

引用格式:朱立平 陆志东 张丹涛,等.一种基于 FACE 标准的飞行器管理系统软件架构 [J]. 微电子学与计算机,2019,36(3): 77-81.[ZHU Li-ping, LU Zhi-dong, Zhang Dan-tao, et al. A vehicle management system software architecture based on FACE standard[J]. Microelectronics & Computer,2019,36(3):77-81.]

# 一种基于 FACE 标准的飞行器管理系统软件架构

朱立平,陆志东,张丹涛,武方方,屈华敏  
(西安飞行自动控制研究所,陕西 西安 710076)

**摘 要:**为了解决飞行器管理系统中应用 FACE 标准的符合性问题,提出一种平台特定服务段和输入输出服务段的功能划分方法.为了满足段间访问的实时性,采用输入输出服务的接口调用表技术建立一种低延迟的接口调用模型,并采用静态库端口通讯的方式实现传输服务.搭建了满足 FACE 标准接口的飞行管理系统原型系统,通过对原型系统端到端时延的实验,验证了该软件架构的有效性.

**关键词:**FACE;飞行器管理系统;软件架构;输入输出服务

**中图分类号:**TP316 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7180(2019)03-0077-05

## A vehicle management system software architecture based on FACE standard

ZHU Li-ping, LU Zhi-dong, ZHANG Dan-tao, WU Fang-fang, QU Hua-min  
(Xi'an Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710076, China)

**Abstract:** In order to solve the conformity problem when applying the FACE standard to vehicle management system, a function allocation method between Platform Specific Service Segment and IO Service Segment is proposed. A low latency interface access model of IO Service Segment is built, adopting a method of interface calling table, and a static port communication library for transport service is implemented, to meet the hard real-time demand. A vehicle management system prototype with FACE standard interface is built, and the experiment result in end-to-end latency shows that the proposed architecture is effective and acceptable.

**Key words:** FACE; vehicle management system; software architecture; IO service

### 1 引言

现代航空飞行器系统要求在降低成本、提高生存能力的同时,大大扩展了任务功能,这样就更加强化了系统功能融合的重要意义.模块化航空电子在物理综合的发展趋势,使得软件功能综合成为可能.功能和数据的深度融合在飞行器管理系统<sup>[1]</sup>(Vehicle Management System, VMS)的研制中也成为重要的方向.由此产生的关键的问题是要满足飞行器管理系统中飞行关键任务的安全性要求,这对 VMS

的系统和软件架构提出挑战.为了达到 VMS 系统中公共部分和任务部分的数据互联互通,需要建立机载系统能力的运行环境<sup>[2]</sup>.FACE(Future Airborne Capability Environment)是标准化组织 Open Group 于 2010 年提出的未来机载系统能力环境标准<sup>[3]</sup>,旨在提供通用软件组件,满足不同机载系统间软件复用的要求.FACE 最显著的特征之一是将软件体系架构中除了可移植组件段和操作系统段外,其余三个段(输入输出服务段、平台特定服务段和传输服务段)都是为解决系统间的数据传输业务而设

计的,这说明数据传输的功能分配是至关重要的. 如何解决 VMS 应用 FACE 标准时各个段的功能分配问题,以及同时达到实时性要求和低时延要求,成为焦点问题.

2 VMS 中各段功能分配

依据 VMS 软件的功能,将软件划分为五个段,即操作系统段(OSS)、IO 服务段(IOSS)、平台特定服务段(PSSS)、传输服务段(TSS)和可移植组件段(PCS). OSS 是其余四个应用段的基础,四个应用段均平行地构建于 OSS 之上. 为了满足可移植性, TSS 对外的接口、OSS 段的对外接口、PSSS 和 IOSS 之间的接口必须满足 FACE 标准接口的要求.

2.1 IO 服务段

IO 服务段的功能是直接操作硬件平台的输入输出,并向平台特定服务段提供标准接口. IO 服务段是一个很薄的层,它主要为了提供标准化的操作,使得满足屏蔽数据传输实现具体差异的功能. IO 服务段并不是数据的拥有者,而是数据协议的维护者. 除了标准中规定的航空总线协议(MIL-STD-1553B, ARINC429)外,为了满足 VMS 通用性的要求,还扩充了 1394B, TTP 总线的接口以及定制的对点总线接口,如图 1. 扩充这些接口的同时,向上提供的接口仍要满足标准接口要求.



图 1 VMS 中 IOSS 的组成

2.2 平台特定服务段

平台特定服务段是数据的拥有者,它通过调用 IO 服务段提供的标准化数据接口,实现数据的获取和递送. 平台特定服务段和特定平台紧密相关,对于 VMS 来说,它的平台特定服务段是整个系统的数据中枢,它对 VMS 系统接口控制文件中所有的数据均是可见的.

2.3 传输服务段

传输服务段完成数据的路由功能,它把平台特定服务段获取到的数据转发给具体应用,并收集各

个应用的数据,发送给 PSSS 段进行汇集. 在 VMS 中,传输服务段是一个非常重要的段,因为 VMS 的一大特点是多信息源数据融合、资源共享以及多操作面的功能分配. 这些功能需依赖传输服务段进行实时地、动态地数据分发服务.

2.4 VMS 可移植组件的识别

VMS 中最基本的功能是飞控功能<sup>[4]</sup>. 飞控可移植组件可分为业务层和平台层,业务层包括控制律计算组件、自动驾驶仪逻辑组件、大气数据解算组件等;平台层组件包括信号表决和监控组件、系统 BIT 组件等. 各个组件除了和硬件平台进行输入输出的交互之外,组件之间也进行数据交互.

相比于基本的飞控功能,VMS 在业务层上的上有很多扩展功能,但平台层的组件和飞控的平台层组件是一致的.

2.5 VMS 操作系统的约束

VMS 上由操作系统完成对硬件的管理和应用的实时调度,除需要满足实时调度要求外,分区也是一个基本要求. 虽然 FACE 标准支持分区和不分区的操作系统,但是应用不分区,只能在源代码或静态库级别复用,而分区则能支持二进制的复用,这是和 FACE 可移植组件的概念是一致的. FACE 指定的操作系统有 ARINC653 OS 和满足 POSIX 系列的 OS,也证明了这一点.

3 VMS 参考 FACE 架构及实现方式

从 PSSS 和 IOSS 之间的功能划分和调用关系,以及 TSS 段的实现方式这三个方面给出 FACE 参考架构.

3.1 PSSS 调用 IOSS 的算法

FACE 中允许 PSSS 段和 IOSS 段为不同地址空间的进程实现,通过 IOMM 消息进行进程间通讯实现,但在实时控制应用中,这样使用会产生较高的延迟,而通过静态库实现 IOSS 段会产生很大的设计耦合. 综合考虑低时延和低耦合,最佳方式是将 IOSS 段和 PSSS 段设计成可独立加载组件.

图 2 是 PSSS 段组件和 IOSS 段组件设计为 OSS 的中间件示意图. PSSS 段和 IOSS 段均向操作系统注册为可独立加载的组件,同时 IOSS 段注册一个接口库,用于提供给 PSSS 段调用.

操作系统维护接口调用表,接口调用表除了包

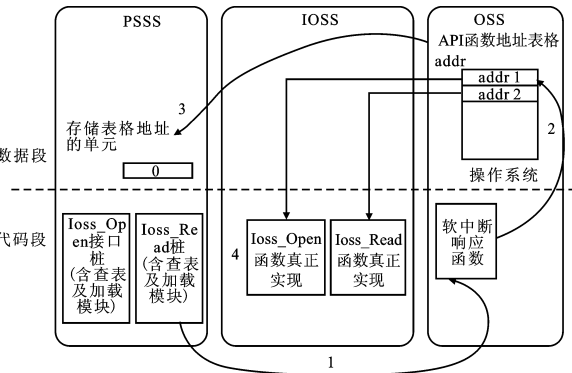


图 2 段间调用示意图

含操作系统向各个 FACE 段提供的接口,还包含 IOSS 段向 PSSS 段提供的接口. 算法的实现步骤为:

- (1)OSS 段提供公用接口导出库,供 PSSS 段和 IOSS 段使用;OSS 段为 IOSS 段提供库注册函数;OS 内部维护库注册表,并提供库注册表的查询函数;
- (2)IOSS 段向 PSSS 段提供 IOSS 接口导出库;
- (3)PSSS 段初始化时,使用 OS 提供的公用接口导出库完成向 OSS 段的注册;
- (4)IOSS 初始化期间,除使用 OS 提供的公用接口导出库完成向 OSS 段的注册外,还利用 OSS 段提供的库注册函数,完成 IOSS 接口导出库向 OS 的注册.

在此算法中,复杂度主要体现在第一步中的注册表查询算法,由于接口库注册表为线性表,且系统只维护一个这样的表(即 IOSS 唯一),算法的复杂度为  $O(1)$ . 由于 OS 既要完成公用接口导出库的注册又要完成 IOSS 接口导出库的注册,注册被发起时,需要利用库注册表的查询函数完成库的正确注册.

3.2 IOSS 设计特征

IOSS 段完成常见航空总线驱动向标准 IOSS 段接口的适配,它向 PSSS 段提供固定格式的 IOMM 消息,系统接口配置在 PSSS 段进行,由 PSSS 段传递给 IOSS 段,IOSS 段为独立加载模块,并具有通用性.

IOSS 段中分为驱动管理层和设备管理层,设备管理层在驱动管理层之上,驱动管理中负责驱动的抽象,将航空总线设备抽象成块设备,屏蔽设备的具体差异,一种驱动可以对应多个设备实例. 抽象后每

个设备的命名如表 1 所示.

表 1 IO 设备名

| 设备种类      | 设备名           |
|-----------|---------------|
| 1553 总线设备 | “/m1553/dev1” |
| 429 总线设备  | “/a429/dev2”  |
| 1394 总线设备 | “/m1394/dev3” |
| 点对点总线设备   | “sib/dev4”    |

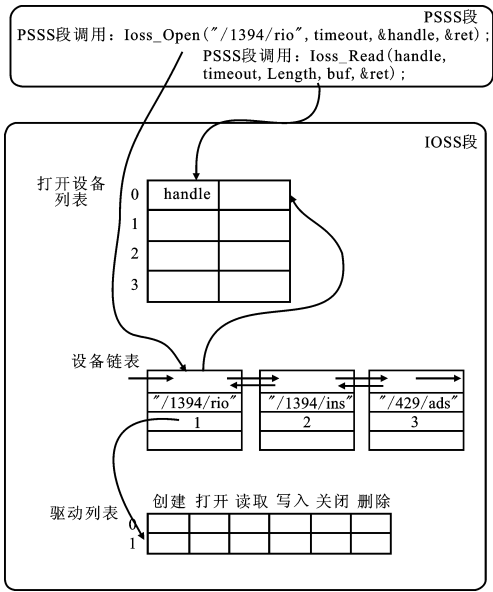


图 3 PSSS 对 IOSS 的调用

IO 功能在 PSSS 段和 IOSS 段的分配如图 3 所示,PSSS 段和 IOSS 段之间的接口是标准 FACE 接口,PSSS 发起向 IOSS 段的打开和读写等调用,IOSS 段负责设备和驱动的绑定、设备的创建,并且维护打开设备列表,便于实现 PSSS 的快速访问.

在此参考架构中,PSSS 段对 IOSS 段的调用分为如下几个步骤:

- (1)IOSS 段的初始化,完成设备的创建;
- (2)完成 IOSS 段组件向操作系统的注册;
- (3)PSSS 段调用 IOSS 段\_Open 打开设备,获取设备句柄;
- (4)PSSS 段调用 IOSS 段\_Read 读取设备.

3.3 IOSS 段的功能在物理节点上的桥接

VMS 的架构中,对外总线交互功能往往是在不同的物理节点上,通过内总线进行桥接. 需要设计 IOSS 的桥接器,实现 IOSS 在不同物理节点上的部署.

外总线交互功能与主处理器板在不同物理节点上,通过两个节点通过内总线相连时,主处理器板上

的 IOSS 段功能仅仅为数据接收功能,而 IOSS 段的实际功能分配在总线板上. 这种情况下,参考架构为图 4 所示.

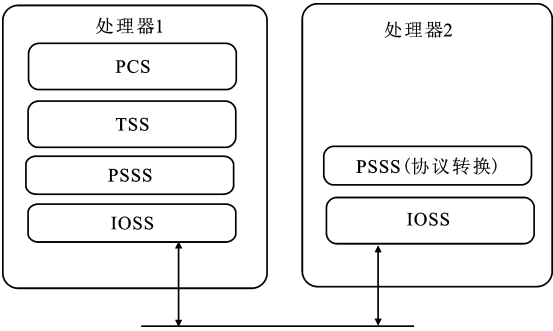


图 4 IOSS 段功能的分配

处理器 2 的 PSSS 段完成协议转换功能,外总线转内总线算法两个处理器协同执行步骤为:

- (1)处理器 2 通过标准 Ioss\_Read 接口读取外总线数据;
- (2)处理器 2 协议转换模块转换为内总线数据;
- (3)处理器 2 通过 Ioss\_Write 接口写入内总线数据;
- (4)处理器 1 的 PSS 通过 Ioss\_Read 读取内总线数据.

从以上步骤可以看出,两个处理器的 IOSS 段实现了复用.

3.4 传输服务段

FACE 中的传输服务段的主要功能是完成 FACE 组件之间数据的分发. FACE 提出了四种主要实现方式:基于端口的实现方式、基于数据分发服务<sup>[5]</sup> (DDS)的方式、基于 socket 的方式、基于 CORBA 的方式. 表 2 对比了这四种方式的特点和时延.

表 2 TSS 段的实现方式

|           | 特点              | 数据交换时延        |
|-----------|-----------------|---------------|
| 基于端口      | 实时分区应用之间数据交换    | 时延确定          |
| 基于 DDS    | 分布式应用之间         | 时延随数据量而定      |
| 基于 socket | 异步事件关联的应用       | 时延受网络负载影响     |
| 基于 CORBA  | 可以发起远程过程调用的应用之间 | 受操作系统任务调度影响较大 |

根据表 2 对比,由于 VMS 中飞行控制等关键应用对系统控制时延的要求,VMS 中适合 TSS 段的数据交换方式是端口和 DDS. 端口数据交换适合节点较少的场合,是点对点的模型,优点是确定性好,端到端通信不易受其它节点影响. 而在节点较多

的场合,数据交换又存在公用的主题的情况,适合利用 DDS 的发布/订阅模型.

由于 VMS 软件中各个软件以分区的方式运行于一个 CPU 中,VMS 中要求 TSS 完成 PSSS 中输入、输出和各个 PCS 之间的数据直接传送,在硬实时性必须满足的要求的前提下,并且 TSS 接口需符合 FACE 标准接口要求,以屏蔽具体实现的差异,利用统一的 TSS 接口实现数据传输. 下面是采用静态库的策略将采样端口创建封装为 FACE 的 TSS 连接创建的一个实例步骤.

- (1)将 FACE\_TS\_Create\_Connection 中的 connection\_name 参数映射为采样端口名;
- (2)将 FACE\_TS\_Create\_Connection 中的 connection\_direction 参数映射为采样端口中的 PORT\_DIRECTION;
- (3)将 FACE\_TS\_Create\_Connection 中的 max\_message\_size 参数映射为采样端口中的最大消息大小
- (4)从 TSS 配置文件中获取端口刷新速率参数;
- (5)以上述四步骤获取的参数调用采样端口创建函数;
- (6)返回的采样端口 ID 映射为 TSS 的连接 ID;
- (7)将返回的代码映射为 FACE\_TS\_Create\_Connection 的返回值.

4 原型与试验结果

以 VMS 中的大气数据系统(ADS)、控制增稳系统(CLAW)、机电管理系统(UMS)为例,设计一个 FACE 原型系统,如图 5,其中 PSSS 段中的 IP 和 OP 负载系统的输入输出,IOSS 段是一个通用的段,除部署于主处理器外,还部署于接口处理器<sup>[5]</sup>.

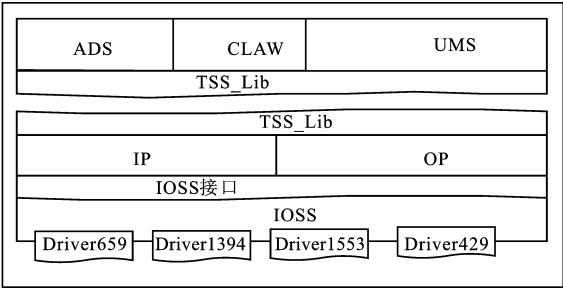


图 5 基于 FACE 的 VMS 原型

系统部署在分区的操作系统之上,每个 PCS 段

和 PSSS 段中的每一个应用均为一个分区,在主处理器 PowerPC755(运行频率 233 MHz)之上,实现的指标如表 3.

| 表 3 实现指标 |         |
|----------|---------|
| 内容       | 参数      |
| 系统帧周期    | 12.5 ms |
| 采集到输出时延  | ≧6 ms   |
| 机时余量     | ≦35%    |
| 操作系统调度开销 | ≧5%     |

## 5 结束语

FACE 架构应用到 VMS 系统中时,数据传输业务的功能分配和时延性能是两个核心要解决的问题. 这涉及到 PSSS 和 IOSS 的功能分配,以及 IOSS 和 OSS 的接口性能,同时还有 TSS 的功能设计. 本文中的架构方案,围绕着这三个方面展开,实验表明该架构很好的解决了各段的功能分配和运行时延问题,对 VMS 系统及软件的设计具有较高的指导意义.

### 参考文献:

[1] North Atlantic Treaty Organization. Integrated vehicle management systems [R]. Paris: Advisory Group for Aerospace Research & Development, 1996.

[2] KOONTZ R, JOHNSON D. Apache mission processor software architecture: future airborne capability environment (FACE) considerations[C] //Proceedings of AHS 70th Annual Forum. Montreal: American Helicopter Society International Inc, 2014: 1-13.

[3] The Open Group. Technical standard for future airborne capability environment (FACE), Edition 2.1 [EB/OL]. [2014-11-20]. San Francisco: The Open Group, <http://www.opengroup.org>.

[4] 高丽,吴文海,曲志刚. 飞行器管理系统研究综述 [J]. 飞行力学,2010, 28(3):1-4.

[5] 刘浩,蒋泽军,陈进朝. 一个面向服务的 DCPS 信息库的设计与实现 [J]. 航空计算技术, 2013, 43(5): 100-103.

### 作者简介:

**朱立平** 男,(1983-),硕士,高级工程师. 研究方向为安全关键系统软件技术. E-mail:zlponline@163.com.

**陆志东** 男,(1959-),博士,研究员. 研究方向为导航、制导与控制技术.

**张丹涛** 男,(1980-),硕士,高级工程师. 研究方向为安全关键软件及测评技术.

**武方方** 男,(1977-),博士,研究员. 研究方向为安全关键系统及软件技术.

**屈华敏** 女,(1970-),硕士,研究员. 研究方向为安全关键系统软件技术.