

DOI: 10.7652/xjtuxb201303023

面向完整性要求的航空电子全双工交换式以太网可靠性评价参数研究

李硕, 王学望, 康锐

(北京航空航天大学可靠性与系统工程学院, 100191, 北京)

摘要: 为探讨对航空电子全双工交换式以太网(AFDX)数据传输完整性的评价方法,从完整性概念出发,针对 AFDX 的实际特征构建了 AFDX 可靠性模型;从反映网络各类性能传输能力和不同度量范围的可靠性 2 个方面定义了面向完整性要求的 AFDX 可靠性评价参数,将 AFDX 可靠性划分为数据完整可靠性、及时可靠性、次序可靠性和正确可靠性 4 类,其中,根据对虚拟链路考察范围的不同,每一项可靠性中又包含单条虚拟链路可靠性、指定 k 条虚拟链路可靠性和全部虚拟链路可靠性;给出了各个参数的定义和数学表达,明确了可靠性参数与性能参数之间的关系。

关键词: 航空电子全双工交换式以太网;完整性;可靠性参数

中图分类号: O121.8;G558 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)03-0126-06

Investigation on Reliability Parameters of Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) for Integrity Requirements

LI Shuo, WANG Xuewang, KANG Rui

(School of Reliability and Systems Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: To approach a data transmission integrity evaluation method for the avionics full duplex switched Ethernet (AFDX), a new reliability model of AFDX aiming at the actual characteristics based on the concept of integrity is constructed. And the reliability parameters of AFDX for integrity requirements, which reflect ability of transmission performance and different scope of measure, are defined. The reliability of AFDX is divided into data integration reliability, time reliability, order reliability and correctness reliability. Each reliability is also subdivided according to different scope of virtual link. Moreover, all parameters are defined, and the relationship between reliability parameters and performance parameters is determined.

Keywords: avionics full duplex switched Ethernet (AFDX); integrity; reliability parameter

随着科学技术的飞速发展,航空电子设备的复杂程度和信息综合程度都比以往有了很大提高。无论是战斗机的作战性能还是民航客机的安全,都与航空电子系统密切相关。航空电子系统密切依赖于其机载数据网络,而机载数据网络的可靠性不仅关系到系统任务能否顺利实现,更关系到飞行体本身

的生存与安全。但是,由于这种网络系统不同于传统网络系统的一些特征,目前对其可靠性评价参数的研究还较为缺乏。

航空电子全双工交换式以太网(avionics full duplex switched Ethernet, AFDX)由航空电子子系统、端系统、链路和交换机 4 部分组成^[1]。航空电子

子系统通过端系统以全双工方式连接到 AFDX 交换机,通过交换机完成数据的交换^[2-3]。图 1 是一种简单的 2 个交换机级联的 AFDX 网络拓扑结构图,航空电子子系统收集数据并通过 AFDX 网络与其他航电子系统进行数据交互。

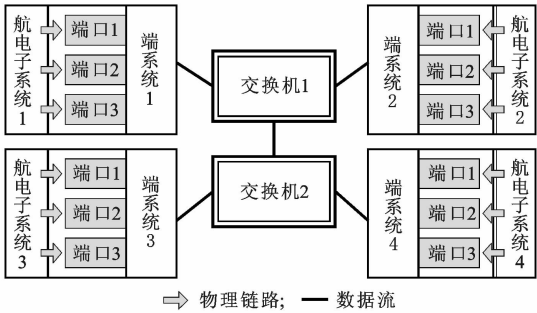


图 1 AFDX 网络拓扑结构图

完整性是考察网络服务质量的一个重要指标,在国外的通信网络标准中已有所规定。例如:在国际电信联盟颁布的标准 ITU-T E. 800 2008^[4]中,定义了服务完整性(service integrity performance)和数据完整性(data integrity)的概念,分别归类为服务专用参数和安全专用参数;在航空无线电通信公司制定的 ARINC 664 系列标准^[5-7]中,也对完整性做了较为详细的定义和说明,具体包含数据完整性和次序完整性(order integrity)。

除此之外,国外的其他文献中也涉及到一些完整性的概念,例如在美国交通部联邦航空管理局发布的《基于以太网的航空数据总线手册:验证和设计要素》^[8]、《基于以太网的航空数据总线安全性及验证方法》^[9]以及 Actel 公司发布的《研制 AFDX 解决方案》^[10]等资料中,也分别给出了数据完整性和次序完整性的定义。

国外文献中提及的完整性概念总结如下。

(1)完整性:ARINC 664 Part 5^[6]中定义为“用来度量传送信息或接收信息的正确性的参数,可以表示为未被检测到的比特错误率”。

(2)数据完整性:ARINC 664 Part 1^[5]中定义为“描述网络中信息被正确传送或引入的错误在数据接收时能以高概率被检测到的特性”;《基于以太网的航空数据总线手册:验证和设计要素》^[8]中定义为“网络中实物间数据转发的正确度”。

(3)次序完整性:ARINC 664 Part 7^[7]中定义为“对于每条虚拟链路,端系统应保持其接收和发送数据的次序”;《研制 AFDX 解决方案》^[10]中定义为“数据包在虚拟链路中按照最初发送的次序进行传送”。

(4)服务完整性:ITU-T E. 800^[4]中定义为“获得所提供的服务且没有明显错误的的能力”。

通过以上调研情况可以看出,目前对于完整性的概念已经有了统一且较为权威的定义,针对 AFDX 完整性的定义也有相关的标准支持。然而,使用什么样的评价参数来反映 AFDX 的完整性水平,目前并未见相关的研究报道。

1 研究对象描述

AFDX 不同于传统的互联网,它具有明确的对象和应用目的,具有一定的网络规模,网络结构是确定的。AFDX 网络可分为拓扑/物理层、规则/配置层、业务/服务层 3 个层次,如图 2 所示。

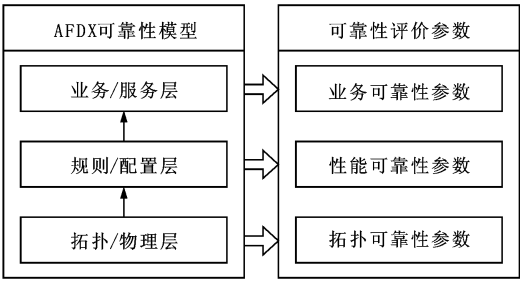


图 2 AFDX 可靠性模型及可靠性评价参数

拓扑/物理层是 AFDX 的实物基础。端系统、交换机和链路构成了网络的拓扑结构,拓扑/物理层主要实现的是网络拓扑结构上的连通功能,其可靠性为拓扑可靠性。拓扑可靠性是指通信网络某个状态中某项业务所涉及的网络基础设施部分对业务在功能方面的支持能力。

规则/配置层是 AFDX 的运行机制。网络协议和路由算法的选择、交换机和路由器的配置等形成了 AFDX 运行规则。规则/配置层依靠拓扑/物理层实现 AFDX 的动态传输功能,其可靠性为性能可靠性。性能可靠性是指网络在规定的业务剖面内满足某项业务性能要求的能力。

业务/服务层是 AFDX 的具体应用。服务是端系统提供的细致功能;业务是对服务的组合,是 AFDX 对外提供给终端用户的功能。业务/服务层依靠下 2 层实现对终端用户的支持功能,其可靠性为业务可靠性。业务可靠性是指网络在规定的业务剖面内满足规定功能的能力。

由完整性的定义可知,完整性主要是反映网络数据动态传输的正确性,适用于网络的规则/配置层,因此,面向完整性要求的 AFDX 可靠性评价参数属于性能可靠性参数。

AFDX 性能可靠性参数应当同时反映下述 2 方面的要求。

(1) 反映网络各类性能传输的能力。完整性定义中关于性能传输的描述, 实际包含完整传输、及时传输、顺序传输和正确传输 4 个方面的含义, 因此, 为了同时反映网络传输的不同性能所要求的可靠性, 可将性能可靠性参数划分为完整可靠性、及时可靠性、正确可靠性和次序可靠性 4 类。

(2) 反映不同度量范围的可靠性。在网络可靠性度量中, 需要考虑网络虚拟链路的整体、群体和个体的完整性水平, 同时要能反映指定虚拟链路端点范围内部分端点的可靠性水平。对于网络整体的可靠性水平, 用全部虚拟链路可靠度进行度量, 考察网络中所有虚拟链路端系统间的可靠性水平; 对于网络群体的可靠性水平, 用指定 k 条虚拟链路可靠度进行度量, 反映网络虚拟链路子集对网络可靠性的群体感知; 对于网络个体可靠性水平, 用单条虚拟链路的可靠度进行度量, 反映网络各条虚拟链路 2 个端点之间的可靠性水平。

2 AFDX 可靠性参数

AFDX 可靠性参数图如图 3 所示。

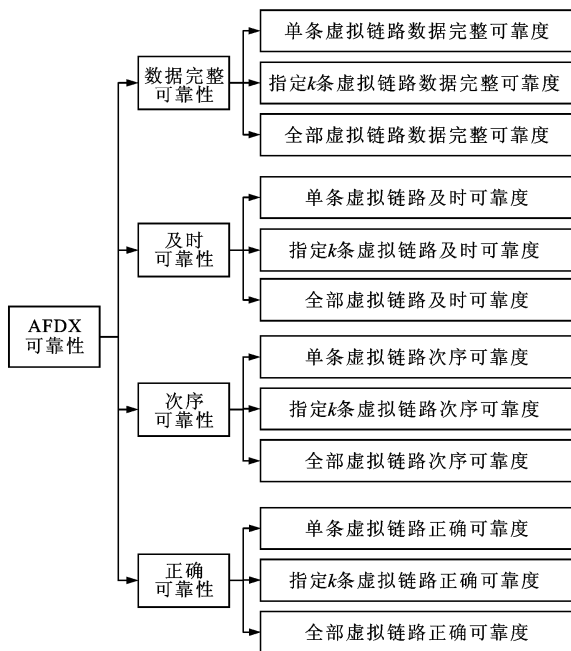


图 3 AFDX 可靠性参数图

AFDX 可靠性参数是用来度量传送信息或接收信息的正确性的参数, 是对 AFDX 在规定条件下和规定时间内, 规则/配置层满足规定性能传输要求的能力的度量, 用于表征 AFDX 在传输过程中拥

塞、干扰对网络服务的影响, 并通过考察给定任务剖面下的 AFDX 传输性能, 计算 AFDX 的可靠性。AFDX 可靠性参数包含数据完整可靠性、及时可靠性、次序可靠性、正确可靠性, 其中, 根据对虚拟链路考察范围的不同, 每一项参数中又包含单条虚拟链路可靠性、指定 k 条虚拟链路可靠性、全部虚拟链路可靠性。例如, 数据完整可靠性包括单条虚拟链路数据完整可靠性、指定 k 条虚拟链路数据完整可靠性、全部虚拟链路数据完整可靠性。

2.1 数据完整可靠性

2.1.1 数据完整可靠性概念 数据完整可靠性, 指 AFDX 在规定条件下和规定时间内, 数据未被改变或毁坏的能力。单条虚拟链路数据完整可靠性, 指 AFDX 中各条虚拟链路从发送端口到接收端口传输的数据未被改变或毁坏的能力; 指定 k 条虚拟链路数据完整可靠性, 指 AFDX 中指定 k 条虚拟链路传输的数据未被改变或毁坏的能力; 全部虚拟链路数据完整可靠性, 指 AFDX 中所有虚拟链路传输的数据未被改变或毁坏的能力。

2.1.2 数据完整可靠性参数 数据完整可靠性的度量参数为数据完整可靠度。数据完整可靠度 R_D 为在规定的条件下和规定的时间内, 服务数据无错误传输的概率。在实际测量中, 应当根据具体需求确定相应的测量范围, 得出相应的数据完整可靠度。

假设网络中共有 m 条虚拟链路。当 $m=1$ 时, 度量某一条虚拟链路的数据完整可靠度。

假设第 i 条虚拟链路的一个发送端口对应 t 个接收端口, 此时 $R_{Di} = R_D^i$, 单条虚拟链路的数据完整可靠度

$$R_D^i = \sum_{i=1}^t N_{D}^{li} / tN^{li} = 1 - \sum_{i=1}^t N_{ND}^{li} / tN^{li} \quad (1)$$

式中: N_{D}^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间传输内容正确的数据包数; N_{ND}^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间发生错误的数据包数; N^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间所传输数据包的总数, $N^{li} = N_{D}^{li} + N_{ND}^{li}$, 并且单条虚拟链路从发送端口到各个接收端口所传输的数据包总数相等。

当 $m=k$ 时, 指定 k 条虚拟链路数据完整可靠度

$$R_{Dk} = \sum_{i=1}^k R_{Di} / k \quad (2)$$

当 $m=n$ 时, 假设虚拟链路总数为 n , 则全部虚拟链路的数据完整可靠度

$$R_{Dn} = \sum_{i=1}^n R_{Di} / n \quad (3)$$

2.1.3 数据完整可靠度与性能参数的关系 误码率是一个重要的网络性能参数,定义为“在给定时间内,传输错误数据包数与传输总数据包数之比”,用 P_e 表示。根据数据完整可靠度的概念可知, $R_D = f(P_e)$, 因此,数据完整可靠度的参数值可以通过测量网络对应虚拟链路的误码率获得。

2.2 及时可靠性

2.2.1 及时可靠性概念 及时可靠性,指 AFDX 在规定条件下和规定时间内,从发送端发送的数据包及时被接收端接收的能力。单条虚拟链路时间完整性,指 AFDX 中各条虚拟链路的发送端和接收端之间的数据包传输时延不大于规定阈值的能力;指定 k 条虚拟链路时间完整性,指 AFDX 中指定 k 条虚拟链路的数据包传输时延不大于规定阈值的能力;全部虚拟链路时间完整性,指 AFDX 中所有虚拟链路的数据包传输时延不大于规定阈值的能力。

2.2.2 及时可靠性参数 及时可靠性的度量参数为及时可靠度,定义为在规定的条件下和规定的时间内,服务数据传输时延在用户允许范围内的概率。在实际测量中,应当根据具体需求确定相应的测量范围,得出相应的及时可靠度。

假设网络中共有 m 条虚拟链路。当 $m=1$ 时,度量某一条虚拟链路的及时可靠度。

假设第 i 条虚拟链路的一个发送端口对应 t 个接收端口,此时 $R_{Ti} = R_{Ti}^t$, 单条虚拟链路的及时可靠度

$$R_{Ti}^t = \sum_{i=1}^t N_{Ti}^{li} / tN^{li} = 1 - \sum_{i=1}^t N_{NT}^{li} / tN^{li} \quad (4)$$

式中: N_{Ti}^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间传输时延 D_T 大于给定阈值 D'_T 的数据包数; N_{NT}^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间传输时延 D_T 不大于给定阈值 D'_T 的数据包数; N^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间所传输数据包的总数, $N^{li} = N_{NT}^{li} + N_{Ti}^{li}$, 并且单条虚拟链路从发送端口到各个接收端口所传输的数据包总数相等。

当 $m=k$ 时,指定 k 条虚拟链路及时可靠度

$$R_{Tk} = \sum_{i=1}^k R_{Ti} / k \quad (5)$$

当 $m=n$ 时,假设虚拟链路总数为 n ,则全部虚拟链路的及时可靠度

$$R_{Tn} = \sum_{i=1}^n R_{Ti} / n \quad (6)$$

2.2.3 及时可靠度与性能参数的关系 时延 D_T 是网络的性能参数,而时延的数据包数却不是。进行网络测量时,测量的是 AFDX 中每个数据包的时延,再通过故障判据中所确定的时延阈值 D'_T 进行比较,从而实现故障识别,并计算出 AFDX 的及时可靠度。

2.3 次序可靠性

2.3.1 次序可靠性概念 次序可靠性,指 AFDX 在规定条件下和规定时间内,虚拟链路的端系统保持其接收和发送数据次序的能力。单条虚拟链路次序可靠性,指 AFDX 中各条虚拟链路的发送端口到接收端口之间保持其接收和发送数据次序的能力;指定 k 条虚拟链路次序可靠性,指 AFDX 中指定的 k 条虚拟链路的发送端口与接收端口保持其发送和接收数据次序的能力;全部虚拟链路次序可靠性,指 AFDX 中所有虚拟链路的发送端口与接收端口之间保持其发送和接收数据次序的能力。

2.3.2 次序可靠性参数 次序可靠性的度量参数为次序可靠度。次序可靠度 R_O 为在规定的条件下和规定的时间内,虚拟链路中数据包无次序混乱传输的概率。在实际测量中,应当根据具体需求确定相应的测量范围,得出相应的次序可靠度。

假设网络中共有 m 条虚拟链路。当 $m=1$ 时,度量某一条虚拟链路的次序可靠度。

假设第 i 条虚拟链路的一个发送端口对应 t 个接收端口,此时 $R_{Oi} = R_{Oi}^t$, 单条虚拟链路的次序可靠度

$$R_{Oi}^t = \sum_{i=1}^t X_{O}^{li} / tX^{li} = 1 - \sum_{i=1}^t X_{NO}^{li} / tX^{li} \quad (7)$$

式中: X_{O}^{li} 为单条虚拟链路接收端口收到的次序正确的数据包序列数,其中数据包序列为包含一组特定顺序的数据包; X_{NO}^{li} 为单条虚拟链路接收端口收到的发生次序错误的数据包序列数; X^{li} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间所传输的总的数据包序列数, $X^{li} = X_{NO}^{li} + X_{O}^{li}$, 并且单条虚拟链路从发送端口到各个接收端口所传输的数据包序列总数相等。

当 $m=k$ 时,指定 k 条虚拟链路次序可靠度

$$R_{Ok} = \sum_{i=1}^k R_{Oi} / k \quad (8)$$

当 $m=n$ 时,假设虚拟链路总数为 n ,则全部虚拟链路的次序可靠度

$$R_{On} = \sum_{i=1}^n R_{Oi} / n \quad (9)$$

2.3.3 次序可靠度与性能参数的关系 造成 AFDX 中数据包序列传输次序错误的原因有很多,丢包就是其中之一。如果 AFDX 数据包序列中某个数据包丢失,则序列中其后的数据包被接收端接收到的次序必然发生错误。另外,其他非丢包因素也可以造成次序错误,此时次序可靠度可以对应多个网络性能参数。次序可靠度可以通过比对测量结果中的数据包序列所包含的数据包序列号信息,得出次序发生错误的数据包序列数量,从而得出次序可靠度。

2.4 正确可靠性

2.4.1 正确可靠性概念 正确可靠性,指 AFDX 中数据被正确的虚拟链路源端口接收到的能力。单条虚拟链路正确可靠性,指 AFDX 中各虚拟链路中从发送端口到接收端口的数据被正确端口接收到的能力;指定 k 条虚拟链路正确可靠性,指 AFDX 中指定 k 条虚拟链路的数据被正确端口接收到的能力;全部虚拟链路正确可靠性,指 AFDX 中所有虚拟链路的数据被正确端口接收到的能力。

2.4.2 正确可靠性参数 正确可靠性的度量参数为正确可靠度。正确可靠度 R_C 为在规定的条件下和规定的时间内,网络中数据被正确的源端口接收到的概率。在实际测量中,应当根据具体需求确定相应的测量范围,得出相应的正确可靠度。

假设网络中共有 m 条虚拟链路。当 $m=1$ 时,度量某一条虚拟链路的正确可靠度。

假设第 i 条虚拟链路的一个发送端口对应 t 个接收端口,此时 $R_{Ci}=R_{Ci}^t$,单条虚拟链路的正确可靠度

$$R_C^t = \sum_{i=1}^t N_C^{1i} / tN^{1i} = 1 - \sum_{i=1}^t N_{NC}^{1i} / tN^{1i} \quad (10)$$

式中: N_C^{1i} 为单条虚拟链路中被正确的接收端口 i 接收到的数据包数; N_{NC}^{1i} 为单条虚拟链路中没有被正确的接收端口 i 接收到的数据包数; N^{1i} 为单条虚拟链路从发送端口到接收端口 i 之间所传输数据包的总数, $N^{1i}=N_{NC}^{1i}+N_C^{1i}$,并且单条虚拟链路从发送端口到各个接收端口所传输的数据包总数相等。

当 $m=k$ 时,指定 k 条虚拟链路正确可靠度

$$R_{Ck} = \sum_{i=1}^k R_{Ci} / k \quad (11)$$

当 $m=n$ 时,假设虚拟链路总数为 n ,则全部虚拟链路的正确可靠度

$$R_{Cn} = \sum_{i=1}^n R_{Ci} / n \quad (12)$$

2.4.3 正确可靠度与性能参数的关系 造成 AFDX

中传输的数据包不能被正确的源端口接收的原因也有很多,不再赘述。正确可靠度可以通过直接测量目的接收端口接收到的数据包数量来确定。

3 分析及结论

完整性是反映航空电子机载网络性能及可靠性的一个重要指标,如何面向完整性要求评价航空电子机载网络的可靠性是一个重要的课题。本文从国外的完整性概念入手,根据确定性网络 AFDX 的对象特性及应用目的,从反映网络各类性能传输能力以及不同度量范围的可靠性 2 个方面来确定 AFDX 可靠性的评价参数,将 AFDX 可靠性划分为数据完整可靠性、及时可靠性、次序可靠性和正确可靠性 4 类。这 4 类参数面向的对象一致,但相互独立,分别考察网络性能要求的不同方面,其中,根据对虚拟链路考察范围的不同,每一项可靠性中又包含单条虚拟链路可靠性、指定 k 条虚拟链路可靠性、全部虚拟链路可靠性,如表 1 所示。最后,给出了各个参数的定义和数学表达式,明确了可靠性参数与性能参数之间的关系。

表 1 面向完整性要求的 AFDX 可靠性参数表

虚拟链路	数据完整 可靠度 R_D	及时可靠 度 R_T	次序可靠 度 R_O	正确可靠 度 R_C
单条虚拟 链路	R_D^1	R_T^1	R_O^1	R_C^1
指定 k 条 虚拟链路	R_{Dk}	R_{Tk}	R_{Ok}	R_{Ck}
全部虚拟 链路	R_{Dn}	R_{Tn}	R_{On}	R_{Cn}

在本文所研究的 AFDX 可靠性参数中,全部虚拟链路可靠性和单条虚拟链路可靠性是指定 k 条虚拟链路可靠性中当 $k=n$ (n 为网络中的虚拟链路总数)与 $k=1$ 时的特例,并且单条虚拟链路可靠性是指定 k 条虚拟链路可靠性和全部虚拟链路可靠性的基础。此外,通常一条虚拟链路的发送端口与接收端口之间分为一对一(即一条虚拟链路仅包含一个发送端口和一个接收端口)和一对多(即一条虚拟链路同时包含一个发送端口和多个接收端口)2 种关系,因此在度量单条虚拟链路可靠性时,应按照虚拟链路发送端口与接收端口的对应关系,分别度量虚拟链路的发送端口与所有接收端口之间的数据完整可靠性、及时可靠性、次序可靠性及正确可靠性。

需要说明的是,在AFDX中,数据的传输是通过虚拟链路的方式实现的,因此,本文的可靠性参数以基于虚拟链路的形式提出。然而,一条虚拟链路包含了一个或多个网络端口之间的数据传输,在AFDX实际应用之前,需要确定每条虚拟链路的配置情况,所以在工程项目前期虚拟链路的配置未确定的情况下,不能使用本文参数来评价AFDX的可靠性水平,需要以网络端口为对象进行可靠性评价。

另外,由于在AFDX中一个端口只对应一条虚拟链路,所以在虚拟链路配置确定之前,端口间的传输路径可能有多条,而在虚拟链路配置确定之后,端口间的传输路径确定为一条,因此,基于虚拟链路的参数对网络可靠性的评价结果更准确,这也是本文基于虚拟链路提出参数的原因。

可靠性参数的确定基于实际的网络性能测量,在测量过程中,涉及到测量样本量的确定以及性能阈值的确定,这将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 熊华钢,周贵荣,李峭. 机载总线网络及其发展 [J]. 航空学报, 2006, 27(6): 1135-1144.
XIONG Huagang, ZHOU Guirong, LI Qiao. A survey on avionics bus and network interconnections and their progress [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006, 27(6): 1135-1144.
- [2] 杜宏伟,马捷中. 航空电子全双工交换式以太网及其关键技术研究 [J]. 测控技术, 2008, 27(12): 36-39.
DU Hongwei, MA Jiezhong. Research on avionics full duplex switched Ethernet and its key technology [J]. Measurement & Control Technology, 2008, 27(12): 36-39.
- [3] 李峭. 基于交换式以太网的电子综合化系统实时通信研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 2004.
- [4] ITU-T E. 800 2008 Definitions of terms related to quality of service [S]. Geneva, Swiss: International Telecommunications Union, 2008.
- [5] ARINC 664 Aircraft data network: part 1 Systems concepts and overview [S]. Annapolis, Maryland, USA: Aeronautical Radio Inc., 2005.
- [6] ARINC 664 Aircraft data network: part 5 Network domain characteristics and interconnection [S]. Annapolis, Maryland, USA: Aeronautical Radio Inc., 2005.
- [7] ARINC 664 Aircraft data network: part 7 Avionics full duplex switched Ethernet (AFDX) network [S]. Annapolis, Maryland, USA: Aeronautical Radio Inc.,

2005.

- [8] Office of Aviation Research and Development. Handbook for Ethernet-based aviation databases: certification and design considerations [EB/OL]. [2011-11-11]. <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar05-54.pdf>.
- [9] LEE Yanghang, SCANDURA P A, RACHLIN E. Safety and certification approaches for Ethernet-based aviation databases [EB/OL]. [2011-11-12]. <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar05-52.pdf>.
- [10] ACTEL. Developing AFDX solutions [EB/OL]. [2011-11-12]. http://www.actel.com/documents/AFDX_Solutions_AN.pdf.

[本刊相关文献链接]

- 陈国强,王宇平. 采用离散粒子群算法的复杂网络重叠社团检测. 2013,47(1):107-113.
- 盖炳帅,王劲林,刘学. 采用 Petri 网的业务性能分析方法. 2012,46(12):12-17.
- 伍文,孟相如,马志强,等. 模块化动态博弈的网络可生存性态势跟踪方法. 2012,46(12):18-23.
- 李晓艳,张海林,郭超平,等. 一种异步的认知无线网络跳频算法. 2012,46(12):30-35.
- 翟治年,奚建清,卢亚辉,等. 任务状态敏感的访问控制模型及其有色网仿真. 2012,46(12):85-91.
- 张曼,段振华. 真并发等价性下的流程模型转换方法. 2012,46(10):42-47.
- 宋婧,丛犁,葛建华,等. 双层网络中一种协作博弈的动态资源分配方法. 2012,46(10):89-94.
- 刘阳,冯志勇,尉志清,等. Nakagami- m 信道下认知中继网络的中断概率上界闭式解模型. 2012,46(10):95-100.
- 高昂,李增智,赵季中. 用于无线自组织网络的属性加密算法. 2012,46(8):33-36.
- 杜文超,陈庶樵,胡宇翔. 向网络流的自适应正则表达式分组匹配算法. 2012,46(8):49-53.
- 任向隆,安建峰,高德远,等. 低功耗片上网络映射的遗传及蚂蚁融合算法. 2012,46(8):65-70.
- 李彬,王文杰,殷勤业,等. 无线传感器网络节点协作的节能路由传输. 2012,46(6):1-6.
- 代亮,许宏科,陈婷. 无线传感器网络可分负载调度算法. 2012,46(6):23-28.
- 戴力,庄奕琪,景鑫,等. 一种新型高性能 CMOS 电流模式的动态规划电路. 2012,46(6):29-35.
- 梁庆伟,姚道远,巩思亮. 一种保障时延能量高效的无线传感器网络路由协议. 2012,46(6):48-52.

(编辑 葛赵青)