

Estratégia de Backoff com Prioridade em Sistemas Hierárquicos de Comunicação entre Máquinas

W. S. Souza e C. H. M. de Lima

Resumo—Nesse trabalho, estudamos o desempenho de sistemas com implantação maciça de máquinas usando estratégias de *backoff* com prioridade para controlar o tempo de transmissão fim-a-fim. Simulações computacionais utilizando a abordagem de Monte Carlo são empregadas para obter as figuras de desempenho do sistema em estudo. Nos cenários em estudo, o canal rádio móvel incorpora o desvanecimento de larga escala, e o sistema opera baseado em estratégias de múltiplo acesso com sensoriamento de portadora. Os resultados numéricos mostram que a implantação de *backoff* com prioridade diminui a latência de dispositivos que operam em regime URC.

Palavras-Chave—M2M, IoT, URC, backoff, controle de acesso, contenção, latência, CSMA/CA.

I. INTRODUÇÃO

As comunicações entre máquinas (M2M, em inglês *machine-to-machine*) estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano e serviços essenciais como transações bancárias, aprendizagem, saúde e entretenimento tornam-se cada vez mais acessíveis. Além disso, a interação entre a internet das coisas (IoT, em inglês *Internet of Things*) e a M2M habilitará aplicações em dispositivos domésticos, sistemas de estacionamento, transporte público, segurança pública e sistemas industriais. Na realidade, prevê-se que 50 bilhões de dispositivos estejam conectados em 2020, um número que é dez vezes maior que em 2010. Nessas condições, será necessário um aumento na capacidade de tráfego de até mil vezes com relação à capacidade atual [1].

Atualmente, os sistemas são na sua maior parte orientados a humanos e projetados para assegurar boa conectividade na maior parte do tempo, porém, em locais com pouca cobertura, alta interferência ou sobrecarga, a taxa de transferência é quase nula. Já sistemas orientados a máquinas requerem comunicação ininterrupta para seu funcionamento, esses sistemas operam em regime de Comunicação Ultra Confiável (URC, em inglês *Ultra Reliable Communication*). URC é um modo de operação que não existe atualmente e representa a necessidade de um alto nível de qualidade de serviço por quase todo o tempo de conexão [2]. A Comunicação Ultra Confiável entre máquinas tem aplicações como automação industrial, computação em nuvem (em inglês *Cloud Computing*) e comunicação entre veículos.

Dado que os sistemas de comunicação celulares atuais são orientados a humanos, os pacotes são divididos em uma grande parte de dados transmitidos (em inglês, *Payload*) e uma pequena parte de informações de controle (em inglês,

Metadata) [3]. Já a Comunicação entre Máquinas (MTC, em inglês *Machine Type Communication*) tem pacotes curtos, ou seja, o tamanho do *Payload* e do *Metadata* são equivalentes. Além disso, as aplicações que transmitem pacotes curtos geralmente carregam informações críticas que exigem latência pequena e confiabilidade muito alta, algo que os sistemas atuais não oferecem.

Um grande número de dispositivos ativos em um mesmo local aumenta a latência, uma vez que se todos eles estão tentando transmitir ao mesmo tempo, eles entram em contenção. O tempo de *backoff* exponencial é um algoritmo que divide os usuários em slots de tempo para diminuir essas colisões. Os dispositivos tentam enviar, recebem tempos aleatórios que seguem a regra do tempo de *backoff* e eles devem aguardar esse tempo para que possam tentar transmitir novamente. O controle do tempo de *backoff* é importante para economia de energia do dispositivo, uma vez que ele tenta transmitir apenas quando excede seu tempo de espera.

Mesmo com o algoritmo de *backoff*, dispositivos que requerem baixa latência podem esperar muito tempo para realizar a transmissão. Para que esses dispositivos consigam um tempo de latência pequeno, uma regra de *backoff* que leva em consideração a prioridade do dispositivo é utilizada [4].

II. MODELO DE SISTEMA

Nesse trabalho, os dispositivos são distribuídos aleatoriamente na área de implantação da rede através de uma distribuição de *Poisson*. O enlace de rádio é degradado pela perda de percurso e sombreamento [5], [6]. A potência recebida pelo receptor de interesse localizado à uma distância d de um transmissor arbitrário é dada por

$$p_{rx} = p_{tx} d^{-\alpha} x_{\sigma}, \quad (1)$$

onde p_{tx} é a potência transmitida em *Watts*, α é o expoente de perda de percurso e x_{σ} representa o sombreamento Log-Normal (LN).

A Fig. 1 representa uma realização (*snapshot*) da rede M2M em estudo e mostra a situação em que um nó do primeiro *cluster* transmite informação. Observa-se que os nós de comunicação estão *clusterizados* – O processo de clusterização pode ser realizado por meio da estratégia apresentada em [7]. Os nós de cada *cluster* transmitem os pacotes ao *cluster head* e esse, por sua vez, encaminha ao *cluster head* subsequente até que a informação chegue no *sink node*. Os nós são representados pelos círculos vazios, os *cluster heads* pelos círculos preenchidos, o nó que transmitirá pelo quadrado vazio e o o *sink node* pelo quadrado preenchido.

O sistema em estudo usa o método de múltiplo acesso CSMA/CA onde nós com dados para transmitir acessam o

W. S. Souza e C. H. M. de Lima, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de São João da Boa Vista-SP, Brasil, E-mails: weler-son.s@hotmail.com, carlos.lima@sjbv.unesp.br. Este trabalho foi financiado pelo CNPq (102060/2017-7).

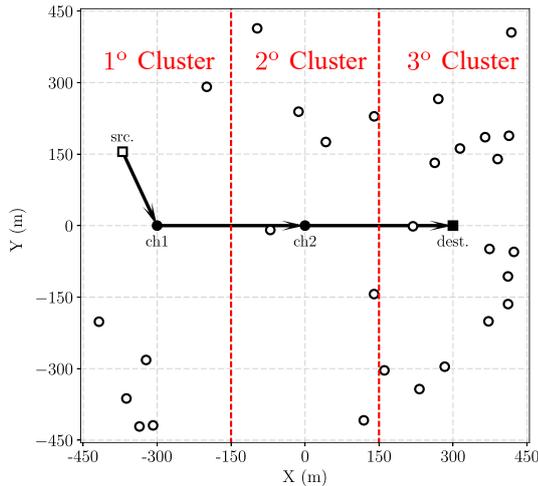


Fig. 1. Ilustração do cenário utilizado para simulações.

canal rádio móvel independentemente. Se o canal está inativo designa-se um tempo de *backoff* para transmitir os pacotes. A regra de tempo de *backoff* segue os padrões IEEE 802.11 e 802.15.4, e é dada por

$$\Delta = \lfloor 2^i \times \text{random}() \rfloor \times \delta, \quad (2)$$

onde $\text{random}()$ é um número aleatório com distribuição uniforme entre 0 e 1, $\lfloor \cdot \rfloor$ trunca o número para o menor inteiro, δ é o slot de tempo de *backoff* definido pelo sistema e i é um número não negativo. O valor de i é definido pelo sistema e é acrescido de 1 a cada tentativa de transmissão até o número máximo de tentativas i_{\max} (note que o pacote é perdido se o canal estiver ocupado quando o i_{\max} for atingido).

Contudo, o processo de contenção pode ser longo, ou seja, o tempo de latência para qualquer dispositivo pode ser alto causando a perda do pacote. Uma alternativa para diminuir a latência é incorporar prioridades no cálculo do tempo de *backoff*. Assim, a expressão do *backoff* pode ser reescrita como,

$$\Delta' = \left\lfloor \frac{2^i \times \text{random}()}{fp} \right\rfloor \times \delta, \quad (3)$$

onde fp é o fator de prioridade.

III. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para avaliar o impacto da estratégia de *backoff* com prioridade no tempo de transmissão fim-a-fim, nós consideramos o conjunto de parâmetros seguinte. As simulações computacionais envolvem 10000 realizações (*snapshots*) para garantir a representatividade estatística dos resultados numéricos. Além disso, considera-se uma densidade média de nós de 30/área da rede, potência de transmissão de 40dBm, coeficiente de perda de percurso α igual a 4, desvio padrão do sombreamento log normal σ igual a 10dB, tempo de transmissão igual a 1ms, *slot* do tempo de *backoff* igual a 100 μ s, número máximo de tentativas igual a 10 e tempo máximo para que o pacote não seja perdido de 200ms.

Com base nos tempos que os dispositivos levaram para transmitir o pacote até o *sink node*, a Fig. 2 mostra a função

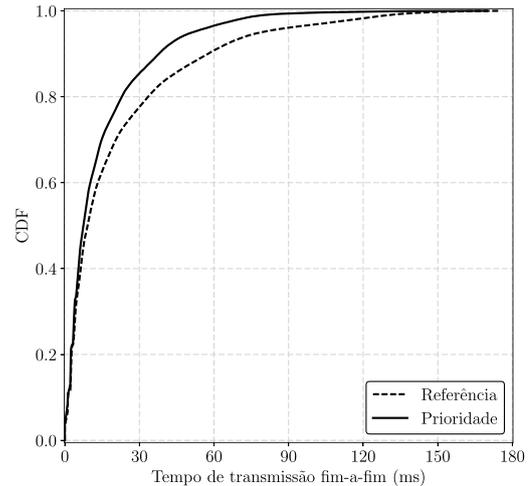


Fig. 2. Probabilidade de sucesso de transmissão.

de distribuição de probabilidade acumulada de sucesso na transmissão. Observa-se que os dispositivos com prioridade apresentam um tempo de *backoff* menor que os outros dispositivos que estão esperando para transmitir, logo, terão tempo de espera para transmissão menor.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho, discutiu-se estratégias para diminuir a latência na transmissão fim-a-fim em sistemas com implantação maciça de comunicação entre máquinas, visto que essa aplicação requer latência pequena para ser confiável. O desempenho do sistema é avaliado em configurações com e sem prioridade para a designação do tempo de *backoff*.

Observou-se que o sistema de referência (sem prioridade), que usa a estratégia de *backoff* simplesmente para controlar o acesso ao meio, apresenta um tempo de latência fim-a-fim alto, apesar de resolver o problema da contenção. Por outro lado, nos cenários onde a estratégia de *backoff* com prioridade foi utilizada, os dispositivos com prioridade tiveram tempo de latência consideravelmente menor que dispositivos sem prioridade. Dessa maneira, a estratégia de *backoff* com prioridade diminuiu de forma efetiva o tempo de latência na comunicação entre máquinas nos cenários avaliados.

REFERÊNCIAS

- [1] “The Metis2020 project - laying the foundation of 5G,” www.metis2020.com, online, acesso em 13 de fevereiro de 2017.
- [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] J. A. Thomas and T. M. Cover, *Elements of information theory*. John Wiley & Sons, 2006.
- [4] I. Park, D. Kim, and D. Har, “MAC achieving low latency and energy efficiency in hierarchical M2M networks with clustered nodes,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 1657–1661, 2015.
- [5] A. Goldsmith, *Wireless communications*. Cambridge university press, 2005.
- [6] T. S. Rappaport, *Comunicações sem fio: princípios e práticas*. Pearson Prentice Hall, 2009.
- [7] C. Lima and G. T. F. de Abreu, “Clusterization for robust geographic routing in wireless sensor networks,” in *Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE*. IEEE, 2008, pp. 2385–2390.