



Desafios na implementação de uma rede 6LoWPAN

Challenges in implementing a 6LoWPAN network

Rafael Dala Rosa Costa¹, Roberto Krauss²

RESUMO

A Internet das Coisas tem como objetivo unificar o mundo em uma infraestrutura comum, possibilitando o controle e monitoramento ao redor do planeta, onde transforma objetos do mundo real em objetos virtuais inteligentes, conectando máquinas e pessoas de modo ubíquo. Atualmente a internet das coisas é uma das principais tecnologias da indústria 4.0 e mudou fundamentalmente as ações do cotidiano humano, junto com a utilização de sistemas de computadores pessoais e o uso de padrões abertos/públicos. Um desses padrões é o 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network), um protocolo de comunicação que permite a conexão de dispositivos de baixa latência e baixo consumo de energia com a internet, adaptando pacotes IPv6 para pacotes menores. Este artigo analisará os desafios na implementação de uma rede 6LoWPAN, com base em uma revisão bibliográfica do tema proposto, além de observar os hardwares e softwares utilizados pelos autores e seus desafios.

PALAVRAS-CHAVE: 6lowpan; internet das coisas; iot.

ABSTRACT

The Internet of Things aims to unify the world into a common infrastructure, enabling control and monitoring around the planet, where it transforms real-world objects into intelligent virtual objects, connecting machines and people ubiquitously. Currently, the Internet of Things is one of the main technologies of Industry 4.0 and has fundamentally changed human daily actions, along with the use of personal computer systems and the use of open/public standards. One of these standards is 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network), a communication protocol that allows low-latency, low-power devices to connect to the internet, adapting IPv6 packets to smaller packets. This article will analyze the challenges in implementing a 6LoWPAN network, based on a bibliographical review of the proposed topic, in addition to observing the hardware and software used by the authors and their challenges.

KEYWORDS: 6lowpan; internet of things; iot.

INTRODUÇÃO

A possibilidade de uma estrutura que permite a comunicação direta de máquina para máquina pela internet levou os pesquisadores a vislumbrar os benefícios de colocar mais máquinas online e permitir que elas participem da Web como uma vasta rede de dispositivos autônomos e auto organizados, produzindo, então, o paradigma conhecido como *Internet das Coisas*, do inglês *Internet of Thing* (IoT) (WHITMORE; AGARWAL; XU, 2014).

Atualmente existe a possibilidade da utilização do IPv6 em dispositivos 802.15.4, que garante a continuidade do crescimento da internet e a conectividade de um número cada vez maior de dispositivos, onde existe uma forte inclinação de convergência na padronização, indústria e pesquisa,

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: rafael.dala.rosa@gmail.com. ID Lattes: 9092670233424825.

² Docente no Departamento de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: robertomartinez@utfpr.edu.br. ID Lattes: 6469800712799886.



que claramente caminham para uma abordagem baseada na Internet, dada a exigência dos modernos aplicativos embarcados. O *IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN) surgiu como resultado e como catalisador dessa convergência para a Internet das Coisas. (SHELBY; BORMANN, 2009)

6LoWPAN é uma tecnologia que permite a comunicação de dispositivos IoT através de redes de baixa potência sem fio, como Zigbee ou Bluetooth, usando o protocolo IPv6, que pode reduzir significativamente a sobrecarga de processamento e energia em comparação com outras tecnologias de rede, tornando-o uma solução ideal para conectar dispositivos IoT com recursos limitados (TI, 2014).

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica dos desafios na implementação de uma rede 6LoWPAN. Inicialmente serão apresentados as principais características, aplicações e benefícios, e logo em seguida, os seus desafios e principais limitações.

Esta revisão sistemática da literatura teve como objetivo investigar os desafios de implementação das redes 6LoWPAN. A pesquisa priorizou artigos de alta qualidade revisados por pares, encontrados em fontes respeitáveis como publicações, conferências, seminários e periódicos renomados. Esta revisão extraiu referências de serviços de arquivo bem conhecidos, como o Google Scholar, bem como de periódicos importantes do IEEE.

TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta revisão de trabalhos relacionados sobre o 6LoWPAN, os pesquisadores exploram abordagens para melhorar seu desempenho, segurança e interoperabilidade. Essas análises fornecem insights valiosos para a pesquisa atual e oportunidades futuras.

Miguel (2018) propõe uma abordagem de Redes Definidas por Software (SDN) para Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) usando 6LoWPAN e RPL, visando reduzir a latência na comunicação entre nós. Isso é realizado por meio de um agente SD6WSN instalado nos nós sensores e roteadores de borda.

Silva (2018) revisa protocolos e foca na implementação detalhada de uma rede 6LoWPAN.

Santana (2017) explora tecnologias de comunicação para Redes de Área Doméstica (HAN) com 6LoWPAN e realiza cenários de avaliação, destacando a viabilidade da arquitetura mesh em combinação com o protocolo.

Lima (2018) realiza simulações com 6LoWPAN, RPL, CoAP e MQTT, destacando a eficiência do 6LoWPAN no endereçamento de RSSFs e a flexibilidade do CoAP em comparação com o MQTT.

Barbetta (2017) introduz o 6LoWPAN e explora suas aplicações industriais, com foco em segurança e simulações industriais.

Pereira (2015) desenvolve um roteador de borda para redes IEEE 802.15.4 compatíveis com 6LoWPAN, garantindo comunicações seguras por meio do IPSECv6.

Mahmud et al. (2020) realizam uma análise comparativa entre os protocolos 6LoWPAN, RPL e CoAP na Internet das Coisas, concluindo que o 6LoWPAN supera os outros em desempenho.

Esses estudos abordam diferentes aspectos do 6LoWPAN, incluindo melhorias técnicas, protocolos relacionados e seu papel na IoT.



6LOWPAN

O 6LoWPAN é o nome dado ao grupo de trabalho da *Força Tarefa de Engenharia de Internet*, do inglês *Internet Engineering Task Force* (IETF), que, baseado no modelo OSI, definiu uma camada de adaptação entre o IPv6 e os meios de comunicação sem fio de baixa potência proporcionado pelo IEEE 802.15.4

O padrão 6LoWPAN é composto por um conjunto de protocolos, conhecido como pilha de protocolos 6LoWPAN. Essa pilha preenche as camadas física e de enlace usando o protocolo IEEE 802.15.4 e é adicionada uma pequena camada de adaptação acima da camada de enlace para otimizar o uso do IPv6 na camada de rede sobre as camadas de LoWPAN.

A camada de adaptação do 6LoWPAN é essencial para permitir a conexão de dispositivos de baixa potência e redes com recursos limitados à infraestrutura da Internet baseada no IPv6. Ela realiza várias funções, incluindo fragmentação e reagrupamento de pacotes IPv6, compressão de cabeçalhos, gerenciamento de endereços e compressão de cabeçalhos de transporte. Essas etapas são fundamentais para tornar possível a comunicação eficiente em redes de baixa potência, economizando largura de banda e energia.

O 6LoWPAN é aplicado em dispositivos e redes autônomos que requerem configuração automática. Inicialmente, é necessário realizar o bootstrapping, que envolve a inicialização e configuração dos dispositivos para permitir a comunicação básica através do rádio. Isso inclui definir canal, chave de segurança e endereços. Após a configuração da camada de enlace, o 6LoWPAN utiliza a *Descoberta de Vizinho* (ND) para estabelecer a comunicação na rede (SHELBY; BORMANN, 2009).

De acordo com Shelby e Bormann (2009), o ND é essencial para lidar com questões de inicialização e manutenção em redes IPv6. No entanto, o ND padrão não atende às necessidades do 6LoWPAN. Portanto, a IETF definiu o *6LoWPAN - Neighbor Discovery* (ND) para lidar com autoconfiguração de rede e operação de dispositivos em LoWPANs. Esse método mantém um registro dos nós em cada rede no roteador de borda, simplificando o funcionamento do IPv6 e reduzindo a necessidade de multicast broadcasting.

PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA TOPOLOGIA DE UMA REDE

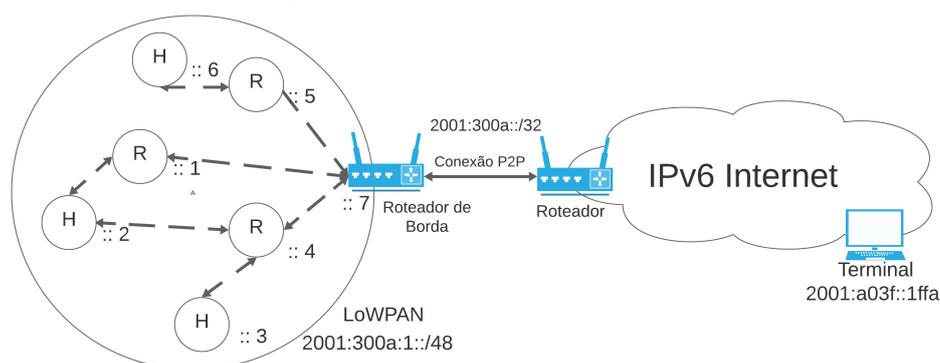
Estabelecer a topologia de rede em malha, comum em 6LoWPAN, requer o encaminhamento multihop, que envolve o repasse de dados de um nó para outro. No 6LoWPAN, existem três abordagens para encaminhamento multihop: malha de camada de enlace e malha LoWPAN (Mesh-Under) e o roteamento IP (Route-Over) (SHELBY; BORMANN, 2009).

Um exemplo de implementação de um LoWPAN simples é mostrado na Figura 1. A rede LoWPAN é composta por um roteador de borda, três roteadores LoWPAN (R) e três hosts LoWPAN (H), conectada a um roteador de Internet externo, conectado a um servidor remoto. O roteador de borda realiza sua autoconfiguração com o prefixo 2001:300a::/32, anunciado pelo roteador de Internet e configura o prefixo 2001:300a:1::/48 para sua rede IEEE 802.15.4. Em seguida, o roteador de borda começa a anunciar o prefixo IPv6, que é utilizado pelos três roteadores para se registrar na rede usando o ND e realizar a autoconfiguração de endereço sem estado. Cada nó da rede agora possui



um endereço IPv6 com um *Identificador de Interface*, do inglês *Interface Identifier* (IID) de 64 bits e recebe um endereço IPv6 gerado pelo roteador de borda com um IID de 16 bits (e.g. ::1, ::2, ::3, ::4) durante o processo de registro. Como exemplificado na Figura 1, um endereço IPv6 completo é 2001:300a:1::1.

Figura 1 – Arquitetura de Rede 6LoWPAN



Fonte: Adaptado de Shelby e Bormann (2009)

DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação bem-sucedida do protocolo 6LoWPAN apresenta uma série de desafios, dada a natureza particular dessas redes IoT de baixo consumo de energia. Abaixo, destacamos alguns dos desafios mais prementes enfrentados pelos desenvolvedores e engenheiros ao implementar o 6LoWPAN:

1. Gerenciamento de Recursos Limitados: Dispositivos IoT em redes 6LoWPAN, muitas vezes, possuem recursos computacionais, de memória e de energia extremamente limitados. Implementar um protocolo IPv6 completo em tais dispositivos requer otimização rigorosa para garantir uma operação eficiente sem sobrecarregar o hardware.

2. Escalabilidade: À medida que a IoT continua a crescer, a escalabilidade se torna uma preocupação crítica. Acomodar um grande número de dispositivos na mesma rede 6LoWPAN, mantendo a eficiência da comunicação, é um desafio considerável. Santana (2017) apura tal dificuldade ao simular uma rede mesh 6LoWPAN, onde a rede se mostrou praticável dentro de um cenário indoor, embora apresentasse uma grande degradação de desempenho à medida em que houve aumento da quantidade de nós ou quando aumentadas as barreiras.

3. Segurança: A segurança é uma preocupação constante em redes IoT, e a implementação do 6LoWPAN não é exceção. Garantir a integridade e a privacidade dos dados transmitidos em redes 6LoWPAN é um desafio complexo, especialmente quando lidamos com recursos limitados. Pereira (2015) argumenta que os dados se tornam suscetíveis a ameaças de segurança assim que deixam um enlace, tornando-se vulneráveis em qualquer nó que possa encaminhá-los para outra rede ou enlace com níveis inferiores de proteção. Em vista disso, Pereira (2015) implementa um roteador de borda que integra as redes 802.3 com as redes 802.15.4 com segurança na troca de informações, utilizando o IPSec, um protocolo de segurança extensão do IP que foi definido no RFC4301.



4. Interoperabilidade: Dispositivos IoT vêm de diferentes fabricantes e podem operar com diferentes padrões e configurações. Garantir a interoperabilidade entre dispositivos 6LoWPAN é um desafio que exige padronização eficaz e testes rigorosos. Mahmud et al. (2020) afirma, que escolher um protocolo de comunicação apropriado é uma das preocupações cruciais na atualidade, pois se uma máquina deseja trocar dados com outra, ambas devem empregar um protocolo semelhante para realizar essa tarefa com sucesso.

ARQUITETURA DE HARDWARE E SOFTWARE

O roteador de borda desempenha um papel vital na rede 6LoWPAN, convertendo o protocolo IP externo para o protocolo da RSSF. Miguel (2018) apresenta três abordagens viáveis para criar um roteador de borda:

A primeira abordagem envolve o uso de um hospedeiro com Linux e Contiki, que inclui sua própria pilha de protocolos, como μ IPv6, IPv6, 6LoWPAN, ICMPv6, TCP e UDP. Programas de aplicação são compilados junto com o Contiki, enquanto a camada física é tratada por um mote externo. Um sistema que inclui o transceptor RF, o processador e os periféricos é comumente referido como um mote.

A segunda opção transfere mais funções para o mote, mas requer motes com hardware avançado, tornando-os inadequados para motes de baixo custo. O hospedeiro pode ser simples, como roteadores Wi-Fi com Linux OpenWRT.

A terceira opção é adequada para motes com mais memória e CPU, como o SoC CC2538, conectado a um adaptador Ethernet. No entanto, essa arquitetura tem limitações de espaço de memória e desempenho devido às características de dispositivos de baixo consumo de energia.

Pereira (2015) e Silva (2018) optam pela primeira abordagem, usando Raspberry Pi 3 Model B como roteador de borda, mas com diferentes nós sensores. Santana (2017) escolhe componentes da ST Microelectronics, como o STM32F446RE e o SPIRIT1 SubGHz. Lima (2018) realiza simulações com o Tmote SKY da Advanticsys, que utiliza o controlador USB da FTDI e o chip de rádio CC2420.

Todos os autores usam o sistema operacional Contiki-OS, conhecido por sua natureza de código aberto, flexibilidade e suporte para protocolos como IPv4, IPv6, 6LoWPAN, RPL e CoAP. Além disso, eles fazem uso da ferramenta de simulação de redes Cooja incorporada ao Contiki-OS para análise prévia do funcionamento da rede.

CONCLUSÃO

Este trabalho investigou os desafios complexos dado à natureza únicas das RSSFs, enfatizando a importância de gerenciar recursos restritos, garantir escalabilidade à medida que a rede cresce em número de dispositivos, assegurar a proteção dos dados e promover a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes. Além disso, a seleção de uma arquitetura de hardware e software apropriada desempenha um papel crucial na eficiência das redes 6LoWPAN. Os desenvolvedores têm à sua disposição várias abordagens, desde a transferência de funções para um hospedeiro com grande poder de processamento até o uso de motes avançados com recursos mais amplos. A



escolha da abordagem depende das necessidades específicas do projeto e dos recursos disponíveis.

Agradecimentos

À UTFPR-CM (Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão), ao Departamento de Eletrônica da UTFPR-CM (DAELN-CM) e ao professor Roberto Krauss, pelo empenho e orientação.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- BARBETTA, Eduardo Delagnelo. **Aplicação de IoT em Ambiente Industrial com 6LoWPAN**. 2017. 61p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LIMA, João Cândido de. **Simulação De Aplicações Utilizando Protocolos 6LOWPAN, RPL, MQTT e COAP em Smart Cities**. Passo Fundo: [s.n.], 2018. 56p.
- MAHMUD, Arif et al. Simulation and Comparison of RPL, 6LoWPAN, and CoAP Protocols Using Cooja Simulator. In: UDDIN, Mohammad Shorif; BANSAL, Jagdish Chand (Ed.). **Proceedings of International Joint Conference on Computational Intelligence**. Singapore: Springer Singapore, 2020. P. 317–326. ISBN 978-981-13-7564-4.
- MIGUEL, Márcio Luiz Ferreira. **Arquitetura SDN Para Redes De Sensores Sem Fio 6LoWPAN**. 2018. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- PEREIRA, Leonardo. **Implementação e Análise De Um Roteador De Borda De Redes 6LoWPAN Com Suporte A IPSECv6**. 2015. 81p. Instituto Federal de Santa Catarina, São Jose.
- SANTANA, Euller Moreira de. **Desenvolvimento De Uma Plataforma De Comunicação 6LoWPAN Para Redes De Comunicação Wireless De Curto Alcance**. 2017. 48p. Universidade Federal de Uberlândia, São Jose.
- SHELBY, Z.; BORMANN, C. **6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet**. [S.l.]: Wiley, 2009. (Wiley Series on Communications Networking & Distributed Systems). ISBN 9780470747995.
- SILVA, Matheus Valente da. **Implementação De Uma Rede De Sensores 6LoWPAN**. 2018. 75p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- TEXAS INSTRUMENTS. **6LoWPAN demystified**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: [🔗](#).
- WHITMORE, Andrew; AGARWAL, Anurag; XU, Li. The Internet of Things—A survey of topics and trends. **Information Systems Frontiers**, v. 17, abr. 2014. DOI: [10.1007/s10796-014-9489-2](#).