

Um Mecanismo de Compressão de Dados Local em Tempo Real Energeticamente Eficiente para Redes WBANs

Cainã Passos¹, Aldri Santos¹ (Orientador)

¹Núcleo de Redes Sem-Fio e Redes Avançadas (NR2) – PPGInf – UFPR

cpassos@inf.ufpr.br, aldri@inf.ufpr.br

Abstract. *Among the networks for health care monitoring, we highlight wireless body networks (WBANs), which enables continuous and real-time monitoring of physiological signals. However, such monitoring results in excessive data transmission usage, drastically affecting the power consumption of the devices. This dissertation paper presents GROWN, a hybrid approach of local data compression to reduce information redundancy during data transmission and reduction of energy consumption of devices. It combines local data compression methods in WSN. GROWN was evaluated through experimentation, results show a decrease of the devices energy consumption and a increase in network lifetime.*

Resumo. *Dentre as redes computacionais voltadas ao cuidado com a saúde, destacam-se as redes corporais sem fio (WBANs), que possibilitam o monitoramento contínuo e em tempo real dos sinais fisiológicos. No entanto, esse monitoramento resulta em uso excessivo de transmissão de dados, afetando o consumo de energia dos dispositivos. Este artigo de dissertação apresenta GROWN¹, uma abordagem híbrida de compressão de dados local para reduzir a redundância de informações na transmissão de dados e redução do consumo de energia dos dispositivos, através de métodos de compressão de dados locais de WSN. O GROWN foi avaliado por experimentação e os resultados mostram diminuição do consumo de energia dos dispositivos e um aumento na vida útil da rede.*

1. Introdução

As redes corporais sem fio (*Wireless Body Networks* - WBANs) têm como propósito coletar, monitorar e transmitir sinais fisiológicos à diversas aplicações médicas e a profissionais de saúde, não interferindo na vida diária dos pacientes [Movassaghi et al. 2014]. As WBANs buscam oferecer um serviço de monitoramento contínuo e remoto, propiciando maior mobilidade e, em muitos casos, sendo desnecessária sua permanência num hospital. Por exemplo, numa situação de esgotamento dos hospitais, em caso de urgência de pandemia como o coronavírus, onde a ocupação de leitos hospitalares é uma questão sensível. Os dispositivos numa WBAN caracterizam-se por sua heterogeneidade, variando as capacidades de memória, tarefas e tamanhos. Em geral, os dispositivos são energeticamente alimentados por pequenas baterias, adicionando mais restrições ao consumo de energia na comunicação. A inoperância de um dispositivo por conta do consumo elevado de energia nas comunicações de aplicações de tempo real leva à perda de dados, e influencia no acompanhamento das condições de saúde do indivíduo. Logo, o consumo de energia é um grande desafio nas WBANs, visto que, os sensores necessitam de energia para detecção dos sinais e comunicação [Movassaghi et al. 2014].

¹<http://www.nr2.ufpr.br/~cpassos/grown.html>

Apoio CNPq #436649/2018-7 e #426701/2018-6.

Embora pesquisadores como [Khan and Pathan 2018] propuseram protocolos de comunicação para maximizar o tempo de vida da rede, eles desconsideram a redundância dos dados coletados e transmitem todas as informações. A fim de reduzir a redundância dos dados destacam-se as técnicas de compressão de dados, comumente dividida em duas classes: com perdas e sem perdas. Na primeira, uma quantidade aceitável da informação é descartada, tal que seja reduzida a quantidade de bits transmitidos. Já a segunda emprega tabelas de codificação para diminuir a quantidade de dados na transmissão e preservar a integridade do dado coletado. No entanto, há a necessidade do uso de ambas as classes nas redes WBANs, onde diversos dispositivos capturam sinais distintos. Assim, elas atuam de maneira híbrida, de modo a obter uma eficiência energética. Apesar dos trabalhos se adaptarem a heterogeneidade dos sinais, eles não levam em conta a latência máxima estabelecida por uma WBAN, que determina 125ms para aplicações médicas e 250ms para outras aplicações [Movassaghi et al. 2014].

Esta pesquisa de dissertação investigou os métodos de compressão existentes na literatura, respondeu três questões científicas atreladas ao problema estudado, e apresentou um mecanismo de compressão de dados local em tempo real energeticamente eficiente para redes WBANs chamado GROWN (*EnerGy-Efficient Local Data Compression for TRansmission Over WBAN*). O GROWN adapta a compressão ao tipo de sinal coletado a fim de evitar a transmissão de dados redundantes, reduzindo o consumo de energia dos dispositivos. Logo, emprega-se a compressão com e sem perdas por meio de técnicas encontradas nas redes de sensores sem fio (*Wireless Sensors Networks - WSNs*). Assim, os dados transmitidos são comprimidos sem perdas por meio de tabelas de codificação e diante de limiares para a compressão com perdas. Deste modo, apenas determinados valores serão comprimidos para a transmissão. Experimentações demonstraram que o GROWN aumentou o tempo de vida útil dos dispositivos em até 53,73% com uma latência máxima de 55ms entre amostras, comprovando sua eficiência e sua aplicação em WBANs de tempo real. As contribuições desta pesquisa resultaram nas publicações [Passos et al. 2020b, Passos et al. 2020a] e o prêmio de melhor artigo do XXV WGRS (Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços).

Este artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 descreve o mecanismo GROWN e seu funcionamento. A Seção 3 apresenta a metodologia de avaliação e os resultados alcançados das experimentações. A Seção 4 conclui o artigo.

2. O Sistema GROWN para Compressão de Dados em WBANs

O GROWN objetiva reduzir a quantidade da informação transmitida de um dispositivo vestível para um dispositivo central (*sink*), que possui maior capacidade de processamento e energia sem afetar o atraso máximo de uma WBAN. O GROWN é executado sobre um conjunto de dispositivos (nós) interligados numa rede WBAN conforme Figura 1. Esses nós possuem capacidade de processamento e de comunicação para coletar e disseminar sinais fisiológicos. Cada nó possui um identificador único (*Id*), imutável no tempo, que o identifica na rede. Um dispositivo coleta um tipo de sinal fisiológico, processa e transmite a informação, através de um meio sem fio, para um dispositivo *sink*. Assume-se que há um controle de perdas de mensagens entre os dispositivos e o *sink* através da tecnologia de comunicação sem fio disponível.

A arquitetura do GROWN, ilustrada na Figura 2, é composta pelo módulo *Gerência de Compressão* que recebe os sinais fisiológicos do usuário, realiza a sua compressão e

envia ao módulo *Gerência de Descompressão*, responsável por recuperar o valor original da informação codificada através de um processo de descompressão.

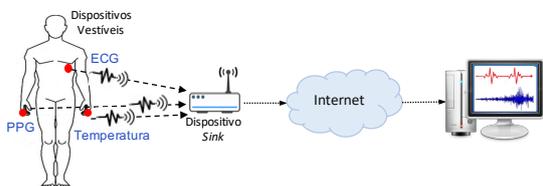


Figura 1. Modelo de Rede

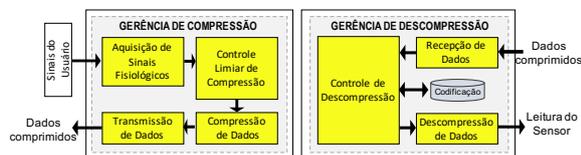


Figura 2. Arquitetura do GROWN

O **Módulo Gerência de Compressão** detém do componente *Controle Limiar de Compressão* para minimizar a redundância nas transmissões das informações. Ele emprega um limiar previamente estabelecido que verifica se a diferença absoluta entre a leitura atual e anterior é superior ao limiar estabelecido ou se não foi estabelecido um limiar. O componente *Compressão de Dados* codifica a diferença (e_{ts}) modificando a tabela de codificação Exponencial de Golomb (Exp-Golomb) de ordem $K = 3$. As amostras recebidas ($e_{ts} \neq 0$) são representadas por uma sequência de bits bs_i , que divide-se em duas partes $s_i|a_i$. A primeira parte (s_i) identifica o grupo ao qual e_{ts} pertence e ilustra o valor de n_i , que equivale à quantidade de bits necessária para representar e_{ts} . Assim, os primeiros $2^k - 1$ valores de n_i possuem grupos s_i representados por $\lfloor \log_2(|e_{ts}|) \rfloor + 1$, onde s_i é representado por k bits. Após este nível ($n_i > 6$), o valor do grupo s_i é determinado por $\lfloor \log_2(|e_{ts}|) - 1 \rfloor$, onde os primeiros $s_i - 1$ valores de s_i são representados por 1 seguidos do valor 0. A parte a_i corresponde à representação binária de e_{ts} , que é um código de tamanho inteiro variável é gerado conforme as regras disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Regras de compressão dos dados

Condição	Regra de compressão
$e_{ts} < 0$	Efetuar complemento de 2 de e_{ts} , subtrair 1 e utilizar os n_i bits menos significativos
$e_{ts} = 0$	Codificar s_i como 000 e não representar a_i
$e_{ts} > 0$	a_i corresponde aos n_i bits menos significativos do complemento de 2 de e_{ts}

A Tabela 2 apresenta os valores de codificação sem perdas com os índices n_i , grupos s_i e os valores de e_{ts} . A codificação depende da distribuição das diferenças entre os valores de e_{ts} . Diferenças mais frequentes associam-se a códigos mais curtos. Após a compressão de e_{ts} , uma nova informação gerada (Inf_{ts}) é transmitida ao *sink* por meio da comunicação sem fio.

Tabela 2. Tabela de codificação proposta

n_i	s_i	e_{ts}	bit	byte	n_i	s_i	e_{ts}	bit	byte
0	000	0	3	1	4	100	-15,...,-8,+8,...,+15	7	1
1	001	-1,+1	4	1	5	101	-31,...,-16,+16,...,+31	8	1
2	010	-3,-2,+2,+3	5	1	6	110	-63,...,-32,+32,...,+63	9	2
3	011	-7,...,-4,+4,...,+7	6	1	7	11110	-127,...,-64,+64,...,+127	12	2

O **Módulo Gerência de Descompressão** opera no dispositivo *sink*, que detém recursos de energia, armazenamento e processamento para executar a descompressão. Após receber os dados comprimidos (bs_i) e a identificação do dispositivo de origem (D_{Id}), os dados são verificados pelo componente *Controle de Descompressão* (CD). Ele detém uma *Lista de Referências* (LR) com (D_{Id}) de todos os dispositivos vestíveis conectados

e o valor da sua última leitura (\hat{x}_{ts}). Para obter o valor de bs_i recebido, o CD consulta a base de dados *Codificação*, que armazena os índices n_i , os grupos s_i e seus valores a_i . Cada valor de a_i é exclusivo em todo grupo s_i , permitindo a recuperação da informação por meio de poucas instruções, adequando-se a uma operação em tempo real. Após, o CD adquire a última leitura do dispositivo D_{Id} salva na *Lista de Referências* (\hat{x}_{ts}), atualiza à LR e encaminha os valores ao componente *Descompressão de Dados* que apresenta o valor do sinal fisiológico obtido pelo dispositivo vestível.

2.1. Funcionamento

Considere um ambiente de WBAN com um dispositivo vestível de sensoriamento contínuo de temperatura e que este dispositivo interage com um *smartphone* atuando como o *gateway* através da tecnologia *bluetooth*, como ilustra a Figura 3. O dispositivo vestível obtém o sinal fisiológico de temperatura da pessoa e converte de analógico para digital em uma representação binária (x_{ts}) com R bits. Tendo em conta que o valor lido foi 38, então x_{ts} em 8 bits torna-se 00100110. A tomada de decisão sobre a compressão do dado depende do filtro de predição (T), que é pré-definido. Assumindo $T = 1$, esse filtro verifica o valor de x_{ts} , e como trata-se da primeira leitura do sensor, a leitura anterior (\tilde{x}_{ts}) recebe o valor 0 (zero). Dessa forma, o erro de predição (e_{ts}), que corresponde à diferença entre leituras sucessivas, é $e_{ts} = x_{ts} - \hat{x}_{ts} = 38$.

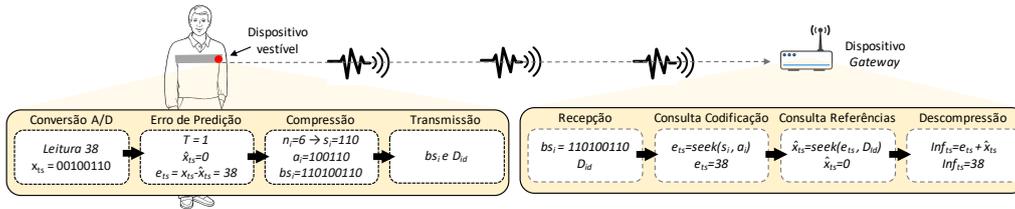


Figura 3. Exemplo de funcionamento

O valor de e_{ts} é convertido em uma sequência de bits (bs_i) composta de duas partes $s_i|a_i$. s_i representa o grupo (n_i) ao qual e_{ts} pertence. Assim, $n_i = \lfloor \log_2(|38|) \rfloor + 1 = 6$. Consultando-se a tabela dos valores de codificação (Tabela 2), verifica-se que s_i pertence ao grupo 110. Em seguida, obtém-se a_i convertendo para binário de $e_{ts} = 38$, resultando em $a_i = 100110$. Logo, $bs_i = 110100110$. Então a mensagem transmitida ao *gateway* é composta da bs_i e da identificação do dispositivo vestível (D_{Id}). Já o *gateway* ao receber a mensagem do dispositivo vestível verifica sua identificação (D_{Id}) e os dados recebidos (bs_i). Os dados são decompostos, obtendo-se $s_i = 110$ e $a_i = 100110$. Consultando-se a *Tabela de Codificação* com s_i e a_i , obtém-se o erro de predição (e_{ts}). Em seguida, uma consulta à *Tabela de Referências* usando e_{ts} e D_{Id} retorna o último valor recebido desse dispositivo, $\hat{x}_{ts} = 0$. Finalmente, a informação (Inf_{ts}) correspondente ao sinal do dispositivo vestível é recuperada, $Inf_{ts} = e_{ts} + \hat{x}_{ts} = 38$.

3. Metodologia da Avaliação e Resultados

O módulo gerência de descompressão, localizado no *sink*, foi implementado no Android Studio, versão 3.6.1. O aplicativo desenvolvido ² foi instalado em um celular Motorola, modelo Moto G⁴ Plus, que opera com o sistema operacional Android, versão 7.0. A implementação do módulo gerência de compressão com e sem perdas ocorreu através da linguagem C++ e compilada para placas Arduino com características da Tabela 3.

²Código disponível em <https://github.com/cainapassos/GROWN>

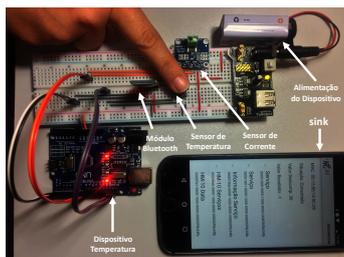


Figura 4. Testbed Temperatura

Tabela 3. Dispositivos corporais

Característica	Dispositivo		
	Temperatura	PPG	ECG e ECGBD
Placa	Arduino UNO	Arduino UNO	Arduino Mega
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560
Sensor Corporal	MLX90614	PulseSensor	AD8232

O ambiente de experimentação consistiu de três dispositivos corporais fixos e um dispositivo celular atuando como *sink* da WBAN, conforme ilustrado na Figura 1. Esses dispositivos corporais correspondem ao sensoriamento de Temperatura, ECG e PPG (Tabela 3). Para aprimorar a análise do GROWN, criou-se um quarto dispositivo (**ECGBD**) para comprimir sinais ECG da base de dados (MIT-BIH Arrhythmia³) salva em um módulo SD. Os dispositivos foram produzidos em *Protoboards* Mb102. As *protoboards* fornecem energia para todos os sensores e placas Arduino, responsáveis pela gerência dos sensores e do GROWN na compressão. Elas são alimentadas por fontes reguladas para operar em 5 V. Cada fonte é alimentada por uma bateria de 9 V com capacidade energética de 400 mAh. Cada dispositivo coleta apenas um tipo de sinal fisiológico.

A compressão e a descompressão dos dados impõem um processamento adicional ao sensor e ao *sink*. As variações da compressão (**AC**) e descompressão (**AD**) ao longo do tempo são apresentadas na Figura 5. As variações na AC são devidas à correlação entre amostras consecutivas, que quanto maior, menor é a diferença. Assim, o GROWN gera códigos mais curtos para compressão e diminui o atraso total. Esta correlação é observada no sinal de temperatura, que apresentou um atraso médio AC de ≈ 1 ms Gráfico 5(g), visto que ele sofre poucas alterações ao longo do tempo. A correlação dos demais sinais apresentou uma grande variação ao longo do tempo, como visto nos Gráficos 5(a), 5(c) e 5(e). Enquanto o dispositivo ECG apresentou um atraso médio de ≈ 3 ms, o atraso do PPG foi de ≈ 2 ms. O GROWN obteve um comportamento similar com a base de dados real no dispositivo ECGBD, com média de ≈ 3 ms na compressão. Este comportamento repete-se no dispositivo *sink*. Porém, devido ao seu maior poder computacional, a descompressão impõe um atraso menor, ≈ 1 ms, como exibidos nos Gráficos 5(b), 5(d) e 5(h).

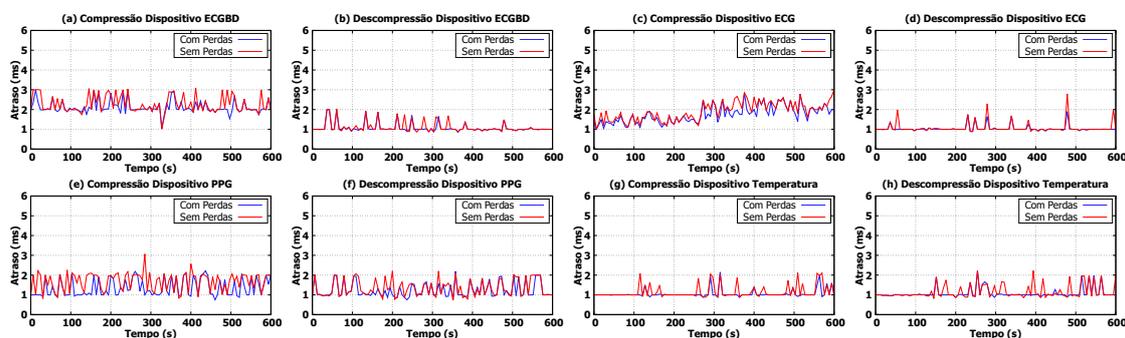


Figura 5. AC e AD alcançado pelo GROWN nos sinais sensorizados

O Atraso médio (**AM**) deve-se a compressão, transmissão e descompressão do GROWN conforme Figura 6. A transmissão dos dados impôs um atraso médio de ≈ 49 ms a todos os dispositivos, assim como [Gatouillat et al. 2018], que verificou um intervalo entre amostras de $\approx 48, 75$ ms em conexões *Bluetooth* BLE no Android 7.0.

³<https://alpha.physionet.org/content/mitdb/1.0.0/>

Em geral, o GROWN aumentou em 7,84% o tempo total de transmissão aos dispositivos ECG e ECGBD, 6% ao PPG, e 2,04% para o de Temperatura. Assim, o tempo de compressão e descompressão não afeta drasticamente o atraso entre amostras consecutivas e demonstra a aplicabilidade do GROWN nas WBANs de tempo real. O uso do GROWN com perdas (CGCP) e sem perdas (CGSP) reduziu o consumo de energia dos dispositivos (CED) sobre os dispositivos sem o GROWN (CSG) conforme Figura 6. A redução aumenta o tempo de vida dos dispositivos, como visto na Tabela 4. Para mitigar o impacto do módulo de comunicação sem fio que permanece ativo e emparelhado nas experimentações, o dispositivo Temperatura foi configurado para desativar a comunicação sempre que duas amostras consecutivas não são transmitidas. Essa configuração aumentou a vida útil do dispositivo em 53,73% com CGCP e 48,37% com CGSP, como ilustra a Tabela 5.

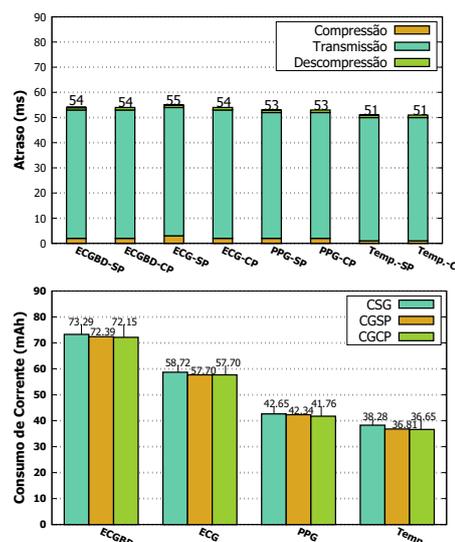


Figura 6. AM e CED do GROWN

Tabela 4. Tempo de vida

Dispositivo	Autonomia da bateria (h)		
	CSG	CGSP	CGCP
ECGBD	5,46	5,53	5,54
ECG	6,81	6,93	6,93
PPG	9,38	9,45	9,58
Temperatura	10,45	10,87	10,91

Tabela 5. (CED) Temperatura

Compressão	Autonomia da bateria (h)	
	Normal	Sleep
CGCP	10,91	16,05
CGSP	10,87	15,50

4. Conclusão

Este artigo resumiu a pesquisa de dissertação que investigou um modo de otimizar o tempo de vida dos dispositivos nas redes WBANs. Essas redes serão essenciais ao suporte à telemedicina e também a diagnósticos pró-ativos de modo a mitigar problemas de saúde de pacientes remotos em áreas urbanas e rurais. Assim, desenvolveu-se o GROWN, um mecanismo para gerenciamento da compressão visando reduzir a redundância da informação na transmissão de sinais. Experimentações mostraram que o GROWN reduz o consumo de energia dos dispositivos e proporciona aumento do tempo de vida da rede.

Referências

- Gatouillat, A., Massot, B., Badr, Y., Sejdić, E., and Gehin, C. (2018). Building iot-enabled wearable medical devices: an application to a wearable, multiparametric, cardiorespiratory sensor.
- Khan, R. A. and Pathan, A.-S. K. (2018). The state-of-the-art wireless body area sensor networks: A survey. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14(4):1550147718768994.
- Movassaghi, S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith, D., and Jamalipour, A. (2014). Wireless body area networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3):1658–1686.
- Passos, C., Junior, C. P., Batista, A., de Lima, M., and dos Santos, A. (2020a). Compressão de dados local em tempo real energeticamente eficiente para redes wban. In *Anais do XXV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*, pages 85–98. SBC.
- Passos, C., Pedroso, C., Batista, A., Nogueira, M., and Santos, A. (2020b). Grown: Local data compression in real-time to support energy efficiency in wban. In *2020 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, pages 1–6. IEEE.