

# 建筑自动化系统拓扑结构 及其发展趋势分析

上海大学 赵哲身<sup>☆</sup>

**摘要** 目前活跃在国内市场上的国际著名的建筑自动化(BA)系统品牌不下十余种,其 BA 系统拓扑结构可分为四类:以网关连接现场层和管理层、以网络控制器连接现场层和管理层、DDC 直接经 TCP/IP 连接管理层以及前三类的两两混合。结合具体的品牌对四类 BA 系统的拓扑结构进行了剖析。介绍了 BA 系统的三个主要发展趋势:工业控制领域的成果将越来越多地应用到 BA 系统的传统控制策略的改进,通讯领域成果开始应用到 BA 系统领域,IT 领域成果正在向 BA 系统领域渗透。认为目前出现的空调子系统机电一体化的倾向可能会破坏 BA 系统的全局性和整体性。

**关键词** 建筑自动化系统 拓扑结构 应用特点 发展趋势 控制策略

## Analysis of topological structure and developing trends of building automation systems

By Zhao Zheshen<sup>★</sup>

**Abstract** There are more than ten famous brands of foreign building automation (BA) systems in China's market. The topological structure of BA systems can be classified into four categories—connecting the site layer and the management layer with gateways or network controllers, connecting the management layer with direct digital controllers via TCP/IP and the complex formed by every two categories of the above. Analyses their topological structure based on some specific brands. Presents the three major developing trends of BA systems, i. e., the achievement in industrial control domain being applied to refinement of traditional BA control strategy, the achievement in communication domain to BA system domain and the achievement in IT domain to BA system domain. Considers that the tendency of mechatronics of air conditioning subsystem may damage BA's overall situation and integrity.

**Keywords** building automation system, topological structure, application characteristic, developing trend, control strategy

★ Shanghai University, Shanghai, China

①

### 0 引言

1993 年以来,随着智能建筑在我国的兴起,建筑自动化(building automation,BA)系统(在 GB 50314 修改版中定义为“建筑物设备管理系统”)得到了快速的发展,但是,迄今为止,在公共建筑领域仍然是国外品牌一统天下。其原因是国内自主知识产权的 BA 系统在技术先进性和可靠性上尚难以和国外著名品牌匹敌。

进入中国市场的国外 BA 系统从最初的三大品牌——江森(Johnson Controls)、霍尼韦尔(Honeywell)、西门子(Siemens),已演变到目前的大约十大品牌:美国的 KMC 系统、奥莱斯(ALC)系统,英国爱尔兰的西朗(Cylon)系统,加拿大的 Delta 系统,瑞士的索特(Sauter)系统和思博

(Saia)系统,德国的培福系统,施耐德兼并英维斯(Invensys)、安德沃(Andover)和 TAC 形成的 TAC 系列等。

最初的三大品牌本身也发展衍生出多种系列:霍尼韦尔从最初的 Excel 5000 发展到 Excel 800 系列(德国生产),研发了 CP 8000 系列(中国生产),通过兼并拥有了美国的艾顿(Alerton)系统、英国的卓林(Trend)系统,扩展、拥有

①<sup>☆</sup> 赵哲身,男,1946 年 9 月生,大学,教授,获国务院特殊津贴 200072 上海市闸北区延长路 149 号上海大学自动化系 (021) 65469186  
E-mail: zszhao2003@yahoo.com.cn  
收稿日期:2012-07-20

了 Web 600 系统等;江森从 DX 系统演变为 FX 系统,近几年推出了 FEC(墨西哥生产)系统;西门子从最初的 MBC 系列、MEC 系列演化到 PXC(瑞士、美国生产)系列等。

近年来,我国新建公共建筑出现了某种发展趋势,大体量公共建筑和建筑群越来越多地涌现。21 世纪初,10 万 m<sup>2</sup> 的建筑已经是很大的单体建筑,现在则频频出现几十万 m<sup>2</sup> 的单体建筑,如上海中心的建筑面积为 57 万 m<sup>2</sup>,以及 60 万乃至 100 万 m<sup>2</sup> 以上的建筑群,如上海博览中心的建筑面积达 140 万 m<sup>2</sup>。

面对如此大体量的建筑和建筑群,如此缤纷的国外品牌,每个建筑师、咨询师、BA 系统开发者和行业专家都面临着下列问题:

1) 如何针对建筑物的需求选择最合适、性价比最高的 BA 系统?

2) 专家如何在评标中对品牌有正确的评估?

3) 国内 BA 系统开发商如何针对 BA 系统的发展趋势制定正确高效的技术路线,赶超世界先进水平?

为此,剖析世界主流 BA 系统的拓扑结构和应用特点,正确评估其发展趋势就变得十分迫切和必要。

## 1 BA 系统分布式拓扑结构剖析

### 1.1 典型 BA 系统的拓扑结构

一个典型的 BA 系统具有 3 层拓扑结构,分别是上层的中央监控管理层,中层的直接数字控制器(DDC),下层的传感器和执行器,中层和下层统称为现场层,见图 1。需要说明的是,图 1 给出的不是一种实际的 BA 系统拓扑机构,而是现有 4 种 BA 结构的概括、抽象和综合。

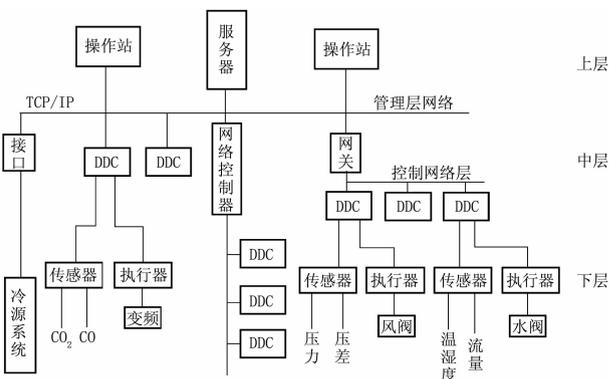


图 1 BA 系统拓扑结构

中央监控管理层由服务器、客户机(操作站)、中央监控系统软件和相应的通讯设备组成,通过管理网络层(一般是 TCP/IP 网络)和现场层相连。它不仅可以和以 DDC 为代表的现场层相连,也可以通过通信接口和机电一体化的系统相连,如冷源系统、智能照明系统等。中层由 DDC 组成,有的系统配置有网络控制器或网关。下层传感器的主要职能是从现场的空间(space)或水管(pipe)、风管(duct)中获取温度、湿度、压力、压差、流量、CO<sub>2</sub> 浓度、CO

浓度等模拟量信息,以及压差、水流开关、手自动状态、运行状态和故障状态等开关量信息;执行器用于执行 DDC 给出的指令,包括使调节水阀、调节风阀、变频器达到一定开启量的模拟信号和使开关阀门开闭的开关信号。

分析十大品牌的 BA 系统拓扑结构,大致可以分成 4 类:

- 1) 以网关连接现场层和管理层的系统;
- 2) 以网络控制器连接现场层和管理层的系统;
- 3) DDC 直接经 TCP/IP 连接管理层的系统;
- 4) 上述 3 类的两两混合系统。

1.2 第一类:现场层通过网关连接管理层网络的 BA 系统  
这种 BA 系统以霍尼韦尔的 Excel 5000 为代表,见图 2。

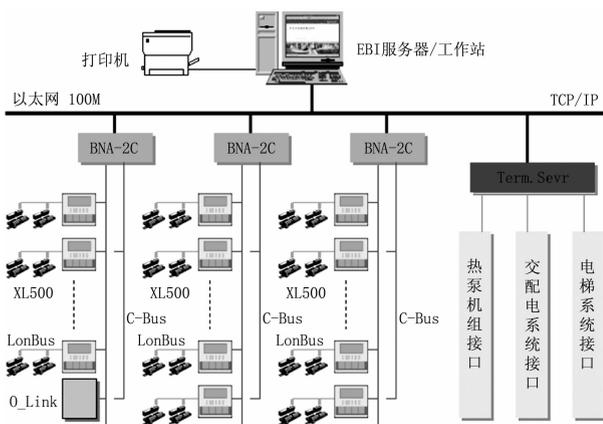


图 2 以网关连接现场层和管理层网络的 BA 系统

图 2 中,每个网关 BNA 可连接 2 条 C-Bus 控制总线。每条 C-Bus 可连接 29 个 Excel 5000 系列控制器,通讯点限制为 1 500 点,通讯速度为 9 600~100 000 bit/s。C-Bus 传递发送速率为 9 600 bit/s 时,最大限制(ML)为 500 report/min,最大服务限制(SL)为 500 report/min。C-Bus 以 Lon 总线传输(速率为 76.8 kbit/s)时,最大限制为 2 700 report/min,最大服务限制为 2 500 report/min。

Excel 500 Smart 控制器为 LonWorks(R)系统的协同运行提供了 512 个网络变量,最多 128 个物理点,最多 253 个伪点,总共最多 381 个节点。控制器的每个输入量占用 1 个网络变量,对应的每个输出量占用 2 个网络变量<sup>[1]</sup>。

有类似拓扑机构的 BA 系统还有最近进入中国市场的爱尔兰 Cylon 系统。Cylon 系统有 3 种网关结构——UC32.netK, BACnet 路由器和 KNX 网关<sup>①</sup>。

1) UC32.netK 网关上游经 BACnet/IP 连接 TCP/IP 管理层,下游经 Unitron 现场总线连接 DDC。它还可以经 Modbus 和无线基站相连,实现和无线系统的互联,符合现代通信技术渗透到 BA 系统的发展趋势。

① Cylon smart energy control, <http://www.cylon.com/>

2) BACnet 路由器上连 TCP/IP 管理层,下连 BACnet MS/TP 对象。

3) KNX 网关上连 TCP/IP 管理层,下经 DALI 总线和灯光控制系统相连,见图 3。

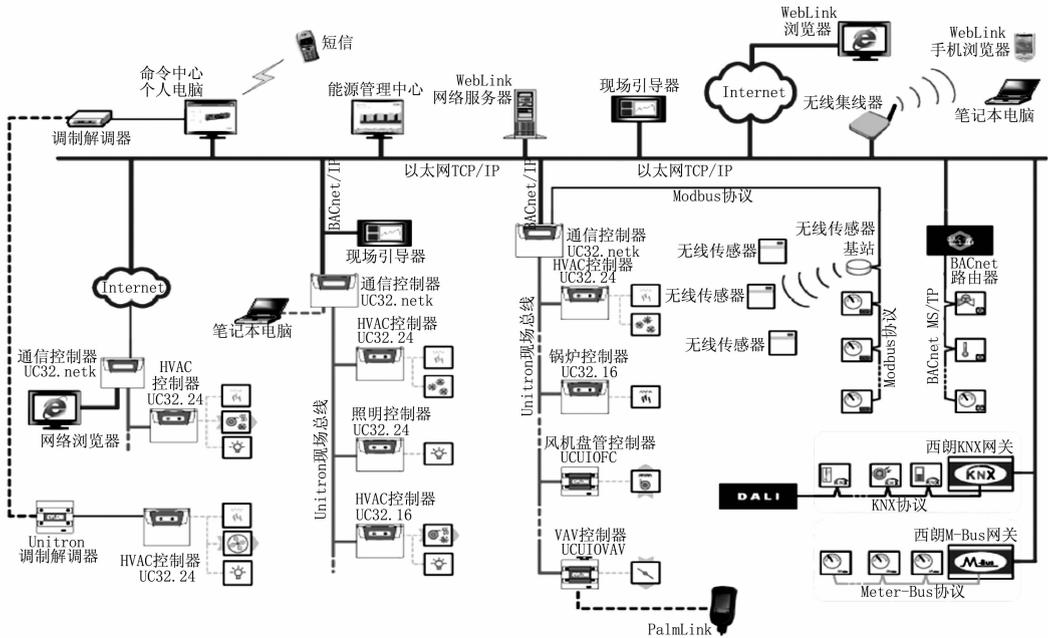


图 3 Cylon 系统的网关拓扑结构

从 Cylon 系统的拓扑结构可以看出,其产品的推出时间要晚于霍尼韦尔的 Excel 5000,因而能适应更多的对象连接,更具有扩展性。Cylon 系统的独特优点是它的 I, O 是完全通用的,即 AI, AO, DI, DO 完全可以互换,节省了系统的硬件投入。它的另一个特点是具有可控硅无触点输出,因而可靠性高。

### 1.3 第二类:网络控制器连接现场层和管理层网络的 BA 系统

这种 BA 系统以江森为代表,类似的系统还有美国的 KMC 系统、霍尼韦尔的 Web 系统和加拿大的 Delta 系统,这 4 个系统向上的连接都是采用 TCP/IP 协议。

江森的 BA 系统以 NAE 作为网络控制引擎,本身带 32 bit 处理器,针对不同大小的系统分别配置 NAE35, NAE45, NAE55 到 NAE85 的网络控制器(见图 4)。NAE 网络控制器向下支持 N2 总线、LonWork 总线和 BACnet 对象,有的还能支持内置 Modem。NAE 内嵌 WinXP,支持 1 个或多个 Web 功能<sup>①</sup>。

值得指出的是,江森 FEC 系统的主控制器 FEC16x0 和 FEC26x0 具有 32 bit RISC 处理器,具有比例自适应控制(adaptive control)和模式识别自适应控制功能,集成商在现场不必进行传统的 P, I, D 参数调试,控制回路会自动整定这些参数,达到几乎最优的控制策略。

图 5 为以网络控制器连接现场层和管理层的 Web 系统。Web 系统采用 32 bit 网络控制器。Web-545-AX, Web-403-AX, Web-201, Web-600 控制器等分别包容不同数量的

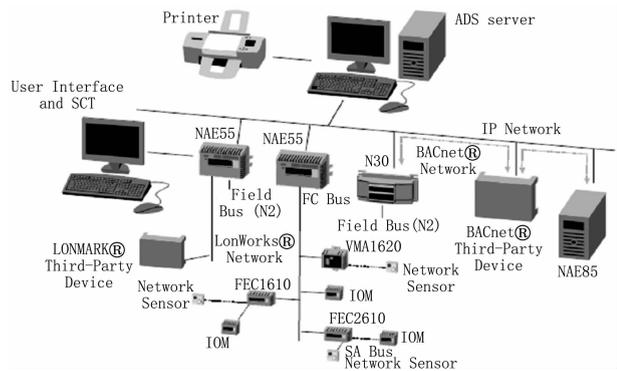


图 4 网络控制器作为中间层连接 DDC 和管理层的江森系统

现行常用现场总线协议标准(如 BACnet, LonWorks, Modbus 等)。该系统采用了 Niagara 开发平台技术,其网络控制器 Web-600 下连 2 条 Lon 总线或 5 条 BACnet MS/TP 总线。只要是在一个 Web-600 控制器下, Lon 就认为是同一个域,可以方便地调用域下的任何参数;对于 BACnet MS/TP,也可以通过 device instance 直接调用。Web-600 支持约 600~800 个物理点;每个 Web-600P 能带不超过 60 个的 Spyder 控制器(PUL6438)。它支持 10 K 热电阻的通用输入,量程大小较为合理,温度范围为 -23~57 ℃,精度为满量程的 ±1%,在 0~10 V, 4~20 mA 时精度较差,在

① Commission & Troubleshoot Metasys sea Projects course 7490, Metasys EA Hardware (NAE), Application Data Servers (ADS/ADX)

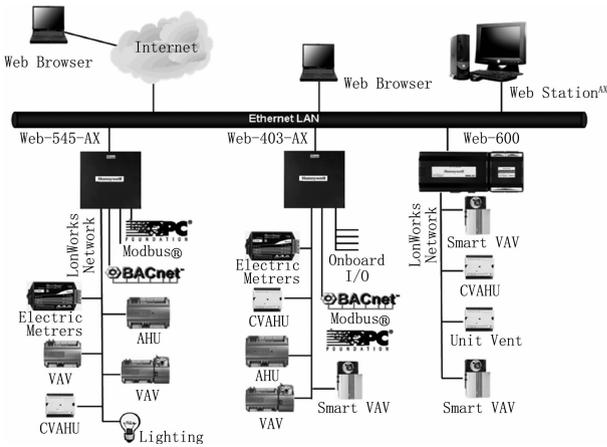


图5 以网络控制器连接现场层和管理层的 Web 系统

满量程的±2%范围内不需要用户校正<sup>①</sup>。

图6为加拿大Delta系统的拓扑结构图。Delta系统是一种纯粹的BACnet系统,同样通过网络控制器连接管理层和现场DDC。其系统控制器为32bit的DSC,下挂支持BACnet的应用控制器,包括VAV控制器等。其Access控制器用于集成管理Delta控制设备,如HVAC和灯光控制器等,也直接支持BACnet。还有专用灯光控制器用于控制智能照明系统。控制器的下层网络支持BACnet MS/TP或LINKnet。

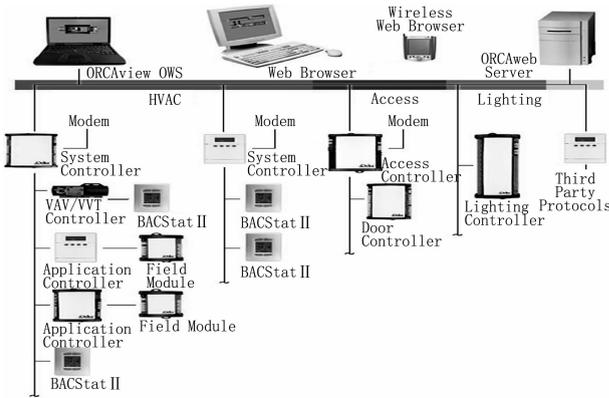


图6 以网络控制器连接现场层和管理层的加拿大Delta系统

### 1.4 第三类:DDC 直接连接以太网的系统

西门子的BA系统是现场数字控制器能直接连接以太网管理层的系统。控制器能直接上连TCP/IP以太网,下连P2,MS/TP, LonWork<sup>®</sup>。从最初的MBC, MEC,到现今的PXC系统无不具有这一特点,见图7。这是一种最为简洁的网络拓扑结构,特别适合于大型建筑群和超高层建筑。采用这种BA系统可以有较高的性价比和较快的响应速度。

同样值得指出的是,西门子的PXC系统的DDC也具有自适应控制策略,控制回路不需人工调试P,I,D参数就能实现最优控制。

西门子BA系统的网络结构分为管理级MLN、自控级ALN和楼层级FLN。在ALN上控制器之间可以实现点

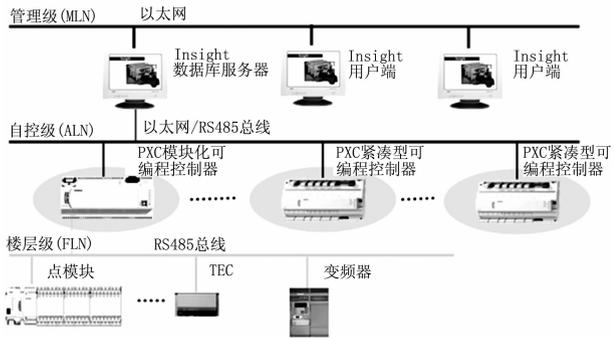


图7 DDC直接连接管理层的BA系统

对点(peer-to-peer)的通讯。下层连接的FLN上可运行P1或LonTalk协议。

MBC,MEC和PXC系列的CPU都是32bit的,都可以通过扩展模拟量/数字量模块设备来增加监控点数。MBC,MEC系列支持3条FLN干线与总共96个FLN设备通讯。点扩展模块的配线总长度最大为61m,其模拟/数字信号分辨率(模拟输入)是12bit的,数字/模拟信号分辨率(模拟输出)是8bit的。PXC系列控制器内嵌Web,PXC Modular控制器+TX I/O模块的组合通过一个总线扩展模块可以接3条FLN网络(RS485),每条FLN可以带32个设备,其A/D分辨率(模拟输入)是16bit的,D/A分辨率(模拟输出)是10bit的。

### 1.5 第四类:混合系统

混合系统主要是上述3类拓扑结构的两两组合,主要有:

- 1) 5系列的Sauter系统——路由器和控制器直接上以太网的混合;
- 2) Andover系统——路由器和网络控制器的混合;
- 3) Saia系统——控制器带网关型。

图8为Sauter系统的拓扑结构图。所有DDC控制器均为32bit微处理器。4系列控制器是Lon控制器(EY3600 ecolon Lon);5系列控制器直接连接BACnet/IP,相当于西门子结构;novaNet291路由器类似于霍尼韦尔结构,把novaNet总线连接到一台PC的COM口,novaNet290则通过ISA插槽将novaNet总线连接到PC;novaFlex通用控制器用于暖通空调系统;nova220和nova225 DDC控制器连接模块或现场设备。

专用的联网控制器nova230(有28个输入点和10个输出点)和联网控制模块novaCom可连接M-bus,RS232C,Modbus RTU,Grundfos,EIB,Wilo,Lon,Siemens 3964R/RK512,Danfoss VLT6000和VLT2800等,用于暖通空调

① Honeywell WEBS Section 15900 Temperature Control System (TCS) and Facility Management Control System (FMCS), WEBS-AX Open Guide Spec, 2008

② Siemens Building Technology, APOGEE<sup>®</sup> Trending Application Guide, Application 2284, 125-1899 Rev. 3, May 2005; Heating and DX Cooling, ASHRAE Cycles I and II

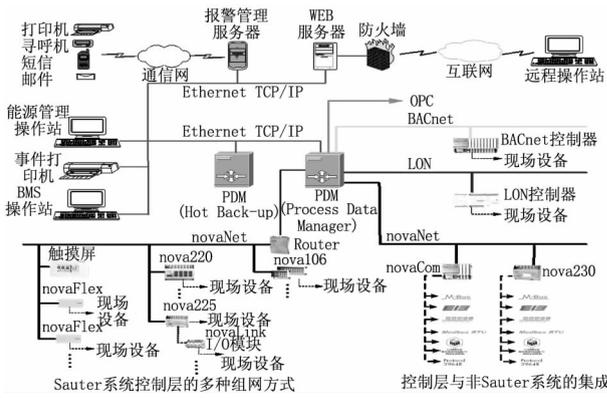


图8 Sauter系统的混合拓扑结构图

系统中与非 Sauter 系统的连接, 实现与非 Sauter 系统的数据交换。

图9为瑞士 Saia 系统的拓扑结构图。其第一层为以太网, 在第二层 PCD 直连以太网。PCD 除作为控制器外, 还作为网关和路由器, 支持 3~19 个信道的 BACnet, LonWork, Modbus, ProfiBus, Can bus, M-bus, EIB, MP bus, OPC, Mifi, Bluetooth, 通讯接口包括 RS485, RS232, Ethernet, USB。其内置 Web 服务器, 直接采用 IE 浏览。现场层的 PCD2, PCD1 就地扩展箱含 19~1 024 个物理点。

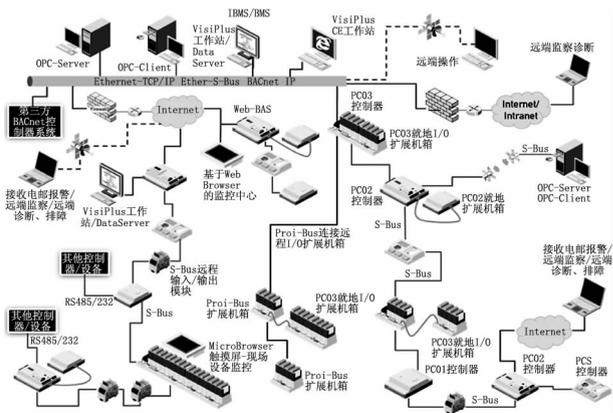


图9 Saia系统的拓扑结构图

## 2 BA系统的发展趋势

从上面对外国主要 BA 系统品牌的拓扑结构和应用特点的分析已经可以看出 BA 系统的发展历史和发展趋势。BA 系统的 3 个主要发展趋势是: 工业控制领域的成果将越来越多地应用到 BA 的传统控制策略, 通讯领域成果开始应用到 BA 系统领域, IT 领域成果正在向 BA 系统领域渗透。

### 2.1 工业控制领域的成果应用到 BA 系统的传统控制策略的改进

早在 2004 年, 江森率先在变风量空调系统的 BOX 控制器 1400 中使用了自适应控制技术。2005 年 10 月, 西门子紧跟而上, 通过购买 Model-Free Adaptive (MFA) control 自适应控制技术专利掌握了这一技术, 在当时新开

发的 PXC 系统的 DDC 中采用了自适应控制算法。江森在其新开发的 FEC 系统中也在每个 DDC 控制器中移植了这一技术。两家主流公司的这一应用成果标志着 BA 系统接受了这一新的发展趋势。

自适应控制技术是工业控制领域在 20 世纪 80 年代已经发展成熟的技术, 使用这种技术后, 工程师不再需要对闭环控制回路的 P, I, D 参数进行现场调试, 系统会通过学习自动将这些参数整定到近似最优。由于行业内一直缺乏相关的技术人员, 更由于市场上的低价中标现状, 没有能力和时间调试 P, I, D 参数一直是困惑集成商的技术难关。自适应控制技术进入 BA 系统很好地解决了这一难题。

可以预见, 随着集成电路技术的快速发展和硬件成本的不断下降, DDC 的字节长度已经从 8 bit, 16 bit 发展到现今主流的 32 bit, 今后将会有越来越多的现代控制技术和控制理论应用到 BA 系统之中, 这将是不以人的意志为转移的趋势。

### 2.2 通讯成果开始应用到 BA 系统领域

本世纪前 10 年, 霍尼韦尔、西门子、江森先后加入了 Zigbee 协会。江森开发出了基于 Metasys 网络的无线平台 Wireless Metasys<sup>®</sup> System<sup>①</sup>, 其中包括 ZFR1800 系列无线现场总线协议, 用于暖通空调系统的无线 TEC 温度传感系统、WRS 多对一无线房间传感系统、TE7800 一对一无线房间温度传感系统和 WRZ7840 一对一无线房间温度传感系统等。

无线通信技术进入 BA 系统, 使得其在受价格因素影响布线困难或仅仅是为了美观而不允许布线时, 也能得到广泛应用。如用户经常性地搬迁或墙面采用坚硬的大理石的场合等, 使用无线控制技术就是一个选择。ZFR1800 采用 Zigbee<sup>TM</sup> 的无线网络监控使用 BACnet 协议的暖通空调设备。Zigbee 采用网格格式的网络来加强可靠性, 通过自动构建多路径的数据传输方法形成自修复通信的能力。需要注意的是, Zigbee 在自由空间内传播的可靠性较高, 穿透楼层和墙壁的能力则受到相当的限制。

目前, 基于 6LoWPAN, Z-Wave, GPRS, Wifi, 3G 的设备通讯技术也已经在 BA 系统和智能家居的控制中得到了应用, 这一切都印证了通讯技术向 BA 系统渗透的趋势, 值得引起大家的注意。

### 2.3 IT 领域成果向 BA 系统领域渗透

近年来, 由于 IT 技术的迅速发展, IT 技术的成果越来越多地渗透到智能建筑领域, 基于 TCP/IP 和数字化技术的城市安全防范系统变革了传统的模拟和数字结合的安防系统就是一个有力的证明。

同样, IT 技术的新成果也开始进入 BA 系统领域, 其标志是 Tradium 公司开发的基于 Java 的 Niagara 开发平台和 Sedona 下层开发平台。Niagara 和 Sedona 是开源的、模块

① Wireless Metasys<sup>®</sup> System Product Bulletin—ARCHIVE, Code No. LIT-12011244, Software Release 4. 1, 2009

化的、开放的平台<sup>①</sup>,可以扩展连接当今市场上已有的成千上万的设备,其集成和互操作的能力强大,非常适合多协议系统的无缝连接,见图 10。使用这两个平台,BA 系统的研发成本将大大降低,也将更为开放。因此,这两项技术得到了霍尼韦尔、江森、西门子、KMC 和 Saier 等公司的认同。

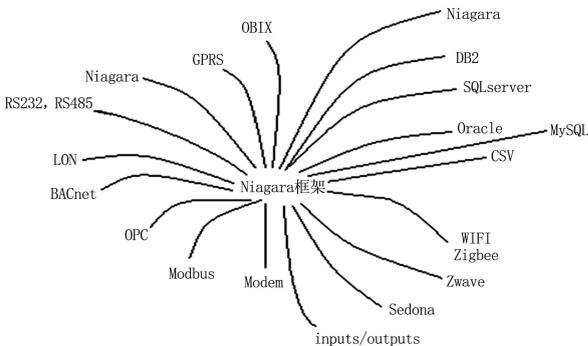


图 10 Niagara 框架的开放性

## 2.4 一个需要避免的不良发展倾向

除了上述三个重要的发展趋势外,BA 系统市场也出现了一个严重影响 BA 系统质量的不良倾向,需要提高认识和避免。

近年来,空调子系统厂家纷纷推出机电一体化的控制系统,如集水井排水系统、新风机电一体化系统、空调机电一体化系统等。这些系统内含 PLC 控制器,形成对子系统本身的控制,BA 系统只能与这些系统通过通信互联,而不能对其直接控制。由于这些产品借助了机电一体化和智能控制箱的称号,颇吸引技术人员的关注,并已经有所应用。

从市场发展的规律上看,这是厂家的经济利益驱使所致,是正常的现象。但是这种倾向带来了严重的问题,令人担忧。主要原因如下:

1) 出于商业保密,厂商一般不公开子系统的控制策

略,而其控制策略一般没有经过优化,更不是最优的(从目前工程实施情况及我国空调子系统运行水平与国际水平的差距可得出这一结论)。由于 BA 系统只能对它们实施监视而无法控制,空调子系统就永远失去了优化运行的机会。

2) 由于是独立的子系统,其本身不会关心和采集系统之外的全局参数,如室外气温和湿度、建筑物内人的瞬间流量等。而这些全局参数恰恰是 BA 系统用来优化控制、提高能效的关键。

3) BA 系统要想和子系统联动必须通过通信方式,BA 系统集成商必须对子系统提出通信协议、数据帧格式和上传参数的要求;空调子系统供应商从商业合同起就必须全程配合,增加了技术难度、商业开销和工程实施的协调成本。

4) 这么多的子系统通过总线通信,会增加 BA 系统总线上的负担,通信的可靠性也会有问题。当然,对于冷热源群控系统等特殊专业化的重大系统,笔者一贯主张由冷热源供应商实施控制。虽然他们目前的群控水平远没有达到优化和节能的程度,但由于他们对产品特性的掌握远胜于一般的 BA 系统集成商,所以由他们在专家参与下改进和优化控制是最佳的选择。

## 3 结语

本文分析了中国市场上的主要国外 BA 系统品牌的拓扑结构的特点,在此基础上作了分类,主要可以分为以网关连接现场层和管理层的结构、以网络控制器连接现场层和管理层的结构和 DDC 直接上管理层的结构。同时介绍了各类 BA 系统的应用特点,可供业主和专家从建筑物需求出发选择 BA 系统品牌参考;分析了 BA 系统的三大发展趋势,供国产 BA 系统研发技术路线借鉴。最后指出目前出现的空调子系统机电一体化的倾向可能会破坏 BA 系统的全局性和整体性,不利于 BA 系统控制的优化,不利于建筑能效的提高。希望能引起大家的重视,供大家讨论。

## 参考文献:

[1] 赵哲身. 智能建筑控制与节能[M]. 北京: 电力出版社, 2007

<sup>①</sup> Build your M2M application with the proven device management infrastructure. Niagara—Connect, Unify, Manage. www.tradium.com