

Sobre a Representação de Estruturas Coalizionais como um Dispositivo Adaptativo - Estudo Preliminar

Frank Cara e Marcio Lobo Netto

Resumo—Nesse artigo apresentamos o estudo preliminar de um dispositivo adaptativo para implementação do processo de formação de coalizões em sistemas multiagentes. O dispositivo representa a estruturas coalizional resultante da montagem de coalizões, juntamente com as regras para a transformação dessa estrutura.

Definiremos o dispositivo adaptativo e utilizaremos um exemplo didático para mostrar que, utilizando essa ferramenta, a definição do processo de formação de coalizão fica mais concisa, separando detalhes de implementação das regras de formação.

Index Terms—Formação de Coalizões, Dispositivos Adaptativos, Colaboração e Cooperação, Sistemas Multi-agentes

I. INTRODUÇÃO

Agentes podem possuir habilidades sociais, permitindo que eles busquem lucros através de associações. Quando estas associações obedecem normas específicas, formam organizações [1]. Uma categoria de organização é a coalizão, que é uma associação transitória montada para alcançar fins específicos. Agentes coligados tem acesso a mais recursos e, possivelmente, executam tarefas que não poderiam fazer sozinhos [2]. Dessa forma, coalizões tem recebido atenção da comunidade de pesquisa em sistemas multiagentes [3], [4].

O estudo teórico das coalizões é objeto da *teoria dos jogos coalizionais*, que é uma área de pesquisa altamente desenvolvida mas, tradicionalmente, focada em conceitos específicos de solução, como o núcleo do jogo, ou o valor de Shapley de um agente. A comunidade de sistemas multiagentes, por outro lado, está interessada em algoritmos práticos e eficientes para montar coalizões e que, no entanto, incorporem os resultados apresentados pela *teoria dos jogos*.

No processo de formação de coalizões os agentes decidem racionalmente com quem se associar. O conjunto completo das coalizões resultantes dessas associações é denominado *estrutura coalizional*. Nos sistemas multiagentes, o processo de formação de coalizões é um processo iterativo, em que os agentes avaliam sucessivamente as possibilidades de associações, decidem qual associação é mais vantajosa e constituem coalizões.

Acreditamos que esses algoritmos apresentam uma estrutura comum, e que a utilização de técnicas adaptativas pode fornecer um modelo conciso para representá-los. Nesse trabalho apresentaremos as primeiras concepções da representação do processo de formação coalizional como um dispositivo adaptativo. Esse é um trabalho preliminar que pretende mostrar, através de um exemplo didático, a possibilidade da utilização

de um dispositivo adaptativo como forma de modelar o problema da formação de coalizões.

A estrutura coalizional é o objetivo final do processo de formação de coalizões. Apresentaremos a noção de *estrutura coalizional adaptativa*, que incorpora o caráter iterativo do processo de montagem coalizões através de um dispositivo inspirado nos dispositivos adaptativos apresentados em [5] e [6].

Testaremos o modelo proposto através de um algoritmo simplificado para compartilhamento de recursos. Usaremos a noção de *recursos* como representação de habilidades dos agentes, ou posse de objetos do ambiente. Consideramos uma definição concisa de agentes autônomos, como aqueles que tem capacidade de construir planos de ações para alcançar seus objetivos específicos. Por outro lado, os planos podem possuir carência de recursos, estimulando a formação de coalizões pelas quais podem obter melhor performance.

II. JOGOS COALIZIONAIS

Tabela I
SÍMBOLOS UTILIZADOS

N	Conjunto de agentes
S	Coalizão
$v(S)$	Função característica da coalizão
E	Estados do ambiente
Ψ	Regras de associação dos agentes
Φ_1	Função de ativação de agentes
Φ_2	Função adaptativa
rc_i e rc_i^{II}	Vetores de recursos do agente. Respectivamente, os recursos próprios e demandados
$al_i(S)$	Alocação de recursos para o agente na coalizão S
$u_i(S)$	Função utilidade do agente na coalizão S

A teoria dos jogos coalizionais tem o ganho coletivo como seu objeto de estudo [7]. O conceito de *jogo coalizional* é formalizado como o par $\langle N, v \rangle$, onde N é um conjunto de jogadores ou agentes $\{1, \dots, n\}$ com uma função característica $v(S)$ que associa um valor real a cada subconjunto $S \subset N$, denominado coalizão. Jogos de utilidade transferível são jogos coalizionais em que a utilidade da coalizão (o ganho auferido pelo trabalho conjunto dos agentes) pode ser distribuído livremente entre os agentes, seguindo normas internas à coalizão.

A Teoria dos Jogos Coalizionais analisa um jogo através de vários *conceitos de solução*. Os conceitos de solução estão divididos naqueles que enfocam a *estabilidade da coalizão* (*core*, *nucleous*) ou a *divisão dos recursos dentro da coalizão* (*valor de Shapley*).

Um exemplo de jogo coalizional é o *jogo ponderado de votação* que representa a votação majoritária executada nas eleições brasileiras. No jogo de votação ponderada $v(S) = 1 \iff \sum w_i \geq q$, caso contrário $v(s) = 0$. Esse jogo é definido pelo par $[q, (w_1, w_2, \dots, w_n)]$, onde q é denominada a quota do jogo e w_i o peso do agente i na votação. No caso da votação majoritária temos que $q = N/2 + 1$ e $w_i = 1 \forall i \in N$.

A. Formação de Coalizões

A formação da coalizão é o processo de constituição das coalizões em que os agentes avaliam iterativamente as condições do ambiente e as possibilidades de associação. Inclui 3 etapas [8]:

- 1) Geração da Estrutura Coalizional: formação de coalizões pelos agentes em que cada coalizão coordena suas atividades, mas sem coordenação entre coalizões. O conjunto de agentes é dividido em partições exaustivas e disjuntas chamadas de *estrutura coalizional*.
- 2) Resolver o problema de otimização de cada coalizão: Isso significa dividir as tarefas e recursos dos participantes da coalizão de forma a atingir o objetivo comum da coalizão.
- 3) Dividir o valor gerado entre os participantes da coalizão.

As 3 atividades interagem, e o processo de formação de coalizões entre agentes deve conter todas as etapas.

Os algoritmos de formação de coalizão usualmente adotam uma perspectiva centralizada. Por outro lado, agentes autônomos tomam decisões segundo sua própria agenda, agindo de forma descentralizada. Sendo assim, existe uma oposição entre as duas abordagens, com uma carência de algoritmos que sejam aplicáveis no contexto de sistemas multiagentes.

Dividimos a formação da coalizão em sistemas multiagentes nas seguintes etapas, que cobrem as etapas discutidas em [8] e apresentadas anteriormente.

- Identificação das necessidades: ao montar uma coligação, o agente participa dos custos e benefícios da mesma. Dessa forma, para poder avaliar a viabilidade de uma coligação, o agente precisa fazer o detalhamento dos seus objetivos. Esse detalhamento deve permitir que o agente classifique as coligações por ordem de preferência. Uma forma possível de detalhamento dos objetivos é através de planos de ações que, além de caracterizar as necessidades do agente, permitem a avaliação das associações com outros agentes sob a ótica do ganho que tais associações trariam para a realização dos planos de ações.
- Seleção de coalizões candidatas: estamos adotando o modelo de coalizão exclusiva, ou seja, o agente somente pode participar de uma coalizão por vez. Dessa forma, faz parte do processo de formação de coalizões a identificação de coligações candidatas e, dentre estar, as de maior ganho.
- Alteração da estrutura coalizional: uma vez selecionada a coalizão desejada, há a mudança da estrutura coalizional, com a formação de uma nova coalizão e a alteração ou exclusão da coalizão da qual o agente participava.

B. Estruturas Coalizionais

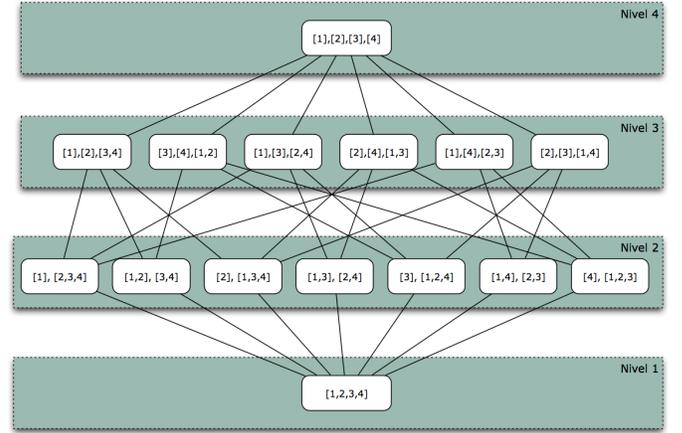


Figura 1. Estrutura Coalizional

Uma estrutura coalizional CS é uma partição de N em coalizões, ou seja, $CS = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$, onde $N = \bigcup_i^{|S|} S_i$.

A estrutura coalizional é montada como resultado do processo de formação de coalizões. Na figura 1 temos o exemplo de todas as estruturas organizacionais para 4 agentes $N = \{1, 2, 3, 4\}$. Nessa figura cada nó do grafo representa uma estrutura coalizional. Os níveis separam as estruturas coalizionais por quantidade de coalizões. Assim o nível 2, por exemplo, possui 2 coalizões. As arestas representam modificações necessárias para levar de uma estrutura coalizional para outra. Dessa forma, a aresta entre as estruturas $\{[1], [2, 3, 4]\}$ e $\{[1], [2], [3, 4]\}$ representa a ação de abandono de coalizão do agente 2.

III. ESTRUTURA COALIZIONAL ADAPTATIVA

Uma estrutura coalizional adaptativa é um dispositivo formado pela ênupla:

$CS_{adapt} = \langle CS, E, \Psi, \phi_1, \phi_2 \rangle$, onde:

- CS Uma estrutura coalizional subjacente ao dispositivo.
- E O estado do ambiente.
- Ψ O conjunto de regras dos agente i , onde $\psi_i: CS \times E \rightarrow CS'$ é a regra de associação de cada agente, representando uma ação de abandono e opcionalmente junção a outra coalizão.
- ϕ_1 A regra de ativação da função de associação, que implementa a decisão de que agente ativar para executar a transformação da estrutura coalizional subjacente.
- ϕ_2 A função adaptativa que modifica o conjunto de regras, $\phi_2: CS_{adapt} \times E \rightarrow CS'_{adapt}$.

A estrutura coalizional adaptativa tem a finalidade de modelar o processo iterativo de formação de coalizões através de um dispositivo adaptativo.

Agentes autônomos decidem individualmente, baseados nas suas regras e no estado do ambiente, qual é a melhor coligação possível de ser efetuada. Essas regras, representadas por ψ_i , podem ser homogêneas para todos os agentes, ou heterogêneas, dependendo do tipo de sistema multiagente (a

heterogeneidade usualmente está associada a sistemas abertos, como leilões digitais).

A reconfiguração das regras dos agentes é executada pela função adaptativa ϕ_2 , e sua finalidade está associada ao controle geral do sistema multiagente. A função adaptativa pode variar parâmetros de acordo com a etapa do ciclo de vida do sistema, ou mesmo alterar o comportamento do agente para a obtenção de objetivos comuns ao sistema.

Tome o caso de agentes que executam planejamento de ações baseado em aprendizado por reforço, ou mesmo um sistema multiagente com características evolutivas (seleção de indivíduos mais aptos e recombinação de características). Existem parâmetros que controlam o comportamento do algoritmo que podem ser reconfigurados pela função adaptativa.

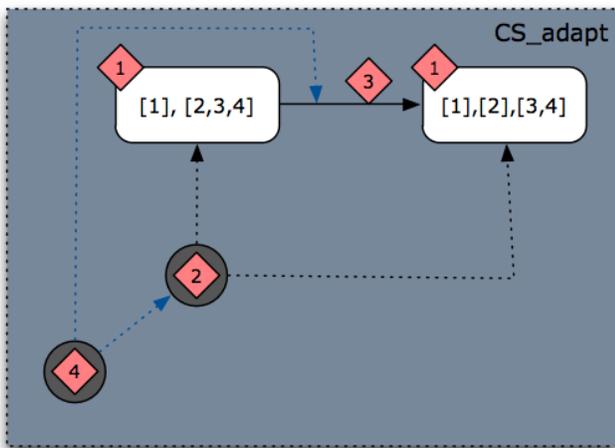


Figura 2. Estrutura Coalizional Adaptativa

Na figura 2 temos a representação da estrutura coalizional adaptativa (CS_{adapt}). Os losângulos numerados representam os elementos do CS_{adapt} . O primeiro representa a estrutura coalizional subjacente. A aresta de número 3 representa a regra de associação, nesse caso do agente 2, que abandona a coalizão modificando a estrutura coalizional subjacente. Para abandonar a coalizão o agente decidiu, através dessa regra, que seria vantajoso (obteria melhor utilidade, se esse for o critério) estar independente de qualquer coalizão. O nó de número 2 representa a regra ϕ_1 que decide qual agente ativar da estrutura coalizional subjacente. O nó 4, por sua vez, representa a regra ϕ_2 que é a função adaptativa, agindo sobre os elementos da estrutura coalizional adaptativa. Pelas arestas podemos observar que a função adaptativa modifica tanto a regra de ativação dos agentes, como as regras de associação dos agentes.

IV. EXEMPLO - COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS

Para exemplificar a utilização da *estrutura coalizional adaptativa*, modelaremos um processo de compartilhamento de recursos entre agentes.

O conceito de recurso é utilizado em sistemas multiagentes para representar itens do ambiente que serão distribuídos

representando um elemento do ambiente que pode ser transferido entre os agentes, e que de alguma forma influencia na realização dos objetivos do agente. Além disso, em muitos contextos [9] habilidades próprias dos agentes podem ser modeladas como recursos.

Alocação de recursos é uma distribuição particular dos recursos entre os agentes. No caso de recursos indivisíveis é uma partição do conjunto de recursos. O compartilhamento de recursos, por sua vez, é o processo de distribuição dos recursos comuns ao sistema no qual estes estão sob posse de agentes individuais, que podem negociá-los segundo critérios próprios.

Os procedimentos de compartilhamento de recursos são divididos em três categorias.

- 1) Leilão é o processo de alocar um recurso por um critério de preço. Esse procedimento é mais utilizado quando há escassez de recursos, estudado e aplicado em sistemas multiagentes, tanto no negócio de *leilões eletrônicos* como para distribuição de tarefas em sistemas distribuídos. [10]
- 2) Barganha, também conhecido como negociação é o procedimento utilizado quando há conflito de preferências no compartilhamento de recursos. Diversos procedimentos para negociação já foram desenvolvidos, com aplicações variadas [11], [12], [13] sendo uma forma de compartilhamento bastante utilizada, mas inadequada para compartilhamento de recursos entre uma quantidade grande de agentes.
- 3) Coalizões é um campo de estudo da teoria dos jogos [7], adequado para formação de grupos de agentes unidos com uma determinada finalidade. Para a aplicação da teoria dos jogos coalizionais em sistemas multiagentes devemos ter o contexto do SMA modelado como um jogo coalizional.

A. Jogo de Distribuição Ponderada de Recursos

Nessa seção definiremos o jogo utilizado na formação das coalizões. Primeiramente, os recursos tem uma representação cardinal na forma de um vetor de recursos. Um vetor de recursos de um agente é uma ênupla $(rc_i(k_1), rc_i(k_2), \dots, rc_i(k_{|\mathcal{K}|})) \in \mathbb{N}^{|\mathcal{K}|}$ com uma posição $1 \leq j \leq |\mathcal{K}|$ para cada recurso do ambiente, sendo $rc_i(k_j) \in \mathbb{N}$ a quantidade do recurso referente à posição j .

Chamaremos de *vetor de recursos próprios* o vetor de inteiros que define a quantidade de recursos que um agente possui, denotado por rc_i . Definiremos o *vetor de recursos demandados pelo agente* por rc_i^Π , montado a partir dos recursos demandados para execução do conjunto de planos Π_i do agente i . A quantidade de recursos demandadas é definida na função de planejamento do agente. O agente monta um ou mais planos para serem executados e que dependem de recursos externos. A função de mapeamento do agente transforma o conjunto de planos em um vetor de recursos requeridos para a sua execução.

O *Jogo de Distribuição Ponderada de Recursos* é o jogo definido pela função característica que mede a contribuição

Algorithm 1 Procedimento de formação de coalizões

```

1: Cada agente constrói o seu plano

2: repeat
3:   for cada agente  $i$  em ordem randômica do
4:     Inicializa o vetor  $u_i = (u_i^j)$ .
5:     for cada agente  $j \notin S_i$  do
6:       Testa coalizão  $S_i^j$  com  $j$  ou coalizão  $S^j$ :
7:        $al_i^{S_i^j}$  é o valor alocado para  $i$  pela coalizão, seguindo a regra de proporcionalidade:  $al_i(S) \approx w_i \cdot rc_S$ .
8:        $u_i^j \leftarrow \frac{\sum al_i^{S_i^j}}{rc_i^I}$ 
9:     end for
10:    Dado que  $j \leftarrow \arg \max_j u_i^j$ ,
        então se  $u_i > \lambda \cdot u_i^j$  monta a coalizão  $S_j \cup \{i\}$ 
11:    end for
12: until Não há melhora no bem-estar coletivo por  $MAX$  iterações

```

ponderada do agente com relação aos recursos da coalizão.

$$v(S) = \frac{\sum rc_i}{\sum rc_i^I} \quad (1)$$

Ao participar de uma coalizão o agente troca recursos com os outros agentes, segundo um critério de alocação. O vetor de recursos resultante da alocação em uma coalizão é representado por $al_i(S)$. No nosso exemplo a alocação será proporcional ao peso do agente, dessa forma, temos:

$$w_i = \frac{rc_i - rc_i^I}{rc_S - rc_S^I} \quad (2)$$

$$al_i \approx w_i \cdot rc_S \quad (3)$$

O valor da coalizão para um agente é medido pela utilidade da coalizão ($u_i(S)$).

$$u_i(S) = \frac{\sum al_i(S)}{\sum rc_i^I} \quad (4)$$

O algoritmo 1 apresenta o procedimento para executar a formação de coalizão utilizando o *jogo de distribuição ponderada de recursos*.

B. Estrutura Coalizional Adaptativa para o Jogo de Distribuição Ponderada de Recursos

Considerando-se a *estrutura coalizional adaptativa* como dispositivo adaptativo descrito anteriormente, podemos representar o algoritmo 1 utilizando os elementos do dispositivo.

ψ_i^{rc} Para qualquer agente j verifique a utilidade de participar da coalizão S_j (a coalizão da qual j participa). Se houver ganho, abandona a coalizão S e une-se a S_j . Ou seja, se $\lambda \cdot u_i(S) < u_i(S_j)$, então abandona S e une-se a S_j , sendo u_i calculado segundo as equações (2), (3) e (4).

Φ_1^{rc} Selecione ψ_i sendo i o agente com menor utilidade, e que não tenha sido ativado anteriormente.

Φ_2^{rc} Modifique Ψ após k rodadas de ativações de tal forma que $\lambda = 1.5\lambda$. Com o incremento de λ estamos aumentando a estabilidade da estrutura coalizional de forma a termos um critério de interrupção da ação adaptativa.

V. CONCLUSÃO

Nesse artigo nos propusemos a apresentar o modelo de um dispositivo adaptativo que fosse capaz de conter os dados e processos associados a formação de coalizões. O modelo inicial atende as necessidades de representação do jogo coalizional utilizado como exemplo. Além disso, a especificação geral do dispositivo permite que o detalhamento das regras seja feito em nível de abstração mais alto do que no formato algorítmico, o que nos parece ser um ganho para a definição do processo iterativos utilizados em sistemas multiagentes.

Comparando-se a especificação do dispositivo adaptativo com o algoritmo, percebe-se que o primeiro é mais conciso nas definições, permitindo a abstração dos detalhes de implementação. Ainda, com a maturação do modelo a implementação do dispositivo adaptativo deverá permitir a implementação de um framework que poderá atender diversos jogos coalizionais.

Os próximos passos desse trabalho devem ser:

- Modelagem de situações coalizionais mais complexas enfocando problemas reais.
- Implementação do dispositivo adaptativo.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Davidsson, "Categories of artificial societies," in *Proceedings of the Second International Workshop on Engineering Societies in the Agents World II*. London, UK: Springer-Verlag, 2001, pp. 1–9.
- [2] V. Conitzer and T. Sandholm, "Computing shapley values, manipulating value division schemes, and checking core membership in multi-issue domains," in *Proceedings of the 19th national conference on Artificial intelligence*. AAAI Press, 2004, pp. 219–225.
- [3] A. C. Chapman, R. A. Micillo, R. Kota, and N. R. Jennings, "Decentralized dynamic task allocation using overlapping potential games," *Comput. J.*, vol. 53, no. 9, pp. 1462–1477, 2010.
- [4] T. Rahwan, S. D. Ramchurn, N. R. Jennings, and A. Giovannucci, "An anytime algorithm for optimal coalition structure generation," *J. Artif. Int. Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 521–567, 2009.
- [5] J. a. J. Neto, "Adaptive rule-driven devices - general formulation and case study," in *Revised Papers from the 6th International Conference on Implementation and Application of Automata*, ser. CIAA '01. Springer-Verlag, 2002, pp. 234–250.
- [6] T. Pedrazzi, A. Tchemra, and R. Rocha, "Adaptive decision tables a case study of their application to decision-taking problems," in *Adaptive and Natural Computing Algorithms*, B. Ribeiro, R. F. Albrecht, A. Dobnikar, D. W. Pearson, and N. C. Steele, Eds. Springer Vienna, 2005, pp. 341–344.
- [7] M. Osborne and A. Rubinstein, *A Course in Game Theory*. MIT Press, 1994.
- [8] T. Sandholm, K. Larson, M. Andersson, O. Shehory, and F. Tohme, "Coalition structure generation with worst case guarantees," *Artificial Intelligence*, vol. 111, pp. 209 – 238, 1999.
- [9] Y. Chevaleyre, P. E. Dunne, U. Endriss, J. Lang, M. Lemaître, N. Maudet, J. Padget, S. Phelps, J. A. Rodríguez-aguilár, and P. Sousa, "Issues in multiagent resource allocation," *Informatica*, vol. 30, 2006.
- [10] D. Lehmann, R. Muller, and T. Sandholm, "The winner determination problem," in *Combinatorial Auctions*, P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg, Eds. MIT Press, 2006, pp. 297–317.
- [11] J. Rosenschein and G. Zlotkin, *Rules of encounter: designing conventions for automated negotiation among computers*. the MIT Press, 1994.
- [12] P. Dunne, "Extremal behaviour in multiagent contract negotiation," *J. Artif. Intell. Res. (JAIR)*, vol. 23, pp. 41–78, 2005.

- [13] T. W. Sandholm, "Contract types for satisficing task allocation: I theoretical results," in *IN PROC. AAAI SPRING SYMPOSIUM: SATISFICING MODELS*, 1998, pp. 68–75.



Frank Cara É bacharel em Ciências da Computação pela UNICAMP (2000). Atualmente é aluno do programa de mestrado em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica / USP.



Márcio Lobbo Neto Graduado em Engenharia Elétrica - Eletrônica (1985), Mestre em Engenharia Eletrônica - Sistemas Eletrônicos (1990), ambos pela Escola Politécnica da USP, e Doutor em Informática pela Technische Universität Darmstadt (1996). Atualmente é professor livre docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.