

现场总线与列车通信网络

谢维达 赵亚辉 徐晓松 同济大学电气工程系(200331)

Abstract

This paper analyzes and compares MVB&WTB which were figured by TCN to some fieldbuses on technical specification of application field. It was used for reference to selection of Train Communication Network on board.

Keywords: field bus, MVB, WTB, train communication, network

摘要

本文从应用的角度出发,将TCN标准所定义的WTB和MVB与一些常用的现场总线在技术性能上进行了分析和比较。为列车通信网络的应用选择提供参考。

关键词: 现场总线,多功能车厢总线,绞线式列车总线,列车通信,网络

列车通信网络(包括地铁列车、城市轻轨列车上的通信网络)是面向控制的一种连接车载设备的数据通信系统,是分布式列车控制系统的核心组成部分。铁路列车以及地铁、城市轻轨列车对标准车载数据通信系统的需求也可以看作是整个工业界对标准的现场设备数据通信系统需求的一个缩影。

正如 IEC61158 现场总线标准一样,IEC 联合

UIC 经过十年的工作制定了一个用于规范车载设备数据通信的标准 IEC61375-1——列车通信网络标准即 TCN 标准。TCN 将列车通信网络分成用于连接各节可动态编组的车辆的列车级通信网络 WTB 和用于连接车辆内固定设备的车辆通信网络 MVB。从某种程度上来看,WTB 和 MVB 也可以被认为是应用于列车上的现场总线标准,它们都从现场总线技术的

表 1 Ethernet 和现场总线的市场趋势

Fieldbus	1999(%/)	2003(%/)	2006(%/)
Profibus	18	19	19
D/C Net	16	17	18
Modbus	15	16	17
Ethernet	13	18	23
FF	3	6	9
Others	35	24	14
TOTAL	100	100	100

Key: Profibus=DP, FMS, PA, AS-I (Siemens)

D/C Net=DeviceNet, ControlNet, Remote I/O (A-B/Rockwell)

Modbus=Modbus Plus, Modbus/TCP (Schneider)

FF=Foundation Fieldbus/WorldFIP

“过程控制领域现场总线市场变化”——资料来源: Frost&Sollivan

采用开放、免费并且无知识产权限制的技术: Ethernet、TCP/IP, 可以节约资金, 减少技术的依赖性。并有利于自主知识产权技术的开发。

减少专有网络的影响, 有利于形成公平的市场竞争环境, 有利于中国与国际接轨, 降低项目投资费用。

采用 Ethernet、TCP/IP 等开放的技术, 可以促进 WEB 自动化等更先进技术和模式在中国的应用。有利于制造业中间件软件市场的形成, 为中国参与下一波国际技术竞争创造良好的条件。

参考文献

- 1 魏庆福. 现场总线技术发展的新动向. 工业控制计算机, 2000.1
- 2 缪学勤. 现场总线技术最新进展与我们的对策. 世界仪表与自动化, 2001.5
- 3 谢凌广, 吴乃, 黄北杰. 面向制造自动化的以太网技术. 测控技术, 2001.6
- 4 施奈德电气资料: 透明工厂—开放的自动化世界

[收稿日期: 2001.9.13]

发展中汲取了丰富的营养。因此将 TCN 的 WTB 和 MVB 同其它现场总线标准进行对比研究有利于更好地理解 WTB 和 MVB。

1 比较的原则

1.1 在特定的应用范围内比较。

将应用的范围限定在列车的车载设备数据通信系统,以列车车载应用的需求作为比较的依据。不同的应用场合对数据通信系统的要求可能有很大的不同,没有一种现场总线标准可以满足所有的要求,这是导致目前有几十种现场总线的流行,以及无法制订单一的现场总线国际标准的根本原因^[1]。因此,脱离应用领域的泛泛比较是无意义的。

WTB 和 MVB 在制订的初期就有明确具体的列车级和车辆级的数据通信应用需求^[2],这些需求包括:实时的变量通信;非实时的消息通信;列车编组的自适应能力;网络的可靠性;网络的可管理性。

其它的现场总线标准也可以部分或全部地满足上述的应用需求,通过比较有利于寻求替代的或补充的标准。

1.2 把实时协议 RTP 与 WTB 和 MVB 作为一个整体

WTB 和 MVB 作为相对独立的标准,它们有各自的体系结构。WTB 只定义了物理层和链路层,而 MVB 则定义了 7 层。理论上可以在 WTB 和 MVB 上运行非 RTP 的其它协议,而 RTP 也可以作为除 WTB 和 MVB 外其它总线上的通信协议。然而 WTB 和 MVB 标准是同高层的 RTP 协议紧密联系并为之优化的。因此,应该将 WTB 和 MVB 同 RTP 作为一个整体来考察。事实上,许多现场总线标准都包含有链路层以上的高层协议内容。因此在比较中都应该整体地考察、比较。

1.3 比较仅限于在数据通信系统的技术方面

全面地比较 WTB 和 MVB 同其它现场总线标准的优劣不仅仅是技术指标的问题,还包括其它的方面如各自的经济性、开放性、受支持的程度、发展的潜力等。本文仅限于在数据通信系统的技术方面进行比较,其它方面的比较不在本文讨论的范围内。

2 列车车载数据通信中应用的几种总线

2.1 LonWorks 总线

LonWorks 是美国 Echelon 公司开发的一种通用控制网络协议,也是美国国家标准 ANSI/EIA 709.1-1998^[6]。IEEE 将 LonWorks 作为其制订的列车通信协议标准的一部分(Type L),与 TCN(Type T)共同构成 IEEE 1473^[3]。LonWorks 在美国铁路列

车上应用较为广泛,国内铁路车辆内也在尝试应用。LonWorks 使用的 LonTalk 协议实现 OSI 参考模型全部 7 层服务,并支持全面的网络管理,表 1 显示了 LonWorks 各层的作用和提供的服务。

表 1 LonWorks 体系结构

ISO/OSI 模型	作用	服务
应用层(7)	网络应用程序	标准网络变量类型;文件传输;网络服务。
表示层(6)	数据表示	网络变量;外部帧传送。
会话层(5)	远程传送控制	请求/响应;认证;网络管理;网络接口。
传输层(4)	端-端传送可靠性	端-端确认;服务类型;分组排序;重复分组检测。
网络层(3)	报文传递	寻址,路由。
数据链路层(2)	媒体访问与成帧	成帧;数据编码;CRC 校验;冲突回避/仲裁;优先级。
物理层(1)	电气连接	媒体特殊细节(如调制);收发种类;物理连接。

2.2 WorldFIP 总线

WorldFIP 是欧洲现场总线标准 EN 50170 的一部分^[6],作为通用的现场总线标准被广泛地应用于能源、化工、交通运输等工业领域。法国 ALSTOM 公司将 WorldFIP 作为标准通信协议应用于其开发的 A-GATE 列车控制系统,并成功应用于 TGV 高速列车。WorldFIP 采用 3 层结构,提供变量服务、消息服务和网络管理服务。表 2 显示了 WorldFIP 各层的作用和提供的服务。

表 2 WorldFIP 体系结构

应用层(7)	周期/非周期变量服务(MPS);	制造业消息规范了集(SubMMS);	网 络 管 理
链路层(2)	成帧;数据编码;CRC 校验;介质分配;	应用层协议规范(MCS);	
物理层(1)	双绞线;光纤;IEC1158-2;		

2.3 CAN 总线

CAN 总线最初是由德国 BOSCH 公司为汽车监控、控制电子系统的数据通信应用开发的,现已成为国际标准 ISO 11898(高速应用)和 ISO 11519(低速应用),获得了非常广泛的应用^[4]。CAN 总线在列车通信中也得到了应用。表 3 显示了 CAN 总线的体系结构。

2.4 MVB 总线和 WTB 总线

MVB 是以瑞士 Lok460 机车上创始的总线为基础,并已经在 600 辆以上的车辆使用过。MVB 可使用

双绞线或光纤介质,不同的介质可以直接通过中继器互相连接。MVB 由一个集成的总线控制器支持,它能够构成简单的设备而无须处理器。MVB 控制器在物理层提供冗余:一个设备在两个互为冗余的线路上发送,但仅从一条线路上接收,同时监视另一条线路。由于采用可靠的 Manchester 编码以及其校验的方式,因此能够达到 IEC870-5FT2 级(HD=8)的标准。

表3 CAN 总线体系结构

数据链路层(2)	物理层(1)
逻辑链路控制子层 LLC	物理信令 PLS
媒体访问控制子层 MAC	物理媒体附件 PMA
	媒体接口 MDI

WTB 以德国 DINV43322 和意大利 CD450 高速列车的数据通信经验为基础而制定的。WTB 使用专用屏蔽双绞线电缆,电缆的布置采用冗余原则,在车辆的每一侧各有一根电缆。为适应频繁改变其组成的列车组,WTB 被设计成通过手插式跨接电缆或自动连接器来实现车辆之间的互连。考虑到严酷的环境、连接器的存在以及总线的非连续性,TCN 标准建议采用数字信号处理器对 Manchester 信号译码。

WTB 和 MVB 将数据分为过程数据(变量)和信息数据,并针对两类数据定义了二类体系结构。MVB 和 WTB 的体系结构见表4。

表4 MVB、WTB 体系结构

		变量	消息
应用层		单变量访问; 数据块访问; 数据集访问	呼叫/应答消息; 多播消息
表示层		统一的原始变量和结构化变量	
会话层			会话建立;呼叫/应答叫
传输层			消息分段打包; 滑动窗口的流量控制和纠错; 多播,无应答和重复
网络层			分级寻址和路由
链路层	链路控制层	数据集	无连接
	介质存取控制	周期传输	非周期传输
物理层		双绞线,屏蔽双绞线,光纤	

现在许多铁路已经在他们的公开招标中明确要求与 TCN 标准一致,而许多机车车辆制造商象 Adtranz、Firema、Siemens 在他们的所有新项目中均以 TCN 为基础^[9]。

3 介质访问控制方法比较

介质访问控制方法对现场总线的性能有非常关

键的影响,它决定一种总线的响应时间、带宽利用的效率、适应不同介质的能力、可靠性、灵活性等许多方面。按总线上的任意设备访问总线的的能力分,上述5种总线的介质访问控制方式可归为两类:确定性介质访问控制和随机性介质访问控制。

3.1 确定性介质访问控制,所有设备只能在受控的确定的时间访问介质

WTB 和 MVB 采用主——从方式,介质访问由总线上唯一的主设备集中控制。主设备将总线的带宽分为两部分,即周期性的固定分配的部分(周期相)和按需分配的部分(偶发相)。这种方式保证实时变量通信确定的、不受负载影响的响应时间,同时使非实时的消息通信能充分利用剩余的带宽。主设备最小的带宽分配周期(基本周期)决定实时变量的最快响应时间,WTB 定为 25ms,MVB 可达 1~2ms。主设备对带宽的分配是由应用预先确定的。

WorldFIP 也采用主——从方式,其介质访问控制方式同 WTB 和 MVB 相似,总线带宽由称为总线仲裁器的设备集中控制,并同样采用周期性分配。WorldFIP 将总线的基本周期分为 4 个窗口:

- (1) 固定的周期性窗口(等同于 WTB 和 MVB 的周期相)用于周期性变量交换;
- (2) 按需分配的非周期变量窗口用于非周期事件变量交换;
- (3) 按需分配的非周期消息窗口用于消息传输;
- (4) 同步窗口由总线仲裁器发送填充标识来填充基本周期中空闲的部分以保持总线同步。

WorldFIP 对带宽的分配方式具有同 WTB 和 MVB 一样的优点,同时比 WTB 和 MVB 更灵活一些。WorldFIP 能保证非周期性事件变量的确定性响应时间,而不必占用固定的总线带宽。WorldFIP 的基本周期最小可达 2ms。

集中控制的、周期性预分配的介质访问控制方式具有能严格保证变量响应时间限制的优点,但也有一些缺点:

介质访问控制机制本身消耗了一些总线的带宽,降低了总线利用率;

主设备故障将使总线不能工作,对高可靠性要求的应用需要有主设备冗余。

为提高可靠性,WTB、MVB 和 WorldFIP 都提供了从主设备故障中恢复的机制。

3.2 随机性介质访问控制,所有设备可自主地随机地访问介质

LonWorks 总线采用一种改进的 CSMA/CD 介质访问控制协议,称为预测的 P-坚持 CSMA。每个节点需要发送数据时先检测介质是否空闲,如果介质空闲就准备发送数据。节点在发送数据前随机插入 1~16 个很小的随机时间片。时间片的数量代表节点坚持发送的概率,时间片越少表明节点坚持发送的概率越大。在负载很轻的网络中,每个节点发送前平均插入 8 个随机时间片。LonTalk 协议可根据网络负载动态调整坚持发送的概率 P。时间片的增加通过一个 N 值,插入的随机时间片为 $N \times 16$, N 的取值范围是 1~63。LonTalk 称 N 为网络积压的估计值,是对当前发送周期有多少个节点有报文需要发送的估计。LonTalk 协议根据网络积压动态地调整介质访问,使发送冲突的概率降至最低,允许网络在轻负载情况下用较短的响应时间片,在重负载情况下用较长的响应时间片。

为提高紧急事件的响应时间, LonWorks 网络提供了一个可选的优先级机制。该机制允许用户为每个需要优先级的节点分配一个特定的优先级时间片,并保证有且只有一个节点拥有这样的优先级时间片。在发送过程中,优先级数据报将在该时间片内把数据报发送出去。优先级时间片为 0~127, 0 是不需等待立即发送, 1 是等待 1 个时间片, 2 是等待 2 个时间片, 依此类推。低优先级的节点需等待较多的时间片,而高优先级的节点需等待较少的时间片,这个时间片加在 P-概率时间片之前。非优先级的节点必须等待优先级时间片都完成后,再等待 P-概率时间片后发送。因此,加入优先级的节点总比非优先级的节点有更快的响应时间。

LonTalk 协议保留 CSMA/CD 协议的许多优点如实现简单、带宽利用率高、单点故障不影响网络通信、节点可灵活进退网络等,同时改善了一般 CSMA/CD 协议在网络重载时的性能。优先级机制使紧急数据具有优先的响应时间,使 LonWorks 可以适应控制网络的要求。但总体来讲, LonWorks 不能保证实时数据在任何网络负载情况下都能满足确定的响应时间限制。LonWorks 实时性能在轻载时较好,重载时较差。因此, IEEE 认为 LonWorks 在时间关键的应用场合,需要应用的仔细设计和验证^[3]。

CAN 总线的介质访问控制也采用 CSMA 方式, 但将网络上的数据分成不同的优先级, 采用支配位(0)和避让位(1)以及总线回读的方法实现非破坏性总线仲裁。当两个节点同时向网络发送数据时, 优先

级低的节点主动停止发送, 而优先级高的节点可不影响地继续传输。这种方式可以有效地避免总线碰撞, 但要求网络一定要同步, 并且介质要支持线与逻辑。这对介质的种类和长度有较大限制。另外, 对不太需要优先级的网络, 由于不得不定义一个优先级, 因而当网络负载较重时, 优先级低的数据的响应时间可能趋于无限长。因此, CAN 总线较适合介质单一、节点数目较少的小网络。

4 寻址方式比较

为满足分布控制的需要, 车载数据通信系统应具备在多个设备间透明地、高效地共享数据的能力。例如一传感器检测的某一物理量的值可能被多个控制设备需要, 或某一控制设备发出的指令可能需要同时驱动多个执行器动作。这类通信可被形象地称为横向通信, 其数据内容具有全局的意义。

同时, 车载数据通信系统还应具备点对点的通信能力以满足诊断、维护和旅客信息等应用的需要。这类通信可被称为纵向通信, 其数据的含义是上下级相关的。

各类通信总线已发展出多种不同的寻址方式来适应上述两类通信的要求。

4.1 WTB 和 MTB 的寻址方式

WTB 和 MVB 有两种寻址方式:

(1) 过程变量采用逻辑地址(WTB 为 8 位, MVB 为 12 位)。在一条总线工作期间, 给定的逻辑地址上传输的数据的含义是固定的, 发送方式是广播的, 发送方和接收方使用相同的逻辑地址来标识同一数据。这种寻址被称为源寻址广播。

(2) 消息数据采用 16 位的网络地址, 支持成组寻址, 并将网络地址进一步分为用户地址和系统地址。用户地址寻址应用功能, 使功能成为位置透明的; 系统地址寻址站, 主要用于网络管理, 是位置相关的。

4.2 WorldFIP 的寻址方式

WorldFIP 的寻址方式同 WTB 和 MVB 类似, 共有 3 种地址:

(1) 变量寻址采用 16 位的全局的逻辑标识, 广播发送。

(2) 消息数据寻址采用 24 位的网络地址, 支持同一网段内的多播寻址。网络地址包含网段地址和网段内的站地址。

(3) 网络管理采用 8 位的物理地址和 32 字节的应用标签, 物理地址可用于构成网络管理变量标识。复杂的网络管理功能也使用网络地址。

4.3 LonWorks 的寻址方式

LonWorks 使用两类地址:

(1) 设备地址。LonWorks 设备地址分为 3 个层次。第一层结构是域。域的结构可以保证在不同域中的通信彼此独立。例如,不同应用的节点共存在同一通信介质中(如无线电),域的区分可以保证它们的应用完全独立,不会彼此干扰。第二层结构是子网。每个域最多有 255 个子网,一个子网可以是一个或由重复器连接的多个通道的逻辑分组,通道是指在物理上能独立发送报文(不需要转发)的一段介质。不同子网可通过路由器连接。第三层结构是节点。每个子网最多有 127 个节点,所以一个域最多有 $255 \times 127 = 32385$ 个节点。任一节点可以分属一个或两个域。节点也可以被分组,分组结构可以使一个报文同时被多个节点接收。一个分组可在一个域中跨越几个子网或通道,在一个域中最多可有 256 个分组,每个分组对于需要应答的服务最多可有 64 个节点,而对无需应答的服务其节点个数不限,一个节点可以分属 15 个分组去接收数据。通道并不影响网络的地址结构,域、子网和分组都可以跨越多个通道。可见 LonWorks 具有支持大规模网络的能力。

(2) 物理地址。每个 LonWorks 设备有一个独一无二的 48 位 ID 地址,类似 Ethernet 的物理地址。这个地址由制造商确定,在设备的整个生命期中不改变,一般只在网络安装和配置时使用,可以作为产品的序列号。

4.4 CAN 的寻址方式

CAN 只有一种寻址方式,其原理类似 WTB 的变量逻辑地址。消息的内容被标上唯一的标识,所有与特定消息内容相关的节点都识别该标识并接收消息。消息标识的值还唯一确定了消息的优先级,值越小,优先级越高,这是因为 CAN 采用非破坏性仲裁,并定义 0 为支配位。消息标识的值是由应用确定的,其长度在标准协议 CAN 2.0A 中为 11 位,可区分超过 2000 种消息;在扩展协议 CAN 2.0B 中为 29 位,可区分的消息种类超过 5 亿种。

5 通信服务种类比较

在应用层,WTB 和 MVB 利用 RTP 提供两类服务:变量服务和消息服务。变量服务支持应用对实时变量的单独和成组的访问。消息服务支持呼叫/应答消息通信和多播消息通信。

WorldFIP 同 WTB 和 MVB 类似,也提供变量和消息两类服务。变量服务支持周期和非周期实时变量

访问。消息服务在链路层支持确认和非确认的消息传输,在应用层支持制造业消息规范的一个子集(Sub-MMS)。

LonWorks 提供 4 种基本的消息服务以满足不同的可靠性、效率和安全要求。

(1) 确认消息服务,可保证单点或多播消息端对端传输的可靠性。

(2) 非确认消息服务,单点或多播消息只发送一次,并不等待确认。这种服务的协议开销小,是最常用的服务。

(3) 非确认重复消息服务,单点或多播消息重复多次发送,并不等待确认。重复发送使消息尽可能可靠接收,同时避免接收确认开销和等待,尤其在广播时可避免网络因确认响应而超载。

(4) 认证消息服务,可使消息的接收节点确定消息发送节点是否被授权发送该消息,从而阻止对设备的非授权访问。例如网络管理可采用认证消息服务来保证网络的安全。

在此基础上,LonWorks 应用层提供面向对象的网络变量服务。网络变量的概念类似于 WTB 或 WorldFIP 中的变量服务,它向应用提供对信息内容的直接访问能力,应用不必知道网络变量从哪儿来或到哪儿去,从而大大简化了应用的设计。网络变量被 LonWorks 开发语言 Neuron C 的语法直接支持。

CAN 总线标准没有定义应用层,链路层提供消息内容相关的寻址能力,消息的内容完全由应用解释。CAN 的每个数据帧最多只能承载 8 个字节的数据,因而适合提供短的变量服务。许多 CAN 的用户组织定义了各自的应用层协议来扩展 CAN 的服务能力,典型的第三方应用层协议如 DeviceNet(tm)^[6]。

6 列车编组自适应能力的比较

WTB 能够以连续顺序给节点自动编号和让所有的节点识别何处是列车的右侧或左侧的能力。每当列车组成改变时(例如连挂或摘除车辆),列车总线各节点执行初运行过程,该过程在电气上将各节点连接起来,并给每个节点分配连续地址。这是 WTB 最显著的(在行业中独特的)特色,MVB、WorldFIP、LonWorks 和 CAN 均不具备列车编组的自适应能力。

7 可靠性和可管理性

在可靠性方面,几种总线都在各自规定的条件下具有可靠的检错能力。WTB、MVB 和 WorldFIP 具备介质冗余能力和主设备冗余能力。LonWorks 和 CAN 的单点故障对其它网络通信没有影响。CAN 还

具备严重错误情况下节点自动关闭输出功能。几种总线都可以采用光纤介质以提供更好的电磁兼容性。

在可管理性方面,WTB (MVB)、WorldFIP 和 LonWorks 都有各自的网络管理能力。CAN 总线没有这方面的标准。

除以上几个主要方面外,WTB、MVB、WorldFIP、LonWorks 和 CAN 在传输介质、传输速率、信号编码等方面也各具特色,表 5 对这些方面进行了简单的归纳。

表 5 WTB 同现场总线性能比较

特性	WTB+RTP	MVB+RTP	WorldFIP	LonWorks	CAN
OSI 层次	变量:1,2,7 消息:1~7	变量:1,2,7 消 息:1~7	1,2,7	1~7	1,2
网络结构	总线拓扑,可 变结构,编组 结构自适应	总线拓扑	自由拓扑 (31.25kbps) 或总线形拓扑	自由拓扑, 网络拓扑	总线拓扑
传输介质及 传输速率	120 \square 屏蔽双 绞线,直接连 接 860m,32 节点 速率:1Mbps	短距离:双绞线, 20m,32 设备;中 距离:屏蔽双绞 线 200m,32 设 备长距离:光纤 2000m 速率:1.5Mbps	31.25kbps (IEC 1158-2) 双绞线:1, 2.5Mbps,屏蔽 双绞线; 5Mbps,光纤;	1.2kbps~ 1.25Mbps 双 绞线,光纤,电 力线,无线。 IEEE 1473 推 荐屏蔽双绞 线,78Kbps	1Mbps/ 40m~5kbps/ 10km 可用双 绞线和光纤
编码	曼彻斯特编码	曼彻斯特编码	曼彻斯特编码	差分曼彻斯特 编码	NRZ 编码,线 与逻辑
物理层冗余	支持	支持	支持	不支持	不支持
数据完整性	16 位 CRC	每 64 位数据 8 位 CRC 校验 (IEC 870 校验 序列)	16 位 CRC	16 位 CRC	5 位 CRC

8 结束语

总体来讲,作为通用的现场总线,WorldFIP、LonWorks 和 CAN 可以在列车控制系统的通信中找到合适的应用。

WTB 用作编组经常改变的列车的列车总线无疑是最为合适的,其它的总线都不能提供编组自适应的能力。

MVB 是为快速的过程控制优化的总线,能提供最佳的响应速度,适合用作车辆总线。对于固定编组的列车,MVB 也可以用作列车总线。此外 MVB 也可

被应用于其它需要快速响应的工业控制网络。

WorldFIP 是一种优秀的通用现场总线,具有比 MVB 更多的优点,完全可替代 MVB 的应用。

LonWorks 是一种在实时性、灵活性和安全性等方面采取折中、平衡后而获得的现场总线。LonWorks 可应用于固定编组的列车总线,车辆总线或专门的传感器/执行器总线。在用于时间关键的应用时应经过仔细的设计和验证^[7]。

CAN 总线简单可靠,非常适于用作传感器/执行器总线。同 LonWorks 一样,其实时性需要应用的设计和验证。由于其缺乏消息传输能力和传输距离受限,所以不适合用作车辆总线。

参考文献

- 1 魏庆福.现场总线技术发展的新动向.工业控制计算机, 2000.1
- 2 UIC 556 Leaflet. Information Transmission in the Train, 2nd edition. International Union of Railways, 1999.1
- 3 IEEE Std 1473-1999, IEEE Standard for Communications Protocol Aboard Trains. IEEE, New York, 1999.6.
- 4 阳宪惠主编.现场总线技术及其应用.清华大学出版社, 1999
- 5 WorldFIP WFNPW0001\02-E. The WorldFIP Protocol. <http://www.worldfip.org>
- 6 Echelon 078-0183-01. Introduction to the LonWorks (r) System, Ver1.0 . Echelon Corporation, 1999.
- 7 Echelon 005-0060-01. Determinism in Industrial Computer Network Applications. Echelon Corporation, 1995.1.
- 8 Controller Area Network-CAN Application Layers. <http://www.odva.org>
- 9 Hubert D.Kirrmann.IEC 列车通信网络,机车电传动, 1999.5

[收稿日期:2001.10.11]

全国科技会议提出的 2002 年我国科技工作的五项基本原则

要坚持改革与发展相结合。科技工作要以发展为主线,努力提高我国科技工作水平和发展能力,特别是要关注国家长远利益和战略需要,同时要以改革为动力,积极创造有利于科技事业快速健康发展的良好制度环境。

要充分调动全社会科技力量,全面扩大科技管理工作的视野,组织起浩浩荡荡的科技大军,形成全国科技工作万马奔腾的新局面。

贯彻科技以人为本,贯彻人才资源是第一资源的思想,把调动科技人员积极性和创造性、为科技人员创造良好的创新环境和服务放在突出位置。

要强化自主创新能力,加快实现科技发展战略从以跟踪模仿为主向以自主创新和实现技术跨越发展为主的转变,无论是基础研究、战略高技术研究领域,还是在产业技术领域,都要着力强化原始创新能力,更多形成自主知识产权。

坚持经济竞争力导向,确立科技发展在新时期国家战略中的核心地位,改变过去单纯技术性价值取向的传统格局,以提高产品和产业的市场竞争力为主要目标,加强相关技术的配套集成与创新,促进经济结构转型与优化,推动经济社会可持续发展。