

# Using Agent Coordination Techniques to Support Rescue Operations in Urban Disaster Environments

Alan D. Barroso, Felipe de C. Santana, Victor Lassance, Luis G. Nardin, Anarosa A. F. Brandão, Jaime S. Sichman\*  
 Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI) – Escola Politécnica (EP) – Universidade de São Paulo (USP)  
 Av. Prof. Luciano Gualberto, 158 – trav. 3 – 05508-970 – São Paulo – SP – Brasil  
 {alan.barroso, fesantana, victor.lassance.silva, luis.nardin}@usp.br, {anarosa.brandao, jaime.sichman}@poli.usp.br

**Abstract**—This extended abstract describes a task allocation and coordination policy that aims to maximize the efficiency of teams when they are rescuing the victims and protecting the city’s heritage in the case of an urban disaster. Our approach considers the existence of local and global information that could help this coordination. Supposing that communication is limited and unreliable, we also present a comparison of those coordination techniques, aiming to improve the task allocation process. This abstract comprises our motivation, the main goal and the key conceptual aspects of the research, as well as the development steps and specification of the whole project.

## I. INTRODUÇÃO

A expansão urbana observada no Brasil nas últimas décadas causou o crescimento acelerado e desordenado das cidades, potencializando assim a ocorrência de desastres, principalmente em áreas mais densamente povoadas. Além disso, o Brasil irá sediar eventos de dimensão internacional, como a Copa do Mundo de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016, aumentando as consequências de um possível desastre urbano.

No caso específico de desastres naturais, pesquisas e dados científicos recentes indicam que eles vêm se tornando mais frequentes, intensos, dinâmicos e complexos [1]. No Brasil, alguns dos desastres que têm ocorrido com maior frequência e que poderiam ter um trabalho de prevenção esbarram em custos altos, o que faz com que os responsáveis posterguem a implementação da solução do problema. Dessa forma, como ocorre com o caso de enchentes e deslizamento de terras, o gerenciamento de desastres deve ser efetivo para minimizar os danos causados, através de ações eficientes de coordenação e alocação dos reduzidos recursos existentes em um ambiente parcialmente observável.

Nesse trabalho será proposta uma abordagem de alocação de tarefas que considera a existência de informações locais e globais com o objetivo de coordenar as entidades de salvamento para que maximizem a eficiência no resgate a vítimas e na proteção do patrimônio da cidade em caso de desastre. Supondo uma comunicação limitada e incerta, esse trabalho também apresentará uma comparação de técnicas de coordenação de forma a melhorar a alocação de tarefas.

Na seção II são apresentados os principais tópicos conceituais utilizados nesse trabalho, que são Sistemas Multiagentes e Técnicas de Coordenação como o *Partial Global Planning*. Já a seção III descreve a estrutura de fases de implementação des-

te trabalho, enquanto na seção IV detalha-se sua especificação por meio da descrição dos quatro algoritmos de coordenação que serão implementados. A seção V traz uma breve conclusão, descrevendo nossos próximos passos.

## II. ASPECTOS CONCEITUAIS

Para melhor entendimento da abordagem proposta nesse trabalho, nesta seção são apresentados os aspectos conceituais relacionados às escolhas quanto às estratégias de coordenação de tarefas. O primeiro aspecto é referente ao modo como o projeto pode ser visto como um sistema multiagente. O segundo é referente ao tipo de técnica de coordenação escolhida.

### A. A competição Robocup Rescue e seu simulador

A adoção do paradigma multiagente na abordagem apresentada para alocação de tarefas é fortemente dependente do domínio do problema em que estamos trabalhando, em particular do simulador da competição *Robocup Rescue*<sup>1</sup>. O simulador possui três blocos principais: *kernel*, simuladores e agentes. O *kernel* serve como bloco central e junta todas as informações pertinentes aos problema. Os simuladores têm como função principal simular os diversos fatores que influenciam o andamento de uma rodada da competição. O terceiro bloco é composto por agentes programáveis, que são responsáveis por reduzir as perdas dentro do ambiente de desastre.

Os agentes programáveis possuem um certo grau de autonomia: a decisão de realizar ou não uma ação depende somente da vontade do próprio agente. Esses agentes autônomos devem então se organizar e se coordenar para poder resolver o problema proposto na competição. De acordo com [2], a descrição do problema acima se aproxima bastante à um sistema multiagente. Esse fator possibilita ao projeto o uso de técnicas de coordenação e comunicação já estudadas em sistemas desse tipo, como as descritas a seguir.

### B. Técnicas de Coordenação

De acordo com [2], existem três abordagens principais em técnicas de coordenação para sistemas multiagentes: planejamento centralizado para planos distribuídos, planejamento distribuído para plano centralizado e planejamento distribuído para planos distribuídos. A primeira abordagem diz respeito a uma figura central que faz todo planejamento das tarefas e

(\*) Jaime S. Sichman is partially supported by CNPq and FAPESP, Brazil.

<sup>1</sup><http://www.robocup2013.org/?lang=en>.

comunica aos respectivos agentes suas tarefas. A segunda leva em conta que todos os agentes entram em cooperação para elaborar um plano comum a todos. Na terceira abordagem, a mais complexa, cada agente elabora individualmente um plano próprio, tendo um objetivo comum de cooperar com os outros agentes.

Escolhemos a terceira abordagem por duas razões principais, relacionadas ao modo como a comunicação entre agentes do simulador é feita. Para um agente se comunicar com os outros, ele leva um ciclo de simulação e, para receber a resposta, um segundo ciclo, caso a mensagem chegue corretamente ao destinatário. Isso dificulta o uso da primeira técnica de forma competitiva, pois o tempo envolvido para distribuir os planos entre os agentes seria muito grande. Além disso, a comunicação entre agentes chega até mesmo a ser inexistente em alguns cenários, fazendo com que a segunda abordagem também não possa ser selecionada.

Por essas razões, foi escolhida a técnica de planejamento distribuído para planos distribuídos, mais especificamente através do uso da técnica denominada *Partial Global Planning*. A técnica, descrita em [3], baseia-se na existência de dois níveis de planejamento simultâneos, um local e outro global. No primeiro, o agente cria o seu próprio plano; já no segundo, os agentes trocam informações para que os planejamentos locais levem em conta os conhecimentos dos outros agentes.

### III. FASES DO PROJETO

Esse trabalho visa analisar os métodos de coordenação atualmente utilizados pelas entidades de proteção, para poder sugerir a integração destas diferentes entidades, através de um mecanismo de comunicação criado com forte embasamento teórico e prático. Para atingir esse objetivo, o trabalho deve ser dividido em três fases, cada uma essencial para o resultado final.

#### A. Fase 1 - Competição Robocup Rescue

Essa fase do projeto está voltada para a participação do grupo na competição *Robocup Rescue*, que ocorrerá em Eindhoven, Holanda, em junho de 2013. A *Robocup Rescue* é uma competição internacional que tem como objetivo colocar em prática técnicas de coordenação de agentes para diminuir os danos e as perdas humanas causadas em um ambiente de desastre. No ambiente de simulação, são utilizados agentes com diferentes papéis, como do Corpo de Bombeiros, Agentes de Polícia e Ambulâncias, cada um deles com funcionalidades específicas. Um dos membros do grupo, Luis Gustavo Nardin, participou desta competição nos anos 2011 e 2012, como detalhado em *LTI Agent Rescue Team Description* [4] [5].

O desenvolvimento das técnicas de coordenação envolve o estudo dos aspectos teóricos e práticos que envolvem a competição como um todo, desde a teoria sobre sistemas multiagentes até as regras da competição e o funcionamento do simulador. Portanto, a participação na competição será essencial para o andamento do nosso trabalho, pois com ela poderemos adquirir os conhecimentos teóricos sobre sistemas multiagentes e técnicas de coordenação, bem como conhecer o funcionamento do simulador da *Robocup Rescue*, que utilizaremos em fases posteriores do projeto.

#### B. Fase 2 - Modelagem e análise de estratégias atuais de coordenação

Está será uma das fases essenciais do projeto, pois a partir dela o trabalho tomará um viés mais prático. Tentaremos aplicar os conhecimentos adquiridos anteriormente para poder modelar e analisar quantitativamente os métodos de coordenação atualmente utilizados pelas entidades de proteção em cenários de desastre.

Para analisar os métodos de salvamento atuais, serão pesquisadas as técnicas de coordenação das equipes de resgate (Bombeiros, SAMU e Defesa Civil) da cidade de São Paulo, através de visitas aos seus centros de operações e contatos com seus responsáveis. Quando essas informações tiverem sido coletadas, as entidades de resgate serão modeladas no ambiente do simulador e, posteriormente simuladas. A partir destes resultados, uma análise do funcionamento desses agentes será feita para determinar a melhor forma de integrá-los.

#### C. Fase 3 - Aplicação das técnicas de coordenação na integração das entidades de salvamento modeladas e análise dos resultados

Essa será a última e conclusiva fase do projeto, na qual serão integradas as estratégias de coordenação e comunicação criadas na fase 1 com o comportamento modelado na fase 2. Após realizada a junção das estratégias criadas e dos métodos de coordenação aplicados, o desempenho da solução final será avaliado quantitativamente através do simulador, analisando então quais foram os ganhos trazidos pela integração entre as diferentes equipes, e pelo uso de algumas técnicas adicionais de coordenação. Para realizar essa análise de desempenho, serão definidos parâmetros quantitativos referentes à simulação, como por exemplo o número de civis resgatados e o número de prédios que foram destruídos pelo fogo. Dessa forma, o resultado poderá ser expresso em porcentagem de melhora ou piora de cada um dos parâmetros selecionados.

Esta terceira fase é fundamental para o projeto, demonstrando seus resultados conclusivos: mostrar como o uso de algumas técnicas específicas de coordenação e a integração entre as diferentes entidades pode maximizar a eficiência no resgate a vítimas e na proteção do patrimônio da cidade em caso de desastre.

### IV. ESPECIFICAÇÃO

Esse trabalho utiliza como base o código do time implementado pela equipe do LTI, participante da competição de 2012. Adicionalmente, apresentamos quatro principais algoritmos de coordenação para melhorar o projeto existente: (i) o particionamento baseado em refúgios para os policiais, (ii) o desbloqueio preventivo, (iii) a inclusão de ações nos agentes de resgate ao escutar, na simulação, o pedido de ajuda dos civis, e (iv) a determinação da eficiência de um resgate de acordo com parâmetros pré-definidos. Outras técnicas serão estudadas para uma implementação futura; no entanto, devido ao curto tempo restante até a competição, estas não serão implementadas por completo para a competição desse ano.

É interessante ressaltar que como esses algoritmos são voltados para a competição *Robocup Rescue 2013*, estes nem sempre irão refletir de maneira idêntica a forma como os

agentes de resgate se comportariam em um ambiente real. Os algoritmos descritos abaixo visam exclusivamente aumentar o *score* final do time na competição.

#### A. Particionamento do mapa baseado em refúgios

Uma das tarefas mais difíceis na competição é bem distribuir os agentes de cada equipe, para que estes estejam sempre próximos aos focos de incêndio e às vítimas de soterramento, podendo chegar assim rapidamente a esses locais. Uma das técnicas utilizadas para a distribuição dos agentes pelo mapa é o particionamento do mapa, de modo que cada agente ou grupo de agentes fique restrito a um setor designado no mapa.

A ideia dessa técnica consiste em reservar áreas próximas aos refúgios para que um policial fique em constante ronda em torno de um refúgio. Os policiais alocados nessa tarefa terão como objetivo retirar os bloqueios encontrados nessa região, na tentativa de limpar a entrada e os principais caminhos próximos ao refúgio. Essa técnica será utilizada somente em mapas que contém mais do que um número mínimo definido de policiais disponíveis, pois deverá haver um número mínimo de policiais para efetuar um desbloqueio preventivo.

#### B. Desbloqueio preventivo

Dentro do ambiente do simulador, quando uma ambulância decide salvar um civil preso nos escombros, ela deve se locomover até o local e tirá-lo dos destroços. Para finalizar o processo de salvamento, a ambulância deve ainda transportar o civil machucado do local do acidente até um refúgio para que ele possa ser atendido pelos médicos. Um dos grandes problemas encontrados durante esse processo é a presença de bloqueios entre a ambulância e o civil, e entre o civil e o refúgio. A presença desses bloqueios impede temporariamente a ambulância de alcançar o civil e/ou levá-lo até um refúgio, causando a morte do mesmo e consequentemente a diminuição do *score*.

Uma solução para o problema, utilizada atualmente, é chamar um agente de polícia no momento em que a ambulância encontra um bloqueio. No entanto, o tempo levado para o agente de polícia atingir o bloqueio e retirá-lo pode aumentar o tempo de chegada no local do acidente.

Dessa forma, é proposta a utilização de uma técnica de desbloqueio preventivo: uma ambulância, ao determinar que irá salvar um civil, envia uma mensagem de *broadcast* para todos os agentes de polícia. O agente de polícia mais próximo do civil começa então um processo de busca e remoção de bloqueios entre o civil e a ambulância e entre o civil e o refúgio. Esse processo tem por objetivo principal aumentar as chances de sobrevivência do civil e, consequentemente, do nosso *score*.

#### C. Inclusão de ações ao escutar pedido de ajuda dos civis

No simulador, os agentes civis, quando soterrados, podem enviar uma mensagem pedindo ajuda para serem socorridos. Os agentes de salvamento próximos ao civil podem escutar essa mensagem e descobrir que existe uma pessoa em perigo naquele local. Essa informação pode então ser repassada aos

outros agentes para que alguém vá em direção ao civil para resgatá-lo. Na solução implementada atualmente, os agentes não estão tomando ações baseados nessa mensagem, e precisam entrar nas casas para encontrar as vítimas, o que aumenta o tempo de salvamento. A implementação desse mecanismo pode ajudar a aumentar as chances de resgate e, consequentemente, melhorar o *score* do nosso time.

#### D. Determinação da eficiência de um resgate

Nem sempre é possível chegar no local do acidente a tempo de salvar um civil. Em certas situações, devido à presença de um incêndio, por exemplo, os civis morrem antes mesmo que a ambulância chegue ao local. Para diminuirmos o desperdício de recursos ao deslocar uma ambulância até o local do incêndio e não ser capaz de salvar o civil, uma solução é de ponderar a ida de uma ambulância a um local ao invés de outro pela eficiência calculada do resgate. Essa eficiência pode levar em conta, por exemplo, o tempo de deslocamento até o local da vítima, a presença de bloqueios conhecidos no caminho e a presença de incêndios nas proximidades do local onde o civil se encontra.

Como dito anteriormente, essa técnica visa somente aumentar o *score* da competição e não reflete necessariamente o comportamento real de uma ambulância. Em uma situação real, esse cálculo poderia levar em conta outros fatores que não estão presentes no simulador e, portanto, não podem ser incluídos na competição.

## V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi brevemente apresentado nosso projeto de um time de agentes para resgate de civis em situações de desastre. Descrevemos as suas etapas e as técnicas que ainda serão implementadas. Atualmente, o projeto encontra-se na primeira fase, onde foram realizados os estudos teóricos necessários e as principais estratégias a serem implementadas para a competição já foram definidas. Os próximos passos incluem a implementação e testes das estratégias acima citadas no simulador da competição, além da participação efetiva na competição em junho de 2013. Posteriormente, ao iniciar a segunda fase do projeto, serão realizadas visitas aos centros de coordenação e estudos sobre os protocolos de atuação das entidades de salvamento do município de São Paulo, com o intuito de modelar e analisar esses protocolos no simulador.

## REFERENCES

- [1] D. Guha-Sapir, F. Vos, R. Below, and S. Ponsérre, "Annual disaster statistical review 2010: The numbers and trends," Centre for Research on Epidemiology of Disasters, Tech. Rep., 2011. [Online]. Available: [http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR\\_2010.pdf](http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf)
- [2] M. Wooldridge, *An Introduction to Multiagent Systems*, 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [3] E. Durfee and V. Lesser, "Partial global planning: a coordination framework for distributed hypothesis formation," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 21, no. 5, pp. 1167–1183, 1991.
- [4] A. H. Pereira, L. G. Nardin, and J. S. Sichman, "LTI agent rescue: A partial global approach for task allocation in the robocup rescue," *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, vol. 19, no. 1, pp. 71–92, 2012.
- [5] A. B. M. da Silva, L. G. Nardin, and J. S. Sichman, "Um método baseado em particionamento para exploração de ambientes de desastre," in *Anais do 9o. Encontro Nacional de Inteligência Artificial*. Curitiba, BR: Sociedade Brasileira de Computação, 2012.