

# Aplicação da Transformada de Distância em Serviços Emergenciais

Maria José Pinto Lamosa, Mônica Maria De Marchi, Felipe Leonardo Lobo Medeiros,  
Carmem Lúcia Ruybal dos Santos

Instituto de Estudos Avançados - Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (IEAv/CTA), Cx Postal 6044, CEP 12228-970, São José dos Campos, SP

**Resumo** — Este trabalho apresenta a aplicação de um método, tradicionalmente utilizado em robótica móvel, para geração de rotas em sistemas de serviços emergenciais. Em caso de acidentes, por exemplo, em que se caracterize a emergência no atendimento, uma ambulância (o robô) precisa se deslocar do ponto onde está posicionada (ponto inicial onde o robô inicia sua navegação) até o local do acidente (ponto final da rota) de forma rápida e segura. Neste trabalho, utilizamos a transformada de distância para obtenção da distância mínima. Sendo um estudo preliminar, os resultados obtidos e algumas considerações são apresentados.

**Palavras-chaves** — Problema de roteamento, serviço emergencial, transformada de distância.

## I. INTRODUÇÃO

Realizar atendimentos de forma rápida torna-se primordial em sistemas que envolvem serviços emergenciais. Um dos fatores que podem afetar o desempenho no atendimento de emergências consiste da distância percorrida até o local de atendimento. Desta forma, encontrar um caminho que percorra uma distância mínima (caminho mínimo) e que, conseqüentemente, reduza o tempo de atendimento, torna-se fundamental. Vários sistemas podem ser representados por este problema como, por exemplo, de patrulhamento, bombeiros, ambulância, entregas domiciliares, etc. Diversos métodos de Pesquisa Operacional vêm sendo utilizados para tratar este problema [1]. Segundo Davis [2] os algoritmos de Dijkstra e de Ford-Moore-Bellman são os mais utilizados (para maiores detalhes sobre estes métodos veja [3]).

Segundo Heinen [4], a robótica móvel trata da locomoção de veículos autônomos em ambientes (áreas) que podem, ou não, ser conhecidos a priori e que contêm obstáculos estáticos ou móveis. Para operar neste tipo de ambiente o robô deve ser capaz de adquirir e utilizar conhecimento sobre o ambiente, estimar sua posição dentro da área a ser explorada, reconhecer obstáculos e, caso o ambiente seja dinâmico, responder em tempo real às situações que possam ocorrer neste ambiente. Diversas são as aplicações possíveis para a utilização de robôs móveis: reconhecimento de terrenos, limpeza de casas, detecção de minas, dentre outros.

M. J. P. Lamosa, maju@ieav.cta.br, M. M. De Marchi, monica@ieav.cta.br, F. L. L. Medeiros, felipe@ieav.cta.br, C. L. R. dos Santos, carmenl@ieav.cta.br

Este trabalho foi apresentado no XXXVIII SBPO (Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional), que ocorreu em Goiânia, de 12 a 15 de setembro de 2006.

O planejamento de rotas para robôs móveis consiste, então, em gerar caminhos de uma posição inicial  $S$  até um ponto final  $G$  do ambiente, com o objetivo de minimizar um ou mais parâmetros como, por exemplo, comprimento do caminho (menor distância), consumo de energia, tempo gasto, etc.

Com isto, podemos observar que o problema de gerar rotas em um sistema emergencial pode ser visto como um problema de robótica móvel. Para ilustrar esta possibilidade considere a situação hipotética onde o serviço emergencial a ser prestado consiste de um atendimento a uma vítima de acidente. No caso, uma ambulância (o robô) precisa ser deslocada do ponto onde está posicionada (ponto inicial onde o robô inicia sua navegação) até o local do acidente (ponto final da rota). Os obstáculos poderiam ser, por exemplo, os quarteirões que, neste caso, seriam obstáculos fixos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade de aplicar métodos, tradicionalmente utilizados em robótica móvel, para geração de rotas em sistemas de serviços emergenciais. Um estudo preliminar foi feito utilizando transformada de distância, um método bastante utilizado na literatura na área de robótica (veja seção 2).

Na próxima seção, apresentamos uma descrição detalhada sobre a transformada de distância e como ela tem sido utilizada na robótica móvel. Na seção 3, apresentamos os resultados dos testes computacionais realizados para um caso de teste que foi utilizado para verificar a viabilidade de utilizar a transformada de distância no contexto de serviços emergenciais. Na seção 4, algumas considerações finais são descritas, juntamente com propostas para trabalhos futuros.

## 2. TRANSFORMADA DE DISTÂNCIA

A transformada de distância é utilizada para gerar rotas para robôs móveis em ambientes contendo obstáculos. Este método utiliza uma malha (*grid*) da área a ser explorada, sendo que cada célula é identificada como sendo uma região livre ou ocupada (coberta pelo obstáculo). No caso, as células livres serão as utilizadas para determinação da rota. A Fig. 1 mostra uma possível malha para uma determinada área a ser explorada, onde as células preenchidas representam as regiões da área que estão ocupadas pelos obstáculos.

A partir de uma determinada célula  $k$  é preciso definir sua vizinhança, ou seja, quais das células vizinhas podem ser exploradas caso o robô esteja na célula  $k$ . A Fig. 2 ilustra diferentes tipos de vizinhança que podem ser considerados.

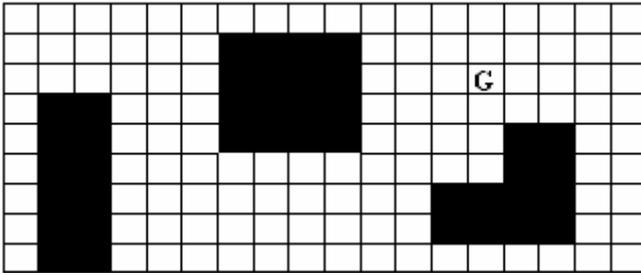


Fig. 1. Exemplo ilustrativo.

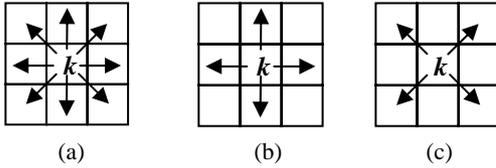
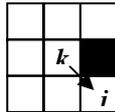


Fig. 2. Tipos de vizinhança para uma determinada célula  $k$ .

O tipo de vizinhança a ser utilizado pode ser definido de acordo com a aplicação. Se, por exemplo, o objetivo é obter uma rota segura, como no trabalho de Zelinsk *et al.* [5], de forma a evitar que o robô encoste nos obstáculos, talvez seja aconselhável utilizar a vizinhança ilustrada em (b), sem considerar as diagonais, pois se estivermos na situação ilustrada a seguir, permitir que o robô vá para a posição  $j$  pode ser perigoso.



Jarvis e Byrne (1986) (*cf.* [6]) foram os primeiros a utilizar a transformada de distância para gerar rotas para robôs móveis. De maneira geral, este método consiste em expandir a distância em torno da célula destino (**G**) como uma onda se propagando em torno dos obstáculos, associando-se valores ( $v$ ) a cada célula livre a partir da célula **G**. O primeiro passo do método é associar à célula destino um valor nulo ( $v = 0$ ) e às demais células livres valores altos. O valor de cada célula livre  $i$  é atualizado de acordo com os valores de seus vizinhos, que são definidos de acordo com o tipo de vizinhança escolhido (veja Fig. 2), da seguinte forma:

$$v(i) = \min \{v(i), v(1) + \text{custo de mover da célula } i \text{ para o vizinho } 1, v(2) + \text{custo de mover da célula } i \text{ para o vizinho } 2, \dots, v(T) + \text{custo de mover da célula } i \text{ para o vizinho } T\} \quad (1)$$

onde  $T$  representa o total de vizinhos da célula  $i$ .

No caso, o custo de mover de uma célula  $i$  para uma célula  $j$  pode ser definido como sendo a distância entre estas células que é definida de acordo com o tamanho da grade. Considerando um custo unitário para mover de uma célula para outra, ou seja, que cada célula possui dimensão  $1 \times 1$ , a Fig. 3 mostra a transformada de distância para o exemplo da Fig. 1.

Dados os valores da transformada de distância e uma posição inicial (**S**), o caminho até **G** é calculado como uma seqüência de células buscando-se sempre pela célula vizinha livre de menor valor  $v$ . No caso, a busca é iniciada a partir de **S** e é finalizada somente quando o ponto **G** é alcançado. Caso não exista nenhuma célula com valor menor, conclui-se que não é

possível obter um caminho de **S** a **G**, ou seja, o destino é inacessível.

A Fig. 4 mostra um caminho possível para o exemplo da Fig. 1, considerando **S** na posição ilustrada.

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2	2	3	4		
13	12	11	10	9	8					3	2	1	1	1	2	3	4	
13	12	11	10	9	9					3	2	1	<b>G</b>	1	2	3	4	
13			10	9	9					3	2	1	1	1	2	3	4	
14			10	9	8					3	2	2	2			3	4	
15			10	9	8	7	6	5	4	3	3	3	3			4	4	
16			10	9	8	7	6	5	4	4	4					5	5	
17			10	9	8	7	6	5	5	5	5					6	6	
18			10	9	8	7	6	6	6	6	6	6	6	7	8	7	7	7

Fig. 3. Transformada de distância para o exemplo da Fig. 1.

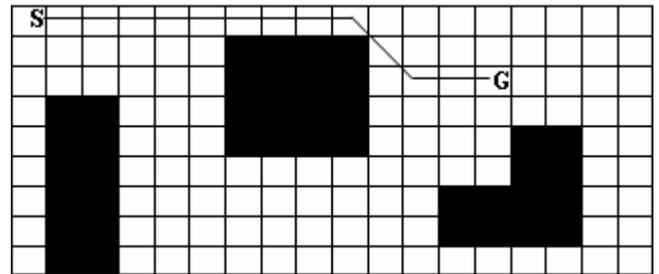


Fig. 4. Caminho gerado pela transformada de distância para o exemplo da Fig. 1.

Vários são os trabalhos encontrados na literatura que utilizam a transformada de distância na geração de rotas para robôs móveis considerando diferentes características do ambiente (conhecido ou não), do tipo de cobertura desejada (completa ou não) e dos obstáculos (estáticos ou móveis). Alguns destes trabalhos são revisados a seguir.

Zelinsk *et al.* [5] sugere uma extensão para a transformada de distância tradicional. Esta extensão é sugerida para gerar uma rota não somente de distância mínima até o destino, mas que também seja segura para o robô. Os autores utilizam um procedimento, denominado de *transformada de obstáculos*, que consiste em “inverter” a transformada de distância considerando as células ocupadas como sendo destino. O resultado está ilustrado na Fig. 5. Agora, o valor de uma célula passa a ser uma soma ponderada entre a distância até o destino e uma medida de desconforto de mover o robô próximo de obstáculos.

						1				1	2	3	4	5
						1				1	2	3	4	4
						1	1	1	1	1	2	3	3	4
						1	2	2	2	2	2	2	3	4
						1	2	1	1	1	1	2	3	4
						1	2	1			1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	2	1			1	2	3	4
2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	3	4
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4
2	1					1	2	3	3	3	3	3	3	4

Fig. 5. Ilustração da transformada de obstáculos. Fonte: Zelinsk *et al.* (1993)

O trabalho de Chin *et al.* [7] sugere uma otimização do algoritmo da transformada de distância tradicional para que

cada célula seja visitada uma única vez. Como o tamanho da área a ser explorada também afeta o tempo de execução do algoritmo tradicional, Chin *et al.* [7] sugeriram dividir o espaço de busca, aplicando a transformada de distância em cada parte deste espaço. Com isto, rotas parciais são obtidas. Para que estas rotas sejam unidas formando uma rota completa, do ponto inicial ao ponto final, pontos intermediários são obtidos. Estes pontos são definidos de forma a conduzir o robô o mais próximo possível do ponto destino original.

No trabalho de Williams e Jones [8] a rota para um robô aerotransportado é baseada em uma extensão tridimensional da transformada de distância. Estes autores também enfatizam a importância de uma implementação cuidadosa e, com isto, utilizam uma representação *octree*.

Existem também trabalhos na literatura que utilizam a transformada de distância para gerar uma cobertura completa de um ponto inicial a um ponto destino, passando por todas as células da grade. Por exemplo, o trabalho de Oh *et al.* [9] busca por esta cobertura completa em uma área não conhecida *a priori*. Estes autores ainda aplicam a transformada de distância considerando uma grade triangular, como ilustrado na Fig. 6.



Fig. 6. Definição de vizinhança para uma grade triangular.

Segundo os autores, quando a aplicação considera objetos móveis, este tipo de grade permite uma navegação mais flexível (observe que agora a vizinhança é maior, pois existem 12 possíveis pontos de navegação) para que o robô evite colisões.

#### A. Motivação

Como podemos observar, o cálculo da transformada de distância depende da definição *a priori* do ponto destino (veja Fig. 3). Com isto, o esforço computacional pode aumentar consideravelmente ao considerarmos diferentes pontos destino, pois os valores das células deverão ser recalculados a cada vez que um novo ponto **G** for definido.

Esta característica normalmente é citada nos trabalhos da literatura como um fator negativo para utilização da transformada de distância na robótica. Entretanto podemos citar algumas aplicações, num sistema emergencial, onde o esforço para gerar os valores da grade será feito uma única vez, sem afetar a eficiência do método. Para ilustrar estas aplicações, considere novamente que o serviço emergencial a ser considerado é o exemplo hipotético citado na introdução.

Consideremos o caso onde existe somente uma ambulância para atender as solicitações em uma determinada região e que o acesso entre as células é não direcionado, ou seja, o caminho de ir de um ponto inicial até um ponto destino é equivalente a fazer o caminho contrário. Como o esforço computacional praticamente não aumenta, ao considerar diferentes pontos iniciais e um mesmo ponto destino, tendo em vista que os valores das células não serão alterados, podemos aplicar a transformada de distância pensando no local onde a ambulância se encontra como sendo o ponto

destino. Assim, dado que o acidente (que agora é o ponto inicial) ocorra em qualquer célula da grade, o esforço computacional para gerar a rota que a ambulância deverá seguir até o local do acidente não será representativo. Isto é válido caso não exista nenhuma alteração na configuração da malha no intervalo de ocorrência dos acidentes.

Uma outra situação seria considerar que existe mais de uma ambulância que pode atender a vítima do acidente. Considerando que estas ambulâncias estão posicionadas em  $N$  diferentes pontos dentro da região a ser explorada, a transformada de distância pode ser aplicada considerando, separadamente, cada um dos  $N$  pontos como sendo um ponto inicial. Determinado o caminho gerado para cada ambulância, calcula-se a distância percorrida e a ambulância posicionada no ponto que gerou o menor caminho (menor distância) será a acionada para atender o acidente.

Com isto, vemos que existem situações onde a transformada de distância pode ser aplicada em sistemas emergenciais. Este fato e a facilidade de implementação, motivou-nos a escolher este método para um estudo preliminar.

### 3. TESTES COMPUTACIONAIS

Da forma como descrito em (1), podemos observar que o procedimento utilizado pela transformada de distância tradicional, para atualizar o valor das células livres, faz com que cada célula seja processada várias vezes. Assim, em casos de malhas mais refinadas, onde o número de células é grande, este procedimento pode tornar-se oneroso. Para reduzir este custo, implementamos o procedimento de forma que cada célula fosse processada uma única vez, de forma análoga à descrita em Chin *et al.*[7].

Aplicamos a transformada de distância em um caso de teste, gerado aleatoriamente, onde o mapa da área a ser explorada é conhecido *a priori* e possui dimensões  $12675 \times 4875$ . Os obstáculos também foram gerados de forma aleatória, onde consideramos que células parcialmente ocupadas pelos obstáculos fossem consideradas como totalmente ocupadas.

A vizinhança considerada foi a ilustrada na Fig. 2a, ou seja, caso não sejam células ocupadas, teremos 8 possibilidades de navegação. A Fig. 7 ilustra o caso de teste utilizado.

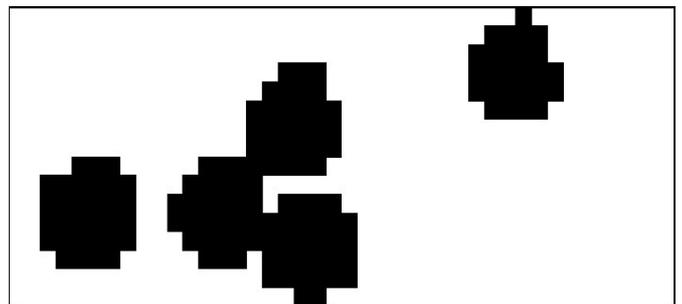


Fig. 7. Ilustração do caso de teste.

A malha da área foi gerada e obtivemos 672 células de dimensões  $300 \times 300$ . Para um teste inicial, consideramos o primeiro e o último ponto da malha, respectivamente, como os pontos inicial e final da trajetória a ser traçada. Para gerar a transformada de distância, consideramos ainda que o custo de ir de uma célula a outra da malha é dado pela distância euclidiana entre estes pontos. Com isto, valores altos são obtidos, inviabilizando uma ilustração da grade com os valores das células como a apresentada na Fig. 3.

