

# 军工现场总线技术发展趋势与展望

刘文怡<sup>1,2</sup>

(1. 中北大学 仪器与电子学院, 太原 030051; 2. 山西省新型工业总线工程技术研究中心, 太原 030051)

**摘要:** 现场总线正处于新旧交替的关键时期, 用户需求的发展对已有现场总线提出了更高的要求, 新通讯技术的进步为新型现场总线的研发也提供了支撑; 文章以总线技术发展为主线, 结合军工应用背景, 重新分类梳理了测量总线和控制总线的技术特点; 通过标准之争剖析了现场总线在工业生产中的重要地位和作用; 分析了国内仪器总线、现场总线的应用、研发情况; 分析了军用现场总线的应用特点和应用需求; 最后阐述了自主研发军用现场总线需要考虑的因素, 展望了下一代军用现场总线可能达到的指标。

**关键词:** 现场总线; 自动化; 网络; 军工; 工业控制

## Tendency and Future of Fieldbus Technology in Military Industry

Liu Wenyi<sup>1,2</sup>

(1. School of Instrument and electronics, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Shanxi Engineering Research Center for New Industrial Bus, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The fieldbus technology is now at the key moment changing from the old to the new. The development of the customer demand has put forward the higher request to the existing fieldbus and the progress of the new communication technology has also provided the powerful support for the development of new fieldbus. Based on the introduce of the development of bus technology and unified the martial application background, this paper combs the technical characteristics of measurement bus and control bus. Through the analysis of the debate on those fieldbus standards, the importance and function of the fieldbus in the industrial production has been analyzed. The domestic research and development situation about instrument bus and fieldbus has also been analyzed. After analyzing the application characteristics and application requirements about military fieldbus, this paper expounds the factors that must be considered in the independent research and development in the field of military fieldbus. Finally it forecasts the possible metrics of next generation military Fieldbus.

**Keywords:** fieldbus; automation; network; military; industrial control

## 0 前言

目前, 电子设备已经成为各行各业重要的生产、管理工具, 也深度融入人们的生活, 成为每个人日常生活娱乐不可缺少的设备。现在国家在引领和提倡很多新的技术发展领域, 比如说人工智能、“互联网+”、物联网、大数据、智能制造、云计算等等, 这些技术必将在不久的未来成为国家经济、国防安全最重要的技术支撑。通常情况下, 谈到这些技术的时候, 人们想到的首先会是服务器、路由器、智能手机、工业化机器人等等——把它定位在一个设备上, 而忽略了把这些设备连接在一起的数据传输介质。事实上数据的传输环节, 在整个电路与系统中起到了一个最底层最基本的作用, 它就跟人类生活在自然界中与水和空气的关系相似, 因为它太常见了, 所以反而把它忽略了。本文就是针对电路与系统中的水和空气, 从它发展的历史、当

前的现状和未来的发展方向来综述这一容易被忽略其重要性的技术——设备的总线互联技术。

## 1 总线的分类和特性

### 1.1 总线的定义

系统中总线的定义是: 计算机/智能仪器/自动测试系统内部、或者相互之间传递信息的公共通信干线, 是计算机/智能仪器/自动测试系统重要的组成部分, 其性能在计算机或自动测试系统中具有举足轻重的作用。总线有两个特点, (1) 部件与部件之间共享通讯线路; (2) 所有在线设备均可以相互“通讯”访问。总线技术的存在, 大大简化了整个系统的结构, 增加了系统的兼容性、开放性、灵活性、可靠性以及可维护性。

### 1.2 总线的分类

通常从计算机系统角度分类, 总线分为内部总线、系统总线和外部总线。此处的计算机是广义的概念, 包含单片机等各类处理器、FPGA、SOC。

1) 内部总线是各外围芯片与处理器之间的总线, 用于芯片一级的互连;

2) 系统总线是各扩展板与系统板之间的总线, 用于板一级的互连;

收稿日期: 2018-04-25; 修回日期: 2018-05-25。

基金项目: 山西省“1331工程”工程研究中心建设计划。

作者简介: 刘文怡(1970-)男, 山西岚县人, 博士研究生毕业, 教授, 中北大学仪器与电子学院副院长, 主要从事测试、军工现场总线技术等方向的研究。

3) 外部总线则是计算机和外部设备之间的总线。计算机作为一种设备, 通过该总线和其它设备进行信息与数据交换, 它用于设备一级的互连。

目前的计算机结构中, CPU 与外部芯片、模块通过总线来完成数据交换, 管理总线的芯片组习惯上分为北桥和南桥。北桥靠近 CPU, 被用来处理高速信号, 比如 RAM (内存)、AGP 端口、和南桥芯片之间的通信, 是典型的内部总线。南桥通过北桥与 CPU 通信, 用来连接处理大量速度相对较低的 I/O 接口和外设, 比如 PCI、SATA 等, 是典型的系统总线。串口、USB、以太网用于外部设备间的连接, 原则上分类为外部总线, 但是它们的接口在计算机内部通过南桥来工作。

以下是一些常见的按照以上分类整理的总线。

内部总线: 数据、地址、控制总线、AGP、I<sup>2</sup>C、SPI;

系统总线: (ISA、EISA、VESA)、PCI、PCI-E、CP-CI;

外部总线: RS232、RS485、IEEE1394、USB、SATA、SCSI、LVDS、LXI、以太网;

工业系统总线: IEEE488 (GPIB)、VME、PC104、VXI、PXI、CPCI、VPX;

现场总线: HART、CAN、FF、ProfiBus……;

特殊总线: IEEE1451 (TEDS, 智能传感器互联标准)。

此外随着大规模集成电路的发展, 芯片集成能力越来越强, 很多总线接口被直接集成到处理器中, 内部总线、系统总线和外部总线的概念出现一些模糊, 以计算机结构为基础的总线分类不再清晰, 比如 PCI 演变成 PCI-Express 后, 为了提高处理速度, 一般都把他集成到了北桥; 又比如为了增强性能, 现在的单片机上也直接集成了大量外设接口, 比如 IIC、CAN、USB; AGP 总线因其特殊性, 往往在概念上徘徊于内部总线和系统总线之间。

### 1.3 仪器总线与现场总线

在前一节的分类中, 出现了三类特殊的分类: 工业系统总线、现场总线、特殊总线。它们本质上仍然属于系统总线和外部总线, 只是这些总线经过专门的设计优化和功能增强, 成为能够适应和满足工业应用需求的专用总线。工业系统总线最具代表性的是当前得到大量应用的 PXI、CPCI, 主要应用领域是工业测量仪器和数据处理; 现场总线是一类网络化的外部总线, 往往具有较高的实时性和可靠性, 用于工业现场控制或分布式测量仪表; 而 TEDS 严格地说不是一种总线, 但是它完整地定义了一套网络化数据传输的软硬件接口标准, 也完全可以按外部总线来对待。

目前总线技术的两大工业应用领域分别是工业控制与仪器仪表。

仪器总线是随着计算机技术的发展, 业界将仪器技术与计算机技术相结合而产生的, 这种结合最早有三种结合方式, 第一种是将处理器内置到仪器中, 形成具有一定分析处理能力的仪器; 第二种是将计算机和仪器用特定的外部总线连接起来, 仪器仅作为数据采集的硬件, 数据被上

传到计算机, 由计算机存储和处理; 第三种方式是把仪器做成板卡, 连接到计算机的系统总线。三者都是利用了计算机强大的计算和处理能力, 这种结合产生的仪器叫智能仪器。而用以在计算机和仪器部件间传递数据的总线就叫仪器总线, 如 GPIB、PXI。

近三十多年来, 仪器技术的发展重点在仪器的模块化、模块的通用化、功能的软件化, 这三种技术的深度结合就产生了一种柔性的可高度重定义功能的通用仪器, 这就是虚拟仪器。虚拟仪器使用的总线也叫仪器总线。

区别于一般系统总线, 仪器总线除了基本的数据传输——传送地址、数据、控制信号外, 还要传送测量所需要的触发信号、时钟信号、识别信号等。其中最重要的是板卡间的高精度同步信号, 同步触发是实现多核心协同处理任务的必要机制。

仪器总线未来的发展仍然是 3 种模式: (1) 仪器设计成板卡嵌入到计算机, 比如常用的工控机, 因为可靠性较低, 面临市场缩减; (2) 计算机和仪器都设计成板卡公用一套总线, 比如 PXI, 目前得到大面积推广, 但价格昂贵; (3) 计算机嵌入模块, 模块嵌入到被测设备, 以网络形式进行分布式协同测试, 如 LXI。

工业现场测量领域, 大量的仪表广泛地分布在生产现场各个区域, 这些仪表有些功能较弱, 仅作为传感器来使用; 但也有一些具有较为复杂的处理能力。这些仪表产生的信号或数据需要汇集到中控系统中再集中处理; 此外, 还有大量执行器分布在生产现场, 它们需要来自中控系统的指令从而同步地相互协作与配合, 完成较为复杂的生产。为此, 工业界研制了很多网络化外部总线来满足以上需求, 用于仪表数据收集的就叫仪表总线, 而用于现场控制的叫工业控制总线, 二者合称现场总线。

根据国际电工委员会 IEC1158 定义, 现场总线是“安装在生产过程区域的现场设备/仪表与控制室内的自动控制装置/系统之间的一种串行、数字式、多点通信的数据总线”。从现场总线与仪器总线的定义和背景需求可以看出, 二者间有着明显的不同:

1) 仪器总线追求大数据量传输与存储, 追求高速和复杂的分析处理能力;

2) 现场总线带宽有限, 能传输的数据量小, 但追求高可靠性、实时性;

3) 二者出发点、目的、背景有显著的不同;

4) 仪器总线存在于仪器内部, 主要采用大规模并行总线; 而现场总线分布式存在于一个较大的空间区域, 主要采用串行通讯。

## 2 现场总线的重要地位及发展现状

### 2.1 现场总线网络和控制系统的

总线是多个节点共享的数据传输通道, 所以总线本质上就是网络。常用的网络拓扑有环型、总线型、星型、树型结构。

20 世纪七八十年代以来, 随着计算机在工业控制领域

的应用推广, 业界出现了由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机系统, 综合了计算机(Computer)、通讯(Communication)、显示(CRT)和控制(Control)等4C技术的分布式控制系统(DCS, Distributed Control System), 其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活、组态方便。

20世纪九十年代开始, 逐渐产生了现场总线控制系统(FCS, Fieldbus Control System)。它是一种全分布式系统架构, 采用了基于开放式、标准化的现场总线通信技术, 将控制功能下放到现场智能设备完成, 包括数据采集、数据处理、控制运算和数据输出等功能, 所有数据和指令通过双向现场总线传输, 实现信息资源共享<sup>[1]</sup>。

目前市场上大部分采用过渡性的DCS和FCS相结合的混合控制系统形式。

## 2.2 现场总线的优点

使用现场总线的实际的好处就是可以全方位诊断设备问题, 节省维修费用, 提供更丰富的管理信息, 允许在设备级水平控制和使用智能设备<sup>[2]</sup>。某原油公司曾做了一个统计, 在使用现场总线后在以下几个方面得到了巨大的改善<sup>[3]</sup>: (1) 与传统的布线方式相比, 可以减少98%的电缆; (2) 在控制室里, 空出大约三分之二的空间, 这些空间以前因为传统的技术而被控制柜占据着。(3) 现场检查和质量保障时间减少了83%。改进后安装一个发射器的时间只需要20多分钟, 而使用非现场总线技术则会需要2个小时。(4) 采用现场总线后, 主系统的配置工具提高了效率, 当增加油井时, 减少了92%的制图时间。

## 2.3 现场总线标准的发展极其在测控领域的重要地位和作用

制定行业标准对影响市场和产业布局具有重要意义, 国际电工委员会极为重视现场总线标准的制定。

1984年, 成立IEC/TC65/SC65C/WG6工作组, 由17个国家的代表组成, 开始起草IEC61158现场总线国际标准;

1993年, IEC61158-2现场总线物理层规范;

1998年, IEC61158-3和IEC61158-4链路服务定义和协议规范(FDIS);

1997年, IEC61158-5和IEC61158-6应用层服务定义和协议规范(FDIS);

1999年6月15日提交给IEC执委会裁决, 对IEC61158技术报告进行了全面的修改, 原来的IEC技术报告作为Type1, 其它总线遵照IEC原技术报告格式作为Type2~Type8。

最新版本为IEC61158-6-20(2007年发布), 总共有20种现场总线加入该标准。

目前世界上存在着大约四十余种现场总线, 例如: 德国西门子公司Siemens的ProfiBus; 国际标准组织-基金会现场总线(FF, Fieldbus Foundation); Rosemour公司的HART; 法国的FIP; PeterHans公司的F-Mux; 挪威的FINT; Echelon公司的LONWorks; 英国的ERAP; henix-Contact公司的InterBus; 丹麦ProcessData公司的P-net;

CarloGarazzi公司的Dupline; RoberBosch公司的CAN; ASI(Actratur Sensor Interface); MODBus; SDS; Arcnet; WorldFIP; BitBus; 美国的DeviceNet与ControlNet等等<sup>[4]</sup>。

这些现场总线中, 大部分的市场被少数几种总线占有<sup>[5]</sup>。据ARC Advisory Group咨询集团表示, Foundation现场总线是现在的“主流”, 在过程工业中持有68%的市场份额。在过程控制系统中, 市场由FOUNDATION现场总线和PROFIBUS PA主导。一般而言, 由PLC(可编程逻辑控制器)控制和监控的应用趋向于PROFIBUS, 由DCS控制和监视的应用更趋向基金会现场总线。此外, HSE是发展最快的总线。

通常情况下, 很少有一个工业标准会吸引全球这么多的巨型企业和组织参与制定, 很少有一个标准在制定出来后仍然包含这么多种子类型(Type)! 而且这些子类型的扩充脚步到目前还看不到停止的迹象。正是因为经常容易被人们忽略的现场总线实际上有着釜底抽薪的作用, 往往反过来会影响和决定设备的选用, 所以小小的现场总线其实隐藏着远大于工业设备本身的影响力和决策力。这也成为国际上巨型企业不惜任何代价纷争的诱因。下面是我们经常见到的一些竞争方式。

1) 拉帮结派: 大多数的现场总线都有一个或几个大型跨国公司为背景并成立相应的国际组织, 力图扩大自己的影响并得到更多的市场份额<sup>[6]</sup>。比如PROFIBUS以Siemens公司为主要支持, 并成立了PROFIBUS国际用户组织; 而WorldFIP以Alstom公司为主要后台, 成立了WorldFIP国际用户组织;

2) 农村包围城市: 很多新生的总线为了得到IEC的承认, 往往先在多个国家和地区推广扩大影响力, 得到地方支持, 形成事实标准, 倒逼国际标准;

3) 倒逼厂商: 配合设备制造商的市场推广, 影响或胁迫制造商, 使之为了扩大自己产品的适用范围, 同时参与支持多个总线组织, 提高设备产品兼容性;

4) 以退为进: 由于竞争激烈, 很多重要总线企业都同时开发各类接口适配技术, 使自己的总线能和其它总线方便桥接兼容, 实现一个系统中多种总线彼此协调共存。

CC-Link的发展很好地印证了这一现象。CC-Link是Control & Communication Link(控制与通信链路系统)的缩写, 在1996年11月, 由三菱电机为主导的多家公司推出, 其增长势头迅猛, 在亚洲占有较大份额, 目前在欧洲和北美发展迅速<sup>[7]</sup>。2005年7月CC-Link被中国国家标准委员会批准为中国国家标准指导性技术文件。类似的大量区域性的支持使得2007年该技术成为IEC61158和IEC61784标准的一部分。反过来, 挟国际标准之力, 2017年4月, CC-Link IE正式成为了中国工业通信网络推荐性国家标准。

总结以上内容不难看到, 现场总线是下一代智能制造、物联网的基石, 在全球工业化发展浪潮中必将占有越来越

重要的地位,预计到 2022 年,全世界工业通讯市场将达到 130.33 亿美元<sup>[8]</sup>。相较设备标准之争,总线有釜底抽薪的作用。它在减少系统线缆,简化系统安装、维护和管理,降低系统的投资和运行成本,增强系统性能等方面有着重要作用。高速现场总线的设计、开发势成竞争焦点<sup>[9-10]</sup>。

### 3 国内测控领域总线研发与应用现状

#### 3.1 国内仪器总线应用情况

到目前为止,国内市场上没有自主知识产权的仪器总线。应用上主要是跟随国际趋势,针对一些已经得到普及的技术进行大规模的应用开发。当前出货量最大的总线产品是基于 PXI、CPCI 总线标准的模块,因为这些模块的设计和生产技术目前已经在国内得到普及,大量公司可以自行研发各类不同用途的新型模块,也能利用各类模块集成各类用途的大型测试系统。在军用仪器总线方面,军工领域与工业领域没有显著区别。

关于仪器总线下一步的走向,随着网络化发展趋势,分布式测量将成为方向,目前世界范围内一致看好的是 2005 年安捷伦等公司联合推出的 LXI 总线,该总线的底层是基于以太网的,应用上具有较大的优势。另外,随着测量数据的急剧膨胀,业界对高速数据传输和存储的技术需求也迅速增大,VITA 组织于 2007 年在其 VME 总线的基础上推出了新一代高速串行总线标准 VPX,基于 RapidIO、PCI-Express 和万兆以太网等高速串行协议,目前可以支持 8GByte/s 的背板带宽。

#### 3.2 国内现场总线的应用情况

2016 年受到投资放缓和国际需求下滑的影响,整个自动化市场遭遇寒冬,工业现场总线市场出现了负增长的情况。由于传统行业低迷,未来几年工业现场总线市场也将是处于一个平稳低增长率的阶段<sup>[11]</sup>。

与欧美发达国家相比,中国的工业通讯技术一直处于引进和应用的状态,至今没有一种被全球广泛认可并广泛采用的自主知识产权的现场总线标准。后文介绍到的 EPA (Ethernet for Plant Automation) 是浙江中控联合近十家单位研发的基于以太网的现场总线标准,被列入现场总线国际标准 IEC 61158 (第四版) 中的第十四类型,但是与其它种类的工业以太网标准一样,受以太网本身架构的局限,在某些技术参数上的不足一直得不到彻底的解决<sup>[12]</sup>。虽然中国在现场总线协议开发方面进展缓慢,但是在应用方面发展非常迅速。最早在现场总线运用主要来自引进的先进生产线,主要在汽车、冶金、电子制造、烟草等行业。曾有作者自豪地撰文指出,“相对其它自动化产品,中国在现场总线运用方面起点较高,国际上最主要的现场总线技术都可以在中国找到使用的案例目前世界上最大的两个流程行业现场总线项目都在中国<sup>[13]</sup>”。“因为看好中国潜力巨大的现场总线市场,各个主要的现场总线组织都在中国建立了分支机构。可以认为,在现场总线运用方面中国保持了与国际同步的水平<sup>[14]</sup>。”这种建立在别人技术上的“浮华”实在令人扼腕。

与民用领域高速成长的应用市场相比,军工行业领域内现场总线的应用情况落差极大。下面简单介绍一下部分行业的总线应用情况。

航空领域,国内航电系统最常用的单向总线设计的依据是“ARINC429 规范 MARK33 数字式信息传输系统”。苏-33 采用的还是老式 ARINC429 单向低速数据总线的分立式航电系统,只能交联火控系统和导航系统。90 年代初,中国开始大量采用基于 MIL-STD-1553B 双向数据总线的联合式航电系统;在某型战斗机上还采用了加入光纤高速数据总线的综合式航电系统,可以实现火控、导航、飞控三种不同功能电子系统的交联;据报道国内最新研发的 C919 的航电系统使用了目前最先进的 ARINC664 (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet, AFDX) 网络集成技术。ARINC664 网络是一种航空总线通信协议。相比于之前被广泛应用但带宽有限的老版本网络,ARINC664 最大的好处就是带宽高且资源共享。国际上只有 B787、A380 等较新机型采用这种技术。目前国外新型的商业和军用航空航天项目中的电子系统逐渐推广的总线还有 SpaceWire 和 Time-triggered Ethernet (TTE)。新一代总线技术相比于传统的总线可以提供更高带宽、更高可靠性和低延迟性。

航天领域,总线化程度非常低。为了最大化降低技术状态改变带来的潜在风险,航天型号更注重成熟技术的沿用,所以一些新技术的应用相对滞后。当前相当多的型号并没有采用总线,仍然采用原始的点对点传递模式;部分产品的控制系统或测量系统采用了现场总线,使用最多的是 1553B 总线和 CAN 总线;天舟一号的数管分系统采用了 1553B 总线<sup>[15]</sup>;又比如实践 5 号卫星也采用了 1553B 总线<sup>[16]</sup>。

船舶领域,中国几乎所有船舶设计制造企业,采用的船舶自动化网络系统基本上是 CANBUS, PROFIBUS 两者为主,此外在电站自动化信号处理方面大多数采用 MODBUS 通讯协议进行通讯,没有形成一个统一的标准。比如上海船舶运输研究所开发的 STI2VC2 船舶机舱监控系统就自行采用了 LonWorks 总线。也有文献认为,DeviceNet 现场总线是基于 CAN 的一种低成本通信链接,具有全数字化通信、抗干扰能力强、测量及控制精度高等优点,能够适应船舶机舱复杂的现场环境,将它应用于机舱监控系统是船舶机舱自动化发展的主流方向<sup>[17]</sup>。

铁路交通,目前国内还没有形成成熟的高速列车网络控制系统,采用的控制网络也没有一致性,一般都采用 485 总线、CAN 总线、以及 MVB 作为车辆总线等,列车总线采用 WTB 总线、FSK 协议。引进的高速动车组 CRH1、CRH3、CRH5 采用的核心网络都是 TCN 网络,CRH2 采用是 ARCNET 网络<sup>[18,19]</sup>。

#### 3.3 国内现场总线的研发情况

1) 国内具有自主知识产权的现场总线研发只有几种,见诸报道的有 EPA、NCUC-BUS、GSK-link、Shark-Bus。

EPA 是浙江大学、浙江中控等单位研发的一套基于高速以太网的系统结构与通信规范, 主要用于工业生产自动化领域。主要包含一套协议标准, 但是由于以太网先天的协议限制, 在确定性、实时性、同步性方面存在一些瓶颈<sup>[20-21]</sup>。

NCUC-BUS 是由数控系统现场总线技术联盟 (NC Union of China Field Bus) 于 2010 年左右推出的面向数控系统应用的现场总线规范, 主要用于数控加工设备领域, 已在部分行业产品中得到了一定的推广和应用。GSK-Link 是广州数控自主开发的现场总线, 主要应用领域也是面向数控加工<sup>[22-24]</sup>。

SharkBus (沙克总线) 是由山西省新型工业总线工程技术研究中心 (中北大学) 研发的新一代网络总线, 全称有限级联自动重构网络总线, 提供网络路由器及终端接口模块, 主要面向高精度军用测控领域, 可用于弹箭、车辆、船舶等场合的离散控制、过程控制、运动控制以及复杂测量。

2) 国内基于芯片级的研发主要处在仿制阶段, 目前没有自主创新的产品。见诸报道的有沈阳中科博微开发出的国内第一个、国际第三个通过国际认证的 FF H1 现场总线协议栈, 国内第一套工业以太网协议 (HSE); 另有成都恩菲特、东方泰佳等部分企业自行研发了针对 MIL-STD-1553B 协议 IP 核, 及其仿真测试板卡。

3) 国内基于设备级的现场总线产品研发已经基本没有什么较大的技术障碍, 但是由于国内没有自主知识产权的现场总线接口芯片, 核心总线接口芯片全部采用国外的技术标准, 且产品质量参差不齐, 企业各自为战, 没有形成较大的市场影响力。

## 4 军用现场总线的应用需求

### 4.1 军用现场总线的应用特点

一般的工业生产自动化现场都分布在一个较大的区域, 网络节点有的地方密集, 有的地方离散, 但是一旦布设好, 整个网络是静态的, 较长时期内不会改变。这种物理拓扑需求直接影响选用总线的参数。与之相比, 军用现场总线更多地应用在一个相对独立和密闭的空间内, 比如航天器、坦克车辆、飞机等场合。这些场合一个显著的应用需求就是能够在高动态、高冲击、强烈变化的环境温度、噪声条件下保证可靠性。在一些多节点协同完成任务的场合, 尤其是采用无线网络的情况下, 整个网络的拓扑都可能是动态变化的。随着军事信息化发展趋势, 将本来为工业现场设计的通信总线与高动态军用场合相结合, 二者应用背景的巨大差距就对现有总线提出了许多新的技术要求, 所以未来军用领域对现场总线的需求具有其特殊性, 对这些新兴技术需求的研究会产生许多革命性的成果。

### 4.2 不同装备场合的应用需求

通过各类技术发展的状况可以分析出, 未来军用领域在以下装备场合会对总线和网络提出挑战:

#### 4.2.1 战场快速机动组网

这是战场信息化发展的首要需求。未来战场是海陆空

天一体化作战, 参与战斗的主角大都是机动单元。战场信息, 瞬息万变。随着战场态势的动态演变, 各节点间快速组网, 快速脱离, 整个网络必须是快速变化的。

#### 4.2.2 多节点协同攻击

这是未来战场网络化以后必然的需求。多个节点可能是特种兵、车辆、机群, 甚至是导弹。最大的特点就是极速互联, 协同工作。网络拓扑不断变化, 在节点进入可组网范围时快速组网并完成信息的可靠交互, 交互结束, 短时间内可能就会再次脱离网络。

#### 4.2.3 航天器

航天器单体内部可以看成是一个密集型监控布点的工业现场, 比如某大型火箭的全箭测量系统设备总数近千台。采用箭载总线可以有效降低电缆重量, 改变设备连接的拓扑结构, 改善测试性, 适应测量系统数据量极速膨胀、实时性可靠性要求极高的需求。航天弹、箭、星的总线化、集成化是必然趋势。

#### 4.2.4 航空器

与航天器相比, 航空器是总线使用最为成熟的领域。但是随着技术的发展, 航空总线发展较快。民用方面, 机上娱乐音视频需求强劲, 军用机或现在快速发展的无人机方面, 测控数据量增加迅猛, 都对现场总线带宽、可靠性提出了更高要求, 亟待扩展提高总线性能。

#### 4.2.5 军用车辆、舰船

民用领域车辆的总线应用已经普及, 但军用领域未来的需求远超民用。主要体现在随着信息化的发展, 多媒体信息、本体状态监控、集群化协同作战对总线的需求更加迫切。利用总线能够大幅度降低车辆、船舶故障率, 提高维修性和故障检测能力。

#### 4.2.6 智能化单兵系统

未来智能化单兵系统要求战士单体即装备近百种传感、测控装置和模块, 单体之间具备网络化协同作战能力, 使用总线无疑能够有效减轻战士负重, 降低单兵系统复杂性, 提高可靠性和可维修性。

#### 4.2.7 军工车间生产线

生产制造业是现场总线的发源地, 据 McKinsey (麦肯锡公司) 的最新报告<sup>[25]</sup>, 未来各行各业都会受到智能制造的冲击: 59% 的制造业活动都可以被全自动化; 90% 的电焊切割工作能够被机器人替代; 73% 的食品业/膳宿业工作能够全自动化, 大量使用机器人; 53% 的零售业工作适合自动化; 86% 的会计、审计员可能被机器人替代。军事工业生产制造同样是工业总线的重要应用领域。而显而易见, 现场总线是支撑以上自动化的基础技术之一。

### 4.3 测控总线与现场总线的融合趋势

当前, 技术发展和用户需求的演变有以下 3 个趋势:

1) 随着声音、视频、图像等高码率测量的需求, 用户希望把现场越来越多的信息上传到控制中心;

2) 随着通信技术的发展, 有线无线信道的传输速度、带宽、距离、可靠性得到大幅度提高;

3) 随着大规模集成电路、片上系统、嵌入式系统、智能前端的发展计算机通信技术越来越向下延伸。

在以上发展趋势影响下, 仪器总线也越来越多地提供了实时和同步性能, 向分布式发展, 并大量应用在一些测控共存的场合。而现场总线也在逐渐提高带宽, 兼顾部分较大的测量数据的传输。测控总线与现场总线相向发展, 呈现出融合的趋势。

## 5 新一代军用现场总线发展方向

### 5.1 自主研发的重要性

前沿技术的推广具有以下规律: 在技术欠发达的地区, 越是开放的技术, 越难以突破——不是技术问题, 而是意识和能力问题, 这也是很多国家在某些领域实施技术保护的原因。在世界范围内, 一项创新性技术标准的市场发展要经过培育期、寡益期、泛益期、苟延期。在高科技领域, 国外就是通过不断更新标准来保证其技术领先我们数十年。这四种时期的阐述如下。

**培育期:** 少数企业和联盟依据当时技术水平制定规则, 并宣传推广;

**寡益期:** 具有一定市场影响后, 少数企业生产产品, 赚取高额利润;

**泛益期:** 大众企业跟踪该技术并获得突破, 分享微薄利润;

**苟延期:** 底层技术过时, 等待新的技术标准产生。

在近三十年测控总线和现场总线的发展及市场化运作上看, 国内没有原创性标准, 大量的人力财力物力都用于跟踪国外技术, 因为对新技术需求强劲, 在寡益期大量购入别人的产品, 等到自身掌握了该技术, 已经到了泛益期, 当国内开始大量生产该产品时, 国外已经又培育出了下一代技术。因为底层技术在不停地进步! 这一现象告诉我们, 原创性的具有自主知识产权的技术一定要在旧的技术即将进入泛益期前就开始下功夫研发, 这样才能从时间上不落后于别人。现场总线目前就正好处于一个新旧交替的时期。

总线在工业生产领域的地位越来越重要, 表现为以下几点: (1) 总线可以决定系统性能; (2) 总线可以影响用户选择设备; (3) 总线可以大幅度优化系统整体性能; (4) 基于总线可提供全系统设备的集中测试; (5) 应用上用户对总线的掌握程度可能会影响整个系统的性能。

一种新型工业总线的诞生, 会从多个方面影响和带动相关产业的发展, 这些方面包括制定标准、接口芯片研发、相关应用系统研发、相关软件开发等, 推广较好的产品会对该领域的产业布局带来深刻影响。所以, 抓住时机, 自主研发现场总线是非常重要的。

### 5.2 研发下一代总线必须考虑的附加因素

影响一种工业总线市场推广的主要因素是什么呢? Fieldbus Foundation 官网 04 年以来以每年 2 期的速度推出一款名为《Fieldbus Report》的刊物, 2015 年以来改成了《Control》的补充刊物。该刊物不定期地给出一些相关现场总线的发展和市场情况。在 2016 年秋季的期刊中, 给出了

北美 156 家企业单位对现场总线的应用情况的问卷调查。其中问到“设备集成面临的最大挑战是什么”时, 被调查单位的答复非常值得思考。

从表 1 中可以看出, 除因素 3、4、7 是现有设备和客户资金限制因素外, 其余因素 1、2、5、6、8 都指向一个共同的原因——用户使用的准入门槛太高! 在新一代现场总线研发方案的设计上, 要特别对本因素加以关注。

表 1 影响用户选用现场总线的因素调查<sup>[26]</sup>

序号	影响用户使用的因素	占比
1	培训与教育	64%
2	处理设备驱动程序和修改	46%
3	传统平台限制协议集成	40%
4	接口设备的成本和安装	29%
5	需要精通多种协议	29%
6	工具/访问权限/可用性	25%
7	可用网络选项不满足需求	14%
8	用户界面使用困难或有风险	13%
9	其它	10%

鉴于目前国内没有具有竞争力的产品出现, 在跟踪使用国外产品的同时, 根据底层技术和未来应用需求的发展, 研发新一代现场总线必须考虑以下因素: (1) 面向未来数十年, 为未来储备指标; (2) 兼容多种物理介质, 核心性能指标不能受外围因素变化影响; (3) 弱化底层技术的时效性, 延长产品生命期; (4) 尊重用户体验, 降低用户门槛。

### 5.3 下一代现场总线军事应用指标和功能预期

以上是现有现场总线的一些基本指标的对比。主要可以参考总线带宽和节点容量。传输距离在过去也是非常重要的指标, 但是随着光缆技术的进步, 价格低廉的光缆在远程数据传输时逐渐凸显出其传输优势, 已经基本完全取代了电缆。

综合以上对各种应用场合的未来发展需求, 结合当前底层支撑技术发展水平, 可以大致描绘出未来十到二十年军用总线的指标和功能需求。

下一代军用总线功能预期: (1) 自动重构; (2) 快速组网; (3) 用户接口简单; (4) 自我保障健壮性; (5) 协议效率优化; (6) 协议兼容性强; (7) 对传输介质不敏感; (8) 接口自适应能力, 易与现有系统拼接; (9) 局部负载自动均衡能力; (10) 不确定性低; (11) 互操作性高; (12) 分散性高; (13) 易测; (14) 异构网桥接能力; (15) 满足多种应用背景。

下一代总线必须考虑的可靠性措施和性能: (1) 校验方式; (2) 包冗余或通道冗余; (3) 测控数据分离或混合传输能力; (4) 调度优先级; (5) 安全性; (6) 抗毁性; (7) 可恢复性; (8) 可维护性; (9) 是否需要主控节点; (10) 握手与重发机制; (11) 信息编码方式; (12) 误码处理机制; (13) 非法指令检测与处理机制; (14) 数据缓冲与延时。

表 2 当前常用现场总线主要性能指标<sup>[27]</sup>

总线协议	最大速率	最大距离	100 米速率	发布时间	节点数
RS422 *	10Mbps	1200 米/100kbps	1Mbps		10
RS485 *	10Mbps	1200 米/100kbps	1Mbps	1983 年	32
CAN *	1Mbps/40 米	10000 米/5kbps	—	1986 年	110
1553B * /1773	1Mbps/20Mbps	100 米(扩展)/—	—	1973 年	31
TTE	1000Mbps	100 米		1998 年	
ARINC664/AFDX * *	100Mbps	100 米			
ARINC429 * *	100kbps	>100 米		1977 年	20
ARINC629 * *	2Mbps			1985 年	120
SpaceWire	400Mbps	10 米		2000 年	PtoP
Ethernet/IP * * *	100/1000Mbps	100 米	—		
ControlNet	5Mbps	6000 米	—	1997 年	99
LonWorks	1.25Mbps	2700 米/78kbps	—		127
EIB	9.6kbps	1000 米		1990 年	64
Interbus	500kbps	1200 米	500kbps	1984 年	
Profibus * * *	12Mbps/100 米	1200 米/9.6kbps	12Mbps	1991 年	32
FF HSE * * *	2.5Mbps	1900 米/31.25kbps			
HART * * *	1.2kbps	1500 米		1986 年	16
Profinet	100Mbps	100 米			
P-net	76.8kbps	1200 米	76.8kbps	1983 年	125
CC_Link	10Mbps	1200 米	10Mbps	1996 年	
DeviceNet	500kbps/100 米	500 米/125kbps	500kbps		

注：\* 当前在航天火箭上大量使用的数据传输方式；

\* \* 航空领域正在使用或正在推广的总线；

\* \* \* 工业生产领域得到广泛应用的总线。

表 3 下一代军用总线基本指标范围预期

序号	指标项	指标预期	序号	指标项	指标预期
1	带宽/波特率	Gbps	4	同步时间	ms
2	节点容量	1 万~数万	5	重构时间	s~ms
3	同步精度	$\mu\text{s}\sim\text{ns}$	6	实时性/响应/巡回	$\mu\text{s}\sim\text{ns}$

目前，国内研制的沙克总线是针对车载、弹载、机载高动态应用现场需求，采用 LVDS 底层技术，具备强实时动态网络重构能力，具有自动路由、自适应双通道冗余、强制命令优先、接口码率自适应、自动负载均衡、高精度时间同步等特点。网络对用户透明，能够针对应用现场快速构架通讯链路，为实现多兵种、多单位快速协同作战提供通用技术支撑。

## 6 结尾语

本文重点针对军用领域现场总线应用需求背景，结合仪器总线对国内外现场总线的研发与应用现状进行了较为全面的综述。通过用户需求和支撑技术的发展研究，提出了两种总线相向发展的趋势。并对军用领域现场总线的应用特点、应用需求、下一代现场总线的指标和功能需求进

行了分析。

现场总线是下一代智能制造、物联网的基石，在全球工业化发展浪潮中必将占有越来越重要的地位。军用领域现场总线的发展非常缓慢，国外已经得到应用的也为数不多。主要原因是一种新型总线从培育到成熟需要大量的研究与应用验证。但是随着军队信息化的发展，对总线的使用成为必然的趋势。受到底层技术过时的影响，现有总线大都难以适应未来军用需求，世界范围内正在酝酿研发下一代高速、可靠、具有广泛适应性或特定应用特性的新型总线。在这种背景下，踏踏实实自主研发属于自己的新型总线无疑是具有重大战略眼光和战略布局的行动，可以为未来军用总线和工业控制总线的大面积普及应用奠定重要基石。

### 参考文献：

- [1] 冉全. 工业以太控制网络的系统设计和网络管理 [D]. 武汉：华中师范大学，2002.
- [2] Anonymous. Research and Markets; Frost & Sullivan: European Fieldbus Market — Real-time Data Demand Boosts Fieldbus Adoption in European Process Industries [J]. Biotech Business Week, 2009.

(下转第 20 页)