

机载计算技术的新进展

Latest Development of Airborne Computing Technology

牛文生 王乐 / 中航工业计算所

导读:分析了未来信息化技术对航空武器装备和作战方式的影响,提出了机载计算技术的发展方向,并对国际的最新研究情况,包括跨平台分布式计算系统、分布式综合化模块化结构、高组装/功率密度技术、多核处理器应用、高安全机载操作系统、高安全无线网络等,进行了总结,对国内机载计算技术的发展具有一定的参考价值。

关键词: 航空武器装备; 航空电子系统; 机载计算技术

Keywords: aviation weapon equipment; avionics system; airborne computing technology

1 信息化技术持续推动航空武器装备和作战方式的进步

近年来国外陆续提出空海一体化等一些新的作战方式,美、日、俄也提出所谓的第六代战斗机的总体设想。信息化技术推动航空武器装备和作战方式变化的发展方向主要有以下三个。

一是作战网络从传统数据链的固定、紧密、格式化的数据通信方式^[1]向移动、自组网、支持数据/图像/语音混合等多种数据共享和分发的接近地面互联网功能的作战网络发展。随着通信技术、网络技术的飞速发展,空军作战网络将从局限于一个战区中由预警机、战斗机、多用途飞机等通过数据链等战术通信链路组成的作战机群,转变为由卫星、舰船、地面部队、无人机、飞艇、远程指挥中心等局部和远程平台组成的海陆空天一体化、具有支持功能接近于互联网的网络操作方式的作战网络。信息共享方式也将从信息消费者被动接受的“推送(push)”方式转变为消息订阅/发布(subscribe/distribute)方式,

支持信息挖掘的“拉动(pull)”方式,支持信息消费者主动获取,更加接近于地面互联网的信息使用方式。

二是借助信息技术增强作战飞机信息感知能力、智能化水平^[2]。新一代飞机将装备更高智能化的操作系统、人机接口,具有更先进传感器和全向信息感知能力,装备智能化武器,提高飞机操控精度和敏捷性、提高决策速度和水平、具有更低的可探测性和更高的可靠性。在现有飞机的机械系统、动力系统高度成熟的前提下,提高飞机效能将主要依靠信息化技术应用带来的设备和飞机总体的技术进步^[2]。俄罗斯提出了“无人值守机载设备”的概念,旨在通过提高信息感知能力,通过智能材料、智能传感器、智能故障诊断和重构实现机载设备超长时间的免维修。日本则在其第六代战斗机的构想中提出利用云计算技术的“云攻击”概念^[3]。

三是向着无人化的方向发展^[2]。用高度智能化的无人作战飞机代替有人作战飞机完成各种高强度、高危险度和高成本的任务,能够大大提高作战能力、降低作战成本和减少人员伤亡

亡,是未来空军战斗的利器。尽管目前对下一代航空装备发展方向的认识还没有统一^[2],但是可以肯定的是,包含有人机、无人机的网络化作战体系是空军下一代装备的热点之一。在这个体系中,作战飞机通过高速数据网络实现信息和数据的共享,使得整个作战体系成为一个有机的整体。有人机在这个体系中担负着核心和枢纽的作用,在负责完成高技巧和高复杂度技术的基础上,还起着指挥和引导无人机完成高强度、高危险任务的作用。无人机在这个体系中也是不可或缺的部分,负责根据有人机的指令完成各种高强度、高危险度、高成本的任务,从而达到提高作战能力、降低作战成本、减少作战伤亡的目的。

2 机载计算技术的发展趋势

随着作战飞机由有人机向有人机和无人机相结合的方向发展,作战体系由单架飞机、飞机集群向海陆空天一体化网络作战发展,下一代机载计算机处理平台也向着跨平台、智能化、网络化的方向发展。当前的主要发展方向包

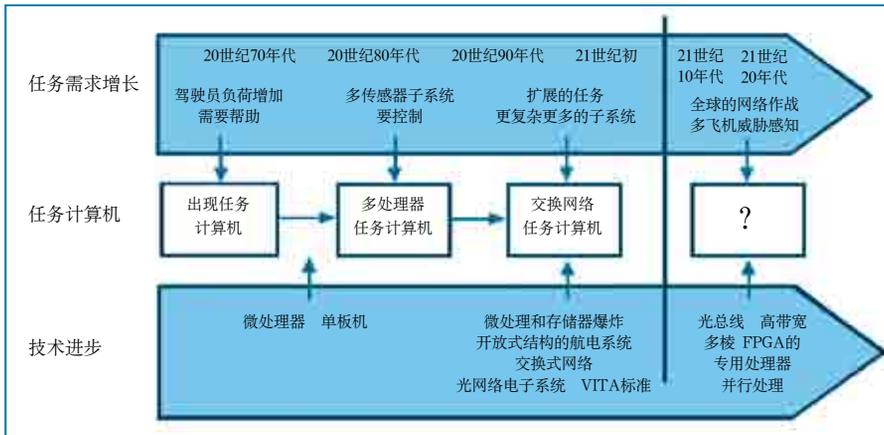


图1 机载处理平台需求和关键技术要素的变化

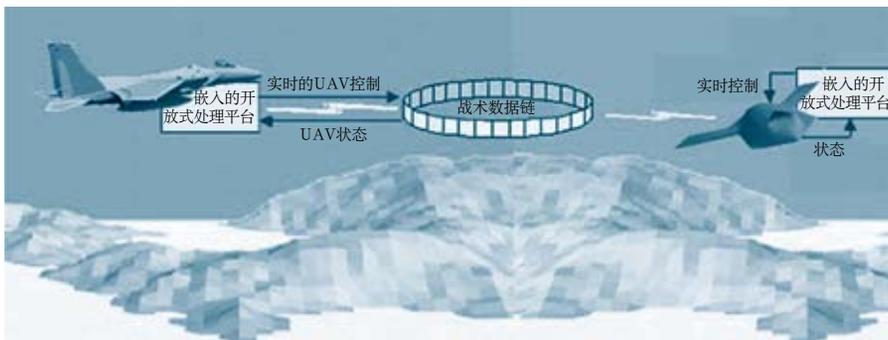


图2 由有人机、无人机、传感器组成的作战群

括：跨平台分布式计算系统、分布式综合化模块化结构、高组装/功率密度技术、多核处理器应用、高安全机载操作系统、高安全无线网络技术等。图1所示为洛·马公司总结的机载处理平台需求和关键技术要素的变化。

2.1 跨平台实时分布式计算系统

面向由有人机和多架无人机组成的作战群的新需求，国外开展了跨平台的互操作体系结构的探索和研究^[4]。典型的代表就是波音公司的开放式控制平台（Open Control Platform, OCP）。OCP的研究计划面向由有人机、无人机、传感器等多种作战平台组成的作战群（图2）。

在作战群中，包括了不同类型的作战平台、不同的功能应用、不同的任务软件、不同的硬件和通信方式、不同厂家或开发时期的武器，以及作战群组

成、作战的任务、平台的升级等动态变化。为解决这些异构、动态的多种平台的互操作，满足动态的组网、动态的任务规划和作战任务分配、控制层次的动态变化，实现安全的、实时的互操作能力，波音公司最终提出了异构平台的实时分布式中间件研究计划并进行了验证，最终将系统由传统飞机内闭环的控制，扩展到无人机协同有人机的作战群的控制中。

此外，Topia技术公司也开展了在航电系统中应用面向服务的体系结构（SOA）的探索，将整个航空电子系统的处理机和网络以一个整体的异构平台的形式向航电应用提供服务的可行性，把综合化处理平台向着更广更深的方向推进。

2.2 分布式综合化模块化结构

综合化模块化航空电子系统

（IMA）正在向着分布式综合化模块化航空电子系统（DIMA）发展，将核心处理计算机由一个集中计算机变为一个分布式的计算机系统。它在最初的通用核心系统综合化航空电子系统（CCS IMA）的基础上，采用交换网络和分区操作系统，连接多种不同功能的异构计算资源，实现了更大范围的资源共享和综合，为信息、功能的进一步综合奠定了基础，使得系统的功能性能进一步提升，而远程数据收集器、分布式安装等概念也使系统的重量大大降低，从而降低了全寿命周期成本（图3）。DIMA的航空电子系统已经得到应用，而Objective Interface系统公司也开展了在航电系统中应用数据分发服务（DDS）技术的探索，其目的是为了降低IMA系统开发的复杂度，提高服务质量和对应用开发人员的友好程度。

2.3 高组装/功率密度技术

为满足机载任务处理综合化的需要，综合核心处理平台向着高性能、高度集成的方向发展。但在满足任务需要的同时，高度集成的高性能处理机也带来了重量大、功耗高、成本高的缺点，如F-35的ICP重量超过30kg，功耗超过1000W，给飞机带来了较大的负担。因此，类似的综合化方法在直升机、无人机等领域的应用受到了很大的限制。

像洛·马公司、BAE系统公司、泰雷兹公司、伯克利大学、南加利福尼亚大学等，则试图从提高处理的效率的角度解决该问题，并研究新一代的高密度集成工艺和技术，如基于IP的高集成度接口技术、基于微机电系统（MEMS）的感知计算一体的计算机技术等。

2.4 面向航空的多核处理器/DSP应用技术

多核并行处理技术和定制的专用

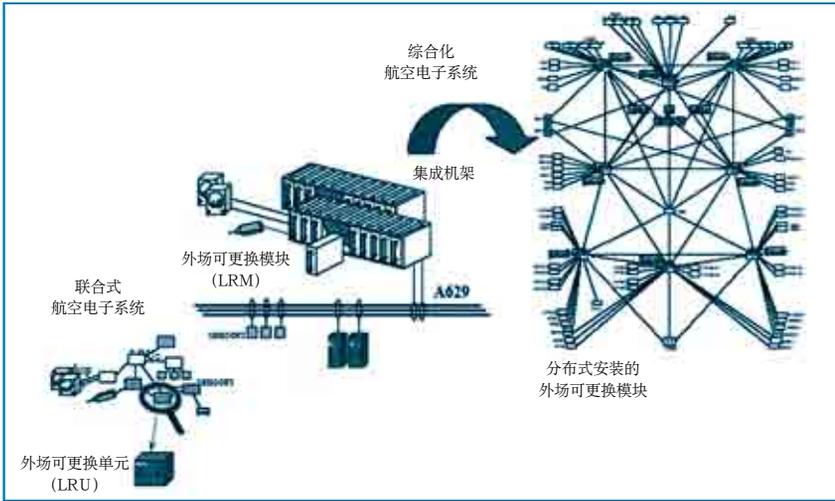


图3 航空电子系统的发展

处理技术是未来处理器发展的趋势。图4所示是泰雷兹公司总结的机载处理发展趋势图。由图可知，机载处理系统由20世纪80年代的80×86系列，逐步发展到本世纪初的PowerPC系列，在未来的5~10年中，多核处理器和专用处理器是机载计算的主要发展方向^[5]。在航空领域，多核处理器的应用技术主要有两个方向。

一是高性能专用处理，主要是针对雷达、光电等高性能传感器的信号处理，由于多核并行处理技术在本方向同传统的并行处理技术相似度较大，

因而得到了广泛的研究，并已经开始在一些系统中应用，如雷神公司在Mercury计算机系统公司的帮助下，将多核处理器成功的应用到SAR雷达的信号处理中，泰雷兹公司则将多核DSP处理器应用到气象雷达的信号处理中。

二是高确定性及高安全性处理方向，主要是针对多任务、强实时、高安全的航空应用，如任务管理、飞行控制、飞行管理等。由于受限于多核处理器的确定性问题，研究的进展较为缓慢，目前处于理

论分析和初步验证阶段。一些提供基础硬件的公司，在硬件方面如Freescale、Ti、SBS、Rad Stone等基础芯片、板卡厂商，Wind River、Green Hills、LynuxWorks等基础软件厂商积极进行针对强实时性和强确定性应用的研究，试图从基础计算平台的角度解决多核处理器在机载领域的应用问题；在系统方面，包括波音公司、洛·马公司、泰雷兹公司、DDC公司、伯克利大学、北卡罗来纳大学等，则通过访存延迟、通信实时性、应用的可预测性等方面的分析、计算和仿真，提出了多种解决方案，试图在多核平台上开发出能够满足任务确定性和实时性要求的应用。

2.5 高安全的机载操作系统技术

对未来作战形式下安全 (safty) 和信息安全 (security) 的需求，推动了机载操作系统的发展，对操作系统提出了能够支持不同安全级别信息的安全处理要求^[6]。

支持多安全级别信息的混合处理，为信息安全提供有效支撑，分区操作系统应满足多重独立安全级别 (Multiple Independent Levels of Security, MILS) 架构。而微核方式的分区技术可以保证核心软件足够小，能够提供形式化验证的工程条件，从而实现安全关键系统所需的高安全隔离特性。基于微核方式的MILS架构操作系统的核心设计思想是将操作系统进行层次划分，内核层仅仅包含提供分区隔离机制的最小功能集合；其他传统的操作系统功能（如设备驱动、文件系统、分区安全通信软件等）则以中间件的形式存在，分别驻留于不同的分区，为应用层软件提供服务（图5）。

2.6 面向航空的高信息安全无线通信网络技术

目前，无线网络在飞机上的应用情况可分为四种：一是基于Zigbee的机载无线传感网，目前国外还处于基础研究阶段，主要探索无线传感网在机载环境下应用的可行性，比较成熟的应用主要在一些

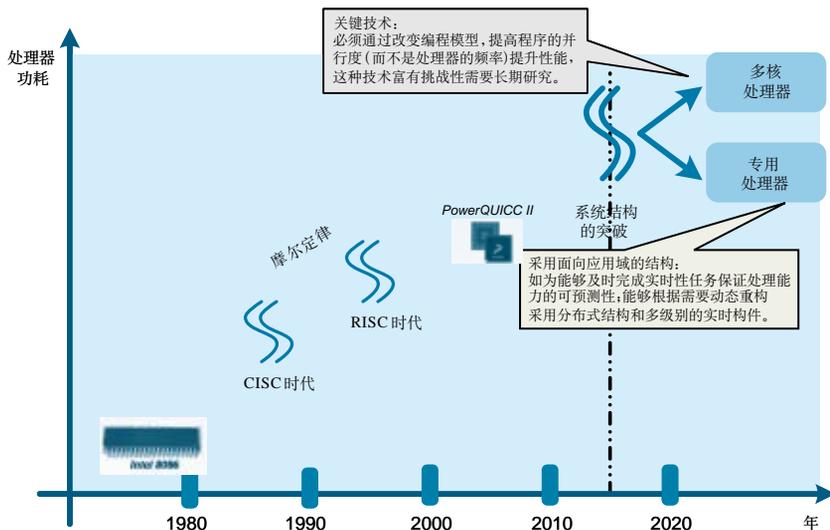


图4 机载处理的发展(泰雷兹)



图5 采用微内核的VxWorks MILS 2体系结构

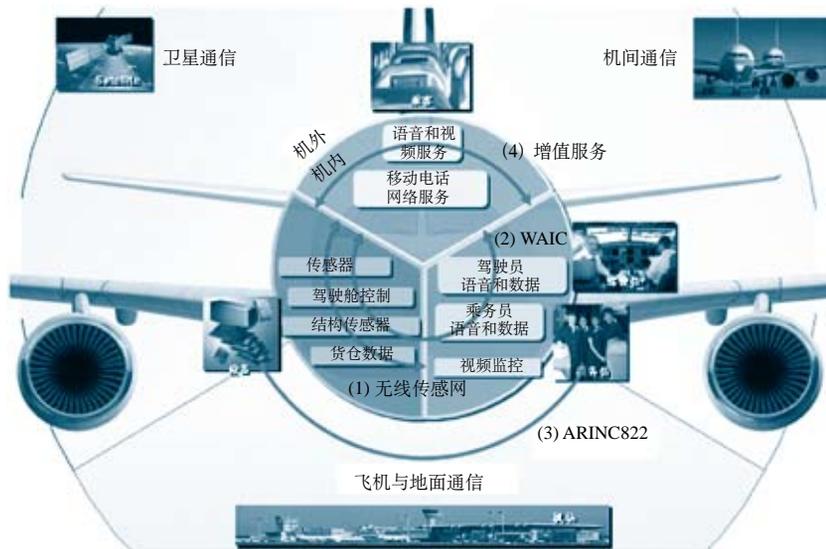


图6 航空无线网络的应用范围

特殊领域如太阳能无人机、客机卫生间烟雾探测等；二是基于WiFi的无线航电内部通信WAIC（Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC），用于机载设备之间、传感器与机载设备之间的通信，该项研究工作大概开展于2009年9月，目前也属于基础研究，主要研究WAIC的误码率、安全性、穿舱能力、抗干扰能力和电磁兼容能力；三是基于WiFi的飞机与地面（机场）之间的通信，主要传输飞行计划、电

子飞行包、维护信息等数据，2008年已公布了ARINC822标准，用在A380、波747-8等新机型中，用来代替原ARINC632/751，技术已成熟；四是基于WiFi的航空扩展应用，主要用于机内通话、座舱商务/娱乐等服务，较成熟。图6是航空通信的分类，及这四种情况的应用领域^[7]。

3 小结

机载计算技术作为信息技术的

基础技术，对飞机能力提升的重要性不言而喻。关注机载计算技术的新发展，有针对性的展开未来机载计算技术探索、研究，对提高我国机载计算技术的水平，形成自主的技术体系，直至成为引领机载计算技术发展的重要一员，具有重要的意义。 **AST**

参考文献

- [1] 昌文,程柳,张峰. 数据链的五大特征[N]. 解放军报, 2004-11-07.
- [2] 谢希权,邹卫国. 美国第六代战斗机发展动态及部分观点剖析[J]. 航空装备论证, 2011(1).
- [3] 日本防卫省技术研究本部. 未来战斗机研究构想[J]. 军事研究, 2010(3).
- [4] Paunicka J, Mendel B, Corman D. The OCP: an open middleware solution for embedded systems[C]. Proceedings of the American Control Conference, Arlington, VA, 2005-04.
- [5] Edelin G. Embedded system at Thales: the artemis challenges from an industrial perspective[Z]. Thales Embedded System Research Group, 2009-09-09.
- [6] Parkinson P. Security in the skies[J]. New Electronics, 2008(9).
- [7] Cramer J. Impacting Wireless Avionics Intra-Communications(WAIC) [Z]. Aerospace Vehicle Systems Institute, 2010-10.

作者简介

牛文生，中航工业核心计算平台技术首席技术专家，研究员，中国航空工业西安计算技术研究所总工程师，主要从事计算机系统结构研究工作。

王乐，工程师，主要从事计算机系统结构研究工作。