

Significado e Representação de Organizações em Sistemas Multi-Agentes: Uma Análise Preliminar

Carmen Lúcia Ruybal Santos
Instituto de Estudos Avançados
Centro Técnico Aeroespacial
Caixa Postal 6044
12231-979 S. J. dos Campos, SP
email: carmenl@ieav.cta.br

Jaime Simão Sichman ¹
Depto. Eng. de Computação e Sistemas Digitais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158 travessa 3
05508-900 São Paulo SP
email: jaime@pcs.usp.br

Resumo

O tema organização, central ao projeto de sistemas multi-agentes, é analisado buscando os inter-relacionamentos existentes entre suas componentes básicas: o agente, o ambiente e a tarefa. Não se tem por objetivo fazer uma revisão crítica da área mas sim oferecer uma visão de conjunto dos principais aspectos tratados. O presente trabalho é focado em sistemas compostos por agentes cognitivos autônomos.

Introdução

Organização é um conceito essencial na estruturação de uma comunidade de agentes computacionais inteligentes destinados a solucionar problemas. A necessidade de estruturação decorre das demandas por coordenação das atividades dos agentes, sendo esta coordenação um pré-requisito básico para a obtenção de um comportamento coerente e efetivo, tanto no nível individual quanto no nível global do sistema.

Comunidades de agentes inteligentes são centro de atenção das pesquisas em Inteligência Artificial Distribuída (IAD), onde o enfoque tradicional da Inteligência Artificial, o do comportamento individual inteligente, é substituído pelo do comportamento social inteligente. IAD compreende linhas de pesquisas de interesses distintos, Resolução Distribuída de Problemas (RDP) e Sistemas Multi-Agentes (SMA), os quais acarretam diferenciações significativas na abordagem do tema organização [8].

A abordagem RDP para criação de sistemas pressupõe a existência de um problema global, cuja resolução exige a integração de competências individuais lógica e/ou geograficamente distribuídas. O critério de sucesso também é global, sendo a 'inteligência social' aqui equacionada ao desempenho alcançado pelo sistema em face a variações dos parâmetros associados ao problema tratado. Neste contexto tem-se que a especificação dos agentes e a definição da organização mais adequada são tradicionalmente de responsabilidade do projetista do sistema, que visa criar um conjunto capaz de oferecer o desempenho esperado. A organização escolhida é imposta aos agentes através da especificação de uma arquitetura pré-definida, que

¹ Parcialmente financiado pelo CNPq, processo 301041/95-4.

estabelece o fluxo de controle e comunicação a serem utilizados. O controle especificado tem por objetivo o gerenciamento total dos agentes, desempenhando funções tais como alocação de recursos, sequenciamento de operação (“scheduling”), promoção de cooperação e controle de competição. A organização pode ser vista como uma entidade estática, definida na fase de concepção do sistema à luz do problema abordado.

Em SMA, a existência do agente precede e independe da existência de um problema global. Embora participe de uma comunidade, o agente é visto como uma entidade autônoma, direcionada por motivações e objetivos locais próprios. O ponto central nesta linha de pesquisa refere-se ao comportamento do agente em sociedade e de como este se posiciona tendo em vista concretizar objetivos de interesse individual ou coletivo. O que se busca em última instância é dotar um agente autônomo de estruturas e mecanismos de inferência e decisão que o capacitem, de forma descentralizada, a exibir um comportamento ‘socialmente racional’ ou seja, aquele que se adequa a critérios que contemplem e melhor acomodem os objetivos locais do agente e os objetivos globais de sua comunidade. Além disso, como estes objetivos são decorrentes das diferentes tarefas e problemas com os quais os agentes se deparam, é necessário também que o agente possa estabelecer de modo dinâmico coalisões e organizações que resultem num sistema capaz de atender às demandas específicas de cada problema apresentado. Tarefas tais como alocação de recursos, sequenciamento das operações, promoção de cooperação e controle de competição passam a ser desempenhadas pelos próprios agentes. Neste contexto, organização é uma entidade dinâmica, criada e mantida pela própria comunidade.

Como exemplo de contextos promissores para aplicações SMA podem-se citar sistemas baseados na Internet e comunidades de robôs atuando em ambientes restritos. Certas características destes sistemas, tais como a necessidade de um controle descentralizado e a possível entrada e saída dos agentes que os compõem, vêm reforçar as demandas por autonomia e o dinamismo já inerentes da abordagem SMA.

Sob o ponto de vista cognitivo, para que um agente esteja apto a desempenhar as funções mencionadas acima, faz-se necessário que ele possua representações e mecanismos de inferência atuando nos níveis individual, social e organizacional. O nível social amplia o individual, permitindo ao agente raciocinar sobre as potencialidades e os problemas de eventuais coalisões, bem como divisar estratégias que tornem possível propô-las ou recusá-las. No nível organizacional, o que se requer é que o agente possua uma representação sobre os diferentes modelos de estruturas organizacionais e suas aplicabilidades, e também sobre mecanismos que viabilizem a implementação de relações organizacionais a partir do modelo escolhido. Como os sistemas evoluem ao longo do tempo, torna-se necessário que o agente possua ainda critérios de avaliação de desempenho da organização adotada, bem como de mecanismos eficientes para sua eventual reorganização.

Centrado em SMA, este trabalho tem como foco os sistemas compostos por *agentes cognitivos autônomos*. Organização é abordada a partir dos dois níveis de competência presentes em tais sistemas: o individual e o social [2]. No nível individual o que se

busca são formas efetivas para se estruturar as atividades internas do agente, quais sejam, percepção, deliberação, comunicação e ação, de forma a ampliar a capacidade de resposta a modificações em seu ambiente de atuação.

Diretrizes que norteiam o estudo do tema organização podem ser oriundas de áreas tão distintas quanto as ciências sociais e a ciência da computação. Uma análise destas diferentes áreas é um passo inicial importante para o estabelecimento das bases necessárias ao desenvolvimento de sistemas multi-agentes. Este trabalho enfoca o tema organização segundo três componentes básicas, o *agente*, o *ambiente* e a *tarefa*, buscando analisar os seus inter-relacionamentos. Nas seções a seguir o agente é analisado em função de seus estados mentais e capacidade de processamento, o ambiente é focalizado no aspecto das interações nele presentes, e a tarefa é abordada em termos das estruturas organizacionais adotadas pelo sistema ao realizá-la. Não será feita uma revisão crítica da área, mas buscar-se-á oferecer uma visão de conjunto de seus principais aspectos, preenchendo assim uma lacuna na literatura em sistemas multi-agentes, composta quase que exclusivamente por análises envolvendo um único aspecto do problema em questão.

O Agente: Estados Mentais X Capacidade de Processamento

Uma das componentes a ser analisada ao se pensar sobre organização diz respeito ao agente e à organização de suas atividades internas. Uma abordagem interessante para estas considerações iniciais é fornecida por Carley e Newell [3] que, fundamentados em ciências sociais, propõem uma série de modelos de agente, onde o mais complexo é denominado agente social. Os modelos de agente propostos são especificados a partir de uma matriz, cujas linhas representam a sofisticação dos estados mentais, e as colunas a capacidade de processamento. As variações destas duas dimensões diferenciam os modelos propostos, sendo estes últimos inclusivos e incrementalmente mais complexos. O modelo de agente social por eles idealizado é aquele capaz de exibir características semelhantes às preconizadas para o ser humano social. Os diversos modelos assumem que os agentes são guiados por objetivos, e existem dentro de uma situação física e social específicas.

Quanto à sua capacidade de processamento, o agente pode ser, em ordem decrescente: onipotente, racional, racional limitado, cognitivo e cognitivo emocional. Já quanto à sofisticação de seus estados mentais, o conhecimento do agente pode se referir às seguintes situações: histórico-culturais, de objetivos sociais, sócio-estruturais, de interação em tempo real, de múltiplos agentes e de tarefa não social. A classificação do agente proposto, e cujo conteúdo cognitivo é o mais rico dentre os modelos definidos pela taxonomia, é formado pelo par (cognitivo emocional, situações histórico-culturais).

Devido às limitações de processamento, torna-se necessário organizar as atividades de percepção, deliberação comunicação e ação do agente, especificando uma estrutura de coordenação e controle capaz de compartilhar adequadamente os recursos de processamento, de acordo com as demandas da tarefa sendo executada.

A sofisticação do conhecimento do agente passa pela incorporação dos modelos referentes aos outros agentes e pela aquisição das regras de comportamento social pré-estabelecidas. Este conhecimento social, embora definido a partir de uma perspectiva externa, implica a sofisticação dos processos deliberativos do agente, que passam a ter que abordar eventuais conflitos entre objetivos de níveis diferentes, i.e., aqueles próprios do agente e aqueles que lhe são impostos externamente. A organização das interações sociais torna-se também mais complexa uma vez que ela deve estar apta a tratar eventuais comportamentos transgressores.

Conforme exemplificado por Carley e Newell, os parâmetros capacidade de processamento e estados mentais permitem estabelecer as condições mínimas necessárias ao surgimento de diferentes comportamentos em uma sociedade, sendo que o conhecimento de tais condições constitui um dos passos iniciais para o projeto de mecanismos de coordenação e controle social eficientes.

A arquitetura ASIC [2] oferece um exemplo de organização para controle social e individual de um sistema multi-agentes. Tal arquitetura foi testada no domínio de visão computacional que impõe demandas por um processamento com diferentes ciclos de controle. ASIC apresenta uma organização flexível tanto no nível individual quanto no nível social. O nível individual permite alterar a ordem de ativação de diferentes mecanismos internos dos agentes (percepção, inferência e decisão) operando em objetos diversos como objetivos, planos e ações. Já o nível social impõe restrições a respeito das interações que os agentes podem ter entre si, de modo a 'convergir' o comportamento global do sistema para a tarefa global que está sendo executada.

A Tarefa: Estruturas Organizacionais

Um dos problemas centrais em sistemas distribuídos em geral é o de como organizar a execução de uma tarefa [9]. A resolução deste problema requer a decomposição da tarefa, a escolha de um regime de controle, a definição dos processadores a serem empregados e o estabelecimento dos canais de comunicação necessários para a alocação e controle das sub-tarefas. Considerações tais como a definição a priori do conjunto de processadores a ser utilizado, fazem com que estas etapas nem sempre ocorram nesta ordem. A resolução do problema global é influenciada pelo vulto da tarefa a ser executada e pelas limitações dos processadores envolvidos. Assim, considerando-se processadores como agentes, tem-se que, do mesmo modo que estruturas de controle e coordenação são necessárias para gerenciar os recursos internos de um agente, elas são aqui necessárias para gerenciar os recursos do sistema como um todo.

Fox [9] busca analisar a vasta experiência obtida no gerenciamento de organizações humanas, de modo a empregá-la no projeto de sistemas distribuídos. Uma de suas constatações é a de como diferentes estruturas organizacionais surgem em decorrência da crescente complexidade das tarefas, do número de elementos que as integram e do aumento do número de atividades. Uma nova forma de organização é adotada cada vez que as demandas por recursos físicos ou mentais, tornam-se difíceis ou impossíveis

de serem atendidas dentro da estrutura organizacional vigente. O princípio da racionalidade limitada [18] em relação à execução de tarefas ou processo de decisão é um dos fatores determinantes na modificação da estrutura organizacional. Assim, quando o vulto de uma tarefa aumenta, as demandas por processamento excedem a capacidade de uma única pessoa e, como consequência a tarefa é decomposta e alocada a diferentes elementos de um grupo. Grupos falham quando os custos associados a uma decisão conjunta tornam-se altos e os processos de decisão e coordenação tornam-se muito complexos. Hierarquias simples e hierarquias uniformes aparecem, introduzindo técnicas de redução de informação e estabelecendo relações de autoridade. Quando múltiplos produtos passam a ser produzidos, ocorre competição pela utilização de recursos e, como consequência, uma hierarquia de produto ou de função é criada. O próximo passo na redução de complexidade é o de contratar o serviço no mercado, onde o regime de controle é indireto, reduzido ao preço do serviço contratado.

A partir de estudos empíricos, realizados em grande escala em organizações humanas, duas suposições foram constatadas por Galbraith [10]: (i) dado um determinado problema, não existe uma organização única que otimize sua resolução; (ii) as organizações não são equivalentes no que se refere à eficiência de resolução de um determinado problema.

A partir de subsídios obtidos em teoria da organização, Fox menciona dois aspectos relativos à tarefa como fatores importantes a serem analisados: *complexidade* (excessiva demanda por racionalidade) e *incerteza* (diferencial entre a informação disponível e aquela necessária a tomada da melhor decisão). Tais fatores representam forças antagônicas dentro de uma organização: enquanto que o aumento de complexidade conduz ao surgimento de mercados, a busca por uma menor incerteza conduz a integração vertical das tarefas em estruturas mais hierarquizadas.

Dado um mesmo problema, diferentes esquemas de organização podem ser igualmente aplicáveis, cada um deles apresentando diferentes relações custo/benefício. Uma comparação entre a performance de processamento de esquemas organizacionais é dada por Malone [12]. O trabalho analisa diferentes formas de mercado (centralizado e descentralizado) e hierarquias (baseada em produto ou função) em termos de seus custos de *produção*, *coordenação* e *vulnerabilidade*. O custo de produção é definido como proporcional à capacidade de processamento do sistema e ao tempo médio de espera para o processamento de uma tarefa. O custo de coordenação é função do número de conexões entre os agentes e o número de mensagens necessários para alocação de tarefas. Vulnerabilidade determina o grau de impacto que a ocorrência de falhas no processamento ou gerenciamento acarretam para o sistema como um todo. Assim, é possível mostrar que a hierarquia de produto embora apresentando um baixo custo de coordenação, é a que possui custo de produção mais alto, devido à capacidade ociosa de seus processadores. O esquema de menor vulnerabilidade é o de mercados descentralizados, sendo este, porém, o que apresenta o custo de coordenação mais alto.

Em sistemas multi-agentes, a representação do conhecimento organizacional é essencial para que agentes autônomos possam adaptar seu esquema organizacional de forma a melhor atender aos problemas tratados. Ishida, Gasser e Yokoo [11] apresentam uma arquitetura de agente capaz de se auto-organizar em função de estatísticas locais sobre o nível de atividade de cada agente, e estatísticas globais, que indicam se o sistema está sendo capaz de cumprir os prazos esperados.

Uma estrutura organizacional estabelece o ‘papel organizacional’ (“role”) que se espera que um agente desempenhe. Um papel nada mais é que um conjunto de compromissos e expectativas entre os agentes de um sistema, podendo ser visto como um mecanismo para controle de comportamento, assunto este a ser abordado na próxima seção.

O Ambiente: Interações

O planejamento realizado por um agente a fim de alcançar seus objetivos precisa considerar o impacto de suas ações em si próprio e nos demais agentes do sistema. Se as ações dos agentes não são de alguma forma cerceadas, o sistema pode se tornar caótico e o impacto de uma ação, difícil de ser previsto. Muitas medidas de precaução tornam-se necessárias para viabilizar mesmo os objetivos mais simples. O estabelecimento de um sistema social de controle concorre para que a complexidade do sistema seja reduzida, permitindo que os objetivos de seus agentes possam ser mais facilmente alcançados.

O estabelecimento de um controle efetivo deve considerar os processos de decisão do agente, e o que o leva a escolher um objetivo em detrimento de outros, muitas vezes igualmente viáveis. Como visto, o comportamento de um agente está relacionado ao seu estado mental e capacidade de processamento. No entanto é necessário que se considere como e em que situação um comportamento potencial é de fato implementado.

Racionalidade fornece um parâmetro adequado para se medir comportamento inteligente em sistemas multi-agentes. Racionalidade diz respeito a fazer o que é correto, onde correto pode ser equacionado como o sucesso das ações realizadas. Para um agente situado num contexto social, um princípio de tomada de decisão deve considerar os seus limites de recurso, e as suas relações de dependência em relação aos demais agentes.

Conforme em [7], o comportamento social de um agente pode ser classificado a partir da localidade da tarefa a ser executada - local (individual) ou global (comunitária) - e a partir da possibilidade do agente desempenhá-la sozinho ou não. Dentre os comportamentos possíveis tem-se coabitação, colaboração e cooperação sendo que este último ocorre quando o agente busca pela cooperação de outros na realização de uma tarefa local que ele é incapaz de realizar sozinho, quer seja por não ter a habilidade necessária ou por não poder desempenhá-la dentro dos padrões especificados.

Teorias utilitárias [1] são amplamente empregadas para modelar comportamento racional sendo que elas buscam explicar a ocorrência de interações a partir das máximas individuais envolvidas. Embora restritas a modelar apenas os comportamentos decorrentes do desempenho de tarefas locais, tais teorias mostram-se incapazes de modelar completamente o comportamento de cooperação descrito, já que pressupõem agentes total e igualmente capazes de realizar suas tarefas e não sujeitos a limitações de tempo em seu processo de análise da situação. Adicionalmente tem-se que a aplicação de teorias utilitárias no contexto SMA torna-se ainda mais restrita dado que o que se busca são teorias que consigam modelar comportamentos racionais derivados de compromissos entre máximas individuais e sociais.

A teoria da dependência [4] é uma teoria social baseada na noção de complementaridade que busca explicar como as interações se estabelecem em uma sociedade composta por agentes autônomos e heterogêneos em função das relações de dependência entre seus elementos. Estas relações são vistas como relacionamentos objetivos, passíveis de serem representados por uma estrutura externa ao agente. DEPNET [17] é um sistema que constrói uma rede para expressar os relacionamentos de dependência a que um agente está sujeito, sendo que esta rede constitui um importante mecanismo de raciocínio social. Dependências podem ser caracterizadas como unilaterais ou bilaterais, sendo que estas últimas ocorrem quando dois agentes dependem um do outro para realizar um mesmo objetivo ou objetivos distintos. Dependências bilaterais são importantes para caracterizar alguns fenômenos de interação social, dentre os quais se coloca a cooperação.

Diferentes comportamentos sociais podem ser explicados em função da conscientização do agente das redes de dependência aplicadas a ele e aos demais agentes de seu grupo. Pode-se explicar, por exemplo, a adoção instrumental de objetivos para agentes não benevolentes: um agente adota o objetivo de outro em função de seus relacionamentos bilaterais, visando, em última instância, atingir seus próprios objetivos. Pode-se explicar também o poder de influência, que faz com que um agente se submeta a aceitar os objetivos de um outro. Adoção de objetivos dão origem a objetivos sociais que constituem a base de formação de coalisões. Mais do que uma estratégia de ação passiva como a descrita pelas teorias utilitárias, a teoria da dependência mostra como o comportamento de um agente busca muitas vezes 'moldar' seu ambiente de modo a viabilizar seus próprios objetivos.

Um exemplo de aplicação da teoria da dependência pode ser visto em Yu e Mylopoulos [19], onde o conceito é utilizado para modelar a rede de dependência existente entre os agentes presentes em uma estrutura organizacional.

Um outro fator a ser considerado na escolha do sistema de controle social para sistemas multi-agentes é o de que o projeto básico deste último é o de construir agentes capazes de agir com sucesso, tanto da perspectiva individual quanto da perspectiva social. O sucesso individual muitas vezes ocorre em detrimento do sucesso do grupo e um dos objetivos dos mecanismos de controle é o de coibir comportamentos individualistas.

Normas desempenham um papel regulador no contexto social e representam o esteio sobre o qual muitos dos relacionamentos se formam. Normas podem ser entendidas como conjuntos de expectativas e compromissos entre agentes, sendo que elas estabelecem padrões de conduta a serem mantidos em sociedade. Tais padrões de conduta são consequência de sistemas explicitamente definidos, como leis ou papéis organizacionais, ou de regras implícitas, convencionalmente aceitas.

O trabalho de Conte e Castelfranchi [6] mostra que normas possuem dois aspectos, um *interno*, mentalístico, e um *externo*, o do comportamento social. O trabalho salienta o caráter prescritivo das normas e a necessidade de se implementá-las como objetos mentais específicos, essenciais para que agentes cognitivos autônomos tornem-se também normativos. A implementação diferenciada é o que permite explicar os objetivos normativos de um agente. Um objetivo normativo é um objetivo que um agente tem de realizar uma ação por ser esta parte de uma norma a ele endereçada. Normas são descrições passivas, por si só incapazes de direcionar decisões. Diferentes atitudes são responsáveis por transformar uma crença sobre a existência de uma norma em um objetivo normativo correspondente. Dentre estas atitudes podemos citar a *adoção instrumental* (agente adota apenas as normas que possam lhe trazer algum ganho) e *adoção terminal* (agente considera a adoção de uma norma como um fim em si mesmo).

Objetivos normativos representam uma forma poderosa para controle dos comportamentos individuais em uma sociedade, devido as sanções decorrentes de sua não execução. Apesar disso, fatores tais como a possibilidade de uma transgressão passar despercebida, podem fazer com que um objetivo normativo não venha, de fato, a acarretar um comportamento normativo correspondente.

Um comportamento normativo em um sistema multi-agentes pode, em última instância, ser obtido por imposição. Minsky [15] fornece um exemplo de como o comportamento de um agente pode ser 'filtrado' de forma a não afetar o sistema como um todo. Voltado para o controle das interações em sistemas distribuídos heterogêneos, abertos e em evolução, ele propõe uma arquitetura na qual as interações são governadas através da imposição de um conjunto de leis explícitas e rigorosas, a serem obedecidas por todos os objetos do sistema. As leis são globais e estabelecem protocolos e regimes comuns a todo o sistema. A imposição das leis é uma atividade local, realizada pelo controlador, que é uma camada idêntica de interface entre cada objeto e a rede de comunicação do sistema. O controlador interpreta a lei global à luz das características específicas do objeto por ele controlado, inibindo os comportamentos indesejáveis.

Conclusão

O objetivo deste trabalho foi o de fornecer uma visão de conjunto, suscinta e objetiva, dos inter-relacionamentos entre os principais temas de pesquisa na área de organização de sistemas multi-agentes, contemplando principalmente abordagens centradas em

agentes cognitivos autônomos. Embora importante, esta visão do todo é difícil de ser encontrada na literatura, dado serem poucos os livros textos na área de agentes, e o caráter vertical de apresentação da maioria dos artigos e relatórios técnicos. As referências aqui citadas foram selecionadas em função de sua relevância na área e de sua adequação à linha expositiva adotada. A escolha do conteúdo apresentado acarretou, naturalmente, a omissão de muitos outros trabalhos igualmente importantes. Por razões semelhantes, outros tópicos de interesse, dentre os quais podemos citar o controle de planos conjuntos [14] e especificação de leis sociais em sistemas multi-agentes [16], deixaram de ser abordados. Para os interessados no aprofundamento de alguns dos assuntos discutidos, podemos indicar o trabalho de Malone [13] que, ao apresentar um resumo sobre teoria de coordenação, uma área de pesquisa nova e interdisciplinar, fornece um conjunto de referências importantes.

Embora importante, não existe ainda uma teoria, arquitetura ou implementação que ofereça um tratamento conjunto de todos os aspectos sobre organização aqui tratados. Além disso, muito dos trabalhos existentes, apesar de se concentrarem em um aspecto específico, raramente o fazem de modo integral, limitando-se a considerar ora aspectos teóricos, ora detalhes de arquitetura ou de implementação. Acreditamos que um programa de pesquisa bem fundado deve abordar, ainda que parcialmente, todos estes aspectos, ou ao menos se situar claramente dentro de um certo contexto metodológico (como por exemplo o proposto por Coelho e outros em [5]), para que se possa mais facilmente identificar os problemas tratados e as respectivas soluções propostas.

Bibliografia

- [1] R. Axelrod. "The evolution of cooperation". New York, Basic Books, 1984.
- [2] O. Boissier and Y. Demazeau. "ASIC: An architecture for social and individual control and its application to computer vision". In Y. Demazeau, J.-P. Müller, and J. Perram, editors, *Pre-proceedings of the 6th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, pages 107-118, Odense, Denmark, August 1994.
- [3] K. Carley and A. Newell. "The nature of the social agent". *Journal of Mathematical Sociology*, 20(1), 1994.
- [4] C. Castelfranchi, M. Micelli, and A. Cesta. "Dependence relations among autonomous agents". In E. Werner and Y. Demazeau, editors, *Decentralized A. I. 3*, pages 215-227, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, NL, 1992.
- [5] H. Coelho, L. Antunes and L. Moniz. "On agent design rationale". *Proceedings of the 10th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA'94)*. Fortaleza, 1994.
- [6] R. Conte and Cristiano Castelfranchi. "Norms as mental objects: From normative beliefs to normative goals". In K. Ghedira and F. Sprumont, editors, *Pre-proceedings of the 5th European Workshop on Modelling Autonomous Agent in a Multi-Agent World*, Neuchâtel, Switzerland, August 1993.
- [7] Y. Demazeau and J.-P. Müller. "Decentralized artificial intelligence". In Y. Demazeau, J. -P. Müller, editors, *Decentralized A.I.*. North-Holland, Amsterdam, 1990.

- [8] E. Durfee and J. Rosenschein. "Distributed problem solving and multi-agent systems: comparisons and examples". In *Proceedings of the 13th DAI Workshop*, Seattle, 1994.
- [9] M. S. Fox. "An organizational view of distributed systems". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 11(1):70-80, January 1981.
- [10] J. R. Galbraith. "Designing complex organizations". Reading, Addison-Wesley, 1973.
- [11] T. Ishida, L. Gasser, and M. Yokoo. "Organization self-design of distributed production systems". *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*, 4(2):123-184, April 1992.
- [12] T. W. Malone. "Modeling coordination in organizations and markets". In A. H. Bond and L. Gasser, editors, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, pages 151-158, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo, CA, 1987.
- [13] T. W. Malone, K. Crowston. "The Interdisciplinary Study of Coordination". *ACM Computing Surveys*, 26 (1): 87-119, March 1994.
- [14] F. von Martial. "Interactions among autonomous planning agents". In Y. Demazeau, J. -P. Müller, editors, *Decentralized A.I.*. North-Holland, Amsterdam, 1990.
- [15] N. H. Minsky. *The imposition of protocols over open distributed systems*. Technical report LCSR-TR-154, Laboratory for Computer Science Research, Rutgers University, New Jersey, USA, April 1989.
- [16] Y. Shoham and M. Tennenholtz. "On the synthesis of useful social laws for artificial agent societies (preliminary report)". In *Proceedings of the 10th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 276-281, San Jose, CA, July 1992.
- [17] J. S. Sichman, R. Conte, Y. Demazeau, C. Castelfranchi. "A social reasoning mechanism based on dependence networks". In *European Conference on Artificial Intelligence*, Amsterdam, Netherlands, August 1994.
- [18] H. A. Simon. *Models of Man*. New York: Wiley, 1957.
- [19] E. S. K. Yu and J. Mylopoulos. "An actor dependency model of organizational work with application to business process reengineering". In S. Kaplan, editor, *Proceedings of the Conference on Organizational Computing Systems (COOCS'93)*, pages 258-268, Milpitas, CA, November 1993. ACM Press.