

新型民航客机虚拟综合显示系统设计

张鹏, 刘博, 段照斌
(中国民航大学, 天津 300300)

摘要: 波音787等新型民航客机的投入使用对模拟训练器的驾驶舱虚拟综合显示系统提出了新的要求。为满足新型显示系统可切换、可重组、可移植, 显示内容更加丰富, 显示方式更加灵活的需求, 分析了新型显示系统的特点, 提出基于虚拟仪表组件素材库的开发流程。运用VAPS开发了显示界面, 建立了数据接口、通信链接和通信协议, 根据开发流程设计了满足要求的波音787虚拟仿真综合显示系统。为今后虚拟仪表的开发提供了开发流程、模块化素材库和通信协议, 大幅度提高了开发虚拟仪表的质量和速度。

关键词: 显示系统; 虚拟仿真; VAPS; 驾驶舱仪表; 素材库

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)06-0069-05

Design of a Virtual Integrated Display System for New Types of Civil Aircraft

ZHANG Peng, LIU Bo, DUAN Zhao-bin
(Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: The application of Boeing 787 and other new types of civil aviation aircraft put forward new requirements to the cockpit integrated virtual display system of training simulator. In order to meet the requirements that the display can be switched, recombined, transplanted with more information and more flexible display mode, the characteristics of the new display system were analyzed, and a development process was proposed based on virtual instrument component library. The display interface was developed by using VAPS, and the data interface, communication links and communication protocols were established. A virtual simulation integrated display system for Boeing 787 was designed based on the development process, which can meet all the requirements. The study supplies the development process, modular material library and communication protocols for the future development of virtual instrument.

Key words: display system; virtual simulation; VAPS; cockpit instrument; material library

0 引言

仿真模拟训练器已经成为当今国际航空界普遍采用的训练飞行员和维修人员的非常有效的手段。航空仪表系统作为模拟训练器的重要组成部分, 为飞行员提供飞行参数和飞行系统工作参数等相关信息, 是模拟训练器仿真度和先进程度的重要技术指标之一^[1]。目前新型民航客机如波音787、空客A380和C919等驾驶舱仪表都采用虚拟综合显示系统, 这种嵌入式虚

拟显示方式越来越成为仪表显示的发展方向^[2]。

目前, 对于模拟训练器虚拟仪表的开发, 主要采用图像处理软件和C++编程相结合的方法, 开发过程繁琐、效率低、开发周期长; 需要进行编程与代码调试, 对人员的技术要求高; 模块通用性、扩展性、可移植性差, 造成资源浪费; 建立的通信链路往往根据需要制定并无固定标准难以统一^[3], 无法满足新型虚拟显示系统的需求。

本文提出了基于虚拟仪表组件素材库建立显示系统的方法, 利用专业虚拟仪表开发软件建立民航客机虚拟显示界面, 并移植到仿真计算机中, 利用液晶显示器显示界面, 建立通信链路传输外部数据和控制信号, 从而完成整个系统的设计。利用这种方法设计的虚拟显示系统很好地满足了通用性、灵活性和可移植性的

收稿日期: 2016-05-19

修回日期: 2016-06-20

基金项目: 中央高校基本科研业务费中国民航大学专项(3122016D006)

作者简介: 张鹏(1963—), 男, 北京人, 硕士, 教授, 研究方向为民用航空器机载系统故障诊断、航班调度优化等。

要求^[4]。

1 基于 VAPS 的显示系统结构

VAPS XT 软件是由原加拿大 eNGENUITY Technologies 公司(现已由 CAE 收购并合并为 Presagis 公司)研发的一款针对航空电子嵌入式显示开发的多功能软件工具,适用于 Windows 和 Unix 等平台^[5]。VAPS 可以让用户在同一开发工具内定义图形界面和数据链路。设计人员不需要具备编程知识就可以在 VAPS 平台上设计各种虚拟仪表。

利用 VAPS 软件设计并建立的显示组件素材库具有层级结构,并进行了通信接口设置,在仪表开发过程中体现了良好的灵活性和通用性,大幅度提高了显示系统性能和开发效率。

该系统的硬件包括仿真计算机、显示器、数据源和控制面板,基本结构如图 1 所示。仿真计算机接收数据源和控制面板传输的数据,经过分析处理驱动并控制显示器显示。数据源提供界面故障数据和显示参数,控制面板包含各种按键和旋钮供技术人员仿真测试^[6]。

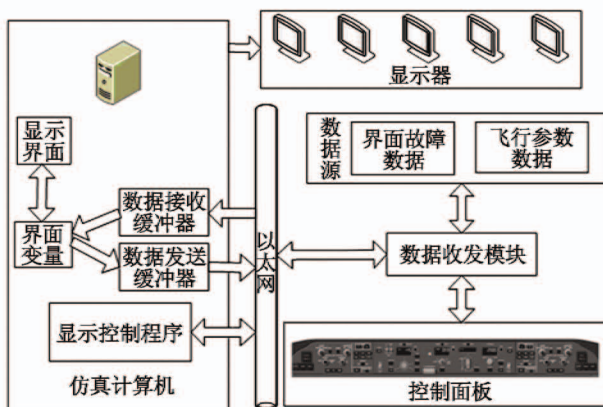


图1 综合显示系统基本结构

Fig. 1 Basic structure of integrated display system

显示系统的软件由 3 部分构成:仪表显示界面、界面切换控制和数据通信。仪表显示界面在素材库的支持下建立,并且在建立过程中对素材库进行扩充。素材库中各种虚拟仪表组件包含数据函数和数据接口,具备功能完备性,既可以独立显示也可以与其他组件组合^[7]。数据通信包括通信协议和通信链路,通信链路完成从仿真模拟训练器的信号收发组件到界面控制程序和虚拟界面的完整数据流传输。显示系统由综合显示屏(Display Unit, DU)显示,每块显示屏的显示内容和切换逻辑受 C++ 程序控制,C++ 程序接收显示信号和逻辑切换信号来控制屏幕中界面的显示和切换,系统的软件结构如图 2 所示。

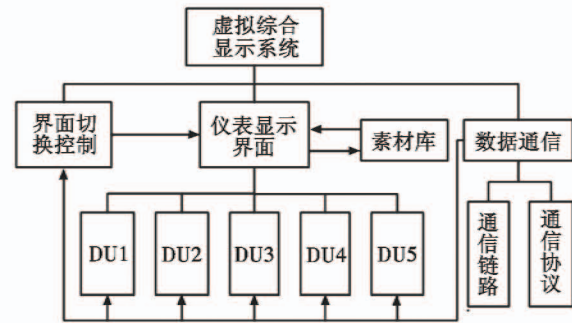


图2 系统软件结构

Fig. 2 Software architecture of system

2 虚拟显示界面设计

2.1 显示界面分析

在波音 787 驾驶舱中,电子显示屏显示虚拟仪表占据了仪表显示的主导地位,飞行参数和飞行系统工作参数都可以被完全显示。5 个多功能显示器实现了许多新的功能,如供地面滑行用的高清晰度机场滑行道地图,以及增强型垂直状况显示,提供进近区地形剖面图。每个显示器都能提供双窗口(分屏显示),或配置为大型策略地图。每块屏幕都可以显示 3 种仪表界面中的任意一种,这样,在屏幕出现损坏时可以实现系统冗余,提高系统的可靠性。

综合显示系统显示 3 种类型的界面:主飞行显示(PFD)、发动机指示与机组警告系统(EICAS)和多功能显示(MFD)。其中,多功能显示包括的界面有系统格式(SYS)、控制显示单元(CDU)、信息(INFO)、电子检查单(CHKL)、通信(COMM)和导航显示(ND)。

PFD 界面通常显示在机长和副驾驶的外侧显示器,可以划分为 PFD、小地图和辅助显示 3 个不同区域。通常,小地图显示在 PFD 的下方,辅助显示在界面的外侧^[8]。ND 分为全屏显示和半屏显示,其他仪表界面均为半屏,任意两个半屏可组合在一个屏幕上,这种显示方式增加了显示的灵活性。

2.2 模块化仪表界面设计

VAPS 是一个非常强大的虚拟仪表开发平台,在这个平台上只需要进行对工具和图形的操作与图形属性的设置就能完成仪表界面的设计。根据新型显示系统需求与 VAPS 的开发特点提出建立素材库,即仪表界面中组件的集合。仪表界面设计流程如图 3 所示。

进行仪表界面开发时首先要对界面进行分析,一般界面分为显示背景与仪表组件两部分。设计显示界面时,先在素材库中搜索,查看有没有类似素材。如果有则直接调用稍加修改,如果没有则利用原始材料进行设计,设计完成后作为新素材添加到素材库。这样,

在开发过程中使素材库不断扩充,为以后的设计工作提供更加丰富的素材。

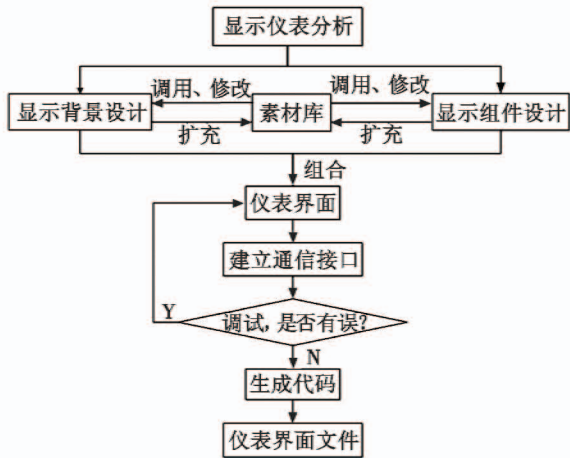


图 3 仪表界面设计流程

Fig. 3 Design process of instrument interface

2.3 典型模块设计

高度带是航空仪表中必备的显示组件,在设计高度带时,中央方框中当前高度值的千分位需要用大一级字号显示,这就要求千分位与其他位数值不能直接用高度值显示。在开发过程中可以选取合适的函数对接收到的数据进行处理后再显示。首先编辑函数 $ToInt(AData.OutputSignal/1000)$ 取出千分位,这样就可以单独改变千分位字体,并且还要确保高度值小于 1000 时千分位不出现 0。

$IfElse(AData.OutputSignal < ToDouble(1000), Bool :: FALSE, Bool :: TRUE)$, 这个函数作用是保证千分位等于 0 时为隐藏状态。取低于千分位的数值,函数为 $ToInt(AData.OutputSignal/1000)$, 低于千分位的数值正常显示。组合两部分就能得到满足要求的显示效果,如图 4 所示。

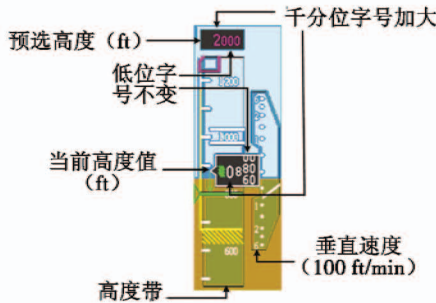


图 4 高度带

Fig. 4 Altitudinal belt

圆形仪表盘是民航客机驾驶舱显示系统中比较常用的显示组件,在仪表盘的设计中往往要涉及到仪表刻度的平均划分。VAPS 中提供了刻度按等角度复制的工具,方便设计圆形表盘组件。表盘刻度的数量参数计算方法 Number of Copies 为 $N - 1$,划分的角度参

数 Distribute Angle 为 $360(N - 1)/N$, N 为划分刻度的总数。比如,要设计具有 12 个刻度的圆形仪表盘,则 Number of Copies 为 11, Distribute Angle 为 330,仪表盘圆心坐标取值(0,0),这样就设计好一个以(0,0)为圆心、以 30°为最小刻度的时间仪表盘,图 5 为圆形导航仪表盘。

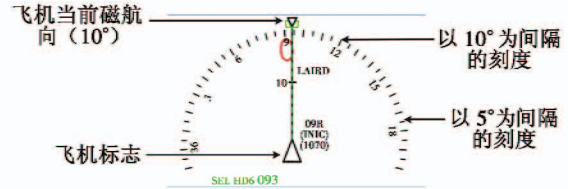


图 5 导航仪表盘

Fig. 5 Navigation instrument panel

2.4 显示切换逻辑

正常情况下,上电后 5 块显示屏显示默认的显示状态。在机长这一侧, PFD 和辅助界面显示在机长外侧显示器,半屏 ND 显示在内侧显示器的左半屏, EICAS 显示在内侧显示器的右半屏, CDU 显示在下显示器左半屏。在副驾驶一侧, PFD 和辅助界面显示在外侧显示器,全屏 ND 显示在内侧显示器, CDU 显示在下显示器右侧。默认显示状态如图 6 所示。

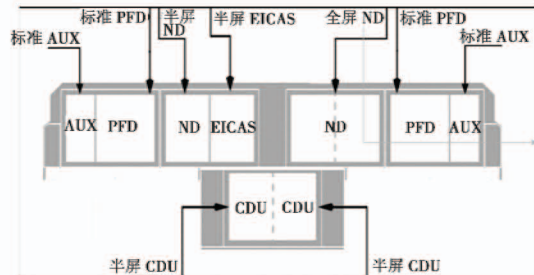


图 6 默认仪表界面显示

Fig. 6 Default instrument interface display

驾驶舱中仪表界面也可以显示在非常规位置,既可以自动控制也可以手动控制。外侧显示器出现故障时系统会以自动方式切换 PFD。当机长的外侧显示器失效时, PFD 切换到内侧显示器的左半屏, PFD 取消 AUX 界面并且显示为半屏格式。如果副驾驶的外侧显示器失效, PFD 切换到内侧显示器的右半屏,导航界面从全屏格式变为半屏格式。在机长或副驾驶仪表源选择面板上的 PFD/MFD 选择开关可以手动切换上述界面。界面切换开关选择 INBD 时,移动 PFD 到内侧显示器, PFD 以半屏格式显示, EICAS 或 MFD 显示在内侧显示器, 外侧显示器变为空白。界面切换开关选择 OUTBD 时,移动 MFD 或 EICAS 界面到外侧显示器, PFD 变为半屏格式, 内侧显示器变为空白。界面切换开关选择 NORM 时,使显示界面返回常规布局。

在机长和副驾驶的 EFIS/DSP (Electronic Flight In-

strument System/Display Select Panels)控制面板上有一个 EICAS 的切换开关,使 EICAS 在机长一侧的显示器和副驾驶一侧之间切换。如果其中一个内侧显示 EICAS 的显示器失效,EICAS 会自动切换到另一个内侧显示器。如果 2 个内侧显示器同时失效,用 PFD/MFD 选择开关切换 EICAS 到外侧显示器。EICAS 的切换开关可以在显示器故障或无故障的情况下使用。

MFD 中的界面通常显示在内侧显示器和下显示器。利用 EFIS/DSP 控制面板上的转换开关或 MFK (Multifunction Keypads) 选择 MFD 的显示界面。每一个转换开关和 MFK 上有 6 个切换选择,可以选择 SYS, CDU, INFO, CHKL, COMM 和 ND 6 种界面中的任意一种 MFD 格式。

仪表界面的显示切换是利用 C++ 程序调用可执行程序的批处理文件实现的,在批处理文件中可以使设计生成的仪表界面显示为不同的方式和位置,C++ 程序根据接收到的控制信号来改变仪表界面显示位置与显示内容。图 7 所示为显示切换控制流程。

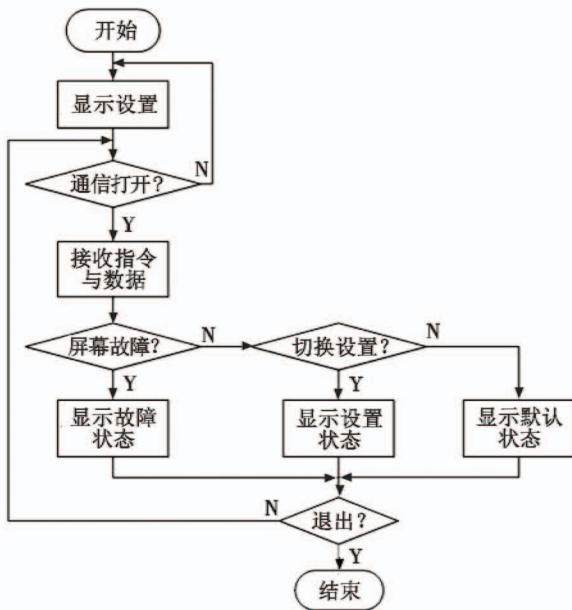


图 7 显示切换控制流程

Fig. 7 Process of display switching control

3 数据通信实现

显示系统的数据通信主要涉及 3 种形式:1) 同一仪表界面中不同变量之间的通信;2) 不同仪表界面中变量之间的通信;3) 仪表界面中变量同外部组件之间的通信。

前两种形式的通信通过 VAPS 提供的内部数据链路来建立,仪表界面同外部组件之间的通信可采用多种方式,主要有共享内存、TCP 和 UDP^[9]。为满足显示连续变化、数据实时传输的需求,本系统采用的通信方

式为 UDP。

界面变量与外部组件进行通信时,要为界面变量建立数据接收缓冲器与数据发送缓冲器。界面中的变量向外发送数据时,数据发送缓冲器按照数据传输协议编辑发送数据字符串,发送到以太网中。外部数据接收组件根据仿真计算机网络地址和通信协议接收传输的数据。外部数据发送组件发送数据时,数据发送程序按照数据传输协议编辑发送数据字符串,发送到仿真计算机的网络地址。接收缓冲器根据通信协议接收数据,通过界面中建立的数据流传输到显示变量。这样就完成了以以太网为媒介的数据传输^[10]。

仪表组件建立后,在数据流窗口建立需要驱动的仪表组件属性与图元文件属性之间的链路,在调用图元文件时就可通过图元文件属性驱动内部的仪表部件属性。在建立仪表模块时可以直接把用到的仪表组件拖到图版绘制窗口中,仪表组件就添加到绘制的仪表模块中并带有数据接口。

用户可以结合需要根据 VAPS 提供的数据定义格式定义被传输数据的数据描述,以飞机姿态数据描述的定义为例。

```
< dataDescription
name = " Bearing_of_aircraft" > //
  < field >
    < name > Roll </name >
    < type > float </type > //
    < cardinality > 1 </cardinality > //
    < name > Pitch </name >
    < type > float </type > //
    < cardinality > 1 </cardinality > //
    < name > Yaw </name >
    < type > float </type > //
    < cardinality > 1 </cardinality > //
  </field >
</dataDescription >
```

以上代码定义了飞机姿态数据描述,该数据描述包括 3 组数据横滚角度、俯仰角度、偏航角度,数据类型都是浮点型,数据元素个数都为 1。表 1 为飞机姿态数据描述的内容。

表 1 飞机姿态数据描述

Table 1 Attitude data description of aircraft

数据描述	飞机姿态			
	名称	类型	个数	字节数
数据元素	横滚角度	浮点型	1	4
	偏航角度	浮点型	1	4
	俯仰角度	浮点型	1	4

把建立好的数据描述添加到 VAPS 工程中,建立

相应的数据缓冲器、数据连接与数据映射,把数据缓冲器添加到仪表界面,这样就建立起了 VAPS 虚拟仪表同外部的数据连接端口。

在整个通信过程中,数据的传输都遵循相同的数据传输协议,协议的每一单元组为3段,第1段为数据描述名称,共32位,不足32位的用0补足。第2段为数据缓冲器名称,共32位,不足32位的用0补足。

第3段为数据数值,分为两部分,数据长度(字节数)与数据。数据长度共4个字节($ZZ_1 ZZ_2 ZZ_3 ZZ_4$),数据部分的字节数根据发送的数据个数、内容确定(假设共 l_{len} 字节 $DD_1 DD_2 \dots DD_{l_{len}}$),则数据长度部分以4个字节的16进制数的形式表示 l_{len} 。 $l_{len} = ZZ_1 \gg 24 + ZZ_2 \gg 16 + ZZ_3 \gg 8 + ZZ_4$ 。

例如,在同一组数据中发送为2个int型(32位4字节)数据,1个double型(64位8字节)数据, $l_{len} = 4 + 4 + 8 = 16$ 。数据长度部分为00 00 00 10,数据部分为16进制表示的2个int型数据、1个double型数据的数值。如果发送的数据对应 M 个字节,则数据的数值为

$$a = DD_1 \gg 8(N-1) + DD_2 \gg 8(N-2) + \dots + DD_x \gg 8(N-x) + \dots + DD_M \quad (1)$$

式中, DD_x 为 M 个字节中的第 x 个字节。

例如,如果发送2个int型(32位4字节),每个数据对应4个字节,则2个数据值的计算方法分别为

$$a' = (int)(DD_1 \gg 24 + DD_2 \gg 16 + DD_3 \gg 8 + DD_4) \quad (2)$$

$$a' = (int)(DD_5 \gg 24 + DD_6 \gg 16 + DD_7 \gg 8 + DD_8) \quad (3)$$

如果发送1个double型(64位8字节),则数据值为

$$a = (double)(DD_1 \gg 56 + DD_2 \gg 48 + DD_3 \gg 40 + DD_4 \gg 32 + DD_5 \gg 24 + DD_6 \gg 16 + DD_7 \gg 8 + DD_8) \quad (4)$$

4 实验测试

针对完成的虚拟显示界面设计了3个实验来测试界面显示的效果和通信效果。

实验1 测试显示效果。设计方案为:在显示仪表界面中添加一个三角波形函数,把产生的连续数值经过处理分别加到横滚角度参数、偏航角度参数和俯仰角度参数中,从而使飞机姿态随函数值动态变化。横滚角度测试值范围为 $-180^\circ \sim 180^\circ$,偏航角度测试值范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,俯仰角度测试值范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$,3个值同时变化来模拟飞机在飞行中姿态的变化。实验结果表明,显示参数与仪表指示都在合理区域,无不合理的显示缺陷。

实验2 测试飞机姿态通信。设计方案为:建立飞机姿态模拟平台,用三轴陀螺测试平台姿态,通过通信模块把测试到的数据传输到显示界面。在设定的范围内连续改变平台姿态,观察显示界面变化。实验结果表明,当平台姿态变化时,显示界面能准确地显示其变化姿态,通信传输的效果满足要求,显示效果见图8。

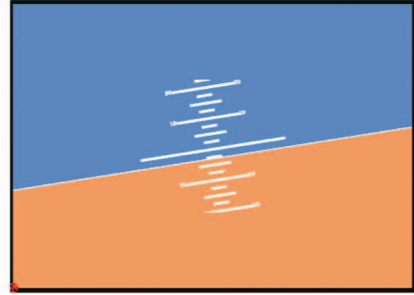


图8 姿态显示

Fig.8 Attitude display

实验3 测试切换效果。设计方案为:根据仪表界面切换过程设计程序测试切换时间间隔,并把间隔时间和人眼最小分辨时间做对比。实验结果表明,仪表界面切换平均间隔时间为23 ms,小于人眼最小分辨时间,切换间隔时间满足要求。

5 结论

虚拟仪表技术正在逐步发展和完善中,必将在飞机驾驶舱仪表中占据越来越重要的地位;而 VAPS 技术目前已经运用于波音 787 客机的驾驶舱显示。因此,基于 VAPS 和 C++ 的新一代虚拟仪表系统的研究是民航业发展规划中很有价值的一项任务。驾驶舱仪表越来越离不开虚拟显示,本文以功能强大的 VAPS 技术为基本立足点,结合 C++, 增加了可移植性和应用范围,界面切换功能增加了系统冗余,提高了系统可靠性,建立仪表通信协议,为今后的开发工作提供了标准。在开发虚拟仪表显示系统过程中初步建立了仪表组件和仪表界面素材库,其中包含各种虚拟仪表界面,具备完整性和独特性。

参考文献

- [1] 李想,乔木,官巍,等. 虚拟座舱技术在飞行模拟器中的应用[J]. 系统仿真学报,2013,25(s1):129-133.
- [2] 樊军. 虚拟仪表显示人机工效评价[D]. 西安:西安工业大学,2015.
- [3] 任晗,和麟. 基于动态航路的 EFIS 仿真系统设计[J]. 计算机仿真,2014,33(3):74-77.
- [4] 高颖,葛飞,刘宁,等. 基于 COM 技术的虚拟仪表 ActiveX

(下转第78页)

针对上述3种场景分别进行仿真,结果见图8。

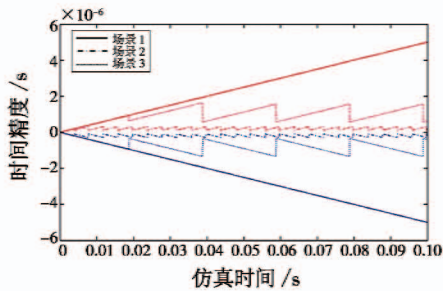


图8 时钟同步仿真结果

Fig. 8 Result of simulation

仿真结果如下。

1) 场景1:不执行同步算法时,节点之间的时钟偏差会越来越大,系统无法保持同步状态。

2) 场景2:同步周期为4 ms时,节点之间能够保持时钟同步,同步精度为0.29 μs 。

3) 场景3:同步周期为20 ms时,节点之间能够保持时钟同步,同步精度为1.34 μs 。

4) 场景4:当TTPN1 ~ TTPN3工作一段时间后故障,之后再恢复时,总线仍然能够保持同步状态。

由此可见,时间触发总线时钟同步算法能够有效实现总线上不同节点之间的时钟同步,并且具有分布式容错的特性,部分节点故障不会导致总线时钟同步的故障。由于该同步方法不需要额外的授时帧,因此具有效率高特点。实际应用中,同步周期越小同步精度越高,而同步周期本身也是总线通信调度的TDMA环,因此,设计中应当对总线进行合理的配置,使其既可以满足通信调度的要求,又能够保持其同步精度在合适的范围之内。

4 结束语

本文深入研究了时间触发总线中的时钟同步算法,并在OMNeT++环境下实现了时间触发总线节点模

型和时钟同步算法,针对不同的场景分别进行了时钟同步算法和同步精度的仿真实验,结果表明该算法能够在不需要授时帧的情况下有效进行时钟同步。

参考文献

- [1] 张喜民. ARINC 659 背板数据总线协议初探[J]. 电光与控制,2013,20(3):93-97.
- [2] 任齐凤,楼俊荣,贺轶斐. MIL-1394b 总线的确定性[J]. 航空电子技术,2015,46(3):34-39.
- [3] HERMANN K, GUNTER G. TTP-A protocol for fault-tolerant real-time systems[J]. IEEE Computer, 1994, 27(1): 14-23.
- [4] TTTech. Airbus A380-TTP based cabin pressure control system[EB/OL]. [2016-11-03]. <https://www.tttech.com/markets/aerospace/projects-references/airbus-a380>.
- [5] TTTech. Boeing 787-TTP based communication platform[EB/OL]. [2016-10-28]. <https://www.tttech.com/markets/aerospace/projects-references/boeing-787>.
- [6] 赵昱,何锋,王红春,等. 航空电子环境 TTP/C 总线应用技术研究[J]. 航空计算技术,2014,44(6):110-115.
- [7] 刘冬冬,张天宏,陈建,等. TTP/C 协议的关键特性研究[J]. 计算机测量与控制,2012,20(10):2769-2772.
- [8] LEE K, EIDSON J C, WEIBEL H, et al. IEEE 1588 standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems[C]//Sensors for Industry Conference, IEEE, 2002:98-105.
- [9] 沈连丰. 信息与通信工程原理与实验[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [10] 杨光旭,刘方爱,赵学臣. OMNeT++ 平台上无线传感器网络仿真系统的研究[J]. 计算机应用研究,2011,28(9):3443-3446.

(上接第73页)

控件开发[J]. 微处理机,2013(6):42-45.

[5] 石磊,张瑞平. 用 VAPS XT 与 Open GL 进行三维视图开发[J]. 电光与控制,2015,22(3):97-100.

[6] 邓勇. 虚拟座舱显示与视景仿真技术[D]. 西安:西安电子科技大学,2015.

[7] 周涛,李璐. 民用飞机电子飞行仪表仿真系统设计与

实现[J]. 电子设计工程,2014,22(22):160-163.

[8] 丁继伟. 某型通用航空飞机地面飞行仿真技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

[9] 马存宝,朱超,王彦松. 飞行管理系统模块的仿真[J]. 工业仪表与自动化装置,2014(2):42-45.

[10] 邱伟龙,陈国兴. 飞机虚拟仪表建模仿真关键技术研究[J]. 飞机设计,2014,34(3):49-54.