

Redes voltadas à Internet das Coisas: Uma Revisão

Paulo Silas Severo de Souza, Wagner dos Santos Marques, Daniel Temp,
Rumenique Hohemberger, Fábio Diniz Rossi

¹Instituto Federal Farroupilha (IF Farroupilha)
Campus Alegrete – RS – Brazil

{paulo.souza, wagner.marques}@email.com

{daniel.temp, rumenique.hohemberger, fabio.rossi}@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *IoT is a new paradigm that enables cloud environments capture, interpret, and analyze data in real time from a number of sensors distributed in the environment and able to act on the environment based on decision-making algorithms. Communication between the sensors and the cloud is performed via network. This paper presents a bibliographic study that aims to map out which network technologies are more adapted to the IoT environments.*

Resumo. *Internet das Coisas consiste em um novo paradigma que possibilita que ambientes de nuvem capturem, interpretem e analisem dados em tempo real advindos uma série de sensores distribuídos pelo ambiente, e possa atuar sobre o ambiente baseando-se em algoritmos de tomada de decisão. A comunicação entre os sensores e a nuvem é realizada através de rede. Esse artigo apresenta um estudo bibliográfico que objetiva mapear quais tecnologias de rede são mais adaptadas aos ambientes de Internet das Coisas.*

1. Introdução

Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) [Gubbi et al. 2013] refere-se a implementação da comunicação máquina-para-máquina (M2M), um componente crucial no mercado digital crescente. Esse novo paradigma é aceito como uma infraestrutura de rede dinâmica com capacidades de auto-configuração em tempo de execução, baseado em padrões de comunicação interoperáveis, onde “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos, e personalidades, integradas dentro de uma rede de informações, frequentemente comunicando dados com usuários e seu ambiente. Essas características fazem com que IoT seja uma proposta atraente para diversos domínios, visando saúde, segurança e sustentabilidade. Devido a diversidade de ambientes de aplicabilidade, várias tecnologias de rede possibilitam interligar seus componentes. Porém, devido a custos diferentes em cada uma delas, tais como valor, dificuldade de implementação, alcance, entre outros, a escolha da melhor tecnologia para cada proposta se faz necessária.

A contribuição deste artigo consiste em uma revisão das tecnologias sem fio envolvidas na comunicação entre os componentes que integram e interagem nos ambientes de IoT, mostrando a diferença de cada uma delas, tendo como suporte algumas métricas, tais como: velocidade, alcance, segurança e energia consumida, podendo guiar futuras escolhas dentro do mesmo escopo. Este artigo está organizado da seguinte maneira: Na Seção 2 é apresentado o conceito de Internet das Coisas, bem como sua taxonomia; Na Seção 3 são listadas as tecnologias de rede que suportam ambientes de IoT; Na Seção

4, discutimos sobre o impacto da escolha da melhor tecnologia de rede, dependendo do cenário de IoT; Finalizamos na Seção 5 com nossas conclusões.

2. Internet das Coisas

IoT [Gubbi et al. 2013] consiste em um termo usado para descrever a conectividade entre vários tipos de dispositivos do dia-a-dia que são sensíveis à Internet. O crescimento na conectividade de tais dispositivos é particularmente importante para um grande número de atividades rotineiras. Dispositivos podem ser entendidos como objetos na rede que estarão habilitados a prover dados para sistemas integrados que controlam um grande número de atividades sem a necessidade de interação humana.

Atualmente, existe um amplo espectro de possibilidades para a implementação de serviços e aplicações em IoT, em que pode-se notar os benefícios que essa tecnologia pode trazer para a sociedade, pois suas possibilidades de alcance são quase infinitas. Os sensores gerenciados pela IoT pode oferecer informações sobre os mais diversos ambientes, desde pequenos sensores de temperatura, até sensores que gerenciam objetos em uma cidade inteligente. A Figura 1 apresenta a interação dos componentes de um ambiente de IoT, onde sensores são analisados por serviços de nuvem, e a comunicação dos dados entre estes dois componentes é realizada através de rede.

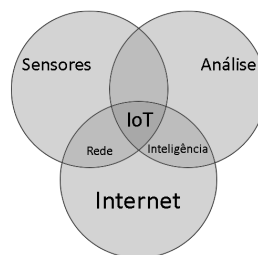


Figura 1. Inter-relação entre os componentes de um ambiente IoT.

Como os ambientes de IoT ainda estão em uma fase de crescimento, uma visão mais concreta da área e seus componentes ainda não está completa. Existem várias taxonomias propostas a explicar os ambientes de IoT, visando classificar seus componentes e camadas. Neste trabalho, nós utilizamos uma taxonomia baseada em [Busemann et al. 2012]. Essa taxonomia apresenta uma primeira camada composta por sensores eletrônicos (e.g. sistemas embarcados) e etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification*), que podem colher dados de um sistema ou ambiente. Estes equipamentos se comunicam com dispositivos de borda (*edge devices*) através de rede, onde o dado enviado pelos sensores pode ser temporariamente armazenado. Os dispositivos de borda enviam os dados armazenados para ambientes de nuvem, que consistem em sistemas habilitados a analisar este dado e gerar nova informação. Os serviços de nuvem que analisam tais dados são chamados de AaaS (*Analysis-as-a-Service*) [Wang 2012]. O envio de dados entre os dispositivos de borda e o AaaS não é síncrono, ou seja, é controlado por regras de rede que permitem o envio sob demanda dos dados dos sensores de forma a não impactar sobre a rede ou sobre o serviço de nuvem. Os AaaS oferecem um conjunto de ferramentas

para descoberta de conhecimento e análises estatísticas que permitem analisar o dado recebido dos sensores, e então gerar informações, alertas, e até mesmo gerenciar atuadores, baseando-se na análise dos resultados.

Portanto, IoT pode ser entendido como um novo paradigma suportado pela ideia de ubiquidade, que permite que dispositivos independentes interajam entre si, permitindo tomada de decisão em tempo real, e automaticamente ajustando o ambiente dependendo da resposta de tais dispositivos. Como citamos anteriormente, IoT ainda está em estágio inicial de adoção, mas já apresenta uma vasta variedade de uso, e seu portfólio de aplicações cresce dia-a-dia. A medida em que a área de IoT prolifera, tem o potencial para endereçar limitações e superar desafios em grandes áreas do conhecimento, tais como produtividade rural, saúde, melhoria na utilização de recursos e gestão de infraestrutura. No entanto, para vivenciar todo o valor potencial dos ambientes de IoT, as organizações necessitam ter os sistemas e capacidades para suportar a grande quantidade de dados que os sensores remotos podem oferecer.

3. Redes sem fio que suportam ambientes IoT

As redes de comunicação formam o canal principal dos sistemas e ambientes de IoT, habilitando conectividade de rede de acordo com o comportamento das aplicações. Essas redes permitem aos dispositivos transferirem dados sobre a rede. Os protocolos definem o formato da transferência dos dados, codificação, endereçamento de dispositivos e roteamento de pacotes entre a fonte e o destino. Outras funções incluem o controle de sequenciamento, controle de fluxo, e retransmissão no caso de perda de pacotes. Apresentamos a definição de cada das tecnologias de rede existentes que podem ser utilizadas pela IoT, e a Tabela 2 sumariza tais tecnologias sobre vários parâmetros de rede.

3.1. WiFi

Tabela 1. Principais versões do padrão 802.11.

Padrão	Frequência (GHz)	Largura de Banda (MHz)	Taxa de Transmissão (Mbit/s)
802.11	2.4	22	1 ou 2
802.11a	5 ou 3.7	20	54
802.11b	2.4	22	11
802.11g	2.4	20	54
802.11n	2.4 ou 5	20 ou 40	600
802.11ac	5	20, 40, 80 ou 160	866.7

WiFi é uma tecnologia desenvolvida na década de 1990, que permite que dispositivos troquem informações em LAN (*Local Area Network*) sem o uso de cabos. Através do WiFi, é possível estar conectado à redes como a internet, em diversos lugares como aeroportos e hotéis, basta que tais locais possuam um ponto de acesso WiFi, que faz a transmissão das informações através de sinais de radiofrequência [Datar 2008]. O padrão 802.11 inicial criado em 1997, suportava taxas de transmissão somente até 2Mbps. Todavia, este foi rapidamente aprimorado em versões posteriores, como mostra a Tabela 1. A segurança de redes WiFi fica a cargo de protocolos de autenticação como WEP (*Wired Equivalent Privacy*), WPA (*Wi-Fi Protected Access*) e WPA2 [Alliance 2003].

3.2. WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) é uma tecnologia que possibilita a implementação de conexões de alta velocidade com longo alcance. O WiMAX é estipulado no padrão IEEE 802.16, tendo como foco redes metropolitanas sem fio (WMAN) [Datar 2008]. Pelo fato do WiMAX ser voltado à WMAN, há a preocupação com problemas como frequências de operação, número de usuários, desempenho, qualidade de serviço (QoS), segurança e obstáculos (prédios, construções em geral e outros objetos) que dificultam a transmissão de sinal [Datar 2008]. Quanto à segurança, pode ser implementado o padrão de criptografia AES (*Advanced Encryption Standard*) juntamente com um protocolo de gerenciamento de chaves que suportam diversos modos de autenticação, como usuário e senha, certificados digitais e cartões inteligentes [Andrews et al. 2007].

3.3. LR-WPAN

LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*) é uma tecnologia proposta no padrão IEEE 802.15.4, desenvolvida para *Wireless Personal Area Networks* (WPAN), ou seja, redes sem fio de curto alcance. Seu foco são aplicações que não necessitam de poder de processamento como *Bluetooth*, ao passo que precisam ter uma arquitetura mais econômica do que soluções WPAN [Gutierrez et al. 2001]. A maior preocupação do LR-WPAN é redução de consumo, visando maximizar a vida útil de baterias. Portanto, a quantidade de dados que trafegam nesse tipo de arquitetura é pequena e inconstante. Ademais, seus dispositivos são compostos por uma camada física (*PHY*) e uma subcamada MAC [Howitt and Gutierrez 2003].

3.4. 2G, 3G, 4G

A tecnologia 2G surgiu na década de 1990, com a implantação do sinal digital. Ela utiliza o recurso de GSM (*Global System for Mobile Communications*). A terceira geração da telefonia móvel, 3G, usufrui principalmente do protocolo de comunicação WCDMA (*Code-Division Multiple Access*) e provê conexão de até 10Mb/s [Dahlman et al. 2013]. O WCDMA, inclui a tecnologia HSPA (*High Speed Packet Access*), que possibilita uma velocidade de até 14.4Mb/s de *downlink*. [Tso et al. 2010]. No entanto, a 3G não pôde satisfazer a crescente necessidade de altas taxas de transferência de dados. Logo, a 4G surgiu com o propósito de disponibilizar aos usuários, centenas de *megabits* por segundo, e suporte para novos serviços como transmissão de alta qualidade de vídeo. A primeira implantação desta tecnologia, em 2008 na Coreia do Sul, utilizou WiMAX. Atualmente, utiliza a tecnologia LTE (*Long Term Evolution*) [Duan et al. 2015].

3.5. Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia sem fio de rede pessoal (WPAN) que surgiu em 1998, quando algumas empresas do ramo de tecnologia formaram um consórcio chamado *Bluetooth SIG* (*Special Interest Group*), visando desenvolver um padrão de comunicação para curtas distâncias entre dispositivos e periféricos pessoais, como celulares, computadores e mouses [Dideles 2003]. Cada dispositivo *Bluetooth* possui um micro rádio transmissor com taxa de transferência de até 30Mb/s, dependendo de sua versão. Ademais, o *Bluetooth Low Energy* (BLE) pode ser usado quando o foco é economia de energia. O BLE estabelece conexão passiva e contínua entre dispositivos e aplicativos dispensando a necessidade de pareamento, o que facilita seu uso em dispositivos de pequeno porte.

Tabela 2. Comparação entre as tecnologias de rede existentes.

Parâmetros	WiFi	WiMAX	LR-WPAN	Comunicação Móvel	Bluetooth	LoRa
Padrão	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	IEEE 802.16	IEEE 802.15.4 (ZigBee)	2G-GSM, CDMA, 3G-UMTS, CDMA2000, 4G-LTE	IEEE 802.15.1	LoRaWAN R1.0
Intervalo de Frequência	5GHz-60GHz	2GHz-66GHz	868/915MHz, 2.4GHz	865MHz, 2.4GHz	2.4GHz	868/900MHz
Velocidade de Transmissão	1Mb/s-6.75Gb/s	1Mb/s-1Gb/s (fixo) 50-100Mb/s (móvel)	40-250Kb/s	2G: 50-100Kb/s 3G: 200Kb/s 4G: 0.1-1Gb/s	1-24Mb/s	0.3-50Kb/s
Alcance	<100m	<50Km	10-20m	Toda a cobertura de área do celular	8-10m	<30m
Topologia	Estrela	Ponto Multiponto Mesh	Estrela, Cluster Malha	Estrela	Estrela	Estrela
Segurança	WEP, WPA, WPA2	128/256 bits AES/3DES	128 bits AES	2G: GEA(2)(3)(4), A5/(4)(3) 3G: USM 4G: SNOW 3G Stream Cipher	56-128 bits	128 bit AES
Energia Consumida	Alta	Média	Baixa	Média	Bluetooth: Média BLE: Muito Baixa	Muito Baixa
Custo	Alto	Alto	Baixo	Médio	Baixo	Alto

3.6. LoRa

LoRa faz parte da tecnologia LPWAN (*Low-Power Wide-Area Network*), gerenciada pela *Lora Alliance*. A LPWAN tem obtido interesse da indústria, devido seu baixo consumo de energia e grande alcance de comunicação [Petajajarvi et al. 2015]. LoRa utiliza a tecnologia *Chirp Spread Spectrum*, que estipula o uso de pulsos lineares de frequência modulada de banda larga, que aumentam ou diminuem em determinado espaço de tempo. Estas características tornam a LoRa resistente contra desvanecimento multipercurso e efeito *Doppler*. Além disso, há melhora na sensibilidade do receptor e tolerância à incompatibilidade entre um transmissor e um receptor [Petajajarvi et al. 2015].

4. Discussão sobre Características das Tecnologias Analisadas

O IoT surgiu se apropriando de várias tecnologias diferentes, tais como redes de sensores, computação ubíqua e pervasiva, grades, ambientes de nuvem, além da disseminação de hardwares de baixo custo customizáveis e com uma grande variedade de módulos, de maneira a permitir a troca de informação dessas plataformas com outros dispositivos. Embora isso promova uma grande adaptabilidade a inúmeros ambientes e contextos, é fragilizado pela falta de padronização na comunicação. Em especial, as redes que servem como canal de comunicação entre esses dispositivos não foram desenvolvidas especificamente para esse tipo de cenário. Assim sendo, o IoT se utiliza das tecnologias existentes, todavia, estas não levam em consideração as características dos sensores, como por exemplo, a preocupação com o consumo de energia. Por outro lado, embora existam várias tecnologias de rede que suportam ambientes de IoT, ainda existe uma limitação das plataformas em suportar tais tecnologias. A Tabela 3 apresenta uma lista das plataformas de IoT mais utilizadas atualmente, bem como uma lista de tecnologias que cada uma delas suporta.

Tabela 3. Plataformas de IoT e suporte à comunicação

Plataformas	Tecnologias					
	WiFi	WiMAX	LR-WPAN	Com. Móvel	Bluetooth	LoRa
Arduino	x	x	x	x	x	x
Intel Galileo Gen 2	x		x		x	
Intel Edison	x		x	x	x	
Beagle Bone Black	x		x	x	x	x
Electric Imp 003	x		x		x	
Raspberry Pi	x	x	x	x	x	x
ARM mbed NXP LPC1768	x		x		x	

Baseado nisso, nós podemos ver que tecnologias de rede mais consolidadas como WiFi e *Bluetooth*, são suportadas pela totalidade de plataformas disponíveis. Outra tecnologia amplamente suportada pelas plataformas é a LR-WPAN, que apresenta a tecnologia *ZigBee* [Tare et al. 2011] como um de seus representantes mais difundidos. Porém, ao contrário do suporte quase nativo que as plataformas oferecem para tecnologias WiFi e Bluetooth, na maioria as plataformas necessitam a adição de um controlador que serve como interface entre a plataforma e o dispositivo de comunicação *wireless*. Isso signi-

fica que a decisão sobre qual padrão utilizar, pode ser influenciada pela flexibilidade e independência de dispositivos da plataforma.

Outro ponto a ser discutido consiste que as tecnologias de rede atuais foram pensadas para disponibilizar uma melhor largura de banda possível, sem levar em conta a quantidade de dispositivos ou antenas, além do número de canais ocupados. Isso pode ocasionar, por vezes, a concentração e sobreposição destas redes, impactando em sobrecarga do meio de propagação, e consequentemente perda de dados.

Devido à preocupação constante sobre o consumo de energia dos sensores, geralmente estes não mantêm uma comunicação frequente e síncrona. Além disso, na maioria dos casos apresentam uma baixa quantidade de dados a cada transmissão. Em muitos casos - com exceção de ambientes que necessitam enviar/receber dados em tempo real, como aqueles que envolvem a área de saúde - a perda de certo dado durante a transmissão não é crucial para a análise do conjunto de dados enviados/recebidos. Isso significa que controles mais robustos que possibilitem verificar sequenciamento e erros visando retransmissão podem ser ignorados. Porém, não existe apenas um único padrão de comunicação entre sensores e dispositivos de borda, e as características providas visando endereçar essas métricas deveriam ser mais especializadas e levar em consideração essas questões.

Contudo, como uma resposta às necessidades de comunicação IoT, existem duas propostas: *ZigBee* e *HaLow* (802.11ah) [Khorov et al. 2015]. Ambas possuem baixo consumo de energia como foco, não utilizam frequências reservadas por outras tecnologias, e proporcionam alcance de até 1km. Essas novas tecnologias são ajustadas às necessidades de uma rede de sensores e IoT, onde existe a necessidade de uma comunicação com largura de banda aceitável, que ao mesmo tempo economize energia dos dispositivos comunicantes.

5. Conclusões

Os ambientes de IoT estão sendo utilizados cada vez mais, com a intenção de mensurar e manipular o ambiente de forma automática. Isto ocorre devido a um conjunto de diferentes sensores distribuídos, que possibilitam a verificação em tempo real de várias métricas inter-relacionadas. Os dados dos sensores devem trafegar via rede em direção aos dispositivos que possam armazenar essa grande quantidade de dados e analisá-los. Para tanto, tecnologias de rede com diferentes especificidades podem realizar tal tarefa de forma a atender uma qualidade de serviço apropriada.

A contribuição deste trabalho consistiu em discutir as diferentes tecnologias de rede que podem ser utilizadas para prover comunicação entre os componentes de um ambiente IoT, bem como suas características. Nós acreditamos que a discussão apresentada pelo nosso trabalho possa guiar o usuário na escolha da melhor tecnologia, levando em consideração o ambiente de aplicação da IoT.

Somado a isso, nós apresentamos as novas perspectivas no contexto de tecnologias para comunicação em ambientes IoT, que estão sendo desenvolvidas visando melhorar o *trade-off* entre economia de energia e desempenho.

Referências

Alliance, W.-F. (2003). Wi-fi protected access: Strong, standards-based, interoperable security for today's wi-fi networks. *White paper, University of Cape Town*, pages 492–

- 495.
- Andrews, J. G., Ghosh, A., and Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of WiMAX: understanding broadband wireless networking*. Pearson Education.
- Busemann, C., Gazis, V., Gold, R., Kikiras, P., Kovacevic, A., Leonardi, A., Mirkovic, J., Walther, M., and Ziekow, H. (2012). Enabling the usage of sensor networks with service-oriented architectures. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Middleware Tools, Services and Run-Time Support for Sensor Networks*, MidSens '12, pages 1:1–1:6, New York, NY, USA. ACM.
- Dahlman, E., Parkvall, S., and Skold, J. (2013). *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*. Academic press.
- Datar, R. (2008). Wifi and wimax-break through in wireless access technologies. In *Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2008. IET International Conference on*, pages 141–145. IET.
- Dideles, M. (2003). Bluetooth: A technical overview. *Crossroads*, 9(4):11–18.
- Duan, L., Huang, J., and Walrand, J. (2015). Economic analysis of 4g upgrade timing. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14(5):975–989.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener. Comput. Syst.*, 29(7):1645–1660.
- Gutierrez, J. A., Naeve, M., Callaway, E., Bourgeois, M., Mitter, V., and Heile, B. (2001). Ieee 802.15. 4: a developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks. *IEEE network*, 15(5):12–19.
- Howitt, I. and Gutierrez, J. A. (2003). Ieee 802.15. 4 low rate-wireless personal area network coexistence issues. In *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE*, volume 3, pages 1481–1486. IEEE.
- Khorov, E., Lyakhov, A., Krotov, A., and Guschin, A. (2015). A survey on ieee 802.11ah. *Comput. Commun.*, 58(C):53–69.
- Petajajarvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hanninen, T., and Pettissalo, M. (2015). On the coverage of lpwans: range evaluation and channel attenuation model for lora technology. In *ITS Telecommunications (ITST), 2015 14th International Conference on*, pages 55–59. IEEE.
- Tare, A., Sharma, N., and Dutt, N. (2011). Future wireless technology-zigbee. In *Proceedings of the International Conference & Workshop on Emerging Trends in Technology*, ICWET '11, pages 1370–1370, New York, NY, USA. ACM.
- Tso, F. P., Teng, J., Jia, W., and Xuan, D. (2010). Mobility: a double-edged sword for hspa networks: a large-scale test on hong kong mobile hspa networks. In *Proceedings of the eleventh ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pages 81–90. ACM.
- Wang, H. W. (2012). Integrity verification of cloud-hosted data analytics computations. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Cloud Intelligence*, Cloud-I '12, pages 5:1–5:4, New York, NY, USA. ACM.