

# Descoberta de Vizinhos Baseada em Vetores de Potência para Comunicações D2D

Alexandre R. F. de Oliveira, Lunider Elias, Carlos Filipe M. e Silva, Tarcisio F. Maciel, e Francisco R. P. Cavalcanti

**Resumo**—No contexto das comunicações diretas *Device-to-Device* (D2D), a descoberta de Terminais Móveis (TMs) vizinhos torna-se crucial para que essa comunicação aconteça. Em vista disso, TMs podem receber ajuda da rede para aperfeiçoar o processo de descoberta. Neste artigo é mostrado um método de descoberta de pares baseado em vetores de potência. Embora o método proposto seja simples, ele mostrou-se em média quatro vezes mais eficiente que métodos autônomos.

**Palavras-Chave**—Comunicações diretas, D2D, descoberta de vizinhos, descoberta de pares, vetores de potência.

**Abstract**—In the context of D2D direct communications, the discovery of neighbors becomes crucial to this communication. Therefore, mobiles can receive network assistance in order to improve the discovery process. This article presents a simple and efficient peer discovery method based on power vectors, which is in average four times better than self-sufficient methods.

**Keywords**—Device-to-device communications, D2D, neighbor discovery, peer discovery, power vectors.

## I. INTRODUÇÃO

No contexto das futuras redes sem fio, a comunicação direta entre usuários, doravante genericamente designados como Terminais Móveis (TMs), também conhecida por comunicação *Device-to-Device* (D2D), mostra-se como uma solução promissora para atender aos requisitos de aumento de capacidade, com ligações de alta taxa de débito e baixa latência [1].

No entanto, a interferência co-canal é vista como a principal desvantagem para os TMs quando as comunicações D2D são habilitadas na rede do operador móvel [2], pois a interferência aumenta a taxa de erro na recepção dos dados.

Métodos como seleção de modo, agrupamento, e escalonamento inteligentes ajudam a mitigar essa interferência, aumentando a taxa de transferência agregada do sistema [3].

Porém, para que a comunicação D2D se torne efetiva, cada TM deve conhecer os seus vizinhos que são candidatos a participar nesse tipo de comunicação. A esse procedimento chama-se descoberta de vizinhos ou descoberta de pares. Vários algoritmos têm sido propostos na literatura [4], [5], podendo ser organizados genericamente em três categorias:

- Sem assistência da rede ou método cego: cada TM tenta autonomamente descobrir todos TMs vizinhos, sem um critério de parada claramente definido;
- Método semi-cego: a rede fornece a quantidade de vizinhos a cada TM, porém cabe a cada um deles descobrir autonomamente os seus vizinhos; neste caso, o critério de parada por TM é o seu número total de vizinhos;
- Com assistência da rede ou método assistido: a rede fornece uma lista de vizinhos a cada TM, de forma que esses tenham apenas que se assegurar da qualidade do canal TM-TM antes de iniciar a comunicação.

Alexandre R. F. de Oliveira, Lunider Elias, Carlos Filipe M. e Silva, Tarcisio F. Maciel, e Francisco R. P. Cavalcanti estão com o Grupo de Pesquisa em Comunicações sem Fio (GTEL), Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mails: {alexandre, lunider, cfms, maciel, rodrigo}@gtel.ufc.br. Lunider Elias e Alexandre R. F. de Oliveira agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro. Carlos Filipe M. e Silva agradece à CAPES pelo apoio financeiro.

Neste artigo, compara-se o desempenho de um algoritmo de descoberta de vizinhos baseado em vetores de potência considerando cada uma das três abordagens acima descritas.

Esse trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta a descrição do método; na Seção III descreve-se o cenário e analisam-se os resultados das simulações; finalmente, as conclusões do estudo, bem como algumas possibilidades de trabalhos futuros, são apresentadas na Seção IV.

## II. DESCRIÇÃO DO MÉTODO E MODELAGEM DO SISTEMA

### A. Vetores de Potência

Cada TM recebe sinal das Estações Rádio-Base (ERBs) próximas e a estação servidora utiliza essa informação para gerar vetores de potência recebida, que são calculados, de acordo com o modelo em [6], usando a equação

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L - X, \quad (1)$$

onde  $P_r$  e  $P_t$  são, respectivamente, a potência recebida no TM e a transmitida pela ERB em dBm.  $G_r$  e  $G_t$  são os ganhos das antenas receptora e transmissora em dBi, respectivamente.  $L$  é a perda de percurso devido à distância ERB-TM em dB, e  $X$  é a variável aleatória log-normal que representa o sombreamento<sup>1</sup>, de desvio padrão  $\sigma_X$ .

Em seguida, a ERB organiza esses vetores na matriz de potência recebida  $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^{U \times B}$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,B} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,B} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{U,1} & P_{U,2} & \dots & P_{U,B} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

onde  $P_{u,b}$  é a potência recebida pelo TM  $u$  da ERB  $b$ ,  $u \in \{1, 2, \dots, U\}$  e  $b \in \{1, 2, \dots, B\}$ , sendo  $U$  e  $B$  o número total de TMs na célula e ERBs no cenário, respectivamente.

Partindo da matriz de potência recebida, é definido o coeficiente de correlação entre os vetores de potência dos TMs dois a dois. Assim, sendo  $\mathbf{P}_x$  e  $\mathbf{P}_y$  os vetores de potência dos TMs  $x$  e  $y$ ,  $x \neq y \in \{1, 2, \dots, U\}$ , isto é, duas linhas distintas da matriz  $\mathbf{P}$ , o coeficiente de correlação<sup>2</sup> pode ser definido por

$$\rho_{x,y} = \rho_{y,x} = \frac{\mathbf{P}_x^T \mathbf{P}_y}{\|\mathbf{P}_x\| \|\mathbf{P}_y\|},$$

onde  $(\cdot)^T$  é a operação de transposição de vetor ou matriz e  $\|\cdot\|$  é a norma  $l_2$  de um vetor. Assim,  $\rho_{x,y}$  resulta em valores entre zero (sem correlação) e a unidade (correlação máxima).

<sup>1</sup>O desvanecimento rápido (*fast fading*) não é considerado, uma vez que as medições de potência reportadas para as ERBs pelos TMs são normalmente de longo prazo que são médias dentro de uma janela temporal, tal que esse desvanecimento é eliminado no processo de medição.

<sup>2</sup>Na literatura outros coeficientes de correlação são encontrados, que podem igualmente ser usados.

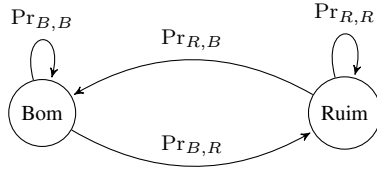


Fig. 1. Cadeia de Markov de dois estados

TABELA I  
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Parâmetro	Valor
Potência de transmissão da ERB ( $P_t$ )	38 dBm
Desvio padrão do sombreamento ( $\sigma_X$ )	10 dB
Perdas de percurso [dB] ( $L$ )	$34.53 + 38 \log_{10}(d)$ , $d$ em m
Valor limiar de correlação ( $\rho_{th}$ )	0.75
Número de simulações de Monte Carlo	300

A seguir, é necessário definir o valor limiar  $\rho_{th}$  acima do qual os TMs são considerados vizinhos. O resultado desse processo é a matriz de vizinhança  $\Omega \in [0, 1]^{U \times U}$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 0 & \omega_{1,2} & \dots & \omega_{1,U} \\ \omega_{2,1} & 0 & \dots & \omega_{2,U} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{U,1} & \omega_{U,2} & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

com

$$\omega_{x,y} = \begin{cases} \rho_{x,y}, & \text{se } x \neq y \text{ e } \rho_{x,y} > \rho_{th}, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

### B. Canal entre os Terminais Móveis

Ao receber a lista de vizinhos, cabe ao TM fazer a efetivação da descoberta de seus vizinhos. Isso é feito pela análise da qualidade do canal TM-TM no momento em que o processo de descoberta ocorre. Assim, a descoberta do vizinho torna-se efetiva quando o canal é bom ou, por outras palavras, existe linha de visada entre os dois TMs. No final desse processo, o número de tentativas empregadas na descoberta de todos vizinhos é armazenado para fins de comparação entre os métodos descritos na Seção I.

A qualidade do canal TM-TM é simulada pelo uso de uma cadeia de Markov de dois estados, Bom e Ruim (ver Fig. 1), onde  $Pr_{B,B}$  e  $Pr_{R,R}$  são as probabilidades de permanecer no estado Bom e Ruim, respectivamente,  $Pr_{B,R}$  e  $Pr_{R,B}$  são probabilidades de transição do estado Bom para Ruim e Ruim para Bom, respectivamente.

A cada nova tentativa de descoberta de um vizinho, uma variável aleatória é gerada para simular o estado do canal, obedecendo às probabilidades contidas na matriz  $M \in [0, 1]^{2 \times 2}$  para o cenário sub-urbano [7]

$$M = \begin{bmatrix} Pr_{B,B} = 0.68 & Pr_{B,R} = 0.32 \\ Pr_{R,B} = 0.75 & Pr_{R,R} = 0.25 \end{bmatrix}.$$

### III. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O cenário de simulação possui sete células hexagonais com 250 m de lado. No centro da célula há uma ERB, e em cada célula foram distribuídos uniformemente 64 TMs. Informações adicionais estão na Tabela I.

Os canais ERBs-TMs são usados para gerar a matriz de vizinhança descrita na Seção II-A, enquanto que a descoberta baseia-se na cadeia de Markov que simula o estado do canal TM-TM, tal como descrito na Seção II-B.

A Fig. 2 apresenta as Funções de Distribuição Acumulada (FDAs) do número de tentativas empregadas na descoberta de vizinhos dos métodos descritos na Seção I. É possível notar

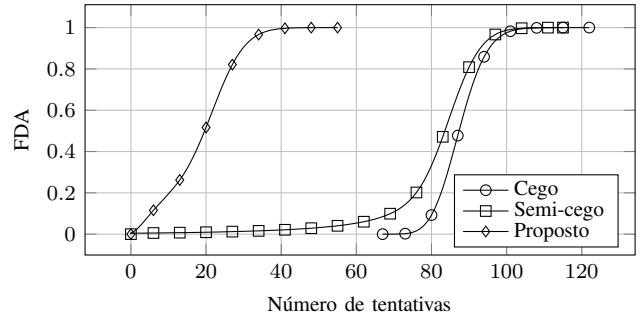


Fig. 2. Tentativas totais usadas na descoberta de vizinhos

TABELA II  
PERCENTIS DAS TENTATIVAS TOTAIS USADAS NA DESCOBERTA DE VIZINHOS (MELHORES (5%), MEDIANOS (50%), E PIORES (95%) TMs)

Método	5%	50%	95%
Cego	78	87	97
Semi-cego	59	83	95
Proposto	03	19	32

redução no número de tentativas requeridas para a descoberta de todos os vizinhos do método assistido pela rede em relação aos métodos cego e semi-cego.

Essa redução no número de tentativas pode ser facilmente mensurável na Tabela II, que apresenta as tentativas requeridas, respectivamente, pelos melhores, medianos, e piores TMs na descoberta de todos seus vizinhos; e onde é possível observar que o método proposto é em média (50% dos casos) quatro vezes mais eficaz em comparação aos demais métodos.

### IV. CONCLUSÃO

Analisando os resultados, é possível concluir que os TMs assistidos pela rede descobrem seus vizinhos mais rápido que TMs com pouca ou nenhuma ajuda.

Trabalhos futuros podem incluir cenários com dispositivos não estacionários (efeitos de desvanecimento rápido), método para descoberta de vizinhos em células distintas (especialmente nas bordas das células) e consumo total de energia.

### REFERÊNCIAS

- [1] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 12, pp. 42–49, Dec. 2009.
- [2] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklós, and Z. Turányi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 3, pp. 170–176, Mar. 2012.
- [3] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in LTE-advanced networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 96–104, Jun. 2012.
- [4] C. F. M. Silva, José Mairton B. Silva Jr., and T. F. Maciel, "Radio resource management for device-to-device communications in long term evolution networks," in *Resource Allocation and MIMO for 4G and Beyond*, F. R. P. Cavalcanti, Ed. New York: Springer Science+Business Media, 2014, pp. 105–156.
- [5] L. You, Z. Yuan, P. Yang, and G. Chen, "ALOHA-like neighbor discovery in low-duty-cycle wireless sensor networks," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'11)*, vol. 4, Mar. 2011, pp. 749–754.
- [6] 3GPP, "Physical layer aspect for evolved universal terrestrial radio access (UTRA)," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TR 25.814, Sep. 2006. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/25814.htm>
- [7] D. A. Sánchez-Salas and J. L. Cuevas-Ruiz, "N-states channel model using Markov chains," in *Fourth Congress of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics (CERMA'07)*. IEEE Computer Society, Sep. 2007, pp. 342–347.