

4 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo serão apresentados e discutidos trabalhos relacionados, cujos conteúdos possuem intercessão com os temas abordados neste trabalho.

4.1 Trading Agent Competition

Nesta seção será apresentada a competição *Trading Agent Competition* (TAC) (Col08). A popular competição teve sua nona edição realizada em 2008, com as rodadas finais ocorrendo em conjunto com a conferência *Association for the Advancement of Artificial Intelligence* (AAAI-08).

Motivada pelo crescente interesse em áreas como inteligência artificial, comércio eletrônico e sistemas multi-agentes, a competição TAC tem como objetivo promover pesquisas na área de agentes voltados para o problema de negociações e trocas (*trading*).

Um dos jogos realizados durante a competição foi o TAC *Supply Chain Management* (TAC/SCM). Esse jogo consistia na simulação de um ambiente no qual agentes competem entre si, devendo atender pedidos de clientes e realizar solicitações a fornecedores.

O gerenciamento de *supply chain* preocupa-se com o planejamento das atividades das organizações (indústria) desde as áreas de obtenção de matérias-primas até à entrega de produtos finalizados. Na economia global atual, as atividades de gerenciamento de *supply chain* são fundamentais para manter a competitividade das indústrias, influenciando na habilidade para atender as demandas de mercado de maneira eficiente, reduzindo custos e prazos.

Cada agente participante do jogo representava o papel de um fabricante de computadores, devendo montar cada equipamento com peças, como processador, placa-mãe, memória e disco rígido. O simulador provia clientes e fornecedores virtuais.

Os clientes solicitavam aos agentes que montassem computadores com determinadas configurações. Para isso, os agentes ofereciam preço e prazo por seus serviços. Os fornecedores disponibilizavam as peças para os agentes.

Como atribuições básicas, cada agente deveria estipular métodos de controle de estoque de peças e computadores prontos, de negociação de contratos junto aos fornecedores, de oferta de preços junto aos clientes, de gerenciamento das atividades fabris diárias (montagem) e de envio das mercadorias finalizadas.

Apesar de voltado para um domínio de aplicação diferente do apresentado nesta dissertação, um paralelo é formado ao se considerar o objetivo dos trabalhos. Ambos têm a intenção de estimular a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas multi-agentes. Além disso, ambos empregam domínios de aplicação de interesse da indústria. Por outro lado, o suporte à reputação de agentes, presente na proposta apresentada nesta dissertação, não é encontrado no TAC.

4.2 Agent Reputation and Trust (ART) Testbed

Nesta seção será apresentada a competição *Agent Reputation and Trust (ART) Testbed* (Ful08), promovida pela conferência AAMAS (*Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*). Na conferência de 2008 foi realizada a terceira edição da competição.

Essa competição tem como intuito prover um ambiente de testes para agentes de software que empreguem o conceito de reputação. Esse ambiente se concretiza na simulação de transações de avaliações de obras de arte. Cada agente participante é um provedor do serviço de avaliações, vendendo suas opiniões quando requisitado. Ao final da competição, o agente que acumular maior valor em dinheiro com essas vendas é declarado o vencedor.

Cada pintura possui uma era (categoria na qual se enquadra para avaliação) e a cada agente, inicialmente, é atribuído um conhecimento a respeito de cada era. Dessa forma, quando um agente é requisitado a respeito de uma obra de arte de uma era sobre a qual não tem conhecimento, ele deve interagir com os demais agentes, requisitando suas opiniões, para aprimorar a avaliação que será vendida ao cliente solicitante.

É justamente nessas interações que se manifesta o conceito de reputação entre agentes de software. Ao solicitar opiniões, cada agente deve considerar a confiança que deposita no agente ao qual realizou a solicitação. Adicionalmente, um agente pode perguntar a um segundo agente qual a reputação que ele acredita possuir um terceiro agente. Quando tem sua opinião solicitada, cada agente deve, também, avaliar o custo-benefício de transmitir uma informação verdadeira a um concorrente.

Essas interações apresentam desafios, tais como detectar quando outro agente mente, quais agentes são honestos, detectar mudanças de estratégias

nos adversários e definir a confiança atribuída às informações recebidas.

Os desafios apresentados assemelham-se àqueles desta dissertação, comuns a ambientes de testes de sistemas multi-agentes. Entretanto, o domínio de aplicação escolhido no ART-Testbed difere daquele proposto nesta dissertação, uma vez que possui alcance mais restrito. Além disso, os conceitos de reputação empregados concentram-se, primordialmente, na experiência adquirida pelos agentes em suas transações, diferentemente daquilo que é proposto nesta dissertação.

4.3 Automated Trading Championship

Nesta seção será apresentada a competição *Automated Trading Championship* (Met08). A competição é organizada pela *MetaQuotes Software*, empresa que possui como foco o desenvolvimento de software para os mercados financeiros. A empresa objetiva, por meio da competição, popularizar o uso da linguagem MQL4 – *MetaQuotes Language 4*, desenvolvida pela mesma.

A linguagem MQL4 assemelha-se com a linguagem C e possui estruturas voltadas para o desenvolvimento de estratégias de negociação. A linguagem permite o desenvolvimento de "Conselheiros Especialistas" (*Expert Advisors* – EA), que funcionam como sistemas de negociação mecânicos que atuam de maneira autônoma. Por meio da MQL4, também é possível o desenvolvimento de indicadores financeiros próprios, que, inclusive, podem ser usados pelos EAs desenvolvidos.

A competição, portanto, envolve *Expert Advisors*, programados em MQL4, submetidos por competidores ao redor do mundo. O mercado financeiro alvo da competição é o mercado FOREX (For09), que trata do câmbio de moedas – dólar, euro, iene etc. Cada EA pode operar comprando determinada moeda enquanto vende outra.

A simulação envolve dados reais ocorrendo durante as últimas semanas de cada ano. A cada *Expert Advisor* são submetidas informações em tempo real dos mercados para que tomem suas decisões.

Em 2008, terceiro ano da competição, o resultado final apresentou *Expert Advisors* capazes de obter margens de lucro significativas, considerando-se o período relativamente curto da competição. Todos os EAs começaram com a mesma quantidade de dinheiro virtual e, ao final, os dez melhores apresentaram o desempenho ilustrado no gráfico apresentado na Figura 4.1.

Vale ressaltar que esses *Expert Advisors* poderiam estar atuando no mercado FOREX real com os mesmos resultados. Para isso, bastaria estarem vinculados a uma conta real, com capital inicial real, e não virtual.

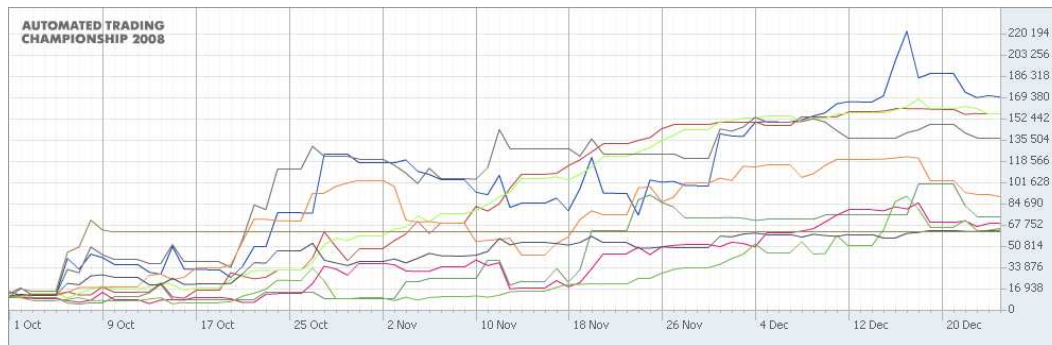


Figura 4.1: Os dez melhores *Expert Advisors* da ATC de 2008

Apesar da interseção com o domínio de aplicação desta dissertação, a competição apresentada nesta seção apresenta diferenças significativas com relação àquilo que foi proposto neste trabalho. Os agentes submetidos à ATC devem, obrigatoriamente, utilizar a linguagem MQL4, enquanto que no sistema proposto nesta dissertação é facultado aos desenvolvedores o uso de qualquer linguagem. Ademais, na ATC, não é possível qualquer interação entre os agentes. Esses devem confiar apenas em suas estratégias individuais, o que limita suas possibilidades de tomada de decisão, uma vez que não podem consultar outras fontes de informação.

4.4 Penn-Lehman Automated Trading

Nesta seção será apresentado o projeto *Penn-Lehman Automated Trading* (PLAT) (Kea03), organizado pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Pennsylvania, com a colaboração de um grupo de profissionais do banco Lehman Brothers que atuavam no mercado financeiro.

O projeto, cujo desenvolvimento encontra-se interrompido atualmente, objetivava o estudo de algoritmos e técnicas para a negociação automatizada em mercados financeiros. O cerne do projeto foi a criação de um simulador de bolsa de valores capaz de integrar ordens de compra/venda de participantes virtuais da simulação com ordens reais provenientes de uma bolsa de valores (NASDAQ). Durante o período no qual a pesquisa esteve ativa, houve competições anuais envolvendo agentes investidores competidores.

Livros de Ordens Limitadas

As informações providas pelo simulador baseavam-se nos livros de ordens limitadas das ações. Para compreender o funcionamento do simulador é necessária uma breve revisão sobre esse conceito dos mercados financeiros.

Existem dois tipos de ordens de compra para uma ação: limitada e a mercado. Ordens limitadas especificam a quantidade de ações a comprar e também o valor que se deseja pagar pelas mesmas. Ordens de compra a mercado especificam apenas a quantidade que o investidor deseja comprar, sendo o preço determinado pela melhor oferta existente no momento da execução da ordem.

Um livro de ordens limitadas é composto de duas listas de ordens limitadas. Uma lista com ofertas de compradores e outra com ofertas de vendedores. As listas são ordenadas de maneira a manter as ofertas mais atraentes (maiores valores para compra e menores valores para venda) no topo. Novas ofertas são sempre posicionadas de maneira a manter essa ordenação. Todas as ordens presentes nos livros são ordens pendentes; uma vez que o preço estipulado por um comprador e um vendedor se iguala, a negociação é realizada e as ordens retiradas dos livros. A seguir, na Figura 4.2 é apresentado o livro de ordens limitadas para uma ação em particular, em um dado instante de tempo.



Figura 4.2: Exemplo de livro de ordens limitadas

O simulador

Para criar o livro simulado de ordens limitadas, ordens limitadas de duas fontes são combinadas: ordens reais obtidas junto ao mercado financeiro e ordens provenientes de agentes investidores participando da simulação. É possível realizar simulações em tempo real, assim como utilizar uma base de dados histórica.

O simulador é executado em uma máquina, na qual o mesmo escuta determinada porta por conexões dos agentes participantes. Desse modo, os agentes podem comunicar-se e interagir com o simulador.

O simulador provê estruturas e funções que permitem que os agentes investidores submetam ordens para o mercado virtual. As mais básicas são as que permitem que os agentes incluam ordens de compra/venda para uma ação (incluindo a quantidade e o preço-alvo desejado) e que retirem ordens ainda não executadas do livro de ordens.

O simulador oferece também outras funções. Um agente pode requisitar suas quantidades correntes de dinheiro e ações. É possível consultar variáveis da simulação, como o preço da última transação, a hora do dia, o volume das ordens presentes nos livros.

De maneira geral, os agentes podem acessar as estruturas de dados que contêm todo o livro de ordens. Assim, podem receber uma cópia de cada ordem limitada presente no livro, juntamente com seu preço-alvo e volume. A intenção é permitir que esses dados sejam empregados no desenvolvimento de técnicas capazes de empregá-los para gerar modelos de negociação de sucesso.

Implementação

Em alto nível, o mecanismo principal do simulador executa uma série de passos que podem ser sintetizados da seguinte maneira: o livro de ordens é atualizado com a inclusão de novas ordens detectadas no mercado real e exclusão daquelas que deixaram o livro real; execução das ordens quando há equivalência nos pedidos de compra e venda; atualização das posições, em dinheiro e em carteira, de cada agente; inserção de novas ordens dos agentes nos livros.

Competição

As competições realizadas basearam-se nos livros de ordens de uma única ação: Microsoft. Essa decisão deveu-se à menor quantidade de espaço em disco

necessária para armazenar os dados históricos de uma única ação e também, por razões pedagógicas, à possibilidade de que os competidores calibrassem suas estratégias para as particularidades dessa ação.

Os participantes eram divididos em grupos, competindo apenas entre os adversários do mesmo grupo. Essa divisão objetivou reduzir a carga computacional durante as simulações.

A competição empregou diversos critérios para a definição dos vencedores, de maneira que cada agente poderia conquistar pontos alcançando cada uma das metas estipuladas. Esses critérios enfatizavam, principalmente, três categorias: lucratividade, estratégias robustas e boas práticas de negociação.

Uma das técnicas empregadas por um agente que gerou bons resultados foi o raciocínio baseado em casos para determinar os parâmetros de uma outra estratégia, previamente oferecida pelos organizadores da competição como uma base para o desenvolvimento. Essa estratégia inicial calculava as médias dos preços, ponderadas pelos volumes, presentes nos livros de ordens. Em seguida, esse valor era comparado com o último preço negociado. Caso a média para o livro de compra estivesse muito distante do último preço negociado, isso indicaria uma menor força compradora e uma possível queda nos preços das transações futuras.

Discussão

Do ponto de vista dos mercados financeiros, o PLAT utilizou uma abordagem diferenciada para o processo decisório de negociação de ativos: os livros de ordens limitadas. Fundamentalmente, o objetivo era a automatização do procedimento de compra/venda de ações. Nesse sentido, difere da proposta multi-agente apresentada nesta dissertação.

O PLAT apresentava uma vantagem perante o simulador apresentado neste trabalho que é a possibilidade de realizar simulações em tempo real com dados obtidos junto ao mercado de capitais real. O simulador deste trabalho provê meios para a utilização de dados reais, mas apenas após o fechamento dos mercados de capitais, quando os dados são importados.

No PLAT, os agentes podiam consultar dados a respeito da simulação no momento que desejassem, o que poderia, potencialmente, aumentar o fluxo de dados na rede. O simulador proposto neste trabalho comunica os agentes sobre os dados relevantes em momentos predeterminados.

Essencialmente, a proposta presente no projeto PLAT não contemplava conceitos de sistemas multi-agentes ou reputação de agentes. Com um foco diferente do deste trabalho, objetivava um arcabouço de testes para uma

estratégia automatizada de transação de ativos que utilizava os livros de ordens limitadas.