

Avaliação de um Protocolo de Acesso ao Meio para Redes Corporais WBAN na Plataforma GNURadio

Kristtopher Kayo Coelho, Adriele Dutra Souza, José Augusto M. Nacif
Universidade Federal de Viçosa – Florestal, MG – Brasil
Email: {kristtopher.coelho, adriele.souza, jnacif}@ufv.br

Resumo—Os gastos relacionados à saúde, além do envelhecimento populacional, impulsionaram os estudos sobre a computação ubíqua na medicina. As redes corporais sem fio emergem como uma tecnologia propícia ao monitoramento de pessoas em diversos ambientes. Porém, apesar dos notórios benefícios, esta tecnologia apresenta desafios a serem tratados. Por exemplo, os ambientes em que estas redes estão implantadas estão sujeitos a interferências e congestionamentos dos canais de comunicação. Existem inúmeras propostas para tratar problemas similares em redes sem fio de forma geral. Entretanto, dadas os fortes requisitos das aplicações médicas, tais soluções podem não ser apropriadas para WBANs (Wireless Body Area Network). O protocolo de controle DCAA-MAC¹ (protocolo MAC com canal dinamicamente ajustável assíncrono) foi projetado especificamente para redes corporais sem fio. Este tem como objetivos a baixa latência e a Qualidade de Serviço (QoS). O protocolo ainda possui características de rádio cognitivo (CR) proporcionando uma comutação assíncrona e rápida dos canais. Este trabalho apresenta a avaliação de desempenho do protocolo DCAA-MAC com base nos requisitos específicos da área médica. Além de torná-lo disponível para pesquisas e aplicações utilizando a plataforma GNURadio. Para esta avaliação, o protocolo foi emulado utilizando dispositivos reais os quais simulavam um cenário similar a um ambiente hospitalar. Os experimentos apresentaram perda de dados inferior a 1% e latência máxima em torno de 40 milissegundos relativos aos dados confirmados.

1. Introdução

Os gastos relacionados à saúde e ao envelhecimento populacional representam desafios aos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Estes gastos aceleraram uma demanda por novos tratamentos médicos com base tecnológica de modo a prover um gerenciamento e monitoramento proativo de sinais vitais [1]. O estilo de vida moderno vem agravando o surgimento de doenças crônicas degenerativas, como stress, depressão, ansiedade generalizada, entre outras. Alguns fatores diretamente associados a este estilo de vida contemporâneo podem ocasionar tais doenças tais como, o sedentarismo e a má alimentação, além do consumo excessivo de bebidas alcoólicas e cigarros. Consequentemente, o

número de profissionais da área passou a ser insuficiente ao atendimento da população [2]. A computação ubíqua surge como uma solução, com alto grau de mobilidade, cujo principal benefício é tornar o cuidado com a saúde disponível em qualquer momento e lugar [3], [4].

As WBANs são compostas por uma grande diversidade de dispositivos computacionais. Estes dispositivos geram um elevado volume de dados a serem transmitidos por meio de tecnologias de comunicação sem fio. Para a telemedicina o presente projeto vai de encontro a alguns desafios da comunicação [3]. Um deles consiste na baixa disponibilidade de canais dentro da faixa não licenciada de 2,4GHz (industrial, científica e médica), proporcionando um ambiente de comunicação congestionado e repleto de interferências. Além disso, os requisitos de perda de pacotes e latência menores que 1% [5] e 200 ms [6] respectivamente, tornam este cenário de aplicações médicas especialmente desafiador. A inovação tecnológica de rádios cognitivos [7] busca ser uma solução promissora para a escassez de canais de comunicação por meio do uso oportunista do espectro de radiofrequência. Isto é feito através da utilização da faixas de frequência ociosas, sem interferir na usabilidade do usuários que pagam pelo uso de frequências licenciadas (usuário primário), proprietário de licença para uso do canal. Quando o usuário primário retoma o uso do canal, o usuário cognitivo recua e muda para outra faixa de frequência que esteja livre. A utilização desta técnica torna mais eficiente o uso da faixa licenciada, promovendo assim um aumento tanto na qualidade quanto na confiança do serviço de transmissão dos dados.

Neste artigo implementamos em um ambiente de teste, utilizando a plataforma GNURadio, o protocolo DCAA-MAC [8], que tem como finalidade controlar o acesso ao meio utilizando um canal dinamicamente ajustável em redes corporais. Utilizamos como ponto de partida para esta implementação o protocolo CSMA [9], o qual intermedia os pacotes entre a camada rede e física. Além disso, ele realiza a conferência da integridade dos pacotes utilizando CRC. Suas principais características são o *Carrier Sense* e a confirmação do recebimento de mensagens por *ACK*. Desta forma, torna-se possível ouvir e analisar a qualidade do canal de comunicação e confirmar a entrega das mensagens aos destinatários.

O DCAA-MAC possui além das características básicas de encapsulamento dos dados e transmissão *Broadcasting*,

1. Código disponível em: <https://github.com/kristtopher/DCAA-MAC.git>

a técnica de estabelecimento de comunicação conhecida como *Handshake*. Nesta técnica o dispositivo (nó) cliente solicita o estabelecimento da comunicação através do envio do comando de requisição (*RTS*). O nó servidor, se disponível, responde com o comando de associação (*CTS*). Após a confirmação, tem-se um canal dedicado entre os dois nós. Os dados serão transmitidos enquanto se fizer necessário ou até que a conexão seja encerrada, permitindo assim uma entrega confiável dos pacotes. A garantia da qualidade de transmissão é intensificada pela implementação da técnica de *Frequency Hopping*. Assim, o principal objetivo desta estratégia é evitar interferência e melhorar a utilização do espectro de radiofrequência. Esta técnica permite ao nó avaliar a qualidade dos canais, realizando trocas (saltos) entre canais caso perceba-se a presença de interferências. Estes saltos são necessários para que se encontre um canal livre de interferência e ruído dentro da faixa de 2,4GHz.

A avaliação de desempenho do protocolo foi realizada por meio de emulações em dispositivos reais, rádios *Ettus Research B100*, utilizando a plataforma GNURadio. Esta plataforma permite o desenvolvedor implementar sistemas de rádio de alto rendimento utilizando um ambiente de desenvolvimento rápido e simples. Os resultados demonstram que o DCAA-MAC é capaz de entregar, em média, 99% dos pacotes de dados com latência máxima em torno de 40 milissegundos. Isto simulando um cenário similar a um ambiente hospitalar, o qual requer uma massiva transmissão de dados em um curto espaço de tempo.

As contribuições deste trabalho são a avaliação e a validação do protocolo DCAA-MAC aplicado a dispositivos reais simulando ambientes médicos. Além destas, pretendemos tornar pública a implementação deste protocolo, o qual é exclusivamente voltado a atender às restrições impostas pelas aplicações médicas. Isto em consequência da falta de opções de protocolos de controle de acesso ao meio próprios para redes corporais disponíveis para a plataforma GNURadio.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 discute os trabalhos relacionados; a Seção 3 apresenta protocolo DCAA-MAC; a Seção 4 mostra um comparativo entre os protocolos apresentados; a Seção 5 descreve os experimentos realizados para a avaliação do protocolo e discute os seus resultados, e por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Dentre os objetivos da camada MAC estão a correção e o contorno aos desafios impostos pelo ambiente físico em que a rede e os dispositivos se encontram buscando reduzir o impacto das interferências e proporcionando uma maior vazão na transmissão de dados. Desde a criação das redes sem fio, diversos trabalhos foram publicados com intuito de melhorar o controle de acesso ao meio. Porém, em sua grande maioria, esses trabalhos buscam solucionar estes desafios de maneira genérica, apresentando soluções para as redes corporais de maneira análoga as soluções de redes locais, mesmo sabendo

que essas redes possuem requisitos e características diferentes. Assim, Thomas Schmid em 2006 [10] propôs uma implementação em GNURadio na qual a comunicação entre os dispositivos atendessem ao padrão *IEEE 802.15.4*. Esta norma define o protocolo compatível para dispositivos de comunicação de baixa velocidade em redes de área pessoal (WPAN) [11]. Schmid não implementa toda a pilha do protocolo *IEEE 802.15.4*, alegando dificuldades para cumprir as restrições de temporização.

Bastian Bloessl [12] perseguiu o aumento de desempenho dos protocolos MAC e implementou uma pilha de rede interoperável, com o intuito de cobrir as lacunas e as limitações até então encontradas em aplicações GNU-Radio. Toda sua implementação foi disponibilizada como código aberto. Sua implementação tem como base fundamental o trabalho de Schmid, podendo ser considerada uma evolução. Sua camada MAC é simples e para transmissão proporciona o encapsulamento dos pacotes com o cabeçalho *IEEE 802.15.4*, além de acrescentar o cálculo da soma de verificação *CRC* ao quadro para envio imediato. Para a recepção o processo se dá em ordem contrária, sua camada MAC verifica o *CRC* e remove o cabeçalho. Devido ao fato de envio imediato, a implementação de Bloessl não suporta a funcionalidade de CSMA/CA, contribuindo para o congestionamento da rede.

Soluções híbridas também foram propostas com o intuito de aumentar a flexibilidade da subcamada MAC. Uma delas o FS-MAC [9] que proporciona uma alternância dinâmica entre os protocolos MAC. Originalmente, este protótipo oscila entre um protocolo MAC baseado em CSMA e outro baseado em TDMA. Vale salientar que o TDMA também foi implementado sobre o padrão *IEEE 802.15.4*, mas assim como os demais procura ser uma solução genérica para redes sem fios e não específica para WBANs. A exigência de regras específicas para coordenar a troca entre os protocolos requer uma análise mais sensível do contexto do ambiente. Consequentemente, ela gera um custo computacional elevado. A necessidade da utilização de mensagens de controle provoca um custo adicional promovendo uma queda de desempenho se comparado com os protocolos isolados.

Seguindo a linha evolutiva destes protocolos MAC, a implementação do DCAA-MAC tem como base o CSMA [9], a qual propõe um passo além dos demais. O principal ponto de interesse desta proposta foi o desenvolvimento de um protocolo exclusivamente voltado para aplicações WBANs com características de rádio cognitivo, ambicionando uma melhor utilização do espectro de frequência e atendendo às restrições da área.

3. O protocolo

Nesta seção, descrevemos as características do protocolo DCAA-MAC, cujo objetivo consiste em ser especificamente voltado para WBANs. Seu objetivo principal é a aplicação em áreas médicas. Deste modo, é de grande importância que atenda aos requisitos da área. O DCAA-MAC permite um compartilhamento eficiente do espectro de frequência licenciado. Esta eficiência é garantida pelo uso de técnicas

de rádio cognitivo, na qual os dispositivos sentem o ambiente e utilizam de espaços vazios (frequências ociosas) no espectro de frequência para a transmissão dos dados. Deste modo, é possível proteger os usuários preferenciais do canal. O DCAA-MAC ainda apresenta um modelo de interação assíncrono com intuito de prover baixa latência e reconfigurabilidade para as WBANs. O protocolo pode ser configurado para assumir papéis distintos conforme a aplicação que atue, ou seja, os dispositivos podem ser diferenciados entre estação base e nó sensor. A seguir apresentamos uma visão mais detalhada de cada uma destas opções.

3.1. Nós sensores

Os nós sensores normalmente são compostos por sistemas embarcados mais simples, com poder de processamento e memória limitados. Por estes motivos e aliado ao fato do monitoramento em tempo real das aplicações WBAN, os dados são encaminhados às estações base. A Figura 1 apresenta o fluxograma referente ao comportamento de um nó sensor.

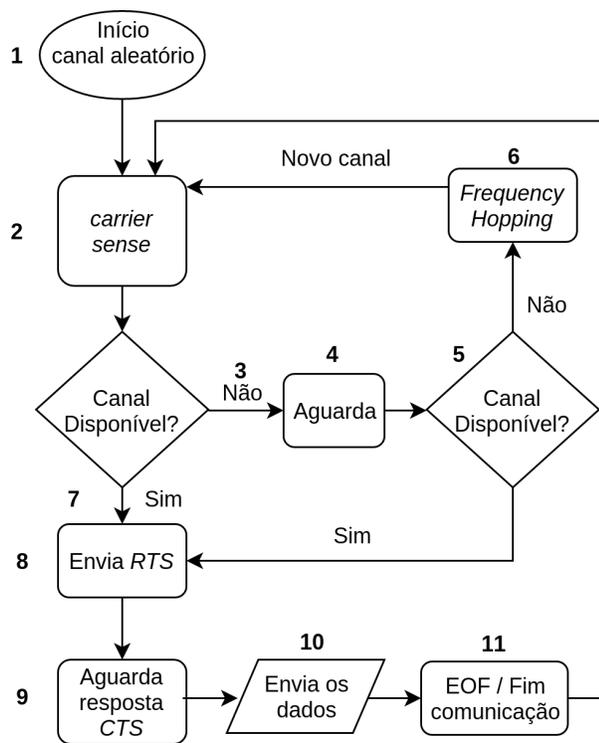


Figura 1. Fluxograma do nó sensor.

Quando um nó sensor desperta para a transmissão de seus dados, ocorre a inicialização do canal (1). Nesse momento, cada nó sensor seleciona um canal aleatório na faixa disponível. É possível escolher com igual probabilidade qualquer um dos 16 canais compreendidos entre 2,405Ghz e 2,480Ghz, espaçados uns dos outros por 5Mhz. O canal selecionado será utilizado para tentar se conectar à rede. Após a etapa de seleção do canal, sua disponibilidade é

verificada por meio do *Carrier Sense* (2). No cenário onde o canal escolhido encontra-se indisponível (3), o nó hiberna por um intervalo de tempo (4), para então realizar uma nova verificação de disponibilidade (5). Na situação em que o canal permanece ocupado, o nó faz a comutação dos canais por meio da técnica *Frequency Hopping* (6), realizando saltos entre os canais do espectro. A comutação é guiada com base na técnica conhecida como *Round Robin* crescente, na qual os canais são ordenados em uma fila circular com ponto inicial o canal escolhido *a priori*.

No cenário em que se depara com um canal em boas condições de comunicação (7) e existem dados a serem transmitidos, inicia-se o processo de estabelecimento de um canal confiável de comunicação. Esta comunicação é estabelecida por meio da utilização da técnica *Handshake* de três vias. Ao utilizar esta técnica, o nó sensor envia uma mensagem de requisição de comunicação (*RTS*) (8) endereçada à estação base. Em uma conjuntura na qual a estação base não possua disponibilidade para receber os dados, ou apenas não tenha recebido a mensagem a ela destinada, há a retransmissão do pacote contendo o quadro *RTS*. Estas transmissões são feitas em um tempo variável. Na situação em que a estação base sinaliza sua disponibilidade com o quadro de *CTS* (9), o nó passa a transmitir todos seus dados (10) sequencialmente à estação. Após o término da transmissão dos dados, o nó sensor sinaliza o ocorrido por meio do envio de um quadro de fim de transmissão (*EOF*) (11). Neste ponto, o nó passa a hibernar, permanecendo neste estado de suspensão até que sejam necessárias novas transferências de dados. Esta hibernação entre as comunicações privilegia a eficiência energética por parte do nó sensor.

3.2. Estação Base

A estação base normalmente dispõe de hardware mais robusto, se comparada aos demais nós. Por este motivo, elas são capazes de armazenar e processar dados provenientes de diversos nós sensores. A Figura 2 representa o fluxograma do algoritmo desta aplicação.

A inicialização do canal (1) também é aleatória, porém a estação base realiza o tratamento de alterações no ambiente de maneira distinta. Ela ouve o ambiente (2) com o intuito de captar sinais de requisição de comunicação provenientes dos nós sensores. Portanto, nos momentos os quais não são encontradas variações do ambiente (3) contendo quadros *RTS*, a estação base realiza a comutação dos canais também utilizando a técnica *Frequency Hopping* (4). Neste cenário o uso desta técnica com características de rádio cognitivo objetiva a verificação de todo espectro de frequência utilizado. Os saltos entre os canais, assim como nos nós sensores, obedecem o *Round Robin* crescente, partindo do canal escolhido na inicialização.

Ao perceber algum sinal (5) no ambiente, tal qual contenha um comando de requisição de comunicação (6), o mesmo é verificado. A verificação é necessária para que se identifique se este contém uma mensagem válida e destinada à própria estação base. No cenário em que a mensagem não

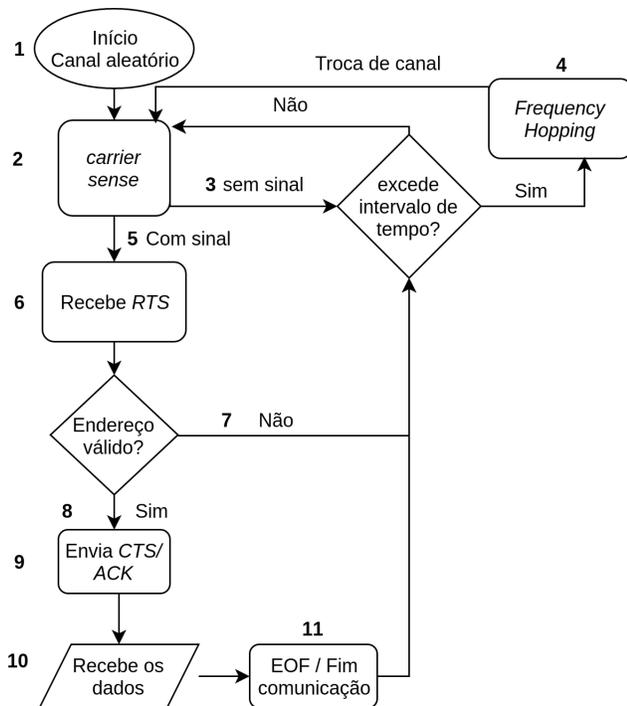


Figura 2. Fluxograma da estação base.

seja endereçada diretamente à estação base (7), esta dedica-se novamente a ouvir o canal. Na situação oposta, quando a mensagem é endereçada diretamente à estação base (8) e esta encontra-se disponível para estabelecer comunicação, a mesma sinaliza esta situação. A sinalização é feita pelo envio de um quadro CTS (9), a partir deste marco a recepção dos dados é aguardada (10). Ao receber cada quadro a estação base sinaliza este acontecimento por meio de quadros de confirmação ACK. Quando ocorre o término dos recebimentos dos quadros, o qual é sinalizado pelo quadro EOF (11) ou por um período de inatividade, o canal é liberado. Em consequência do fim desta comunicação, a estação base volta a verificar o ambiente, percorrendo todo espectro de frequência em busca de novas comunicações.

Uma grande vantagem técnica do uso desta arquitetura é a aplicação em um ambiente completamente dessincronizado. Outra vantagem é a utilização dos canais sem a interferência a algum usuário preferencial, o qual não seria prejudicado, uma vez que seria detectada sua presença ocorrendo a comutação de canais por parte da estação base e nós sensores.

4. Comparativo entre protocolos

O objetivo deste trabalho é apresentar a implementação do protocolo DCAA-MAC por se propor a contornar e reduzir os desafios impostos pelo ambiente médico. Expomos aqui a implementação do protocolo, cujo foco principal é atender às peculiaridades das aplicações WBAN. O DCAA-MAC é uma evolução do protocolo de CSMA [9], uma vez que este último serviu como base para a implementação.

Portanto ele mantém as características tradicionais do protocolo CSMA, adicionando as demais funcionalidades descritas por Lee *et al.* [8], no o protocolo DCAA-MAC.

A primeira coluna da Tabela 1 lista as principais funcionalidades apresentadas pelos protocolos discutidos até então. As demais colunas mencionam a abrangência de cada uma destas utilidades em cada protocolo, incluindo aqueles que tratam os problemas dos ambiente de forma genérica e o DCAA-MAC.

Tabela 1. COMPARATIVO ENTRE PROTOCOLOS

Funcionalidades	Bloessl	CSMA	DCAA-MAC
Quadro e Pacote de dados	x	x	x
Broadcasting (não endereçado)	x	x	x
Mensagem endereçada		x	x
Carrier Sense		x	x
Quadro e pacote de ACK		x	x
Quadro e Pacote de controle			x
Handshake 3 way			x
Frequency hopping			x

x Possui a funcionalidade

Iniciaremos a descrição comparativa abordando as funcionalidades implementadas por Bloessl, o qual apresenta a proposta mais simples entre os três. As limitações da camada MAC desta implementação permitem que ela seja capaz apenas de desempenhar atividades básicas. Portanto, está restrito a apenas realizar o enquadramento e empacotamento dos dados, adicionando o cabeçalho referente às normas IEEE 802.15.4. Outra funcionalidade é a identificação de erros a partir do cálculo da soma de verificação CRC. Após empacotar os dados e adicionar a soma do CRC ao quadro, estes são transmitidas via Broadcasting, sem que sejam endereçadas a algum dispositivo. Essa transmissão é feita por um canal definido previamente e direcionada a quaisquer dispositivos os quais estejam ouvindo o mesmo canal e sejam capazes de receber pacotes no padrão IEEE 802.15.4. Ao interceptar uma mensagem neste formato, a ordem dos tratamentos se dá de modo contrário, há primeiramente a verificação de erro, para logo em seguida realizar a remoção do cabeçalho. Por se tratar de um protocolo base, tem suas principais funções restritas as descrições acima. Estas funcionalidades também se fazem presentes nos demais protocolos descritos a seguir, os quais agregam outras atribuições com finalidade de atenuar os desafios da comunicação sem fio.

São funcionalidades adicionais presentes no CSMA, a flexibilização no endereçamento das mensagens. Este agora permite que se envie mensagens a dispositivos conhecidos previamente, ou seja, direcionando o fluxo de dados a apenas um dispositivo receptor. Além disso, com o intuito de melhorar a qualidade de serviço, há a confirmação do recebimento dos quadros pela estação base através de quadro ACK. Com isso, se alguma mensagem não foi entregue, pode ser feito o reenvio da mesma. Porém o grande destaque deste protocolo é a possibilidade de se ouvir o meio por intermédio do Carrier Sense. Com isto é possível identificar ruídos ou interferências no meio físico, permitindo que o

dispositivo escolha o melhor momento para o envio das mensagens, contribuindo de fato para amenizar o congestionamento da rede.

Comparando diretamente o CSMA e o DCAA-MAC, estes apresentam funcionalidades que vão além das características básicas apresentadas por Bloessl. O protocolo DCAA-MAC possui outras funcionalidades em relação ao CSMA e a implementação de Bloessl. Com a finalidade de atender aos requisitos de uma aplicação mais complexa, a técnica de *Frequency Hopping* e o processo de *Handshake*, estão implementadas neste protocolo. Os quadros destinados a encapsular as mensagens de controle (*RTS*, *CTS*, *EOF*) também são produzidos de acordo com as especificações definidas em [11].

No processo de *Handshake*, o nó transmissor solicita o estabelecimento da comunicação através do envio do quadro de requisição (*RTS*). Considerando a disponibilidade imediata da estação base, ao receber este quadro é enviada uma confirmação junto ao *CTS* ao nó transmissor. Após esta confirmação, tem-se uma comunicação dedicada entre os dois nós e os dados serão transmitidos até que a conexão seja encerrada. Já a técnica do *Frequency Hopping* permite que o nó faça uma avaliação prévia da qualidade de um canal, neste caso, para o nó transmissor. Caso o mesmo possua alguma interferência ou ruído, são realizados “saltos” utilizando a banda de frequência de 5MHz. Estes são feitos até que se encontre um canal livre de fatores prejudiciais à comunicação. Para a estação base os “saltos” são realizados a cada 50 ms dentro da faixa de 2,4 GHz, de maneira a varrer todo o espectro de frequência livre. Em ambos os nós o canal inicial parte de uma escolha aleatória.

5. Experimentos e resultados

Mediante os aprimoramentos mencionados anteriormente, é possível constatar algumas melhorias referentes ao desempenho na transmissão dos dados. A transmissão realizada em um canal fixo provoca uma saturação deste e a subutilização dos demais, gerando assim um congestionamento e perdas de pacotes provocadas por interferências dos demais nós ou dispositivos externos. As perdas de pacotes por qualquer motivo levam a retransmissões de dados, as quais aumentam o tráfego no canal e contribuem para uma baixa vazão, além de contribuir para um aumento no consumo energético. Os problemas desta natureza são prontamente contornados com a implantação do *Frequency Hopping*. Pelo lado da utilização do *Handshake*, é possível suavizar problemas da camada de aplicação uma vez que os pacotes recebidos são sempre do mesmo transmissor. Não havendo assim a necessidade de maior conferência e ordenação dos dados relativos a cada dispositivo. Outros benefícios conseguidos através do estabelecimento de um canal confiável de comunicação são o aumento na precisão e a confiabilidade, uma vez que os problemas com interferências foram suavizados.

Realizamos simulações em laboratório com o auxílio da plataforma GNURadio em conjunto com dispositivos de

rádios reconfiguráveis reais (*Ettus Research B100*). Utilizamos os rádios associados a dois microcomputadores distintos. Um deles portador de processador Intel *core I7* terceira geração e 6gb de memória ram e o outro portando processador *core I5* da mesma geração e 6GB de memória RAM. É de grande importância mencionar estas características dos hardwares, uma vez que estas possuem impacto direto no desempenho do protocolo e na qualidade dos testes quando utilizada a plataforma GNURadio.

Para a apresentação dos resultados neste trabalho, foram executados 15 testes. Todos os experimentos simulavam um cenário de emergência médica, no momento em que ocorre uma alta carga de mensagens em um curto intervalo de tempo. Por este motivo os experimentos continham algumas propriedades específicas. Estas podem ser listadas inicialmente pelo fato de serem transmitidos 6.400 pacotes por nó sensor. O conteúdo útil de cada mensagem possui 110 bytes de tamanho. Estas mensagens são transmitidas em intervalos de 150 milissegundos, representando um *Stream* com duração aproximada de 16 minutos. Isto representa um *goodput* de 723 bytes/segundo quando obtemos uma taxa de confirmação de 99,2%.

Atendendo aos requisitos das aplicações médicas, o protocolo aguarda pela confirmação do pacote por 200ms. Caso a confirmação exceda este limite, é realizada a retransmissão deste pacote. Se por algum motivo o nó sensor ainda não tenha recebido a confirmação, este pacote é descartado. Os rádios B100, simulando nó sensor e a estação base, são dispostos de maneira equidistantes de aproximadamente 0,5 metro e são equipados com antenas VERT900 e VERT2450 atuando na faixa de frequência 2,4 à 2,5GHz.

Nestas configurações, a Figura 3 apresenta a função de distribuição de probabilidade acumulada para o cenário descrito. Nela é possível observar o ótimo desempenho do DCAA-MAC, onde 100% dos pacotes entregues tiveram atraso máximo de 40 milissegundos.

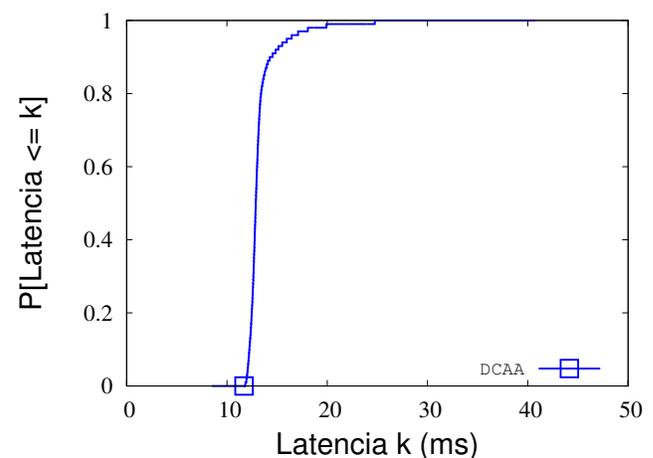


Figura 3. Gráfico da latência.

Para fins de validação, o protocolo também foi simulado utilizando a ferramenta Castalia [13]. Aplicando rigorosamente os mesmos parâmetros à simulação, obtivemos os

dados apresentados na Figura 4, onde os sobrepomos aos dados reais para uma melhor comparação. Podemos notar assim um comportamento similar entre as aplicações do protocolo, seja ela em dispositivos reais ou em ambiente simulado. De tal modo que o comportamento da curva é equivalente até pouco mais de 80% dos dados, em que estes foram entregues com pouco mais que 10 milissegundos. Nos pouco menos que 20% restantes há uma disparidade entre as curvas. Esta desigualdade entre as curvas pode ser explicada pelo fato da simulação considerar o perfeito sincronismo entre os nós simulados. Sincronismo este que não é possível em dispositivos reais. Além disso, outro fato importante é a simulação não considerar ruído no canal, o que leva ao dispositivo real uma variação no tempo de reenvio dos pacotes, contribuindo assim para uma suavização da curva que representa os dados reais. Ponderando a análise dos dados por estes fatores, podemos concluir que o protocolo aplicado em dispositivos reais tem um comportamento equivalente ao mesmo protocolo simulado, possibilitando deste modo sua validação.

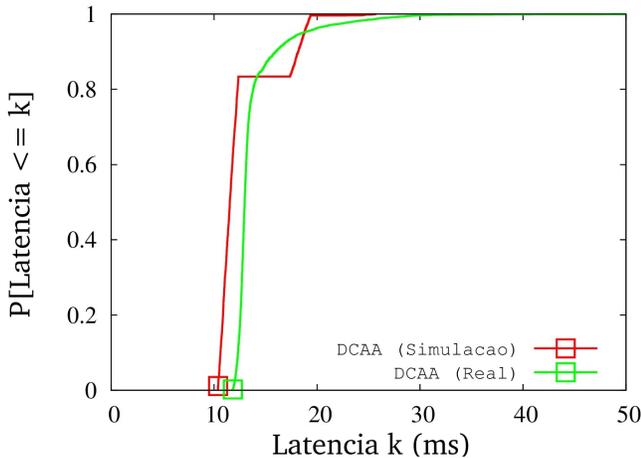


Figura 4. Gráfico de comparação DCAA simulado x real.

6. Conclusão e trabalhos futuros

Como há uma semelhança entre as estruturas dos protocolos DCAA-MAC e CSMA, levando em consideração uma aplicação básica, ambos teriam um desempenho significativo. Entretanto, aplicações mais complexas, como em WBANs, exigem funcionalidades às quais garantam a confiabilidade, precisão e a agilidade na transmissão. O presente trabalho apresentou a avaliação de desempenho do protocolo DCAA-MAC, com base nos requisitos específicos para aplicações médicas, em relação a outros protocolos que tratam os problemas em redes sem fio de forma geral. Tendo em vista a escassez de materiais disponíveis sobre a plataforma GNURadio, o protocolo será disponibilizado para pesquisas e aplicações.

Com base nos resultados obtidos através de experimentos, concluímos que o protocolo DCAA-MAC leva vantagem

sobre os outros, por atender bem a estes requisitos. Pelo fato de ser especificamente voltado a superar os desafios impostos por redes sensores corporais sem fio, este atendeu, conforme esperado, a todas as expectativas. O DCAA-MAC obteve uma alta taxa de entrega de dados aliado a uma baixa latência.

Com o intuito de disponibilizar protocolos mais robustos para aplicações em redes corporais, como trabalho futuro propomos a implementação do protocolo de controle de acesso ao meio com múltiplas estações base apresentado em [14]. Este trabalho propõe que múltiplas estações base coexistam no ambiente médico com o intuito de colaborarem entre si atendendo assim aos requisitos da área. Com isso, propomos ainda realizar um comparativo entre os dados apresentados no presente trabalho e os dados obtidos com este novo protocolo a ser implementado.

Referências

- [1] G. Ragesh and K. Baskaran, "An overview of applications, standards and challenges in futuristic wireless body area networks," 2012.
- [2] S. Movvassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith, and A. Jamali-pour, "Wireless body area networks: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 3, pp. 1658–1686, 2014.
- [3] M. N. Lima, *Saúde Móvel: Conceitos, Iniciativas e Aplicações*. Clube dos Autores, 2010.
- [4] I. Augustin, G. P. Ferreira, and A. C. Yamin, "Grade computacional como infra-estrutura para a computação pervasiva/ubíqua," *ERAD - Santa Cruz do Sul*, 2008.
- [5] J.-Y. Yu, W.-C. Liao, and C.-Y. Lee, "A mt-cdma based wireless body area network for ubiquitous healthcare monitoring," in *Biomedical Circuits and Systems Conference, 2006. BioCAS 2006. IEEE*. IEEE, 2006, pp. 98–101.
- [6] S. D. Baker and D. H. Hoglund, "Medical-grade, mission-critical wireless networks [designing an enterprise mobility solution in the healthcare environment]," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 27, no. 2, 2008.
- [7] R. Chávez-Santiago, K. E. Nolan, O. Holland, L. De Nardis, J. M. Ferro, N. Barroca, L. M. Borges, F. J. Velez, V. Goncalves, and I. Balasingham, "Cognitive radio for medical body area networks using ultra wideband," *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 4, 2012.
- [8] B. Lee, J. Yun, and K. Han, "Dynamic channel adjustable asynchronous cognitive radio mac protocol for wireless medical body area sensor networks," in *Communication and Networking*. Springer, 2011, pp. 338–345.
- [9] J. R. S. Cordeiro, E. Lanza, D. F. Macedo, and L. F. M. Vieira, "FS-MAC: Uma Plataforma para a Flexibilização da Subcamada MAC em Redes Sem Fio," in *XXXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2017.
- [10] T. Schmid, "Gnu radio 802.15.4 en- and decoding," *UCLA NESL TR-UCLA-NESL-200609-06, Tech. Rep.*, 2006.
- [11] I. C. Society, "IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks- Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," in *LAN/MAN Committee et al. (2007)*, 2007.
- [12] B. Bloessl, C. Leitner, F. Dressler, and C. Sommer, "A GNU Radio-based IEEE 802.15.4 Testbed," *12. GIITG FACHGESPRÄCH SENSORNETZE*, p. 37, 2013.

- [13] A. Boulis, "Castalia: revealing pitfalls in designing distributed algorithms in wsn," in *Proceedings of the 5th international conference on Embedded networked sensor systems*. ACM, 2007, pp. 407–408.
- [14] B. M. Cremonesi, A. B. Vieira, J. A. M. Nacif, and M. Nogueira, "A dynamic channel allocation protocol for medical environment under multiple base stations," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2017 IEEE*. IEEE, 2017, pp. 1–6.