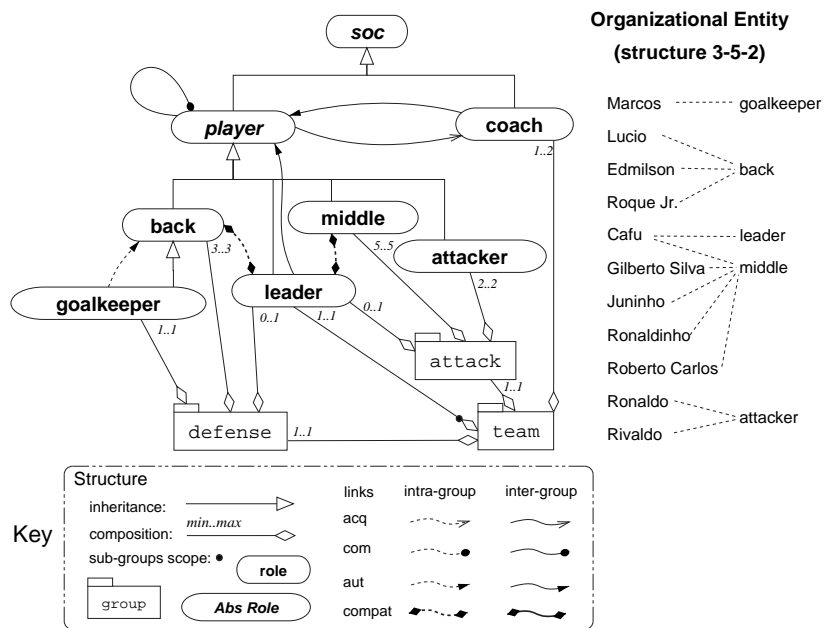
4.2 Especificação da funcional do time

Quando padrões e métodos de interação envolvendo os mesmos agentes se repetem vezes, estes podem ser capturados em estruturas pré-estabelecidas, diminuindo assim por exemplo a complexidade inerente dos métodos de divisão de tarefas e de coordenação. Tais estruturas normalmente têm um desempenho bastante eficiente, tanto pelo fato de terem sido aperfeiçoadas no decorrer do tempo quanto pelo fato de seus usuários terem se habituado a elas. Tais estruturas, que caracterizam o foco funcional da organização, são denominadas de esquemas sociais (Lugo et al., 2001): um conjunto de metas globais, estruturadas por meio de planos.

4.2.1 Metas globais

A noção fundamental para os esquemas sociais é a noção de meta global, que representa um estado do mundo que é desejado pelos agentes que compõem a organização. Uma meta global tem normalmente três parâmetros associados que caracterizam seu estado:

- nível de satisfatibilidade, que indica se esta meta já foi alcançada ou não, ou ainda se ela é impossível de ser alcançada;
- nível de alocação, que indica se já existe ou não algum agente comprometido a satisfazê-la;
- nível de ativação, que indica se as pré-condições necessárias para que a meta seja satisfeita estão presentes.



Esta especificação estrutural caracteriza um time com formação 3x5x2 (três jogadores na defesa, cinco no meio de campo e dois no ataque) com um jogador líder que pode ser um jogador da defesa ou do ataque. Na parte direita da figura é exemplificado um conjunto de agentes que assumem os papéis desta estrutura.

Figura 11: Exemplo de especificação estrutural de um time (Hübner et al., 2002a).

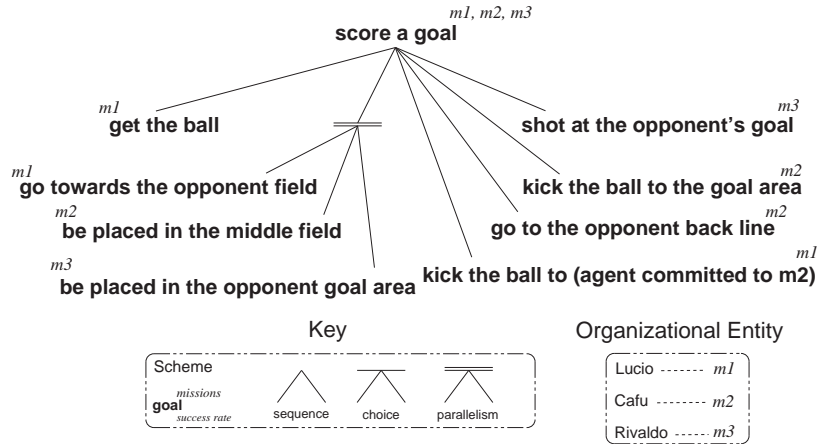


Figura 12: Exemplo de esquema social para um time de futebol (Hübner et al., 2002a).

Inicialmente, uma meta global encontra-se num estado onde não está satisfeita, não está alocada e não tem as pré-condições satisfeitas. À medida que o SMA evolui, o estado desta meta global se altera dinamicamente.

4.2.2 Missões

Uma missão é um conjunto coerente de metas globais que pode ser atribuído a um agente através de um de seus papéis. O agente que se compromete com uma missão é responsável pela satisfação de todas as metas desta missão. Como eventualmente uma meta global pode possuir mais de uma missão, vários agentes serão co-responsáveis pela satisfação de tal meta.

Na figura 12, apresenta-se um exemplo de esquema social de um time de futebol. Neste exemplo, a meta global do SMA é marcar um gol (“score a goal”), e existem diversas missões individuais que devem ser realizadas pelos agentes, como por exemplo se posicionar na área do adversário (“be placed in the opponent goal area”, missão “m3”) e cruzar a bola para área (“kick the ball to the goal area”, missão “m2”). Segundo o esquema social adotado, tais missões devem ser desempenhadas por agentes diferentes, e a primeira deve estar finalizada antes que a segunda possa ser iniciada.

4.3 Especificação da deontica do time

Por fim, o aspecto deontico liga os dois anteriores indicando quais as responsabilidades dos papéis nos planos globais, através das missões. A tabela 1 apresenta

a especificação deôntica para o cenário do time de futebol. Pela tabela, pode-se observar que a jogada de ataque descrita na seção anterior, envolvendo as missões “m2” e “m3”, devem ser realizadas respectivamente por um membro do grupo do meio de campo (“middle”) e por um membro do grupo de ataque (“attack”).

Tabela 1: Exemplo de relações deônticas para o time (Hübner et al., 2002a)

Papel	Relação deôntica	Missão	Restrições temporais
back	permissão	m1	a qualquer momento
middle	obrigação	m2	a qualquer momento
attacker	obrigação	m3	a qualquer momento

5 Conclusão

Enquanto a maioria dos trabalhos na área de SMA focam nas facetas “agentes” e “interação”, este trabalho apresentou e exemplificou uma faceta dos SMA pouco abordada: a organização. Um breve resumo dos principais modelos organizacional foi apresentado, dando atenção especial ao modelo *MOISE+* que foi utilizado para especificar a organização de um time de futebol. Convém ressaltar que, além do exemplo apresentado, a especificação de uma organização pode ser útil em várias aplicações de SMA.

A determinação de uma boa organização para um SMA pode depender do projetista do sistema ou dos próprios agentes. No primeiro caso, normalmente as metodologias de SMA consideram uma etapa de especificação organizacional (Wooldridge et al., 1999). No segundo caso tem-se um problema de *auto-organização*, um problema com muitas questões ainda em aberto. Um introdução a este problema pode ser encontrada em (Pattison et al., 1987; So e Durfee, 1993).

Referências

- Alvares, L. O. e Sichman, J. S. (1997). Introdução aos sistemas multiagentes. In Medeiros, C. M. B., editor, *Jornada de Atualização em Informática (JAI’97)*, chapter 1, pages 1–38. UnB, Brasília.
- Baeijs, C. (1998). *Fonctionnalité Emergente dans une Société d’Agents Autonomes – Etude des Aspects Organisationnels dans les Systèmes Multi-Agents Réactifs*. Thèse (doctorat), LEIBNIZ-Institut IMAG, France.
- Balch, T. (2000). Teambots. <http://www.teambots.org>.
- Bordini, R. H. (1994). Suporte lingüístico para migração de agentes. Dissertação de mestrado, Instituto de Informática/UFRGS, Porto Alegre.
- Bordini, R. H. (1999). *Contributions to an Anthropological Approach to the Cultural Adaptation of Migrant Agents*. These (ph.d.), University College London, London.

- Bordini, R. H., Vieira, R., e Moreira, Á. F. (2001). Fundamentos de sistemas multiagentes. In Ferreira, C. E., editor, *Jornada de Atualização em Informática (JAI'01)*, volume 2, chapter 1, pages 3–44. SBC, Fortaleza, Brasil.
- Briot, J.-P. e Demazeau, Y., editors (2002). *Principes et architecture des systèmes multi-agents*. Hermes, Paris.
- Castelfranchi, C. (1990). Social power: A point missed in multi-agent, DAI and HCI. In Demazeau, Y. e Müller, J.-P., editors, *Decentralized Artificial Intelligence*. Elsevier, Amsterdam.
- Cohen, P. R. e Levesque, H. J. (1987). Intention = choice + commitment. In *Proceedings of the 6th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 410–415. Morgan Kaufmann.
- da Rocha Costa, A. C., Hübner, J. F., e Bordini, R. H. (1994). On entering an open society. In *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*, pages 535–546, Fortaleza. SBC. http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/1994/sbia/XISBIA_On_Entering.ps.gz.
- Decker, K. e Lesser, V. (1994). Task environment centered design of organizations. In *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Computational Organization Design*.
- Decker, K. S. (1996). TÆMS: A framework for environment centered analysis and design of coordination mechanisms. In O'Hare, G. M. P. e Jennings, N. R., editors, *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, chapter 16, pages 429–447. John Wiley, New York.
- Decker, K. S. (1998). Task environment centered simulation. In Prietula, M. J., Carley, K. M., e Gasser, L., editors, *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*, chapter 6, pages 105–128. AAAI Press / MIT Press, Menlo Park.
- Decker, K. S. e Lesser, V. (1995). Designing a family of coordination algorithms. UMass computer science technical report 1994-14, Department of Computer Science, University of Massachusetts. UMass Computer Science Technical Report 1994-14.
- Decker, K. S. e Lesser, V. R. (1992). Generalizing the partial global planning algorithm. *International Journal of Intelligent Cooperative Information Systems*, 1(2):319–346.
- Demazeau, Y. e Müller, J.-P., editors (1990). *Decentralized Artificial Intelligence*. Elsevier, Amsterdam.
- Dignum, V. e Dignum, F. (2001). Modelling agent societies: Co-ordination frameworks and institutions. In Brazdil, P. e Jorge, A., editors, *Proceedings of the 10th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA'01)*, pages 191–204, Berlin. Springer. LNAI 2258.
- Durfee, E. H. e Montgomery, T. A. (1991). Coordination as distributed search in a hierarchical behavior space. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 21(6):1363–1378.
- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, London.
- Ferber, J. e Gutknecht, O. (1998). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agents systems. In Demazeau, Y., editor, *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'98)*, pages 128–135. IEEE Press.
- Fox, M. S., Barbuceanu, M., Gruninger, M., e Lon, J. (1998). An organizational ontology for enterprise modeling. In Prietula, M. J., Carley, K. M., e Gasser, L., editors, *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*, chapter 7, pages 131–152. AAAI Press / MIT Press, Menlo Park.
- Franklin, S. e Graesser, A. (1997). Is it an agent or just a program? A taxonomy for autonomous agents. In Müller, J. P., Wooldridge, M., e Jennings, N. R., editors, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL'96)*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1193, pages 21–35, Berlin. Springer.

- Hannoun, M. (2002). *MOISE: un modèle organisationnel pour les systèmes multi-agents*. Thèse (doctorat), École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Hannoun, M., Boissier, O., Sichman, J. S., e Sayettat, C. (2000). MOISE: An organizational model for multi-agent systems. In Monard, M. C. e Sichman, J. S., editors, *Proceedings of the International Joint Conference, 7th Ibero-American Conference on AI, 15th Brazilian Symposium on AI (IBERAMIA/SBIA'2000)*, Atibaia, SP, Brazil, November 2000, LNAI 1952, pages 152–161, Berlin. Springer.
- Hiroaki, K., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Nodo, I., e Osawa, E. (1997). The robot world cup initiative. In *First International Conference on Autonomous Agent (Agents-97)*. ACM Press.
- Hübner, J. F. (1995). Migração de agentes em sistemas multi-agentes abertos. Dissertação de mestrado, CPGCC da UFRGS, Porto Alegre. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/dissertacao/dissertacao.pdf>.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., e Boissier, O. (2002a). MOISE^+ : Towards a structural, functional, and deontic model for MAS organization. In *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'2002)*, pages 501–502. ACM Press. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2002/Hubner-aamas2002.pdf>.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., e Boissier, O. (2002b). A model for the structural, functional, and deontic specification of organizations in multiagent systems. In Bittencourt, G. e Ramalho, G. L., editors, *Proceedings of the 16th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA'02)*, LNAI 2507, pages 118–128, Berlin. Springer. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2002/Hubner-sbia2002.pdf>.
- Hübner, J. F., Sichman, J. S., e Boissier, O. (2002c). Spécification structurelle, fonctionnelle et déontique d'organisations dans les systèmes multi-agents. In Mathieu, P. e Müller, J., editors, *Actes des 10èmes Journées Francophones Intelligence Artificielle Distribuée & Systèmes Multi-Agents (JFIADSMA'02)*, pages 205–216, Lille, France. Hermès. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2002/Hubner-jfiadsma2002.pdf>.
- Jennings, N. R. e Wooldridge, M. J. (1998). *Agent Technology: foundations, applications, and markets*. Springer Verlag, London.
- Johnson, S. (2001). *Emergence: the connected lives of ants, brains, cities, and software*. Touchstone, New York.
- Lemaître, C. e Excelente, C. B. (1998). Multi-agent organization approach. In Garijo, F. J. e Lemaître, C., editors, *Proceedings of II Iberoamerican Workshop on DAI and MAS*.
- Lugo, G. G., Hübner, J. F., e Sichman, J. S. (2001). Representação e evolução de esquemas sociais em sistemas multi-agentes: Um enfoque funcional. In Martins, A. T. e Borges, D. L., editors, *Anais do III Encontro Nacional de Inteligência Artificial*, pages 1237–1246, Fortaleza, Brazil. SBC. <http://www.inf.furb.br/~jomi/pubs/2001/Lugo-enia2001.pdf>.
- Pattison, H. E., Corkill, D. D., e Lesser, V. R. (1987). Instantiating description of organizational structures. In Huhns, M. N., editor, *Distributed Artificial Intelligence*, volume 1, chapter 3, pages 59–96. Morgan Kaufmann, London.
- Prasad, M. N., Decker, K., Garvey, A., e Lesser, V. (1996). Exploring organizational design with TÆMS: A case study of distributed data processing. In Ishida, T., editor, *Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'96)*, pages 283–290. AAAI Press.
- Rao, A. S. e Georgeff, M. P. (1995). BDI agents: from theory to practice. In Lesser, V., editor, *Proceedings of the First International Conference on MultiAgent Systems (ICMAS'95)*, pages 312–319. AAAI Press.

- Russel, S. e Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Searle, J. R. (1983). *Intentionality: An essay in the philosophy of mind*. Cambridge.
- Sichman, J. S. (1995). *Du Raisonnement Social Chez les Agents: Une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance*. Thèse (doctorat), Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Sichman, J. S. (1998). DEPINT: Dependence-based coalition formation in an open multi-agent scenario. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(2). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/3.html>.
- Sichman, J. S., Conte, R., Demazeau, Y., e Castelfranchi, C. (1994). A social reasoning mechanism based on dependence networks. In Cohn, T., editor, *Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence*, pages 188–192.
- Sichman, J. S., Demazeau, Y., e Boissier, O. (1992). When can knowledge-based systems be called agents? In *IX Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial*, pages 172–185, Rio de Janeiro. SBC.
- Smith, R. G. (1980). The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transaction on Computers*, 29(12):1104–1113.
- So, Y. e Durfee, E. H. (1993). An organizational self-design model for organizational change. In *Proceedings of AAAI93 Workshop on AI and Theories of Groups and Organizations*.
- WeiB, G., editor (1999). *Multiagent Systems: A modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT Press, London.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley and Sons.
- Wooldridge, M., Jennings, N. R., e David Kinny (1999). A methodology for agent-oriented analysis and design. In *Proceedings of the Third International Conference on Autonomous Agents (Agent's 99)*. ACM.