

## 民航机票搜索系统国产化适配研究

王炜东<sup>1,2</sup> 张宏海<sup>1,2</sup> 刘 硕<sup>1,2</sup> 武学成<sup>1,2</sup> 田 丰<sup>1,2</sup> 贾永强<sup>1,2</sup>

WANG Weidong ZHANG Honghai LIU Shuo WU Xuecheng TIAN Feng JIA Yongqiang

## 摘 要

当下,信息技术领域创新成果层出不穷,国产化信创事业蓬勃发展,民航业作为国家基础设施的关键组成部分,其系统的国产化适配能力显得尤为重要。尤其是对于民航机票搜索系统这类关键基础业务,其系统复杂程度高,性能要求高,对可用性和可靠性有极高要求,必须采取有效措施确保其在国产环境中高效稳定运行。面对上述挑战,文章通过在代码及应用迁移,性能优化等诸多方面进行研究,并在实际国产化环境进行验证,成功解决了民航机票搜索系统国产化适配问题,结果表明,结合业务特点,经过针对性优化,当前系统在国产环境中的性能可以与非国产环境持平,国产环境满足民航机票搜索系统的高可用要求。

## 关键词

信创;民航;机票搜索;ARM;代码迁移

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.01.012

## 0 引言

伴随民航业的迅猛发展态势、互联网技术的持续进阶,以及旅客需求的动态演变,机票搜索系统正面临着前所未有的挑战。对实时性与功能多样化方面的要求正不断攀升,一方面,其必须精准且实时呈现价格信息以及航班动态,涵盖起降时间、经停站点、航班延误或取消等全方位细节,确保旅客获取信息的准确性与及时性;另一方面,面对海量用户实时查询需求,系统要依托强大且高效的架构设计、优化的算法以及充足的服务器资源,实现快速响应,有效处理大规模数据流量,杜绝卡顿、延迟等现象,切实保障服务的连续性、稳定性以及信息输出的精准无误,全方位满足旅客在机票预订过程中的核心诉求,助力民航出行服务品质的整体提升。

2024年召开的中国共产党第二十届中央委员会第三次全体会议,审议并正式通过了《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》。其中关于自主可控及基础科技创新的论述引起了广泛关注。决定明确提出,要建立健全提升产业链供应链韧性和安全水平的制度,并积极推进打造自主可控的产业链供应链。中国民用航空局在“十四五”规划中,也明确提出在民航IT系统的关键技术、核心设备和软件等方面,减少对国外产品和技术依赖,避免因各种因素导致民航信息系统面临安全风险和供应中断的问题。

此外,考虑到当前国家信息安全的要求,信息安全也是民航安全的重要组成部分,国产化的民航IT系统能够更好地保障信息的安全性和保密性。要求民航IT系统在数据存储、传输、处理等环节采用国产的加密技术、安全认证技术等,确保民航信息不被泄露、篡改或滥用。民航机票搜索系统作为民航业关键核心系统,每年为6亿用户提供出行服务,其国产化改造迫在眉睫,国产化不仅可以降低对外部技术的依赖,还可以提高系统的安全性。

在民航业的发展历程中,机票搜索业务因其高度复杂性,催生与之相适配的一整套复杂体系架构,如业务体系、数据体系、信息系统体系,以及以国际航空运输协会(IATA)、航空公司票价发布公司(airline tariff publishing company, ATPCO)为标准的运价发布和计算体系。当前,全球航空公司的数量接近700家,每天执行的直达航班数量就超过20万班,在ATPCO平台上发布的直达运价数据超过10亿条,再加之联程航班、组合运价、规则运价的大量存在,构成了一套海量的基础数据。在如此复杂的数据基础上,机票搜索系统必须在有限时间内搜索出符合旅客要求,并满足航空公司销售意图的几十或几百个结果,从而导致了机票搜索系统必然具有高业务复杂度、高算法复杂度和高技术复杂度的特点<sup>[1-2]</sup>。

## 1 系统现状

当前民航机票搜索系统采用高内聚和零共享架构技术,所有搜索业务逻辑和数据均在同一台服务器内部,不同模块之间共享数据,减少服务器间的调用,并具备线性扩展能力;系统采用高性能x86服务器(intel CPU)和Linux(redhat)

1. 中国民航信息网络股份有限公司 北京 101318

2. 北京市民航大数据工程技术研究中心 北京 101318

系统，无第三方商业软件和关系型数据库，使用自研 MMAP 内存数据库，大容量固态硬盘（SSD），提高数据读写速度，加速处理流程。为了最大限度进行整体性能优化，实时搜索应用的所有模块整合成一个服务，尽量不产生跨机器 CPU 的 transaction。这种高内聚模式为高性能提供了基础，同时也对 CPU 提出了更高的性能要求<sup>[3]</sup>，架构如图 1 所示。



图 1 当前架构

目前国产芯片采取“分散突围”的策略，以兆芯、海光为代表的 x86 路线，以华为、飞腾为代表的 ARM 路线，在 2 种技术路线上，建立起截然不同的整机、操作系统以及应用生态，如何进行选择也成为一道急需解决的难题<sup>[4-5]</sup>。

从技术层面看，x86 架构的 CPU 最大的优势在于起步早，拥有成熟而丰富的生态，兼容性广，并且功能和单核性能都较强大，仍然是全球服务器 CPU 的主流架构。但 x86 架构在低功耗方面的表现一直稍有逊色，而且对于国内来说，还存在一个致命问题，就是 x86 的 IP 授权由美国的 Intel 和 AMD 掌握，如果一旦停止授权，后续整个民航搜索系统的业务发展将受到很大影响。反观 ARM 架构，国内部分厂商已经获得指令集授权，实现 100% 源码，可以优化处理器架构、指令集并设计芯片，高度自主可控的特点让 ARM 架构的 CPU 拥有极高的可靠性和成长性，并且 ARM 架构服务器通常具备较多的核心数，这使得它在高并发工作负载（如 Web 服务、数据库操作）上有一定优势，但是，ARM 架构 CPU 仍然有缺点，在单线程性能和某些高性能计算任务上，ARM 架构落后于 x86<sup>[6-7]</sup>。

当前，民航机票搜索系统生产环境采用 Intel x86 架构

CPU，相比迁移到国产的 ARM 环境，迁移到国产 x86 环境难度更小，需要完成的适配工作更少，只需要关注性能上的差异。但是，从自主可控的长远发展考虑，ARM 路线是最优选择，并且随着技术的发展，ARM 架构的 CPU 性能未来也会有所增长，所以在满足安全生产要求和当前业务指标要求的前提下，国产 ARM 架构是当前最优选择，国产 x86 架构是次优选择。因此，国产化适配并非简单迁移到一个新的技术栈，而是需要解决下面一系列问题：

- （1）代码兼容性适配：确保一套代码可以在不同类型的操作系统（Redhat）和 CPU 架构上正常稳定运行，当前系统主要开发语言是 C++，同时其他模块采用 Python 和 Java 开发。
- （2）性能优化：考虑到当前国产 CPU 和 Intel CPU 的性能差距，如何针对国产环境进行针对性的性能调优才能确保系统达到甚至超过原有性能水平。
- （3）高可用性：保证系统在国产环境中依然能够保持高可用性和稳定性，如果出现故障，如何进行快速的回滚与应用恢复。

2 解决方案

在民航机票搜索系统的国产化适配过程中，代码迁移至国产技术栈是一项至关重要的任务。此过程涉及从现有的技术栈向基于飞腾 2500 和鲲鹏 920 ARM 架构 CPU、麒麟 V10 SP2 操作系统以及 GCC 7.3.0 编译器的新平台过渡。在此过程中，必须解决兼容性问题，调整依赖库，并优化整体性能，同时系统满足高可用<sup>[8]</sup>。

2.1 代码适配兼容性解决方案

- （1）第三方库兼容性和资源问题：在国产环境中，诸如 Boost、Xerces、TBB 等第三方库存在版本不兼容或在 YUM 源中缺失的问题。对于版本不一致的情况，寻找与国产 YUM 源兼容的版本，并相应调整代码以确保向后兼容性。对于那些在 YUM 源上不可用的库，通过从官方渠道获取源码，在信创环境中利用自动化打包工具重新生成安装包并进行安装，从而解决编译依赖问题<sup>[9]</sup>。
- （2）自研组件的信创环境适配：系统中使用的自研消息队列组件 tapmq 最初是为 x86 架构设计的，因此需要对其进行代码重构，以便在 ARM 架构上正确编译并运行，从而生成适用于信创环境的依赖库。
- （3）PAGE\_SIZE 内核参数差异：由于 ARM 架构的 PAGE\_SIZE（通常为 64 KB）与 x86 架构（通常为 4 KB）不同，这导致了自研 MMAP 内存数据库在 ARM 平台上无法正常

工作。为了解决这个问题,采用了条件编译技术,通过脚本检测运行环境,并根据环境的不同添加相应的宏定义。此外,还在 CMake 文件中引入了架构识别机制,以便根据不同架构配置特定的编译参数,并修改了源代码中的 PAGE\_SIZE 相关部分,使得 MMAP 数据库能够在不同内核参数下成功构建。

(4) ARM 架构特有的寄存器问题: ARM 架构缺乏 x86 架构中的 EAX 和 EDX 寄存器,因此需要调整内嵌汇编代码,以适应 ARM 架构的特点。

## 2.2 性能优化方案

针对性能优化方面,民航机票搜索系统是一个对 CPU 性能有着极高要求的高并发系统。鉴于国产 ARM 架构 CPU 相较于 x86 架构 CPU 具有较低的主频和较差的单核性能,这直接影响了机票搜索请求的响应时间。为了缓解这一问题,本文采取将大请求分解为多个小请求的方法,以此增加并发处理能力,进而实现机票搜索服务在 ARM 架构下的性能表现接近于 x86 架构。

通过上述措施,有效解决了代码在国产化过程中的兼容性适配问题,并且提高了系统的性能表现。

## 2.3 高可用解决方案

为了确保民航机票搜索系统在迁移至国产化环境过程中能够平稳过渡并保持高可用性,需要实施一个详细的并轨运行方案。该方案不仅避免了直接将所有流量切换至国产环境的风险,还提供了在遇到问题时能够迅速回切的机制。具体来说,当前系统采用 x86 环境与国产 ARM 环境并轨运行的方式,流量逐步切换至国产环境,并持续验证国产 ARM 架构服务器在实际生产环境中的各项性能指标。此外,引入公有云资源作为补充,以应对航空公司客户促销活动期间可能引发的流量激增情况。

### 2.3.1 并轨运行方案概述

(1) 双轨运行机制:在初始阶段,x86 环境与国产 ARM 环境将并行运行。流量被分流,大部分请求继续由 x86 环境处理,少部分请求则被导向国产 ARM 环境。这种方式允许系统管理员和开发人员实时监控两个环境的表现,并确保国产 ARM 环境能够满足性能、稳定性和安全性要求。

(2) 流量逐步切换:随着国产 ARM 环境稳定性的逐步验证,流量逐步从 x86 环境转移到国产 ARM 环境。这个过程需要精确控制,以确保迁移过程中业务的连续性和用户体验的一致性。民航机票搜索系统采用分航司客户,分流量方案进行逐步切换,通过在 SSA 接口服务平台配置客户请求分流比例,一部分流量分流到国产 ARM 集群,一部分流量保

留在 x86 集群,具体比例可以按照航空公司或者代理客户的日常流量大小进行控制,对于日常流量较大的客户,可以按照 1/4 或者 1/3 比例进行逐步切换,对于日常流量较少的客户,可以按照一半比例进行切换,每次切换完后持续运行一段时间以验证新环境的稳定性。

(3) 持续验证与监控:在整个并轨运行期间,持续监测国产 ARM 环境的各项性能指标,包括但不限于响应时间、吞吐量、错误率等。通过实时监控工具和日志分析,可以及时发现潜在问题并迅速响应。

(4) 应急回切机制:为应对可能出现的技术难题或意外情况,需要制定详细的应急回切计划。当前民航机票搜索系统由接口服务 SSA 模块控制请求分流及应用回切,当机票搜索模块国产 ARM 环境出现技术故障时,通过直接修改 SSA 模块配置即可快速实现应急回切到 x86 环境;对应 SSA 国产模块出现技术故障时,由于 SSA 模块采用集群化部署,并且具有一定的资源冗余,直接采用隔离措施即可,x86 集群仍然可以继续提供服务<sup>[10]</sup>。应急回切机制如图 2 所示。

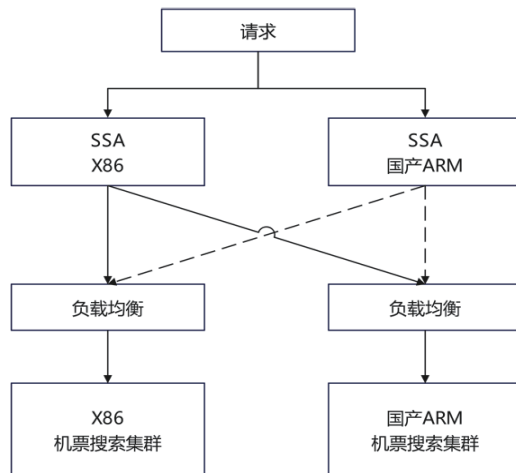


图 2 应急回切

(5) 公有云资源的引入:考虑到航空公司客户促销等活动可能导致瞬时流量激增,系统架构中增加了公有云资源。在此需要特别说明,私有云相比公有云的优点是本地部署,缺点是资源扩建效率低,无法应对流量突发增长,公有云弥补了这一缺点,可以迅速扩展,提供额外的计算能力和存储空间,确保在高峰期系统依然能够保持高效运行。整体架构概览如图 3 所示。

整个民航机票搜索系统包含几个组成部分:

云上基础设施:利用公有云服务提供商的资源,以应对突发流量需求。

云下混合部署 IDC:在本地数据中心内,同时部署 x86 架构服务器和国产 ARM 架构服务器,形成混合环境。

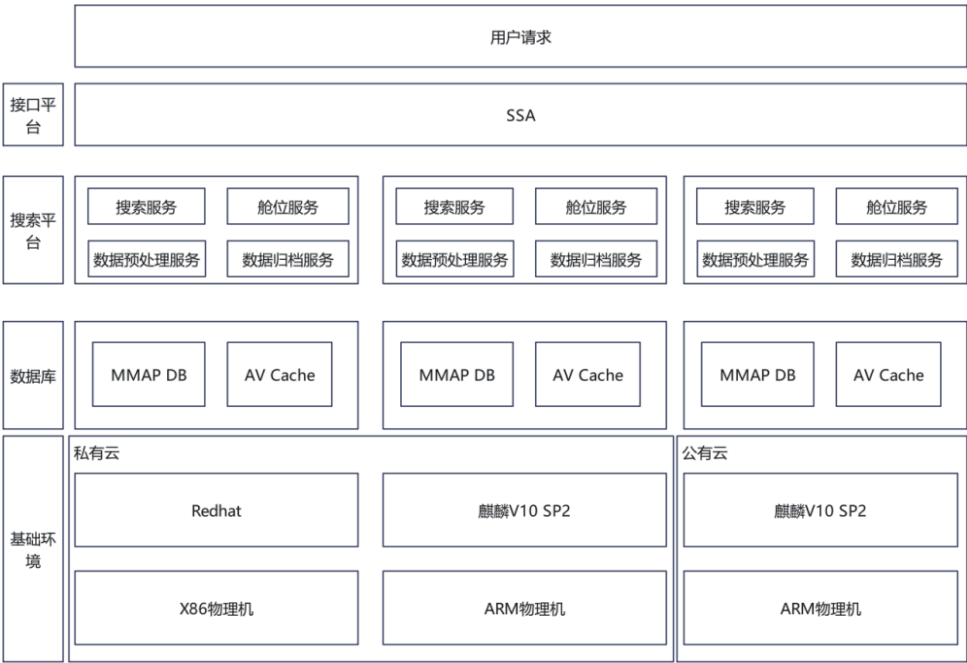


图 3 整体架构

3 研究成果与未来展望

民航机票搜索系统作为高性能系统，系统复杂度高，迁移难度大，目前已经完成国产与非国产平台并轨运行，SSA模块、搜索模块、数据库均完成适配及迁移，并且能够正常稳定的运行各项业务。在前期系统适配，后期系统上线过程中，开发团队通过并轨运行方案，性能优化等方法，确保了系统的平稳运行。最终成功实现了民航机票搜索系统全部业务的国产化适配改造，同时验证了国产服务器及操作系统的性能和稳定性。

4 结语

本文提出了一种民航机票搜索系统的国产化迁移方案，并详细探讨了其实施过程中的关键技术挑战及解决方案。通过对现有 x86 环境与国产 ARM 环境的并轨运行，成功实现了系统的平稳过渡，并确保了在迁移过程中系统的稳定性和业务连续性。通过一系列的努力，不仅完成了 SSA、搜索模块以及数据库的适配与迁移，还确保了系统在国产化环境中能够正常稳定运行。此外，通过引入公有云资源，增强了系统的高可用性和应对突发流量的能力。通过本文的研究与实践，希望能够为其他类似系统的国产化迁移提供有益参考与借鉴，共同推动中国信息技术产业的发展与进步。

参考文献：

[1] 黄斯阳. 信息系统国产化改造及与发展探究 [J]. 数字通信世界, 2023(7):68-70.

[2] 金磐石, 张晓东, 邢磊, 等. 建行信用卡系统全栈国产化

改造研究 [J]. 计算机技术与发展, 2024, 34(6):192-200.

[3] 黄向平, 彭明田, 杨永凯. 基于内存映射文件的高性能库缓存系统 [J]. 电子技术应用, 2020, 46(7):113-117+126.

[4] 林灵, 高允翔, 王奉军. 自主可控云原生生态与架构研究 [J]. 信息通信技术, 2022, 16(4): 63-69.

[5] 徐翥. 工商银行全栈多异架构解决方案 [J]. 中国金融电脑, 2022(2): 47-49.

[6] 黄倚霄, 曾海剑, 黄东江, 等. 信创体系下跨 x86 和 ARM 双栈架构的流水线探索与实践 [J]. 通信世界, 2023(18): 37-38.

[7] 侯勇. 银河麒麟操作系统高可用技术的设计与实现 [D]. 湖南: 国防科技大学, 2005.

[8] 苏月. 华为鲲鹏 920: 一颗勇敢的“芯” [J]. 计算机与网络, 2019, 45(21):72-73.

[9] 周超. Linux 操作系统在 ARM 硬件平台上的移植 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.

[10] 白英杰, 赵正旭, 吴晓进, 等. 国产操作系统应用服务部署策略的探讨 [J]. 电脑与信息技术, 2019, 27(1):51-55.

【作者简介】

王炜东 (1991—)，男，山西临汾人，本科，工程师，研究方向：民航信息化技术。

张宏海 (1978—)，男，黑龙江哈尔滨人，硕士，高级工程师，主要研究方向：民航信息化技术。

刘硕 (1978—)，女，辽宁葫芦岛人，硕士，高级工程师，研究方向：民航信息化技术。

武学成 (1986—)，男，山东潍坊人，硕士，工程师，研究方向：民航信息化技术。

田丰 (1980—)，男，北京人，硕士，高级工程师，研究方向：中间件、云计算架构。

贾永强 (1977—)，男，陕西宝鸡人，硕士，工程师，研究方向：民航信息化技术。

(收稿日期：2024-10-08)