

Formação de Equipa para Combate a Incêndio Urbano

Paulo Araújo¹, Paulo Trigo², Ana Respício³, Carlos Lopes⁴

¹ paraujo@isel.ipl.pt ² ptrigo@isel.ipl.pt

Instituto Superior Engenharia Lisboa

R. Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1949-014 Lisboa

Telefone: +351.218.317.180, Fax: +351.218.317.114

³ respicio@di.fc.ul.pt

Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências

FCUL, Dep. Informática, C6, 1749 - 016 Lisboa

Telefone: +351.217.500.522, Fax: +351. 217.500.084

⁴ carloslopes@portugalmail.pt

Universidade Católica Portuguesa

Universidade Católica Portuguesa Palma de Cima, 1649-023 Lisboa

Telefone: +351. 217.214.066, Fax: +351. 217.215.188

Neste artigo descreve-se uma abordagem para dimensionar uma equipa de bombeiros para combate a incêndio urbano em ambiente de simulação. A simulação foi realizada no ambiente RoboCupRescue que combina, num mesmo espaço geográfico (e.g. cidade), a evolução de uma catástrofe (e.g. incêndio urbano) e a actuação dos meios (humanos) que visam mitigar os efeitos dessa catástrofe. A abordagem seguida permite determinar o número mínimo de elementos a constituir numa equipa de bombeiros para extinguir um determinado incêndio. Utilizou-se um processo de exploração de conhecimento a partir de um conjunto de treino para construir uma árvore de decisão, recorrendo ao algoritmo de classificação ID3. O conjunto de treino foi obtido a partir da simulação de diferentes situações de incêndio usando o espaço geográfico (mapa) da cidade japonesa de Kobe. São analisados os resultados da avaliação das regras geradas e apresentam-se algumas conclusões sobre os factores que influenciam o critério de formação das equipas.

1. Introdução

Uma catástrofe, de origem natural ou tecnológica (e.g. sismo, ou incidente terrorista), produz num curto espaço de tempo alterações profundas no meio ambiente podendo colocar em perigo a existência dos agentes afectados por essas alterações [1]. Os efeitos de uma catástrofe natural, como são exemplo os terramotos, dependem de uma grande diversidade de factores. Estes factores classificam-se em: a) intrínsecos – associados às características naturais dos fenómenos de catástrofe como são exemplo, no caso dos terramotos, a sua magnitude, o tipo de terramoto e a localização, b) geológicos – relacionados com as condições onde os efeitos da catástrofe são sentidos, tais como a distância ao local do evento ou a saturação da água dos solos, e c) sociais – relacionados com as condições de reacção ao fenómeno, por exemplo, a qualidade de construção, preparação da população e hora do dia em que o fenómeno ocorre.

Em 17 de Janeiro de 1995 ocorreu, na ilha de Honshu, um terramoto que teve a duração de 20 segundos e que causou mais de 5000 vítimas humanas, a maior parte na cidade de Kobe, um dos principais portos do Japão.

As consequências da catástrofe que ocorreu na cidade de Kobe deveram-se a coincidências de simples factores sociais e sismológicos. A cidade de Kobe está localizada sobre a intersecção de 3 placas tectónicas. O terramoto ocorreu às 5h46m da madrugada pelo que a maioria dos cidadãos se encontrava a dormir. O epicentro do terramoto foi localizado a 20km da zona central da cidade de Kobe.

Neste tipo de fenómeno, quando a terra estremece, os canos e cabos mais rígidos quebram por não terem flexibilidade. Os edifícios são servidos, por uma rede de canos e cabos, de água, electricidade, gás e telecomunicações. Os edifícios, por efeito dos movimentos do terramoto, ficam sujeitos à ruptura no fornecimento desses serviços (água, gás, electricidade e comunicação). Estas rupturas, em especial nas estruturas de gás e de electricidade, passam a contribuir para o surgimento e propagação de

incêndios. O combate aos incêndios torna-se especialmente difícil não apenas pela ruptura no fornecimento de água (e colapso dos reservatórios de emergência, como ocorreu em Kobe), mas também pelo colapso da capacidade de comunicação. A incapacidade de comunicar não tem origem apenas nos danos das infra-estruturas de suporte. Tal como aconteceu em Kobe, as próprias pessoas que constituíam a estrutura de salvamento e que tinham o papel de obter e difundir informação foram atingidas pela catástrofe.

Estudos sobre o terramoto de Kobe na universidade de Kobe sugerem que o incêndio terá originado cerca de 500 vítimas humanas e que cerca de 7000 prédios terão sido destruídos exclusivamente pelo fogo.

O nosso objectivo é, dado um incêndio com determinadas características, num contexto de catástrofe, determinar o número mínimo de bombeiros para o extinguir efectivamente. Não se conhece previamente o comportamento de cada incêndio. Os incêndios têm um comportamento dinâmico decorrente da sua evolução temporal e da influência de fenómenos naturais. Por outro lado, como podem existir diversos incêndios a evoluir em simultâneo, numa catástrofe, a tomada de decisão relativamente à constituição de equipas de bombeiros exige ainda que se determinem quais os fogos a extinguir. Esta decisão mais abrangente depende do número mínimo de bombeiros necessário para extinguir cada incêndio. Dada a natureza dinâmica do problema, as metodologias clássicas de afectação de recursos não se revelam adequadas.

A abordagem seguida neste artigo consiste em efectuar diversas experiências de simulação, para diferentes cenários de incêndio. Os resultados destas simulações são tratados por um processo de exploração do conhecimento que permite estabelecer regras que determinam a dimensão mínima duma equipa.

A área da Computação Social preocupa-se com a pesquisa e construção de software que contribua para que as pessoas terem uma vida social *on-line* [2]. O objectivo da Computação Social é promover a cidadania, a inclusão digital, informática social, etc [3]. Uma das áreas de investigação é a da simulação social, onde a preocupação se centra em tornar a interacção entre o homem e o computador numa melhor experiência social. Neste trabalho, utiliza-se uma metodologia de simulação baseada em agentes para avaliar diferentes cenários de combate a incêndio. No entanto, no ambiente de simulação, as interacções entre agentes está bastante limitada e a comunicação entre eles obedece a regras pré definidas de distâncias e sem margem para alterações a não ser no formato das mensagens trocadas entre os agentes.

Este artigo está organizado do seguinte modo. Na secção 2 apresenta-se sumariamente o ambiente de simulação do RobotCupRescue. A secção 3 descreve algumas opções tomadas na modelação dos dados. A secção 4 descreve a abordagem utilizada para determinar o número de bombeiros a constituir uma equipa. Por fim, na secção 5, tecem-se algumas conclusões e perspectivam-se desenvolvimentos futuros.

2. Sistema de simulação RoboCupRescue (SSRCR)

O RoboCupRescue é um projecto de simulação que combina comportamento humano e diversos domínios de desastres como são exemplo os terremotos, fogos, engarrafamentos de tráfego, e apresenta-os num cenário coerente envolvendo um grande número de agentes heterogéneos num ambiente hostil [4]. O ambiente de catástrofe evolui num contexto urbano habitado por civis (simulado por agentes de software) e por edifícios com diferentes características. A evolução dos diversos aspectos da catástrofe (e.g. incêndios, derrocada de edifícios, bloqueio de estradas) assim como a movimentação dos civis é simulada exibindo características do mundo real. O objectivo consiste em realizar actividades de busca e salvamento de modo a mitigar o efeito da catástrofe.

O SSRCR é composto por cinco módulos:

- Sistema de Informação Geográfica (SIG), que contém toda a informação referente ao espaço onde se desenrola a acção. Esta informação inclui os dados geográficos, as posições e características dos objectos que caracterizam os edifícios, as ruas e os agentes. Existem dois tipos de objectos: os objectos que se movem (agentes) e os objectos estáticos (e.g. edifícios e estradas).

- Agentes RCR, que actuam no espaço geográfico onde decorre a simulação.
- Sub-Simuladores, que simulam as evoluções dos fenómenos naturais tendo em conta um conjunto de parâmetros de modo a que o evoluir da catástrofe se aproxime do que acontece na realidade.
- Kernel, que é responsável pela evolução do tempo da simulação e pela coordenação da execução dos sub-simuladores e dos agentes RCR.
- Visualizador, que apresenta em modo gráfico a evolução da simulação (SIG e actuação dos Agentes RCR). Cada agente tem uma representação gráfica e a sua evolução é mostrada durante o desenrolar da acção.

A acção desenrola-se durante 300 ciclos em que cada ciclo representa cerca de 1 minuto de tempo real.

Neste trabalho utilizou-se, como cenário, a cidade de Kobe composta por: 820 estradas, 765 nós, 720 edifícios, 5 refúgios, 15 equipas de bombeiros, 15 equipas de polícias, 8 equipas de ambulâncias, 90 civis, 1 central de bombeiros e 1 central de polícias, 1 central de ambulâncias.

3. Sistema de gestão de bases de dados relacional objecto (SGBDRO)

Devido à quantidade de informação gerada por cada simulação foi necessário recorrer a um sistema de gestão de bases de dados para armazenar essa informação. Dada a natureza geográfica dos dados, optou-se pela escolha de um sistema de gestão de bases de dados relacional objecto (SGBDRO) com suporte para dados geográficos

Os dados geográficos são modelados em camadas (estratos) e estão relacionados entre si. A informação pode ser acedida de forma directa (coordenadas na superfície terrestre) ou indirecta (casas dentro de um raio em relação a um ponto).

No trabalho apresentado modelou-se a informação relativa a objectos estáticos e a informação dos agentes móveis para permitir extrair o conhecimento relativo às equipas de bombeiros. Como exemplo, a figura 1 apresenta 3 tabelas usadas para armazenar a informação gerada na simulação.

CRUZAMENTO	ESTRADA	RESIDENCIA
- ID_CRUZAMENTO: INTEGER - NOME: CHAR - G_LOCAL: DB2GSE.ST_POINT	- ID_ESTRADA: INTEGER - NOME: CHAR - G_LOCAL: DB2GSE.ST_LINestring	- ID_RESIDENCIA: INTEGER - NOME: CHAR - G_LOCAL: DB2GSE.ST_POLYGON

Figura 1. Estrutura das tabelas CRUZAMENTO, ESTRADA e RESIDENCIA

Para inserir informação nas tabelas foi usada a linguagem SQL, com extensão para dados geográficos. A tabela 1 mostra o código SQL necessário para adicionar um registo na tabela CRUZAMENTO. A tabela é composta por 3 colunas: a primeira (ID_CRUZAMENTO) é o identificador único de cruzamento; a segunda (NOME) corresponde ao nome do cruzamento; e a terceira (G_LOCAL) corresponde ao local do cruzamento com coordenadas geográficas. A directiva SQL apresentada insere um cruzamento com o identificador '1' com o nome 'Cruzamento 1' e o atributo G_LOCAL contém um objecto geográfico 'db2gse.ST_PointFromText' com as coordenadas (2.00, 2.00).

```
INSERT INTO CRUZAMENTOS (ID, NOME, G_LOCAL)
VALUES (1, 'Cruzamento 1', db2gse.ST_PointFromText ('point (2.00
2.00)', db2gse.coordref () ..srid(0)));
```

Tabela 1. Directiva SQL para inserir um cruzamento

Os SGBDRO com suporte para dados geográficos incluem também ferramentas de visualização para apresentar os dados por camadas. A utilização destas ferramentas representou um apoio importante durante a fase de construção e definição do modelo de dados.

4. Selecção das equipas de bombeiros

A abordagem seguida relaciona os dados referentes ao espaço geográfico (onde evolui a catástrofe) para construir, usando o algoritmo de classificação ID3 [5], uma árvore de decisão que contém as

regras que determinam o número de elementos mínimo a formar na equipa de bombeiros para extinguir um determinado fogo.

Obtenção do conjunto de treino

O conjunto de treino foi obtido a partir da informação gerada em várias simulações de catástrofe na cidade Japonesa de Kobe com diferentes situações de incêndio registando os estados que caracterizam um edifício em incêndio.

Os factores que foram registados no modelo de dados para serem explorados são:

- Área total do edifício;
- Tipo de construção do edifício;
- Grau de intensidade do incêndio;
- Número de bombeiros a apagar o incêndio.

Na cidade de Kobe, os tipos de construção e as áreas dos edifícios variam bastante de acordo com zona da cidade onde os edifícios se encontram. Os edifícios têm uma variação de área total entre os 533 e os 830420 [m²]. A área total de cada edifício corresponde ao somatório das áreas de cada um dos seus pisos. Os tipos de construção possíveis são: madeira, cimento e betão armado. Nas de madeira (0) e cimento (1) o nível de propagação do fogo é maior que nas de betão armado (2).

O incêndio está caracterizado em 7 níveis (0 a 6): o nível 0 indica que não existe incêndio; os níveis de 1 a 3 caracterizam graus de intensidade de fogo; os níveis de 4 a 6 correspondem a graus de destruição do edifício com incrementos de 33%; e o nível 6 representa a destruição completa do edifício.

O número de bombeiros que se encontra a extinguir o incêndio é determinante para levar a cabo a sua extinção. Se não existirem bombeiros suficientes para determinada situação de fogo então não é possível extinguir esse fogo. Nesse caso mais vale atacar outro fogo em que o número de bombeiros permita que seja extinto.

Foi implementado um mecanismo de intersecção no ambiente de simulação SSRCR para, durante a sua execução, registar no SGBDRO os dados de evolução da acção relativos aos bombeiros e aos edifícios. A tabela 2 apresenta o código usado armazenar a informação relativa aos bombeiros por cada ciclo de simulação. Para o efeito, foi implementada uma classe WriteLog que é responsável por inserir, por cada ciclo, os dados no SGBDRO através do método 'WriteToDB_FireBrigade'. Este método é invocado no código de cada um dos agentes (bombeiros).

```
// iterar sobre os bombeiros
ListIterator lhm =
icl_representacaoDoAmbiente.fireBrigades.listIterator();
while (lhm.hasNext()) {
    Humanoid hm = (Humanoid) lhm.next();
    WriteLog wl = new WriteLog();
    wl.WriteToDB_FireBrigade(self().time(), hm.id, self().x(),
        self().y(), hm.positionExtra(), hm.hp(), hm.damage(),
        hm.buriedness());
}
```

Tabela 2. Código Java para armazenar a informação dos bombeiros no SGBDRO

Todos os bombeiros são registados por cada ciclo de simulação independentemente de se encontrarem a apagar um fogo ou a deslocarem-se para o local.

Construção da árvore de decisão usando o algoritmo ID3

Antes de aplicar o algoritmo ID3 é necessário preparar os dados a explorar. Os tipos de dados são:

- Nominais – usadas como etiquetas;
- Categóricos – quando atribuem nomes a grupos de coisas;

- Ordinais – usados quando há necessidade de estabelecer ordem;
- Rácios – usados quando temos uma razão entre valores.

Nos factores que foram tidos em conta a área do edifício é contínua e os restantes são discretos (de valor singular). O algoritmo ID3 classifica um conceito (atributo) a partir de exemplos caracterizados por um conjunto de atributos de domínio discreto. Devido a isso foi necessário realizar um tratamento prévio à área do edifício.

O domínio do atributo “área total do edifício” varia no intervalo [533 .. 830420]. Este domínio foi dividido em intervalos que contêm o mesmo número de edifícios. Ou seja, foram definidos agrupamentos que cobrem de modo equitativo o espaço dos exemplos (edifícios). Existem no total 740 edifícios e considerou-se que cada agrupamento teria 150 edifícios (a dimensão de uma “zona tipo freguesia”). A aplicação deste critério à informação geográfica da cidade de Kobe deu origem aos seguintes 5 intervalos para o atributo “área do edifício”: [533 .. 10521[; [10521 .. 20013[; [20013 .. 40963[; [40963 .. 105222[; [105222 .. 830420].

O conjunto de treino foi obtido a partir de um total de 30 simulações. A tabela 3 mostra alguns exemplos.

Nº Simulação	Área Total	Grau_Fogo	Tipo Construção	Nº. Bombeiros
1	[533 : 10521[	1	0	1
2	[533 : 10521[	1	1	1
...
8	[10521 : 20013[	1	2	1
9	[10521 : 20013[	2	0	2
...
14	[20013 : 40963[	1	1	2
18	[20013 : 40963[	2	2	1
19	[40963 : 105222[	1	0	5
...
28	[105222 : 830420]	2	0	15
29	[105222 : 830420]	1	1	12
30	[105222 : 830420]	2	1	15

Tabela 3. Conjunto de treino obtido a partir de 30 simulações

Depois de aplicado o algoritmo ID3 ao conjunto de treino apresentado foi gerada a árvore de decisão. A figura 2 mostra um excerto da árvore obtida.

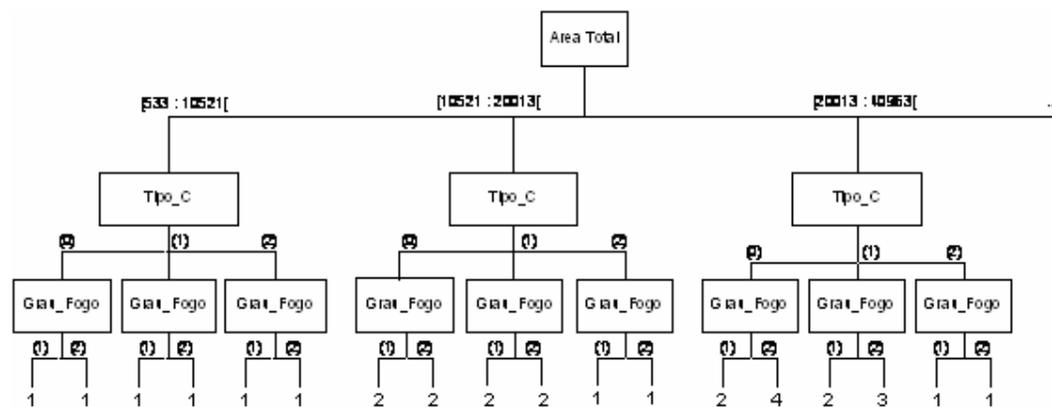


Figura 2. Excerto da árvore de decisão obtida pelo algoritmo ID3

O critério principal para selecção da equipa de bombeiros é a área do edifício. O segundo critério para selecção do número de bombeiros é o tipo de construção sendo o terceiro critério de selecção o grau de intensidade do incêndio. Um exemplo de regra implementada é:

Se ‘AreaTotal’ ∈ [10521, 20013[e ‘TipoConstrução’=1 e ‘GrauFogo’=2 então “mínimo 2 bombeiros”.

Testes ao algoritmo

Depois de gerada a árvore de decisão, foi implementado um conjunto de regras nos agentes RCR para implementar a árvore de decisão obtida. Estes testes permitiram avaliar a actuação dos bombeiros perante várias situações de incêndio. Para comparar a vantagem de utilização das regras, foram realizados três testes em que o número de bombeiros está de acordo com as regras implementadas e um quarto teste sem ter em conta as regras implementadas. Das experiências constatou-se o seguinte:

- 1º teste – Um edifício de área 1780 mm² com tipo de construção de aço e com intensidade de fogo de nível 2 foi apagado por apenas 1 bombeiro – está de acordo com a árvore gerada.
- 2º teste – Um edifício de área 34550 mm² do tipo reforçado e com grau de intensidade de fogo 2 foi apagado por 1 bombeiro – está de acordo com a árvore gerada.
- 3º teste – Um edifício de área 49562 mm² do tipo de construção aço e com intensidade de fogo 1 foi apagado por 3 bombeiros – está de acordo com a árvore gerada.
- 4º teste – Um edifício de área 408505 mm² do tipo de construção aço e com intensidade de fogo 1 não conseguiu ser apagado por 10 bombeiros – a árvore indica um mínimo de 12 bombeiros.

5. Conclusões e trabalho futuro

Numa catástrofe, o conhecimento do número mínimo de bombeiros a formar uma equipa para extinguir cada incêndio é um factor essencial para determinar quais os fogos que têm hipótese de ser extintos atendendo ao número de bombeiros disponíveis. Desta forma, é possível não desperdiçar recursos em situações para as quais não se espera obter um resultado satisfatório.

A constituição das equipas de bombeiros não se limita a ser formada pelo número mínimo. Sempre que possível atribuem o máximo de bombeiros disponíveis. O conhecimento do número mínimo é importante para não desperdiçar recursos em objectivos avaliados como impossíveis de alcançar.

As regras implementadas mostraram-se um método adequado para dimensionar equipas de bombeiros. A utilização de um SGBDRO facilitou a manipulação de dados geográficos para obtenção do conjunto de treino.

Não foram estudados outros factores que influenciam o apagamento do fogo. Estes factores relacionam-se com a distância de cada bombeiro ao incêndio e o ângulo da mangueira. Seria interessante comparar diferentes situações de apagamento e ver qual a influência que tem em tempos de tempo de apagamento.

A mobilidade dos bombeiros também é um factor decisivo para o apagamento de incêndios pois por vezes o problema é os bombeiros não conseguirem chegar aos locais onde se dá o incêndio.

Um outro ponto em aberto consiste fazer um estudo semelhante, ao que aqui se apresentou para equipas de bombeiros, mas para a actuação dos polícias e ambulâncias no ambiente de simulação do RobotCupRescue. Perspectivamos que tal nos pode providenciar um maior conhecimento acerca da influência dos diferentes factores na evolução da catástrofe e gerir os agentes RCR de forma a otimizar o seu desempenho.

6. Referências

- [1] H. Kitano, S. Tadokoro, I. Noda, H. Matsubara, T. Takahashi, A. Shinjou and S. Shimada, “RoboCupRescue: Search and Rescue in Large Scale Disasters as a Domain for Autonomous Agents Research,” In *Proceedings of IEEE International Conference on Man, System and Cybernetics (MSC-99)*, vol. VI, pp. 739-743, Tokyo, Japan October 12-15, 1999.
- [2] K. HÖÖK, “Our Approach to Social Computing”, In *Ercim News N.46*, July 2001.
- [3] A. Rao, “Tutorial on Social Computing”, In *37th National Convention of the Computer Society, India*, October 29-31, 2002.
- [4] P. Trigo, P. Araújo, A. Remédios, C. Lopes, B. Basílio, T. Loureiro, L. Moniz, H. Coelho, The 5Rings “Team Description Paper”, *RoboCup2004 Symposium*, Lisboa, Julho 2004.
- [5] J. Quinlan, “Induction of decision trees”, *Machine Learning* 1:81—106, Reprinted in Shavlik and Dietterich (eds.) *Readings in Machine Learning*, 1986.