

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	Justificativa e Relevância do Trabalho	3
1.2	Objetivos	4
1.2.1	Objetivo Geral	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Organização do Documento	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1	Classificação de redes	5
2.1.1	Classificação de redes: escala de abrangência	5
2.2	Modelo de camadas OSI	6
2.2.1	Camada física	6
2.2.2	Camada de controle de acesso ao meio	6
2.3	Problemas enfrentados pela comunicação via rádio	6
2.4	Padrões e tecnologias de comunicação para redes LPWAN	6
2.4.1	LoRa	6
2.4.2	NB-IoT	7
2.4.3	SigFox	7
2.4.4	IEEE 802.15.4	7
2.5	Parâmetros para avaliação da confiabilidade do enlace sem fio	8
2.6	Trabalhos relacionados	9
3	EXPERIMENTO	10
3.1	Materiais utilizados	10
3.2	Funcionamento da Rede	10
	REFERÊNCIAS	11

1 Introdução

IoT é um conceito que vem ganhado força ao longo dos anos, graças ao estudo, prototipação e desenvolvimento de diversos protocolos e tecnologias. Os pontos chave para o seu desenvolvimento foram a miniaturização de processadores e sensores; melhoramento de baterias e otimização do uso destas; definição de novos protocolos de rede; e aumento da robustez de protocolos de comunicação sem-fio.

A Internet das Coisas, mais conhecida pelo seu acrônimo em inglês IoT (*Internet of Things*), foi cunhada pelo engenheiro britânico Kevin Ashton no final dos anos 1990 onde ele, trabalhando para a P&G, pensou na possibilidade de que os produtos da empresa estivessem munidos de identificadores e capazes de estabelecer comunicação através da internet, que na época estava se estabelecendo, criando assim uma internet onde as coisas estivessem conectadas [1]. Assim, os computadores se tornariam capazes de rastrear e identificar tudo, podendo reduzir desperdícios, minimizar custos e identificar o momento certo quando substituir ou reparar um produto [2].

[todo] image IoT

Atualmente há diversas aplicações de IoT, desde implementações em larga escala como cidades inteligentes conforme descrito em [3], onde em Santander na Espanha é implantado por toda a cidade nós com múltiplos sensores afim de disponibilizar uma plataforma de testes. Aplicações de smart campus como apresentada em [4] que mostra a aplicação de uma rede de sensores sem fio para verificar a qualidade do ar. Aplicações de saúde como em [5], onde é coletado e analisado em tempo real informações de pressão sanguínea e peso corporal do paciente, estes dados são utilizados então para verificar a probabilidade do paciente ter um evento de insuficiência cardíaca, utilizando técnicas de aprendizado de máquina.

A implementação de uma aplicação IoT necessita de uma rede de nó sensores distribuídas geralmente conectadas a um nó central, conhecido como nó gateway, que tem por finalidade encaminhar os dados coletados para processamento. Para tal implementação existem duas abordagens clássicas, conexões cabeadas entre os nós da rede e a utilização de redes sem fio [6]. Como vantagem em relação à redes sem fio, as conexões cabeadas apresentam maior confiabilidade na conexão. Em contrapartida, a utilização de redes sem fio se destaca, em relação a redes cabeadas, nos quesitos de flexibilidade, custo de implantação, facilidade e rapidez na implementação e na manutenção [7].

As vantagens que Redes de Sensores Sem Fio, RSSF, apresentam fazem estas se destacarem na implementação de aplicações IoT, porém há ainda desafios para uma implementação robusta de comunicações sem fio, pois o meio de transmissão é caótico e

pouco confiável. Interferências, ruídos, sombreamento e propagação por multi percurso no meio podem ocasionar altas taxas de perda de pacote e alta latência [6].

Para contornar os desafios da comunicação sem fio, padrões e tecnologias foram desenvolvidos. Um dos principais órgãos na padronização em telecomunicações é o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletronicos, Institute of Electrical and Electronics Engineers, mais conhecido pela sigla IEEE. Por exemplo, para redes locais o Wi-Fi, baseado no padrão IEEE 802.11, se tornou uma tecnologia confiável que pode apresentar altas taxas de transferência com uma latência baixa. Em redes de curto alcance, o Bluetooth, baseado no padrão IEEE 802.15.1, se tornou trivial na vida das pessoas através do uso para conexão de fones de ouvido, teclados e mouses sem fio. Estes padrões, apesar de já bem estabelecidos no mercado, possuem alguns problemas para o desenvolvimento de RSSF, que geralmente requerem múltiplos dispositivos espalhados e, principalmente, sem acesso fácil a uma fonte continua de energia.

Tendo em vista este problema energético, alguns padrões foram desenvolvidos para oferecer uma comunicação de qualidade e focando em eficiência energética para a utilização de baterias. Iniciativas de privadas desenvolveram, por exemplo, o SigFox e LoRa. O IEEE desenvolveu o padrão 802.15.4 e o aprimorou ao longo dos anos adicionando emendas, que foram responsáveis pelo desenvolvimento de aplicações como Zigbee e Wi-SUN. A 3rd Generation Partnership Project, Projeto de Parceria de terceira geração em tradução livre, desenvolveu a tecnologia NB-IoT, uma versão simplificada do LTE que visa utilizar a mesma infraestrutura porém com uma melhor eficiência energética. Estas tecnologias podem ser utilizadas para a implementação de redes classificadas como Redes de Longo Alance e Baixo Consumo Energético.

1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho

Em [8] os autores implementaram uma RSSF utilizando as modulações propostas na emenda “g” do padrão IEEE 802.15.4. Este experimento foi realizado em um cenário industrial, durando um total de 99 dias gerou um conjunto de dados que foi utilizado para averiguar a confiabilidade da rede. Os dados foram analisados e utilizados para propor mecanismos de diversidade de modulação que, como mostrado em [9], pode melhorar a taxa de entrega de pacotes.

O cenário industrial apresenta diversos problemas, principalmente relacionados à interferência e propagação multi-caminho. Diferentes ambientes possuem diferentes problemas em relação a comunicação via rádio. Então, pensando em analisar os efeitos da propagação de ondas de rádio em outro cenário, este trabalho então se propõe a analisar a comunicação sem fio de transceptores do padrão IEEE 802.15.4g SUN em um ambiente predial, também denominado neste texto como Smart Building, que possui como

maior fonte de problemas para a comunicação a falta de linha de visada. Estudando o comportamento da RSSF a partir da verificação da taxa de entrega de pacotes. E portanto, analisando a viabilidade da rede a partir da tecnologia utilizada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Implantar uma RSSF para coletar as informações das transmissões realizadas através das modulações definidas pelo padrão IEEE 802.15.4g para analisar o comportamento destas no cenário de Smart Building.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementar uma rede sem fio utilizando transceptores das modulações do IEEE 802.15.4g;
- Coletar, armazenar e disponibilizar os dados relativos as transmissões realizadas;
- Analisar os dados e gerar informações a respeito da comunicação entre dispositivos neste cenário.

1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos acima, foram realizados os seguintes passos:

- [refatorar] Estudo e implementação dos dispositivos: Os dispositivos utilizados neste projeto possuem o código disponível em um repositório github [10]. Bem como algumas alterações no código fonte para esta aplicação;
- [refatorar] Persistência dos dados: Desenvolvimento de um script responsável por coletar e persistir os dados gerados em um banco de dados InfluxDB;
- [refatorar] Rodar o experimento: Distribuição dos nós transmissores pelo prédio e instalação dos softwares e scripts necessários para persistencia dos dados;
- [refatorar] Análise dos resultados: A partir dos dados coletados e salvos localmente, foram feitas análises e gerado informações as quais estarão na seção de resultados.

1.4 Organização do Documento

[todo] A ser feito quando o documento tiver pronto

2 Fundamentação Teórica

Na fundamentação deste trabalho, será abordado como é dada a categorização de redes de telecomunicações de acordo com sua área de abrangência. Logo após serão apresentados os conceitos básicos sobre camadas física e de acesso ao meio presentes no modelo OSI. Uma breve introdução a alguns dos principais problemas decorrentes da comunicação sem fio. Em seguida serão apresentados alguns padrões e tecnologias de comunicação sem fio para dispositivos de baixa potência. E então, serão apresentados parâmetros de comunicação sem fio, que foram utilizados neste projeto, para avaliação de confiabilidade de um enlace sem fio.

2.1 Classificação de redes

Segundo Tanembaum em [11], redes de telecomunicações são classificadas, comumente, de acordo com sua escala de abrangência. Esta classificação é importante pois diferentes tecnologias e padrões são criados para atacar problemas específicos destas redes.

2.1.1 Classificação de redes: escala de abrangência

[todo] imagem das redes PAN, LAN, WAN etc

Redes Pessoais - PAN

Redes de área pessoal, ou redes de alcance limitado, são redes, geralmente sem fio, utilizadas para conexão entre sistemas pessoais. Por exemplo conexão de um fone de ouvido a um smartphone utilizando o Bluetooth. Aplicações de redes PAN vão além de conexão de dispositivos sem fio como mouses, teclados e fone. Também são utilizados em Sistemas Monitoração de Saúde onde no paciente há dispositivos coletando e enviando dados para o smartphone.

Redes locais - LAN

Redes de área local, são redes privadas contidas dentro de um prédio, casa ou escritório. É formada pela conexão de computadores em uma rede de tamanho restrito, normalmente conectando os computadores através de um comutador(switch) por meio de cabos de par trançado utilizando uma topologia estrela. Atualmente é comum a utilização do Wi-Fi para conexão de redes locais, conhecidas como WLAN.

Redes geograficamente distribuídas - WAN

Redes de longa distâncias que abrangem uma grande área geográfica, também se refere a redes que conectam países ou continentes. Por exemplo a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa(RNP) que conecta diversas instituições de ensino superior do Brasil.

Redes de longa distância com baixo consumo energético - LPWAN

Dispositivos que implementam redes de baixo consumo energético ganharam popularidade na indústria e nas comunidades de pesquisa pois podem estabelecer comunicação sem fio de longas distâncias, de 10 a 40 km em zonas rurais e 1 a 5 km em zonas urbanas com baterias que podem durar mais de 10 anos com uma única carga [12]. A utilização deste tipo de rede se tornou fundamental para a implementação de RSSFs, oferecendo confiabilidade e baixo custo de implantação e manutenção para redes sem fio. Abaixo serão apresentadas os principais padrões e tecnologias utilizadas.

2.2 Modelo de camadas OSI

2.2.1 Camada física

2.2.2 Camada de controle de acesso ao meio

2.3 Problemas enfrentados pela comunicação via rádio

2.4 Padrões e tecnologias de comunicação para redes LPWAN

Segundo Tanenbaum em [11], sem coordenação e cooperação entre as fabricantes de dispositivos haveria o caos completo onde não seria possível a interoperabilidade de sistemas. Sistemas IoT, como demonstrado em [3], podem ter apresentar sistemas diferentes com vários dispositivos. Portanto a padronização das telecomunicações são imprescindíveis atualmente. Permitindo dispositivos de diferentes fabricantes consigam se comunicar, não importando quem produziu a placa de rede, os cabos, roteadores ou comutadores.

2.4.1 LoRa

LoRa, abreviação para Long Range, é uma tecnologia que utiliza o padrão LoRaWAN e um protocolo de acesso ao meio de mesmo nome. Modula sinais sub-GHz na faixa ISM utilizando uma técnica de modulação privada chamada Chirp Spread Spectrum. que espalha um sinal de banda curta por todo um canal de banda larga, esta técnica possibilita uma maior resistência a interferências e torna mais difícil detectar ou obstruir o canal de comunicação. A taxa de transferência pode variar de 300 bits/s a até 50 kbits/s,

dependendo do fator de espalhamento utilizado na comunicação. O payload máximo de uma mensagem é 243 bytes [12].

A tecnologia LoRa é desenvolvida pela empresa estadunidense SemTech e o padrão LoRaWAN é mantido pelo consorcio de empresas chamado LoRa Alliance.

2.4.2 NB-IoT

NarrowBand IoT é uma tecnologia especificada na versão 13 do 3GPP. Esta tecnologia opera na faixa de frequência celular (LTE e GSM), modulando os sinais utilizando a técnica QPSK. Utiliza faixas de frequência não ocupadas da faixa de frequência LTE. Seu protocolo é baseado em uma versão simplificada do protocolo LTE, que reduz as funcionalidades do LTE para melhor se adequar sua utilização para IoT, por exemplo, funções como monitoramento da qualidade do sinal ou conectividade dupla não são utilizadas, visando diminuir o uso de energia e aumentar a vida útil da bateria. Possui taxa transferência máxima de 200 kbits/s e seu payload máximo é de 1600 bytes.

2.4.3 SigFox

SigFox é uma tecnologia que não possui padronização oficial e é mantida pela empresa homônima. Os nós finais conectados a esta rede enviam para as estações rádio-base mensagens utilizando a modulação BPSK utilizando bandas de frequência ultra-estreitas, até 100 Hz, na faixa de frequência ISM. Como utiliza uma faixa de frequência ultra estreita é bastante eficiente energeticamente e bastante resistente à interferência. Porém, não pode oferecer taxas de transferência acima de 100 bits/s.

A empresa SigFox oferece uma solução com conectividade ponta a ponta, o que significa que os dados entre o nó final são transmitidos para as estações rádio-base e vão diretamente para os servidores da empresa. Sendo possível apenas o envio de 140 mensagens por dia e cada mensagem enviada pode ter um payload máximo de 12 bytes.

2.4.4 IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 define em seu texto, camadas físicas e de acesso ao meio utilizando a faixa ISM sub-GHz e 2.4 GHz, utilizando, respectivamente, as modulações BPSK e O-QPSK. Possuindo uma taxa de transferência máxima de 250 kbits/s utilizando a faixa de frequência de 2.4 GHz com um tamanho máximo de payload de 127 bytes [13] [6]. Este padrão é utilizado como base para a utilização do ZigBee.

Emenda 'g'

Em 2015 foi proposto uma revisão que incorpora uma novo esquema de modulações para permitir uma melhor volatilidade entre a faixa de comunicação, ocupação da largura de banda, taxa de transferência de dados e confiabilidade da comunicação para melhor se adequar com a aplicação. O padrão então foi adotado como uma emenda ao padrão de 2003, definindo assim o padrão IEEE 802.15.4g que incluía as modulações SUN (Redes de Utilidades Inteligentes, Smart Utility Network) [14]. A seguir uma visão geral das modulações SUN de acordo apresentado em [14]:

SUN-FSK

Foi incluída no padrão devido a sua eficiência e compatibilidade com sistemas legado. Possui 3 modos de operação para cada uma das faixas de frequência definidas no padrão e possui parâmetros de canal e de modulação, nos quais é possível definir o tipo de modulação, o espaçamento do canal e o índice de modulação. Estes parâmetros definem uma faixa de taxa de transferência de 50 kbits/s a até 50 kbits/s.

SUN-OQPSK

Esta modulação está presente no texto original do padrão e foi estendida nesta emenda para adicionar bandas de frequência e suportar diferentes fatores de espalhamentos para conseguir atingir taxas de transferência entre 6.25 kbits/s a até 500 kbits/s.

SUN-OFDM

Esta modulação consegue prover altas taxas de transferência e maiores faixas de comunicação, enquanto consegue lidar com interferência e propagação por multi-caminho. Utiliza diferentes Esquemas de Modulação e Codificação para alternar em modulações, como BPSK, QPSK e 16-QAM, e esquemas de repetição de frequência para prover uma faixa de taxa de transferência entre 50 kbits/s a até 800 kbits/s em um canal com a largura de banda que varia entre 200kHz e 1.2MHz.

Diversidade de Modulação

Em [9] os autores propõem a utilização das três modulações SUN em um esquema de diversidade de modulação como forma de aumentar a confiabilidade do enlace sem fio.

2.5 Parâmetros para avaliação da confiabilidade do enlace sem fio

Algumas métricas são utilizadas para medir a qualidade de um enlace sem fio, algumas estão mais relacionadas a camada física, como RSSI, e outras estão mais relacionadas

a camada de aplicação como PDR. Estas serão melhor detalhadas abaixo.

RSSI

Received Signal Strength Indicator, Indicador da Força do Sinal Recebido em tradução livre, é uma medida da energia total presente em um sinal de rádio recebido. RSSI é um valor relativo e pode variar de acordo com a fabricante do transceptor de rádio [15]. Geralmente o valor de RSSI é apresentado em números negativos que vão de -100 até 0, onde valores próximos de -100 são sinais de baixa qualidade e sinais com valores próximos a 0 são de ótima qualidade.

PDR

Packed Delivery Ratio, Taxa de Entrega de Pacotes, é um indicador de camada de aplicação que relaciona a quantidade de pacotes recebidos pelo receptor pela quantidade de pacotes enviados pelo transmissor. O PDR pode ser um valor importante para medir um enlace de dados, pois dependendo da aplicação há uma taxa mínima de entrega de pacotes, por exemplo, algumas aplicações industriais necessitam de um PDR superior a 99.9%

CCA

2.6 Trabalhos relacionados

Em [8] os autores do artigo realizaram um experimento para analisar o comportamento das modulações SUN do padrão IEEE 802.15.4g em um cenário industrial. Em [13] os autores realizaram um estudo aprofundado sobre a modulação SUN-OFDM no ambiente predial, demonstrando, entre outras coisas, que a modulação SUN-OFDM nas faixas de frequência sub-GHz se é mais vantajosa de utilizar que a modulação OQPSK do padrão IEEE 802.15.4.

3 Experimento

Neste trabalho, foi realizado um experimento em um ambiente de Smart Building, utilizando o padrão IEEE 802.15.4g SUN. A finalidade deste experimento é avaliar as performance da RSSF analisando valores de RSSI e PDR obtidos considerando uma rede formada por 11 dispositivos transmissores, denominados neste texto como Tx, e 3 dispositivos receptores, denominados neste texto como Rx.

O experimento foi realizado em um dos prédios do campus Campina Grande do Instituto Federal da Paraíba(IFPB). Sendo este constituído principalmente de salas de escritório e de alguns laboratórios, possuindo 4 andares separados por grossos pisos de concreto. Este cenário é particularmente desafiador para um enlace sem fio pois não é possível ter uma linha de visada entre o transmissor e o receptor além de apresentar muito ocorrência de propagação por multi-caminho e pode apresentar facilmente áreas de sombreamentos de sinais.

Os dispositivos Tx foram espalhados pelos quatro andares do prédio, posicionados em canaletas e no interior de uma sala. Enquanto que os dispositivos Rx foram colocados no interior do laboratório GComPI, presente no primeiro piso do prédio. Os Tx enviavam mensagens nas três modulações SUN e cada Rx foi programado para receber mensagens de apenas uma modulação SUN. Sendo assim os 11 dispositivos Tx enviavam mensagens para cada um dos Rx que encaminhavam as mensagens e as informações de RSSI da mensagem para a porta serial que estavam conectados. Um script python rodando em um sistema operacional Linux captava as mensagens seriais, formatava e persistia estes dados em um banco de dados. Na seção 3.2 será detalhada melhor o funcionamento de cada componente do experimento.

Abaixo esta descrito os materiais(hardware e software) utilizados neste projeto bem como o detalhamento do experimento.

3.1 Materiais utilizados

Openmote-B

InfluxDB

3.2 Funcionamento da Rede

Referências

- 1 ELDER, J. *Como Kevin Ashton batizou a Internet das Coisas?* <<https://blog.avast.com/pt-br/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 2.
- 2 LOPEZ RESEARCH LLC. *Uma introdução à Internet da Coisas (IoT)*. <https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez_research_an_introduction_to_iiot_102413_final_portuguese.pdf>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 2.
- 3 SOTRES, P. et al. Practical lessons from the deployment and management of a smart city internet-of-things infrastructure: The smartantander testbed case. *IEEE Access*, IEEE, v. 5, p. 14309–14322, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 6.
- 4 WANG, S.-Y. et al. Performance of lora-based iot applications on campus. In: IEEE. *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. [S.l.], 2017. p. 1–6. Citado na página 2.
- 5 ZHANG, L. et al. A remote medical monitoring system for heart failure prognosis. *Mobile Information Systems*, Hindawi, v. 2015, 2015. Citado na página 2.
- 6 GOMES, R. D. et al. Estimação de qualidade de enlace e alocação dinâmica de canais em redes de sensores sem fio industriais. Universidade Federal de Campina Grande, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 2, 3 e 7.
- 7 GUNGOR, V. C.; HANCKE, G. P. Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches. *IEEE Transactions on industrial electronics*, IEEE, v. 56, n. 10, p. 4258–4265, 2009. Citado na página 2.
- 8 TUSET-PEIRÓ, P. et al. A dataset to evaluate iee 802.15. 4g sun for dependable low-power wireless communications in industrial scenarios. *Data*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 5, n. 3, p. 64, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 9.
- 9 GOMES, R. D.; TUSET-PEIRÓ, P.; VILAJOSANA, X. Improving link reliability of iee 802.15. 4g sun networks with adaptive modulation diversity. Preprints, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 8.
- 10 TUSET, X. V. P. *openmote-fw*. [S.l.]: GitHub, 2019. <<https://github.com/openmote/openmote-fw>>. Citado na página 4.
- 11 TANEMBAUM, A.; WETHERALL, D. *Redes de Computadores*. [S.l.]: Pearson Education, 2011. 582 p. Bibliografia: p. 10–18. ISBN 978-85-7605-924-0. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- 12 MEKKI, K. et al. A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT express*, Elsevier, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

-
- 13 MUÑOZ, J. et al. Overview of ieee802. 15.4 g ofdm and its applicability to smart building applications. In: IEEE. *2018 Wireless Days (WD)*. [S.l.], 2018. p. 123–130. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.
- 14 TUSET-PEIRÓ, P. et al. Reliability through modulation diversity: can combining multiple ieee 802.15. 4-2015 sun modulations improve pdr? In: IEEE. *2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.], 2020. p. 1–6. Citado na página 8.
- 15 METAGEEK. *Understanding RSSI*. <<https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 9.