

多样性算力技术愿景白皮书

(2021年)



牵头单位

中国移动通信有限公司研究院 中国电信股份有限公司研究院 中国联合网络通信有限公司研究院 华为技术有限公司
安谋科技（中国）有限公司 飞腾信息技术有限公司

支持单位

中兴通讯股份有限公司 清华大学计算机系高性能计算研究所 新华三集团 中国信息通信科技集团有限公司
中国信息通信研究院

前言

随着5G、人工智能、云计算、大数据、物联网等新一代信息技术在各行各业广泛应用并取得加速突破，人类社会已经迎来了数字经济时代。万物互联产生各种各样的数据，数据成为劳动、资本、土地和技术之外的第5个生产要素，围绕数据分析处理的算力成为新的生产力。行业应用的多样性带来数据和算力的多样性，没有一种计算架构可以高效满足所有业务诉求。计算密集型应用需要计算平台执行逻辑复杂的调度任务，而数据密集型应用则需要高效率地完成海量数据并发处理，这使得单一计算平台难以适应业务要求，计算多样性成为必然。

传统CPU架构强调高性能单核处理能力，虽能兼容大量指令，但在AI或高计算力需求下，计算任务执行效率较低，功耗较高不符合绿色节能的发展趋势。以ARM为代表的RISC流派CPU称雄智能终端侧市场。随着消费侧技术迭代的快周期，ARM在工艺制程取得领先，并在多核并发、高吞吐等方面优势明显，迅速拓展到数据中心、PC、HPC等应用场景。与此同时，MIPS架构推出了多款面向桌面应用的产品，基于Alpha架构的中国超级计算拿下多个世界第一，RISC-V的单板计算机在2021年年初面世。不同计算架构齐头并进，行业呈现出百花齐放的状态。

一个成熟的计算产业，需要丰富多元的软硬件供应体系，并制定芯片、整机、软件等不同层次一致性的规范来发挥产业规模效应，需要便于应用适配和迁移的工具促进应用发展，需要客观中立衡量性能的“标尺”牵引技术提升，形成生态型产业布局。本白皮书从需求角度，探究国内多样性算力发展的现状和问题，以ARM为例，基于电信行业需求，提出技术发展策略建议，并阐述电信行业引入多样性算力的具体方案和步骤，为业界提供最佳实践参考。我们呼吁凝聚行业力量，以面向实际应用为导向，同心协力，为世界算力提供更多选择。



目 录

1 多样性算力产业现状、发展趋势及挑战	03
1.1 多样性算力产业现状	03
1.2 多样性算力发展驱动力	05
1.2.1 技术与应用双轮驱动计算多样性产业发展	05
1.2.2 供应链危机驱动构建多样性计算生态	06
1.3 多样性算力产业发展面临的挑战	06
1.3.1 标准体系不成熟，影响产业规模发展	06
1.3.2 评测标准不完善，缺乏牵引产业进步的公正“标尺”	07
1.3.3 生态发展依然薄弱，需集中力量，加强合作	07
2 ARM技术发展策略建议	09
2.1 ARM指令集	09
2.2 编译器	10
2.3 操作系统	10
3 电信领域引入多样性算力的推进方案	12
3.1 硬件上制定客观完备的测试基准，推进硬件开放	12
3.2 软件技术栈的生态准备与选型评估	13
3.2.1 操作系统（OS）	13
3.2.2 虚拟化层	14
3.2.3 数据库层	15
3.2.4 中间件层	16
3.2.5 应用层	16
3.3 应用迁移的自动化工具体系	17
4 多样性算力产业协作倡议	22
缩略语列表	23
参考文献	24



1 多样性算力产业现状、发展趋势及挑战

1.1 多样性算力产业现状

过去十年云计算技术向各行各业不断渗透，直接带动了数据中心建设的蓬勃发展，根据Synergy Research Group发布的数据显示^[1]，截至2020年上半年，全球已建成超大型数据中心541个，相比2015年增长了超过一倍。服务器作为数据中心提供算力的计算底座，其出货量近几年也一直呈稳定上升趋势，据IDC报告显示^[2]，2020年上半年全球服务器出货量达到了580万台。

按照芯片的组成，计算方式可以分为同构计算和异构计算。例如，由CPU提供算力的通用服务器为同构计算。CPU作为通用服务器中最核心的部件，负责指令读取、译码和执行。CPU指令集可以分为两类：复杂指令集（CISC）和精简指令集（RISC）。复杂指令集以x86架构为主，通过可实现复杂功能的指令和灵活多样的编码方式来提高程序的运行速度；精简指令集出现在复杂指令集之后，主要有ARM架构、MIPS架构和Alpha架构等，精简指令集采用等长的指令，将一条指令分割成若干个进程或者线程，交给不同的处理器并行处理，效率较高，工艺相对简单且成本低。复杂指令集（x86）凭借其多年来构建的完善的生态体系，占据了超过99.5%的市场份额，其代表厂商是Intel和AMD。分析机构Mercury Research公布的2019年全球x86架构处理器市场数据显示^[3]，Intel份额为95.5%，AMD依靠霄龙(EPYC)处理器的上市，市场份额逐年增加，达到了4.5%。x86架构的国内厂商主要有海光和兆芯。精简指令集主要用于智能手机和嵌入式市场，长期以来由ARM占据着绝大多数的市场份额。在ARM v8推出后，其市场不再局限于嵌入式和移动

领域，高性能计算、服务器和桌面也都成为其重要拓展方向。近几年来，在ARM及其生态合作伙伴的共同努力下，ARM服务器市场逐渐兴起，特别是在中国，国产的ARM服务器加速发展。精简指令集国外代表厂商有Ampere（ARM）和Marvell（ARM），国内厂商则有华为鲲鹏（ARM）、飞腾（ARM）、龙芯（MIPS）和申威（Alpha）。

在国家对集成电路产业优惠政策和产业基金等扶持下，近几年国内培育出了一批国产CPU设计单位和研究机构，产品覆盖了高性能计算、桌面、移动和嵌入式等多种应用场景。国产CPU研发绝大多数都是采用同国外合作的方式，主要途径包括购买指令集授权、技术合作等。x86阵营的海光和兆芯，通过技术合作获得架构授权。海光通过和AMD合作，获得x86指令集架构的授权和AMD Naples的IP授权，以及CPU设计的全部接近2000万行源代码。基于AMD的Zen1核心架构开发了海光第一代CPU，采用14nm工艺，支持32核，支持超线程技术，主频最高3.2GHz，性能和AMD的Naples相当，同时具备与x86生态的良好兼容性，目前基于海光自研全新微架构设计的海光第二代CPU已量产，第三代CPU也即将于2021年中量产。目前海光CPU已经大量应用于电信、金融、能源、交通、教育等关键信息基础设施领域。兆芯通过威盛获得x86授权，产品线有面向桌面/嵌入式的“开先”和面向服务器的“开胜”两大产品系列，其中最新的桌面处理器KX-6000系列，基于16nm工艺，支持8核，主频3GHz，但是与国外高端CPU存在一定差距。ARM阵营的华为和飞腾，购买ARM指令集架构授权，自行编写代码并设计芯片，掌握了完整的知识产权和技术。其中，飞腾于2020年7月发布的面向服务器的腾云S2500，基于16nm工艺，具有64个自主核，支持2-8路CPU互联，主频 2.1GHz。华为服务器芯片鲲鹏920，支持64核，主频2.6GHz，采用了先进的7nm工艺，在服务器CPU市场上具备较强的竞争力，目前已有12家整机厂商基于鲲鹏主板推出自由品牌的服务器。除此以外，龙芯采用MIPS架构，推出的3A/3B 3000产品，主要面向桌面应用。申威采用Alpha架构，开发了大量自主知识产权的指令集，处理器芯片也不断更新演进，帮助中国的超级计算机拿下多次世界第一。从整体上看，国产CPU芯片产品线相对丰富，不同架构齐头并进，处于百花齐放状态，但也意味着国产CPU的生态体系需要持续完善。

相较于同构计算，得益于人工智能、大数据、VR/AR等新兴应用的快速涌现，以GPU、FPGA等为代表的异构计算模式也在快速发展。异构计算是CPU、ASIC、GPU、FPGA等各种使用不同指令集、不同体系架构的计算单元，在一个混合系统下执行计算的特殊方式。在这种组合下，CPU扮演着指挥统筹和核心控制的角色，与GPU、FPGA等协处理器相互配合实现高效的并行处理。当前，协处理器的通用性较低，针对不同场景，主要有以下几种类型：

GPU（Graphics Processing Unit）主要适用于人工智能和图像处理相关场景。典型的人工智能类应用有高性能计算、训练、推理等，图像处理类应用有视频图像渲染、云AR/VR、云游戏等。

目前，全球主要独立GPU显卡生产厂家有Nvidia、AMD和Intel。其中，Nvidia在人工智能及图像处理领域产品布局全面，性能、生态良好，占有全球70-90%的市场份额（数据来源：前瞻产业研究院）^[4]；AMD拥有较丰富产品，性能和生态略差；Intel的独立显卡产品处于起步阶段。

NPU（Neural-network Processing Unit）主要适用于推理、训练场景。目前，全球主要独立NPU卡生产厂家有华为和寒武纪等。华为NPU卡在智慧钢铁（如钢铁表面质检）、工业视觉（如缺陷检测）等领域有一定的应用。寒武纪NPU卡主要应用在机器视觉（如图像分类、检测）、语音识别、自然语言（如智能客服）、搜索推荐等场景。

FPGA（Field Programming Gate Array，现场可编程逻辑门阵列）是由逻辑门电路组合成的可重复编程器件，在数据中心、通信、航空、国防等有较高并行计算需求的领域有广泛应用。FPGA应用对开发人员要求较高，需要了解底层硬件知识，目前FPGA厂家为了降低开发门槛，在不断优化开发平台，以期使FPGA开发更加快速、便捷。美国厂家Xilinx和Intel占据了90%左右的市场份额^[5]，国内厂家主要有紫光同创、广东高云和复旦微电子等。

1.2 多样性算力发展驱动

1.2.1 技术与应用双轮驱动计算多样性产业发展

前端移动化和后端集群化逐渐成为当前信息技术发展的两大主流趋势。一方面信息技术发展已经从桌面互联网时代进入了移动互联网时代，并逐步向万物互联时代演进，桌面终端适应移动场景成为大势所趋，因此芯片生态能否拥抱移动互联甚至万物互联将成为未来能否获得用户和市场的关键。另一方面，随着各行业信息系统建设模式逐步向云端迁移，云端集中承担了海量的信息处理需求，这对云端服务器、存储、网络、安全设备等的运算性能提出了更高要求，同时出于成本考虑，也对芯片的单位功耗下的算力要求不断提升。传统CPU架构更注重单核性能，坚持性能和速度的发展方向与模式，然而随着摩尔定律遇到瓶颈，分布式数据库、大数据、Web前端等高并发应用场景逐渐广泛部署，以ARM或其他偏重多核并行的CPU架构优势愈加明显，功耗上也表现更优，从而带动众多芯片厂商和云巨头纷纷布局基于多核ARM架构的系列产品。



1.2.2 供应链危机驱动构建多样性计算生态

计算是生态型的产业，离不开全球分工合作，但是受外部环境影响，供应链安全存在着不确定性。当前数据中心领域x86占据统治地位，为保障供应链安全，多样性计算产业加速发展。我国发展处理器首先需获取指令集授权，以华为海思以及天津飞腾为代表的ARM芯片厂商，均已获得了ARMv8架构的永久指令集授权。ARM架构独特的授权模式有利于构建多样性计算生态，ARM架构由ARM公司以IP对外授权的方式运营，合作伙伴获得IP授权许可证，在IP授权形式下，芯片设计公司可以直接拿到授权图纸，研发周期大大缩短，同时可以结合自身需求开发出定制化的CPU。相较于传统CPU架构，ARM架构开发难度低、设计自由度高、架构授权允许自行开发核心代码，且ARM CPU芯片供应商众多，主流的服务器操作系统如Linux、Ubuntu和Debian对ARM架构支持的力度也在不断增强，生态发展正在持续完善。同时，基于MIPs、Alpha等指令集架构，我国也有以龙芯、申威等为代表的厂商研发产品，龙芯和申威早期分别购买了MIPS指令集架构及Alpha指令集架构的永久授权，目前主要在特定领域应用。

1.3 多样性算力产业发展面临的挑战

1.3.1 标准体系不成熟，影响产业规模发展

数据中心算力平台是系统性产品，随着多样性技术路线的引入和发展，各产品的兼容性问题更加突出。无论哪一种算力的规模部署，均需要解决产业上下游组件的兼容性问题，并推动组件、产品和解决方案的同步发展，提供有竞争力的服务器整机设计，降低OEM/ODM服务器开发成本，繁荣整个产业链。

围绕多样性算力相关技术标准及评测标准制定，应推动行业标准化、通用化，促进各产品兼容性相关测试规范和标准的制定，并开展多样性算力测试验证促进产业链成熟。算力平台的硬件、固件、整机和基础软件厂商众多，OS、BIOS和硬件（CPU、其它组件）之间如果缺乏统一的接口定义，OS就需要单独适配不同厂商的固件和硬件，不仅适配的工作量大，还会由于软硬件不同的演进产生兼容性的问题。此外，如果没有针对工具链和编译器定义统一的接口，上层软件为了进行性能优化就需要针对不同的系统，分别进行差异化的参数配置和调优，在某个平台上编译构建的软件，也无法在其他平台上正常运行。

对于多样性算力产品的研发、制造和使用的全生命周期场景，服务器系统管理能力标准也是产业的迫切需求。随着数据中心规模的扩展，用户需要智能、高效、可扩展的管理架构对服务器设

备进行运维。服务器系统管理架构的核心是BMC(基板管理控制器)，一方面，需要制定开放的硬件管理接口（CPU、主板、外设、机箱等）和软件管理接口（BIOS、OS、管理软件等）来推动各组件间的交互、兼容。另一方面，需要从产品层面规定服务器应具备的系统管理功能、性能、安全性等方面的要求，促进先进的服务器管理能力（故障精准诊断，动态能耗管理，安全可信等）、提升系统可靠性，满足数据中心用户的需求。通过定义服务器管理的接口规范，逐步建立完善的标准体系，使生态系统的参与者能够更好的协作。

1.3.2 评测标准不完善，缺乏牵引产业进步的公正“标尺”

计算平台蓬勃发展遵循开放、精简、低功耗、高并发的方向，以更低的成本提供更高算力。目前业界采用较多的SPEC基准对公平公正评测ARM等多样性计算平台有不少差距，不同架构处理器采用SPEC基准对比评测时，结果对x86架构更友好，主要表现在Workload的选择大部分是x86原生，如ICC等编译器组件存在定向结果优化，测试分数会高，但实际跑应用效果不明显。另外缺少对如大数据、分布式存储、游戏类主流场景的覆盖，在选择Workload方面因历史继承等问题，Perl编译器和AI等Workload选择比较旧，x.264等版本比较老，在结合新型应用方面有一些欠缺，存在“评分高，运行卡”等行业现实问题。此外，虚拟化性能验证考虑不足，难以适应多样性计算平台发展的现状并指导发展方向。

因为业界现有基准的设计开发过程缺少对ARM等多样性算力平台的充分考虑，在评价和基于评价结果优化多样性算力平台的性能时，存在与实际算力的偏差。亟需建立面向多样性算力的开放、中立、公正的性能评测基准体系，并与应用相结合，推动多样性算力产业体系的持续进步。

1.3.3 生态发展依然薄弱，需集中力量，加强合作

近几十年的全球化发展，在计算和通信等技术领域都构建了紧密、协作的产业体系与应用生态体系。在全球环境日益不确定的背景之下，如何加强全球产业伙伴的合作，增进共享多样性算力产业规模化的收益，对于全球从业者都提出了挑战。

首先，在硬件角度，针对通用计算、AI计算、HPC等多种计算技术领域，服务器主要部件/器件的正常供应秩序受到影响，增加了产业链不确定性和业务正常开展的风险。x86架构以外，ARM架构的服务器供应方正日趋完善，而其他计算平台的服务器供应方均不够丰富，市场选择少难以满足日益增长的市场需求。

其次，在应用角度，由于指令集的差异，选用非x86处理器一般要进行应用迁移。以ARM平台为例，C/C++/Go等编译型语言开发的程序在从x86平台迁移到ARM平台时，需要进行重新编译。国产ARM生态经由华为和飞腾的持续建设，已取得一定成效。其他计算平台受限于技术路线的影响力、OS和生态工具的支持力度等因素，在从端到云的生态建设上仍有不少差距。

供应链不确定性带来的硬件生态问题，大量应用迁移带来的软件生态问题，都对多样性算力产业体系的发展提出了挑战，考虑到当前国内各技术路线的发展情况，现阶段面向数据中心领域建议先收敛到相对成熟的ARM技术路线，后续再考虑其他多核CPU，促进多样性算力产业的规模化效益。

2 ARM技术发展策略建议



处理器技术的发展，不仅仅体现在算力本身的提升，上层应用的兼容性也是生态建设的重要方面。而应用的兼容性可以从以下几个方面考量，处理器指令集直接决定了上层软件的技术路线，操作系统是应用的底座，编译器很大程度上决定了程序运行的性能。本章节将分析目前ARM架构CPU采用的指令集，操作系统和编译器的版本，并给出电信行业ARM架构CPU指令集、操作系统和编译器的统一标准建议。

2.1 ARM指令集

ARM架构是不断演进的，基于功能、性能和安全性的考虑，ARM公司每年都会推出不同的架构扩展并进行指令集的版本演进，同时ARM和生态伙伴会在Linux Kernel中持续增加功能来支持这些最新的ARM架构扩展，从而对绝大部分上层应用屏蔽底层硬件系统架构的区别。考虑到电信行业高可靠性的要求，并基于当前电信应用以及主流ARM架构CPU的现状，建议今年将电信行业数据中心领域ARM指令集版本起点标准定义为ARM v8.0，推荐标准为ARM v8.2。以后每年审视，综合考虑各个厂家产品的实际研发进度，以及ARM指令集新的版本是否针对电信行业实际需求做过优化等因素，再决定是否升级指令集版本标准。

2.2 编译器

不同应用对编译器更新频度以及稳定等有不同要求。具体到电信行业，网络云场景偏重业务稳定性，因此稳定的GCC版本是其基本诉求；而对于IT云和公有云等场景，则要求最新的GCC版本充分释放算力。

GCC各个版本的升级都带来新的功能特性和性能收益，但考虑ARM服务器厂商的应用现状和遵循渐进的原则，建议今年电信行业ARM架构下编译器推荐版本为GCC9。相比较GCC7/8，性能方面GCC9具有更强大的自动矢量化、循环展开等优化特性。前端语言方面，GCC9全面支持C++17，同时在后端架构适配方面，支持ARM Cortex-A76、ARM Neoverse N1等CPU核心，能够充分发挥ARM架构优势。此外，GCC9提供了最新的编译告警提示信息，可以更方便地帮助开发者进行开发调试。

以后每年审视编译器版本，遵循版本渐进的原则，同时考虑电信行业对编译器稳定的要求，原则上只采用发布一年以上的GCC新版本。例如2021年可推动各个CPU厂家采用2020年已发布的最新版GCC10。GCC10不仅包含许多新的体系结构功能，而且还是迄今为止性能最高的GCC版本。采用GCC10编译应用程序可以充分利用最新ARM架构的优势，例如GCC10完全支持SVE的ARM C语言扩展，这使得开发者可以访问4000多种内部函数，并在内核中使用SVE的许多高级功能。此外，GCC10在自动向量化、循环展开等方面做了更多优化。以ARM Neoverse N1为例，采用GCC10进行编译相较于之前的版本，性能有极大的提升。

2.3 操作系统

当前主流的Linux操作系统包括Ubuntu，SUSE，openEuler等。Ubuntu的开发由英国Canonical有限公司主导，基于Debian发行版和GNOME桌面环境，每2年发布一个LTS长期支持版本，服务器版可以获得为期5年的技术支持。SUSE是Linux操作系统的发行版之一，源自德国。现时SUSE属于Novell旗下的业务，同时亦是桌面Linux联盟（Desktop Linux Consortium）的发起成员之一。openEuler是一个开源、免费的Linux发行版，将通过开放的社区形式与全球的开发者共同构建一个开放、多元和架构包容的软件生态体系。

电信行业本身对操作系统的性能、可靠性和有效性有着专门的高标准和要求。基于当前行业应用情况,建议今年将电信行业ARM架构操作系统版本基线定义为

- Ubuntu Kylin18.04 LTS或以上

- SUSE12.5或以上
- openEuler LTS 20.03或以上

在此操作系统版本基线之上，还建议系统应满足高度中文支持，提供与桌面环境高度融合的中文化体验；针对Linux操作系统管理、维护及易用性差等问题，提供插件式系统管理与维护框架，快速实现或扩展满足特定需求的系统管理和维护工具；针对Linux系统软件包依赖关系复杂、普通用户安装软件困难等问题，提供基于软件仓库的软件包自动更新技术；从而为电信级市场提供高稳定性、高安全性、高质量、高性能和高可用性的操作系统平台，推荐支持内核热补丁和热替换特性，缩短业务中断时间。具备vCPU的陷入陷出、内存CPU占用率等观察能力，提升虚拟化层维护效率。

此外，针对操作系统内核版本，建议使用Linux Kernel 4.18 或以上版本，更新的内核版本将带来更多功能增强和更多的设备支持。以Ubuntu Kylin 20.04 LTS采用的Linux 5.4内核为例，该内核的重要更新包括升级exFAT 文件系统驱动程序、优化 Nouveau 开源显卡驱动的显示颜色管理、以及RTL8125 网络设备和RK3288 VP8 解码支持等。

今后建议每年审视，综合考虑各个厂家产品的实际研发进度，操作系统新的版本是否针对电信行业实际需求做过优化等因素，再决定是否升级操作系统版本建议标准。



3 电信领域引入多样性算力的推进方案

3.1 硬件上制定客观完备的测试基准，推进硬件开放

传统计算平台之外，引入多样性算力首先要解决“能不能用”的问题。面向不同技术路线下的各类处理器产品在云计算场景下的应用，需联合应用行业代表、测试机构代表、处理器厂商、整机厂商、OS厂商、从事基准研究的高校，共同开发有技术竞争力和产业影响力的性能基准，填补国家产业基准空白的同时引领多样性算力性能的蓬勃发展。其中，考虑核心应用对CPU的资源消耗情况，尤其各类处理器核心的性能差异，在电信行业虚拟化条件下制定计算性能的评估制定基准测试标准。同时，基于电信行业典型应用场景，对性能基准的负载选择也进行评估和开发。目标是推动制定NFV服务器计算基准测试标准，全面、客观地评估不同架构处理器及计算核心算力。

数据中心服务器硬件上存在生态垄断、企业间产品互相捆绑的情况。为推动基础软件（尤其是OS）、固件、CPU及其它硬件间的兼容适配，支持更强的可扩展性，促进ARM服务器生态的发展，需要制定基于ARM架构的服务器在系统管理、软硬件解耦等方面的开放标准。包括规定基于BMC的带外、带内管理功能要求（访问、部署配置、维护诊断、告警监控等）、软件管理接口要求、硬件管理技术要求、安全要求（账号安全、协议、访问策略等）、BMC启动性能要求等。确立相关技术标准后，通过功能、性能测试方式来评估各厂商产品满足用户需求的程度，并通过兼容性测试来验证OS、固件、硬件之间的适配和兼容。

3.2 软件技术栈的生态准备与选型评估

现代应用软件功能日益丰富，代码规模大，多采用组件化分工协作，不同组件还可能由不同组织提供和维护，相互依赖关系复杂。因此需要从IT技术全栈视角审视支持多样性算力适配和迁移的条件。如下图所示，典型的软件技术栈具体包括操作系统、虚拟化、数据库、中间件、应用软件等层次。



图1 典型的软件技术栈

3.2.1 操作系统（OS）

为更好地适配多样性算力，建议从生态、功能、可靠性、安全性和服务支持能力几个维度开展操作系统综合评估和选择，以满足上层应用迁移适配的要求。

1. 生态上，OS要能同时适配多样化的CPU算力底座，要支持鲲鹏、飞腾等ARM芯片，要能适配主流板卡，包括但不限于网卡、RAID卡、GPU卡、硬盘等设备。供应上要基于开源社区打造多元化OS底座，既与国际主流社区保持回合同步，又可以独立演进不受极端情况断供的影响；选取软件包时要能覆盖90%以上的客户场景，并能做到版本间的前向兼容；

2. 功能上，OS要能提供上层应用必需的能力。包括OS必须集成满足一定性能要求的编译环境（gcc、jdk）和动态库（glibc），必须集成主流开发语言（如python等）；此外，OS还要对常见业务提供基础的底层支撑，如能提供基于KVM、QEMU的虚拟化能力，提供基于docker、k8s的容器能力等；

3. 可靠性上，OS要提供良好的可靠性保障：如能对内核崩溃提供快速的定位、恢复机制，能对可靠性要求较高的容器、虚拟化提供额外的可靠性保障；

4. 安全方面，OS需要具备完善的安全能力：要能根据影响程度及时修复影响较大的CVE漏洞，并在官方网站上发布修复公告，能提供完整性度量、机密计算等高级安全特性，做到OS层面的高可信、高安全度；

5. 服务支撑方面，商用OS需要考虑OSV的团队服务能力，非商用OS需要考虑社区服务能力。

当前支持ARM平台的国产商用操作系统包括银河麒麟、麒麟信安、统信、普华、拓林思、傲莱等，开源操作系统包括SUSE，openEuler等。

3.2.2 虚拟化层

首先应推动包括QEMU-KVM、OpenStack、Docker、K8s等为代表的开源虚拟化层软件支持多样性算力。其次，在虚拟化软件层建立基准要求，能纳管不断丰富的IT基础设施，包括x86/ARM等不同指令集架构的硬件，支持不同架构硬件资源池的混合部署，助力用户应用朝着更敏捷、更高效、更多元的方向发展。

为更好地适配多样性算力，建议从生态、功能、性能、可靠性和安全性等几个维度开展虚拟化层软件的综合评估。

1. 在软件生态上，针对多样化CPU算力底座进行适配时，需要制定基准要求来统一虚拟化软件的生态，要求屏蔽不同CPU架构的差异，除x86外，还要能支持鲲鹏、飞腾等ARM芯片，支持不同架构资源池的混合部署，从而为用户提供差异化的选择；在适配多样化CPU算力底座需要考虑的主要包括：

- 网卡等硬件驱动适配
- BIOS适配
- HostOS内核升级及适配

- Switch卸载特性
- NUMA特性
- 虚拟层管理软件编译

2. 从功能上，虚拟化层软件需要提供必须的基础能力，包括CPU虚拟化技术、内存虚拟化技术、IO虚拟机化技术等，支持跨主机热迁移、智能内存复用、虚拟机高可用、动态资源调度等关键特性；在硬件支持情况、设备的驱动支持和Host/GuestOS的操作系统支持等方面要能在多类型的硬件平台混合部署，实现更灵活更好的扩展性；

3. 从性能上，技术路线的发展应该支持处理器架构发展方向为更高密度的核数，更低的功耗，更强的性能，比如提升单VM计算性能及整机VM计算性能，降低整体TCO；

4. 可靠性上，虚拟化层软件能支持包括虚拟机HA、虚拟机热迁移、虚拟机负载均衡、故障检测等特性；

5. 安全方面，虚拟化层软件安全解决方案需要从不同层面解决。在物理资源层可以通过可信计算技术来保证主机硬件（BIOS、操作系统引导程序等）的安全性；操作系统层通过Host/Guest OS的安全机制来保障操作系统的安全可靠；在虚拟化层可以通过Hypervisor安全机制或者虚拟机自省技术确保虚拟机监视器的安全运行。

3.2.3 数据库层

为更好地适配多样性算力，建议从业务场景、可迁移性、性能、高可用、安全等几个维度开展数据库综合评估和选择，以满足上层应用迁移适配的要求。

1. 在业务场景上，数据库要支持多引擎，要能同时支持行存引擎、列存引擎、内存引擎等多种引擎模式，来充分支撑交易型、分析型、高性能等不同的业务需要；同时要考虑不同类型数据库间的迁移，要考虑所选数据库具有良好的语法兼容性；

2. 性能上，数据库要能满足高性能场景的业务诉求，包括高tpmC和高并发下的稳定性。数据库要能充分利用ARM多核NUMA的特点，对数据结构做NUMA分区化改造，比如部分厂商的2路服务器，可以达到150万的tpmC，在高并发（800并发）时仍能保持稳定的性能。对于更高性能要求的数据库场景（如CRM、Boss），推荐引入4路服务器；

3. 高可用上，要求数据库能在一定负载强度、一定业务量下达到能满足业务需求的RTO时间（故障恢复时长），比如60%负载、70+万tpmC下建议能满足RTO<10s；

4. 可迁移性上，标准须约束数据库具备完整、可靠的手动/自动迁移流程/规范，可以对自动化方式实现主流数据库迁移提出要求，可以对迁移成功率设置最低标准（比如90%以上）；

5. 安全性上，数据库需要在运行安全和存储信息的安全两方面满足安全诉求，需要能对核心数据的存储做到加密，需要有一定的防漏洞、防攻击机制，需要能对敏感数据做到匿名化。

当前已支持ARM平台的国产数据库厂商包括海量数据、云和恩墨、虚谷伟业、神舟通用、人大金仓、达梦、南大通用、阿里、腾讯、电信自研数据库（TiDB，Teledb）、东方国信行云数据库、思特奇iddbs、亚信antDB等，开源数据库包括openGauss、MySQL、PG、MariaDB等。

3.2.4 中间件层

中间件与操作系统、数据库并称三大核心基础软件，为上层应用软件便捷、通用和标准化的研发提供了强有力的支撑，通过服务或者服务组件来实现更高层次的复用、解耦和互操作。当前，对中间件的选择，从供应来源上来看，推荐从持续投入研发、创新以及服务能力建设且聚焦基础软件的厂商如宝兰德、东方通等供应商以及开放性较好的开源软件中选择，呈上启下，连接好底层软件和上层应用，端到端做到对多样性算力的支持。

3.2.5 应用层

当前，在数据量爆发性增长、行业应用场景需求差异化以及运营商业模式多元化变革的趋势下，电信云面临从架构到底层硬件基础设施的全面升级。

IT云方面，随着运营商业模式更加多元，IT支撑系统业务逻辑更趋复杂，实时数据处理、高并发数据处理、大数据分析等技术需求不断扩大，容器化部署、分布式处理等场景加速向CRM、BOSS、MSS等核心系统渗透，需要底层IT基础设施在并行计算、内存容量和带宽等方面提供更高能力匹配。

网络云（电信云/CT云）方面，基于NFV技术的解决方案已成为运营商核心网扩容和新建的优先考虑。5G核心网采用原生云化设计思路和微服务架构，将网元功能拆分为细粒度的网络服务，“无缝”对接云化NFV平台轻量级部署单元，为差异化的业务场景提供敏捷的系统架构支持，核心网容器化、硬件资源池化成为发展方向，对底层计算架构的多样性、负载能力和计算效率提出新的要求。

在边缘节点，为应对大视频、物联网等各类高带宽和低时延的边缘计算类业务，电信云计算能

力向移动边缘节点下沉，以实现网络业务、服务及应用更快的分发下载速度，从而有效缓解核心网压力，提升用户网络体验，边缘数据中心IT基础设施将面临计算、存储等网络能力的全面提升以实现大流量、高并发、低时延的本地数据处理能力。

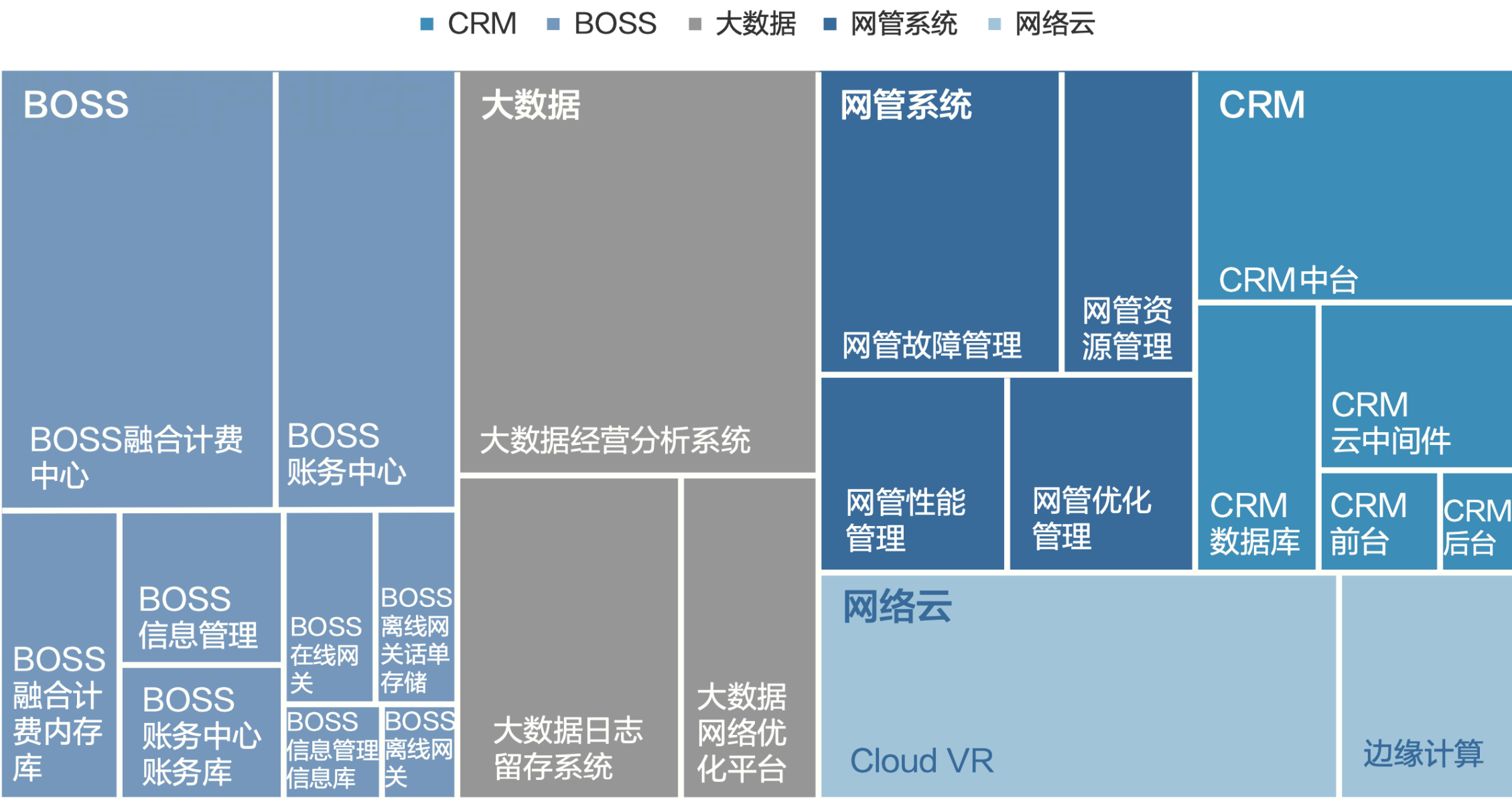


图2 电信行业主要计算场景

从ARM在各运营商业务的迁移实践来看，NFV、大数据、DPI已经有成熟的商用案例，并积累了丰富迁移经验。

当前，运营商ARM成熟还面临如下关键挑战，需要协同推进多样性算力适配和逐步成熟。

- IT云：CRM和BOSS定制版本角度，当前进一步丰富迁移实践；OSS和VAS场景多，生态呈碎片化，需进一步加强
- 网络云：NFV需要更多的厂商参与ARM适配，丰富ARM迁移经验

3.3 应用迁移的自动化工具体系

一个应用从x86平台到ARM平台典型的迁移过程包括如下五个步骤。

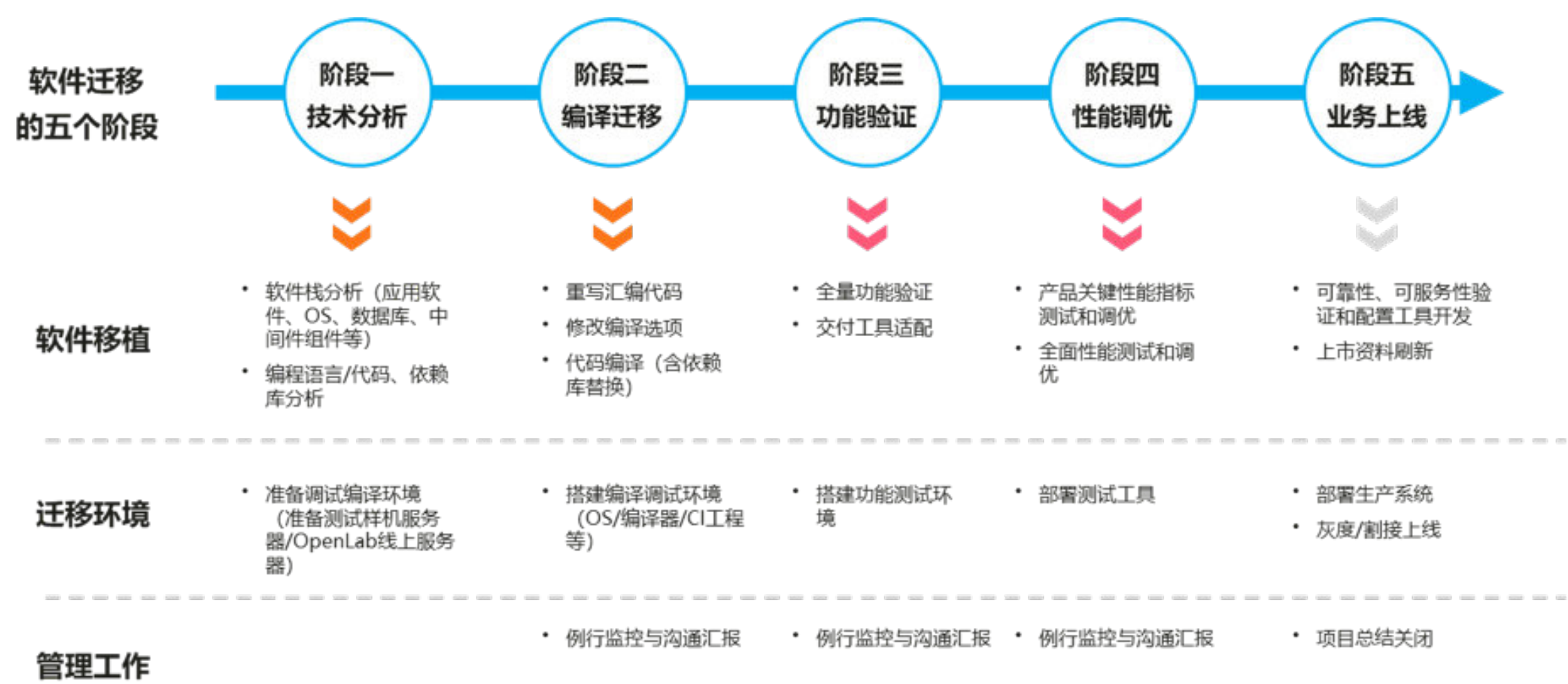


图3 应用迁移的主要步骤

现代软件的规模越来越大，人力往往很紧张。在应用的迁移过程中存在如下典型问题：

- 在技术分析阶段，移植代码依赖手动扫描分析，通过编译试错定位，准确率低，人工分析投入大、周期长。
- 在编译迁移阶段，涉及底层汇编语言分析，编译选项设置，对人员专业技能要求高。反复定位试错周期长、准确率低。
- 性能调优依赖个人经验，人工定位手段单一，定位困难，效率和准确率低。

为了提升应用迁移效率，需要提供自动化的工具体系。解决在应用适配和迁移过程中三个关键问题。

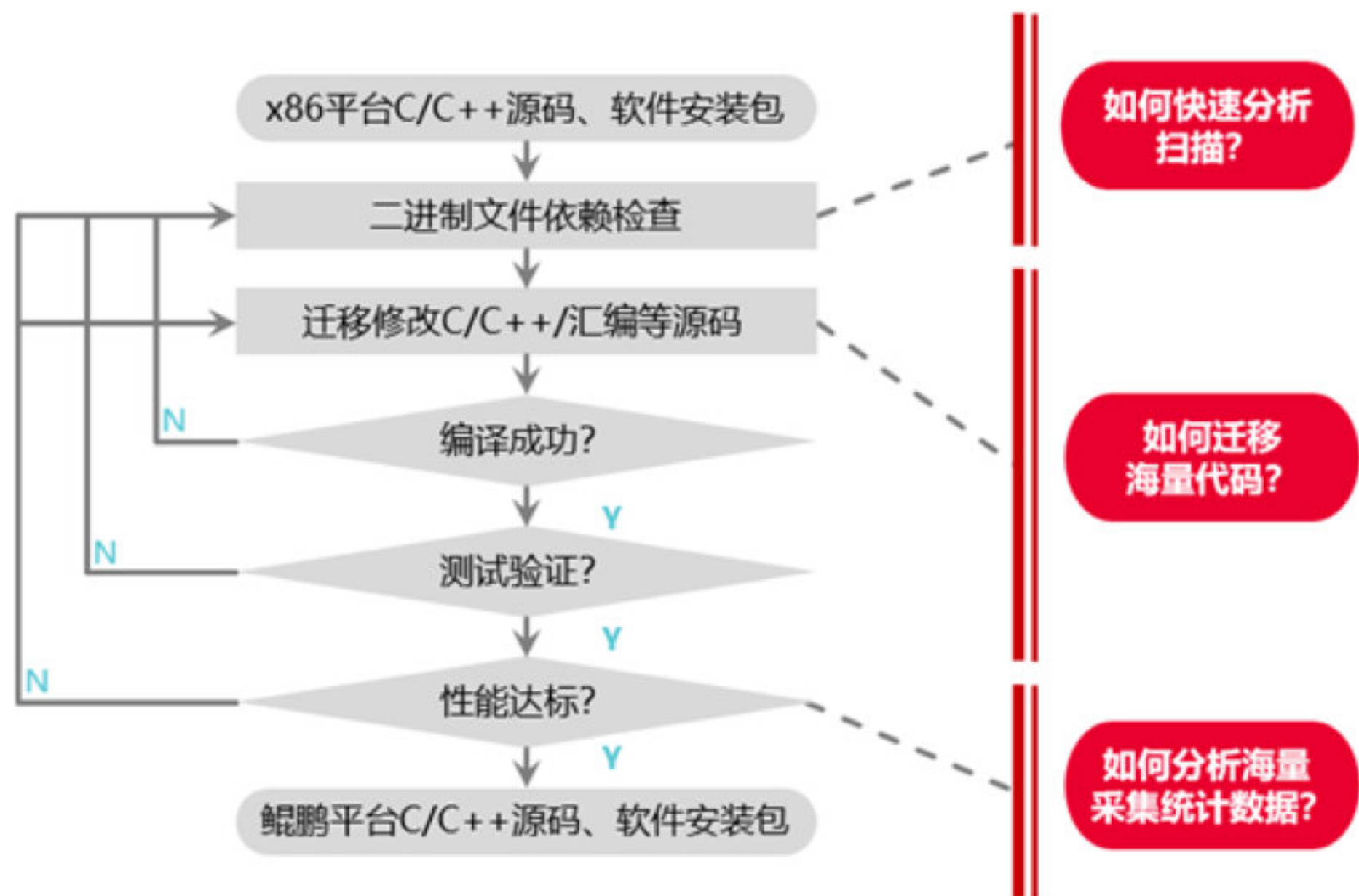


图4 应用迁移代码分析到优化过程示意

1. 分析扫描工具能够一键生成可移植性评估报告。移植前可先用该工具分析可移植性和移植投入。工具自动识别依赖库和评估源码工作量，C/C++ 源码工作量。



图5 分析扫描工具

2. 代码迁移工具自动分析出需修改的代码内容，并指导开发人员修改。该工具解决了代码兼容性人工排查困难、开发人员移植经验欠缺、反复依赖编译调错定位等迁移适配难点。



图6 代码迁移工具

3. 性能分析和优化工具能收集服务器的处理器硬件、操作系统、进程/线程、函数等各层次的性能数据，分析出系统性能指标，定位到瓶颈点及热点函数。



图7 性能优化工具

基于这些工具，可大幅降低迁移难度、人工错误，提升迁移的效率。考虑到迁移无法完全靠迁移工具完成，往往需要手动介入，需结合技术栈各层的特征发布指导具体应用案例迁移的流程和规范指南。迁移工具和指南可通过参考文献[6] 获取。

4 多样性算力产业协作倡议

随着万物互联时代数据的爆发，以数据处理驱动的行业数字经济迎来大发展。极致的性能成本要求，以及高度差异化的数据处理要素，决定了以多样性算力为核心特征的数据中心将成为新一代计算基础设施。基于这样的展望，多样性算力产业的发展需要聚焦致力于推行多样性算力产业体系的成熟，从运营商网络云、IT云、公有云三大数据中心场景切入，初期以ARM为主，推动多样化服务器整机和部件成熟；拉通产业，引导应用跨架构适配与迁移，共建多样性算力软件体系；同时，面向GPU、FPGA等异构计算平台，打造开放多元普惠的计算产业生态。

多样性算力产业是一个开放的产业，为实现这一目标需要全球产业链伙伴的协作。运营商、互联网从最终使用方的角度，发挥着产业链协同角色。整机厂家，操作系统厂家，独立软件供应商，系统集成商，芯片/板卡供应商，专业学术组织，智库相关行组织成员亦可贡献自己独特的力量，共享共建，创造并分享这一机遇。让我们一起为世界提供多样性的算力基础设施，消除行业分享数字化红利和技术鸿沟。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
AI	Artificial Intelligence	人工智能
ARM	Advanced RISC Machines	高级精简指令集机器
BIOS	Basic Input Output System	基本输入输出系统
BMC	Baseboard Management Controller	基板管理控制器
CISC	Complex Instruction Set Computer	复杂指令集计算机
CVE	Common Vulnerabilities & Exposures	通用漏洞披露
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程逻辑门阵列
GCC	GNU Compiler Collection	GNU 编译器套件
GPU	Graphic Processing Units	图形处理器
HA	High Availability	高可用
HPC	High Performance Computing	高性能计算
ISV	Independent Software Vendors	独立软件供应商
K8s	Kubernetes	编排容器的开源工具
KVM	Kernel-based Virtual Machine	内建于Linux中的开源虚拟化技术
NPU	Neural-network Processing Unit	网络处理器
NUMA	Non Uniform Memory Access	非一致访问分布共享存储技术
OS	Operating System	操作系统
PC	Personal Computer	个人电脑
RAID	Redundant Array of Independent Disks	磁盘阵列
RISC	Reduced Instruction Set Computer	精简指令集计算机
TCO	Total Cost of Ownership	总拥有成本
tpmC	Transactions per minute	每分钟内系统处理的新订单个数
VM	Virtual Machine	虚拟机
RTO	Recovery Time Object	每故障恢复时间

参考文献

- [1] Hyperscale Data Center Count Reaches 541 in Mid-2020
- [2] IDC全球服务器市场季度跟踪报告，2020Q1，2020Q2
- [3] <http://www.199it.com/archives/1011647.html>
- [4] <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/191108-d499adb8.html>
- [5] Invest Implications: Market Share Analysis: FPGA/PLD Semiconductor Vendors, Worldwide, 2016
- [6] 迁移工具和指南: <https://kunpeng.huawei.com/#/developer/devkit>