

工业物联网感知层协议分析与应用展望

郭涛¹, 高米翔¹, 韩鹏²

(1.西安西北石油管道公司, 陕西 西安 710018; 2.陕西省天然气股份有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要: 工业物联网已在国内外引起了非常大的关注, 比如“中国制造2025”以及“德国工业4.0”。工业物联网可以分为感知层、网络层以及应用层, 其中感知层起到了连接物理世界的重要作用。文章通过对工业物联网感知层主流无线通信协议进行对比分析, 从不同的角度(比如物理层频率、调制技术、网络拓扑、网络寿命以及实时性等)对比各种协议的优缺点, 并对协议的应用领域进行了展望, 从而为行业应用提供了参考。

关键词: 物联网; 感知层; 无线通信; 协议

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 2095-1302 (2016) 06-0052-04

0 引言

2013年4月德国政府在汉诺威工业博览会上正式提出“工业4.0”, 目的是为了在新一轮工业革命中占领先机。2015年5月中国国务院公布强化高端制造业的国家战略规划“中国制造2025”, 希望通过新一代信息技术(云计算、大数据、物联网)与制造业融合, 提升传统制造业水平^[1]。不管是德国“工业4.0”还是“中国制造2025”, 都希望将物联网技术深度融入现有工业系统, 提升工业系统的信息化水平。

工业物联网系统的架构主要分为三个层次: 最底层为感知层, 中间为网络层, 最上层为应用层^[2,3]。感知层主要包括无线传感器网络以及RFID等系统。感知层可以采集到现有工业系统的物理参数, 通过无线网络网关传递给网络层。网络层主要包括现有的有线网络或者移动通信网络。网络层是整个物联网系统的骨干, 可以把分布于广泛区域的感知层网络联接起来。应用层主要是对底层采集的信息进行集中分析、处理及控制。

目前存在很多现有的感知层无线网络通信协议, 不同的协议适用于不同的应用场景。本文首先详细分析了各个协议(包括短距离无线通信网络协议以及低功耗广域网络协议)的技术特点, 然后从不同的维度(频段、网络拓扑、网络寿命、实时性等)对比分析了不同无线网络协议的优缺点以及适用范围。最后, 针对不同行业的应用特点, 展望了各种无线网络协议的应用前景。

1 短距离无线通信网络

物联网系统是一种跟实际应用强相关的系统, 特别是在感知层, 没有一种感知层协议能够适用于所有的应用场景。比如有的应用比较适合采用短距离自组织网络, 而有的应用

却适合采用低功耗广域网络。文中将对当前主流短距离无线通信网络协议进行详细分析及比较, 主要包括ISA100.11a、WirelessHART、WIA-PA以及ZigBee。

1.1 ISA100.11a

ISA100.11a由国际自动化学会(ISA)下属的ISA100工业无线委员会制定, 是工业级无线传感器网络国际标准之一^[4]。ISA100.11a于2014年9月获得国际电工委员会(IEC)的批准, 成为正式国际标准IEC 62734。

ISA100.11a基于IEEE 802.15.4协议, 工作于ISM 2.4 GHz频段。由于ISA100.11a主要面向工业自动化领域, 可靠性与实时性是协议设计之初的重要指标。为了达到工业要求的实时性和可靠性, ISA100.11a在物理层采用了IEEE 802.15.4的PHY(信道11至信道26), 采用O-QPSK调制方式。在数据链路层整合了IEEE 802.15.4的MAC层以及跳信道、确定性时隙调度技术^[5,6]。在数据链路层提供高可靠性和实时性的基础上, 为了让ISA100.11a网络能够方便的接入工业自动化现场现有的IP网络, ISA100.11a在网络层整合了6lowPAN的网络技术, 在网络层可以将运行IPv6协议的骨干网络与子网无缝连接与转换。ISA100.11a网络层则主要负责网络层帧头的装载和解析, 数据报文的分片和重组, IP帧头的压缩等。

凭借着非常高的实时性以及网络可扩展性, ISA100.11a目前在工业自动化现场得到了比较广泛的应用。

1.2 WirelessHART

WirelessHART是HART通讯协议的扩展, 专为工业环境中的过程监视和控制等应用所设计。WirelessHART于2008年9月19日正式获得国际电工标准委员会(IEC)的认可, 成为国际标准(IEC 62591)。WirelessHART的主要支持厂商包括Emerson、ABB、E+H、Honeywell、Siemens等。

与ISA100.11a类似, WirelessHART的物理层也是基于

收稿日期: 2016-03-13

52 物联网技术 2016年 / 第6期

IEEE 802.15.4 标准, 运行于 ISM 2.4 GHz 频段。在物理层方面, 直序扩频 (DSSS) 以及 O-QPSK 技术同样被采用。由于该协议主要也是面向工业自动化领域, 在数据链路层通过整合 IEEE 802.15.4 的 MAC 以及在链路层采用跳频和时隙调度技术来达到应用所要求的实时性和可靠性^[5]。在网络层, WirelessHART 支持 MESH 路由技术, 但与 ISA100.11a 不同的是, WirelessHART 不支持 IPv6 技术, 也不像 ISA100.11a 的子网, 会导致网络规模受到一定的限制^[7,8]。

与工业自动化领域的另一个标准 ISA100.11a 相比, WirelessHART 主要有如下几点区别:

(1) MESH 路由在网络层实现, ISA100.11a 则在数据链路层实现;

(2) 网络中节点都有对等的功能 (都具有路由能力), ISA100.11a 有路由节点和非路由节点的区别;

(3) 相比 ISA100.11a, WirelessHART 的网络规模较小。

1.3 WIA-PA

WIA-PA (Wireless Networks for Industrial Automation Process Automation, WIA-PA) 标准是中国主导制定的工业无线标准。WIA-PA 于 2011 年正式成为 IEC 62601 国际标准^[9,10]。

与 WirelessHART 以及 ISA100.11a 不同的是, WIA-PA 为两层拓扑结构, 下层为星型结构, 由簇首和簇成员构成。上层为 MESH 结构, 由网关和簇首构成。与 WirelessHART 以及 ISA100.11a 相同的是, WIA-PA 的物理层也是基于 IEEE 802.15.4 协议, 同样采用 DSSS 及 O-QPSK 技术。在超帧结构上, WirelessHART 与 ISA100.11a 都没有采用 IEEE 802.15.4 的超帧结构。而 WIA-PA 则采用 IEEE 802.15.4 的超帧结构。WIA-PA 的超帧分为活动期和非活动期。活动期中的竞争接入期主要用于设备加入以及簇内管理, 非竞争接入期主要用于节点与簇首通信。非活动期分为三个部分, 一部分用于簇内通信, 一部分用于簇间通信, 另一部分用于休眠。

WIA-PA 协议主要有如下特点:

(1) 采用与 ISA100.11a 以及 WirelessHART 不一样的超帧结构;

(2) 采用双层网络拓扑结构能够很大程度上将网络的调度以及管理功能分散到簇首节点, 提升网络的鲁棒性以及运行效率。

1.4 ZigBee

与前面章节所介绍的三个工业自动化领域的实时性较好的无线通信协议不同, ZigBee 主要的应用场景是那些对实时性要求不高的应用 (比如家庭自动化等)。ZigBee 是由 ZigBee Alliance 提出的基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议^[11,12]。ZigBee 协议从下到上分别为物理层 (PHY)、媒体访问控制层 (MAC)、传输层 (TL)、网络层 (NWK)、应

用层 (APL) 等。其中物理层和媒体访问控制层遵循 IEEE 802.15.4 标准的规定。ZigBee 网络的节点主要有两种, 分别为全功能节点和半功能节点。其中全功能节点具有路由功能, 而半功能节点则没有。这样, 全功能节点为了保障网络的连通性就不能进入休眠模式, 而半功能节点则在没有业务的情况下可以进入休眠模式。由于全功能节点不能休眠, 会导致 ZigBee 网络的寿命相比前面三个实时性协议而言短很多。

ZigBee 协议主要有如下特点:

(1) 采用 IEEE802.15.4 物理层以及 MAC 层技术;

(2) 主要采用 CSMA 技术;

(3) 网络层采用源路由技术;

(4) 不能保证实时性。

2 低功耗广域网络

与短距离无线通信网络使用多跳自组织网络不同, 低功耗广域网络主要采用星型网络组网。本章将对三种主要协议进行介绍, 其中包括 LoRa、SigFox 及 NB-IoT。

2.1 LoRa

LoRa 是由 LoRa Alliance 发起的一个低功耗广域网络协议。目前, LoRa 得到了比较广泛的应用, 比如法国运营商布依格的物联网应用将使用 LoRa 技术。LoRa 在物理层使用 DSSS 以及 FSK 调制技术。支持 0.3 Kb/s 至 50 Kb/s 的数据传输速率, 对于需要长时间共享小量数据的智能终端来说非常适用。相关数据显示, LoRa 终端仅靠电池就可维持在网时间达 10 年之久。

LoRaWAN 的网络架构是一个典型的星状网络。网关通过标准的 IP 连接到网络服务器, 终端设备通过单跳的无线网络与网关通信。通过自适应速率技术, LoRaWAN 网络可以自动调节速率以及射频输出功率以最大化电池寿命。LoRaWAN 网络主要有三类设备:

Class A: 终端下行传输跟随在上行传输之后。

Class B: 除了 A 类终端的随机下行传输时隙之外, 网关还为终端调度了专用的下行传输时隙。

Class C: 终端一直有下行传输时隙, 当有上行传输终止命令时才会停止。

三类不同的终端类型适用于不同的应用场景。比如对于典型的下载类应用, 类型 C 终端就比较适合。

2.2 SigFox

SigFox 是创立于法国的一家物联网创业公司所提出的一个私有协议。目前已经得到很多运营商的支持, 并且在欧美多个城市部署了大规模的网络。与现有的其他低功耗广域无线通信协议不同的是, SigFox 使用 UNB (超窄带) 通信技术, 极大地降低了终端的成本。同时, 其具有功耗小、覆盖范围大的特点。

Sigfox 的网络在结构上属于星型网络,在有数据需要传输的情况下才建立连接。SigFox 工作于 ISM 频段,用户可以根据每个国家的实际情况进行部署,比如在欧洲可以使用 868 MHz,而在美国可以使用 915 MHz。

在市郊场景下,一个 SigFox 基站可以达到 30 至 50 公里的覆盖范围,而在城市场景下,也可以达到 3 至 10 公里的覆盖范围。

SigFox 的通信安全通过如下几种方式来保证: anti-replay, message scrambling, sequencing, etc. Sigfox 的最大优点之一是简化了天线设计,同时降低了终端以及网络的成本。

2.3 NB-IoT

2015 年 9 月, NB-IoT (Narrow Band – Internet of Things, NB-IoT) 协议正式在 3GPP 立项,预计会在 2016 年上半年完成。与其它几种 LoRaWAN 协议不同, NB-IoT 运行于 Licensed 频段。NB-IoT 主要面向广覆盖、低功耗、低成本以及大规模接入的物联网应用。目前参与讨论和制定的主要有运营商以及电信设备制造商,包括沃达丰、中国移动、中国联通、华为、高通、爱立信等。

NB-IoT 主要由华为主导的 NB-ClIoT 以及爱立信主导的 NB-LTE 融合而成。NB-ClIoT 与 NB-LTE 在时隙设计、信道设计方面存在差异。在物理层方面, NB-ClIoT 上下行的带宽都是 200 kHz,其中下行 48 个子载波,上行 36 个子载波,下行使用 OFDMA 技术,而上行使用 FDMA 技术。NB-LTE 下行使用 OFDMA 技术,上行使用 SC-FDMA 技术^[13]。

3 协议比较

前面章节对几种短距离无线通信网络协议以及低功耗广域网网络协议进行了基本介绍。每个协议有它自己的设计应用场景,即有各自的优缺点。在本章将会对它们从不同的角度进行

比较。详细特点对比见表 1 所列。

(1) 频段:除了 NB-IoT 运行于 Licensed 频段之外,其它所有协议都设计运行于 ISM 频段。

(2) 调制技术:四个短距离通信协议由于都采用了 IEEE 802.15.4 协议所支持的 DSSS 以及 O-QPSK。LoRA 采用了 DSSS 以及 FSK 调制技术。Sigfox 则采用超窄带配合 DBPSK 调制技术。NB-IoT 主要采用 8PSK 调制技术。调制技术的选择会直接影响到网络的覆盖范围。

(3) 最大速率:短距离通信协议的速率相比低功耗广域网的速率要高。几个短距离通信协议由于都是基于 IEEE 802.15.4,最大速率都能达到 250 Kb/s。对速率要求比较高的应用,比如视频传输,就不太适合选用 SigFox 协议。

(4) MAC:为了达到良好的实时性,工业自动化领域的三个短距离通信协议都采用了 CSMA/TDMA/FDMA 的混合技术。低功耗广域网协议由于主要是面向非实时性应用,在 MAC 层则主要采取 CSMA 的方式。

(5) 实时性:由于 ISA100.11a、WirelessHART 以及 WIA-PA 都采用了确定性时隙调度技术,在链路层可以达到比较高的实时性。

(6) 网络拓扑:短距离自组织网络都支持两种网络拓扑, Mesh 以及 Star。而低功耗广域网网络则都是 Star。

(7) 电池寿命:文章所提到的物联网协议都能够有比较长的电池寿命,除了 ZigBee 由于全功能节点无法休眠导致寿命缩短。

(8) 路由:低功耗广域网网络由于都是星型拓扑因此并不需要路由协议。几个短距离通信协议都支持源路由。其中, ISA100.11a 在数据链路层实现,而其他三个短距离协议则在网络层实现。

(9) 最大覆盖:ISA100.11a 的覆盖主要由子网个数决定,

表 1 感知层无线通信协议比较

	ISA100.11a	WirelessHART	WIA-PA	ZigBee	LoRA	SigFox	NB-IoT
频段	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 433/868 MHz	ISM 868/915 MHz	Licensed
调制技术	DSSS、O-QPSK	DSSS、O-QPSK	DSSS、O-QPSK	DSSS、O-QPSK	DSSS、FSK	DBPSK	8PSK
最大速率	250 Kb/s	250 Kb/s	250 Kb/s	250 Kb/s	50 Kb/s	100 b/s	48 Kb/s
MAC	CSMA/TDMA/FDMA	CSMA/TDMA/FDMA	CSMA/TDMA/FDMA	CSMA	ALOHA	CSMA	OFDMA
实时性	高	高	高	低	低	低	低
网络拓扑	Mesh、Star	Mesh、Star	Mesh、Star	Mesh、Star	Star	Star	Star
电池寿命	中	中	中	短	长	长	长
路由	子网在数据链路层实现源路由以及图路由;支持IPv6	在网络层实现源路由以及图路由	在网络层实现源路由	在网络层实现源路由	无	无	无
最大覆盖	视子网个数情况	网络跳数情况	网络跳数情况	网络跳数情况	15 km	18英里	20 dB强于GSM
维护性	低	低	低	低	高	高	高

部署的子网个数越多,所能支持的覆盖就越大。其他三个短距离协议的覆盖主要由网络跳数决定。

(10) 维护性:短距离通信协议虽然在部署方面比较简单,但是由于多跳网络的存在造成了维护难度的增加。相比之下,低功耗广域网都是星型网络,可维护性都比较强。

对于不同的物联网应用,应该根据实际需求选择相应的协议。比如在一些工业自动化应用中,采集的参数以及控制命令都需要进行实时传输,在这种情况下,选择 ISA100.11a、WirelessHART 或者 WIA-PA 比较合适。如果应用的需求是采集一些对实时性要求不高的参数,则可以选择 ZigBee 协议。但是 ZigBee 协议目前存在一个比较大的弱点,即在组成 Mesh 网络后,路由节点由于需要维护网络的连通性,不能进入休眠状态,导致节点的寿命会有所下降。对于那些数据量非常小的应用,比如家庭抄表,一个星期甚至一个月才有很小量的数据发送,并且电表水表都在大楼内,对信号的穿墙能力要求比较高,这种应用场景则比较适合选择 LoRa、Sigfox 或者 NB-IoT 协议,因为这三个低功耗广域网协议都有很大的链路预算。

4 结语

本文首先详细分析了两类协议(短距离无线通信网络协议以及低功耗广域网网络协议)的技术特点,其中短距离无线通信网络协议主要包括 ISA100.11a、WirelessHART、WIA-PA 以及 ZigBee。低功耗广域网网络协议主要包括 LoRa、SigFox 以及 NB-IoT。分别从不同的维度(频段、最大速率、网络拓扑、网络寿命、实时性等)对比分析了不同无线网络协议的优缺点以及适用范围。根据协议的特点,ISA100.11a、WirelessHART 及 WIA-PA 比较适合空旷的工业自动化实时应用场景,因为他们有较好的实时性以及电池寿命。ZigBee 则适用于对实时性要求不高并且方便给全功能节点更换电池或者提供电源供电的应用场景,比如智能家居。而低功耗广域网网络则比较适合

应用于城市的智能抄表应用或者野外的参数监控,比如野外石油管道、森林火灾监控等。总之,根据不同行业的应用特点,需要根据不同的实际应用需求选择合适的通信协议方案。

参考文献

- [1] 何廷润.“工业 4.0”战略中 CPS 系统的挑战与前瞻[J].移动通信,2014(21):19-21.
- [2] 于宝明,金明.物联网技术与应用[M].南京:东南大学出版社,2012.
- [3] 彭巍,肖青.物联网业务体系架构演进研究[J].移动通信,2010,34(15):15-20.
- [4] 王平,魏旻.工业物联网标准及技术综述[J].自动化博览,2012(S1):44-46.
- [5] Pister K S J, Doherty L. TSMP: Time synchronized mesh protocol[J]. In Proceedings of the IASTED International Symposium on Distributed Sensor Networks (DSN08), 2008(11):391-398.
- [6] Gutierrez J A, Naeve M, Callaway E, et al. IEEE 802.15.4: a developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks[J]. Network IEEE, 2001, 15(5):12-19.
- [7] Saifullah A, Xu Y, Lu C, et al. Real-Time Scheduling for WirelessHART Networks[C]. 2010 31st IEEE Real-Time Systems Symposium. IEEE Computer Society, 2011:150-159.
- [8] Song J, Han S, Mok A, et al. WirelessHART: Applying Wireless Technology in Real-Time Industrial Process Control[J]. IEEE Real Time & Embedded Technology & Applications Symposium, 2008(15):377-386.
- [9] 梁伟,张晓玲.第十四章 WIA-PA:用于过程自动化的工业无线网络系统结构与通信规范[J].仪器仪表标准化与计量,2009,25(2):30-36.
- [10] 彭瑜.工业无线标准 WIA-PA 的特点分析和应用展望[J].自动化仪表,2010,31(1):1-4.
- [11] ZigBee Alliance[EB/OL].http://www.zigbee.org/.
- [12] Wheeler A, Ember Corp, Boston MA. Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee[J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(4):70-77.
- [13] 3GPP TR45820: Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT) [Z]. 2015.

作者简介:郭涛(1983—),男,湖北省仙桃人,学士,工程师。主要研究方向为石油管道通信。

(上接第 51 页)

power amplifier by second harmonics and forth-order nonlinear signals[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(2):424-430.

- [2] Mark P, Gajadharsing John R, Burghartz Joachim N. Theory and design of an ultra-linear square-law approximated LDMOS power amplifier in class-AB operation[J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(9):2176-2184.
- [3] 黄玉兰. 射频电路理论与设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:15-19.
- [4] B. Kim. Efficiency Enhancement of Linear Power Amplifiers Using Doherty Power Amplifier[Z]. Department of Electronic and Elect. Eng. and Microwave Application Research Center, POSTECH, Korea 2001.

- [5] 南敬昌,梁立明,刘影.基于 ADS 微波功率放大器设计与仿真[J].计算机仿真,2010,27(5):327-330.
- [6] Song Ki-Jae, Lee Jong-Chul, Lee Byungje, et al. High-efficiency class-C power amplifier[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004(40):164-167.
- [7] 鲍景富,郭伟,李源. WCDMA 线性功率放大器设计[J]. 电子科技大学学报,2008,37(1):1-3.
- [8] 郭潇菲,刘凤莲,王传敏.微波功率放大器晶体管匹配电路设计[J].微波学报,2009,25(5):67-69.
- [9] 毕克允,李松法.宽禁带半导体器件的发展[J].中国电子科学研究院学报,2006,1(1):6-10.
- [10] 曹韬.射频高效开关 E 类功率放大器研究[D].成都:电子科技大学,2010.