

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Matemática e Estatística

MAC5701:
Tópicos em Ciência da Computação

Primeiro semestre de 2001

SIMULAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES UTILIZANDO
SISTEMAS MULTI-AGENTES

Orientador: Prof. Dr. Flávio S. Correa da Silva

Aluno: Lourival Paulino da Silva

Data: 12 de junho de 2001

RESUMO

Observa-se um crescente vigor e maturidade na pesquisa em modelagem computacional de organizações. Tal fato decorre do aumento na sofisticação das ferramentas utilizadas e, principalmente, da integração destas a conceitos derivados de estudos em Ciências Sociais aplicados às organizações humanas.

Um desenvolvimento importante é o crescente interesse observado por parte de pesquisadores da área de Inteligência Artificial Distribuída (IAD) por questões organizacionais. Tal fato é consequência da identificação da grande similaridade entre os problemas enfrentados pelas organizações humanas e os problemas enfrentados tanto em Resolução Distribuída de Problemas (RDP) quanto em Sistemas Multi-Agentes (SMA), duas áreas de pesquisa derivadas de IAD.

Este relatório tem como objetivo apresentar um panorama da modelagem e simulação computacional de organizações através de Sistemas Multi-Agentes. Com esta finalidade, são introduzidos, inicialmente, alguns conceitos básicos relativos a Sistemas Multi-Agentes, envolvendo aspectos do raciocínio individual de agentes e também outros aspectos importantes, como por exemplo: planejamento distribuído, alocação de tarefas, resolução de conflitos, tipos de organizações multi-agentes, etc. Posteriormente, são apresentados diversos estudos recentes, envolvendo a simulação de organizações, direcionados a vários aspectos que afetam de maneira crítica o funcionamento da organização e seus processos de negócio, como por exemplo, a simulação de processos, reengenharia de processos, estudo do *workflow* da empresa e da gestão da cadeia de suprimentos, integração da organização com o ambiente e os efeitos das diversas tecnologias da informação sobre a organização.

Na conclusão deste relatório, apresentamos uma breve discussão sobre os assuntos apresentados.

ÍNDICE

RESUMO.....	I
ÍNDICE.....	I
INTRODUÇÃO.....	1
SISTEMAS MULTI-AGENTES	2
<i>Raciocínio de Agentes Individuais.....</i>	<i>4</i>
<i>Organizações Multi-Agentes.....</i>	<i>5</i>
<i>Gerenciamento de Comunicação.....</i>	<i>6</i>
<i>Planejamento Multi-Agentes.....</i>	<i>7</i>
<i>Alocação de Tarefas</i>	<i>8</i>
<i>Reconhecimento e Resolução de Conflitos</i>	<i>9</i>
<i>Modelagem de Outros Agentes</i>	<i>9</i>
<i>Gerenciamento de Recursos</i>	<i>10</i>
<i>Adaptação e Aprendizado.....</i>	<i>10</i>
<i>Aplicações de Sistemas Multi-Agentes.....</i>	<i>10</i>
SIMULAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES.....	12
<i>Modelando a Tomada de Decisão em Equipe</i>	<i>13</i>
<i>Confiança e Ciência Organizacional.....</i>	<i>13</i>
<i>Comunicações e Tecnologia da Informação em Organizações.....</i>	<i>14</i>
<i>Modelando, Simulando e Executando Processos Organizacionais Complexos</i>	<i>15</i>
<i>Condições Externas e Performance de Tomada de Decisão</i>	<i>15</i>
<i>Esforços Variáveis e Cooperação Sustentável</i>	<i>17</i>
<i>Simulação e Ambiente de Tarefas.....</i>	<i>18</i>
<i>Tecnologia da Informação e Lembrança/Esquecimento Coletivo.....</i>	<i>19</i>
<i>Desenhando Organizações para Agentes Computacionais.....</i>	<i>19</i>
<i>Uma Ontologia Organizacional para Modelagem de Empresas.....</i>	<i>20</i>
<i>Gestão Colaborativa de Estoques em Cadeia de Suprimentos.....</i>	<i>21</i>
<i>Modelagem de Workflow Orientada a Agentes</i>	<i>22</i>
<i>Simulação de Leilões Dinâmicos</i>	<i>22</i>
<i>Modelando Processos Industriais.....</i>	<i>22</i>
DISCUSSÃO.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

INTRODUÇÃO

A pesquisa em modelagem computacional de organizações apresenta crescente vigor e maturidade que decorrem do aumento na sofisticação das ferramentas utilizadas e, principalmente, da integração destas a conceitos derivados de estudos em Ciências Sociais aplicados às organizações humanas.

Embora as questões relativas a organização estivessem entre as primeiras a ser atacadas quando a modelagem computacional começou a se desenvolver nos anos 50, o desenvolvimento desta área mostrou-se lento quando comparado à modelagem computacional cognitiva. Entre as principais razões para este fato temos:

- Altos custos de aquisição de dados organizacionais aos quais os modelos possam ser comparados.
- Menor formalização das teorias estabelecidas no campo das organizações.
- Pouco contato com computação entre pesquisadores da área de teoria de organizações.
- Pouca associação intuitiva entre as estruturas de controle de processo das linguagens de programação tradicionais e processos organizacionais correntes.

Todos estes fatores têm apresentado melhorias atualmente. Por exemplo, o uso mais freqüente de computadores no ambiente de trabalho facilita a obtenção de dados relativos às atividades organizacionais. Entretanto, cabe destacar as mudanças referentes às linguagens de programação: a crescente utilização de linguagens de programação orientadas a objetos. É mais natural representar processos em modelos organizacionais como a ativação de métodos de objetos, controlados pela passagem de mensagens.

Adicionalmente, objetos fornecem uma forma extremamente natural para implementar agentes modelo que possuam capacidades especializadas em redes sutis e implícitas de interação.

Outro desenvolvimento importante é o crescente interesse observado de pesquisadores da área de Inteligência Artificial Distribuída (IAD) por questões organizacionais. Tal fato é consequência da identificação da grande similaridade entre os problemas enfrentados pelas organizações humanas e os problemas enfrentados tanto em Resolução Distribuída de Problemas (RDP) quanto em Sistemas Multi-Agentes (SMA).

Os desenvolvimentos acima mencionados formam um ciclo, no qual idéias advindas de organizações humanas servem como analogias que inspiram desenvolvimentos em Ciência da Computação os quais, por sua vez, transformam-se em ferramentas úteis à construção de modelos de organizações.

Este relatório está organizado da seguinte forma: inicialmente são introduzidos os conceitos relativos a Sistemas Multi-Agentes, envolvendo aspectos do raciocínio individual de agentes e também outros aspectos importantes relacionados com esta área, como por exemplo: planejamento, alocação de tarefas, resolução de conflitos, tipos de organizações, etc. Posteriormente, são apresentados diversos estudos recentes envolvendo a simulação de organizações com utilização de Sistemas Multi-Agentes. Na conclusão deste relatório apresentamos uma breve discussão sobre os assuntos apresentados.

SISTEMAS MULTI-AGENTES¹

Desde seu início, a área de Inteligência Artificial (IA) vinha lidando com o problema de desenvolver teorias, técnicas e sistemas para estudar e compreender o comportamento e propriedades de raciocínio de uma única entidade cognitiva. Com o desenvolvimento da área, o desafio de enfrentar problemas mais complexos, de larga escala e realísticos, provou estar além das capacidades de uma entidade individual. Suas capacidades são limitadas por seu conhecimento, recursos computacionais e sua perspectiva particular. Esta racionalidade limitada [SIM57] torna-se exatamente uma das motivações subjacentes para a criação de organizações de resolução de problemas. Em um paradigma de resolução distribuída de problemas, utiliza-se um enfoque modular: componentes especializados em solucionar aspectos particulares de um problema complexo, usam a perspectiva mais apropriada e produzem soluções parciais. Em seguida, os agentes que integram o sistema precisam se coordenar para garantir o gerenciamento apropriado das interdependências entre soluções.

Além disso, enfoques mais realísticos frequentemente envolvem sistemas que se alteram dinamicamente, cujos componentes são desconhecidos previamente, podem mudar no decorrer do tempo e podem ser heterogêneos em relação a implementação, particularmente, equipe/época de desenvolvimento e recursos/técnicas de computação empregados. Sistemas com essas características são denominados de sistemas abertos.

Em ambientes abertos, fontes de informação, linhas de comunicação e agentes podem surgir ou desaparecer imprevisivelmente. Um exemplo deste tipo de ambiente é a Internet, que pode ser vista como um recurso provedor de informações, altamente distribuído, onde os nós de rede são projetados e implementados por organizações diversas. Atualmente, são utilizados na Internet agentes de busca e filtragem de informações. Em um enfoque mais avançado, estes agentes podem colaborar entre si, realizando buscas em contexto e inferências mais sofisticadas, incrementando o escopo de resolução de problemas de cada agente individualmente. Tais funções requerem técnicas baseadas em negociação e cooperação que são fortemente estudadas no contexto de SMA [INV97], [FIT00].

A pesquisa em SMA concentra-se no estudo, no comportamento e na construção de uma coleção de agentes autônomos, possivelmente preexistentes, que interagem entre si e com o ambiente. Assim, além de aspectos relativos a inteligência individual, são enfocados aspectos relativos a componentes sociais na resolução de problemas. Um Sistema Multi-Agente pode ser definido como uma rede de componentes solucionadores de problemas (agentes), autônomos e possivelmente heterogêneos, fracamente acoplados, que interagem para resolver problemas cujas complexidades excedem a capacidade individual de cada componente.

Entre as características de SMA destacamos: cada agente tem um ponto de vista limitado do problema decorrente de informações ou recursos insuficientes; não há um controle global do sistema; os dados são descentralizados; e a computação é distribuída.

Este paradigma mostra-se útil para enfrentar os seguintes tipos de problemas:

- Problemas muito grandes para um único agente central resolver devido a insuficiência de recursos, risco de introdução de pontos de estrangulamento de performance ou redução de tolerância a falhas.
- Interconexão e interoperação de sistemas legados, via encapsulamento de software.

¹ Esta seção se baseia em [SYC98].

- Problemas vistos naturalmente como uma sociedade de agentes autônomos interativos. Por exemplo: escalonamento de reuniões, negociações de compra/venda de bens na Internet.
- Prover soluções que usam eficientemente fontes de informações distribuídas.
- Prover soluções onde o conhecimento especializado encontra-se distribuído. Por exemplo, engenharia concorrente [LEW93], saúde e manufatura [BRE00], [PEN99].
- Incrementar o desempenho nas dimensões:
 - eficiência computacional, devido a concorrência de processamento e desde que a comunicação seja mínima.
 - confiabilidade, recuperação ordenada de falhas de componentes fazendo uso de localização dinâmica de agentes que possam assumir as funções de um componente falho.
 - extensibilidade, pois as capacidades e quantidade de agentes podem ser alterados.
 - robustez, tolerância a incerteza devido a intercâmbio de informações adequadas entre agentes.
 - manutenibilidade, devido a modularidade.
 - responsividade (disponibilidade): anomalias podem ser tratadas localmente e não globalmente.
 - flexibilidade, agentes com diferentes habilidades podem se organizar dinamicamente visando resolver um problema em particular.
 - reutilização, agentes com funcionalidades específicas podem ser reutilizados na resolução de problemas distintos.

Apesar das diversas vantagens de SMA, existem importantes dificuldades e desafios a serem enfrentados, como, por exemplo, formular, descrever, decompor e alocar problemas e, posteriormente, sintetizar resultados em um grupo de agentes.

- Como permitir comunicação e interação entre agentes? Quando e o que comunicar? Quais protocolos e linguagens utilizar? Como permitir a interoperabilidade entre agentes heterogêneos? Como localizar agentes úteis (com habilidades, competências, etc. requeridas) num ambiente aberto ?
- Como garantir ações coerentes na tomada de decisões ou atitudes (envolvendo ações locais e seus efeitos não locais)?
- Como possibilitar que agentes individuais representem e raciocinem sobre as ações, planos e conhecimento dos demais para que haja coordenação coletiva; como raciocinar sobre o estado do processo, seu início e seu término, coordenado ?
- Como reconhecer e reconciliar pontos de vista díspares e intenções conflitantes em um grupo de agentes que buscam coordenar suas ações ?

Muitas dessas questões são interligadas. Por exemplo, problemas distintos e decomposições distintas de tarefas podem produzir interações diferentes. Considerando apenas a questão da coerência na resolução de problemas como uma dimensão para organizar o estudo de SMA juntamente com a estruturação do agente individual, os seguintes tópicos são considerados a seguir: raciocínio de agentes individuais, organizações, alocação de tarefas, planejamento multi-agentes, reconhecimento e resolução de conflitos, modelagem de outros agentes, gerenciamento de comunicação, gerenciamento de recursos, adaptação e aprendizado.

RACIOCÍNIO DE AGENTES INDIVIDUAIS

O raciocínio individual mais sofisticado de um agente pode aumentar a coerência de SMA pois possibilita que cada agente possa raciocinar sobre os efeitos não locais de suas ações locais, criar expectativas sobre o comportamento dos demais, explicar e (possivelmente) reparar conflitos e interações prejudiciais. Diversos trabalhos de pesquisa em IA tentam formalizar uma axiomatização lógica para agentes racionais ([RAO92], [WOO95]) através da formalização de um modelo para o comportamento de agentes em termos de crenças, desejos, metas, etc. Tais trabalhos são conhecidos como sistemas crença-desejo-intenção (BDI) ([RAO91], [SHO93]) e agentes BDI são também chamados de agentes deliberativos ou cognitivos.

Em [DEC97] e [SYC96] é descrito o sistema RETSINA, de infra-estrutura multi-agentes, onde agentes se coordenam para coletar informações no contexto de tarefas de resolução de problemas do usuário. Cada agente em RETSINA é do tipo BDI, integrando planejamento, escalonamento, execução, coleta de informações e coordenação com outros agentes. Cada agente possui uma arquitetura de raciocínio constituída de diversos módulos que operam assincronamente.

O módulo de planejamento recebe como entrada um conjunto de metas e produz um plano que as satisfaz. O processo, de planejamento é baseado no formalismo de rede hierárquica de tarefas (HTN). O módulo de comunicação e coordenação aceita e interpreta mensagens de outros agentes em KQML[KQML93]. Estas mensagens podem conter requisições de serviços, as quais se tornam metas dos agentes recebedores. O módulo de escalonamento realiza o escalonamento de cada passo de um plano. O monitor de execução prepara uma ação definindo um contexto para execução e esta é monitorada pela provisão (opcional) de recursos limitados computacionalmente. Ações falhas são tratadas pelo processo de manipulação de exceções.

O agente possui duas bibliotecas de fragmentos de planos: uma independente de domínio, onde fragmentos de planos são indexados por metas, e outra dependente de domínio, onde fragmentos de planos podem ser recuperados e instanciados incrementalmente, de acordo com os parâmetros de entrada existentes.

Além de agentes cognitivos, também foram desenvolvidos agentes reativos. Com base no trabalho de Brooks [BRO91] onde são criticados os agentes cognitivos, afirma-se que: (1) inteligência é o produto da interação de um agente com seu ambiente e (2) que o comportamento inteligente emerge da interação de vários comportamentos mais simples, organizados em um sistema de camadas através de um relacionamento mestre-escravo de inibição (arquitetura de *Subsumption*). Outra arquitetura reativa considera o comportamento de um agente como resultante de entidades competindo para obter controle sobre as ações do agente. Tal idéia tem raízes na “Sociedade da Mente” [MIN86] e foi empregada em diferentes formas por Maes [MAES90], Travers [TRA88] e Drogul e Ferber [FER96],[DRO92].

Um agente é definido como um conjunto de tarefas conflitantes, onde apenas uma pode estar ativa simultaneamente. Uma tarefa é uma seqüência comportamental de alto nível, em oposição às ações de baixo nível realizadas diretamente por atuadores (actuators). Utiliza-se aprendizado por reforço para que os agentes desenvolvam maior eficiência na realização das tarefas mais freqüentes. Por exemplo, esta arquitetura foi usada no sistema MANTA para simular o comportamento de formigas [FER96].

Agentes reativos não possuem representações de seus ambientes (apresentam um comportamento do tipo estímulo-resposta), nem possuem memória de situações passadas ou planejam o futuro. Comportamentos globais complexos são resultantes de interações simples com outros agentes. Como tais agentes não necessitam revisar um modelo a cada mudança ocorrida no mundo, robustez e tolerância a falhas surgem como duas das principais características desses sistemas. Entretanto, sistemas puramente reativos apresentam duas limitações importantes:

- Agentes reativos tomam decisões baseadas somente em informações locais, portanto não podem levar em conta informações não locais ou prever os efeitos de suas decisões sobre o comportamento global, o que pode levar a comportamentos imprevisíveis ou instáveis do sistema [THO98],[HUB88].
- O relacionamento entre comportamentos individuais, ambiente, e comportamento global não é compreensível, tornando difícil construir agentes para realizar tarefas específicas: há a necessidade de se efetuar um processo de tentativa-e-erro para produzir um agente ou SMA visando a realização de uma dada tarefa.

Na verdade, para a maioria dos problemas, arquiteturas híbridas (cognitiva e reativa) são mais apropriadas. Tipicamente, tais arquiteturas são organizadas em três camadas, cada uma lidando com um nível diferente de abstração:

- no nível inferior temos uma camada reativa, tomando decisões baseadas em informações obtidas de sensores.
- o nível intermediário abstrai a entrada dos sensores e lida com uma visão cognitiva do ambiente do agente, fazendo uso de representações simbólicas.
- o nível superior normalmente lida com aspectos sociais do ambiente, representando, tipicamente, a coordenação com outros agentes.

O modo como estas camadas interagem difere de arquitetura para arquitetura [BON96], [FERG95],[MUL94] e a área de arquiteturas continua consumindo um considerável esforço da pesquisa em Sistemas Multi-Agentes.

ORGANIZAÇÕES MULTI-AGENTES

Uma organização fornece um arcabouço para interações entre agentes através da definição de papéis, expectativas de comportamentos e relações de autoridade. Geralmente, o padrão das relações de informações e controle existente entre agentes e a distribuição entre os mesmos das capacidades de resolução de problemas (componentes da estrutura organizacional) são utilizados para conceituar organizações. A estrutura compreende também informações relativas à conectividade, permitindo que agentes com a adequada competência sejam localizados visando a distribuição de problemas. A conectividade representa um desafio especialmente em ambientes abertos, onde agentes entram e saem da organização dinamicamente. Diversos tipos de agentes mediadores [DECK97] têm sido propostos visando auxiliar a localização de outros agentes: quando um agente é instanciado, este divulga suas capacidades ao agente mediador. Um agente buscando um outro que possua uma competência específica realiza uma consulta ao agente mediador. Adicionalmente, protocolos foram desenvolvidos para emparelhamento distribuído [JHA98].

Seguindo uma outra perspectiva, outros pesquisadores definem organização com maior ênfase em teoria organizacional do que na estrutura. Assim, por exemplo, uma organização pode ser definida como um conjunto de agentes com compromissos mútuos, compromissos globais e crenças mútuas [BOND88]. Um grupo de agentes, um conjunto de atividades executadas por eles, um conjunto de conexões ligando-os e um conjunto de metas ou critérios de avaliação das atividades combinadas dos agentes, compõem uma organização. Os modos como os agentes se comunicam e coordenam são limitados pela estrutura organizacional. Alguns exemplos de organizações pesquisadas em SMA são:

- **Hierarquia**
Neste caso, a autoridade para tomada de decisões e o controle estão concentrados em um único componente (ou grupo especializado) em cada nível da hierarquia. Agentes em níveis hierárquicos superiores exercem controle sobre recursos e tomada de decisões. Além disso, a interação ocorre através da verticalização da comunicação entre agente superior e agente subordinado, em ambas as direções.
- **Comunidade de especialistas**
Aqui temos uma organização de um único nível, onde cada membro é um especialista em uma determinada área. A interação entre os agentes ocorre por meio de regras de ordem e comportamento [LEW93],[LAN91]. A coordenação entre agentes é obtida através de ajuste mútuo de suas soluções de modo a atingir coerência geral.
- **Mercado**
O controle é distribuído entre os agentes, que competem por tarefas e recursos através de licitações e mecanismos contratuais. A interação ocorre através da variável preço, usada para avaliar os serviços [MUL96], [DAV83], [SAN93]. Os agentes se coordenam através do ajuste mútuo de preços.
- **Comunidade científica**
Este modelo enfoca a possível operação de uma comunidade pluralística [KOR81]. As soluções para os problemas são construídas localmente, comunicadas aos demais agentes que podem testar, questionar e refinar as soluções [LES91].

A questão da adaptabilidade organizacional é fundamental em sistemas dinâmicos abertos: organizações que podem se adaptar a circunstâncias mutáveis através da alteração dos padrões de interações entre os agentes que as constituem apresentam o potencial de manter a coerência em sistemas abertos mutáveis.

GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO

Pode haver um aumento na coerência de resolução de problemas dos agentes através do planejamento do tipo, quantidade, conteúdo e periodicidade da comunicação inter-agentes. Observou-se que usando abstração e meta-informação (por exemplo, conhecimento organizacional) ocorre uma redução na sobrecarga de comunicação [DUR87]. Entretanto, em ambientes abertos outras questões precisam ser enfrentadas, especialmente a interoperabilidade entre agentes heterogêneos.

Em um ambiente como a Internet, agentes heterogêneos enfrentam o problema da interoperabilidade e o da localização de outros agentes, visando um aumento de eficiência através de trabalho cooperativo. Para enfrentar a questão da localização foram propostos agentes mediadores [DECK96], e diferentes tipos de agentes foram identificados e implementados [DECK97]: agentes de páginas amarelas que associam divulgações de capacidades a requisições de serviços; agentes (do tipo quadro negro) que coletam requisições; e agentes (agenciadores) que processam ambos. Agentes mediadores aumentam a robustez do sistema frente a entrada e saída de agentes da organização e comunicações intermitentes.

Quanto à interoperabilidade, destacamos as Linguagens de Comunicação entre Agentes (LCA): KQML [FIN94] e FIPA ACL [FIPA], ambas apresentando um conjunto de performativas e baseadas na teoria de atos da fala [SEA69]. Embora tais performativas possam caracterizar tipos de mensagens, há a necessidade de linguagens eficientes para expressar o seu conteúdo: agentes podem e devem comunicar objetos mais complexos, tais como planos compartilhados e metas, ou experiências compartilhadas e estratégias de longo prazo [LAB99]. Um formato padrão (KIF) para intercâmbio de conhecimento foi proposto em [GEN94], entretanto não é largamente utilizado. Adicionalmente, o problema da ontologia, ou seja, de como agentes podem compartilhar significados, conceitos e relacionamentos, ainda está em aberto [GRU93]. Além disso, em [COR98], questiona-se a visão de que uma ontologia única, compartilhada ou traduzida, poderia resolver integralmente o problema da interoperabilidade entre agentes.

PLANEJAMENTO MULTI-AGENTES

O planejamento das ações dos agentes pode aumentar a coerência na resolução de problemas. O planejamento para um agente individual envolve a construção de uma seqüência de ações, onde são consideradas metas, competências e restrições ambientais. Entretanto, em SMA o planejamento deve considerar adicionalmente as restrições que outros agentes aplicam sobre as possíveis escolhas de ações de um agente, as restrições impostas sobre essas escolhas pelos compromissos assumidos com outros agentes e a evolução imprevisível do mundo causada pela ação de outros agentes não modelados previamente.

Grande parte do trabalho inicial em IAD tem lidado com grupos de agentes buscando atingir metas comuns [LES91], [LES89], [DUR88], [CON88], [CAM83]. As interações entre agentes são dirigidas por estratégias de cooperação objetivando aumentar a performance coletiva. Assume-se, em geral, uma arquitetura individual sofisticada de agentes, permitindo que estes efetuem raciocínios complexos. Trabalhos iniciais em planejamento distribuído assumiram o enfoque da obtenção de um planejamento completo antes do início de quaisquer ações. Assim, para produzir um plano coerente, os agentes precisam ser capazes de reconhecer interações entre sub-metas e evitá-las ou resolvê-las. O trabalho inicial de [RAO91] inclui um agente estático para reconhecer e resolver tais interações. Tal agente recebia dos demais seus planos, os examinava em busca de regiões críticas onde, por exemplo, contenções por recursos poderiam fazer com que os agentes falhassem. Este agente inseria, então, mensagens de sincronização de modo a fazer com que um dado agente esperasse até que o recurso fosse liberado por um outro agente. Um outro enfoque para resolver interdependências entre subproblemas é o *Functionally Accurate Model* (FA/C) [LES91]. Neste modelo, os agentes não requerem toda a informação necessária localmente para resolver seus subproblemas, ao invés, estes interagem através da troca assíncrona de resultados parciais. Com este modelo, diversos esquemas de controle distribuído para coordenação de agentes foram desenvolvidos, tal como o uso de meta-informações dinâmicas desenvolvido em planejamento global parcial (PGP) [DUR87]. PGP é um enfoque flexível para coordenação permitindo que nós se coordenem em resposta a situações correntes. As interações entre agentes são comunicações de planos e metas, permitindo que o agente receptor forme expectativas sobre o comportamento futuro do agente emissor, ao mesmo tempo que permite ao agente receptor ajustar seu planejamento local de modo apropriado para que metas comuns de planejamento sejam atingidas. As limitações de PGP foram enfocadas por [DEC95], criando um arcabouço genérico baseado em PGP denominado TAEMS para tratar problemas de tempo real (por exemplo, escalonamento com prazo de entrega) e meta-controle, que tem sido usado para avaliação de algoritmos de coordenação.

Um outro enfoque em planejamento cooperativo está centrado em modelar explicitamente o trabalho em equipe, o que é particularmente útil em ambientes dinâmicos onde membros da equipe podem falhar, tornando necessário que as equipes monitorem sua performance e se reorganizem de acordo com novas situações. O arcabouço de intenções conjuntas [COH90] enfoca a caracterização do estado mental de uma equipe, denominado de intenção conjunta. Uma equipe intenciona conjuntamente uma ação em equipe se os membros da equipe tiverem o compromisso conjunto de completar a ação em equipe, ao mesmo tempo que mutuamente acreditam que eles estão realizando a ação. O compromisso conjunto é definido como uma meta conjunta persistente. Para assumir tal compromisso, todos os membros da equipe precisam estabelecer crenças e compromissos mútuos apropriados, o que é feito através da troca de atos de fala de requisição (*request*) e confirmação (*confirm*). Este protocolo de compromisso sincroniza a equipe, pois todos os membros entram simultaneamente em um compromisso conjunto em relação a uma atividade de equipe.

O modelo SHAREDPLAN [GRO96], [GRO90] baseia-se na atitude mental de intenção que uma ação seja efetuada. A intenção é definida usando-se uma série de axiomas que dirigem o companheiro de equipe a realizar a ação ou iniciar uma comunicação que permita ou facilite a seus companheiros executar as tarefas atribuídas. Em [JEN95] foi apresentado um arcabouço denominado de responsabilidade conjunta baseado em um compromisso conjunto, uma meta conjunta de equipe, e um compromisso conjunto de procedimento em relação a um procedimento comum.

Cada vez mais, a ênfase em planejamento multi-agentes tem sido em comunicação e execução de ações de modo flexível em ambientes complexos e dinâmicos, incluindo agentes que podem ser hostis e não benevolentes [VEL97] e que possam apresentar bom desempenho em ambientes com freqüentes mudanças [KIN92].

ALOCÇÃO DE TAREFAS

A alocação de tarefas foi uma das primeiras questões a serem estudadas na pesquisa em IAD. Este é o problema de alocar recursos para resolução de problemas e responsabilidades a um determinado agente. Um possível enfoque é que o projetista faça previamente todas as alocações de tarefas, criando uma organização não adaptativa que não é apropriada para ambientes dinâmicos, abertos e com alto grau de incerteza. Um outro enfoque efetua a alocação de forma dinâmica e flexível. Esta questão foi tratada por Smith no Contract Net Protocol (CNP) [SMI80], onde agentes assumem dinamicamente dois papéis: (1) gerente ou (2) contratante. Dada uma tarefa a ser realizada, um agente primeiro verifica a possibilidade de decompô-la em subtarefas que possam ser executadas concorrentemente. Este agente, então, utiliza o protocolo para anunciar as tarefas que podem ser transferidas para outros agentes e aguarda propostas de agentes que possam executar quaisquer dessas tarefas. Um agente que receba um anúncio de tarefa pode responder com uma proposta para executá-la, indicando quão bem poderá fazê-lo. O agente que anunciou a tarefa coleta todas as propostas e atribui ao agente que apresentou a melhor proposta. O primeiro torna-se gerente e o segundo torna-se contratante para esta tarefa. O contratante, por sua vez, pode sub-contratar partes da tarefa que irá realizar, passando ele próprio a ser gerente das sub-tarefas. Este protocolo foi utilizado para controlar operações de chão de fábrica em [PAR87]. O protocolo CNP permite alocação dinâmica de tarefas, possibilita que agentes apresentem múltiplas propostas ao mesmo tempo e balanceamento natural de carga. Entretanto, há limitações como: ele não reconhece ou resolve conflitos, o gerente não informa a recusa de propostas, a execução de tarefas não é preemptiva e utiliza comunicação de modo intensivo. Foram apresentadas extensões ao CNP por Sandholm e Lesser [SAN95], onde são introduzidas penalidades por quebra de contrato e por [SYC97] onde flexibilizou-se os esquemas de contratação em ambientes com alto grau de incerteza.

RECONHECIMENTO E RESOLUÇÃO DE CONFLITOS

Devido a ausência de pontos de vista, conhecimento e controles globais, em SMA há o potencial para disparidades e inconsistências em metas, planos, conhecimentos, crenças e resultados de um agente. Para conseguir uma resolução de problemas coerente tais disparidades precisam ser reconhecidas e resolvidas. Entretanto, detectar e corrigir disparidades e conflitos usando apenas perspectivas locais é complexo e, visando reduzir estas dificuldades, os agentes podem usar modelos do mundo e de outros agentes. Entre os enfoques utilizados para resolver as disparidades encontramos:

- raciocínio evidencial e argumentação, onde seria possível construir argumentos em favor de uma perspectiva particular [LOU87], [HEW86], [KOR81], [LES81], ou onde seria possível construir argumentos persuasivos para mudar as intenções, crenças, preferências e ações de um "agente persuadido" [SYC90] de modo que planos e soluções efetivos possam ser produzidos.
- relaxamento de restrições, onde restrições conflitantes podem ser resolvidos através do relaxamento das mesmas [LIU97], [SYC91] ou através da reformulação do problema para eliminar as restrições [SYCA91]
- normas sociais que impõem algum tipo de padrão comum de comportamento. Quando a equipe adere a estas normas o conflito é evitado [CAS92].
- negociação: este é o enfoque mais comum para resolver disparidades em SMA. A negociação é vista como um método de coordenação e resolução de conflitos, sendo também usado como uma metáfora para a comunicação de mudanças de planos, alocação de tarefas ou resolução centralizada de violações de restrições. Algumas características necessárias ao uso de negociação para o desenvolvimento de aplicações, são:
 - a presença de algum tipo de conflito que precisa ser resolvido de modo descentralizado.
 - agentes não benevolentes (racionais) nas condições de:
 - racionalidade limitada
 - informações incompletas

Além disso, os agentes devem se comunicar e iterativamente trocar propostas e contra-propostas.

MODELAGEM DE OUTROS AGENTES

Os agentes podem aumentar a flexibilidade, a eficiência e precisão de suas capacidades de resolução de problemas se possuírem conhecimento sobre outros agentes ou se puderem modelar e raciocinar sobre estes. Assim, torna-se possível prever conflitos, interpretar, explicar e prever as ações de outros agentes e modelar seus conhecimentos, crenças e metas; permitindo que haja coordenação sem comunicação ou comunicação mais eficiente. Entre os diversos componentes típicos de modelos de agentes encontramos compromissos, competências, recursos, crenças, planos e conhecimento organizacional. Já foi mostrado a pouco como compromissos explícitos com atividade conjunta representam um aspecto fundamental dos modelos de trabalho em equipe. Por exemplo, no sistema RETSINA o compromisso de um agente de realizar uma tarefa não é comunicado explicitamente aos demais, mas divulgado implicitamente a um agente mediador. Tal divulgação representa o modelo do agente que a disponibiliza para a sociedade. Quando o agente é desativado, simplesmente informa o mediador sua saída da sociedade. Assim, nenhum agente possui modelos dos demais previamente armazenados: tais modelos são obtidos dinamicamente; o que é ideal para ambientes abertos como a Internet.

GERENCIAMENTO DE RECURSOS

Um outro aspecto crítico é a alocação efetiva de recursos limitados para múltiplos agentes. Entre os enfoques adotados para enfrentar esse problema encontramos técnicas advindas de pesquisa operacional e outras orientadas a mercado. No primeiro caso temos "busca com heurística de restrição distribuída" [SYC91], que combina busca descentralizada com satisfação de restrições e otimização. Outra metodologia, aplicada com sucesso em [LIU97] para resolver problemas de escalonamento de serviços com satisfação de restrições e otimização de restrições, faz uso de um grande número de agentes simples ao particionar as restrições e atribuí-las a classes de agentes especializados.

Mecanismos baseados em Economia para enfrentar problemas de alocação de recursos têm se tornado mais atraentes para pesquisadores em SMA devido a disponibilidade de modelos formais e seu potencial de aplicação no comércio baseado na Internet. Neste enfoque, assume-se que os agentes sejam racionais, visando maximizar sua utilidade (seus desejos e necessidades). Mecanismos de mercado foram usados, por exemplo, em [MUL96], [HUB95] e [SAN93].

Diversos problemas ocorrem em sociedades de agentes racionais: primeiro, agentes podem utilizar em demasia um dado recurso, causando congestionamento. Segundo, tais sociedades podem apresentar comportamento caótico ou oscilatório [THO98][HUB88]. Além disso, os agentes podem ser desonestos, visando aumentar suas próprias utilidades, o que pode prejudicar o desempenho geral da organização. O trabalho de [MYER89] apresenta técnicas que incentivam o agente a reportar a verdade.

ADAPTAÇÃO E APRENDIZADO

O aprendizado em ambiente multi-agentes é muito complexo devido ao fato do ambiente se alterar à medida que outros agentes aprendem [HUB88][KEP89]. Além disso, ações de outros agentes nem sempre são diretamente observáveis, e a ação tomada pelo agente aprendiz pode influenciar fortemente que faixa de comportamentos será encontrada [HU96].

Tem havido um interesse crescente na integração de aprendizado no processo de negociação, por exemplo em [SEN96]. O modelo BAZAAR [ZEN97] enfatiza aspectos de aprendizado num modelo econômico de barganhas composto por agentes racionais. Os agentes mantêm registros de suas interações e atualizam suas crenças usando atualização Bayesiana, após observar seu ambiente e o comportamento dos demais agentes negociadores.

APLICAÇÕES DE SISTEMAS MULTI-AGENTES

As primeiras aplicações de SMA apareceram em meados dos anos 80 e passaram, desde então, a cobrir uma grande variedade de domínios, desde a manufatura até o controle de processos, controle de tráfego aéreo e gestão de informação. Entre as diversas aplicações temos os seguintes exemplos:

- Monitoração distribuída de veículos [DUR96], [DUR87], [DUR89].

Um conjunto de agentes distribuídos geograficamente monitoram os veículos que passam por suas áreas respectivas, tentam produzir interpretações de quais veículos passam através da área global e rastrear a movimentação de veículos.

- Sistema de manufatura (YAMS) [PAR87].

Aqui, aplica-se o CNP para controle de manufatura. Uma empresa é modelada como uma hierarquia de células de trabalho funcionalmente específicas. As células são agrupadas em sistemas flexíveis de manufatura (FMS) que coletivamente constituem uma fábrica. O objetivo do sistema é gerenciar eficientemente o processo produtivo destas fábricas. Para tanto, cada fábrica e seus componentes são modelados como agentes que possuem uma coleção de planos representando suas competências. O protocolo CNP permite que ordens de produção sejam delegadas a fábricas individuais, daí para um FMS, e posteriormente, para células individuais de trabalho.

- Controle de Processos.

Em [JEN95] é apresentada ARCHON, uma plataforma para construir SMAs associada a uma metodologia para construção de aplicações, que foi utilizada em diversas aplicações de controle de processos, incluindo gerenciamento de transporte de energia e controle de acelerador de partículas.

Outros sistemas foram construídos para monitorar e diagnosticar falhas em usinas nucleares [WAN97], controle de veículos espaciais [SCH93] e controle de clima [HUB95].

- Controle de tráfego aéreo.

Em [LJU92] é descrito o sistema OASIS. Neste sistema, agentes são usados para representar aeronaves e os diversos sistemas de controle de tráfego aéreo em operação. Quando uma aeronave entra no espaço aéreo controlado pelo sistema, um agente é instanciado com informações e objetivos correspondentes à aeronave do mundo real. Agentes de controle de tráfego aéreo são responsáveis por gerenciar o sistema.

- Sistema de Gerência de Carteira Financeira

O sistema WARREN [SYC96] integra localização e filtragem de informações da Internet no contexto de apoiar um usuário a gerenciar sua carteira. O sistema consiste de agentes que cooperativamente se auto-organizam para monitorar e rastrear ações, notícias do mercado financeiro, relatórios de analistas financeiros e relatórios de ganhos de empresas; apresentando ao proprietário da carteira uma imagem financeira constantemente atualizada.

- Telecomunicações

Há uma variedade de aplicações de SMA em telecomunicações, uma delas [WEI94] utiliza agentes negociadores para enfrentar o problema de características distintas de interação, onde agentes representam diferentes entidades interessadas em estabelecer uma chamada. Quando são detectados conflitos, os agentes negociam entre si, de modo que uma configuração aceitável para a chamada possa ser estabelecida. Além disso, outros problemas para os quais SMA foram construídos incluem controle de rede, transmissão e chaveamento, gerenciamento de serviço e gerenciamento de rede.

SIMULAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

Nesta seção são apresentados diversos trabalhos recentes envolvendo a simulação de organizações com uso de sistemas multi-agentes. É importante destacar que nesse trabalho, estamos interessados em um tipo específico de organização: as empresas ou corporações, embora existam diversos exemplos na literatura sobre simulações de organizações não humanas, como formigueiros, etc. utilizando SMA [FER96],[DRO95], [LAL95].

De acordo com [YOS93], um modelo computacional descreve uma classe de sistemas em termos de um conjunto de operações, descritas em termos computacionais, sobre entidades. Este modelo pode descrever a estrutura e comportamento (tal como é determinado pela estrutura) do sistema [NEW93].

Um modelo computacional pode, então, ser usado como uma ferramenta de pesquisa em experimentos de simulação com custos mais baixos e requerendo menos tempo e esforços que os utilizados por experimentos utilizando o sistema real [STA88]. Adicionalmente, tal ferramenta é particularmente útil nas situações em que os dados são insuficientes ou inacessíveis, por exemplo, devido aos altos custos ou falta de condições de segurança para efetuar experimentos.

Além disso, a modelagem computacional tem a capacidade de construir uma teoria gerando proposições a serem testadas e de integrar proposições teóricas distintas em um modelo único, o que permite a obtenção de novos resultados não previstos.

A presença de tais características torna a modelagem computacional uma metodologia de pesquisa muito útil para modelar sistemas humanos, especialmente envolvendo aspectos cognitivos. De fato, a modelagem computacional é uma metodologia particularmente adequada para o estudo do trabalho em equipe, pois obriga os pesquisadores a especificarem claramente os relacionamentos entre as entidades e a serem sistemáticos ao descrever o comportamento dos membros da equipe como indivíduos e como uma entidade coletiva [CAR94].

Adicionalmente, há analogias entre IAD e grupos humanos, pois ambos envolvem arranjos de inteligência distribuída em paralelo visando a resolução de problemas utilizando múltiplos agentes [MAS90]. Além disso, as propriedades de grupos humanos e sistemas IAD não são representadas ou derivadas exclusivamente a partir das propriedades individuais dos seus membros ou agentes [CHA92]; e ambos enfrentam os mesmos problemas de alocação de recursos, tarefas e informações para conjuntos de inteligência [FOX91].

Tais analogias fundamentam o argumento de que sistemas IAD poderiam servir como modelos de grupos humanos, e, nesse sentido, IAD serve como um ramo experimental de Ciências Organizacionais [CRO92].

Considerando-se a tomada de decisão como um comportamento cognitivo e, portanto, redutível a um comportamento de resolução de problemas, a tomada de decisão em equipe pode ser vista como uma resolução distribuída de problemas. Portanto, um sistema IAD pode ser usado para modelar o processo de resolução distribuída de problemas, baseando-se em conhecimento local e nas atividades locais de resolução de problemas de cada membro individual.

A simulação utilizando agentes artificiais fornece um ambiente onde uma série de conceitos teóricos podem ser incorporados em modelos destinados à avaliação por meio de simulação. Adicionalmente, tais modelos requerem uma descrição detalhada das capacidades cognitivas, interações, arranjo de equipe e tarefas dos membros da equipe. Assim, estes modelos permitem aos pesquisadores estudar de modo analítico as relações complexas que caracterizam equipes e organizações.

Os trabalhos sumarizados a seguir apresentam estudos direcionados a diversos aspectos que afetam de maneira crítica o funcionamento da organização e seus processos de negócio, como por exemplo, a simulação de processos, reengenharia de processos, estudo do workflow da empresa e da gestão da cadeia de suprimentos, integração da organização com o ambiente e os efeitos das diversas tecnologias da informação sobre a organização.

MODELANDO A TOMADA DE DECISÃO EM EQUIPE

De acordo com o trabalho de [KAN98], uma equipe é um grupo compartilhando algo, em geral, uma meta ou propósito. A equipe é composta por membros altamente diferenciados e interdependentes com liderança compartilhada, responsabilidades e atribuições individuais e coletivas. Tanto quanto indivíduos, equipes também tomam decisões. O processo porém, se desenvolve de modo diferente: são utilizadas múltiplas inteligências, frequentemente dividindo o problema em subproblemas menores que serão posteriormente integrados para a obtenção da solução da equipe. Uma equipe adiciona mais informação, conhecimento e capacidade de raciocínio a situação de problema.

A equipe é modelada usando TEAM-SOAR. TEAM-SOAR é um modelo computacional de Inteligência Artificial Distribuída composto por um grupo de agentes de IA inter-conectados. O modelo SOAR [NEW90] é usado para modelar membros individuais e a técnica SOAR multi-agentes é utilizada para modelar a equipe coletivamente.

A equipe é composta por um líder e várias unidades, capturando a descrição de equipe e uso iterado e distribuído de informação entre membros, de modo a obter uma decisão em equipe. São construídas hipóteses sobre comportamento de equipe, desenvolvidos experimentos e feitas análises estatísticas. Os autores afirmam que modelos computacionais podem prover perspectivas difíceis de se capturar no mundo real, podem gerar perspectivas novas e inesperadas, e podem ser úteis como um estágio anterior a experimentos realizados com pessoas.

O artigo mostra que mais informação não leva necessariamente a melhores decisões, e que o desempenho em equipe foi melhor que os desempenhos individuais.

CONFIANÇA E CIÊNCIA ORGANIZACIONAL

No trabalho de [CAR98], é criada e examinada uma nova entidade: o WebBot. Um WebBot é um programa de computador que opera de modo autônomo para realizar uma tarefa como um conselheiro intelectual e assistente a um parceiro humano (ou outros WebBots). Entre os exemplos de aplicações dos WebBots temos: monitoração de eventos intra-redes entre uma série de terminais, manutenção de uma lista atualizada de encontros recentes, observação de bases de conhecimento corporativas e verificação de discos de empregados de uma organização em busca por vírus. Os WebBots não são realmente uma novidade; já existem a algum tempo e podem ser vistos como agentes generalizados. A novidade está na forma de se pensar a seu respeito e examinar seus comportamentos sociais e de confiança. Eles são membros da organização que agem, se comunicam, se lembram e requerem coordenação. A questão específica estudada envolve os efeitos da honestidade do WebBot em relação ao comportamento organizacional individual e coletivo. Neste artigo é desenvolvida uma nova perspectiva do que significa organização em um mundo de informação.

A arquitetura SOAR [NEW90] é a plataforma para o modelo. Esta arquitetura é orientada ao raciocínio simbólico, onde tarefas são representadas como busca em espaços de problemas, visando atingir metas. O conhecimento é representado como regras de produção compostas por uma condição antecedente e por ações conseqüentes.

Os WebBots também possuem memória social (sobre interações passadas e como foi a experiência), regras de engajamento social (se ele falará a verdade ou não), e julgamento social. Julgamento social é uma atribuição de classificação de confiabilidade que deriva da avaliação da confiabilidade verificada em interações passadas com outros WebBots.

O arranjo do experimento variou dois parâmetros: o tamanho da organização e a honestidade dos WebBots. Diversas medidas de resultados foram utilizadas e alguns resultados intrigantes foram obtidos. Agentes desonestos inicialmente reduzem o tempo total para completar uma tarefa, entretanto, posteriormente o tempo começa a aumentar com uma organização de tamanho maior. O mesmo se verifica para agentes honestos. Observa-se que com o aumento do tamanho da organização, os WebBots enfrentam um maior tempo de espera e comunicação; e ambos passam a dominar o tempo total. Entretanto, o esforço médio do WebBot diminui, como seria esperado. Na verdade, ao longo do tempo, WebBots honestos fazem mais perguntas enquanto aprendem mais, enquanto WebBots desonestos passam a perguntar menos. Será que WebBots se comportam como humanos? Quais são as implicações? Estas são questões intrigantes, levantadas a partir deste trabalho.

O artigo apresenta também uma conjectura sobre uma futura forma de ciência organizacional. Tal ciência se baseia em simulações computacionais de organizações concebidas em computador e compostas por agentes artificiais inteligentes e adaptativos. Conseqüentemente, a simulação de uma organização de WebBots é a organização por si só e o WebBot é o mundo real.

COMUNICAÇÕES E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO EM ORGANIZAÇÕES

O artigo de [KAP98] apresenta em sua introdução uma argumentação de que a modelagem computacional pode ser superior à pesquisa experimental e de campo, a qual é necessariamente limitada em sua liberdade para explorar além de valores de parâmetros normalmente aceitos e observados, e também de tecnologias conhecidas – o que as torna muito restritivas para a avaliação de tecnologias novas e "futurísticas" em comunicações e informações. A tecnologia *wearable* integra computação, voz, e tecnologia de visão, simultaneamente. Aqui métodos computacionais fornecem plataformas alternativas para experimentação que podem levar a melhores respostas a custos experimentais mais baixos, particularmente, para interações complexas entre diversos componentes. Isso é análogo a uma simulação de vôo, onde um indivíduo pode aprender a voar, testar os limites da aeronave e provocar acidentes sem conseqüências mais sérias.

O propósito dos autores é entender melhor as complexidades de tomada de decisão individual, e também as organizações e a tecnologia de informação, para prever os efeitos de novas tecnologias de informação sobre o desenho organizacional. O modelo COMIT é um pequeno modelo organizacional que captura estas complexidades. Este é um modelo de processos que especifica tarefa, agente, ação, tecnologia de informação e parâmetros de saída. A tarefa pode ser especificada em termos de subtarefas e que passos podem ser omitidos ou não. Os agentes são caracterizados por papéis, experiência, e probabilidade de omitir tarefas. As ações incluem escolhas de informação (como a busca, por exemplo) bem como ações físicas. Agentes podem fazer escolhas e aprender. A tecnologia de informação é caracterizada em termos de apresentação, transmissão e alternativas de recuperação.

O resultado é o desempenho organizacional para a organização especificada. Uma vez que o programa não é determinístico, é adotado um enfoque do tipo Monte Carlo e amostras são então usadas para testar os efeitos da variação de parâmetros tecnológicos em tarefas individuais e colaborativas. Os resultados mostram interdependências que regras obtidas com a experiência prática não conseguem capturar. Tais descobertas são provavelmente ainda mais difíceis de serem realizadas através da análise independente de parâmetros ou de modelos muito complexos, onde é difícil reconhecer as relações.

O COMIT é um modelo explícito de tecnologia de informação que associa a escolha de tecnologia à utilização real da organização em trabalho individual e coletivo.

MODELANDO, SIMULANDO E EXECUTANDO PROCESSOS ORGANIZACIONAIS COMPLEXOS

A meta deste trabalho [SCA98] é estudar como integrar uma coleção heterogênea de tecnologias de informação de modo coerente, escalável e evolutivo, tendo como objetivo final suportar a engenharia dos processos organizacionais por meio de seus ciclos de vida. Os processos são fundamentados em desenvolvimento incremental, refinamentos iterativos e evolução contínua de descrições de processos organizacionais. O ciclo de vida do processo organizacional é visto como um esforço dinâmico de equipe, envolvendo uma longa lista de processos que incluem: meta-modelagem, modelagem, análise, simulação, visualização, prototipação, apoio com revisão e treinamento, administração, integração, geração de ambiente, instanciação e execução, monitoramento, registro e auditoria, captura de histórico e reexecução, articulação e evolução.

A ferramenta utilizada para modelagem, análise e simulação é denominada ARTICULATOR e faz uso de uma representação de conhecimentos orientada a objetos e baseada em regras para modelar classes inter-relacionadas de recursos organizacionais, representando uma teoria de processos organizacionais baseada em recursos.

O meta-modelo de processo se baseia numa taxonomia de recursos e fornece um arcabouço ontológico e um vocabulário para a construção de modelos de processos organizacionais. A análise se baseia em funções computacionais que avaliam se os modelos de processos são consistentes, completos e corretos internamente. A simulação corresponde à execução simbólica dos modelos de processos, uma vez que esses são descrições computacionais.

Os agentes executam tarefas usando ferramentas e sistemas que consomem ou produzem recursos. A simulação reflete as tarefas de um processo e permite a modelagem dinâmica para diferentes amostras de valores de parâmetros. A partir daí, diversos experimentos sobre conjecturas do tipo “e se?” são realizáveis. Como consequência, a construção e o redesenho são gerados para posterior implementação num processo contínuo.

CONDIÇÕES EXTERNAS E PERFORMANCE DE TOMADA DE DECISÃO

O trabalho de [LIN98] se concentra no entendimento e desenho de organizações de alta confiabilidade. Uma organização complexa ou a existência de informação de alta qualidade não são suficientes. A perspectiva utilizada é a de que modelos de simulação são ferramentas para examinar outras possibilidades organizacionais. O autor examina os efeitos de condições externas na performance de tomada de decisão em situações onde nós estamos interessados em evitar

enganos severos. A motivação particular vem de situações de confronto armado; uma tarefa de radar estilizada captura as principais características da situação de decisão. Esta é uma generalização da teoria da contingência clássica - o efeito do ambiente sobre a performance organizacional e suas implicações sobre a estrutura.

A análise é efetuada por meio de um modelo computacional, permitindo que sejam estudados diversos fatores que afetam o desempenho das organizações em ambientes dinâmicos.

O modelo computacional DYCORP é utilizado neste trabalho por englobar aspectos de desenho organizacional, ambientes de tarefas e tensões, com enfoque no processo decisório e no processamento de informações no âmbito da organização. Neste modelo, as tarefas são operacionalizadas como um radar estilizado. Os problemas enfrentados pela organização são vistos como aeronaves - caracterizadas por parâmetros – movimentando-se sobre o espaço aéreo da organização. São utilizados nove analistas, em uma atividade distribuída, para acessar cada parâmetro através de estruturas de acesso a recursos.

Nenhum parâmetro isolado reflete o estado da aeronave como um todo. A organização precisa definir esse estado entre: amigável, hostil ou neutro. Isto deve ser feito antes que a aeronave atinja um ponto de perigo ou que o tempo limite para a tomada de decisão tenha se esgotado. Como esta é uma tarefa dinâmica, a pressão dos prazos para tomada de decisão irá variar. Esta pressão é representada no modelo pelo número de unidades de tempo para tomada de decisão. Tal número é determinado pela quantidade de unidades atribuída ao problema e pela quantidade necessária para uma decisão antes que a área de perigo seja atingida.

Neste modelo, o processo decisório se baseia em consenso, obtido através de votação. Uma vez que cada agente na organização tem acesso a uma quantidade limitada de informações, a decisão final depende de comunicação e coordenação entre os agentes.

Para examinar as conseqüências de diferentes fatores no desempenho do processo decisório organizacional, são consideradas três variáveis dependentes e quatro variáveis independentes.

As variáveis dependentes referem-se à acuracidade das decisões e como diferentes tipos de erros são cometidos. As variáveis são as seguintes:

- percentual de decisões corretas: corresponde à acuracidade da decisão organizacional.
- percentual de erros tipo-1: mostra o quanto a organização interpreta os problemas como mais amigáveis do que realmente são.
- percentual de erros tipo-2: mostra o quanto a organização interpreta os problemas como mais hostis do que realmente são.

As variáveis independentes referem-se em grande parte à capacidade de sobrevivência da organização. As variáveis são:

- Ambiente de tarefas: corresponde ao conjunto de todas as “aeronaves” possíveis.
- Pressão de prazos: diferentes pressões de prazos causam restrições no processo decisório da organização e podem afetar a frequência e a qualidade da comunicação entre agentes e dos seus procedimentos decisórios.
- Estrutura organizacional: determina como a organização controla e coordena as atividades de seus membros, causando forte impacto no desempenho organizacional.
- Estrutura de acesso a recursos: determina a distribuição de informação não filtrada para os analistas da organização.

O arranjo experimental sistematicamente varia a pressão de tempo e o desenho organizacional e então observa o efeito nas decisões resultantes. Os resultados vão além da noção geral de contingência e adicionam tanto precisão quanto qualificação - para uma organização atingir alta performance, deve adotar um desenho organizacional adequado ao ambiente da tarefa. Para situações de pequena ou extrema pressão de tempo, o desenho organizacional tem pouco impacto. Entretanto, para pressão moderada de tempo, e performance de acuracidade ou de erros tipo-1, o desenho faz diferença, podendo indicar que muitos dos estudos de campo tenham sido conduzidos para situações de pressão moderada de tempo. A questão requer exploração adicional, tanto por métodos computacionais quanto por estudos de campo. Ainda assim, estes tipos de experimentos controlados são difíceis de replicar nos estudos de campo. Enfoques computacionais podem levar a novas perspectivas e adicionar precisão à teoria que de outra forma não teria sido possível.

ESFORÇOS VARIÁVEIS E COOPERAÇÃO SUSTENTÁVEL

No artigo de [HUB98] é investigado o dilema social de gerar cooperação voluntária entre indivíduos confrontados com opções conflitantes de tempo e esforço. O dilema é que o indivíduo pode ajudar a criar um bem público, o qual é compartilhado por muitos, mas onde os custos individuais desestimulam o esforço. O indivíduo pode escolher por tirar proveito dos esforços dos outros. Esta questão é fundamental e está no coração do comportamento cooperativo em grandes organizações, movimentos políticos e na adoção de novas tecnologias. De fato, esta é uma questão fundamental para a manutenção da sociedade moderna, podendo justificar porque esta não se desfaz em anarquia. Cientistas políticos e teóricos organizacionais, entre outros, estão interessados nessa questão, que é guiada por nosso interesse em encontrar meios de produzir melhores organizações e sociedades.

O modelo apresentado é dinâmico e os esforços dos indivíduos variam com o tempo, o que pode ocorrer devido uma variedade de motivos, tanto propositais quanto aleatórios. O indivíduo pode participar da atividade cooperativa ou recusar-se ao trabalho em grupo. Esta escolha é influenciada pelas expectativas do indivíduo e por imitação: a cooperação estimula a cooperação, e a recusa encoraja a recusa. Esta variação de esforços pode ser uma causa de percepção enganosa no indivíduo do real nível de cooperação e, assim, fazê-lo comportar-se de modo a causar uma mudança no nível de equilíbrio entre a opção pela cooperação mútua e a opção pela recusa em colaborar.

O arranjo experimental é relativamente simples, ou seja, envolve observar o comportamento e resultados da simulação dinâmica com o passar do tempo. A flutuação tem um resultado paradoxal: a utilidade média percebida por qualquer indivíduo decresce com o tempo, muito embora as medições mostrem que o esforço médio permanece o mesmo. As flutuações devem ser esperadas e não consideradas uma exceção. As dinâmicas de expectativas e esforço geram uma interação que diminui a quantidade de bem público com o tempo. Esta percepção contribui para a nossa compreensão do fenômeno cooperativo uma vez que é provável que este também seja observado no mundo real.

Huberman e Glance argumentam em favor de simplicidade e equilíbrio do modelo. Tais quesitos dirigem a modelagem e produzem perspectivas que podem ser difíceis de serem descobertas em modelos mais complexos e no mundo real.

Com o propósito de verificar estas predições, as simulações em computador apresentam vantagens sobre experimentos sociais, uma vez que as variáveis e parâmetros podem ser precisamente especificadas. Embora simulações em computador sejam substitutos imperfeitos para as dinâmicas sociais reais, sua relativa simplicidade e clareza de resultados podem ser usados como sinais de que os fenômenos observados podem ocorrer em situações sociais reais, em particular, naquelas situações onde o comportamento médio avaliado refletindo ações coletivas parece estar em desacordo com o que membros típicos do grupo estão fazendo.

Como Burton e Obel [BUR95] argumentam, isto é uma base para a validação do modelo e indica porque nós podemos e devemos utilizar o poder de modelos computacionais de organização.

Neste artigo, os processos organizacionais são bem definidos, os processos e resultados organizacionais são observados com o decorrer do tempo para avaliar a relação entre processo e efeito. Aprendemos com as mudanças ao longo do tempo e podemos fazer observações mais sutis do que as que seriam possíveis em modelos estáticos similares.

SIMULAÇÃO E AMBIENTE DE TAREFAS

Em [DECK98], o projeto de organizações ou outros mecanismos de coordenação para grupos de agentes dependem, de diversas formas, do ambiente de tarefas dos agentes. Entre estas dependências, destacam-se a estrutura das tarefas e a incerteza associada a estas estruturas. De fato, estas dependências são importantes quer o sistema seja composto apenas por seres humanos, apenas por agentes artificiais, ou por uma combinação de ambos.

A estrutura de uma tarefa é composta pelo escopo dos problemas a serem enfrentados pelos agentes, pela complexidade das escolhas a serem efetuadas pelos agentes, e pelos tipos específicos e padrões de inter-relacionamentos existentes entre as tarefas. As incertezas, por exemplo, envolvem as ações dos demais agentes e os resultados das ações do próprio agente.

Adicionalmente, o projeto de mecanismos de coordenação também depende de características do ambiente, não associadas diretamente a tarefas, tais como os custos de comunicação entre agentes, e propriedades peculiares dos agentes. Assim, qualquer teoria computacional de coordenação requer a representação e a inferência sobre o ambiente das tarefas.

Para efetuar as análises, modelagens e simulações utilizou-se do arcabouço TAEMS (*Task Analysis, Environment Modeling, and Simulation*) que é adequado para modelar e simular ambientes complexos, computacionalmente intensivos em múltiplos níveis de abstração e pontos de vista. Os níveis de abstração incluem: a tarefa de grupo, que contém todas as tarefas que possuem inter-relacionamentos computacionais explícitos; a tarefa, que é um conjunto de métodos executáveis; e os métodos executáveis, que representam entidades escalonáveis. Quanto aos pontos de vista, temos: um modelo generativo de episódios de resolução de problemas em um ambiente; uma visão objetiva das estruturas reais e instanciadas das tarefas; e uma visão subjetiva dos agentes em relação à realidade objetiva.

Este arcabouço permite que sejam representados problemas de coordenação de modo formal e independente de domínio de aplicação, e não utiliza um modelo único de agentes.

Um modelo, neste arcabouço, fornece informações sobre a estrutura e demais características das tarefas em um ambiente, e sobre quais informações relativas às tarefas são conhecidas e que ações podem ser tomadas pelos agentes enquanto exercem certos papéis organizacionais ou quando dispõem de algumas habilidades específicas. Adicionalmente, os modelos de ambientes de tarefas são compatíveis com muitos modelos freqüentemente usados de estruturas internas de agentes.

Decker descreve em linhas gerais o enfoque TAEMS de modelagem e fornece uma quantidade de exemplos ilustrativos, com aplicações para escalonamento hospitalar, gerenciamento de recursos em serviços aéreos e coleta de informações na Internet, entre outros.

O modelo provê um arcabouço e plataforma para uma vasta gama de investigações e estudos e tem sido usado primariamente para operacionalizar computacionalmente diversos aspectos de teoria organizacional textual e para estudar seu impacto no projeto de sistemas distribuídos de computação.

TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E LEMBRANÇA/ESQUECIMENTO COLETIVO

Neste trabalho, Sandoe [SAND98] demonstra como a simulação pode ser usada para explorar hipóteses sobre como organizações se lembram e esquecem. Em particular, queremos aprender como a tecnologia da informação pode influenciar estes processos.

A memória organizacional fornece uma compreensão mútua onde agentes humanos racionais mantêm continuidade espacial e temporal; seu propósito é guiar e orientar. O processo envolve lembrar-se, o que pode ser visto em três estágios: reconhecimento, resolução, e avaliação. São apresentadas três formas de memória: memórias estruturais, tais como normas, papéis e convenções de comportamento; memórias mútuas em relacionamentos entre pessoas; e memória tecnológica. Cada forma de memória tem três estruturas mnemônicas: hierarquia, rede e concentrador. O ambiente e sua turbulência fornecem o contexto para o modelo.

O esquema computacional é simples. O ambiente turbulento gera uma corrente de eventos que resulta em contratações e demissões da força de trabalho (*turnover*). Os custos envolvidos são de dois tipos: de produção e de coordenação, onde coordenação inclui mensagens e busca. O sucesso é a capacidade de lidar com a situação e a performance é medida em termos de ganho e lucro. As formas mnemônicas são cuidadosamente declaradas para refletirem estruturas e processos correlacionados do mundo real.

Sandoe relaciona seus resultados à teoria organizacional. Hierarquias foram sensíveis a turbulências, porém menos afetadas por *turnover*; as redes foram menos sensíveis a turbulências, porém mais afetadas por *turnover*; e finalmente, concentradores foram razoavelmente afetados por ambos. A tecnologia da informação é usada de modo diferente pelas três formas mnemônicas e apresenta efeitos variados. Estes resultados incorporam questões de tecnologia da informação em teoria organizacional e adicionam precisão às noções de contingência.

DESENHANDO ORGANIZAÇÕES PARA AGENTES COMPUTACIONAIS

So e Durfee [SO98] estão preocupados com o desenho e a capacidade de auto-desenho de organizações, que incluem humanos ou agentes computacionais. Os agentes são comunicativos, autônomos, e computacionais. A confiabilidade é uma preocupação central, particularmente, onde os agentes tendem a ter vida mais curta na organização que a própria organização. De modo mais geral, eles querem compreender o espaço de desenho para diferentes organizações compostas por diferentes populações de agentes, tarefas distintas e várias metas de performance.

Duas perspectivas teóricas de organização são utilizadas para definir um arcabouço que descreva o problema do desenho organizacional: a teoria da contingência, que destaca a importância da correspondência organização-ambiente; e a teoria sócio-técnica, que vê organizações como sistemas tanto sociais quanto técnicos.

Seu modelo inclui a especificação do ambiente de tarefa, a estrutura da organização, e os requisitos de comportamento e performance da confiabilidade. Entretanto, é grande a dificuldade para a criação de estratégias visando o auto-desenho.

Para que uma organização seja capaz de realizar auto-desenho, são necessárias, pelo menos, as seguintes tarefas:

- Monitorar a eficiência da estrutura organizacional em dirigir as atividades organizacionais. São necessários: um conjunto de parâmetros de performance e fórmulas para seu cálculo.
- Desenhar novas estruturas organizacionais adequadas à nova situação. As estruturas organizacionais precisam ser especificadas parametricamente.
- Avaliar, usando uma medida de performance, organizações possíveis e selecionar uma.
- Implementar a nova estrutura.

A tarefa de auto-desenho pode ser desempenhada por um único agente, ou alternativamente, todos os agentes poderiam estar incumbidos de sub-tarefas da tarefa global.

O sistema de monitoração distribuída de rede fornece um meio para desenvolver o problema.

Os autores afirmam que o trabalho futuro requer o refinamento da função de auto-desenho e o esforço de incrementá-la. As seguintes questões são fundamentais: quanto esforço devem os agentes gastar em monitoração e redesenho? Como evitamos que os agentes gastem muito tempo monitorando e redesenhando a organização e nunca realizando realmente o trabalho produtivo? E, finalmente, deveria o redesenho ser delegado a um grupo especial?

UMA ONTOLOGIA ORGANIZACIONAL PARA MODELAGEM DE EMPRESAS

Fox, et. al [FOX98] exploram uma ontologia organizacional para o modelo de empresas TOVE, que liga estrutura e comportamento através do conceito de atribuição de poder (*empowerment*). *Empowerment* é o direito de um agente organizacional de executar ações de mudança de estado (*status*). Esta é uma perspectiva de IA sobre organização como um sistema de informação. Este modelo de segunda geração de engenharia de conhecimento se concentra em definir a competência de uma ontologia - seus objetos, atributos e relações. Os autores, então, especificam as definições e restrições que são representadas em *Prolog*. A competência é testada com axiomas *Prolog*. A ontologia deve conter um conjunto de axiomas necessários e suficientes para representar e resolver as questões de validação da competência, e nesse sentido, a ontologia fornece ao sistema uma semântica declarativa.

A gestão de cadeia de suprimentos fornece uma aplicação de mundo real e contexto para esta pesquisa. Os autores querem estender o MRP (*Manufacturing Resources Planning*) para incluir logística e engenharia concorrente.

A competência da ontologia organizacional é definida em termos de estrutura e comportamento. A competência estrutural inclui quem são os membros, quais são as posições, quem ocupa qual posição, quem se comunica com quem, que tipo de informação é comunicada, e quem se reporta a quem. A competência de comportamento inclui as metas tanto para a organização, quanto para o papel na organização e para a pessoa. A atribuição de atividades e recursos necessários para que as metas sejam atingidas fazem também parte da competência de comportamento. Adicionalmente, a competência de autoridade, poder e compromisso envolve a definição de quais recursos uma pessoa pode atribuir a outros, das suas permissões para desempenhar atividades e quais destas estão no âmbito da autoridade dessa pessoa.

Uma organização é um conjunto de restrições sobre as atividades executadas pelos agentes; estes usam recursos para atingir metas. A organização é composta por um conjunto de divisões numa definição recursiva, um conjunto de agentes organizacionais, um conjunto de papéis que os membros desempenham e uma árvore de metas especificando que metas e sub-metas os agentes tentam atingir.

A interação entre agentes ocorre em três níveis:

- O primeiro nível corresponde ao conteúdo da informação transmitida entre agentes, que pode ser uma proposição ou fato.
- O segundo nível especifica as intenções dos agentes, com base na teoria de atos da fala. O mesmo conteúdo pode ser transmitido com diferentes intenções.
- No terceiro nível temos as convenções compartilhadas pelos agentes ao se comunicarem. A existência destas convenções permite que os agentes se coordenem de modos complexos, por exemplo conduzindo negociações sobre suas metas e ações.

As ontologias são visões compartilhadas de domínios, fornecendo conceitos acordados pelos agentes envolvidos em atividades e processos decisórios colaborativos. Estas ontologias apresentam a perspectiva de organizações como agentes desempenhando papéis e atuando para atingir metas específicas e respeitando as restrições existentes.

A formalização da ligação entre estrutura e comportamento através da atribuição de poder (*empowerment*) é fundamental para a unificação do modelo de empresa e sua executabilidade.

GESTÃO COLABORATIVA DE ESTOQUES EM CADEIA DE SUPRIMENTOS

O trabalho de [FU00] endereça um enfoque preliminar em gestão colaborativa de estoques em cadeias de suprimentos, utilizando tecnologia de Sistemas Multi-Agentes em termos de modelagem e simulação. O modelo proposto de apoio para gestão de cadeia de suprimentos (GCS) pretende redefinir as atividades de cadeia de suprimentos em termos orientados a processos. Como consequência, são produzidas soluções inovadoras de negócios em integração de processos não somente internamente, mas também entre organizações. Além disso, isto permite implementar um infra-estrutura mais sofisticada e avançada que suporte atividades de processamento distribuído de informações e tomada de decisão por toda a empresa e entre empresas, objetivando efetuar a gestão integrada da cadeia de suprimentos. Esta estrutura avançada se baseia em tecnologia de Sistemas Multi-Agentes. Esse modelo de apoio utiliza como base o modelo de referência de processos *Supply-Chain Operations Reference Model* (SCOR) criado pelo *Supply-Chain Council* (SCC - <http://www.supply-chain.org>). No modelo proposto há vários tipos de agentes envolvidos, cada um possuindo seu conhecimento, interesses, informação de estado, manipuladores de mensagens, executores de processos e políticas. Os agentes comunicam entre si usando a linguagem KQML.

Dos três tipos de fluxos normalmente encontrados em GCS, de material, informação e financeiro, o modelo representa os dois primeiros. O fator primordial para colaboração é o compartilhamento de informações entre os agentes. Os agentes auxiliam uns aos outros fornecendo espontaneamente resultados parciais, baseados em diferentes perspectivas do problema global. Em contrapartida, o maior volume de interações entre agentes ocorre através do compartilhamento de tarefas.

O modelo proposto é validado utilizando-se um caso de montagem de computador pessoal. Em seguida, o modelo é refinado e estendido em um arcabouço para gestão colaborativa de estoque. Este arcabouço visa sincronizar a tendência de consumo e sincronizar as decisões de estoque ao longo da cadeia de suprimentos.

MODELAGEM DE WORKFLOW ORIENTADA A AGENTES

A gestão de *workflow* é considerada hoje uma das tecnologias chave para que as organizações tornem-se mais eficientes. A tarefa de *workflow* consiste em descrever a coordenação e desempenho do trabalho realizado em uma organização. O objetivo do trabalho de [YU99] é explorar um novo arcabouço conceitual orientado a agentes e baseado em papéis para modelagem de *workflow*. Neste trabalho processos de negócios são vistos como uma coleção de agentes autônomos, solucionadores de problemas, que interagem com outros quando interdependências ocorrem. Além disso, o *workflow* é modelado como um conjunto de papéis relacionados. Papéis são definidos em termos de metas, qualificações, obrigações, permissões, protocolos, etc. . São adotados protocolos para governar as interações entre papéis. Aos agentes são atribuídos papéis baseados na avaliação de qualificações e capacidades.

O comportamento de um agente é consequência de seus estados mentais, tais como intenções, crenças, metas, capacidades, compromissos, etc. Papéis são definidos como uma coleção de deveres, que são modelados como obrigações; e direitos, que são modelados como permissões.

Uma vez que um papel tenha sido atribuído a um agente, o agente herda as obrigações e permissões específicas desse papel. A coordenação do *workflow* é obtida através da comunicação entre os agentes.

Como consequência do fato de papéis representarem um mecanismo importante na construção de agentes organizacionais, o processo de modelagem do *workflow* torna-se similar ao processo de desenho organizacional.

SIMULAÇÃO DE LEILÕES DINÂMICOS

Em [MIZ00] são descritas simulações de leilões *online* típicos, onde a duração é pre-fixada, e o segundo preço mais alto é continuamente anunciado e determina o pagamento do ganhador. Foram modelados agentes de dois tipos, correspondendo a idealizações e simplificações do que se observa na prática: *early bidders*, que podem dar lances em qualquer momento durante a duração do leilão, e *snipers*, que esperam até os últimos momentos do período para fazer lances. Assim, pode-se estudar as interações dos dois tipos de participantes durante a duração dos leilões e os efeitos das duas estratégias sobre a probabilidade de ganho, o preço final e a formação de preço de consenso em leilões iterados. Os resultados mostraram que *early bidders* podem vencer um leilão com um preço final mais baixo em média que os *snipers*, porém com menor frequência; a estratégia de retardar lances é efetiva; em leilões iterados, ajuste por retro-alimentação de parâmetros motivacionais pode levar a um preço efetivo de consenso, com pequena flutuação.

MODELANDO PROCESSOS INDUSTRIAIS

Em [BRA96] é apresentado um arcabouço declarativo de modelagem composicional, denominado de DESIRE, projetado para modelar Sistemas Multi-Agentes intensivos em conhecimento. Este arcabouço suporta a especificação de conhecimento, interação e coordenação de tarefas complexas e capacidades de raciocínio. Nesta perspectiva, processos complexos são projetados como componentes estruturados hierarquicamente baseados em tarefas que interagem, ou seja, são projetados como arquiteturas composicionais. Tais componentes podem ser bases de conhecimento ou subsistemas responsáveis por tarefas de cálculo, otimização, etc.. A interação e a coordenação entre esses componentes e entre os componentes e o mundo externo, é especificada de modo preciso.

O arcabouço DESIRE foi projetado para apoiar a atividade de engenharia de conhecimento ao permitir que o engenheiro possa focar sua atenção na especificação do projeto conceitual de um sistema, tanto em seus aspectos estáticos, quanto dinâmicos.

Este arcabouço é utilizado atualmente em diversas empresas e institutos de pesquisa para o desenvolvimento de sistemas composicionais para tarefas complexas.

As arquiteturas sobre as quais se baseiam as especificações para Sistemas Multi-Agentes composicionais resultam da análise das tarefas executadas pelos agentes e entre os agentes. A composição e decomposição de tarefas inclui especificações de interações entre tarefas a cada nível dentro de uma dada atividade de composição ou decomposição, tornando possível modelar explicitamente tarefas que requerem interações entre agentes.

Os modelos das tarefas definem a estrutura de arquiteturas composicionais. Os componentes de tal arquitetura são relacionados diretamente a tarefas ou subtarefas em um processo de composição ou decomposição de tarefas.

As estruturas hierárquicas das tarefas, as interações e o conhecimento são totalmente preservados nestas arquiteturas. Frequentemente, mais de uma agente está envolvido na execução de uma determinada tarefa. Assim, a coordenação de tarefas se torna essencial. Entretanto, como agentes possuem a capacidade de realizar mais de uma tarefa, seja em paralelo ou sequencialmente, há a necessidade de coordenação de tarefas no escopo do próprio agente.

Assim, um arcabouço composicional formal para modelar tarefas multi-agentes incluiria: a composição/decomposição de tarefas; a troca de informações; sequenciamento de tarefas e subtarefas; a delegação de subtarefas e, finalmente, as estruturas de conhecimento.

Um agente composicional é um componente construído a partir de diversos subcomponentes que representam as tarefas do agente. Para a especificação de um modelo formal do Sistema Multi-Agentes é necessário, para cada agente composicional, que seja modelada a decomposição de tarefas e a alocação de papéis; realizado o mapeamento do fluxo de informações; especificado o controle de tarefas dentro do agente; e modelado o controle e a comunicação entre agentes.

Para ilustrar alguns elementos característicos deste enfoque, utiliza-se um sistema de gerenciamento de transporte de eletricidade, com destaque especial para os aspectos dinâmicos dos processos distribuídos, os quais são importantes para gestão de conhecimento e engenharia de conhecimento.

DISCUSSÃO

Neste relatório foram apresentados os conceitos básicos envolvendo Sistemas Multi-Agentes e sua aplicação na atividade de simulação de organizações. Pelo exposto, fica clara a vasta gama de aplicações desta atividade bem como da complexidade desta proposta. A utilização de modelos computacionais para modelar organizações contribui para que os modelos e teorias de organização existentes tornem-se melhor especificados, menos intuitivos e passem a contar com um poderoso ferramental de validação, sem incorrer nos custos (e provável impossibilidade) da verificação em campo, no mundo real.

Além disso, a análise computacional serve como complemento, ou permite ir além, de equações matemáticas convencionais, experimentos de laboratório ou estudos de campo. Em comparação com equações matemáticas, por exemplo, os modelos computacionais permitem menos relacionamentos quantificados entre múltiplos fatores e permitem que sejam estudados diferentes relacionamentos em situações dinâmicas.

Desta forma, a análise computacional permite o estudo de sistemas adaptativos complexos [CAR95] e a criação de modelos sofisticados muito mais próximos do mundo real [LAN92].

Adicionalmente, simulações em computador são mais fáceis de controlar, mais flexíveis e objetivas e podem examinar um maior número de fatores em menos tempo e com menor custo.

Entretanto, esta metodologia de pesquisa, assim como qualquer outra, também apresenta limitações. Uma delas é que a modelagem computacional freqüentemente envolve o uso de hipóteses simplificadoras, em parte como decorrência do desenvolvimento relativamente recente das tecnologias de *hardware* e *software*.

Além disso, em geral os modelos computacionais são utilizados em experimentos envolvendo ambientes muito específicos e de pouca amplitude. Como consequência destas limitações, deve-se sempre ser cuidadoso ao se tentar generalizar os resultados de experimentos para ambientes maiores ou mais genéricos.

Claramente, entretanto, os benefícios da análise computacional superam em muito suas limitações.

A partir dos trabalhos apresentados, pode-se tirar algumas conclusões importantes [BUR98]: os modelos adicionam clareza, precisão e uma nova compreensão às noções de contingência, por exemplo, com demonstrações de como pressões de prazos possuem um efeito destacado sobre o desenho organizacional [LIN98]; a confirmação de que mais informação nem sempre contribui positivamente para o desempenho em equipe. Adicionalmente, pode-se afirmar que uma perspectiva fundamental da organização está baseada no modelo da informação organizacional e que a simulação fornece uma forma de se estudar processos e atividades organizacionais que resulta em percepções não obtidas através de outros enfoques que, por sua vez, geram novos paradigmas que podem ser aplicados na construção de Sistemas Multi-Agentes.

Assim, confirma-se a formação de um ciclo de enriquecimento mútuo, no qual idéias advindas de organizações humanas servem como analogias que inspiram desenvolvimentos em Ciência da Computação os quais, por sua vez, transformam-se em ferramentas úteis à construção de modelos de organizações.

REFERÊNCIAS

- [BON96] Bonasso, R. P.; Kortenkamp, D.; Miller, D. P.; Slack, M. 1996. Experiences with an Architecture for Intelligent, Reactive Agents. In *Intelligent Agents II*, eds. M. Wooldridge, J. P. Müller, M. Tambe, 187-202. Lecture Notes in Artificial Intelligence 1037. New York: Springer-Verlag.
- [BOND98] Bond, A. H.; Gasser, L. 1988. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [BRA96] Brazier, F. M.T.; Dunin-Keplicz, B.; Jennings, N. R.; Treur J.. 1996. Modelling Distributed Industrial Processes in a Multi-Agent Framework. *Cooperative Knowledge Processing*, eds. S. Kirn, G. M. P. O'Hare, 212—229. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- [BRE00] Brennan, R. W.; William O. 2000. A Simulation Test-Bed To Evaluate Multi-Agent Control Of Manufacturing Systems. In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, P. A. Fishwick.
- [BRO91] Brooks, R. A. 1991. Intelligence without Representation. *Artificial Intelligence*, 47(1-3): 139-159.
- [BUR98] Burton, R. 1998. Validating and Docking: An Overview, Summary, and Challenge. In [PRI98]: 215-228.
- [CAM83] Cammarata, S.; McArthur, D.; Steeb, R. 1983. Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving. In *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-83)*, 767-770. Menlo Park, Calif.: International Joint Conferences on Artificial Intelligence.
- [CAR98] Carley, K. M.; Prietula, M. J. 1998. Webbots, Trust, and Organizational Science. In [PRI98]: 3-22.
- [CAS92] Castelfranchi, C.; Miceli, M.; Cesta, A. 1992. Dependence Relations among Autonomous Agents. In *Decentralized Artificial Intelligence*, eds. E. Werner; Y. Demazeau, 215-231. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier/North-Holland.
- [COH90] Cohen, P. R.; Levesque, H. J. 1990. Intention is Choice with Commitment. *Artificial Intelligence* 42(2-3): 213-261.
- [CON88] Conry, S. E.; Meyer, R. A.; Lesser, V. R. 1988. Multistage Negotiation in Distributed Planning. In *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, eds. A. H. Bond, L. Gasser, 367-384. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [COR98] Correa da Silva, F. S.; Vasconcelos, W.; Agusti, J.; Robertson, D.; Melo, A. C. V. 1998. Why Ontologies Are Not Enough For Knowledge Sharing.
- [DAV83] Davis, R.; Smith, R. G. 1983. Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving. *Artificial Intelligence* 20(1): 63-100.

- [DEC95] Decker, K.; Lesser, V. 1995. Designing a Family of Coordination Algorithms. In *Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems*, 73-80. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [DECK96] Decker, K.; Williamson, M.; Sycara, K. 1996. Matchmaking and Brokering. In *Proceedings of the Second International Conference on Multiagent Systems*, 432. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [DEC97] Decker, K.; Pannu, A.; Sycara, K.; Williamson, M. 1997. Designing Behaviors for Information Agents. In *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents-97)*, 404-412. New York: The Association for Computing Machinery.
- [DECK97] Decker, K.; Sycara, K.; Williamson, M. 1997. Middle Agents for the Internet. In *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97)*, 578-583. Menlo Park, Calif.: International Joint Conferences on Artificial Intelligence.
- [DECK98] Decker, K. 1998. Task Environment Centered Simulation. In [PRI98]: 105-128.
- [DRO92] Drogul, A. 1993. When Ants Play Chess (Or Can Strategies Emerge from Tactical Behaviours?). In *From Reaction to Cognition --- Fifth European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, {MAAMAW}-93 ({LNAI} Volume 957)*, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- [DRO92] Drogul, A.; Ferber, J. 1992. From Tom Thumb to the Dockers: Some Experiments with Foraging Robots. In *From Animals to Animats: Second Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, eds. H. R. J. Meyer and S. Wilson. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [DUR87] Durfee, E. H. 1987. A Unified Approach to Dynamic Coordination: Planning Actions and Interactions in a Distributed Problem Solving Network, Ph.D. dissertation, Department of Computer and Information Science, University of Massachusetts.
- [DUR88] Durfee, E. H. 1988. *Coordination of Distributed Problem Solvers*. Boston: Kluwer Academic.
- [DUR89] Durfee, E. H.; Lesser, V. 1989. Negotiating Task Decomposition and Allocation Using Partial Global Planning. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume 2*, eds. L. Gasser; M. Huhns, 229-244. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [DUR96] Durfee, E. H. 1996. Planning in Distributed Artificial Intelligence. In *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, eds. G. M. P. O'Hare; N. R. Jennings, 231-246. New York: Wiley.
- [FER96] Ferber, J. 1996. Reactive Distributed Artificial Intelligence: Principles and Applications. In *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, eds. G. O'Hare and N. Jennings, 287-314. New York: Wiley.

- [FERG95] Ferguson, I. A. 1995. Integrated Control and Coordinated Behavior: A Case for Agent Models. In *Intelligent Agents: Theories, Architectures, and Languages*, eds. M. Wooldridge and N. R. Jennings, 203-218. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Volume 890. New York: Springer-Verlag.
- [FIN94] Finin, T.; Fritzson, R.; McKay, D.; McEntire, R. 1994. KQML as an Agent Communication Language. In *Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM94)*, 456-463. New York: The Association for Computer Machinery.
- [FIPA] Foundation for Intelligent Physical Agents. 2000. ACL Message Structure Specification. Geneva, Switzerland. <http://www.fipa.org/>
- [FOX98] Fox, M. S.; Barbuceanu, M.; Gruninger, M.; Lin, J. 1998. An Organizational Ontology for Enterprise Modeling. In [PRI98]: 131-152.
- [FU00] Fu, Y.; Piplani, R. 2000. Multi-Agent Enabled Modeling and Simulation Towards Collaborative Inventory Management in Supply Chains. In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, P. A. Fishwick.
- [GAR96] Garrido, L.; Sycara, K. 1996. Multiagent Meeting Schedulling: Preliminary Experimental Results. In *Proceedings of the Second International Conference on Multiagent Systems*, 95-102. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [GEN94] Genesereth, M. R.; Ketchpel, S. P. 1994. Software Agents. *Communications of the ACM* 37(7): 48-53.
- [GRO90] Grosz, B.; Sidner, C. 1990. Plans for Discourse. In *Intentions in Communication*, eds. P. Cohen, J. Morgan, M. Pollack, 417-444. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [GRO96] Grosz, B.; Kraus, S. 1996. Collaborative Plans for Complex Group Actions. *Artificial Intelligence* 86(2): 269-357.
- [GRU93] Gruber, T. R. 1993. A Translation Approach to Portable Ontologies. *Knowledge Acquisition* 5(2): 199-220.
- [HEN99] Hendler, J. 1999. Making Sense out of Agents, *IEEE Intelligent Systems*, Vol 14 number 2, 32-37.
- [HEW86] Hewitt, C. 1986. Offices Are Open Systems. *ACM Transactions on Office Automation Systems* 4(3): 271-287.
- [HU96] Hu, J.; Wellman, M. P. 1996. Self-Fulfilling Bias in Multiagent Learning. In *Proceedings of the Second International Conference on Multiagent Systems*, 118-125. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [HUB88] Huberman, B. A.; Hogg, T. 1988. The Behavior of Computational Ecologies. In *The Ecology of Computation*, ed. B. A. Huberman. Amsterdam. The Netherlands: North-Holland.

- [HUB95] Huberman, B. A.; Clearwater, S. H. 1995. A Multiagent System for Controlling Building Environments. In *Proceedings of the First International International Conference on Multiagent Systems*, 171-176. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [HUB98] Huberman, B. A.; Glance, N. S. 1998. Fluctuating Efforts and Sustainable Cooperation. In [PRI98]: 89-103.
- [JEN95] Jennings, N. 1995. Controlling Cooperative Problem Solving in Industrial Multiagent Systems Using Joint Intention. *Artificial Intelligence* 75(2): 195-240.
- [JHA98] Jha, S.; Chalasani, P.; Shehory, O.; Sycara, K. 1998. A Formal Treatment of Distributed Matchmaking. In *Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents (Agents '98)*. New York: The Association for Computing Machinery.
- [KAP98] Kaplan, D. J.; Carley, K. M. 1998. An Approach to Modeling Communication and Information Technology in Organizations. In [PRI98]: 169-189.
- [KAN98] Kang, M.C.; Waisel, L. B.; Wallace, W. A. Team Soar A Model for Team Decision Making. In [PRI98]: 23-45.
- [KEP89] Kephart, J. O.; Hogg, T.; Huberman, B. A. 1989. Dynamics of Computational Ecosystems: Implications for DAI. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume 2*, eds. L. Gasser; M. Huhns, 79-96. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [KIN92] Kinny, D.; Ljungberg, M.; Rao, A.; Sonenberg, E.; Tidhard, G.; Werner, E. 1992. Planned Team Activity. In *Artificial Social Systems*. eds C. Castelfranchi, E. Werner. New York: Springer-Verlag.
- [KOR81] Kornfeld, W. A.; Hewitt, C. E. 1981. The Scientific Community Metaphor. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 11(1): 24-33.
- [KRA95] Kraus, S.; Wilkenfeld, J.; Zlotkin, G. 1995. Multiagent Negotiation under Time Constraints. *Artificial Intelligence* 75(2): 297-345.
- [LAL95] Lalande, S.; Drogoul, A.; Thierry, B. 1995. MACACA: a Multi-Agent Computer simulation of Animal Communities based on Alliances. In *Proceedings of Simulating Societies Symposium*.
- [LAN91] Lander, S.; Lesser, V. R.; Connell, M. E. 1991. Conflict-Resolution Strategies for Cooperating Expert Agents. In *CKBS-90, Proceedings of the International Working Conference on Cooperating Knowledge-Based Systems*, ed. S. M. Deen, 183-200. New York: Springer-Verlag.
- [KQML93] External Interfaces Working Group, 1993. Specification of the KQML Agent Communication Language, tech. report, DARPA Knowledge Sharing Initiative.
- [LAB99] Labrou, Y; Finin, T.; Peng, Y. 1999. Agent Communication Languages: The Current Landscape. *IEEE Intelligent Systems* Volume 14 Number 2: 45-52.
- [LES81] Lesser, V. R.; Corkill, D. D. 1981. Functionally Accurate, Cooperative Distributed Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 11(1): 81-96.

- [LES89] Lesser, V.; Durfee, E. H.; Corkill, D. D. 1989. Trends in Cooperative Distributed Problem Solving. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 1(1): 63-83.
- [LES91] Lesser, V. 1991. A Retrospective View of FA/C Distributed Problem Solving. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 21(6): 1347-1363.
- [LEW93] Lewis, C. M., Sycara, K. 1993. Reaching Informed Agreement in Multispecialist Cooperation. (*italico* Group Decision and Negotiation 2(3)):279-300.
- [LIN98] Lin, Z. 1998. The Choice Between Accuracy and Errors: A Contingency Analysis of External Conditions and Organizational Decision Making Performance. In [PRI98]: 67-87.
- [LIU97] Liu, J.; Sycara, K. 1997. Coordination of Multiple Agents for Production Management. *Annals of Operations Research* 75: 235-289.
- [LIU94] Liu, J.; Sycara, K. 1994. Distributed Problem Solving through Coordination in a Society of Agents. In *Proceedings of the Thirteenth International Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, 190-206. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [LJU92] Ljunberg, M.; Lucas, A. 1992. The OASIS Air-Traffic Management System. In *Proceedings of the Second Pacific Rim International Conference on AI (PRICAI-92)*, 15-18 September, Seoul, Korea.
- [LOU87] Loui, R. 1987. Defeat Among Arguments: A System of Defeasible Inference. *Computational Intelligence* 3(1): 100-106.
- [MAES90] Maes, P. 1990. *Designing Autonomous Agents*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [MIN86] Minsky, M. 1986. *The Society of Mind*. New York: Simon and Schuster.
- [MIZ00] Mizuta H.; Steiglitz, K. 2000. Agent-Based Simulation of Dynamic Online Auctions. In *Proceeding of the 2000 Winter Simulation Conference*. eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, P. A. Fishwick.
- [MUL94] Muller, J. P.; Pischel, M. 1994. Modeling Interacting Agents in Dynamic Environments. In *Proceedings of the Eleventh European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-94)*, 709-713. Chichester, U.K.: Wiley.
- [MUL96] Mullen, T.; Wellman, M. P. 1996. Some Issues in the Design of Market-Oriented Agents. In *Intelligent Agents II*, eds. M. Wooldridge, J. P. Muller, M. Tambe, 283-298. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 1037. New York: Springer-Verlag.
- [MYER89] Myerson, R. B. 1989. Credible Negotiation Statements and Coherent Plans. *Journal of Economic Theory* 48(2): 264-303.
- [PAR87] Parunak, V. 1987. Manufacturing Experience with the Contract Net. In *Distributed Artificial Intelligence, Volume 1*, ed. M. Huhns, 285-310. London: Pitman.
- [PEN99] Peng, Y.; Finin, T.; Labrou, Y.; Cost, R. S.; Chu, B.; Long, J.; Tolone, W. J.; Boughannam, A. . 1999. An Agent-Based Approach for Manufacturing Integration - The CIIMPLEX Experience.

- [PRI98] Prietula M. J.; Carley K. M., and L. Gasser, eds. 1998. *Simulating Organizations*, Menlo Park: AAAI Press/The MIT Press.
- [RAO91] Rao, A. S., Georgeff, M. P. 1991. Toward a Formal Theory of Deliberation and Its Role in the Formation of Intentions. Technical Report. Australian Artificial Intelligence Institute. Victoria, Australia.
- [ROS85] Rosenschein, J. S.; Genesereth, M. R. 1985. Deals among Rational Agents. In *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-85)*, 91-99. Menlo Park, Calif.: International Joint Conferences on Artificial Intelligence.
- [ROS94] Rosenschein, J. S.; Zlotkin, G. 1994. *Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers*. Cambridge, mass.: MIT Press.
- [SAN93] Sandholm, T. 1993. An Implementation of the Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations. In *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence*, 256-262. Menlo Park, Calif.: American Association for Artificial Intelligence.
- [SAN95] Sandholm, T.; Lesser, V. 1995. Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce: Extending the Contract Net Protocol. In *Proceedings of the Second International Conference on Multiagent Systems*, 328-335. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [SAND98] Sandoe, K. Organizational Mnemonics: Exploring the Role of Information Technology in Collective Remembering and Forgetting. In [PRI98]: 191-213.
- [SCA98] Scacchi, W. 1998. Modeling, Simulating, and Enacting Complex Organizational Processes: A Life Cycle Approach. In [PRI98]: 153-167.
- [SCH93] Schwuttke, U. M.; Quan, A. G. 1993. Enhancing Performance of Cooperating Agents in Real-Time Diagnostic Systems. In *Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93)*, 332-337. Menlo Park, Calif.: International Joint Conferences on Artificial Intelligence
- [SEA69] Searle, J. 1969. *Speech Acts*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [SMI80] Smith, R. G. 1980. The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver. In *IEEE Transactions on Computers*, 29(12): 1104-1113.
- [SO98] So, Y.; Durfee, E. H. 1998. Designing Organizations for Computational Agents. In [PRI98]: 47-64.
- [SYC87] Sycara, K. 1987. Resolving Adversarial Conflicts: An Approach to Integrating Case-Based and Analytic Methods. Ph.D. dissertation, School of Information and Computer Science, Georgia Institute of Technology.
- [SYC88] Sycara, K. 1988. Resolving Goal Conflicts via Negotiation. In *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-88)*. Menlo Park, Calif.: International Joint Conferences on Artificial Intelligence.

- [SYC90] Sycara, K. 1990. Persuasive Argumentation in Negotiation. *Theory and Decisions* 28: 203-242.
- [SYCA91] Sycara, K. 1991. Problem Restructuring in Negotiation. *Management Science* 37(10): 1248-1268.
- [SYC91] Sycara, K.; Roth, S.; Sadeh, N.; Fox, M. 1991. Distributed Constrained Heuristic Search. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 21(6): 1446-1461.
- [SYC96] Sycara, K.; Decker, K.; Pannu, A.; Williamson, M.; Zeng, D. 1996. Distributed Intelligent Agents. *IEEE Expert* 11(6): 36-46.
- [SYC97] Sycara, K. 1997. Using Option Pricing to Value Commitment Flexibility in Multiagent Systems, Technical Report, CMU-CS-TR-97-169, School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- [SYC98] Sycara, K. 1998. Multiagent Systems. *AI Magazine, Volume 19, number 2*, 79-92.
- [SHO93] Shoham, Y. 1993. Agent-Oriented Programming. *Artificial Intelligence* 60(1): 51-92.
- [SIM57] Simon, H. 1957. Models of Man: Social and Rational - Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting. New York: Wiley.
- [THO98] Thomas, J.; Sycara, K. 1998. Stability and Heterogeneity in Multiagent Systems. In *Proceedings of the Third International Conference on Multiagent Systems*. Menlo Park, Calif.: AAAI Press.
- [TRA88] Travers, M. 1988. Animal Construction Kit. In *Artificial Life*, ed. C. G. Langton, 421-442. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- [VEL97] Veloso, M.; Stone, P.; Han, K.; Achim, S. 1997. CMUNITED: A Team of Robotic Soccer Agents Collaborating in an Adversarial Environment. In *Proceedings of the First International Workshop on ROBOCUP*. San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [WAN97] Wang, H.; Wang, C. 1997. Intelligent Agents in the Nuclear Industry. *IEEE Computing* 30(11): 28-34.
- [WEI94] Weihmayer, R.; Velthuijsen, H. 1994. Application of Distributed AI and Cooperative Problem Solving to Telecommunications. In *AI Approaches to Telecommunications and Network Management*, eds. J. Liebowitz; D. Prereau. Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
- [WOO95] Wooldridge, M.; Jennings, N. 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review* 10(2): 115-152.
- [YU99] Yu, L.; Schmid, B. F. 1999. A conceptual framework for agent oriented and role based workflow modeling. Presented at CaiSE Workshop on Agent Oriented Information Systems (AOIS'99) - Heidelberg, Germany. June 14-15, 1999, 06/99. URL: <http://www.knowledgemedia.org/netacademy/publications.nsf/all_pk/1318>.

- [ZEN97] Zeng, D.; Sycara, K. 1997. Benefits of Learning in Negotiation. In *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-97)*, 36-41. Menlo Park, Calif.: American Association for Artificial Intelligence.
- [ZLO91] Zlotkin, G.; Rosenschein, J. 1991. Cooperation and Conflict Resolution via Negotiation among Autonomous Agents in Noncooperative Domains. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* (Special Issue on Distributed Artificial Intelligence) 21(6): 1317-1324.