AI 原生路由器

白皮书

2024 年 07 月

前 言

近年来，伴随人工智能（AI）技术的迅猛发展，其应用领域持续拓展。以大模型为代表的 AI 技术引领自动化和智能化的进程，是新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力，加速推动新质生产力的发展。

智能原生作为“互联网 2030”的关键技术特征之一，将 AI 深度、广泛地集成到互联网架构中，以提高网络运营效率和服务确定性。当前，通过大数据分析和机器学习算法在网络业务及管控运维中的应用，实现了对海量网络数据的深度挖掘和精准预测，逐步推进网络向自动、自愈、自优、自治的智能化转型。未来，AI 技术不仅要融入网络架构中，更要渗透至网络组件及部件层面，以此构建从上到下的一体化网络智能能力，推动网络向更高层级的智能化和自治化演进。

本白皮书聚焦于智能原生网络架构中的智能网元层，创新性地提出“AI 原生路由器”技术发展演进理念。通过智能主控板、智能线卡以及智能算力卡协作，AI 原生路由器将具备智能感知、智能转发、智能控制的三大能力特征，并赋能 AI 可靠、AI 运维、AI 安全及 AI 节能四大应用场景。本白皮书从能力特征、应用场景及发展愿景三个维度，对 AI 原生路由器技术发展演进进行全面论述，旨在为行业提供共识性指引和方向性参考，推动相关产业链的创新发展，为构建更加智能、高效的网络环境奠定坚实基础。

在本白皮书编撰过程中，得到了多家产业合作伙伴单位的鼎力支

持，汇集了业界多位专家的意见建议，在此深表谢忱！期待与各界同仁携手，共同探索智能原生网络的无限可能，共创下一代互联网的美好未来！

联合编写单位：

中国联合网络通信集团有限公司，　　技术有限公司

目　录

1. AI 原生路由器产生背景 1
2. AI 原生路由器能力特征与逻辑架构 3
2.1. AI 原生路由器能力特征 3
2.2. AI 原生路由器逻辑架构 4
2.2.1. 智能主控板 5
2.2.2. 智能线卡 6
2.2.3. 智能算力卡 7
3. AI 原生路由器应用场景 10
3.1. AI 可靠 10
3.1.1. 设备级可靠：快速感知隔离自愈 10
3.1.2. 链路级可靠：微秒级链路倒换 11
3.1.3. 网络级可靠：秒级拥塞解除 13
3.1.4. 协议级可靠：预测下一跳实现极速收敛 14
3.2. AI 运维 14
3.2.1. 光纤故障智能定位 14
3.2.2. 流量静默故障识别 15
3.2.3. 智能视频质差识别及故障定界 17
3.2.4. 整网分钟级环路探测和溯源 18
3.2.5. 路由策略在线预验证 18
3.3. AI 安全 20
3.3.1. 设备安全：设备内生安全 20
3.3.2. 网络安全：AI-DDoS 秒级闪防 21
3.3.3. 管控安全：全网安全检测与自闭环 23
3.4. AI 节能 24
3.4.1. 静态节能 24
3.4.2. 动态节能 25
4. 总结与展望 27
4.1. AI 原生路由器部署建议 27
4.2. AI 原生路由器应用趋势 28
5. 缩略语列表 31

6. 参考文献 32

1. AI 原生路由器产生背景

近年来，人工智能（AI）发展速度之快、应用范围之广备受瞩目。以大模型为代表的新一代 AI 技术的崛起和迅猛发展正在深刻影响各个领域，AI 技术的应用将进一步得到推广和深入。《2024 年国务院政府工作报告》中提出，大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力。深化大数据和 AI 等领域的研发和应用，开展“人工智能+”行动，打造具有国际竞争力的数字产业集群。这种发展趋势促使智能技术与下一代互联网紧密结合，进而提供智能原生网络能力，推动各行业的数字化转型和创新发展。

智能原生作为“互联网 2030”的关键特征之一，将 AI 深度和广泛地集成到智能基础设施中，包括系统、设备、部件等体系结构，实现全自动运营和最高效资源利用。智能原生网络以实时感知、充分数字化为基础，以 AI 算法为核心，融合各种模型进行智能决策，提供智能协同优化的网络服务。网络的智能原生是指从设计之初就将 AI 集成作为核心组件的网络系统，通过 AI 来自动化运维，优化性能和增强安全性，也就是说，面向未来的智能原生网络架构包括智能业务、智能网络、智能网元及智能部件四个渐进式层级结构，自上而下相互依赖，且逐层细化。

当前阶段，智能业务与智能网络层正经历着快速且显著的发展。在智能业务层面，通过大小模型的配合，以业务为单位，实现跨域的自智协同和业务级的商业闭环。在智能网络层面，网络智能管控系统依托于专业领域的大、小模型，结合网络知识图谱、专业 AI 算法等 AI 技术和数字孪生技术对单域内网络业务、网络拓扑结构以及网络系统进行规建维优，同时考虑节能和安全保障，从而实现单域内网络级的闭环管理体系。这一系列技术的协同作用，正驱动着业务处理与网络管控能力向着更为智能化和高效化的方向演进。

本白皮书聚焦于智能网元层的研究，从传统的网络设备能力来看，虽能满足

基本的网络连接需求，但在应对复杂多变的网络环境时，其局限性日益凸显。传统设备缺乏根据网络流量动态调整与优化的能力，也难以抵御各类网络安全威胁。因此，需要以 AI 为基础架构能力，新增智能面融合数据和知识，赋能网元实现动态目标管理，显著提升其自适应、自学习以及跨网元群体协同能力。基于上述背景，本白皮书创新地提出 AI 原生路由器概念，即在保留传统路由器功能的基础上，集成先进的 AI 和机器学习技术，实现对网络状态的实时监测和深度分析，同时能够根据网络流量的变化自动调整配置，优化网络连接路径，确保终端用户持续享有稳定、高速的网络体验。作为下一代互联网发展的重要产物，AI 原生路由器的出现不仅满足了用户对于高效、智能、安全的网络连接需求，也体现了互联网技术的持续创新与进步。

本白皮书阐述了 AI 原生路由器的能力特征、应用场景及发展愿景，旨在为行业提供共识性指引和方向性参考，以期共同推动相关产业链的创新发展，为构建更加智能、高效的网络环境奠定坚实基础。

2. AI 原生路由器能力特征与逻辑架构

2.1.AI 原生路由器能力特征

AI 原生路由器，作为集成 AI 技术的新型网络路由设备，不仅保留传统的网络连接能力，其内置的 AI 算法具备自主学习和用户需求解析能力，能够灵活响应网络和流量的变化趋势，实现网元的自动化管理、组网和参数的自动化调整、业务的适应性感知、故障的提前预测和自动定位以及业务的快速恢复，使互联网达到最佳的性能，给用户提供最佳的使用体验。

AI 原生路由器将集成智能感知、智能转发与智能控制三大核心能力特征，旨在深度感知网络中的各种业务和流量模式。通过对数据流的实时监测和分析，AI 原生路由器可以准确地获取网络实时状态与需求变动，进而实现网络运营、运维自治。

智能感知体现在对网络流量的实时监控与分析能力。AI 原生路由器能够实时监控网络中的数据传输情况，包括数据的传输速度、传输量以及数据所属应用类别等。这使得 AI 原生路由器能够迅速发现网络中的异常情况，如网络拥堵、数据泄露等，从而及时采取措施进行干预，保障网络的稳定运行。智能感知不仅可以显著提升网络稳定性和安全性的保障能力，同时也为用户提供了更为便捷和优质的网络使用体验。

智能转发体现在对网络流量的智能预测和调度能力。AI 原生路由器能够根据如应用优先级、设备类型、网络负载情况等历史数据和当前网络状况，预测未来一段时间内网络流量的变化趋势。基于这些预测结果，AI 原生路由器可以提前进行带宽的调度和分配，为关键应用或设备提供充足的网络资源保障。

智能控制体现在对网络的自动故障排查和修复能力。AI 原生路由器能够通过实时监测网络状态，可以对故障或异常自动进行诊断和修复；通过搭配智能光模块，还能够将链路故障进行分类，为用户提供更加稳定的网络服务。

AI 原生路由器通过三大能力特征，赋能 AI 可靠、AI 运维、AI 安全、AI 节能四大场景，提升了网络性能和效率，降低了运营成本和安全风险，为用户提供了更加优质、稳定的网络服务，最终推动网络实现高度自治。

2.2.AI 原生路由器逻辑架构

AI 原生路由器主要由智能主控板、智能线卡以及智能算力卡三大核心部件构成，集成通用算力及 AI 算力模块，并在原有控制面及管理面基础上，新增包含嵌入式 AI 算法层、数据层和框架层的智能面，如图 1 所示，这三者各自承载着不同的功能，但又紧密协作，共同为网络智能化服务。

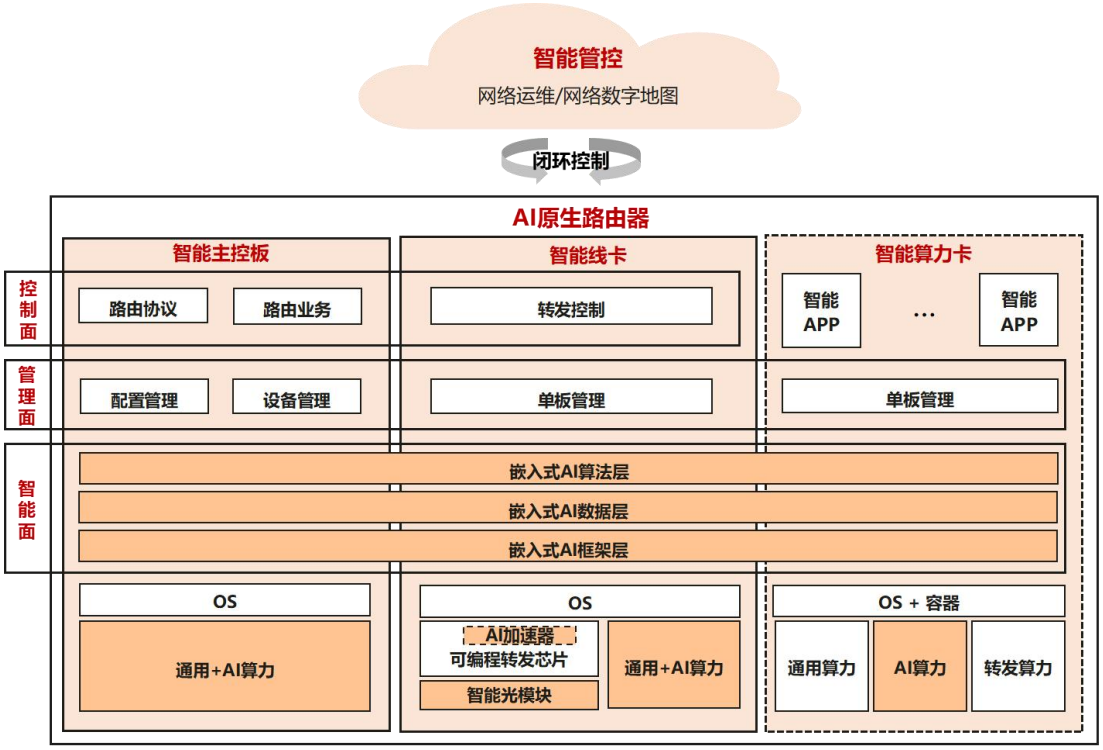


图 1 AI 原生路由器逻辑架构

同时，AI 原生路由器通过边界网关协议（BGP）、telemetry 等协议与智能管控系统紧密交互，实时传递网络状态、流量等信息。智能管控系统则根据这些信息，结合 AI 原生路由器的智能感知、转发和控制能力，共同构建一个智能网络。智能网络能够自动识别网络中的异常情况和性能瓶颈，自动调整网络策略，优化网络资源分配，确保网络的稳定性和高效性。更进一步，智能网络还能够根

据用户的需求和业务场景，提供个性化的网络服务和支持，满足用户不同的网络服务需求。

2.2.1. 智能主控板

智能主控板作为 AI 原生路由器的“大脑”，承载着路由器的核心功能和运算重任。在 AI 原生路由器初期发展阶段，设备运算主要依赖路由引擎所搭载的芯片，包括中央处理器（CPU）和网络处理器（NP），以内生算力应对网络数据处理及基础 AI 任务执行。其中，路由引擎芯片负责整体控制与管理职责，而 NP 则专门用于高速数据处理，尤其在网络数据包转发和安全处理领域发挥关键作用。

智能主控板集成通用算力与 AI 芯片，构建高性能计算平台，提升数据处理和分析能力。具体而言，通用算力主要负责网络数据流与控制信号的常规处理，确保网络基础设施的稳定运作。而 AI 芯片则运用深度学习、机器学习等先进算法，实现对网络流量的智能化分析与预测，为网络性能优化及策略制定提供精准数据支撑。

智能主控板设计上划分为控制面、管理面与智能面。控制面负责路由协议和业务管理，确保网络传输效率与稳定性。并且通过引入 AI 算法，实现路由协议的智能优化与动态配置，自动选择最优路由路径，进而提高网络传输效率。同时，控制面还能对业务进行智能管理，针对业务需求动态调整网络资源，确保业务的顺畅运行；管理面负责配置管理和设备管理功能，确保网络的可维护性与管理效率。通过与智能管控系统交互，增强管理面功能，并借助直观的图形化界面与智能化管理工具，简化路由器配置和管理流程。同时，管理面还能实时监控设备的运行状态与性能数据，及时识别并解决潜在问题。此外，管理面还支持远程管理和自动化运维，大幅度提升网络管理的便捷性和智能化水平；智能面依托嵌入式 AI 技术，构建内置于网络设备中的 AI 功能通用框架系统，包含框架层、数据层

和算法层，为基于 AI 算法的功能模块提供公共模型管理、数据获取和预处理，并支持为业务模块发送推理结果的功能。也就是说，通过嵌入式 AI 技术在设备层面实现特定的智能化功能，如流量优化、安全防护等，充分利用路由器的数据收集和处理计算能力，降低数据传送成本，保障数据安全，确保推理决策的实时性。目前，嵌入式 AI 技术已为路由器提供智能监控与防护等智能化功能。随着技术的演进，嵌入式 AI 技术将在路由器中提供更复杂的智能化功能，如自动调整路由策略、优化网络连接等。

智能面中嵌入式 AI 功能通用框架系统对软硬件环境提出明确要求，在软件层面，需具备数据智能化处理、全线速缓存及超强算力特性。在硬件层面，则需支持 AI 智算分布式训练场景下 TB 至 PB 级海量数据的超宽带传输，配以超大容量设备以承载大规模数据传输。面向扩展性良好的集群路由器，需确保单台 AI 原生路由器可以提供 512T 乃至 P 级的存储能力。

AI 原生路由器的智能主控板，融合通用算力和 AI 技术于一体，辅以控制面和管理面的全面强化，新增依托嵌入式 AI 技术的智能面，通过软硬件一体化设计，开发定制 AI 网络模型与应用组件，实现局部节点的快速策略响应、网元级智能化，不仅显著提升了数据传输效能与网络稳定性，同时有效降低运维成本，简化管理流程，为现代网络通信的智能、高效发展注入了新的活力。

2.2.2. 智能线卡

智能线卡作为 AI 原生路由器在网络通信架构的关键组件，负责处理网络数据包，融合通用算力与 AI 技术，引入智能面，配合智能光模块，显著增强网络链路感知能力，确保数据在网络中的高效传输。

AI 原生路由器的智能线卡立足于主控与转发平面架构，深度融合核心 CPU 及 AI 芯片，构建由嵌入式 AI 系统组建的智能面，通过嵌入式 AI 数据层，对数据流进行精准识别、分类和排序等，与线卡转发面对接，采集流数据并提取输出

流的特征信息。通过嵌入式 AI 算法层，能够实时地对网络流量进行深度分析，精准识别网络异常流量、恶意攻击等安全隐患，并自动采取相应的防护措施。

智能线卡智能面采用流模型 AI 建模技术，对指定链路或者流通过基于五元组等方式进行逐包检测，实现毫秒级乃至微秒级的监测能力。通过机器学习建立正常业务模型，在遇到故障或异常情况时，智能面作为转发与控制的桥梁，可以实现快速告警，并对业务流进行快速响应，例如实现包的备份路由转发以减少丢包率；实现路由的快速收敛，确保网络的流畅性。智能面采用的逐包检测分析技术，相对传统的采样分析，具备建模准确、实时分析、实时推理与智能决策优势，可以实现故障或异常的快速、准确检测以及快速反馈。同时，智能面可以根据网络流量的变化，动态调整转发策略，实现网络流量的智能调度和优化，提高网络的传输效率和稳定性。

智能线卡除智能面增强外，还支持集成智能光模块。借助智能光模块的实时监测和反馈功能，进一步提升网络故障的精确定位能力，使网络通信的智能化水平迈向更高层次。通过集成内置了 AI 分析算法的智能光模块，可实时收集并解析光信号强度、噪声水平、延迟等关键参数，同步反映网络传输质量。通过 AI 模型，基于历史故障数据训练，智能线卡能够精准识别各类专线故障特征，实现故障类型的快速判定与定位。

未来，智能线卡的转发芯片可按需集成 AI ，大幅提升 AI 算法执行效率，加速网络流量的智能分析与处理，进一步确保 AI 原生路由器在复杂网络环境和大规模数据流量场景下，能够维持高效的转发性能和智能化的决策能力。

2.2.3. 智能算力卡

为进一步提升 AI 原生路由器的处理能力，在初期阶段，可采取集成专用算力扩展模块的方式，即通过外插 AI 加速卡，来针对性地提升设备处理人工智能

任务的能力，如深度学习推断。这种方法允许在无需全面更新硬件的前提下，灵活提升其 AI 处理能力。

智能算力卡作为 AI 原生路由器的关键组件，通过流量感知技术提供对网络流量的实时监控与分析能力。其中，服务感知（SA）卡是智能算力卡的典型代表，承担流量的应用分析与感知任务，为网络管理引入智能化维度。SA 卡集成高性能的处理器和优化的算法，能够实时捕获和分析网络中的流量数据，不仅限于传统流量统计，如包大小与传输速率，更深入至终端传输过程中的业务指标。通过对这些数据深入分析，能够准确地感知各个终端的网络质量状况，并利用内置算法对这些参数进行精细化的分析，以评估网络传输对业务质量的影响。

在流量感知的过程中，智能管控系统扮演着“大脑”的角色，持续汇聚各个 SA 卡反馈的网络流量基线信息，包括流量的平均速率、峰值速率、数据包大小分布等关键指标，它们共同构成了网络流量的“正常行为模式”。同时，智能管控系统实时分析跨 SA 卡数据，形成整体流量视图，为异常检测提供全面依据。在掌握全局基线信息后，智能管控系统会运用概率统计的方法计算各项流量指标的概率分布，估计出一个全局的判断阈值，以表示正常流量行为与异常流量行为间的界限，用来识别流量异常情况并触发告警机制。为了提高流量处理的效率和响应速度，SA 卡采用多 CPU 架构，可实现流量数据的并行处理，确保在高负载情况下仍能提供高效处理能力。SA 卡中引入智能面，基于嵌入式 AI 技术可动态感知并分类第三方应用，实时调整流量基准，保持与网络环境同步。这有助于捕捉基于应用的网络流量最新变化，确保基线始终与当前的网络环境相匹配。此外，建立历史数据基线库，有助于长期进行网络行为分析，呈现网络流量的长期趋势和周期性变化特征。结合实时更新的基线和历史基线库的比对，SA 卡能够准确地感知网络流量的异常行为，并及时将相关信息上报给智能管控系统进行全局的分析和判断。这种融合分布式与集中式架构的异常检测方案，显著增强了对

整个网络流量异常的感知能力和响应速度。

3. AI 原生路由器应用场景

3.1.AI 可靠

3.1.1. 设备级可靠：快速感知隔离自愈

在设备层级，当前路由器面临的挑战主要源于设备处理能力局限及处理架构设计不合理等，导致网络系统频遭重大故障。例如，不当的路由器升级操作导致 AS 边界路由器中关键路由过滤规则被误删，致使核心路由器由于大规模（90 万+）超负荷互联网路由条目而崩溃，继而引发 BGP 邻居大量中断和路由信息频繁波动，最终引发全网协议剧烈震荡及流量大幅波动。此连锁反应对数据包转发与服务可用性构成了严重影响，同时大幅度降低了用户体验质量，设备面临着配置管理严谨性、大规模路由处理能力、BGP 协议稳健性、网络流量管理及系统韧性的可靠性挑战。

为解决上述问题，AI 原生路由器的感知（Awareness）、故障隔离（Risk-isolation）和自愈（Kernel-recovery）能力构成 ARK 超稳机制，如图 2 所示，AI 原生路由器具备感知技术特征，可实现故障秒级检测与响应，确保了对异常状况的即时感知与精准隔离，同时赋能路由器自我修复功能，有效减少人工干预需求，实现了设备级可靠。

具体而言，AI 路由器通过感知技术，可实现数据流量秒级检测，配合健康状态感知技术对人为错误、火灾事故、网络攻击等网络运行状态进行实时感知，并在线关联分析 CPU、内存等性能数据，及时发现并解决潜在问题，提供全天候（7*24 小时）实时数据分析能力；通过智能故障隔离策略，能够在不影响全局系统性能的前提下，实现故障的微秒级精确隔离，有效遏制问题蔓延，保证在网络负载超出设计容量十倍的情况下仍能维持稳定运行；通过自愈机制的创新应

用，使路由器具备内核级故障的自动恢复能力，无需人工介入重启，实现了自动数据同步与校验，确保数据完整性与零丢失，同时保障业务运行的无缝连续性，达到真正的零中断目标。

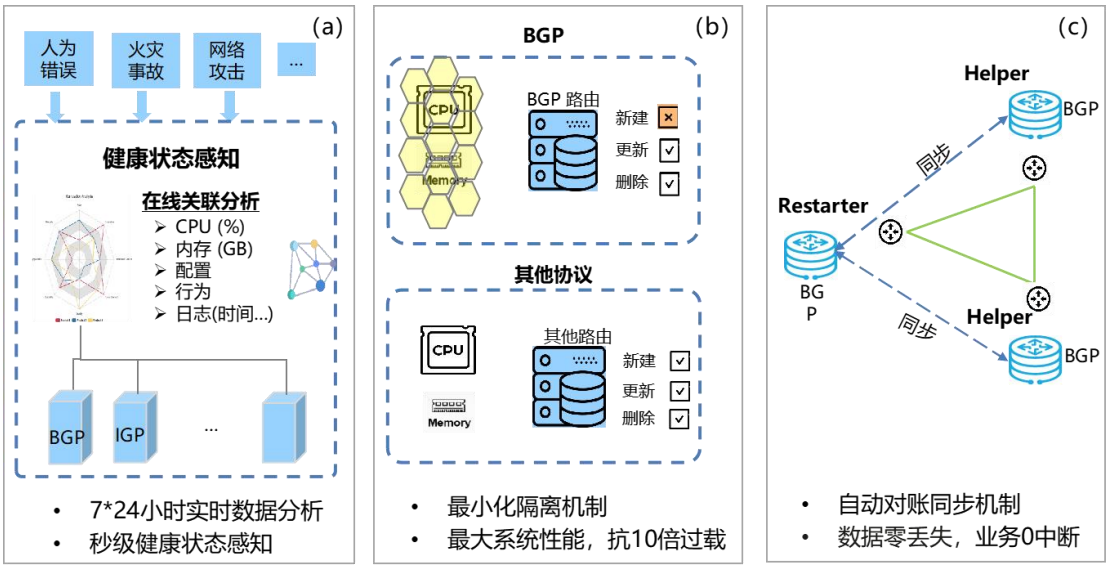


图 2 设备级可靠方案

3.1.2. 链路级可靠：微秒级链路倒换

在链路层级，光纤故障作为网络事故的主要诱因，显著影响用户体验并增加运营商的投诉负担。举例而言，光纤闪断问题会凸显出传统路由协议分钟级收敛时间所具有的局限性，即使借助双向转发检测（BFD）协议将倒换时间缩短至 100 毫秒级，仍难以满足诸如金融交易等 2B 业务场景，具体而言金融交易场景对交易数据包丢失敏感以及网络可靠性要求严格，如需低于毫秒级的故障收敛时间等，且网络层本身不具备丢包感知能力和应对措施。传统上依靠传输层或应用层实施重传策略补偿，不可避免地增加了时延。这一现状不仅加剧了业务连续性受损的风险，同时突显了对更高层次链路级可靠性的迫切需求。

为解决上述问题，AI 原生路由器采用嵌入式 AI 技术结合 NP 的快速检测方案，通过智能化流量画像分析，在 NP 实现故障辨识后，完成微秒级流量切换，无需等待传输层通信。该方案具备光层无关、协议无关、业务无感的三重特性。其中，微秒级的流量自动切换功能是依托于嵌入式 AI 技术的高效处理能力，整

合了快速故障感知、恢复控制以及设备内快速通告技术。专有硬件主动实时监测，无需等待传输层协议通信，可及时识别光纤故障并通过转发面进行路径切换，将流量转发至备份接口，促使系统故障收敛时间从以往的几十毫秒缩短至百微秒级别。例如，在多路径负载均衡场景中，使用等价多路径路由（ECMP）机制，具体如图 3 所示，若两设备间的某光纤链路故障，AI 原生路由器能主动识别该情况，并迅速将流量切换至其余正常的 ECMP 路径上，确保了故障链路下的数据转发快速转移，维持网络服务连续性。

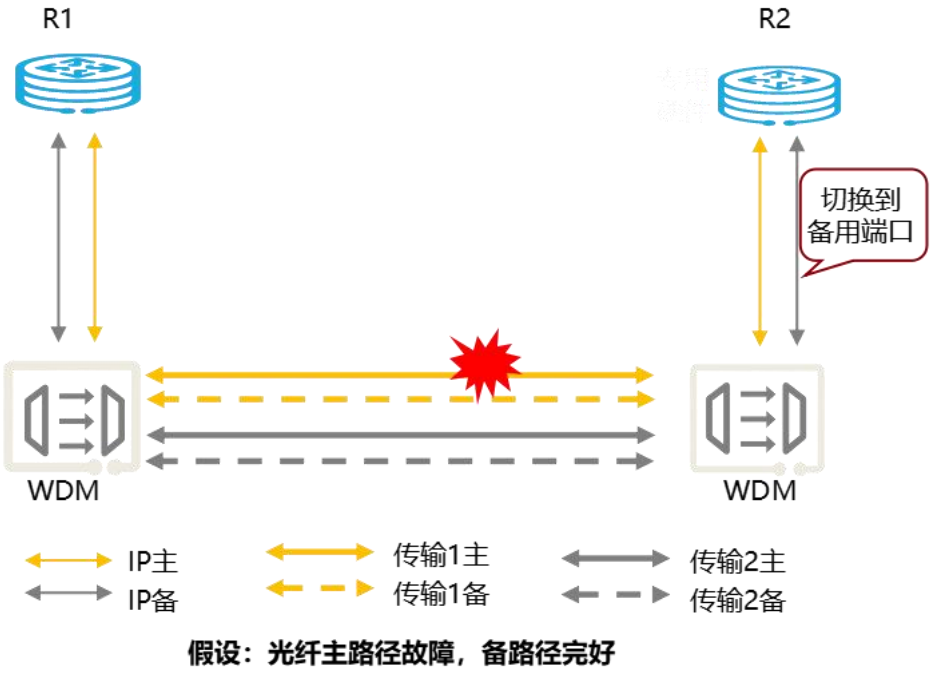


图 3 微妙级链路倒换

AI 原生路由器所具备的微秒级链路切换能力，可以有效缩减故障响应时延，实现“0”业务中断和“0”协议震荡的高效故障倒换，大幅度降低了网络隐形（网络协议容错内）丢包水平。而运营商试点验证结果，也证实了 AI 原生路由器在链路层可靠的能力。结果对比表明，在路由器未使用此技术时，无论是路由器直连还是跨传输光纤故障，丢包延迟均超过 20 毫秒，而使用后，两种情况下的丢包延迟均被控制在 100 微秒以内，显著改善。总之，该方案为提升网络韧性与保障高敏感度业务流畅运行提供了创新路径，为建设高质量 IP 网络、保障

优质应用体验提供了坚实的支撑。

3.1.3. 网络级可靠：秒级拥塞解除

在网络层级，当前网络运维面临的关键挑战为设备故障引发的链路中断和随之而来的流量拥塞，这对关键业务的稳定运行构成了直接威胁。同时，还存在故障定位复杂、处置流程繁琐、人工排查耗时长，故障二次处理时仍不够精准高效的问题。特别是在如城域网与骨干网光纤故障的场景下，依赖人工介入实施手工疏导拥塞流量，响应迟缓，耗时可长达数小时乃至数日不等。

为解决上述问题，AI 原生路由器通过嵌入式 AI 技术结合 NP 判断出现故障时需要调整的流量。举例而言，如图 4 所示，当城域网至骨干网间发生故障，如核心路由器（CR1）至 C1 方向光纤中断引起拥塞时，CR1 通过嵌入式 AI 算法与 NP 模块，基于流量分析智能地计算出需要重新分配的流量量级。随后，通过设备间的协议通告与路由优先级自动调整机制，将计算确定的流量调拨至其配对的城域设备 CR2 上，以此来缓解原路径的拥塞。

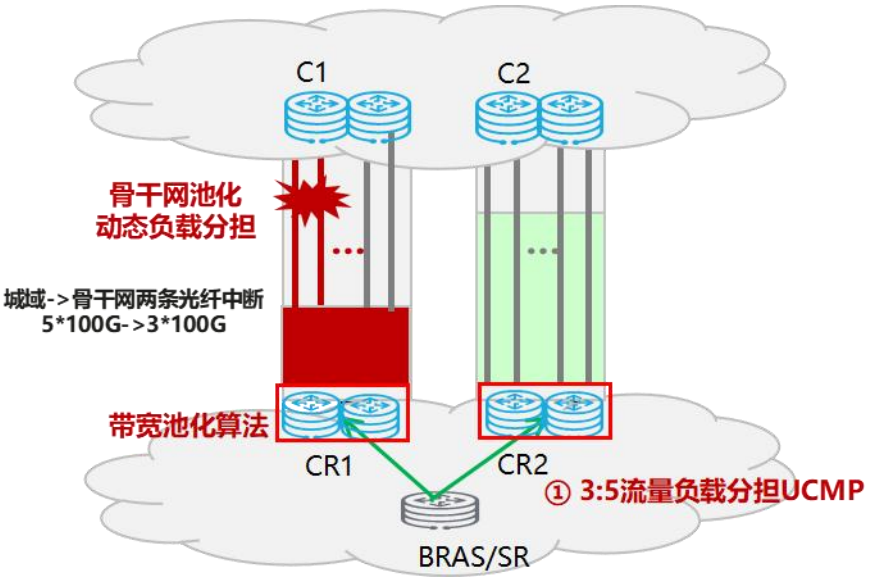


图 4 秒级拥塞解除

该方案的实施使得网络在面对链路故障和流量拥塞挑战时，能够实现即时的智能响应与自我修复。流量的动态且精准调拨不仅有效解除了拥塞问题，还确保了数据传输的连续性和服务质量，减少了因网络故障导致的服务中断时间。设备

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/148137061101006113