

Impacto da propagação do sinal nas comunicações dispositivo a dispositivo em redes 5G

Helio de Paula Moura¹, Jefferson Elbert Simões¹, Carlos Alberto Vieira Campos¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Av. Pasteur, 458, Urca – Rio de Janeiro – RJ – Brasil - 22.290- 240

{helio.moura, jefferson.simoese, beto}@uniriotec.br

Abstract. *Performance evaluation of device to device (D2D) for 5G networks can be impacted by the use of inappropriate propagation models. Due to this, the present work aims to evaluate the impact of signal propagation on potential D2D communications. The results obtained reveal a significant difference in the contacts between devices for each model used, which can impact the effectiveness of studies that perform performance evaluations in these networks.*

Resumo. *Avaliação de desempenho da tecnologia dispositivo-a-dispositivo (D2D) em redes 5G pode ser impactada pelo uso de modelos de propagação inadequados. Devido a isso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o impacto da propagação de sinal nas potenciais comunicações D2D. Os resultados obtidos revelam uma significativa diferença nos contatos entre os dispositivos para cada modelo usado, o que pode impactar a efetividade de estudos que realizam avaliações de desempenho nessas redes.*

1. Introdução

Nas redes celulares tradicionais, estações móveis (EM) não se comunicam diretamente umas com as outras, sendo necessário que toda a comunicação passe pela estação rádio base (ERB) [Rappaport 2009]. A comunicação dispositivo a dispositivo (D2D), no entanto, permite a comunicação direta entre EM a fim de melhorar, por exemplo, os serviços em tempo real, a latência, a velocidade, entre outros aspectos, sendo uma tecnologia central na quinta geração de telefonia móvel (5G) [Waqas et al. 2019].

Um dos aspectos principais da tecnologia D2D é a questão da proximidade, pois é necessário que as EM estejam próximas o suficiente para que a comunicação seja realizada [Wu et al. 2020]. Quando isso ocorre, dizemos que as EM estão em contato. A atenuação do sinal, entre outros fatores físicos, impactam os contatos na rede e, por extensão, as possíveis comunicações D2D [Sun et al. 2020].

Nesse contexto, a partir de modelos de propagação recomendados para as redes 5G nos cenários: urbano com macro célula (UMa) e urbano com micro célula (UMi) [Jiang et al. 2021], configurado com as frequências de 3GHz e 5GHz, o presente artigo tem por objetivo avaliar como os aspectos físicos do canal sem fio, a partir de modelos de propagação, impactam os contatos e as potenciais comunicações D2D.

2. Trabalhos Relacionados

Muitos trabalhos em D2D fazem o uso de modelos de propagação para verificar a atenuação do sinal ao longo de uma trajetória. A depender de como o sinal atenua, os contatos são afetados e, por extensão, a própria comunicação D2D.

Em [Ioannou et al. 2021], é avaliado o desempenho da seleção do modo D2D com o apoio de uma solução inteligente distribuída. Na formulação do algoritmo de seleção do modo de transmissão, o modelo Friis é utilizado e, dessa forma, há risco de superestimação dos resultados. Em [Xu et al. 2018], é proposto uma alocação conjunta de canais e um algoritmo de controle de potência para otimizar o desempenho. O modelo de Friis é utilizado para descrever o canal sem fio, assim como em [Chai et al. 2019], no qual são propostas soluções para o uso conjunto de cache, dinâmicas de alocação de conteúdo e associação do usuário em redes celulares heterogêneas habilitadas para D2D. O trabalho realizado em [Ni et al. 2021] investiga a comunicação D2D assistida pela tecnologia de superfícies inteligentes reconfiguráveis, utilizando o modelo de propagação Nakagami-m.

Entretanto, ainda existem poucos trabalhos fazendo o uso de modelos de propagação previstos para o 5G [Jiang et al. 2021] em uma rede com estações móveis com mobilidade, que avaliam o impacto da propagação do sinal nos contatos e nas comunicações D2D, questão que é explorada pelo presente artigo.

3. Fundamentação teórica

Modelos de propagação determinísticos são expressões matemáticas usadas para caracterizar a propagação das ondas e, por consequência a atenuação do sinal. O modelo de Friis é o mais explorado na literatura, devido a sua simplicidade, embora seja pouco realista. No caso do 5G, é necessário que se faça o uso de modelos de propagação capazes de prover boas aproximações em cenários reais, como é o caso do modelo proposto pelo 3GPP e o modelo Winner II [Navarro-Ortiz et al. 2020].

Em redes 5G, há um grande interesse na aplicação desses modelos em dois cenários: UMa e UMi. Ambos levam em conta uma região com vários edifícios, em diferentes alturas, dispostos homogeneamente. No UMa, presume-se a altura da ERB a 25 m do solo, bem acima das alturas dos edifícios circundantes, e a difração é o mecanismo de propagação dominante. No UMi, é considerada uma altura de 10 m, que está bem abaixo das alturas dos edifícios circundantes e, portanto, a intensidade do sinal recebido no dispositivo inclui contribuições tanto do telhado quanto ao redor dos edifícios.

3.1. Modelo de Friis

Leva em conta o espaço livre sem quaisquer obstáculos para as ondas transmitidas. Permite prever a potência média do sinal recebido por um receptor [Granatstein 2012]:

$$PL = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) - G_{Tx} - G_{Rx} \quad (1)$$

Sendo $PL = P_{Tx} - P_{Rx}$, P_{Tx} e P_{Rx} é a potência transmitida e recebida respectivamente, G_{Tx} e G_{Rx} são os ganhos da transmissão e recepção, respectivamente, d a distância entre o transmissor (Tx) e o receptor (Rx) e λ o comprimento de onda.

3.2. Modelo 3GPP

O modelo 3GPP mais recente (3GPP TR38.901) [Jiang et al. 2021] suporta uma ampla faixa de frequência (0,5–100 GHz) e uma grande largura de banda. Considera diversos aspectos como o atraso, distância 3D entre o Tx e Rx, multipercursos, altura Tx e Rx, entre outros. É possível utilizá-la nos cenários UMa, UMi, suburbana, rural, além de considerar aspectos como visada direta (LOS) não-visada (NLOS) [Zhu et al. 2019]. Essas expressões estão sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Expressões para o modelo 3GPP

	Atenuação	Expressão	Condição
UMa	PL _{LOS}	$28 + 22\log(d_{3D}) + 20\log(f_c)$	$10m < d_{2D} < d'_{BP}$
		$28 + 40\log(d_{3D}) + 20\log(f_c) - 9\log((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km$
	PL _{NLOS}	$\text{Max}(PL_{LOS}, PL_{NLOS})$ $13.54 + 39.08\log(d_{3D}) + 20\log(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$	$10m < d_{2D} < 5km$
UMi	PL _{LOS}	$32.4 + 21\log(d_{3D}) + 20\log(f_c)$	$10m < d_{2D} < d'_{BP}$
		$32.4 + 40\log(d_{3D}) + 20\log(f_c) - 9.5\log((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$	$d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km$
	PL _{NLOS}	$\text{Max}(PL_{LOS}, PL_{NLOS})$ $35.3\log(d_{3D}) + 22.4 + 21.3\log(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1.5)$	$10m < d_{2D} < 5km$

Na Tabela 1, a variável f_c é a frequência em GHz, h_{UT} é a altura do Rx, h_{BS} é a altura da ERB, d_{2D} é a distância Tx e Rx medido do solo, d_{3D} é a distância entre os seus topos. A distância $d'_{BP} = 4 h'_{BS} h'_{UT} (f/c)$, com $h'_{UT} = h_{UT} - 1.0$ e $h'_{BS} = h_{BS} - 1.0$ é a altura efetiva do Rx e do Tx, respectivamente, f é a frequência em Hz e c é a velocidade da luz no vácuo.

3.3. Modelo Winner II

O modelo Winner II é baseado em geometria estocástica aplicável a muitos cenários. Tem sido amplamente utilizado devido a um compromisso razoável entre precisão e complexidade [Wang et al. 2018]. Essas expressões estão sumarizadas na Tabela 2. No cenário C2, que corresponde ao cenário UMa, o Rx-EM, está localizado no nível da rua e a ERB acima das alturas dos edifícios circundantes.

Tabela 2. Expressões para o modelo Winner II

	Atenuação	Expressão	Condição
C2	PL _{LOS}	$22.7\log(d) + 41 + 20\log(f_c/5)$	$10m < d < d'_{BP}$
		$40\log(d) + 13.47 - 14\log(h'_{BS}) - 14\log(h'_{MS}) + 6\log(f_c/5)$	$d'_{BP} \leq d \leq 5km$
	PL _{NLOS}	$(44.9 - 6.55\log(h_{BS}))\log(d) + 31.46 + 5.83\log(h_{BS}) + 23\log(f_c/5)$	$10m < d < 5km$
B1	PL _{LOS}	$26\log(d) + 39 + 20\log(f_c/5)$	$10m < d < d'_{BP}$
		$40\log(d) + 9.45 - 17.3\log(h'_{BS}) - 17.3\log(h'_{MS}) + 2.7\log(f_c/5)$	$d'_{BP} \leq d \leq 5km$
	PL _{NLOS}	$\text{Min}(PL(d_1, d_2), PL(d_2, d_1))$ $PL_{LOS}(d_k) + 20 - 12.5\eta_j + 10\eta_j \log(d_1) + 3\log(f_c/5)$	$10m < d < 5km$ $w \leq d_2 \leq 2km$

O cenário B1, equivalente ao UMi, a altura da ERB e da EM está abaixo do topo dos edifícios circundantes, ambas ao ar livre. As ruas da área de cobertura são classificadas como “ruas principais”, onde há condições de LOS até a ERB, com a possível exceção nos casos em que o LOS está temporariamente bloqueado pelo tráfego (por exemplo, caminhões e ônibus) [Meinilä et al. 2009]. As variáveis das expressões, e suas especificidades, são iguais ao apresentado no modelo 3GPP.

4. Avaliação

Para avaliação, as EM foram geradas segundo um Processo Ponto Poisson (PPP) em uma área de 2 km^2 e uma densidade de 500 EM por km^2 . Foram geradas 30 topologias distintas. As EM se movem, segundo o modelo Levy-Walk [Sueda and Hayashibara 2020] a uma velocidade constante de 3 km/h. As observações foram feitas a cada intervalo de 10^{-3} s, sendo o tempo total simulado de 360 segundos.

Baseados nos modelos de Friis, Winner II (LOS e NLOS) e 3GPP (LOS e NLOS), foi calculado o alcance em função da potência de transmissão e verificado as ocorrências de contato através do cálculo da distância euclidiana. No Friis, o Ganho, G_{Tx} e G_{Rx} valem 1 dBi. Outros parâmetros dos modelos de propagação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros para os modelos de propagação utilizados

Parâmetros	Friis	3GPP	Winner II
Frequência		3 GHz, 5 GHz	
Potência		Tx = 10 a 20 dBm, Rx = -75 dBm	
Altura	-	ERB=25m, EM=1.5m	ERB=25m, EM=1.5m

A implementação Utilizou a linguagem Python. Os resultados foram gerados com um nível de confiança igual a 95% e o erro calculado refere-se ao erro-padrão.

5. Resultados

Observa-se na Figura 1(a) e na Figura 1(b) que há menos contatos quando comparados os modelos 3GPP e Winner II com o modelo de Friis. Sendo esses modelos mais restritivos, o alcance é menor, tendo efeito na ocorrência dos contatos.

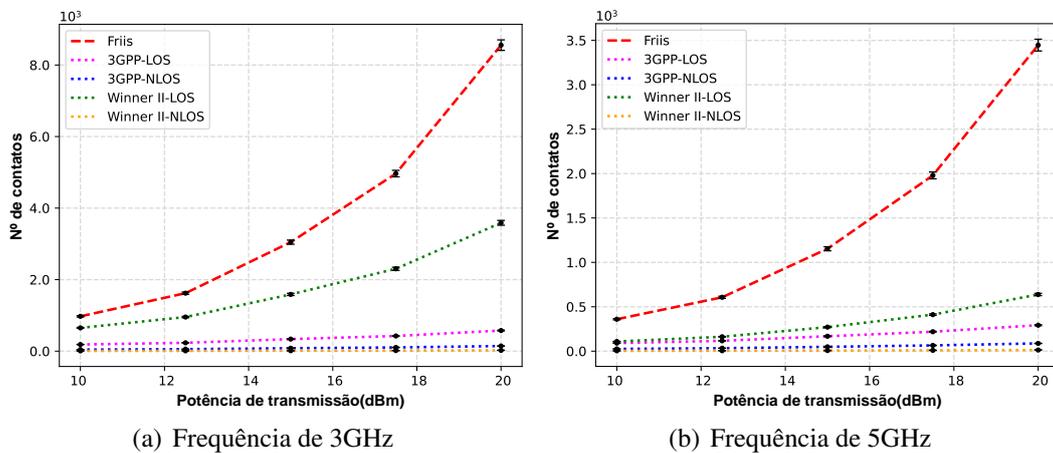


Figura 1. Resultados no cenário UMa

Há ocorrência de mais contatos se compararmos a Figura 1(a) com a Figura 1(b). Há uma relação inversa entre a frequência e o alcance. Quanto maior a frequência menor o alcance, o que explica o volume de contatos em cada situação. Não é possível observar diferenças significativas nos contatos se compararmos as curvas 3GPP-NLOS e Winner II-NLOS em 3GHz e em 5GHz. O quantitativo de contatos é menor no caso de NLOS, situação mais restritiva quanto a propagação de sinal.

É possível observar que as curvas relativas ao 3GPP-LOS e Winner II-LOS na Figura 1(a), são bem menores quando comparadas aos resultados obtidos na Figura 1(b).

Isso indica o aumento que a frequência impacta mais o contato com o modelo Winner II-LOS do que com o modelo 3GPP-LOS.

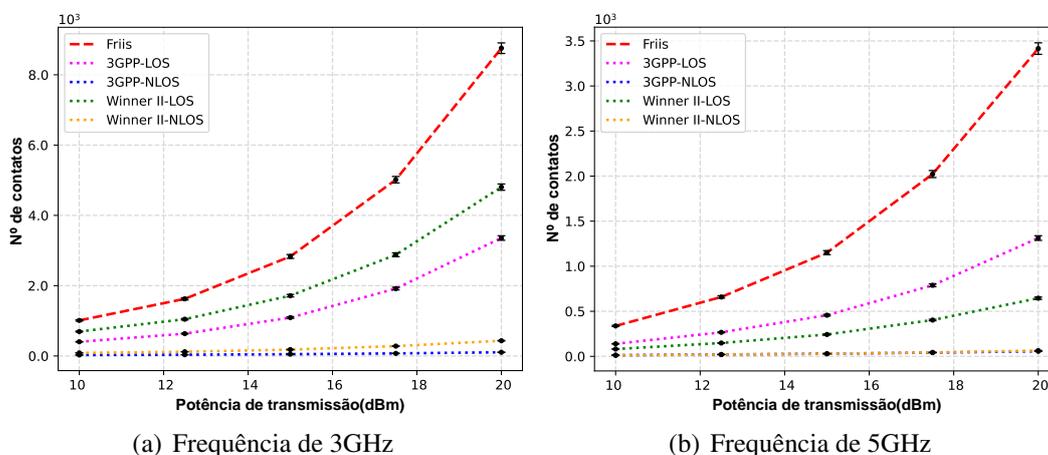


Figura 2. Resultados no cenário UMi

No cenário UMi, observa-se na Figura 2(a), similarmente ao encontrado no cenário UMa, o quantitativo de contatos muito maior ao se usar o modelo Friis. O quantitativo de contatos é igual ao se comparar UMa e UMi, devido ao modelo não levar conta as características nesses cenários. Por outro lado, observa-se que o quantitativo de contatos do modelo Winner II-LOS é maior que o 3GPP-LOS, Figura 1(a). Existe uma pequena diferença quando comparamos os contatos a partir dos modelos 3GGPP-NLOS e Winner II-NLOS na Figura 2(a), algo que não é observável na Figura 1(a). Além disso, é possível observar diferenças mais significativas no quantitativo de contatos nas curvas 3GPP-LOS e Winner II-LOS se comparamos com a Figura 1(b).

6. Conclusões

Neste trabalho buscou-se avaliar o impacto da propagação nas potenciais comunicações D2D. A partir dos modelos de Friis, 3GPP e Winner II em diferentes cenários e frequências, foi possível observar uma significativa diferença no quantitativo de contatos. Com isso, análises de desempenho em D2D que não levam em conta essa questão podem levar a resultados imprecisos. O uso do modelo de Friis, por exemplo, pode superdimensionar os resultados, e a eficácia da solução pode ser questionada. Neste artigo, objetivamos a análise de desempenho em D2D, no sentido de observarmos se o modelo é adequado as regiões ou ambientes a que ele se propõe a análise. Assim, as regiões onde o Tx está localizado muito acima do Rx, o cenário UMa pode ser o mais adequado, tanto em LOS como em NLOS. Todavia, quando essa diferença não é tão significativa, uma abordagem UMi pode ser mais interessante.

Como sugestões para trabalhos futuros, pretende-se analisar ambientes com troca de tráfego e uso de *cache*, a fim de averiguar o desempenho e as condições de rede sob o impacto dos parâmetros físicos incorporados pelos modelos de propagação.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado parcialmente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Chai, R., Li, Y., and Chen, Q. (2019). Joint cache partitioning, content placement, and user association for D2D-enabled heterogeneous cellular networks. *IEEE Access*, 7:56642–56655.
- Granatstein, V. L. (2012). *Physical principles of wireless communications*. Crc Press.
- Ioannou, I., Christophorou, C., Vassiliou, V., and Pitsillides, A. (2021). Performance evaluation of transmission mode selection in D2D communication. In *2021 11th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*.
- Jiang, T., Zhang, J., Tang, P., Tian, L., Zheng, Y., Dou, J., Asplund, H., Raschkowski, L., D’Errico, R., and Jämsä, T. (2021). 3gpp standardized 5G channel model for iot scenarios: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Meinilä, J., Kyösti, P., Jämsä, T., and Hentilä, L. (2009). Winner ii channel models. *Radio Technologies and Concepts for IMT-Advanced*, pages 39–92.
- Navarro-Ortiz, J., Romero-Diaz, P., Sendra, S., Ameigeiras, P., Ramos-Munoz, J. J., and Lopez-Soler, J. M. (2020). A survey on 5G usage scenarios and traffic models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2):905–929.
- Ni, Y., Liu, Y., Wang, J., Wang, Q., Zhao, H., and Zhu, H. (2021). Performance analysis for ris-assisted D2D communication under nakagami-m fading. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- Rappaport, T. S. (2009). *Comunicações sem fio: princípios e práticas*. Pearson Prentice Hall.
- Sueda, T. and Hayashibara, N. (2020). Human mobility and message caching in opportunistic networks. In *International Conference on Emerging Internetworking, Data & Web Technologies*, pages 395–405. Springer.
- Sun, R., Wang, Y., Lyu, L., Cheng, N., Zhang, S., Yang, T., and Shen, X. (2020). Delay-oriented caching strategies in D2D mobile networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(8):8529–8541.
- Wang, C. X., Bian, J., Sun, J., Zhang, W., and Zhang, M. (2018). A survey of 5G channel measurements and models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4):3142–3168.
- Waqas, M., Niu, Y., Li, Y., Ahmed, M., Jin, D., Chen, S., and Han, Z. (2019). A comprehensive survey on mobility-aware D2D communications: Principles, practice and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3):1863–1886.
- Wu, H., Gao, X., Xu, S., Wu, D. O., and Gong, P. (2020). Proximate device discovery for D2D communication in lte advanced: Challenges and approaches. *IEEE Wireless Communications*, 27(4):140–147.
- Xu, J., Guo, C., and Zhang, H. (2018). Joint channel allocation and power control based on pso for cellular networks with D2D communications. *Computer Networks*, 133:104–119.
- Zhu, Q., Wang, C.-X., Hua, B., Mao, K., Jiang, S., and Yao, M. (2019). 3gpp tr 38.901 channel model. *Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online*, pages 1–35.