

FERRAMENTA PARA GERENCIAMENTO DE REDES INDUSTRIAIS WIRELESSHART

ANDERSON SANTOS*, DANIEL MACEDO*, IVANOVITCH SILVA*, ADRIÃO NETO*, LUIZ AFFONSO GUEDES*

**Laboratório de Informática Industrial
Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Instituto Metrópole Digital
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Campus Universitário Lagoa Nova CEP 59078-970
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil*

Emails: andersoncs@dca.ufrn.br, danielmacedo@dca.ufrn.br, ivan@imd.ufrn.br,
adriao@dca.ufrn.br, affonso@dca.ufrn.br

Abstract— Nowadays wireless communication is a tendency in industry environments, saving resources and enabling the addition of new applications when compared to their wired counterparts. In this context, the WirelessHART specification is emerging as a solution for the last mile connection. Despite its high degree of applicability, a WirelessHART network faces some technical (reliability, energy consumption, environment interference) and cultural challenges. Thus, the demanding for diagnosis, maintenance and commission tools is imminent. Aiming to demystify the use of wireless technology in the industry, this paper presents a tool that enables to analyze the behavior of a WirelessHART network. This application enables the active and passive monitoring, on the fly or offline, through a universal driver (XML-RPC) from the network manager.

Keywords— WirelessHART, network management, industrial wireless networks, XML-RPC.

Resumo— Nos dias atuais a comunicação sem fio é uma tendência nos ambientes industriais, reduzindo custos e permitindo a criação de aplicações que não eram possíveis com as tecnologias legadas. Nesse contexto, a especificação WirelessHART está emergindo como uma solução padrão. Apesar dos benefícios diretos, uma rede WirelessHART apresenta uma série de desafios técnicos (confiabilidade, consumo de energia, interferência do ambiente) e culturais. Sendo assim, a demanda para o desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico, manutenção e comissionamento da rede torna-se iminente. Objetivando desmistificar o uso da tecnologia sem fio na indústria, este trabalho apresenta uma ferramenta de diagnóstico a qual permite analisar o comportamento de uma rede WirelessHART. Esta aplicação torna possível o monitoramento ativo e passivo, em tempo real ou offline, usando-se um driver de comunicação universal (XML-RPC) para fazer requisições ao gerente da rede.

Palavras-chave— WirelessHART, gerenciamento de redes, redes industriais sem fio, XML-RPC.

1 Introdução

O uso de tecnologias sem fio em ambientes industriais sempre foi visto com grande ceticismo pelas companhias. Um dos motivos para esse cenário é vinculado ao não determinismo do canal de comunicação sem fio (Liu et al., 2012). A situação é agravada pelo fato de que os equipamentos são instalados em áreas sujeitas à influência de agentes externos (ruído, interferência, clima adverso, obstáculos naturais), que podem gerar altas taxas de erro de transmissão quando comparadas com tecnologias cabeadas (Bai, 2003). Outros erros de comunicação ocorrem devido à atenuação do sinal (influenciada pela distância entre o transmissor e receptor) e o problema de múltiplos caminhos (devido à reflexão, difração e espalhamento do sinal transmitido) (Di Marco et al., 2012). Em geral, erros em comunicação sem fio são transientes. A comunicação no canal é ruim por um curto período de tempo e depois volta ao normal (Willig et al., 2002). Diferentemente dessa tecnologia, erros de comunicação em redes cabeadas são normalmente permanentes e ocorrerem principalmente devido a falhas nos cabos, conectores ou outros componentes (Marshall and Rinaldi, 2005).

Um fator a ser considerado, assumindo o uso de comunicação sem fio, é a segurança da informação. Como o meio de transmissão do sinal é o ar, qualquer dispositivo dentro do alcance deste sinal pode recebê-lo e eventualmente decodificá-lo. Isso pode ocasionar o comprometimento da transmissão. Por isso, é essencial considerar o uso de medidas de segurança em redes sem fio para evitar tais problemas (Chang, 2012).

Outro desafio está relacionado à coexistência de diferentes tecnologias sem fio no mesmo ambiente. Dado que o meio de transmissão é aberto, pode haver casos em que diferentes tecnologias utilizem a mesma banda de frequência. Dessa forma, é importante para esses dispositivos que mesmo estando em um mesmo ambiente, possam trabalhar com diferentes frequências sem haver interferências (Yang et al., 2011).

Apesar de todos esses desafios, com a evolução das tecnologias sem fio novos mecanismos foram desenvolvidos para garantir a confiabilidade de rede (modulação, criptografia, escalamento determinístico, saltos de frequências e redundância). Essas mudanças e o surgimento de padrões internacionais, como por exemplo o WirelessHART, tornaram o uso de tecnologias sem fio viável em

ambientes industriais (Silva et al., 2013).

Uma vantagem imediata das tecnologias de comunicação sem fio é a eliminação do cabeamento. De acordo com (Colpo, 2011), o uso de equipamentos sem fio pode reduzir os custos de instalação da rede entre 50 – 90% quando comparado a cenários onde o cabeamento é utilizado. Outros benefícios podem ser melhor observados quando vistos no contexto específico das aplicações.

Diante da necessidade da indústria em usar essa nova tecnologia de comunicação, este trabalho vem apresentar uma nova ferramenta para gerenciamento e diagnóstico de redes industriais WirelessHART. A ferramenta suporta o monitoramento em tempo real como também o modo *offline* (baseado em variáveis armazenadas previamente) a partir de uma interface amigável. Adicionalmente, configurações dos dispositivos e rede podem ser realizadas para que os requisitos específicos de cada aplicação possam ser alcançados.

O restante deste documento é organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. Na seção 3 é apresentada uma descrição teórica sobre o protocolo WirelessHART. A proposta e os equipamentos utilizados são descritos na Seção 4. Os resultados são discutidos na Seção 5. Finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 6.

2 Trabalhos Relacionados

Devido à importância dos dados que trafegam nas redes industriais, o seu gerenciamento é indispensável para a gestão de processos na indústria. É desejável analisar o desempenho da rede em diversas configurações (técnica passiva) e alterar seu comportamento (técnica ativa) de modo a evitar possíveis falhas ou melhorar a segurança ou o desempenho de acordo com o estado analisado.

Diante dessa necessidade, foram desenvolvidos trabalhos com simulação de redes WirelessHART (Zand et al., 2012; Nobre et al., 2010) com o objetivo de validar inicialmente o comportamento dos dispositivos (padrões de tráfegos, consumo de energia e confiabilidade). As técnicas desses trabalhos são consideradas passivas, haja vista que configurações da rede não são alteradas em tempo de execução.

Uma ferramenta com grande potencial para o diagnóstico passivo em redes WirelessHART foi desenvolvido por (Jean Winter, 2013). O objetivo daquele trabalho foi o desenvolvimento de um aplicativo *sniffer* para o monitoramento do tráfego na rede. A partir dos dados monitorados, os autores realizaram um estudo sobre os algoritmos de roteamento utilizados no referido padrão. A proposta é limitada apenas ao monitoramento passivo e informações sobre roteamento, não sendo possível alterar configurações em tempo real. Adicio-

nalmente, necessita-se de um dispositivo especial (*sniffer*) para o monitoramento da rede. O *sniffer* necessita ter visada para todos os dispositivos, o que limita a escalabilidade da proposta.

Outro trabalho recente sobre o diagnóstico de redes WirelessHART foi proposto em (Willig and Khader, 2013). Os autores desenvolveram um modelo de simulação para o estudo da relação entre o consumo de energia, o controle de acesso ao meio e a técnica de escalonamento suportada pelo padrão. Novamente, a proposta é baseada em técnicas passivas não sendo suportado configurações em tempo real.

Por outro lado, a ferramenta proposta neste trabalho permite além da análise de todos os parâmetros da rede (técnica passiva) configurações em tempo real (técnicas ativas). As variáveis monitoradas não estão limitadas às informações de roteamento, sendo possível por exemplo estimar a latência e o consumo de energia a qualquer momento. Adicionalmente, foi implementado um modo de diagnóstico *offline* onde dados previamente salvos podem ser utilizados para análise.

3 WirelessHart

WirelessHART é um padrão de comunicação sem fio desenvolvido pela *HART Communication Foundation* (HCF) com o objetivo de transmitir mensagens HART sem a necessidade de utilizar os meios clássicos de transmissão (4-20 mA ou RS484). Um dispositivo WirelessHART implementa a mesma estrutura de comandos usadas por um dispositivo clássico HART RS484. As mesmas aplicações utilizadas no padrão HART são compatíveis com o padrão WirelessHART.

Em setembro de 2008, a especificação WirelessHART (HART 7.1) foi aprovada publicamente (PAS) pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC 62591). WirelessHART foi a primeira tecnologia de comunicação sem fio a obter esse nível de reconhecimento internacional (Song et al., 2008). A versão final da especificação foi concluída no início de 2010 (IEC, 2010).

A especificação WirelessHART define 8 tipos de dispositivos como descrito na Figura 1: gerente da rede, gerente de segurança, *gateway*, ponto de acesso, dispositivo de campo, adaptador, roteador e dispositivo portátil. Todos os dispositivos são conectados para a rede e implementam mecanismos para suportar a formação, manutenção, roteamento, segurança e confiabilidade da rede. Entre todos os dispositivos suportados, o gerente da rede é considerado o principal. Instalado fisicamente no *gateway*, o gerente da rede é responsável por controlar todos os eventos na rede (roteamento, escalonamento, alarmes, etc).

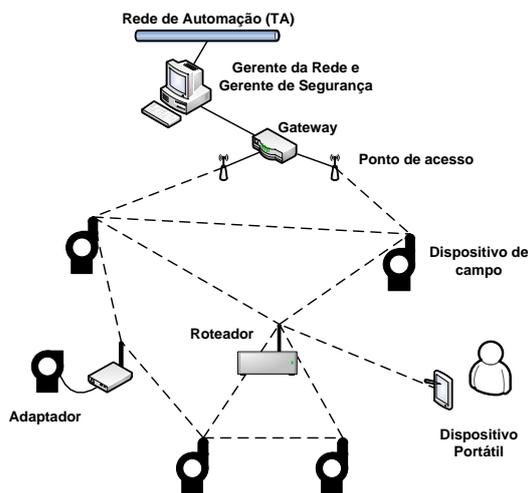


Figura 1: Dispositivos WirelessHART.

3.1 Modelo de camadas

Uma rede WirelessHART utiliza uma arquitetura baseada na versão simplificada do modelo OSI com apenas 5 camadas. As próximas seções descrevem as principais características de cada camada.

3.1.1 Camada Física

A camada física da especificação WirelessHART é baseada no padrão IEEE 802.15.4. Dessa forma, um rádio WirelessHART apresenta as mesmas taxas de transmissão, técnicas de modulação e alcance de um rádio IEEE 802.15.4 com a limitação que apenas 15 canais (11 - 25) são utilizados. O canal 26 não é utilizado por questões regulatórias de alguns países.

3.1.2 Camada de Enlace

Uma das tarefas mais importantes da camada de enlace é definir o controle de acesso ao meio e consequentemente o escalonamento dos pacotes a serem enviados. Esse procedimento é realizado através de um acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) combinado com um mecanismo de saltos de frequência. No TDMA, o tempo é dividido igualmente em janelas de 10ms chamadas slots de tempo. Um conjunto de slots de tempo forma um superframe. Cada transmissão entre dois dispositivos vizinhos na rede, incluindo o dado transmitido (origem) e o pacote de reconhecimento (vizinho), deverá ocorrer dentro de um slot de tempo utilizando um dos 15 canais disponíveis. Teoricamente 15 dispositivos podem transmitir ao mesmo tempo.

Com o objetivo de minimizar a influência de interferências (ruídos) na rede e permitir a coexistência com outros padrões (IEEE 802.11, Bluetooth, ZigBee), foi adicionado ao TDMA um meca-

nismo de saltos de frequência. Cada transmissão na rede utiliza uma frequência diferente (canal), diminuindo assim a probabilidade de escolher um canal ruidoso.

3.1.3 Camadas de Rede e Transporte

A camada de rede definida na especificação WirelessHART é o ponto de convergência com a especificação HART. As principais funções dessa camada estão relacionadas com roteamento (suporte a topologias *mesh*), endereçamento e segurança fim a fim. Por outro lado, a camada de transporte foi definida de uma maneira mais simples que a camada de rede onde o objetivo principal é a transmissão dos dados com confiabilidade fim a fim.

3.1.4 Camada de Aplicação

A camada de aplicação tradicionalmente, de acordo com o modelo OSI, fornece uma interface de alto nível para os usuários poderem acessar informações da rede. Adicionalmente, na especificação WirelessHART a camada de aplicação também é responsável pela fragmentação dos dados além de herdar as características da tecnologia legada (HART), onde todos os procedimentos são orientados a comandos.

4 Proposta

A fim de esclarecer o uso de protocolos de comunicação sem fio na indústria, nesta seção é apresentada uma ferramenta de diagnóstico (passivo e ativo) a qual permite avaliar o comportamento de uma rede WirelessHART. Para validar a proposta foi utilizado o *kit* de desenvolvimento *SmartMesh WirelessHART Starter Kit* (Dust-Network, 2013). A ferramenta comunica-se com a rede WirelessHART a partir de um driver de comunicação universal baseado em XML-RPC. As requisições são enviadas inicialmente para o gerente da rede. Se a informação solicitada não estiver presente no gerente da rede, a mesma é encaminhada para o dispositivo solicitado. Uma visão geral da proposta é apresentada na Figura 2.

4.1 SmartMesh WirelessHART Starter Kit

Produzido pela empresa Dust-Network, o *SmartMesh WirelessHART Starter Kit* fornece um conjunto de hardware/software suficiente para criação de uma rede WirelessHART simples. O *kit* inclui cinco dispositivos de campo (também chamados de *notes*), uma placa de desenvolvimento, um gateway com o gerenciador da rede e de segurança incorporados e softwares para configuração (chaves de segurança, identificação da rede, etc).

Os motivos para adoção deste *kit* WirelessHART estão relacionados com o fato de que o

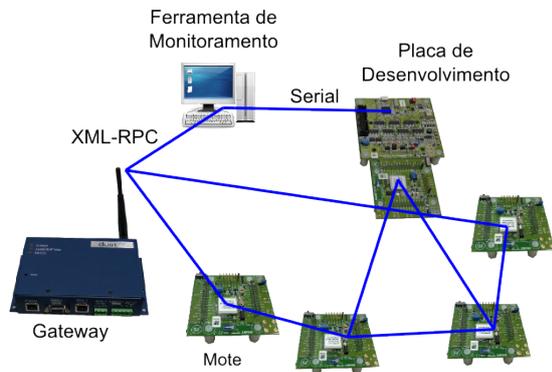


Figura 2: Arquitetura da ferramenta de diagnóstico WirelessHART.

mesmo hardware (componentes onde o padrão WirelessHART está implementado) é utilizado em dispositivos industriais encontrados no mercado. Dessa forma, a ferramenta implementada neste trabalho apresenta grande potencial para integração com dispositivos instalados em plantas industriais.

4.2 Comunicação Serial

Os dispositivos na rede WirelessHART podem ser configurados diretamente através de uma porta serial. Ao adquirir um dispositivo WirelessHART, este vem de fábrica com as configurações padrões. A porta serial pode ser utilizada para a configuração inicial. Por exemplo, para o *gateway* a porta serial é utilizada para configurar sua porta *Ethernet*, identificação e chaves de segurança da rede. Adicionalmente, um *mote* pode alterar seu estado de operação (mestre ou escravo) através da porta serial. No estado mestre, um *mote* funciona automaticamente enquanto que o estado escravo é utilizado para testes (e.g para monitorar manualmente a entrada na rede). Apenas uma parte dos comandos suportados pelo padrão WirelessHART são disponíveis pela porta serial. Na ferramenta proposta foi implementado o suporte para comunicação serial.

4.3 XML-RPC

XML-RPC é um protocolo de comunicação baseado em chamadas de procedimento remoto (RPC) codificadas em XML sobre o protocolo HTTP. Esta tecnologia foi introduzida em conjunto por *UserLand Software* e *Microsoft*, em 1998.

Ele é provavelmente a abordagem mais simples de serviço web, permitindo que o desenvolvedor faça chamadas de métodos através da rede. Utilizando a combinação de três padrões, a arquitetura de comunicação (RPC), a linguagem (XML), e o mecanismo de transporte (HTTP), o XML-RPC é uma excelente tecnologia para o estabelecimento de vários tipos de conexão entre

computadores, bem como entre diferentes dispositivos (Ciccozzi et al., 2010). A ferramenta proposta utiliza o XML-RPC para interagir com o gerente da rede e os *motes* WirelessHART.

A arquitetura RPC (na qual o XML-RPC é baseado), implica na presença de duas partes: um processo de chamada (cliente) e um processo chamado (servidor). O cliente utiliza procedimentos fornecidos por um servidor em uma determinada URL via HTTP. Em nossos experimentos, o gerenciador da rede atua como servidor, enquanto que a nossa aplicação, que tem por finalidade gerenciar a rede de forma aprimorada, atua como cliente. Dessa forma, nossa aplicação é capaz de invocar todos os métodos fornecidos pelo gerenciador da rede através de mensagens XML-RPC, que são solicitações POST (via HTTP) cujo corpo é escrito em XML. Essas mensagens contêm o nome do método invocado pelo cliente, e que será executado pelo servidor, dentro da *tag* XML `<methodName>` e `</methodName>`. O servidor, então executa o método e responde com uma outra mensagem formatada em XML.

Um exemplo de mensagens de requisição e sua resposta pode ser visto, respectivamente, na Figura 3.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<methodCall>
  <methodName>subscribe</methodName>
  <params>
    <param><value><string>
      login-token
    </string></value></param>
    <param><value><string>
      all
    </string></value></param>
  </params>
</methodCall>

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<methodResponse>
  <params>
    <param><value><array><data>
      <value><string>
        notif-token
      </string></value>
      <value><i4>
        24112
      </i4></value>
    </data></array></value></param>
  </params>
</methodResponse>
```

Figura 3: Requisição e resposta no padrão XML-RPC.

Os métodos disponibilizados, geralmente, utilizam parâmetros especificados na *tag* XML `<params>` e `</params>` que pode, em alguns casos, ser vazia. Esses parâmetros podem ser números inteiros ou reais, textos, datas, valores lógicos, arranjos dos valores anteriores, estruturas de registro e listas complexas.

4.4 Aplicação

A fim de permitir a comunicação entre a aplicação e o servidor, que está presente no gerente da

rede, foi desenvolvido um driver de comunicação usando o protocolo XML-RPC. A utilização deste protocolo se justifica pelo fato dele ser universal, permitindo assim, o acesso aos dados da rede a partir de aplicações clientes em várias linguagens de programação.

Dessa forma, a aplicação pode recuperar e configurar diversos parâmetros suportados pelo padrão WirelessHART conforme descrito na Figura 4. A lista de informações inclui dados sobre os *motes* (propriedades da camada MAC, nível da bateria, roteamento, estatística sobre vizinhos, temperatura, etc), a rede (quantidade de dispositivos, concordância em relação ao nível do serviço, estado, confiabilidade, estatística de pacotes, alarmes, estabilidade, etc), os enlaces de comunicação (qualidade de serviço) e o sistema (usuários, redundância, sessões, etc).

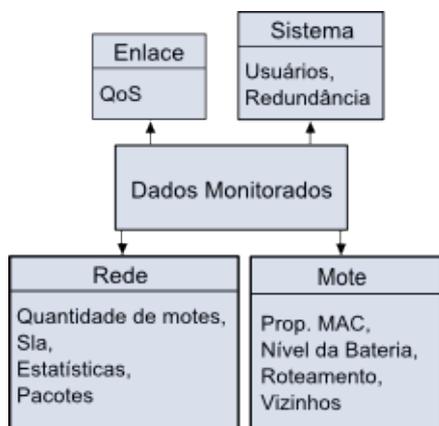


Figura 4: Variáveis monitoradas e configuradas pela ferramenta de diagnóstico.

5 Resultados

Como prova de conceito, foi montada uma rede WirelessHART simples com o *SmartMesh WirelessHART Starter Kit*. Em seguida, a rede foi analisada utilizando a ferramenta de diagnóstico proposta. O cenário adotado na prova de conceito é descrito na Figura 5.

O primeiro passo do teste foi a configuração do *gateway* e consequentemente o gerente de rede. Esta operação foi realizada utilizando a porta serial. Foram informados o IP da porta Ethernet (*gateway*), a identificação da rede e as chaves de segurança. Na Figura 5 pode-se perceber o console onde tais informações foram configuradas. Procedimento similar foi realizado nos *motes*, entretanto, sendo necessário apenas informar a identificação da rede e as chaves de segurança.

Os *motes* foram configurados em sequência, formando a topologia descrita na Figura 5. Uma das funcionalidades da ferramenta é a capacidade em formar a topologia real da rede analisada. Para exemplificar tal funcionalidade, foi requisitado ao

gerente da rede que informasse todos os dispositivos que faziam parte da topologia junto com suas conexões primárias.

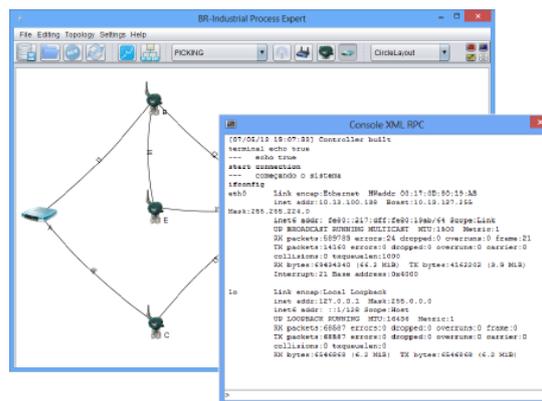


Figura 5: Rede WirelessHART adotada como prova de conceito.

Após termos a topologia montada, foi realizado o acompanhamento em tempo real da latência (*upstream* e *downstream*) e da carga da bateria do *mote* localizado no centro da Figura 5 (*mote E*). Os resultados são descritos na Figura 6 e foram atualizados em intervalos de 1min.

A latência mede o intervalo de tempo entre um dado ter sido gerado (origem) e recebido pelo destinatário. No cenário avaliado, a comunicação (*upstream*) entre o *mote E* e o gerente de rede apresentou uma variação maior do que a direção *downstream*. Vários fatores contribuem para esse resultado, como por exemplo, a qualidade dos enlaces. Entretanto, para a prova de conceito que estamos propondo os resultados certificam que a ferramenta atende às funcionalidades implementadas. Em relação à outra métrica avaliada, para o intervalo em análise, a voltagem restante na bateria teve uma variação insignificante.

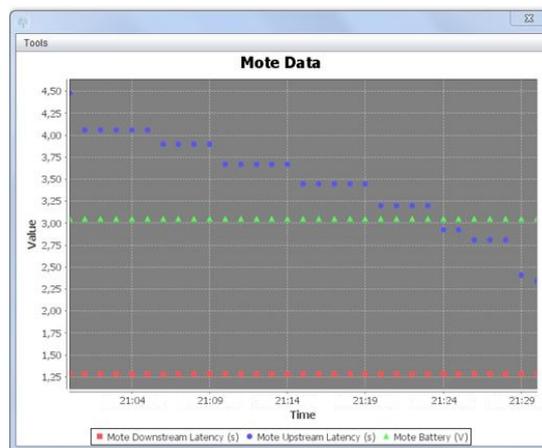


Figura 6: Monitoramento da latência e carga da bateria do *mote E*.

6 Conclusões

A inserção das tecnologias de comunicação sem fio tem proporcionado a criação de novas aplicações em ambientes industriais. Face esse novo paradigma de comunicação, a especificação WirelessHART está surgindo como uma solução padrão.

Com o objetivo de desmistificar a utilização de tecnologias sem fio em ambientes industriais o trabalho propôs uma ferramenta de diagnóstico (passiva e ativa) para as redes WirelessHART baseadas em drivers de comunicação universais (XML-RPC). A comunicação com o *gateway* é independente de linguagem de programação, apresentando flexibilidade na integração futura com dispositivos já instalados em plantas industriais. Resultados a partir de dispositivos reais demonstraram a viabilidade da proposta em monitorar e configurar uma rede WirelessHART.

Como trabalhos futuros, pretende-se utilizar a ferramenta de diagnóstico para identificar os melhores parâmetros da rede a serem utilizados para aplicações específicas. Para tanto, estudos sobre a entrada na rede (ciclo de trabalho, perfis de banda), latência (congestionamento, falhas), formas de roteamento (*graph*, *source*, *superframe*, *proxy*), modelos de consumo de energia e confiabilidade precisam ser estudados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq pelo suporte financeiro através de bolsa de pesquisa e à UFRN pela infraestrutura de suporte ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Bai, H. Atiquzzaman, M. (2003). Error modeling schemes for fading channels in wireless: A survey, *IEEE Communications Surveys and Tutorials* **5**(2): 2–9.
- Chang, Kai-Di.Chen, J.-L. (2012). A survey of trust management in wsns, internet of things and future internet, *KSI Transactions on Internet and Information* **6**(1): 5–23.
- Ciccozzi, F., Cicchetti, A., Delsing, J., Seceleanu, T., Akerberg, J. and Carlsson, L.-E. (2010). *Integrating wireless systems into process industry and business management*.
- Colpo, J. . D. M. (2011). No strings attached, *Computer Networks* **16**(1): 47–52.
- Di Marco, P., Fischione, C., Santucci, F. and Johansson, K. H. (2012). Modeling IEEE 802.15.4 Networks over Fading Channels, *ArXiv e-prints* .
- Dust-Network (2013). *DC9007A SmartMesh WirelessHART Starter kit*, Dust Networks, Inc.
- IEC (2010). *IEC 62591: Industrial communication networks - Wireless communication network and communications profiles - WirelessHART*.
- Jean Winter, Gustavo Kunzel, e. a. (2013). *Study of Routing Mechanisms in a WirelessHART Network*.
- Liu, Z., Ma, M. and Dai, J. (2012). Utility-based scheduling in wireless multi-hop networks over non-deterministic fading channels, *Computer Networks* **56**(9): 2304 – 2315.
- Marshall, P. S. and Rinaldi, J. S. (2005). *Industrial Ethernet*, 2 edn, ISA: The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- Nobre, M., Silva, I., Guedes, L. and Portugal, P. (2010). Towards a wirelesshart module for the ns-3 simulator, *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE Conference on*, pp. 1–4.
- Silva, I., Guedes, L. A. and Portugal, P. (2013). *Embedded Computing Systems: Applications, Optimization, and Advanced Design. IGI Global*, IGI Global, chapter Emerging Technologies for Industrial Wireless Sensor Networks, pp. 343–359.
- Song, J., Han, S., Mok, A., Chen, D., Lucas, M. and Nixon, M. (2008). Wirelesshart: Applying wireless technology in real-time industrial process control, *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2008. RTAS '08. IEEE*, pp. 377–386.
- Willig, A. and Khader, O. (2013). An energy consumption analysis of the wireless hart tdma protocol, *Computer Communications* pp. 804–816.
- Willig, A., Kubisch, M., Hoene, C. and Wolisz, A. (2002). Measurements of a wireless link in an industrial environment using an IEEE 802.11-compliant physical layer, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **43**: 1265–1282.
- Yang, D., Xu, Y. and Gidlund, M. (2011). Wireless coexistence between ieee 802.11- and ieee 802.15.4-based networks: A survey, *International Journal of Distributed Sensor Networks* **2011**: 17.
- Zand, P., Dilo, A. and Havinga, P. (2012). Implementation of wirelesshart in ns-2 simulator, *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2012 IEEE 17th Conference on*, pp. 1–8.