

Transceptores inteligentes para cenários com obstáculos

Sérgio Kostin^{1,2}, Luiz Maltar Castello Branco¹, Leonardo Bidese de Pinho¹,
Claudio Luis de Amorim¹

¹Laboratório de Computação Paralela (LCP) – COPPE/Sistemas - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

²Departamento de Engenharia de Sistemas - Instituto Militar de Engenharia (IME)

{kostin,leopinho,maltar,amorim}@lcp.coppe.ufrj.br

Abstract. *In this paper, we introduce the notion of smart transceivers, i.e., transceivers capable of selecting convenient transmission ranges that optimize power usage. To this end, we propose and evaluate two novel metrics, namely terrain blockage rate (TB) and useful transmission rate (UT), which can provide important information about the transmission profile of a certain scenario to the transceivers. In particular, TB and UT can be used as parameters of evaluation of protocols and algorithms in terrain with obstacles. Our preliminary experimental results show TB e UT are effective to determine which range the transceivers should use to better optimize the energy consumption while attaining certain degree of connectivity for several scenarios with obstacles.*

Resumo. *Este artigo introduz a noção de transceptores inteligentes, i.e., transceptores capazes de escolher alcances de transmissão que otimizem o uso de energia. Para isso, propomos duas novas métricas denominadas taxa de bloqueio do terreno (TB) e taxa de transmissão útil (UT), que podem fornecer importantes informações sobre o perfil de transmissão do cenário para os transceptores. Em particular, TB e UT podem ser usadas como parâmetros de avaliação de protocolos e de algoritmos em terrenos com obstáculos. Nossos resultados experimentais preliminares mostram que TB e UT são eficazes para se determinar qual alcance que os transceptores devem utilizar para otimizar melhor o consumo de energia e ainda atingir determinado grau de conectividade, para vários cenários com obstáculos.*

1. Introdução

Os artigos sobre redes *ad-hoc*, e em particular os de redes de sensores, não possuem uma medida ou métrica padronizada que permita comparar de forma genérica os protocolos e algoritmos em cenários com presença de obstáculos. Sendo assim, é interessante formular métricas objetivas que possibilitem realizar esta comparação. Além disso, os protocolos e algoritmos de roteamento, localização e redução do consumo de energia estão também diretamente ligados à escolha do alcance de transmissão dos transceptores. Note que os dois aspectos, métricas e alcance de transmissão, estão intrinsecamente ligados, sendo que a métrica objetiva de comparação deve possuir o alcance de transmissão como um dos seus principais parâmetros.

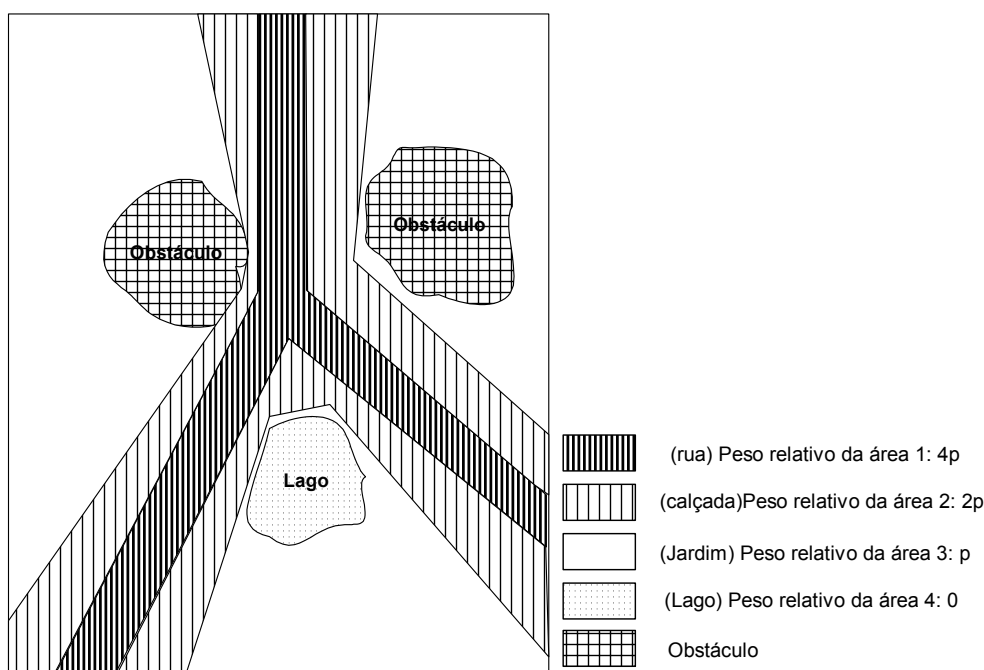


Figura 1. Exemplo de um Mapa de Distribuição Espacial Probabilística (MDEP)

Este artigo propõe duas métricas: taxa de bloqueio do terreno (*Terrain Blockage Rate* – TB) e taxa de transmissão útil (*Useful Transmission Rate* - UT). Além de servirem como métricas, elas podem ajudar equipamentos transceptores inteligentes¹ a escolher alcances de transmissão convenientes derivados de informações sintetizadas que fornecem características substanciais do terreno sobre a obstrução proporcionada pelo ambiente.

Organizamos este artigo da seguinte forma: a seção 2 apresenta as métricas TB e UT. A seção 3 apresenta resultados obtidos em dois diferentes cenários. A seção 4 mostra dois exemplos de aplicação das métricas, sendo que em um dos exemplos uma das métricas é utilizada para se determinar qual intensidade de sinal deve ser utilizada pelos transceptores. A seção 5 apresenta aspectos da implementação. A seção 6 sumariza os trabalhos relacionados. Por fim, na seção 7 é apresentada a conclusão do artigo, além de apontar o andamento dos trabalhos atuais e perspectivas futuras.

2. Definição de TB e UT

TB como UT são definidas por fórmulas que fazem uso de dados probabilísticos. Estes dados são obtidos tendo como origem um mapa de distribuição espacial probabilística (MDEP).

¹ Um transceptor é dito inteligente porque é capaz de receber informações relacionadas ao ambiente e adaptar-se ao mesmo, com o intuito de operar de forma otimizada, em especial ao que se refere ao consumo de energia.

2.1. Mapa de distribuição espacial probabilística (MDEP)

MDEP é um mapa que fornece a informação probabilística da distribuição de transmissores e receptores em uma determinada área. Os sistemas de localização, principalmente aqueles baseados em filtros de *Kalman* [Wang et al 2004] fazem uso deste tipo de informação. Equipamentos de computação móvel dentro de uma área tendem a formar um perfil de ocupação. Por exemplo, pedestres normalmente caminham em calçadas, praças públicas, jardins e parques. Carros circulam em ruas, avenidas e estradas. Podem-se enumerar inúmeros exemplos. Assim, de acordo com as características de ocupação do terreno, é possível elaborar um modelo matemático que represente este cenário.

A Figura 1 ilustra um exemplo de um MDEP para transceptores. As diferentes áreas achuradas representam densidades de probabilidade distintas. A área de peso 4 representa estradas. As áreas de peso 2 representam calçadas por onde transitam pedestres. A área de peso 1 representa os jardins da localidade. Os obstáculos são dois morros de considerável altitude. O modelo proposto pode representar áreas que não são obstáculos eletromagnéticos, porém não são ocupadas por nós. O lago presente na Figura 1 é um exemplo desta representação. Os pesos da Figura referem a uma hipótese de que exista uma proporção de 4 carros para cada 2 pedestres transitando nas calçadas e um pedestre no jardim.

O MDEP de uma localidade não é estático, podendo variar em função do tempo. De posse do MDEP, nós poderemos definir as métricas TB e UT propostas neste artigo.

2.2. Cálculo das métricas TB e TU

As métricas UT e TB são calculadas de maneira bastante intuitiva, conforme a ilustração da Figura 2.

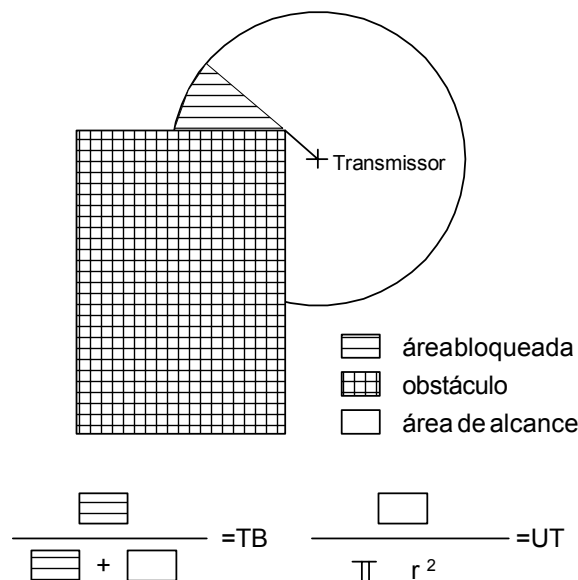


Figura 2. Idéia intuitiva de TB e UT

Taxa de bloqueio do terreno

A taxa de bloqueio do terreno corresponde à razão entre a área bloqueada e a soma desta área bloqueada mais a área que é efetivamente aproveitada. Por intermédio desta métrica, é possível medir o percentual de transmissões que, em média, seriam interrompidas pelos obstáculos.

Para facilitar o entendimento da métrica, o exemplo da Figura 2 é bastante simplificado. As transmissões sem fio, na maior parte dos casos, alcançam a área bloqueada do gráfico, através de fenômenos como a difração e a reflexão (entre outros) [Fortune 1998]. Entretanto, pode-se estender este modelo simplificado para um cenário mais realista que agregue estes fenômenos. Por ora, o nosso objetivo é avaliar o modelo matemático em cenários de simulação, verificando a potencialidade destas técnicas.

Os cálculos de TB são realizados em cada unidade de área, considerando-se ainda a probabilidade de existirem transmissores e/ou receptores em cada posição geográfica. Para tal, faz-se necessário o uso do MDEP citado anteriormente.

A taxa de bloqueio do terreno (TB) é calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$TB(A, R_i) = \frac{\sum_s (p_s \cdot \frac{\sum_t p_t \cdot B_{co}(R_i, s, t)}{\sum_t p_t \cdot B_{co}(R_i, s, t) + \sum_t p_t \cdot F_{co}(R_i, s, t)})}{\sum_s p_s} \quad (1)$$

Onde:

R_i : alcance de transmissão disponível.

s : Coordenadas geográficas do emissor (em duas ou três dimensões)

p_s : Probabilidade de ocupação do ponto s por um receptor

t : Coordenadas geográficas do receptor (em duas ou três dimensões).

p_t : probabilidade de ocupação do ponto t por um receptor.

$B_{co} \in \{0, 1\}$

$F_{co} \in \{0, 1\}$

A : o domínio da métrica, ou seja, a região onde o coeficiente é computado.

TB é uma função direta do alcance de transmissão, que é o principal parâmetro da métrica. Quanto maior for o alcance nominal utilizado pelo transceptor, maior será a interferência que o cenário irá ocasionar nesta transmissão. As funções somatórias correspondem a todos os pontos que serão alcançados pelo transceptor em um suposto terreno sem obstáculos. A função B_{co} retorna 1 se existe pelo menos 1 obstáculo que bloqueia a transmissão entre s e t . Caso contrário retorna 0. A F_{co} é a função inversa de B_{co} .

Para que os transceptores inteligentes possam escolher o alcance de transmissão mais adequado, o modelo deve fornecer outras variáveis estatísticas, como variância, desvio padrão, mediana, moda, valores máximos e mínimos, entre outros, dentre os valores de alcance disponíveis para o equipamento.

Taxa de transmissão útil (UT)

A taxa de transmissão útil (UT) corresponde à transmissão eletromagnética efetivamente aproveitada no cenário com obstáculos. A ideia intuitiva de UT é visualizada na Figura 2.

A taxa UT para um determinado alcance é definida como a razão entre a área efetivamente alcançada e a área que seria alcançada caso não houvesse os obstáculos no cenário. Seu cálculo também tem como base o MDEP. Sua fórmula (2) é bastante similar à fórmula de TB:

$$UT(A, R_i) = \frac{\sum_s p_s \cdot \left(\frac{\sum_t p_t \cdot B_{co}(R_i, s, t)}{\sum_t p_t \cdot B_{co}(R_i, s, t) + \sum_t p_s \cdot F_{co}(R_i, s, t)} \right)}{\sum_s p_s} \quad (2)$$

As variáveis desta equação são as mesmas de TB. A única diferença é a função F_{so} que representa a interação entre s e t , sem os obstáculos. As variáveis estatísticas a serem incorporadas (variância, desvio padrão, etc.) na base de dados são as mesmas de TB.

3. Aplicação das métricas em cenários distintos

Mostraremos a seguir o cálculo de TB e UT para dois diferentes cenários. O primeiro cenário é o plano Manhattan clássico e o segundo é um plano Manhattan assimétrico.

3.1 Plano Manhattan simétrico

O plano Manhattan clássico (Figura 3) é simétrico. Neste exemplo, os quarteirões possuem 40 unidades de largura e as ruas têm 20 unidades de largura. Os nós transceptores possuem distribuição probabilística espacial uniforme. Calculamos TB e UT para diversos alcances (10, 20, 30, 40, 80, 120). Por hipótese, todos os pontos têm a mesma probabilidade de ocupação (tanto para emissor como receptor).

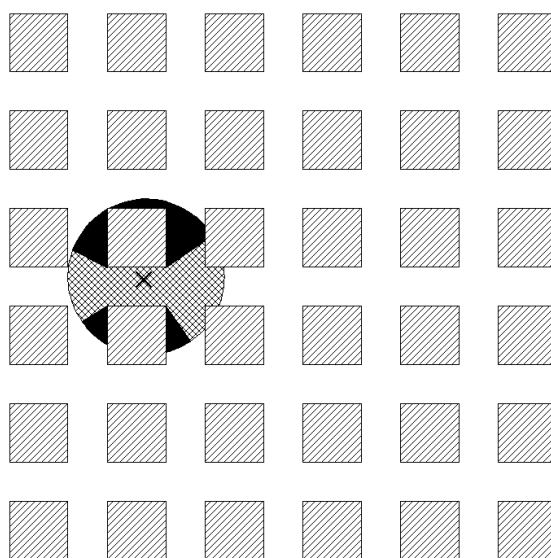


Figura 3. Plano Manhattan simétrico

A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos para este cenário.

Tabela 1. Resultados obtidos no cenário Manhattan simétrico

Alcance	TB	$\sigma(TB)$	UT	$\sigma(UT)$
10	0.006	0.002	0.825	0.150
20	0.032	0.046	0.652	0.107
30	0.094	0.077	0.511	0.102
40	0.179	0.125	0.416	0.079
80	0.568	0.092	0.231	0.056
120	0.686	0.091	0.160	0.044

3.2. Plano Manhattan assimétrico

Este exemplo (Figura 4) é uma pequena modificação do plano Manhattan clássico. Ele reproduz um cenário mais semelhante ao que encontramos nas cidades. A largura das ruas é mesma do caso anterior (20 unidades). Foi modificada apenas a disposição dos quarteirões.

O cenário é assimétrico. Conforme esperado, os valores dos desvios padrões obtidos nesta medição são maiores do que os obtidos no cenário anterior.

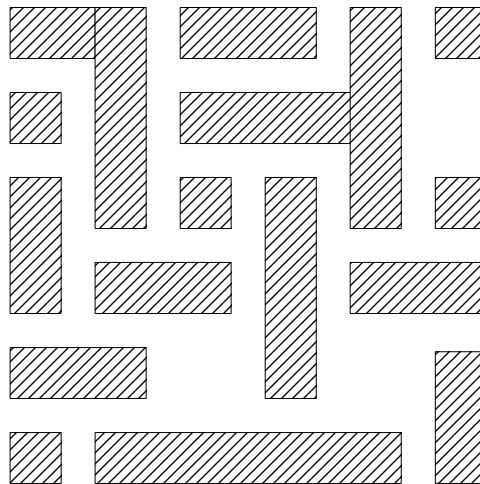


Figura 5. Plano Manhattan assimétrico

A Tabela 2 sumariza os resultados obtidos para este cenário.

Tabela 2. Resultados obtidos no cenário Manhattan assimétrico

Alcance	TB	$\sigma(TB)$	UT	$\sigma(UT)$
10	0.002	0.014	0.873	0.155
20	0.012	0.032	0.748	0.183
30	0.035	0.060	0.641	0.228
40	0.072	0.100	0.565	0.250
80	0.362	0.238	0.379	0.237
120	0.525	0.246	0.270	0.192

3.3. Análise de resultados

Com os dados obtidos no cenário 1, Tabela 1, supõe-se, em média, que para uma transmissão de 40 unidades de comprimento, 17,9 por cento seriam interrompidos pelos obstáculos com um desvio padrão de 12,5 por cento. A Tabela 1 mostra ainda que UT diminui muito rapidamente quando o alcance de transmissão é maior que 40.

O cenário 2 tem mais área livre que beneficia alcances menores. Como possui corredores mais curtos que o cenário 1, as taxas UTs do cenário 2 referentes aos raios maiores poderão ter índices menores, a despeito dos espaços vazios existentes na Figura. Isto pode ser comprovado com $UT(2, 120) - \sigma(UT(2, 120))$, que é igual a 8%, ao passo que $UT(1, 120) - \sigma(UT(1, 120))$ é igual a 12%.

4. Utilização prática da métricas UT e TB

Esta seção destina-se a demonstrar a utilidade prática de UT e TB, em dois experimentos distintos, um para cada métrica.

4.1. Utilização de UT

A aplicação escolhida para mostrar a validade da utilização de UT é aquela em se busca um grau de conectividade para os nós transceptores participantes da rede, através de um único salto (*single-hop*). Assumimos que os nós transceptores são distribuídos aleatoriamente em um plano Manhattan clássico e grau de conectividade 8, ou seja, que cada nó esteja conectado ao menos a oito nós, utilizando o menor consumo de energia possível para atingir este estado de conectividade.

De posse dos dados da métrica, ao se detectar o número de nós conectados a um determinado raio r_1 , calculamos a densidade do cenário com a seguinte fórmula:

$$d = \frac{\text{nr de nós conectados}}{\prod r_i UT(r_i)} \quad (3)$$

Aplicando iterativamente os diversos alcances disponíveis para transmissão conjuntamente com os valores de UT calculados previamente, obteremos a seguinte fórmula:

$$d \cdot \prod r_i^2 \cdot UT(r_i) = \text{nr de nós hipoteticamente conectados} \quad (4)$$

Algoritmo de busca de conectividade utilizado UT

```
nr de nós a serem conectados = GetNrPontos()
i = 0;
nr de nos supostamente conectados =nr de nos conectados = 0;
while (nr de nos conectados == 0 && Alcance Máximo >= r(i) ) {
    nr de nos conectados = GetNumeroNosConectados(r(i));
    if (nr_nos_conectados == 0)
        i++;
}
if (nr de nos conectados >= nr de nós a serem conectados)
    return i;
densidade = nr de nos conectados / ( UT(r(i)) . p . r(i) .r(i) )
teste = true;
while (teste) {
    while (nr de nós supostamente conectados<nr de nós a serem conect) {
        i++;
        Nr_nósupostamente_conectados = densidade . UT(r(i)). p.r(i) .r(i)
    }
    nr_nos_conectados = GetNumeroNosConectados(r(i));
    if (nr_nos_conectados >= nr_nos_a_serem_conectados)
        return i;
}
```


Para demonstrar a potencialidade da utilização da métrica em transceptores inteligentes, comparamos o desempenho do algoritmo de ajuste de potência que utiliza UT com outros dois algoritmos básicos: o *bottom-up* e o *top-down*.

A idéia básica de cada algoritmo é a seguinte:

Bottom-up: Parte de uma potência mínima e incrementa a potência² até que a conectividade desejada seja alcançada.

Top-down: Com a potência máxima, verifica quantos nós foram conectados, e, a partir deste dado, infere a densidade de nós do cenário, aplicando a formula:

$$r = \sqrt{\frac{\text{número nós a conectar}}{\pi \cdot d}} \quad (5)$$

, repetindo esta inferência a cada passo, até atingir a conectividade desejada.

Obtemos os seguintes resultados expressos na Figura 5.

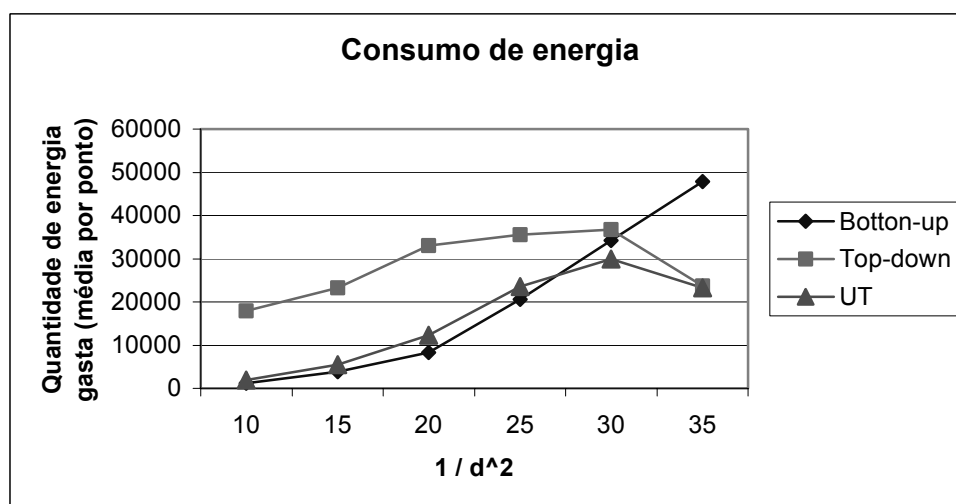


Figura 5 – Resultado do consumo médio de energia por nó

O eixo x representa o inverso do quadrado da densidade, ou seja, o lado esquerdo do gráfico é mais denso do que o lado direito.

Para as densidades maiores, UT acompanhou *bottom-up* e nas densidades menores acompanhou o desempenho de *top-down*.

4.2. Utilização de TB

TB, dentre outras utilidades, pode fornecer a quantidade de interrupções que o cenário pode ocasionar em supostas ligações que ocorreriam se não houvesse os obstáculos.

Aproveitamos novamente o cenário 1 e nele alocamos, aleatoriamente as seguintes densidades de transceptores: 0,001, 0,002, 0,004, 0,010 e 0,020 sensores por

² Os alcances discretos deste experimento são 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120. Os valores de UT aproveitados são os referentes ao da .seção 3.1.

unidade de área. Os sensores transmitem a alcance de 40 unidades de comprimento. Conta-se, posteriormente, a quantidade de interrupções e as conexões ocorridas no plano Manhattan simétrico.

Tabela 3 – Conexões e interrupções no plano Manhattan

Densidade	Conexões (con)	Interrupções (int)s	(int)/(int+con)
0,001	452,86(19,2)	101,24(19,29)	0,183
0,002	1819,35(85,8)	410,34(53,1)	0,184
0,004	7346,19(226,2)	1642,92(121,4)	0,183
0,010	46007,6(761,0)	10371,00(457,5)	0,184
0,020	184345(2178,9)	41376,3(1355,1)	0,183

Os dados da tabela representam a média para cada densidade e o número entre parênteses representa o desvio padrão. Verifica-se que os dados obtidos na tabela 3 são próximos dos que sugeriram TB(1, 40). TB pode fornecer, assim, uma idéia da “impedância” do sistema, ou seja, o que seria desperdiçado de energia dentro do cenário para aquele alcance.

5. Detalhes da implementação

O trabalho implementado foi feito em ANSI C++, utilizando o QT como interface gráfica de apoio. Como biblioteca de suporte de computação geométrica, foi utilizada o CGAL 3.0 [CGAL]. O programa possui atualmente 8.000 linhas de código. Foi projetado para rodar em cluster de computadores, em virtude do paralelismo do código e processamento intensivo do mesmo.

6. Trabalhos relacionados

Diferente deste artigo, os trabalhos relacionados não propõem ou utilizam qualquer métrica relacionada com as características de transmissão do cenário.

Em relação a propagação de sinais, [Keplal et al, 2002] propõe o modelo Motif, que agrega as vantagens de modelagens de obstáculos empíricos e determinísticos, permitindo estimar o nível de sinal para cada ponto do terreno.

[Argawal et al, 2001] desenvolveu um mecanismo de controle de consumo de energia em redes *ad-hoc*, considerando, entre outras variáveis, o modelo de bloqueio do terreno. Considera o efeito de bloqueio de uma transmissão, através de uma fórmula que trata de obstáculos cilíndricos. Entretanto, diferentemente deste artigo, [Argawal et al, 2001] não descreve métricas que possam retratar o terreno genericamente.

As características de bloqueio do terreno também foram usadas por [Ahmed et al, 2001] para definir a interconexão de subgrupos de gateways que estão geograficamente distantes uns dos outros em aplicações militares. Trata especificamente

de métodos que podem ser desenvolvidos para possibilitar que gateways se posicionem em um cenário com obstáculos de forma a possibilitar a melhor conectividade e taxa de transmissão possível.

Uma aplicação referente a modelos de mobilidade, [Jardosh et al, 2003] descreve um modelo que permite incluir obstáculos, no caso polígonos, em simulações de redes *ad-hoc*. Quando dois nós estão separados por um polígono, a transmissão é bloqueada, semelhante como é feito na simulação deste artigo. Além disso, os obstáculos têm influência nos caminhos por onde fluirão os nós, baseando-se na triangulação de *Delaunay*.

Um outro trabalho referente a mobilidade, [Pereira e Pedroza, 2004] analisam o comportamento de três protocolos de roteamento para redes *ad hoc* utilizando um cenário que retrata uma situação real que é representado por uma ação militar típica em um campo de batalha. Leva em consideração a mobilidade real de grupos como principal fator de desconectividade do sistema.

O problema relacionada a conectividade de redes *ad-hoc* é adaptado de [Feng e Kumar, 2004].

7. Conclusões e trabalhos futuros e em andamento

Este artigo propôs duas novas métricas: taxa de bloqueio do terreno (*Terrain Blockage Rate* – TB) e taxa de transmissão útil (*Useful Transmission Rate* - UT) que tem como objetivo fornecer para transceptores inteligentes informações significativas do cenário referentes ao comportamento esperado das transmissões, em relação à perda de energia decorrente dos obstáculos existentes no ambiente, utilizando, para isso pouco espaço em memória.

Estas informações permitem, além de economia de energia, análises objetivas de cenários, servindo como parâmetros no exame de protocolos de roteamento, localização e consumo de energia a semelhança de [Johanson et al, 1999] que analisa as influências do cenário nos diversos protocolos de roteamento *ad-hoc*, utilizando também a análise realizada por [Pereira e Pedroza, 2004].

Como trabalhos futuros, é necessário incorporar mais aspectos técnicos a estas simulações, como por exemplo o modelo sugerido por [Fortune 1998], que apresenta os algoritmos (Ray Tracing e Beam Tracing) que simulam a propagação de sinais. Esta incorporação permitirá agregar o fenômeno da reflexão no presente modelo. Outra linha de investigação é avaliar a possibilidade de implementação destas métricas em transceptores comerciais.

Referências

- Agarwal , S., Krishnamurthy , S., Katz, R. H., and Dao, (2001) S. K.. Distributed Power Control in *Ad-hoc* Wireless Networks. In Proceedings of the PIMRC01.
- Ahmed, M., Dao, S., and Katz, R. (2001) Positioning Alcance Extension Gateways in Mobile Ad Hoc Wireless Networks to Improve Connectivity and Throughput. In

Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2001), Washington, D.C., October.

CGAL (Computational Geometric Algorithm Library), <http://www.cgal.org>

Fortune, S., (1998), Algorithms for prediction of indoor radio propagation, Bell Labs, Tech Report

He, T. et al, 2003 Alcance-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks, Mobicomm.

Jardosh, A., E. M. Belding-Royer, E.M., Almeroth, . C., and Suri, S. (2003). Towards Realistic Mobility Models for Mobile Ad hoc Networks. In Proceedings of MobiCom, San Diego, CA, September.

Johansson, P., Larsson, T., Hedman, N., Mielczarek, B., and Degermark, M. (1999). Scenario-based performance analysis of routing protocols for mobile *ad-hoc* networks. In Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM', Seattle, WA, pages 195--206.

Klepal, M., Pechaè, P., and Hradecký, Z. (2002). Prediction of Wide-Band Parameters of Mobile Propagation Channel. In Proceedings of URSI 2002 – the 27th triennial General Assembly of the International Union of Radio Science, Maastricht, August.

Pereira, I. C. M., Pedroza, A. C. (2004) Análise de Redes Móveis Militares Ad Hoc para Cenários de Operações Militares, SBRC 2004.

Wang, H, Pottie, G., Yao, K. Estrin, D., 2004, Entropy-based Sensor Selection Heuristic for Target Localization, IPSN'04, April

Xue, F. e Kumar, P.R. (2004) The Number of Neighbors Needed for Connectivity of Wireless, Wireless Networks 10, 169–181.