

Full-duplex para comunicação entre máquinas

L. Terças e C. H. M. de Lima

Resumo—Nesse trabalho, estudou-se o desempenho de dispositivos Full e Half-Duplex em uma rede de transmissão entre máquinas analisando o enlace de rádio entre o par transmissor e receptor de interesse. O método de Monte Carlo é utilizado nas simulações computacionais para obter as curvas de desempenho dos dispositivos nos cenários em estudo. Nas simulações a rede sofre efeitos degradantes de perda de percurso, sombreamento e interferência. Em dispositivos FD o efeito de auto interferência é levado em consideração. Os resultados numéricos mostram que dispositivos FD apresentam a mesma eficiência espectral de dispositivos HD, se um método de cancelamento da auto interferência for levado em consideração.

Palavras-Chave—M2M, IoT, Full-Duplex, auto-interferência, Half-Duplex, eficiência espectral.

I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a comunicação entre máquinas (M2M, do inglês *machine-to-machine*) está cada vez mais presente no cotidiano do homem, pela facilidade e pelo grande benefício de poder estar conectado aos mais variados tipos de serviços em um dispositivo na palma da mão. Com o grande avanço na tecnologia de comunicações sem fio, vem sendo desenvolvido vários métodos para beneficiar ainda mais a sociedade, como a internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), com a proposta de conectar além de pessoas, máquinas.

Neste ano em La Jolla, nos Estados Unidos, durante uma assembleia entre várias empresas do grupo de padronização de tecnologia móvel 3GPP chegou-se à um estágio oficial de finalização das especificações do 5G com a aprovação do release 15 [1]. Segundo o presidente da Qualcomm, Cristiano Amon, a fundação do 5G NR (*New Radio*) inicia-se em 2019, entretanto somente em 2020 teremos o uso comercial em alguns países da nova tecnologia considerada uma peça fundamental para a consolidação da IoT.

A proposta da implementação dos sistemas 5G é muito promissora, “ter a sociedade totalmente conectada”, uma tecnologia que possibilitará a conexão de tudo o que usamos, desde eletrodomésticos até nossas casas e carros. Entretanto para esta realidade se consolidar alguns pontos ainda devem ser superados, principalmente na questão de capacidade de tráfego de informação e conexão contínua na rede.

Uma das tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para atender a esta demanda é a *Ultra Reliable Communication* (URC), ou seja, as Comunicações Ultra Confiáveis, sua proposta é uma conexão sem fio robusta em qualquer lugar e a qualquer momento [2]. Em conexões M2M um dos principais desafios é conciliar a baixa potência de transmissão, visando

prolongar a vida útil da bateria, com o alcance de comunicação do dispositivo.

Algumas tecnologias, como a transmissão Full-Duplex (FD), estão sendo estudadas para viabilizar este tipo de transmissão e veem ganhando cada vez mais atenção da academia e da indústria. Esta tecnologia permite transmitir e receber simultaneamente um sinal, o que agrega uma maior eficiência espectral [3]. Entretanto, dispositivos FD por receberem e transmitirem ao mesmo tempo sofrem um efeito denominado auto-interferência, que degrada o sinal. Por este fato, o cancelamento deste efeito vem ganhando cada vez mais espaço na academia [4] [5] [6].

Este trabalho avalia o uso da nova tecnologia FD, em redes do tipo M2M com tecnologia segura e confiável, observando através de simulações meios para contornar os efeitos de interferência e os efeitos degradantes do canal rádio móvel, como perda de percurso e sombreamento, que agem sobre um sinal desejado.

II. MODELO DE SISTEMA

Para a análise da potência de um sinal que chega a um receptor, os efeitos de atenuação considerados neste trabalho serão a perda de percurso e o sombreamento, onde a potência recebida, P_R , em dBm, é dada por

$$P_R = P_T + K - 10\alpha \log_{10} \left[\frac{d}{d_0} \right] + \varphi, \quad (1)$$

onde P_T a potência transmitida em dBm, K uma constante que depende das características da antena e atenuação do canal, d é a distância entre receptor e transmissor, d_0 é a distância de referência do campo distante do antena, α é o expoente de perda de percurso e φ é uma variável aleatória Gaussiana com média 0 e desvio padrão σ_φ [7] [8].

Além dos efeitos de atenuação, existe um outro efeito que degrada a potência recebida de um sinal, denominado interferência. Isto ocorre pois um receptor além de receber o sinal desejado ele recebe outros sinais provindos de transmissores não desejados.

Neste trabalho serão considerados cenários, um de referência onde todos os transmissores operam no modo HD e um outro onde os transmissores operam no modo FD.

Sendo assim a interferência no cenário de referência será dada por

$$Z_0^{HD} = \sum_{(\varphi_i, d_i) \in \Phi^{HD}} P_{R_{i0}}. \quad (2)$$

Já o cenário híbrido onde os transmissores operam tanto em HD como FD a equação da interferência será dada por

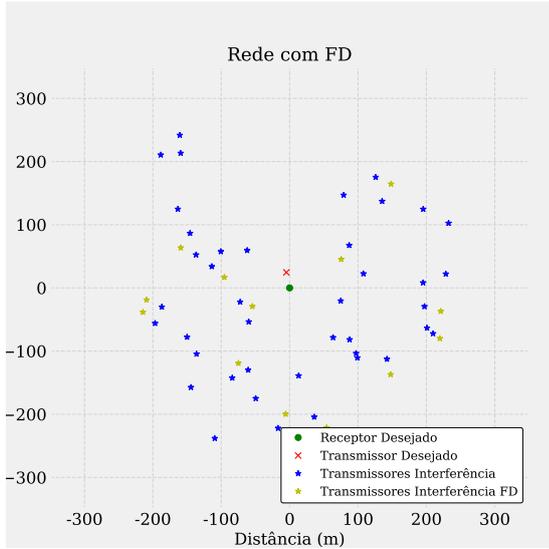


Fig. 1. Representação de um snapshot do modelo de rede utilizado.

$$Z_0^{FD} = \delta p_{00} + \sum_{(\varphi_i, d_i) \in \Phi^{HD}} P_{R_{i0}} + \sum_{(\varphi_j, d_j) \in \Phi^{FD}} P_{R_{j0}}. \quad (3)$$

onde δp_{00} representa a atenuação da auto interferência do dispositivo FD [5].

Para implantação da rede os dispositivos são distribuídos através de uma distribuição de *Poisson*, a Fig.1 mostra uma realização (*snapshot*) do modelo de rede simulado, nele podemos observar o receptor e transmissor de interesse, os transmissores de interferência e os dispositivos FD.

III. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para analisar a potência recebida no dispositivo de interesse considerou-se uma potência de transmissão de 30 dBm em cada transmissor, coeficiente de perda de percurso $\alpha = 4$, desvio padrão do efeito de sombreamento igual a 8 dB, número de transmissores com média de 50 dispositivos distribuídos aleatoriamente na área de cobertura da rede, sendo 25% destes dispositivos operando como FD.

Com as potências indesejadas e a potência de interesse conhecida, a Fig. 2 foi gerada. Cada curva possui 10.000 *snapshots* para trazer um resultado representativo estatisticamente.

A Fig. 2 mostra a função de distribuição cumulativa (CDF) da razão sinal-interferência (SIR), experimentada pelo receptor quando o transmissor desejado encontra-se a uma distância de 25 m e os interferentes são distribuídos aleatoriamente sobre a área de cobertura da rede. O desempenho no receptor de interesse não é degradado apenas pelos efeitos de perda de percurso, sombreamento e interferência, mas principalmente pelo seu próprio componente de auto interferência. Observa-se que comparado ao desempenho de um cenário com dispositivos HD existe uma diferença significativa por conta deste efeito, entretanto o desempenho do cenário com dispositivos FD equipara-se ao do HD, se o mesmo tiver o cancelamento de 80 dB da auto interferência. Nessa configuração, a eficiência espectral do modo FD é superior.

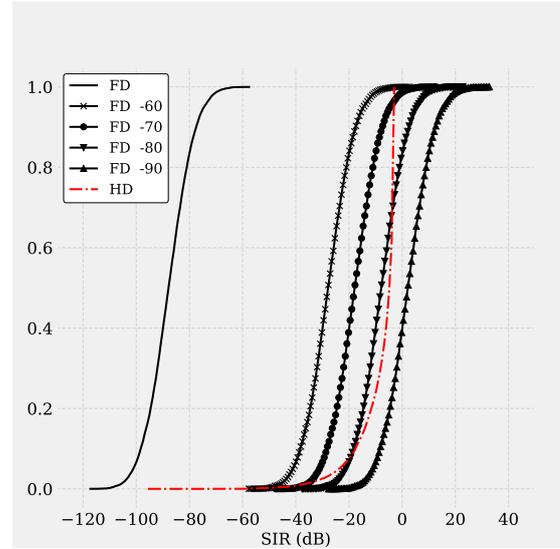


Fig. 2. CDF da potência no receptor.

IV. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho, discutiu-se estratégias para análise de potência recebida de um sinal e a eficiência de dispositivos FD para que a potência de recepção ideal de um sinal seja alcançada. Observou-se que a utilização de dispositivos FD junto do cancelamento do efeito de auto interferência, torna-se uma estratégia eficiente para alcançar melhores níveis de potência, equiparando-se aos dispositivos HD. Sabendo que a implantação de uma comunicação maciça entre máquinas requer, além de alta eficiência espectral, baixa latência, novos estudos serão feitos para o mesmo cenário analisando a capacidade e tempo de transmissão de pacotes com dispositivos HD e FD, afim de comparar sua eficiência e ver se esta estratégia é viável em termos de latência.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte do CNPq através do projeto Universal n.432925/2016-3.

REFERÊNCIAS

- [1] "3GPP completa nova padronização para 5G," <http://www.mobiletime.com.br>, acesso em 28 de junho de 2018.
- [2] P. Popovski, "Ultra-reliable communication in 5G wireless systems," in *5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), 2014 1st International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 146–151.
- [3] H. Alves, R. D. Souza, and M. E. Pellenz, "Brief survey on full-duplex relaying and its applications on 5g," in *Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2015 IEEE 20th International Workshop on*. IEEE, 2015, pp. 17–21.
- [4] C. D. Nwankwo, L. Zhang, A. Qudus, M. A. Imran, and R. Tafazolli, "A survey of self-interference management techniques for single frequency full duplex systems," *IEEE Access*, 2017.
- [5] C. H. de Lima, P. H. Nardelli, H. Alves, and M. Latva-aho, "Full-duplex communications in interference networks under composite fading channel," in *Networks and Communications*. IEEE, 2014, pp. 1–5.
- [6] B. Singh, Z. Li, O. Tirkkonen, M. A. Uusitalo, and P. Mogensen, "Ultra-reliable communication in a factory environment for 5g wireless networks: link level and deployment study," in *Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [7] A. Goldsmith, *Wireless Communication*. Cambridge University Press, 2005.
- [8] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*. Kluwer Academic Publishers, 2002.