

Ferramenta para integração de logs de teste de conformidade para WirelessHART

Alexandre Bento Leal, Sergio Cechin, Taisy Silva Weber

Instituto de Informática – UFRGS
Caixa Postal 15064 - 91501-970 Porto Alegre, RS
{ableal, taisy, cechin}@inf.ufrgs.br

Resumo: *WirelessHART é um protocolo de comunicação para ambientes industriais que oferece compatibilidade com a norma HART. Para garantir esta compatibilidade, dispositivos desenvolvidos seguindo esta norma de comunicação devem passar por testes de conformidade. Os equipamentos usados para conduzir os testes, entretanto, apresentam arquivos de log independentes, com informações em demasia, dificultando a análise dos resultados. A possibilidade de criar um único log, unindo apenas informações pertinentes à análise dos testes e com ordenação temporal facilitaria o procedimento de teste. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta que seleciona, une e organiza informações do teste, gerando um arquivo de log resultante único. Os resultados mostram que a ferramenta funciona adequadamente e segue todos os requisitos estabelecidos.*

Abstract: *WirelessHART is a communication protocol for industrial environments that offers compatibility with HART. To ensure this, devices developed following the communication standard must pass compliance testing. The equipments used for compliance tests, however, have separate log files with too much information, making the analysis of test results really hard. The ability to create a single log file, joining only information relevant to the analysis of the tests accelerates the test procedures. This paper presents the development of a tool that selects, combines, and organizes test information, generating a single resulting log file. The results show that the tool works properly and follow all the prescribed requirements.*

1 Introdução

Na indústria, a comunicação deve atender a requisitos como confiabilidade, segurança e durabilidade. Redes cabeadas trazem desvantagens como o difícil acesso a todas as partes da planta industrial e alto custo para instalação. Protocolos convencionais de comunicação sem fio não alcançam os requisitos de custo e robustez exigidos em ambientes de automação industrial, pois condições adversas como temperaturas extremas e radiação são muito comuns nesses ambientes. Confiabilidade, segurança e disponibilidade devem ser oferecidos por todos os dispositivos em sistemas industriais, o que forçou o surgimento de protocolos de comunicação específicos para tais sistemas. O WirelessHART é um protocolo de comunicação que oferece os requisitos necessários de segurança, robustez, simplicidade e baixo consumo de energia. Além disso, oferece compatibilidade com o padrão de comunicação HART (Kim et al. 2008). HART é

amplamente adotado na indústria sendo suportado por um grande número de fabricantes de equipamentos industriais.

Dispositivos fabricados para funcionarem com comunicação WirelessHART devem obrigatoriamente passar por testes de conformidade (Han et al. 2015). Geralmente, tais testes são executados e interpretados de maneira manual, o que torna o processo lento. Os relatórios gerados pelo fabricante dos equipamentos de teste são confusos e com informações em demasia, dificultando a análise dos testes.

Este trabalho apresenta uma ferramenta que facilita e agiliza a análise dos resultados dos testes de conformidade de dispositivos à norma WirelessHART. Esta ferramenta objetiva filtrar, reunir e interpretar informações geradas pelos relatórios dos fabricantes de equipamentos de teste de modo a facilitar as atividades do analista de testes. O artigo apresenta resumidamente o protocolo WirelessHART na seção 2, o ambiente de teste de conformidade na seção 3 e, na seção 4, o desenvolvimento de um ferramenta que facilita a análise de logs construindo um log único que integra informação obtida durante os testes de conformidade. O artigo se encerra com comentários sobre a ferramenta desenvolvida na seção 5.

2 O protocolo de comunicação WirelessHART

O protocolo WirelessHART foi oficialmente lançado em 2007 como uma evolução do protocolo de comunicação digital industrial HART (Song et al. 2008). O protocolo HART é um dos protocolos industriais de comunicação mais populares atualmente (Kim et al. 2008). A tecnologia WirelessHART é de fácil utilização e extremamente confiável (Song et al. 2008) quando empregada no controle e na calibração de dispositivos inteligentes, bem como em diagnósticos online contínuos.

2.1 HART

Na sua versão inicial, de meados dos anos 80, o protocolo HART foi sobreposto a um sinal 4-20mA fornecendo comunicação em dois sentidos com instrumentos de campo inteligentes (Kim et al. 2008). A versão mais recente do protocolo HART, a versão 7, introduziu diversas características de desempenho e diagnóstico (Chen, Nixon, and Mok 2010).

O protocolo HART é um padrão mundialmente empregado para envio e recebimento de informações digitais através de cabos, entre dispositivos inteligentes e sistemas de controle ou monitoramento. HART é um protocolo de comunicação bidirecional que possibilita o acesso a dados entre instrumentos de campo inteligentes e sistemas *host* (centralizados). HART transmite dados a uma taxa de 1200 bps sem interromper o sinal de 4-20 mA e permite que um aplicativo *host* (que atua como mestre) obtenha duas ou mais atualizações digitais por segundo de um dispositivo de campo inteligente (que atua como escravo).

2.2 WirelessHART

A indústria buscava um método simples, confiável e econômico para transmitir dados sem a necessidade de instalar mais cabos. Assim, com a versão 7 do HART, surgiu o WirelessHART, totalmente compatível com HART (Kim et al. 2008). O protocolo é aplicado principalmente no monitoramento e controle de processos industriais e no gerenciamento de ativos.

O WirelessHART é uma tecnologia de rede segura operando na banda de rádio ISM de 2.4GHz. Usa rádios DSSS compatíveis com o IEEE 802.15.4 (Song et al. 2008). As comunicações são precisamente agendadas no tempo através da abordagem *Time Division Multiple Access* (TDMA). O agendamento é realizado por um gerenciador de rede centralizado que usa informações de roteamento. O agendamento está dividido em *slots* e é transferido a partir do gerenciador de rede para os outros dispositivos. Os dispositivos recebem apenas os slots para os quais tenham requisitos de comunicação. O gerenciador de rede adapta continuamente o grafo geral da rede e o agendamento da rede a mudanças na topologia e a demandas de comunicação.

2.3 Conformidade com o padrão HART

A Fundação HART oferece o Programa de Registro de Dispositivo HART que também inclui dispositivos que operam com WirelessHART. O procedimento de registro de dispositivos descreve os requisitos de teste de conformidade. O teste e o registro de um dispositivo, que se comunica usando o protocolo HART ou WirelessHART, garantem a interoperabilidade do dispositivo com todos os demais dispositivos HART em um ambiente industrial com múltiplos fabricantes. Dispositivos que cumprem com os requisitos de registro estão autorizados a carregar a marca registrada HART (Chen, Nixon, and Mok 2010).

3 Testes de conformidade do protocolo

O cumprimento das especificações do protocolo HART é essencial para o sucesso da interoperabilidade em um ambiente industrial. Os testes de verificação de conformidade são realizados para avaliar a conformidade de dispositivos WirelessHART com a sua norma. São testes fundamentais para garantir a comunicação adequada dos dispositivos através do protocolo WirelessHART (Han et al. 2009).

Para auxiliar nos testes de conformidade e no desenvolvimento de dispositivos, a fundação HART fornece ferramentas padronizadas para as empresas e entidades parceiras. O Laboratório de Automação, Sistemas de Controle e Robótica (LASCAR), da UFRGS, é um desses parceiros e forneceu a documentação e equipamentos necessários para o desenvolvimento da ferramenta aqui apresentada.

3.1 Ambiente de teste de conformidade do protocolo

Três equipamentos compõem o ambiente de teste de conformidade. O dispositivo alvo (*device under test*), e os equipamentos Wi-HTest e Wi-Analys. O dispositivo alvo é conectado por cabo, utilizando a modulação Frequency Shift Keying (FSK), ao Wi-HTest. O Wi-HTest gera todo o tráfego de comunicação em tempo real. O Wi-Analys é responsável por capturar, filtrar, exibir e salvar em arquivos a comunicação de cada teste de conformidade efetuado sobre o dispositivo alvo.

São 117 testes de verificação de conformidade no total que devem ser conduzidos sobre o dispositivo alvo neste ambiente de teste, alguns levando mais de 24 horas para serem concluídos. Foram executados 17 destes testes neste trabalho. Seus arquivos de log foram usados como entrada para a ferramenta desenvolvida, que será apresentada adiante, e serviram para validar a ferramenta.

3.2 O equipamento Wi-HTest

O dispositivo alvo, que está sendo sujeito ao teste de conformidade, é acessado por cabo pelo Wi-HTest para receber as configurações e chaves para a comunicação wireless. Após esta fase, durante todo o teste de conformidade, o dispositivo alvo comunica-se por rádio com a interface RF do Wi-HTest.

Mas o Wi-HTest não consegue coletar todas as informações necessárias para confirmar a conformidade do dispositivo com a norma. Por exemplo, o Wi-Htest pode verificar o dispositivo nas camadas de rede, transporte e aplicação, mas não é capaz de informar se o dispositivo está usando o algoritmo de retransmissão de mensagens correto e se os requisitos de tempo definidos na norma são respeitados. Por esta razão, outros dois componentes de verificação de conformidade também são essenciais. Eles são o Wi-Analys e o Post Processing Suite (PPS).

3.3 O equipamento Wi-Analys

Enquanto o dispositivo alvo comunica-se com Wi-HTest durante o teste, o Wi-Analys monitora a comunicação através de sua antena RF, entrega os pacotes ao software Wi-Analys e salva um arquivo de log para cada teste executado. Os log são posteriormente processados pelo PPS (Post Processing Suite) para verificar a conformidade com a norma de todas as mensagens que trafegam na rede WirelessHART.

O Wi-Analys captura todos os pacotes 802.15.4 na frequência 2.4 GHz, mas processa apenas aqueles provenientes de dispositivos WirelessHART. O receptor tem a capacidade de capturar dados em 16 canais WirelessHART simultaneamente e a uma velocidade de 100 mensagens por segundo. O Wi-Analys é um equipamento físico e consiste em uma caixa receptora de rádio. É completado por software sendo executado em uma estação de trabalho. A caixa receptora está conectada a estação de trabalho via cabo USB. O software registra todas as mensagens WirelessHART capturadas em todos os canais. O Wi-Analys é um produto independente do ambiente de teste de conformidade. Ele pode ser usado também como uma ferramenta de monitoramento de rede WirelessHART em tempo real.

3.4 Post Processing Suite (PPS)

O PPS auxilia no julgamento do êxito dos testes de conformidade. Para cada caso de teste, o programa PPS lê o arquivo de log e analisa-o. Dependendo do propósito de cada teste, ele verifica a sequência de mensagens transmitidas pelo dispositivo alvo, os tempos de transmissão, a relação entre as mensagens, o conteúdo das mensagens, e outras relações relevantes. Se todos os requisitos estiverem de acordo com a norma, o teste passou. Se não, o lugar onde a norma está violada é reportado (Han et al. 2015).

3.5 Arquivos de log gerados durante o teste de conformidade

A figura 1 mostra o log mais completo, entre os testes escolhidos, que foi gerado pelo PPS. O log gerado pelo Wi-Analys exibe pacotes capturados pelo Wi-Analys referentes ao mesmo teste e é exibido abaixo, na figura 2. O log do PPS deixa relativamente claro para o analista de testes o que está acontecendo em cada teste (figura 1). Já o log do Wi-Analys (figura 2) exibe apenas os pacotes referentes ao teste, sem informação explícita do que acontece.

```

---- Info :: DUT joined successfully

---- Info :: Write SF0, links and NM route...
Data Info: 04 7e 1f 20 00 00 00 04 f9 80 00 01 00 01 00 00 00 90 00 00
03 c5 05 00 00 65 01 00 03 c7 08 00 00 32 0a 00 01 02 00 03 c7 08 00 00
3c 0a 00 01 01 00 03 ce 05 00 f9 80 00 00 03 cb 03 00 01 01

write_data_to_port : fc 01 00 00 00 00 00 00 cd 8b 02 04 00 00 00 00 02
01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 03 07 00 00 f4 01 ff ff 01 06 41 00
04 7e 1f 20 00 00 00 04 f9 80 00 01 00 01 10 78 5f 91 f9 89 30 a6 d1 b5
eb 99 c6 3c 4a e8 cd 91 a8 0c 94 7d 9f 04 eb 10 c4 90 bc 3b 0a 78 23 0a
38 e6 b0 38 3a 06 ec c6 55 f9 af ad f4 ff 03 04 6a

---- Info :: wait_data_from_port - Begin...
Get wanted msg from AP : post p_nwkreadReady : process_recvdata
re-constructed nonce: 00 00 00 00 02 00 00 00 00 00 00 00 04
deciphered apdu : 03 c5 06 00 00 00 65 01 0f 03 c7 0b 00 00 00 32 0a 00
01 02 00 00 3b 03 c7 0b 00 00 00 3c 0a 00 01 01 00 00 3a 03 ce 07 00 00
f9 80 00 00 06 03 cb 04 00 00 01 01

---- Info :: Write SF1 and links...
write_data_to_port : 03 c5 05 01 00 71 01 00
write_data_to_port : 03 c7 08 01 00 55 0a 00 04 02 00
Data Info: 00 7e 20 4c 00 00 00 04 f9 80 00 02 00 00 00 91 00 00 03 c5
05 01 00 71 01 00 03 c7 08 01 00 4b 0a 00 01 02 00 03 c7 08 01 00 55 0a
00 01 01 00

write_data_to_port : fc 01 00 00 00 00 00 00 cd 8b 02 04 00 00 00 00 02
01 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 03 07 00 00 f4 01 ff ff 00 07 31 00
00 7e 20 4c 00 00 00 04 f9 80 00 02 a5 28 b5 ce ae db f3 46 88 57 12 8a
2f 18 64 6b 05 72 81 89 99 ab 89 8e 65 0b 20 4e 58 e9 e8 98 3f 20 b0 a6
2d

```

Figura 1 – Trecho de arquivo de log do Post Process Suite do teste TML203A

Então, para analisar o comportamento do teste, o analista acaba tendo um grande trabalho de filtrar e buscar a informação que deseja em meio a uma grande quantidade de informações geradas no log do Wi-Analys.

1	USB Devic	Descri	Packet	Date And T	Elaps	RSL	Packet	Chann	Byte (PDU	Priorit
2	119021	802.15	379	2015-07-24	####	-35	0x0000	21	62	Data	Cmd
3	119021	802.15	379	2015-07-24	####	-35	0x0000	21	62	Data	Cmd
4	119021	802.15	380	2015-07-24	####	-32	0x0000	12	44	Adv	Norm
5	119021	802.15	381	2015-07-24	####	-30	0x0000	17	44	Adv	Norm
6	119021	802.15	382	2015-07-24	####	-35	0x0000	17	62	Data	Cmd
7	119021	802.15	382	2015-07-24	####	-35	0x0000	17	62	Data	Cmd
8	119021	802.15	383	2015-07-24	####	-30	0x0000	23	44	Adv	Norm
9	119021	802.15	384	2015-07-24	####	-39	0x0000	17	16	KA	Norm
10	119021	802.15	385	2015-07-24	####	-37	0x0000	17	19	ACK	Norm
11	119021	802.15	386	2015-07-24	####	-29	0x0000	13	44	Adv	Norm
12	119021	802.15	387	2015-07-24	####	-38	0x0000	13	44	Adv	Norm
13	119021	802.15	388	2015-07-24	####	-88	0x0001	20	10		

Figura 2 – Trecho de arquivo de log do Wi-Analys do teste TML203A

4 Desenvolvimento da ferramenta de integração de logs

Atualmente o analista de testes precisa verificar se um teste foi concluído com sucesso e se apresentou erros de conformidade. Além disso, deve saber onde há erros, falhas de autenticação, e comportamento inadequado do teste. Para isso, é necessário que o analista busque por essas informações no log do PPS e do Wi-Analys. Tais logs reúnem muita informação e acabam tornando esta tarefa demorada.

O objetivo da ferramenta apresentada aqui é facilitar o trabalho do analista de testes gerando um arquivo de log final estilo planilha. A ferramenta recebe como entrada o log do PPS e o log do Wi-Analys, gerando como saída um arquivo de log final. O log final deve permitir ordenação temporal dos eventos em um teste.

4.1 Requisitos da ferramenta de log

Os requisitos definidos para a ferramenta são:

- Apresentar apenas os campos de interesse para analisar o teste. Os campos escolhidos estão definidos na tabela 1 mais adiante.
- Apresentar correspondências e não correspondências de conteúdo do log do Post Process Suite para o log do Wi-Analys e vice-versa.
- Apresentar os erros gerados pelo log do Post Process Suite. Este arquivo já mostra uma interpretação do andamento do teste, com comentários, reportando erros que aparecem no teste. Estes erros são incluídos no log final.
- Apresentar o número de erros encontrados no log do Post Process Suite. O número de erros aparece na última linha do log final.
- Apresentar correspondência temporal entre os conteúdos dos logs. O log final é composto por linhas extraídas dos logs do Wi-Analys e do PPS. É mantida uma correspondência temporal entre essas informações pelo posicionamento das linhas entre si e através dos campos FinalLine e HTest Line (tabela 1).

4.2 Campos no log final gerado

O log final foi construído para atender aos requisitos listados anteriormente. Os campos e seus significados são mostrados na tabela 1. Os requisitos visam facilitar a visualização dos dados coletados pelas ferramentas de teste escolhendo campos que aparecem no arquivo de log do Wy-Analys e acrescentando campos especiais (FinalLine, CMD Meaning, Application Data, Comment e HTest Line).

Tabela 1 – Campos do log final desenvolvido neste trabalho

Campo	log Wi-Analys	Significado
FinalLine		indica o número da linha no arquivo final
DateAndTime	X	representa informação temporal
Type	X	apenas pacotes tipo <i>ACK</i> e <i>Data</i> são salvos no <i>log</i> final
DLL ASN Used	X	<i>Data Link Layer Absolute Slot Number</i> representa o ASN da camada de enlace utilizado
PayloadHexa	X	forma de <i>payload</i> expressa em bytes representados em hexadecimal
CMD Meaning		campo criado para o <i>log</i> final, informa o número e a função do comando HART ou WirelessHART presente no pacote
Payload	X	exibe uma pré-interpretação da camada de aplicação do pacote, COM o número do comando, o significado, parâmetros do comando e variáveis como <i>bc</i> (<i>byte count</i>) e <i>rc</i> (<i>response code</i>)
Application Data		campo criado e representa os <i>bytes</i> da camada de aplicação do campo <i>ClearText</i> (presente no <i>log</i> do Wi-Analys)
Comment		campo criado que apresenta comentário(s) presentes no arquivo de <i>log</i> do <i>Post Process Suite</i> que correspondem a linha em questão do arquivo de <i>log</i> do Wi-Analys
HTest Line		campo criado para o arquivo de <i>log</i> final e informa o número da linha onde foi encontrada a primeira correspondência

Pode-se ordenar o arquivo de log final através de FinalLine, como também pela ordem em que aparecem no arquivo de log do PPS. É possível visualizar todos os campos do log final nas figuras 3 e 4.

1	FinalLine	DateAndTime	Type	DLL ASN Used	PayloadHexa	CMD Meaning
2	2	2016-05-16 20:09:42.921	Data	000000022B000000	90 00 00 * [12 - - - - -	
3	3	2016-05-16 20:09:42.921	Data	000000022B000000	90 00 00 * [12 128 - Veja o Doc	
4	4	2016-05-16 20:09:43.937	Data	2,9E+18	90 00 00 * [12 - - - - -	
5	5	2016-05-16 20:09:43.937	Data	2,9E+18	90 00 00 * [12 128 - Veja o Doc	
6	6	2016-05-16 20:09:54.031	Data	6,82E+18	91 00 00 * [12 - - - - -	
7	7	2016-05-16 20:09:54.031	Data	6,82E+18	91 00 00 * [12 128 - Veja o Doc	
8	8	2016-05-16 20:09:55.046	Data	00000006E7000000	91 00 00 * [12 - - - - -	
9	9	2016-05-16 20:09:55.046	Data	00000006E7000000	91 00 00 * [12 128 - Veja o Doc	
10	10	2016-05-16 20:10:03.125	Data	0000000A0F000000	92 00 00 * [13 138 - Write Trav	

Figura 3 - Campos do Arquivo de log Final

Payload	Application Data	Comment	HTest Line
	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
[WaStartLogSession c	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
[WaStartLogSession c	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
[WaStartLogSession c	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
[WaStartLogSession c	00 80 18 74 6d 6c 3	Info :: St	194
[WaSetIntTestParam (00 8a 14 64 65 76 54	Info :: Se	205

Figura 4 - Campos do Arquivo de log Final - continuação

4.3 Procedimento de geração do arquivo de log final

O arquivo de log final é montado visando poder ordená-lo de duas maneiras: a partir do log do Wi-Analys e a partir do log do PPS. Ou seja, a ordenação pode ser realizada a partir dos campos FinalLine e HTestLine (definidos na tabela 1).

Para construir o arquivo de log final é necessário realizar duas varreduras. Na primeira varredura, os pacotes tipo ACK e Data do log do Wi-Analys são inseridos no arquivo de log final. Para cada pacote tipo Data, são extraídos no campo ClearText os bytes que correspondem à parte de dados da camada de aplicação. Estes bytes são chamados de Application Data. Usam-se os bytes de Application Data para buscar correspondências no log do PPS. Cada correspondência encontrada é adicionada ao arquivo de correspondências. Cada correspondência é uma linha com dois campos, onde o primeiro é o número da linha no arquivo de log final e o segundo é o número da linha no log do PPS. Uma linha do log do Wi-Analys pode encontrar diversas correspondências no log do PPS. Quando não há correspondência de conteúdo, isso é informado no campo “Comment”. Além disso, quando há falhas de autenticação ou de decifração, isso é informado nos campos “Comment” ou “PayloadHexa”. O número de comando HART ou WirelessHART é extraído do campo Payload e usado para buscar seu significado no arquivo “comandos.txt”. Então, é informado o significado do comando e onde maiores detalhes podem ser encontrados.

A segunda varredura tem como base o log do PPS. Varre-se o arquivo a partir do início em busca do comentário que indica o início da comunicação wireless. Então, buscam-se comentários iniciados por “----”, que podem relatar acontecimentos normais do teste ou erros. Busca-se, através do número da linha do comentário, se há correspondências no arquivo de correspondências. Caso não haja, devemos inserir um elemento no arquivo de correspondências referente a esse comentário. Para isso, percorre-se o arquivo de correspondências novamente a partir do início. Quando for

encontrado o primeiro elemento cujo número da linha de seu comentário for maior que o do elemento a ser inserido, esta será a posição de inserção. A linha do arquivo final do elemento a ser inserido será igual à linha do elemento escolhido já presente no arquivo. Já o elemento cuja posição foi escolhida para inserção do novo, deverá passar para a posição seguinte. Ele e todos os elementos seguintes são incrementados em uma unidade no campo “linha no arquivo final”. Feito isso, o comentário é inserido no arquivo final na posição prevista no arquivo de correspondências.

Para facilitar o diagnóstico do analista, os comentários da segunda varredura têm seus campos não utilizados preenchidos com “#####”. Por último, o programa principal insere na última linha do arquivo final, o número de erros encontrados na segunda varredura. O arquivo de correspondências contém elementos que representam as correspondências da primeira varredura e as não correspondências da segunda varredura. Cada elemento (linha) contém dois campos. O primeiro representa o número da linha no arquivo final. O segundo indica o número da linha log do PPS.

5 Conclusão

A possibilidade de criar um único arquivo de log, unindo apenas informações pertinentes à análise dos testes e com ordenamento temporal aceleraria e facilitaria a análise dos testes. Este trabalho propôs e desenvolveu uma ferramenta com essa finalidade que gera um arquivo de log resultante único. A ferramenta foi validada com casos de teste de conformidade e com os logs gerados por esses casos de teste. Nos casos de teste em que a ferramenta foi aplicada, os erros e as não correspondências mostradas no log final serviram como indicadores de problemas nos testes de conformidade.

Ao final, os resultados mostraram que a ferramenta funcionou adequadamente para o objetivo proposto e tornou-se útil para a análise dos testes de verificação de conformidade de dispositivos com a norma WirelessHART.

6 Bibliografia

- Chen, Deji, Mark Nixon, and Aloysius Mok. 2010. “Why WirelessHART.” In *WirelessHART™*, by Deji Chen, Mark Nixon, and Aloysius Mok, 195–99. Boston, MA: Springer US. http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-6047-4_15.
- Han, Song, Jianping Song, Xiuming Zhu, Aloysius K. Mok, Deji Chen, Mark Nixon, Wally Pratt, and Veena Gondhalekar. 2009. “Wi-HTest: Compliance Test Suite for Diagnosing Devices in Real-Time WirelessHART Network.” In , 327–36. IEEE. doi:10.1109/RTAS.2009.18.
- . 2015. “Wi-HTest: Compliance Test Suite for Diagnosing Devices in Real-time WirelessHART™ Mesh Networks.” *Wireless Networks* 21 (6): 1999–2018. doi:10.1007/s11276-015-0903-6.
- Kim, Anna N., Fredrik Hekland, Stig Petersen, and Paula Doyle. 2008. “When HART Goes Wireless: Understanding and Implementing the WirelessHART Standard.” In , 899–907. IEEE. doi:10.1109/ETFA.2008.4638503.
- Song, Jianping, Song Han, Al Mok, Deji Chen, Mike Lucas, Mark Nixon, and Wally Pratt. 2008. “WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control.” In , 377–86. IEEE. doi:10.1109/RTAS.2008.15.