

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.09.016

## 战斗车辆计算平台数据传输体系结构

曹宏炳<sup>1,2</sup>, 程树康<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 汽车计算技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 中国人民解放军 66222 部队, 北京 102202)

**摘要:** 根据现代战斗车辆车内电子数据传输的需求, 提出了基于数据类型与基于功能的战斗车辆计算平台数据传输体系结构。分析了两者的特点, 提出了视频数据传输的体系结构, 再通过分析 IT 领域的网络技术以及汽车网络技术的发展及在战斗车辆上的应用, 提出了架构战斗车辆数据传输网络的技术方案。该研究为进一步提高我军地面作战系统的可持续水平提供了依据。

**关键词:** 战斗车辆计算平台; 数据传输网络; 体系结构; 电子数据流

**中图分类号:** TP393.03; TN919.1 **文献标识码:** A

## Date Transmission Architecture of Combat Vehicle Computing Platform

Cao Hongbing<sup>1,2</sup>, Cheng Shukang<sup>1</sup>

(1. Institute of Automotive Computation Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. No. 66222 Unit of PLA, Beijing 102202, China)

**Abstract:** Based on the requirements analysis of intra-vehicle electronics data stream transmission, the data transmission architectures of combat vehicle computing platform partitioned by the data type and function are proposed, the features of the architectures are analyzed, the video data transmission architecture is proposed. At last, the networks technologies of the IT domain and the automotive domain which used in combat vehicles are analyzed, the technology solution to implement the intra-vehicle data transmission network is proposed. The study supports the further enhancement of the sustainable levels of our military ground combat system.

**Keywords:** combat vehicles computing platform; data transmission networks; architecture; electronics data stream

### 0 引言

随着现代战斗车辆的功能不断增加以及系统结构的进一步综合与集成, 需要战斗车辆计算平台对推进系统、武器系统、综合防护系统、信息通信系统及战场服务与保障实现一体化的计算与控制<sup>[1-2]</sup>。车内数据传输网络是战斗车辆的神经系统, 将战斗车辆上的各功能系统有机互联在一起, 最大限度地实现资源共享、信息共享与控制协同, 是战斗车辆计算平台实现一体计算与控制的基础。故着重从战斗车辆数据流传输的需求出发, 提出了战斗车辆计算平台 3 种数据传输体系结构。

### 1 现代战斗车辆车内电子数据流分析

现代战斗车辆需要传输各种数据, 以确保对战斗车辆各系统的控制, 其中典型数据包括: 1) 车辆驾驶员对车辆进行操纵与控制的数据, 对车辆能量管理和车辆状态监控的数据; 2) 炮长对传感器和武器系统进行管理与监控的数据; 3) 车长与同一战术群中的其它作战平台和作战单元进行交互、作战协同的数据等等。现代战斗车辆将采用间接视景显

示 (IVD: Indirect Vision Display)、全景显示 (PD: Panoramic Display)、头盔显示 (HMD: Head Mounted Display) 以及嵌入式仿真 (ES: Embedded Simulation) 等新技术, 需要将可见光、红外传感器、激光、毫米波雷达等战场传感器信息以及嵌入式仿真信息等海量数据传输到乘员站中。因此按照战斗车辆的所传输数据功用, 可分为以下 8 种类型:

- 1) 语音与数据通信信息;
- 2) 车辆自动化信息;
- 3) 能量管理信息;
- 4) 武器系统信息;
- 5) 传感器控制信息;
- 6) 雷达与视频数据;
- 7) 车辆状态信息;
- 8) 故障信息。

另外, 按照信息的传输率的大小, 又可分为: 低速数据、高速数据、语音与数据通信数据、视频及高宽带传感器数据等, 表 1 为不同类型信息的数据传输率。

收稿日期: 2010-03-11; 修回日期: 2010-05-05

作者简介: 曹宏炳 (1967-), 男, 山西人, 工学博士, 高级工程师, 从事战斗车辆计算技术研究。

表1 不同类型信息的数据传输率

信息类型	编码方式	采样率及量化精度	数据率/bps
语音数据	ISDN	8 KHz × 8 Bit	64 Kbps
	CD	44.1 KHz × 16 Bit × 2 Ch	1.4 Mbps
	DAT	48 KHz × 16 Bit × 2 Ch	1.5 Mbps
PAL 图像	RGB 编码	768 x 576 x 25 x 24	265 Mbps
	YUV 编码	768 x 576 x 25 x 16	177 Mbps
	Monochrome 8 bit 编码	768 x 576 x 25 x 8	89 Mbps
	Monochrome 12 bit 编码	768 x 576 x 25 x 12	132 Mbps
HDTV 图像	RGB 编码	1 920 x 1 080 x 25 x 24	1.244 Gbps
	YUV 编码	1 920 x 1 080 x 25 x 16	833 Mbps
	Monochrome 8 bit 编码	1 920 x 1 080 x 25 x 8	415 Mbps
	Monochrome 12 bit 编码	1 920 x 1 080 x 25 x 12	622 Mbps

## 2 计算平台数据传输体系结构分析

由于所传输信息的传输率不同, 信息的作用不同(如任务关键性信息与非关键性信息), 因此战斗车辆计算平台数据传输网络必然是一个异构网络, 并能满足海量数据高速、可靠传输的需求。建立计算平台数据传输体系结构有2种方式: 一是根据网络传输数据类型来建立, 二是根据传输数据的功能来建立。

### 2.1 基于数据类型的数据传输体系结构

根据传输数据的类型建立数据传输体系结构, 如图1。这种体系结构的优点是: 1) 可根据数据的需求来相匹配地选择网络技术, 避免采用过多的技术规范, 增加系统的成本; 2) 可解决跨越整个作战部队所有作战平台的通用问题, 而不需要考虑平台的类别。这种方法的缺点是: 1) 由于采用了多种网络技术相匹配的数据类型, 凡有需要数据传输的网络之间将要求网桥或网关来连接; 2) 由于没有对系统中的安全关键性和非安全关键性要素进行隔离, 当系统中的要素发生变化的时候安全关键性功能仍将受到损害。

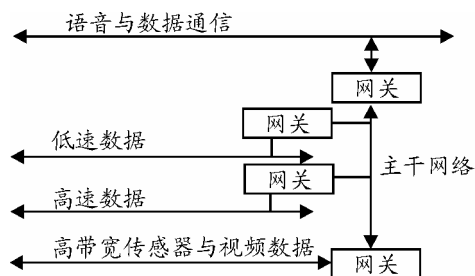


图1 基于数据类型的数据传输体系结构

### 2.2 基于数据功能的数据传输体系结构

根据传输数据的功能建立的数据传输体系如图

2。这种体系结构的优点是: 1) 可根据数据的需求来相匹配地选择网络技术, 避免采用过多的技术规范, 增加系统的成本; 2) 可解决跨越整个作战部队所有作战平台的通用问题, 而不需要考虑平台的类别; 3) 安全关键性功能可以从系统的非安全关键性要素孤立出来, 当系统发生变化的时候, 能最大化地减少影响和降低测试成本。这种体系结构的缺点是: 需要将系统中的安全关键性要素从系统中独立出来, 需要采用多种网络技术, 并且在不同的网络之间传输数据时需要网桥或网关进行连接。

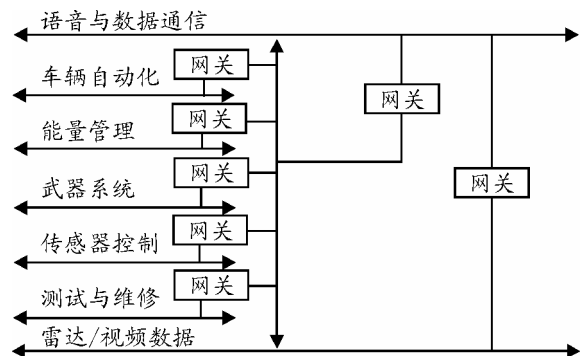


图2 基于数据功能的数据传输体系结构

### 2.3 视频数据传输体系结构

现代战斗车辆将图像传感器信号进行数字化处理, 通过数字网络传输是必然趋势。数字化的图像分配网络拓扑是基于交换架构, 而不是一个共享媒体, 这种交换架构能够满足下列要求: 1) 一个图像源对应一个显示终端; 2) 一个图像源对应多个显示终端; 3) 多个图像源对应一个图像处理器(用于图像融合与交换), 图像处理器输出成为一个图像源, 在系统中输出到一个或多个显示终端上; 4) 图像分配系统具有伸缩性和可扩展性。根据上述要求, 提出图3的视频数据传输体系结构, 是对基于数据类型和基于数据功能数据传输体系结构的完善。

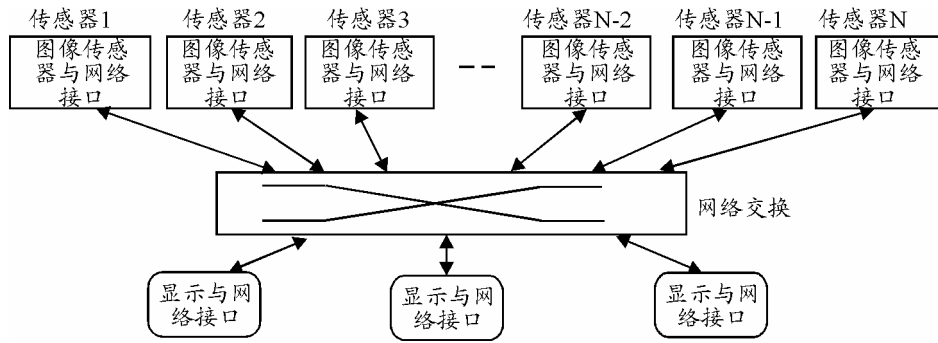


图 3 计算平台视频数据传输体系结构

### 3 计算平台数据传输总线技术

#### 3.1 传统的车内数据传输总线技术

##### 3.1.1 1553B 总线与 MIC 总线

MIL-STD-1553B 是美军于 1968 年定义的一种军用串行总线标准。MIL-STD-1553 是一种易于开发的和可靠的数据总线，数据传输率为 1 Mbps，它适应严酷的使用环境，具有丰富的硬件资源，在军事领域中服务了 20 多年，已广泛地应用于各国战斗车辆、飞机和战船，如美军的 F16/F18/B-1/AV-SB 飞机和 M1A2 主战坦克、北约组织(标准代号为 STANAG 3910)的 EFA/Rafale 战斗机、英国的挑战者 2 主战坦克、德国的豹 2 坦克等<sup>[5]</sup>。

MIC 总线技术是一种时分多址串行数据总线系统，具有真实的数据总线双冗余、关键性逻辑冗余和机内测试 BIT 功能，串行数据的最大传输率为 2 Mbps，军用环境下为 1.33 Mbps。MIC 总线作为车辆电源管理的总线在战斗车辆上得到了广泛的应用，如美军的 M1A2、EXPEDITIONARY FIGHTING VEHICLE (EFV)、WOLVERINE CRUSADER 以及 ARTILLERY 系统。

##### 3.1.2 Digibus GAM-T-101 总线

Digibus GAM-T-101 是法国于 1982 年开发的用于陆、海、空武器平台的实时军用局域网络总线，其数据传输协议与 1553B 相同，Digibus 总线数据传输率为 1 Mbps，被广泛用于法国的飞机、战斗车辆、导弹以及潜艇和舰船上，如 Mirage F1/Mirage 2000 /Atlantique 2 以及 Leclerc 主战坦克。

#### 3.2 IT 领域的网络传输技术

##### 3.2.1 光纤分布式数据接口 FDDI

FDDI 是由美国国家标准化组织 (ANSI) 特许标准委员会 ASC 于 1986 年完成的网络通信协议，

它以 IEEE 802.5 令牌环协议为基础，数据传输率为 100 Mbps，采用双环冗余网络结构。FDDI 技术最早于 1996 年被美军应用于新一代战斗车辆上，以满足视频信息的传输需求，构成战斗车辆的高速数据传输网络骨架。

##### 3.2.2 Firewire/IEEE 1394

IEEE1394 接口是由 APPLE 和 TI 公司开发的高速串行接口标准，1995 年被 IEEE 标准化为 IEEE1394-1995 技术规范。IEEE1394-2000 中，最大数据传输速率可达到 1.6 Gbps，相邻设备之间连接电缆的最大长度可扩展到 100 m。IEEE-1394 已经被应用新一代的作战平台上，如在美军联合战斗机 JSF 项目中，IEEE-1394 总线用于核心处理机与显示系统之间的传输信息。

##### 3.2.3 光纤通道 FC

光纤通道 FC (FC: Fibre Channel) 是由 ANSI 于 1994 年制订，名为 ANSI X3.230-1994 (ANSI INCITS 230-1994)，ISO 对应的标准为 ISO 14165，我国于 2008 年制订了相应的国家军用标准 GJB-6410-2008。光纤通道采用光纤作为传输介质，其最大传输距离已达 10 km，传输速率已从早期的 100 MBps 发展到现在的 10 Gbps。其中光纤通道仲裁环 (FC-AL: Fibre Channel Arbitrated Loop) 已经被 E-3 Sentry、B-1 Lancer 以及 F/A18 Hornet 和下一代联合攻击机 JSF 所采用 (连接核心处理机与传感器子系统); 另外美军提出了应用光纤通道技术改进航空电子的方案标准 FC-AE (Fibre Channel Avionics Environment Standard)，将其应用于下一代航空电子以及对现有航空电子升级<sup>[6]</sup>。

##### 3.2.4 快速以太网以及 Gigabit 以太网

快速以太网采用 IEEE 802.3 协议，基于载波监听多路访问和冲突检测 (CSMA/CD) 模式，数据传输率为 100 Mbps。在现代战斗车辆上采用快速以太网技术，基于 VoIP 实现的数字式车内通话器，解

决了传统模拟电路连接故障率高、通信质量差的问题; 另外快速以太网也被用作战斗车辆上内部测试与维修总线。

1998年, IEEE通过了Gbit/s以太网标准IEEE802.3z和IEEE802.3ab, 其中, IEEE802.3z采用8B/10B编码技术, 数据传输率为1.25 Gbps。2007年, IEEE通过了10 Gbps以太网标准IEEE802.3ae, 支持10 Gbps的传输速率。10Gigabit以太网提供高速的数据传输速率, 工作在全双工模式下, 使用非传统的以太网冲突检测协议, 以光纤作为传输介质, 传输距离远, 为每个用户提供一个单一的高速连接, 数据、语音和视频流都能单点播送或者多播, 并提供了QoS和安全服务。目前, 国内外将这种网络技术应用到作战平台上, 成为一个研究的热点。

### 3.3 汽车网络总线技术

为实现低成本、高集成的应用, 现代战斗车辆中采用汽车领域的成熟车载网络技术。其中, CAN总线是战斗车辆应用最广泛的总线技术。美国汽车工程协会SAE (Society of Automotive Engineers) 下属的汽车网络委员会, 按照协议特性将汽车网络划分为A类总线、B类总线、C类总线、D类总线和E类总线共五类总线<sup>[7-8]</sup>。由于A类是面向传感器或者执行器管理的低速网络, 它传输数据率通常小于10 Kbps, 不可能应用到现代战斗车辆上。

1) B类汽车总线。B类总线是面向独立控制模块间信息共享的中速网络总线, 位速率一般在100 Kbps之间, 主要用在车身电子的舒适性模块和显示仪表等设备中, 典型的协议包括CANOpen、ISO11898和SAE J1939。在北约组织, 基于CAN定义了MILCAN协议, 以此推动CAN总线在军用车辆上的应用, 如BAE公司为英军开发的地面战斗保障车辆Terrier项目。

2) C类汽车总线。C类总线是面向闭环实时控制的多路传输高速网络总线, 位速率多在1~10 Mbps

之间, 主要服务于动力传动系统网络, 典型的协议包括TTP/C与FlexRay; 其中FlexRay作为新一代汽车网络协议, 数据传输率 $\geq 10$  Mbps, 提供了充足的带宽、可靠性和实时响应能力, 用于车辆的安全气囊、制动、转向和车辆稳定性控制系统, 由于其技术成熟已经被汽车制造商采用。

3) D类汽车总线。D类总线则是面向多媒体设备、高速数据流传输的高性能网络总线, 典型协议包括MOST、IDB-C和IDB-1394以及D2B总线, 其中IDB-1394被ISO正式命名为ISO22902-2006, 即“Road vehicles - Automotive multimedia interface”, 数据传输率 $\geq 400$  Mbps, 用于车辆多媒体信息的传输。

4) E类汽车总线。E类总线是面向乘员安全系统的网络总线, 典型协议为Byteflight, 数据传输率 $\geq 5$  Mbps, 应用于车辆被动性安全领域和车辆的X-by-Wire。

### 3.4 计算平台数据传输网络的技术方案

战斗车辆计算平台数据传输网络由于所传输的数据功能不同, 传输数据的容量不同, 这个数据传输网络应具有以下能力:

- 1) 通用的、分层的网络接口;
- 2) 模块化, 提高系统的适应性、可升级性、可扩展性、可扩充性和可移植性;
- 3) 可伸缩性的性能, 在费用与性能间达到平衡;
- 4) 支持分布式计算, 具有故障容错、网络效率、数据与资源共享、灵活性;
- 5) 支持实时计算, 满足关键性任务强实时处理;
- 6) 具有故障诊断能力, 通过智能机内测试 (IBIT) 或健康使用监控系统 (HUMS) 减小战斗车辆的维修与后勤保障;
- 7) 适应苛刻的用电环境和复杂的电磁环境;
- 8) 严格的信息交流安全性。

表2 战斗车辆计算平台数据传输网络技术方案

序号	总线技术	功能	应用情况	未来可选性
1	1553B/MIC bus	车辆/武器/防护/C3I控制	已应用	逐步淘汰
2	CAN/MilCAN	车辆/武器/防护/C3I控制	已应用	逐步淘汰
3	快速以太网	维修与测试	已应用	保持
4	光纤通道FC-AL	雷达/视频数据传输	已应用	保持
5	10Gigabit以太网	雷达/视频数据传输	研究中	可能
6	IEEE1394-2000	雷达/视频数据传输	研究中	可能
7	FlexRay	车辆/武器/防护/C3I控制	研究中	代替1553B与CAN
8	Byteflight	车辆/武器/防护/C3I控制	研究中	代替1553B与CAN

(下转第63页)

```

dma_flash_we2<='0';
    if ( dma_en='0') then
    flash_next_state <= flash_s0 ;
    elsif (en_dma_flash_we = '1')
then
    flash_next_state<=flash_idle ;
    else
flash_next_state<=flash_s1 ;
        end if;

```

在数据加载期间本系统应用 DMA 传输控制方式, 即: 每当 FIFO 的半满标志信号 HF 产生一次有效的电平时, AVR 就启动一次中断, 在中断程序中, AVR 将完成对 Nandflash 写命令和地址, 以及 DMA 控制器的启动。一旦 DMA 控制器启动, AVR 就将转入后台进行有效地址的运算等而不参与数据传输过程, 整个数据从 FIFO 到 Nandflash 存储器的传输过程是由 CPLD 内部编写的 DMA 控制器控制完成。启动一次 DMA 控制器传输一页 2 048 个字节的数据, 一次中断将完成 16 K 字节的传输。应用 DMA 传输的时序示波器波形图如图 5: 第 0、1、2、3 通道是 FIFO 的读数据时序波形, 第 4 通道是 Nandflash 的写时序波形。一次 DMA 传输完成后, 则 AVR 还要判断当前页是否为最后一页第 64 页, 若不是最后一页第 64 页, 则页地址加 1, 继续进行 DMA 传输采样数据操作。如果当前页为最后一页第 64 页, 则判断当前块是否为本文件的最后一块, 若不是最后一块, 则块地址加 1, 再跟无效块表对照判断此块是否为有效块, 若是则页地址置 0, 继续进行 DMA 传输采样数据操作; 若当前块已是本文件的最后一块, 则本文件的采集数据操作完成即本次采集完成。

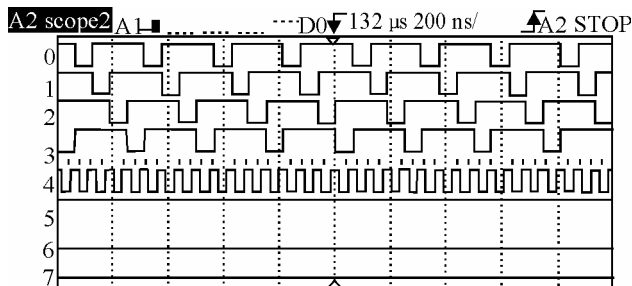


图 5 应用DMA传输的时序示波器波形图

### 5 结论

试验结果表明, 采集系统性能稳定, 采集速度能保持在 10 Mb/s 以上, 符合要求。该系统对选用低成本、高速、可靠性采集的硬件设计有实用价值。

### 参考文献:

- [1] 潘明海, 邱建红, 刘芬, 等. 数字正交调制器及其硬件设计[J]. 现代电子技术, 2003, 17(3): 24-26.
- [2] 曲震宇, 刘胜辉. 基于CPLD 的高速数据采集系统控制模块的设计与实现[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, 11(3): 17-19.
- [3] 王金友. 用CPLD实现DSP与外设芯片的速度匹配[J]. 电子测量技术, 2006, 29(4): 72-76.
- [4] 耿德根. AVR高速嵌入式单片机原理与应用(2版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [5] 赵玉印, 白玉贤, 张泽宏. 一种弹载数据记录器的设计[J]. 武器装备自动化, 2004, 23(2): 1-3.
- [6] Analog Devices Inc. Multi2channel 122bit ADC with Embedded Flash ADuC812 Datasheet [Z]. www.analog.com, 04, 2003.
- [7] 吴鹏. 高速实时FLASH阵列数据采集系统研究与实现[D]. 南京理工大学, 2007: 5-8.

\*\*\*\*\*

(上接第 55 页)

根据现有战斗车辆数据通信网络技术的应用以及未来网络技术的发展, 可确定出新一代战斗车辆计算平台的数据传输的技术方案如表 2, 该方案由几种不同网络协议组成最小的技术集来实现。

### 4 结论

战斗车辆计算平台数据传输体系结构的建立, 将推动高速数据传输网络技术在新一代战斗车辆上的应用, 促进战斗车辆计算平台的综合集成, 进一步提高我军地面作战系统的可持续发展水平。

### 参考文献:

- [1] 曹宏炳, 程树康. 军用移动计算平台框架结构研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2007, 21(2): 54-57.
- [2] 曹宏炳. 战斗车辆计算平台体系结构研究[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学博士后研究报告, 2009.
- [3] 周娟, 陈慧岩. CAN总线在军用车辆上的应用[J]. 车辆与动力技术, 2001(4): 47-52.
- [4] 周福宽, 马彪. MIC总线与CAN总线综合分析比较[J]. 车辆与动力技术, 2005(4): 58-63.
- [5] Courtney E. Howard. A Voracious Need for Vetronics[EB/OL]. [http://mae.pennnet.com/display\\_article/341146/32/ARTICLE/none/none/1/A-Voracious-Need-for-Vetronics](http://mae.pennnet.com/display_article/341146/32/ARTICLE/none/none/1/A-Voracious-Need-for-Vetronics)
- [6] Ben Ames. Vetronics for the Future Combat System[EB/OL]. [http://mae.pennnet.com/articles/article\\_display.cfm?article\\_id=234348](http://mae.pennnet.com/articles/article_display.cfm?article_id=234348)
- [7] 秦贵和, 葛安林, 李柱张, 等. 汽车网络技术[J]. 汽车工程, 2003, 25(2): 151-155.
- [8] 吕京建, 何玉军, 越珀璋, 等. 汽车计算平台综述[J]. 电子技术应用, 2007, 33(4): 3-7.
- [9] 张云飞, 胡中豫, 张宏珉. 基于短波接入网的图像传输系统设计与实现[J]. 四川兵工学报, 2009(10): 55-58.