

## Sistema Interativo para Posicionamento de Observadores em Terrenos Representados por Modelos Digitais de Elevação

Chaulio R. Ferreira<sup>1</sup>, Salles V. G. Magalhães<sup>1</sup>, Marcus V. A. Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Informática – Universidade Federal de Viçosa (UFV)  
36.570-000 – Viçosa – MG – Brazil

chaulio@hotmail.com, {smagalhaes,marcus}@dpi.ufv.br

**Resumo.** *Este trabalho apresenta um sistema interativo para o posicionamento de observadores em terrenos representados por modelos digitais de elevação. O sistema é composto por uma interface gráfica na qual o usuário pode carregar o terreno e selecionar uma heurística para o posicionamento automático de observadores sobre este terreno. Então, a solução obtida pela heurística é apresentada ao usuário e ele pode modificar interativamente esta solução incluindo, removendo ou alterando a posição dos observadores. Ao modificar uma solução, o usuário pode visualizar em tempo real os efeitos causados pelas modificações realizadas como por exemplo, o aumento na taxa de cobertura.*

**Abstract.** *This work presents an interactive system to site observers in a terrain represented by digital elevation models. The system is composed by a graphical interface where the user can load a terrain and select a heuristic for observer siting on this terrain. The interface displays the solution obtained by the heuristic and it allows the user interactively to modify this solution including, removing or changing the position of the observers. The modified solution is displayed on real time and so, the user can see the effects of the modifications such as, the coverage increase.*

### 1. Introdução

Com a grande disponibilidade de dados geográficos de alta resolução obtidos a partir de tecnologias como LIDAR e IFSAR é importante desenvolver novos métodos em Sistemas de Informação Geográfica [7] (SIG) para processá-los.

Um importante grupo de aplicações de SIG é relacionado a modelagem de terrenos e, dentre os diversos tipos de operações que utilizam modelos de terrenos, uma operação importante é o cálculo do conjunto de pontos do terreno que são visíveis a partir de um ponto particular (o *observador*). Este problema possui diversas aplicações em telecomunicações, planejamento ambiental, navegação de veículos autônomos, etc [8, 10, 1]. Outro problema importante é posicionar um determinado número de observadores com o objetivo de “cobrir o terreno”. Tais observadores podem representar, por exemplo, torres de internet, de televisão ou de monitoramento florestal [2, 3].

Este artigo apresenta um sistema interativo para o posicionamento de observadores em terrenos. A idéia básica é utilizar uma interface gráfica que permita que o usuário atue de maneira direta e interativa sobre as soluções obtidas pelas heurísticas de posicionamento fornecidas pelo sistema. Ou seja, o sistema disponibiliza um conjunto de

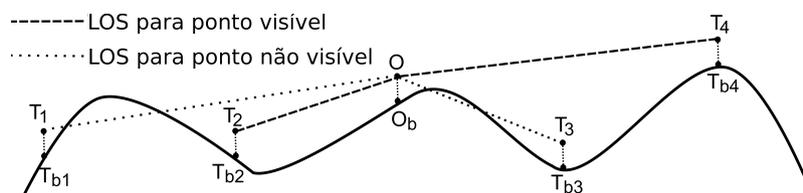
heurísticas que podem ser utilizadas para a obtenção de uma solução inicial, que é exibida na tela. Então, o usuário pode realizar alterações manuais nesta solução incluindo, removendo ou modificando a posição do(s) observador(s) com o intuito de melhorá-la. Esta melhora pode ser aumentando a cobertura obtida através da inclusão de novos observadores ou pelo reposicionando os observadores utilizados. Também é possível tentar reduzir o número de observadores mantendo a cobertura próxima do valor desejado.

## 2. Visibilidade em terrenos

Um *terreno* é uma representação da elevação da superfície terrestre em uma determinada região. Em geral, tal representação é realizada utilizando modelos digitais de elevação. Neste trabalho, o terreno será representado utilizando modelos digitais de elevação *raster* (ou *DEM*) que armazenam a elevação de amostras do terreno regularmente espaçadas[4].

Um *observador* é um ponto do espaço que “deseja” visualizar ou se comunicar com outros pontos do espaço chamados de *alvos*. A notação usual para observadores e alvos é  $O$  e  $T$ . Os *pontos base* de  $O$  e  $T$  são os pontos  $O_b$  e  $T_b$  do terreno que se localizam abaixo de, respectivamente,  $O$  e  $T$ . A visão do observador é limitada por um valor  $R$  que representa o alcance máximo chamado de *raio de interesse*. Por exemplo, se  $O$  representa uma torre de observação,  $R$  é a distância máxima que uma pessoa no topo da torre é capaz de ver na ausência de obstruções.

Um alvo  $T$  é *visível* a partir de um observador  $O$  se, e somente se,  $T$  estiver dentro do raio de interesse de  $O$  e não houver nenhum ponto do terreno que bloqueia o segmento de reta, chamado de *Linha de Visão* (ou *LOS - line of sight*), que conecta  $O$  a  $T$ . Veja a Figura 1. Nesta figura,  $T_2$  e  $T_4$  são visíveis a partir de  $O$  e  $T_1$  e  $T_3$  não são visíveis.



**Figura 1. Determinação da visibilidade de pontos utilizando uma LOS em uma seção vertical de terreno.**

O conjunto  $V$  de todos os pontos base que são visíveis a partir de  $O$  é chamado de *viewshed* de  $O$ .  $V$  é normalmente armazenado utilizando uma matriz de bits onde o valor 1 indica que um determinado ponto é visível e o valor 0 indica que o ponto não é visível.

O *índice de visibilidade*,  $VIX(O)$  é o número de alvos que são visíveis a partir de  $O$ . Este valor, que representa o número de bits 1 em  $V$ , normalmente é estimado utilizando uma amostragem de alvos escolhidos dentro do alcance visual de  $O$ .

O *viewshed acumulado*,  $V$ , de um conjunto de observadores  $\mathcal{O} = \{O_i\}$  representa a união dos viewsheds  $V(O_i)$ , ou seja, é a aplicação da operação binária *OR* nas matrizes de bits destes *viewsheds*. O *índice de visibilidade acumulado*,  $VIX(\mathcal{O})$  é o número de alvos no terreno que são visíveis a partir de pelo menos um observador em  $\mathcal{O}$ . Este valor é normalmente normalizado para representar um percentual da área do terreno.

O *problema de posicionamento de múltiplos observadores* consiste em otimizar a localização de um conjunto de observadores de modo a maximizar o índice de visibilidade acumulado destes observadores [6, 9]. Este problema é NP-Completo [10] e possui várias aplicações práticas como, por exemplo, otimizar o posicionamento de torres de observação, sistemas de radares ou torres de telefonia celular.

As heurísticas descritas na seção 3 consideram uma variação do problema de posicionamento de múltiplos observadores onde o objetivo é minimizar o número de observadores necessários para se cobrir um percentual do terreno. Mais especificamente, dado um conjunto  $P = \{P_i\}$  de pontos candidatos a receberem observadores, o problema consiste em encontrar o menor subconjunto  $S = \{S_i\}$  de  $P$  cujo índice de visibilidade acumulado seja maior ou igual a um determinado valor  $VIX_{min}$ .

### 3. Heurísticas para o posicionamento de observadores

Em [9] são propostas duas novas heurísticas para resolver a variação do problema de posicionamento de múltiplos observadores descrita acima. Ambas se baseiam no uso de uma busca local para estender ou adaptar outras heurísticas, como o método *Site* proposto por Franklin e outros [5] para aproximar a solução do problema de posicionamento de múltiplos observadores e o método GRASP [11], uma metaheurística geral de otimização.

O método *Site* utiliza uma abordagem gulosa para construir, de forma iterativa, a solução (representada pelo conjunto  $S$ ) da seguinte forma: dado um conjunto  $P = \{P_i\}$  de pontos candidatos a receberem observadores, em cada passo, o ponto  $P_i$  que contribuir mais para o aumento do índice de visibilidade de  $S$  é inserido em  $S$ . Este processo é executado enquanto  $VIX(S)$  for menor do que  $VIX_{min}$ .

Em [9], este método foi estendido com uma busca local para tentar melhorar a solução parcial obtida em cada passo do método guloso. Mais especificamente, dada uma solução parcial  $S$  obtida em uma iteração do método guloso, é criada uma vizinhança contendo todas as soluções que estiverem “próximas” a  $S$  e, então, soluções “melhores” são procuradas nesta vizinhança. Uma solução  $S'$  é considerada vizinha a uma solução  $S$  se as duas soluções possuírem o mesmo número de observadores e houver apenas um observador em  $S$  que seja diferente dos observadores de  $S'$ . Além disso, a distância entre os observadores diferentes de  $S$  e  $S'$  deve ser menor do que um dado limite.

O método GRASP, originalmente proposto por Resende e outros [11] consiste em criar uma solução inicial utilizando um método construtivo e, então, melhorar essa solução com uma busca local. Em [9], esta heurística foi adaptada para resolver o problema de posicionamento de múltiplos observadores.

Conforme descrito em [9], as soluções obtidas pela heurística baseada em GRASP e pela heurística baseada no método guloso melhorado com busca local utilizam, em média, 7% menos observadores do que as soluções obtidas pelo método *Site*. Vale mencionar que, em alguns casos de teste o método guloso melhorado com busca local apresenta resultados melhores do que o método GRASP e, em outros casos de teste, a heurística GRASP apresenta resultados melhores.

### 4. O sistema

Como dito anteriormente, não há uma heurística mais adequada para o posicionamento de observadores e, portanto, o objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema iterativo

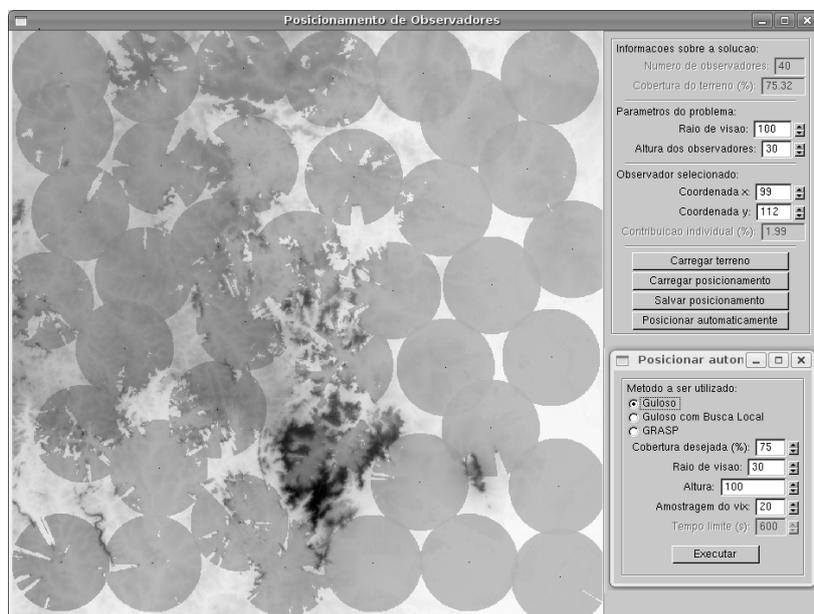


Figura 2. Janela principal do sistema após um terreno ser carregado.

que permita ao usuário selecionar a heurística a ser utilizada e, considerando a solução obtida, ele possa modificar interativamente esta solução incluindo, removendo ou modificando a posição do(s) observador(es) com o intuito de melhorar a solução. Esta melhora pode ser devido ao aumento da cobertura obtida incluindo-se novos observadores ou reposicionando-se os observadores utilizados ou então devido à redução do número de observadores mantendo-se a cobertura próxima do valor desejado.

A interface do sistema foi desenvolvida na linguagem C++ utilizando a biblioteca Qt. Inicialmente, é apresentada uma janela onde o usuário deverá fornecer os parâmetros para o sistema sendo que o primeiro deles é o arquivo contendo a matriz de elevação que representa o terreno. Então, a imagem deste terreno é mostrada na janela de visualização e então, o sistema exibe um menu *pop-up*, no canto inferior direito, onde o usuário deverá escolher a heurística a ser utilizada para obtenção da solução inicial cujas opções são: *Guloso*, *GulosoBL* e *GRASP*. Neste menu, além de selecionar a heurística, o usuário deverá informar os seguintes parâmetros: percentual da cobertura desejada, raio de visão do observador (em metros), altura (em metros) acima do solo dos observadores e dos alvos e o tempo máximo (utilizado como critério de parada pela heurística *GRASP* - esse parâmetro só é solicitado caso seja selecionada a heurística *GRASP*). Após clicar no botão *Executar*, a solução obtida é exibida na janela de visualização. A Figura 2 apresenta a solução obtida pela heurística *Guloso*.

Após realizar o posicionamento automatizado, as informações sobre a solução gerada são exibidas no canto superior direito onde o usuário pode realizar ajustes na solução modificando estes valores que são: o número de observadores utilizados, o percentual de cobertura alcançado, as coordenadas e a taxa de contribuição de um observador selecionado. Além disso, neste painel também há alguns botões que permitem que usuário

realize ações como: carregar um novo terreno, carregar um posicionamento anteriormente calculado, salvar o posicionamento obtido ou obter um novo posicionamento.

Quando o usuário modifica algum parâmetro (por exemplo, quando ele modifica a posição de um observador) a solução apresentada na janela de visualização é automaticamente atualizada para exibir a nova solução obtida com estes parâmetros.

Um observador pode ser selecionado clicando-se em seu *viewshed* (o *viewshed* de um observador selecionado é colorido com a cor azul). Após selecionar um observador, o usuário pode excluí-lo da solução atual utilizando a tecla *R* do teclado ou modificar a sua posição no terreno arrastando-o com o mouse ou digitando no painel as suas coordenadas.

Ao mover um observador, a visualização da solução é modificada em tempo real na janela de visualização de forma que o usuário possa ver a cobertura do terreno à medida em que o observador é deslocado. Vale mencionar que, por motivos de eficiência, o *viewshed* acumulado que é exibido na janela não é recalculado completamente para cada posição do terreno na qual o usuário passa com o mouse. Mais especificamente, quando um observador é selecionado pelo usuário, o *viewshed* acumulado  $V$  dos outros observadores da solução é calculado e, à medida em que o usuário move o observador selecionado, a imagem na janela de visualização é atualizada. Por exemplo, se o movimento é feito arrastando-se o mouse, a cada evento gerado pela biblioteca gráfica utilizada, o *viewshed* acumulado  $V$  é redesenhado na tela e, então, o *viewshed* do ponto correspondente à nova posição do mouse é desenhado de forma sobreposta a  $V$ .

O sistema também permite que o usuário adicione novos observadores à solução corrente. Para isso, o usuário deve pressionar a tecla *A* e clicar com o botão esquerdo do mouse na posição desejada do terreno.

## 5. Conclusão e trabalhos futuros

Neste trabalho foi apresentado um sistema interativo para o posicionamento de observadores em terrenos representados por modelos digitais de elevação que permite ao usuário a seleção da heurística a ser utilizada para a obtenção de uma solução inicial. Então, o usuário pode tentar melhorar esta solução incluindo, removendo ou reposicionando observadores. Esta melhora pode se dar pelo aumento do percentual de cobertura do terreno através da inclusão de novos observadores ou pelo reposicionamento de observadores em regiões com baixa cobertura. Outra opção é a remoção de observadores com pequena contribuição permitindo a redução do número de observadores e mantendo-se a cobertura próxima do valor desejado. Também é possível avaliar o impacto de uma modificação na altura dos observadores. Um pequeno aumento na altura pode levar a consideráveis alterações na solução: pode permitir a redução do número de observadores necessários para se obter a mesma cobertura ou pode levar a uma melhoria na cobertura obtida com os mesmos observadores. Ou até mesmo, a alteração na altura dos observadores pode fazer com que um novo conjunto de observadores alcance um melhor resultado.

Assim, pode-se concluir que este sistema pode auxiliar bastante o processo de obtenção da solução visto que o usuário pode atuar de maneira decisiva neste processo. Ele também auxilia no processo de tomada de decisão pois o usuário pode analisar de maneira objetiva vários cenários. Note que em situações onde um observador representa um item com alto custo de instalação, por exemplo, uma antena de telefonia celular, as melhorias podem significar uma considerável redução de custos.

Como trabalhos futuro, pretende-se melhorar os recursos visuais da interface incorporando recursos que permitam a visualização tridimensional de modo que o usuário possa visualizar a solução de diferentes ponto de vista. Uma outra funcionalidade a ser incluída é a opção de sobreposição de diferentes mapas, por exemplo, mapas urbanos, imagens de satélites, etc. Também pretende-se incluir a opção que permita ao usuário alterar a altura de um único observador.

Adicionalmente, as janelas da interface serão adequadas aos padrões definidos pelo sistema de informações geográficas GRASS de modo que o sistema proposto possa ser disponibilizado como um módulo deste SIG.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

### **Referências**

- [1] Marcus V. A. Andrade, Salles V. G. Magalhães, Mirella A. Magalhães, W. Randolph Franklin, and Barbara M. Cutler. Efficient viewshed computation on terrain in external memory. *GeoInformatica*, 2009.
- [2] Boaz Ben-Moshe. *Geometric Facility Location Optimization*. Phd thesis, Ben-Gurion University, Israel, Department of Computer Science, 2005.
- [3] Yehuda Ben-Shimol, Boaz Ben-Moshe, Yoav Ben-Yehezkel, Amit Dvir, and Michael Segal. Automated antenna positioning algorithms for wireless fixed-access networks. *Journal of Heuristics*, 13(3):243–263, 2007.
- [4] C. A. Felgueiras. Modelagem numérica de terreno. In A. M. V. Monteiro In G. Câmara, C. Davis, editor, *Introdução à Ciência da Geoinformação*, volume 1. INPE, 2001.
- [5] W. Randolph Franklin. Siting observers on terrain. In Dianne Richardson and Peter van Oosterom, editors, *Advances in Spatial Data Handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, pages 109–120. Springer, 2002.
- [6] Young hoon Kim, Sanjay Rana, and Steve Wise. Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques. *Computers & Geosciences*, 30:1019–1032, 2004.
- [7] Robert Laurini and Derek Thompson. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, 1992.
- [8] Z. Li, Q. Zhu, and C. Gold. *Digital Terrain Modeling - principles and methodology*. CRC Press, 2005.
- [9] Salles V. G. Magalhães, Marcus Vinícius Alvim Andrade, and Chaulio Ferreira. Heuristics to site observers in a terrain represented by a digital elevation matrix. In *GeoInfo*, pages 110–121, 2010.
- [10] G. Nagy. Terrain visibility. *Computers and Graphics*, 18:763–773, 1994.
- [11] Mauricio G. C. Resende. Greedy randomized adaptive search procedures (grasp). *Journal of Global Optimization*, 6:109–133, 1999.