

8 Conclusões

Nesta dissertação, descrevemos um sistema multi-agente para negociação em leilões simultâneos de bens relacionados. Quando falamos de agentes de negociação nos referimos ao software que negocia bens combinados em múltiplos mercados em nome de um ou mais clientes, baseado em preferências expressadas ou eliciadas pelo cliente. O software do agente de negociação pode potencialmente lidar com complexas combinações de bens, grande número de produtos e mercados, uma larga escala de tipos do mercado, além de mercados que mudam rapidamente com os bens mais escassos do que consumidores.

O sistema multi-agente incorpora análises de mercado e da demanda, como também várias técnicas da computação. O sistema de tomada de decisão é baseado na integração de agentes inteligentes e num modelo de programação inteira. Durante o processo de negociação, são feitas adaptações das decisões baseadas nos resultados do *solver* decorrentes das cotações de preços nos leilões.

Na agência desenvolvida, cada um dos agentes que a compõe trata de um subproblema específico. Os Sensores coletam informações do mercado. O Segmentador de Demanda classifica os clientes de acordo com as suas características. O Alocador integra a agência com um modelo de programação inteira. O Ordenador toma decisões de compra e venda com base nos resultados do mesmo modelo. Os Negociadores fazem transações com o mercado, seguindo as instruções do Ordenador em busca de maximizar o lucro da agência.

O projeto desta arquitetura multi-agente incorpora técnicas como modularidade, reusabilidade e interoperabilidade. Estas são importantes características para a construção de futuras modificações e para adaptar a agência em função da evolução do mercado.

Foram feitas análises de demanda e mercado específicas para o domínio do TAC. Da mesma forma, propomos segmentações e construímos modelos próprios para o caso estudado. Todavia, isto não invalida que este seja um bom caminho para negociação de bens relacionados em leilões simultâneos. Não podemos nos abstrair de detalhes de mercado para o desenvolvimento de um sistema para negociação.

Novas implementações podem ser incorporadas em cada um dos agentes em busca de diferentes resultados. Este é um caminho que pode ser estendido e serve para aplicação de diferentes técnicas para os subproblemas identificados na negociação em leilões simultâneos de bens combinados.

Contudo, o objetivo deste trabalho não se limitou apenas em construir um sistema do início ao fim. O principal objetivo alcançado neste projeto foi a aquisição de conhecimento mais profundo sobre diversos tópicos de Inteligência Artificial, Algoritmos e Engenharia de Software, além da autonomia adquirida em busca de conhecimentos para melhor resolver problemas computacionais.

A agência está num processo contínuo de crescimento e treinamento. Seus parâmetros e heurísticas podem ser ajustadas através de um ambiente de treinamento. Ela apresentou um bom desempenho em cenários competitivos utilizando o ambiente TAC, que é considerado um respeitado fórum internacional para promover e encorajar pesquisas de alta qualidade para o problema de negociação entre agentes. Espera-se um resultado satisfatório na próxima edição do TAC.

8.1

Principais Resultados

Os resultados apresentados através de experimentos no capítulo anterior mostraram uma evolução no processo de desenvolvimento da agência SIMPLES²².

²² Sistema Multi-agente Para Leilões Simultâneos.

Heurísticas simples foram implementadas e vários testes foram feitos para validá-las. Parâmetros foram ajustados e as estratégias adaptadas em cada novo experimento realizado. Seguindo este caminho, combinamos várias heurísticas de subproblemas específicos para a construção de estratégias de negociação.

Resumimos, aqui, o trabalho realizado nesta pesquisa:

1. Análise dos dados básicos que constituem leilões simultâneos de bens relacionados. Foi estudada a estrutura das ofertas, incluindo os bens e serviços, bem como os protocolos de compra e venda dos mesmos.
2. Análise do comportamento dos mercados em função da demanda dos produtos em negociação.
3. Estudo do ambiente em que os agentes de negociação operam. A agência apresentada neste trabalho compete com outros agentes, através de leilões simultâneos, por bens relacionados, atendendo às exigências de uma clientela.
4. Estudo minucioso do TAC, *Trading Agent Competition*, um fórum internacional projetado para promover e encorajar pesquisas de alta qualidade para o problema de negociação entre agentes, cujas características se enquadram ao domínio estudado.
5. Análise detalhada da oferta e demanda no TAC.
6. Aplicação de um variado conjunto de heurísticas a fim de avaliar a combinação que melhor solucionasse o problema de negociação no TAC. Cada uma das técnicas aplicadas foi bastante testada no ambiente do TAC.
7. Construção de um modelo de programação inteira para auxiliar nos processos de tomadas de decisão da agência SIMPLES.
8. Utilização de um ambiente de aprendizado. O aprendizado da agência ocorreu de forma supervisionada com auxílio humano que avalia os testes e ajusta os parâmetros e heurísticas dos agentes.

9. Realização de exaustivos experimentos para validação das técnicas empregadas e análise da performance da agência SIMPLES, obtendo bons resultados em cenários competitivos do TAC.

É possível destacar como principais resultados desta pesquisa as seguintes contribuições:

1. Desenvolvimento de uma arquitetura multi-agente para negociação em leilões simultâneos de bens relacionados.
2. O sistema multi-agente apresentou uma boa performance em cenários competitivos testados usando o servidor TAC.

A agência engloba um conjunto de técnicas para resolução dos vários subproblemas da negociação. Então, desenvolvemos uma agência, em que cada um dos seus componentes possui uma responsabilidade específica com relação aos subproblemas.

A agência foi submetida a competições com um agente similar ao vencedor da segunda edição (Living, 2003) do TAC, ganhando 56,2% das instâncias de jogo.

8.2 Trabalhos Futuros

Construção de sistemas para negociação em leilões simultâneos de bens relacionados é uma ampla área em que é possível empregar diversas técnicas para resolução de problemas. Tendo isto em vista, desenvolvemos um conjunto de agentes que tratam de subproblemas específicos. Extensões das heurísticas de cada agente são modificações possíveis.

O desenvolvimento de um ambiente de aprendizado mecanizado também é outra ampliação de interesse para este trabalho. A automação do aprendizado, com um variado elenco de agentes competidores, possibilitaria o ajuste de vários parâmetros de negociação como a importância dos bens, intervalo de atualização dos lances, quantidade de bens a ser negociado no início do jogo, valores dos lances, entre outros.

Diante da construção de um ambiente para automatização do treinamento, seria necessária a implementação de mais clones. Ou seja, desenvolver outros competidores de versões anteriores para simular um ambiente mais próximo do real TAC.

Para ampliar o número de informações disponíveis pelo *solver* precisamos distribuir o processamento para os cálculos de conjuntos de pacotes de viagem. A utilização de um *cluster* permitiria obter conjuntos de soluções do *solver* para diferentes cenários. Isto forneceria mais informações ao Ordenador para as tomadas de decisão, bem como tornaria relevante a implementação do Segmentador de Pacotes.

A utilização de heurísticas rebuscadas para a extração de informação dos conjuntos de pacotes seria outro interessante trabalho de extensão.

A implementação completa deste conjunto de aprimoramentos permitiria construir uma agência ainda mais competitiva para disputar o TAC.

Outro tema interessante mencionado por este trabalho é a necessidade de gestão do aprendizado e das habilidades em sistemas multi-agente.