

# 基于路由定向、分段双叉定界算法及三层筛子预警模型主动拨测体系新方法的研究

高红丽<sup>1\*</sup>, 苏元鹏<sup>2</sup>, 郭晓辉<sup>1</sup>, 吕 潇<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>1</sup>

(1.中国移动通信集团新疆有限公司, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市, 830063;

2.国网乌鲁木齐供电公司, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市, 830011;

\*通讯作者, gaohongli@xj.chinamobile.com)

**摘要:** 随着互联网技术的飞速发展, 网络应用日益普及, 网络服务质量 (QoS) 和用户体验 (QoE) 成为衡量网络性能的关键指标。传统的网络监控手段, 如 SNMP、NetFlow 等, 主要依赖于设备自身提供的性能数据, 存在数据粒度粗、实时性差、无法反映真实用户体验等局限性。针对传统网络主动拨测系统存在的覆盖不全、故障定位效率低及预警精度不足等问题, 本文提出了一种融合路由定向技术、分段双叉定界算法与三层筛子预警模型的新型主动拨测体系。首先, 基于动态路由定向机制, 通过拓扑感知生成多维度探测路径, 提升网络盲区覆盖率; 其次, 提出分段双叉定界算法, 将故障域划分为传输段与服务段进行双向收敛检测, 实现故障定位时间缩短, 较传统方法提升; 同时构建包含三层筛子预警模型, 通过多级过滤机制使误报率降低。为智能运维提供了一种高精度、低时延的主动监测。

**关键词:** 主动拨测; 路由定向; 分段双叉定界算法; 联合分析

## 引言

随着 5G 网络的全面商用和 6G 技术的逐步探索, 通信网络正朝着高速化、智能化和泛在化的方向快速发展。然而, 网络规模的不断扩大以及用户对服务质量 (QoS) 要求的日益提高, 使得传统网络运维技术面临诸多挑战。特别是在路由选择、网络性能监测和故障定位等方面[1], 现有方法往往存在效率低、成本高、覆盖范围有限等问题, 难以满足未来网络的需求; 路由定向技术作为网络优化的核心手段之一[2], 能够通过动态调整数据传输路径, 有效提升网络资源的利用率和传输效率。然而, 传统路由定向技术多依赖于静态规则或简单的动态策略, 难以应对复杂多变的网络环境。与此同时, 主动拨测体系作为一种重要的网络性能监测手段, 能够通过模拟用户行为对网络进行主动测试, 从而快速发现潜在问题; 然而在部署大量测试任务后, 拨测系统缺少对问题的分级分类分析手段, 可能导致重要问题被淹没、告警根因不明确等问题, 不利于问题收敛。为了实现紧急问题及时发现及时处置, 隐患问题主动挖掘提前优化, 本文提出三层预警模型及分段双叉定界[3], 实现紧急问题及时发现及时处置, 隐患问题主动挖掘提前优化, 实现网络质量、客户感知双提升[4]。

## 1 现有问题

### 1.1 传统的主动拨测体系存在的问题

传统的主动拨测体系主要存在以下问题: 拨测节点覆盖不足, 拨测节点数量有限, 且分布不均, 难以全面反映不同地域、不同运营商网络下的用户体验; 拨测频率低, 受限于成本和资源, 拨测频率较低, 无法及时发现网络性能波动和故障; 拨测指标单一, 主要关注网络层指标, 如时延、丢包率等, 缺乏对应用层指标和用户体验的深入分析; 数据分析能力弱, 缺乏对海量拨测数据的深度挖掘和分析, 难以发现潜在问题和规律。

## 2 新方法概述一

本文主要是基于仿真拨测实现，通过开放数据接口、引入外部告警，基于路由定向技术、三层筛子模型等多个特色技术，实现了快速发现问题、准确定位问题，有效解决了实际生产中的痛点问题。技术架构详见图 1

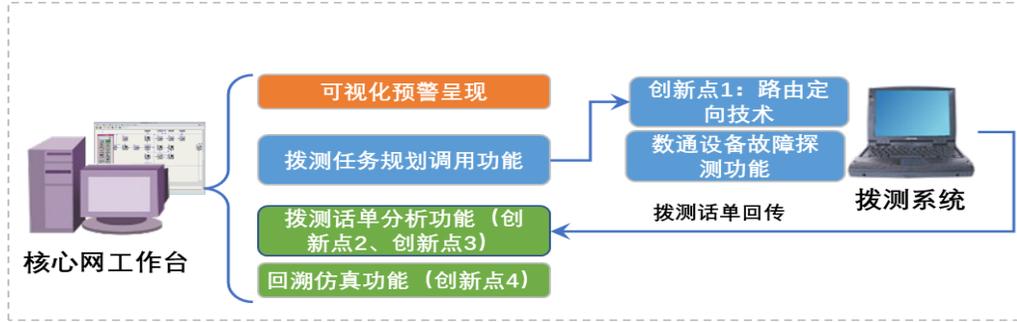


图 1 技术架构

### 2.1 路由定向技术

语音、上网基础通信业务路由使用随机抽样模型，导致业务选路存在不确定性，发生问题难以复现，遍历全网只能靠时间积累，问题发现速度慢、效率低。因此路由定向技术的出现无疑是解决此问题的性新发现；该定向技术，实现语音/数据业务域内端到端、全网元定向拨测，令问题现象能够重现，为问题的进一步快速定位和解决提供了重要条件。业务示意图见图 2

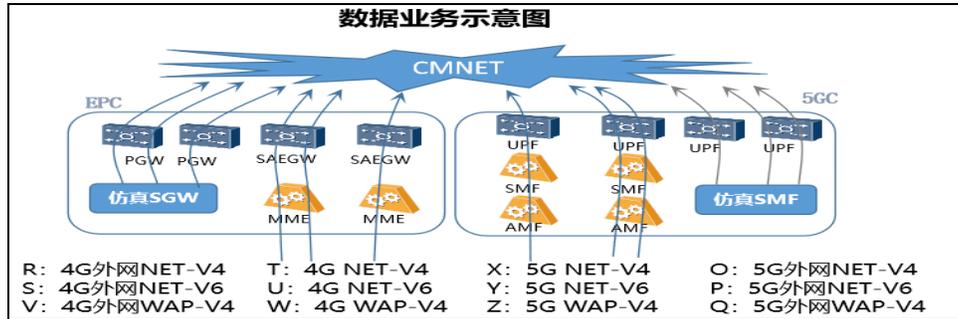


图 2 业务示意

### 2.2 IMS 域路由定向技术

传统 5G 语音业务拨打时，由于 IMS 域采用负荷分担方式组网，导致随机选择 CSCF，故障重现困难。本路由定向技术采用特殊能力集签约的方式，指定选择固定 CSCF，令路由固定，快速锁定故障网元。

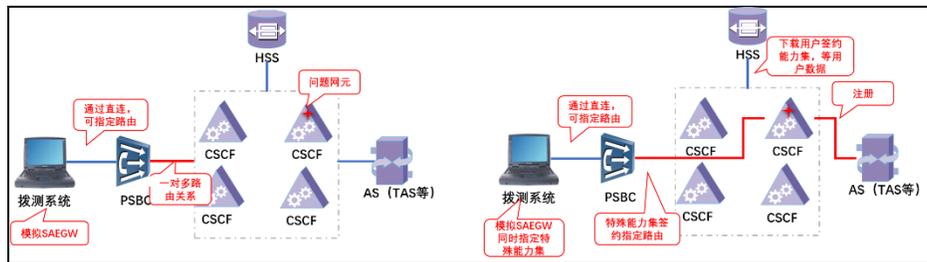


图 3 路由指定示意图

### 2.3 EPC 域路由定向技术

传统的 EPC 域拨测，因网元采用 POOL 方式组网，基站会接入多个 MME 和多个 SAEGW，进而形成两层复杂路由关系，导致故障重现困难。本定向技术采用模拟基站携带专用 TAC 的方式，指定选择固定 MME、SAEGW，令路由固定，快速锁定故障网元。

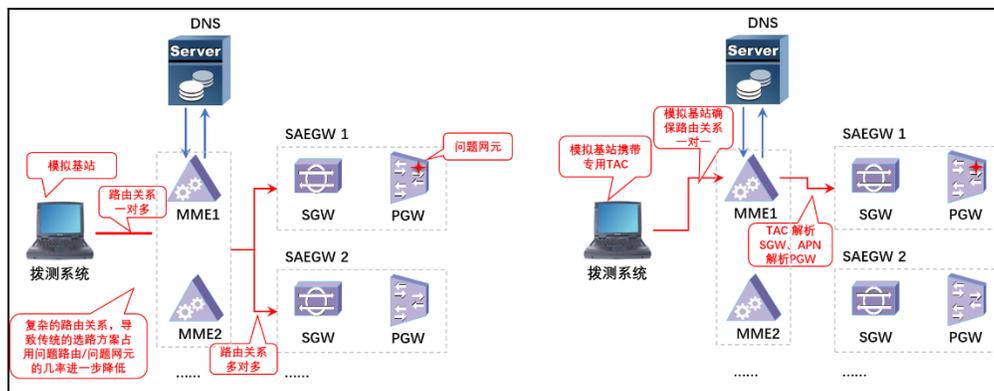


图 4 路由指定示意图

### 2.4 电路域-IMS 域路由定向技术

语音业务跨网时采用负荷分担方式组网，因此当 2G 用户拨打 4G 用户语音时，相关业务路由会随机选择 MGCF、GMSC，每次路由接入不定，故障重现困难。本定向技术通过被叫号码指定路由、特殊能力集指定路由的方式，指定选择目标，令路由固定，快速锁定故障网元。

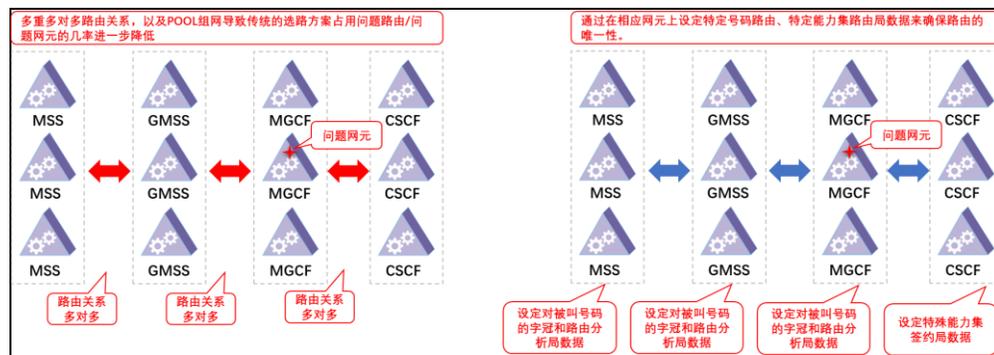


图 5 路由指定示意图

### 2.5 5GC 域路由定向技术

5GC 域采用 POOL 方式组网，基站会接入多个 AMF、SMF、UPF，每次业务接入路由不确定，故障重现困难。本定向技术采用模拟基站携带专用 TAC 的方式，指定选择固定 AMF、SMF、UPF，令路由固定，快速锁定故障网元。

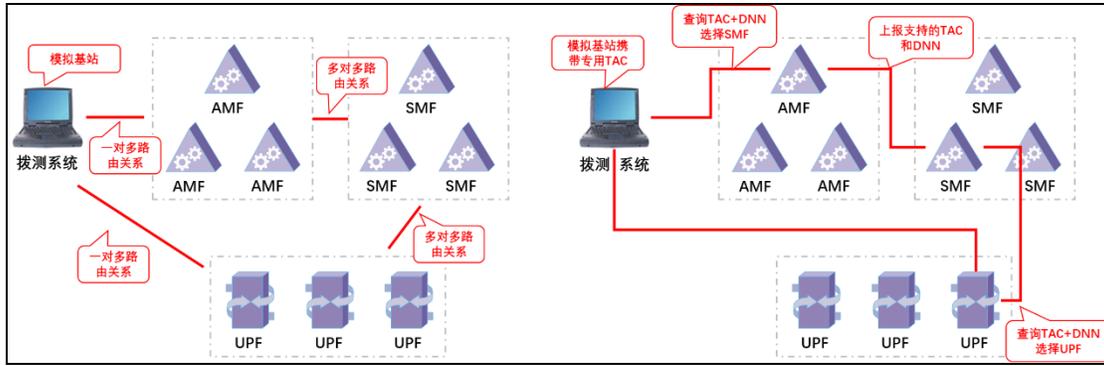


图 6 路由指定示意图

### 3 新方法概述二

#### 3.1 三层筛子预警模型

基于定向监测能力自研三层预警模型，实现紧急问题及时发现及时处置，隐患问题主动挖掘提前优化，实现网络质量、客户感知双提升。一层预警：阻断类预警，立即启动网络容灾，保障业务极速逃生；二层预警：性能类预警，立即启动问题分析，保障业务快速恢复；三层预警：隐患类预警，天粒度开展网络优化，保障隐患逐步清除。预警模型意图见图 7。

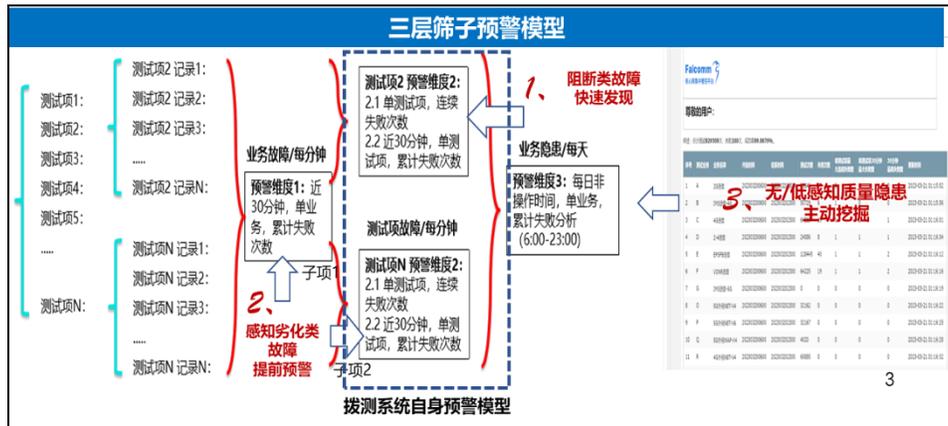


图 7 业务示意

#### 3.2 第一层预警模型

聚焦单类拨测任务详单，设置单测试项连续失败策略，快速发现阻断类故障（设置连续失败次数，判定为阻断）。平台推送拨测任务详单：基于单类详单进行分析；基于详单定义告警：基于单类详单持续失败定义业务阻断；生成告警并及时推送至技术支持团队，术支持团队持续关注。模型图见图 8，告警图见图 9。

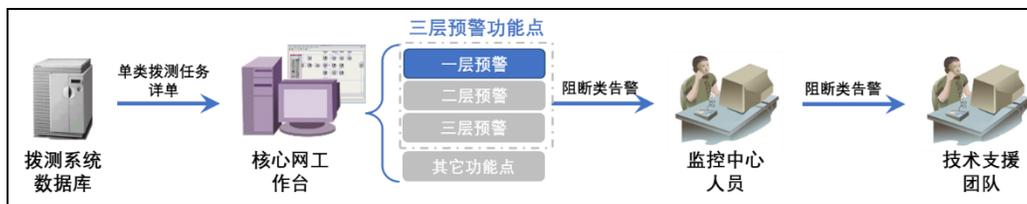


图8 预警模型

序号	预警编号	预警内容	预警时间	预警明细	恢复时间	恢复信息
1	KE13401	E类EPSFB语音, 单测试项连续失败超过3次	2023-05-24 00:44:05	【主动监测预警提示】: E类EPSFB语音业务, E134测试项连续失败3次, 最后1次文件时间: 202305240042	2023-05-24 03:06:05	【主动监测预警恢复】: E类EPSFB语音业务, E134测试项连续成功5次, 最后1次文件时间: 202305240304, 预警恢复。
2	KF13201	F类VONR语音, 单测试项连续失败超过3次	2023-05-24 00:44:05	【主动监测预警提示】: F类VONR语音业务, F132测试项连续失败3次, 最后1次文件时间: 202305240042	2023-05-24 03:06:05	【主动监测预警恢复】: F类VONR语音业务, F132测试项连续成功5次, 最后1次文件时间: 202305240304, 预警恢复。
3	KE15001	E类EPSFB语音, 单测试项连续失败超过3次	2023-05-24 00:44:05	【主动监测预警提示】: E类EPSFB语音业务, E150测试项连续失败3次, 最后1次文件时间: 202305240042	2023-05-24 03:07:05	【主动监测预警恢复】: E类EPSFB语音业务, E150测试项连续成功5次, 最后1次文件时间: 202305240305, 预警恢复。
4	KE15801	E类EPSFB语音, 单测试项连续失败超过3次	2023-05-24 00:44:05	【主动监测预警提示】: E类EPSFB语音业务, E158测试项连续失败3次, 最后1次文件时间: 202305240042	2023-05-24 03:07:05	【主动监测预警恢复】: E类EPSFB语音业务, E158测试项连续成功5次, 最后1次文件时间: 202305240305, 预警恢复。

图9 告警生成

### 3.3 第二层预警模型

结合多类拨测任务详单，设置测试项失败策略以及联合研判策略，解决单测试项及业务预警未到门限，但实际整个业务轻微受损的问题。综合研判拨测任务详单，基于多种类详单进行分析；基于单类详单多次失败，综合研判定位业务性能下降；对于多次出现并未及时恢复的告警研判业务问题并推送告警。模型图见图10。

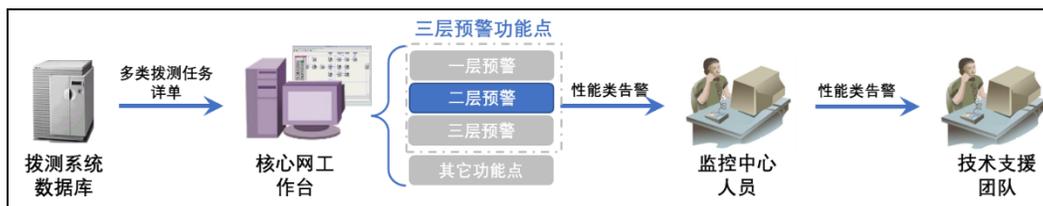


图10 预警模型

### 3.4 第三层预警模型

结合多类拨测任务详单，设置测试项失败策略以及联合研判策略，解决单测试项预警未到门限，但实际整个业务已经受损的问题。基于全量详单进行分析及全量详单的偶发性失败定义隐患问题，最终生成日报并推送至维护团队解决告警问题。模型图见图11，报号图见图12。



图11 预警模型

图 12 报告生成图

## 4 新方法概述三

### 4.1 分段双叉定界算法

传统的拨测只有拨测失败预警能力，缺乏问题定界定位能力。为了提升平台的定界定位能力，项目组提出了分段双叉网络抽样模型。该模型还原技术专家排障流程，实现单网元故障二分钟精准定界，多网元故障分步聚类定界。该方法通过双叉抽样模型确定最优网元选取原则，通过长短流程组合研判确定问题域，通过“两率一路”定界规则确定问题网元。实现了技术专家排障流程的精准还原，单网元故障可二分钟内完成精准定界。

### 4.2 双叉抽样模型

拨测抽样模型分为两类，一类是随机抽样模型，另一类是定向路径模型，包括全连接模型、全覆盖抽样模型、双叉抽样模型。

**全连接模型：**即所有用户业务可能途经的路径均遍历。其故障发现的场景覆盖最为全面、定位能力最强。缺点是部署成本高，部署任务数量随网元层级成倍增加，仅适用于网元层级和数量较少的场景。

**全覆盖抽样模型：**确保每个网元至少有一条定向路由覆盖。所需部署的测试项数量在所有定向模型中最少。具备路径定位和小规模场景下网元定位能力，在大规模的场景下定位定界能力较为薄弱。

**双叉抽样模型：**通过对拨测路径的编排实现每个网元上下游都有至少两条支路，确保每个网元至少有二条定向路由覆盖。结合路径重合算法能够实现故障网元的自动定界定位，且相对全连接模型更节省测试卡资源；如图下图依次为：全连接模型、全覆盖抽样模型及双叉抽样模型。

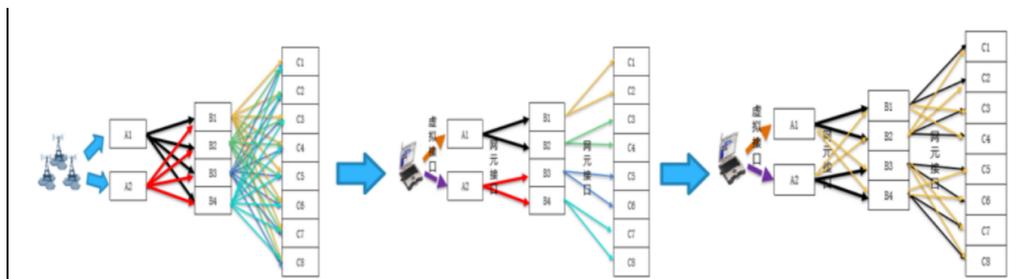


图 13 抽样模型图

### 4.3 分段定域

问题定位定界需要有个分层分析的过程，首先需要通过长短流程测试项结合，判定问题所在的域，通过测试项的交叉比对来实现问题的定位。

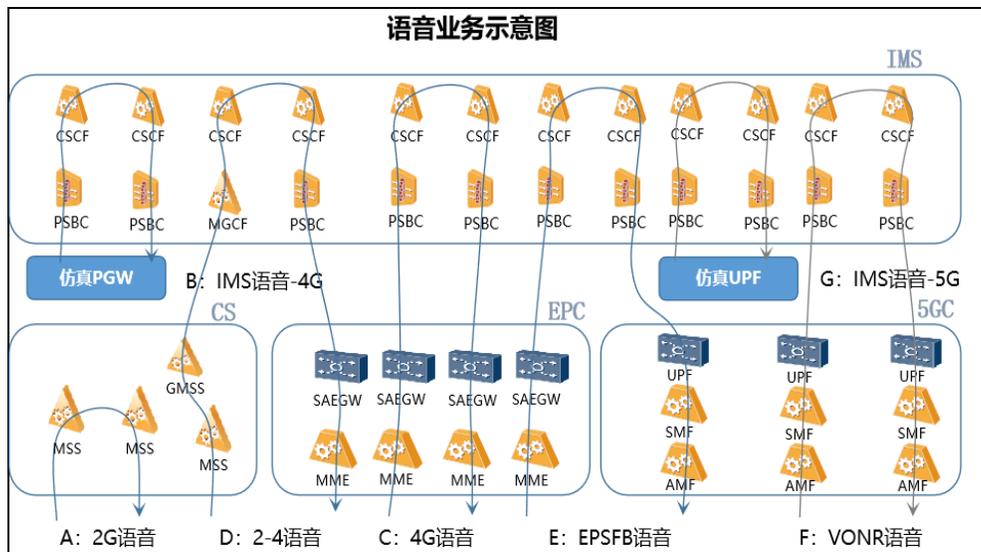


图 14 定位定界图

#### 4.4 “两率一路” 定界规则

二率为重合率和成功率，重合率= 本网元失败次数/总失败次数，重合率体现的是本网元失败与总体失败联系程度。单网元故障，重合度较高。多网元故障重合度不明显。业务成功率=(本网元测试次数-本网元失败次数)/本网元测试次数。成功率体现网元健康状态，反映时间长，一般用于多网元故障定位。

一路，关键路径，指的是当某一次测试项连续失败，那么它对应的业务路由中必然至少包含一个故障网元，关键路径适用于单网元和多网元两种场景。

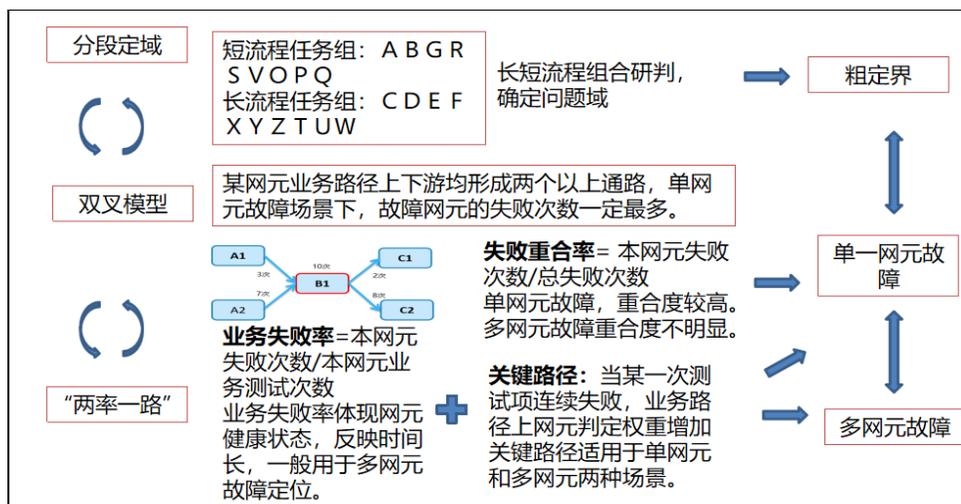


图 15 “两率一路”-定位定界图

### 5 适用场景

主动监测体系建立后，定向、高频的测试任务覆盖全网，预警体系和多维定界定位算法从割接调整、隐患挖掘、问题发现、告警处理、性能预警和集中投诉 多个场景出发，全力保证核心网的健康、稳定运行。

## 5.1 问题发现

是一种通过模拟用户行为或系统请求，主动检测目标服务可用性、性能和功能的监控手段，设备无告警、性能无质差的隐性故障时有发生，通过拨测任务作为问题发现手段的有效补充。

### 5.1.1 性能预警

自动拨测的性能预警是通过实时监控关键性能指标（如响应时间、错误率、资源使用率等），结合动态阈值与基线分析，提前发现潜在性能瓶颈或异常趋势的过程网元性能异常，通过定向拨测质差网元，判断业务感知影响程度，辅助决策处置方案和时机。

## 5.2 告警处理

自动拨测的告警处理是确保系统快速恢复、减少故障影响的核心环节，告警派单，通过定向拨测告警网元，判断业务感知影响程度，辅助决策处置方案和时机。

## 5.3 割接调整

通过仿真拨测能力，指定业务路径进行业务验证；割接完成后，通过全业务仿真拨测进行业务观察。

## 5.4 隐患排查

网元、业务全覆盖拨测，每日提供健康日报，快速开发迭代，定向拨测重点关注业务。

## 6 结语

本文针对主动拨测系统中路径探测效率低、故障定位冗余度高及预警误报率显著等问题，提出了一种融合动态路由定向、分段双叉定界算法与三层筛子预警模型的新型主动拨测体系[4]；通过路由定向技术，实现了网络拓扑自适应的多维度探测路径规划，有效解决了传统方法路径覆盖盲区问题；分段双叉定界算法，大幅缩短了跨域故障定位时间；结合三层筛子模型，显著降低了复杂网络环境下的误报干扰，本文通过对路由定向技术的改进和主动拨测体系的创新设计，提出了一种基于路由定向、分段双叉定界算法及三层筛子预警模型的新方法，旨在解决传统网络测试中效率低、成本高、覆盖范围有限等问题；总之，路由定向技术、分段双叉定界算法及三层筛子预警模型与主动拨测体系的结合为通信网络的未来发展开辟了新的道路。我们期待通过持续的研究与实践，为构建更加智能、高效、可靠的通信网络贡献力量，因此路由定向术、分段双叉定界算法及三层筛子预警模型潜在研究价值巨大，有待继续挖掘。

## 作者简介

高红丽（1989-），性别：女，民族：汉，籍贯：甘肃省天水市，学历：硕士研究生，职务：互联网维护，研究方向：互联网。

## 参考文献

- [1] 严亮. 基于移动应用自动拨测的大规模数据生产系统研究[D]. 湖南大学, 2022.
- [2] 苗佳智, 牛佳林. 航空机载设备的 FSO 定向路由技术研究[J]. 内燃机与配件, 2019, (09):228-230. DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.09.113.
- [3] 孙鑫, 葛冬冬, 付德生, 等. 针对炼油厂系统性运营优化问题的混合分布递归及分支定界算法[J/OL]. 运筹学学报(中英文), 1-19[2025-06-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1732.O1.20240701.1519.024.html>.
- [4] 杨雅儒. 基于多层网络的交通拥堵传播模型研究[D]. 青岛大学, 2020.