



# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2416-2012

---

## 公众 IP 网络可靠性 IP 快速重路由技术要求

Reliability for public IP network  
—Technology specification for IP fast reroute

2012-12-28 发布

2013-03-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目次

前 言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语、定义和缩略语.....1

4 IP快速重路由概要.....2

5 IP快速重路由机制—LFA.....2

6 故障场景及其检测技术.....3

6.1 故障场景.....3

6.2 故障检测技术.....4

7 备份下一跳计算.....4

7.1 计算方法.....4

7.2 基本无环条件.....5

7.3 节点保护备份下一跳.....5

7.4 广播链路和NBMA链路.....5

7.5 ECMP和备份.....6

7.6 LFA选择程序.....6

7.7 LFA类型.....6

8 故障情况下备份路径的应用.....7

9 故障恢复.....7

10 路由/协议方面.....7

10.1 LDP模式.....7

10.2 IS-IS.....7

10.3 OSPF.....7

10.4 BGP下一跳同步.....8

10.5 组播考虑.....8

11 安全考虑.....8

附录A（资料性附录）FRR在IP公众网络中的应用分析.....9

参考文献.....13

# 前 言

本标准是公众IP网络可靠性技术系列标准之一，该系列标准的结构及名称如下：

- 1. YD/T 2373-2011 《公众IP网络可靠性 总体技术要求》
- 2. YD/T 2175-2010 《公众IP网络可靠性 标记分发协议（LDP）平滑重启动技术要求及测试方法》
- 3. YD/T 2176-2010 《公众IP网络可靠性 中间系统到中间系统协议（IS-IS）平滑重启动技术要求及测试方法》

- 4. YD/T 1702-2007 《公众IP网络可靠性 IP快速重路由技术框架》
- 5. YD/T 2416-2007 《公众IP网络可靠性 IP快速重路由技术要求》
- 6. 《公众IP网络可靠性 RSVP-TE平滑重启动技术要求》
- 7. 《公众IP网络可靠性 双向转发检测（BFD）机制的技术要求》
- 8. 《公众IP网络可靠性 虚拟路由器冗余协议（VRRP）技术要求》

本标准主要参考国际标准IETF RFC5286整理编写。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：华为技术有限公司。

本标准起草人：国辛纯、谭 伟、沈 旺。

# 公众IP网络可靠性

## IP快速重路由技术要求

### 1 范围

本标准规定了IP快速重路由基本技术要求，包括通过LFA(Loop-free alternate)为IP网络中的单播流量提供本地单点故障包括链路、节点故障保护的方法，包括IP快速重路由基本机制、故障场景分析、备份下一跳计算、IP快速重路由技术应用等。

本标准适用于使用链路状态路由协议为OSPF或者ISIS的IP网络中的故障处理，不适用BGP域间路由协议的应用。同时本标准提到的主路径以及备份路径在同一个路由区域内。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

YD/T 1702-2007 公众IP网络可靠性 IP快速重路由技术架构

### 3 术语、定义和缩略语

#### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

微环路 Micro-Loop

当路由发生变化时，由于不同路由器的转发表不一致导致的一个短暂的转发循环。

##### 3.1.2

链路保护 Link Protection

从源到目的地址的主下一跳所在链路出现故障，通过替换下一跳链路，能保证流量的正常转发，这条替换路径提供了链路保护。

##### 3.1.3

节点保护 Node Protection

从源到目的地址的主用下一跳节点出现故障，通过使用另一个备份下一跳节点替换主下一跳能够保证流量的正常转发，则这个替换节点提供了节点保护。

#### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ABR	Area Border Router	区域边缘路由器
AS	Autonomous system	自治域
ASBR	Autonomous System Boundary Router	自治系统边界路由器
BFD	Bidirectional forwarding detection	双向转发检测



DU	Downstream Unsolicited	下游自主方式
ECMP	Equal cost multi-path	等值多路径
FRR	Fast Reroute	快速重路由
IGP	Interior Gateway Protocol	内部网关协议
IP	Internet Protocol	互联网协议
ISIS	Intermediate System to Intermediate System	中间系统到中间系统
LFA	Loop-free alternate	无环备份路径
LP	Link Protection	链路保护
LSA	Link State Acknowledgment	链路状态通告
NBMA	Non-broadcast multiple access	非广播多路访问
NP	Node Protection	节点保护
OAM	Operation Administration and Maintenance	操作管理维护
OSPF	Open Shortest Path First	开放最短路径优先
SPF	Shorest path first	最短路径优先
SPT	Shorest path tree	最短路径树

4 IP 快速重路由概要

普通IP路由，到某一目的地址，只计算一条最佳路径，在路由表中只有一条最优路由，故障发生时，路由需要重新收敛，收敛时间一般在秒级，造成部分流量丢失，不符合电信级的要求。

故障发生后最小化流量丢失，需要一种机制在故障发生后，故障邻接节点能快速调用修复路径，并且此修复路径在接下来的路由收敛过程中受影响很小。IP快速重路由机制通过填补路由收敛的时间间隙，在故障发生后路由重新收敛期间，将流量快速切换到提前计算的备份下一跳路径，保证业务不中断，路由收敛后，将流量切换回收敛后的最佳路径。

本标准定义的IP快速重路由技术要求，包括快速故障感知、IP快速重路由基本技术规范和故障恢复来实现故障情况下流量的快速切换，从而减少流量丢失和环路产生。

5 IP 快速重路由机制—LFA

IP快速重路由原理比较简单，提前计算备份下一跳路径，以备检测到主下一跳路由发生故障后，可以快速使用提前计算的备份路径转发流量，从而将故障的应时间降低到几十毫秒。IP快速重路由机制的难点在于如何保证无环情况下计算有效备份路径，以及如何避免流量转发过程中可能产生的微环路。

本标准定义的IP快速重路由是一种无环备份路径（LFA）的基本机制，主要通过借助SPF为到目的地址的每个主下一跳计算一条无环备份下一跳路径，提前将备份路径下发到转发表，故障发生后快速切换流量。备份下一跳路径的计算不会改变通过标准的SPF算法计算的主一下跳。

本标准使用YD/T 1702-2007中引入的术语，特别的将Distance\_opt(X,Y)，简写为D\_opt(X,Y),表示从节点X到节点Y的最短路径。

用S表示计算路由器，N\_i表示S的一个邻居节点，当S仅有一个邻居节点时，则将邻居节点简写为N，D表示目的节点。

当且仅当公式（1）（无环准则）的条件成立时，邻居节点N能提供LFA：

$$\text{Distance\_opt}(N, D) < \text{Distance\_opt}(N, S) + \text{Distance\_opt}(S, D)$$

(1)

LFA的一个子集是下游路径，在较复杂的故障情况下备份路径必须满足公式（2）更严格的限制条件，满足下游路径准则，以避免微环路。

$$\text{Distance\_opt}(N, D) < \text{Distance\_opt}(S, D)$$

(2)

6 故障场景及其检测技术

6.1 故障场景

IP链路故障是指相邻的两个IP节点之间的链路发生故障，针对单个链路进行保护，如图1所示。



图1 链路故障

节点故障是指单个IP节点发生故障，针对节点的故障保护，如图2所示。

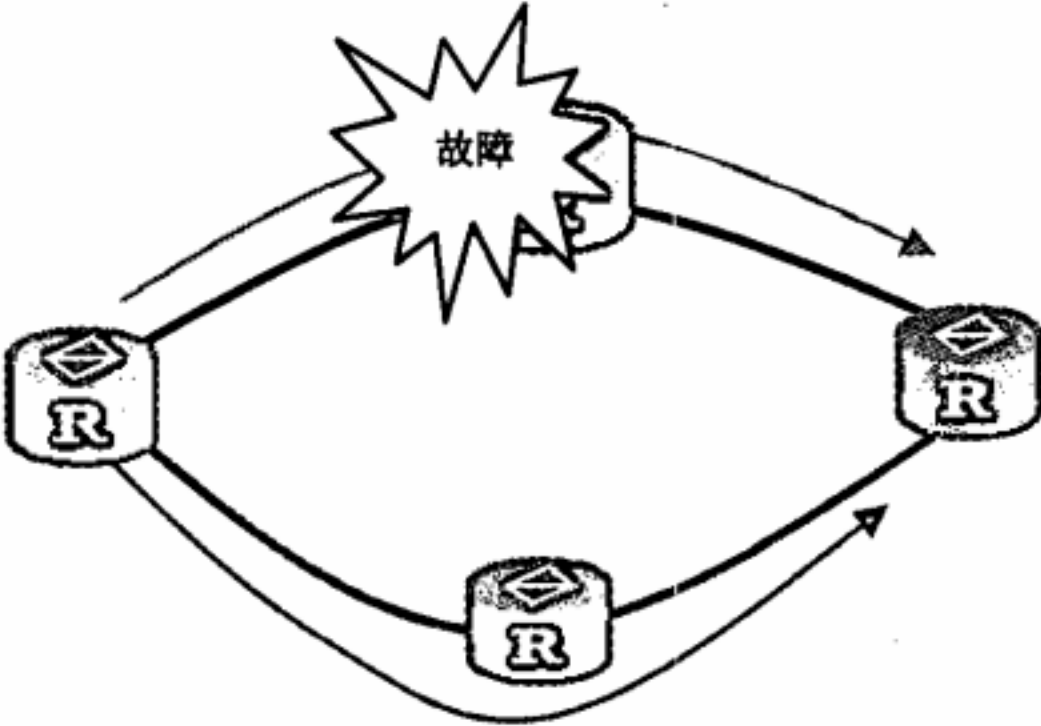


图2 节点故障

备份下一跳可以保护单个链路故障、单个节点故障以及这些故障同时发生的场景如链路节点故障。建立备份下一跳时需要提前确定好保护的类型，如果提供了相应的保护，但是另有其他类型的故障发生，可能产生微环路。

例如仅仅对链路提供了保护，当同时有节点故障发生时，可能产生微环路。如图3所示拓扑，源节点S到目的节点D的最短路径下一跳节点为E，在进行链路保护时，S同时选择到N的链路出接口进行备份，如果(S->E)的链路发生故障，S感知到故障，S节点将流量切换到（S->N）的链路进行转发，如果此时节点E也发生故障，但没有提供对节点E的保护，那么S和N都会感知到故障，这种情况均按照备份路径转发，这个例子中，S转发流量给N，同时N又转发流量给S，导致微环路发生。

要尽可能的避免微环路，应该选择更靠近目的节点的下游路径作为备选路径，这种限制可以避免产生微环路，但是会限制备份路径的覆盖范围，是否能建立希望的备份路径依赖于网络的实际拓扑。如上面的例子，N节点将找不到到D节点的下游备份路径，E节点故障的情况下，只能将丢掉流量，如果N节点有链路节点保护LFA或者有基于图3中未画出的其他链路作为下游路径存在时，则能成功修复故障。



链路节点保护能同时提供对链路的保护和下一跳节点的保护，下游路径保护能提供链路保护，是否能提供对节点故障的保护依赖于下游节点可以获得保护类型。

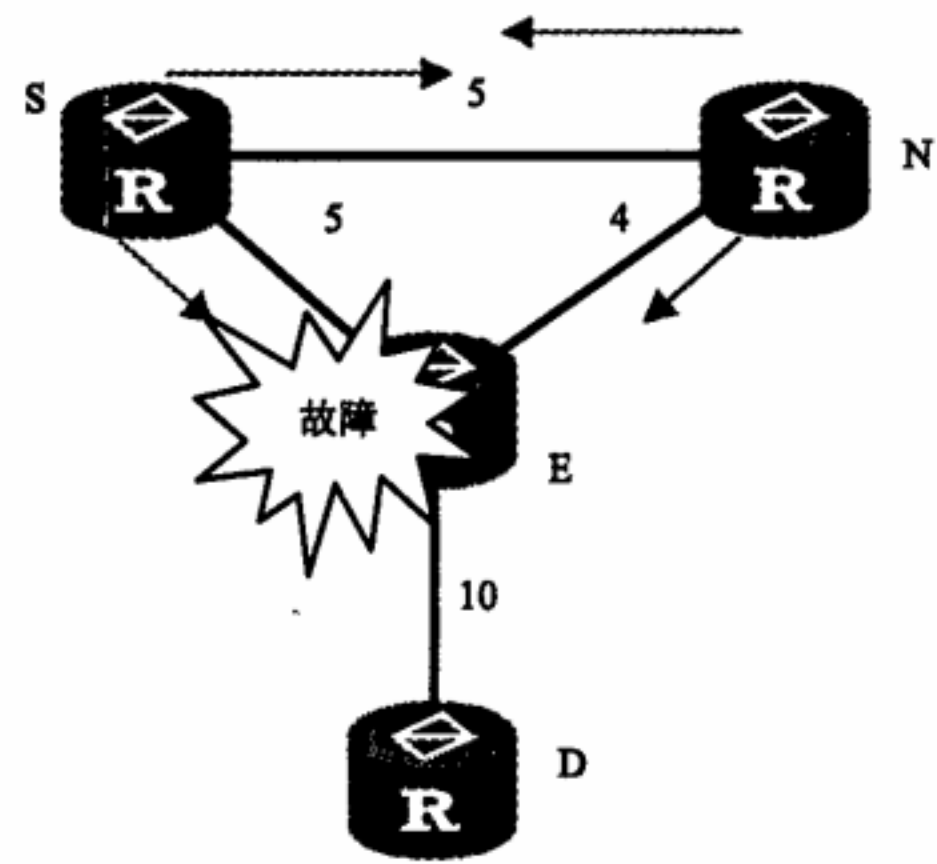


图3 链路保护时发生节点故障产生环

6.2 故障检测技术

所有的快速收敛技术，都是基于对链路状态的快速感知的前提下，快速的故障检测机制，有利于加快故障情况下流量快速倒换。检测技术包括端口物理检测、快速OAM技术检测、路由协议hello机制等，通过检测端口状态，在故障发生后，故障相邻节点能快速感知端口故障。

端口物理检测，如通过信号丢失、硬件告警检测或者端口物理信号电平的变化检测故障，硬件检测能快速的发现故障。

快速检测OAM工具，如BFD。BFD是一种简单通用的检测机制，利用简单高速的“Hello”协议，在两台BFD设备上建立会话，并周期性的发送BFD报文，如果某个系统在足够长的时间内没有接收到BFD报文，则认为在这条到相邻系统的双向通道的某个部分出了故障。转发层面根据BFD提供的信息维护接口和路径状态，决定何时进入FRR流量切换。

路由协议hello机制，利用某些背景消息（如keepalive和hello）的计时器超时来通告故障，如IGP的hello机制，在具有邻接关系的节点之间按照一定的定时器定时发送hello报文，当出现故障，未能定期收到对端peer的hello报文，则认为出现故障。

7 备份下一跳计算

7.1 计算方法

支持IP快速重路由机制的路由器节点为到目的节点的主下一跳计算备份下一跳以提供需要类型的保护（链路和/或节点保护），并且保证相应的故障发生时，经过备份下一跳的流量不会产生环路，这些备份下一跳在本标准中称为无环备份或者LFAs。对于给定的目的节点D，计算无环的备份下一跳路径需要知道以下基本的信息：

- 计算路由器到目的节点的最短路径(Distance\_opt(S, D));
- 计算路由器的 IGP 邻居节点到目的节点 D 的最短路径(Distance\_opt(N, D));
- 计算路由器的 IGP 邻居节点到计算路由器的最短路径(Distance\_opt(N, S))。

SPT (X) 表示以X节点为根建立的最短路径树，具体的SPF计算没有新的东西。

Distance\_opt(S, D)是通过链路状态协议执行SPF计算, 从SPT (S) 上获取的从S到D的最短路径; Distance\_opt(N, D)和Distance\_opt(N, S)是以计算路由器的邻居节点为根建立的SPT (N) 上获取的邻居节点到目的节点和源节点的最短路径。

7.2 基本无环条件

应用本标准计算备份下一跳路径必须遵照公式 (1) 中指定的基本的无环条件, 这种情况保证了链路故障发生后, 流量通过LFA转发时, 不会产生微环路。

7.3 节点保护备份下一跳

备份下一跳N保护到目的节点D的主邻居节点E的故障, 保证经节点N到目的节点D的路径不能经过E节点, 公式 (3) (点保护loop-free备份规则) 提供了无环节点保护需要满足的条件。

$$\text{Distance\_opt}(N, D) < \text{Distance\_opt}(N, E) + \text{Distance\_opt}(E, D) \tag{3}$$

如果Distance\_opt(N, D) = Distance\_opt(N, E) + Distance\_opt(E, D), 则N节点存在多个等值路径, 其中的每条可以提供对节点E的保护, 但是其中有路径可能经过节点E, 计算路由器并不能决定N选择哪条路径提供对节点E的保护, 因此认为备份下一跳如果不能满足公式 (3) 的条件, 将不能提供对期望节点的保护。

7.4 广播链路和 NBMA 链路

在路径计算中, 广播链路被假设为虚节点, 到其他节点通过cost值为0的链路相连, 广播链路的一个接口故障将会导致整个广播段连接中断, 提供广播链路的保护, 要保证备份路径关于广播链路的虚节点是无环的, 即备份路径不经过虚节点和S节点。假设源节点S的主一跳是广播链路, 备份下一跳为N节点, 目的节点为D, 如图4所示的拓扑, 要提供链路保护, 需要满足广播链路loop-free链路保护规则, 即公式 (4) 。

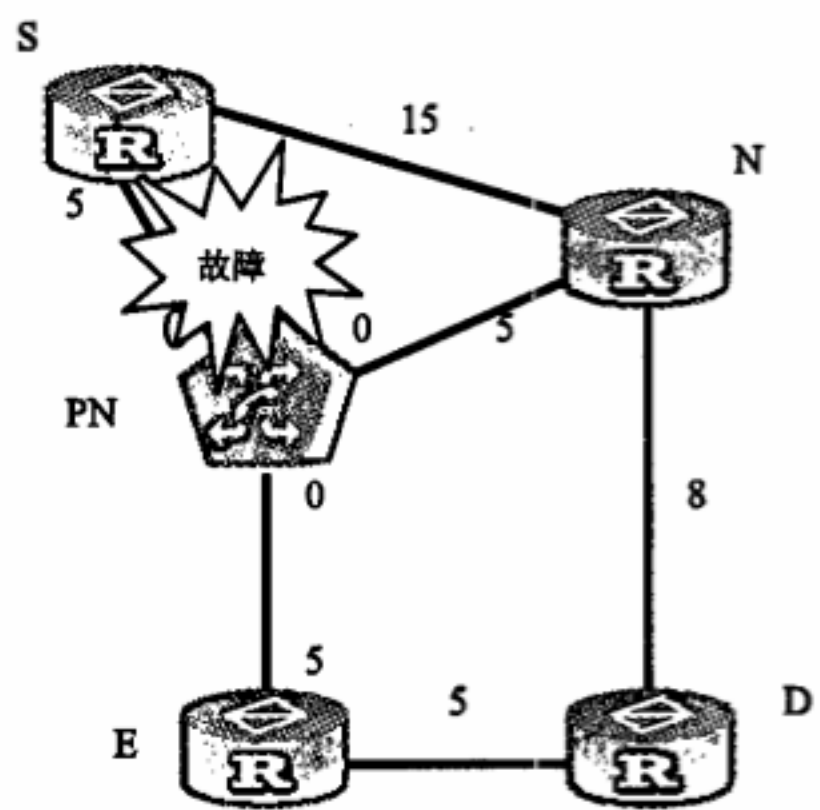


图4 链路保护无环备份

$$D\_opt(N, D) < D\_opt(N, PN) + D\_opt(PN, D) \tag{4}$$

对于点到点的接口, 节点保护的LFA同时也能提供相应链路保护, 但是对于广播或者NBMA链路, 节点保护并不能自动的提供相应链路保护, 当且仅当从S节点到备份下一跳不经过被保护链路的情况下可以同时提供对链路的保护。

因此为广播或NBMA链路提供链路保护, 需要保证从选择的备份下一跳到目的节点的路径不经过希望保护的链路, 另外被保护的链路不是从S节点到备份下一跳路径经过的链路, 后者只在非点到点的链路中存在。



## 7.5 ECMP 和备份

ECMP场景下，同一个路由前缀，可能存在多个主下一跳路径用于流量转发，当一个特定的主下一跳路径发生故障，备份下一跳可用于流量转发，其中备份下一跳路径同时也可以是一个主下一跳路径，也可以不是主下一跳路径，而是其他备份路径。使用主下一跳路径进行保护时，根据等值路径的部署情况，主下一跳路径可能只能提供有限的保护。

每个主下一跳独立的确定备份下一跳路径，如果在ECMP路径中选择备份路径提供保护，备份下一跳的选择要尽量多的覆盖故障情况。

## 7.6 LFA 选择程序

应尽可能的为到一给定目的前缀的每个主下一跳选择至少一个loop-free的备份下一跳路径。选择备份路径要最大程度上覆盖故障情况，可以根据下列步骤选择和计算备份下一跳路径：

a) S 选择无环节点保护备份下一跳路径，如果节点保护下一跳不存在，选择无环链路保护下一跳路径；

b) 如果 S 节点同时有保护链路及节点的备份路径和仅保护节点的备份路径可供选择，S 应该选择保护链路及节点的备份路径进行保护部署，最大覆盖故障情况，如广播和 NBMA 场景；

c) 如果 S 有多个主下一跳路径（如 ECMP），S 可以选择其中的一个主下一跳路径或者可以使用的无环节点保护备份路径，如果这样的无环节点保护备份路径不存在，并且没有其他主下一跳可以提供对链路的保护，则 S 还应该选择一条无环链路保护备份路径；

d) 本标准所述方案的实现应该支持这种模式，当其他主下一跳路径满足基本的无环情况并且至少提供链路保护或节点保护情况时，相比其他非主下一跳的保护，应该优先选择主下一跳路径提供的保护，这种方式使管理员能尽量保持 ECMP 的流量模式。

依据以上规则，能够提供尽量多层面的保护。

提供无环节点保护备份，下一跳需要满足公式（1）和公式（3），备份路径不经过S节点，S的主邻居节点E以及S到主邻居节点E的链路。

提供无环链路保护备份，下一跳需要满足公式（1），对于使用广播链路作为主下一跳的情况，需要满足公式（4）的条件。

## 7.7 LFA 类型

LFA可以提供不同类型不同保护层次的保护，需要根据网络拓扑或网络其他技术决定应用何种类型的保护。例如：

——主下一跳，多个主下一跳存在时，使用其中的一个主下一跳作为可选的备份保护路径，不会产生微环路，但主下一跳路径的减少有可能产生拥塞，所有的主下一跳都是下游路径。

——下游路径，用于避免微环路，保证发生何种故障均不会产生 S 节点的微环路，但保护覆盖能力不好。所有的下游路径都是无环备份路径。

——LFA，是否能很好的覆盖网络故障主要依赖于网络的拓扑，但是当不在保护范围的故障发生时，比如设置的链路保护但是发生节点故障，将会发生微环路。

不同类型的保护，LP和NP，处理节点和链路故障；仅LP，仅能处理普通的链路故障，节点保护通过其他方式提供；仅NP，仅在非点到点接口存在，这种方式链路保护通过其他方式提供。

## 8 故障情况下备份路径的应用

计算好备份下一跳可用，在主下一跳路径出现故障，路由器节点通过本地接口感知、BFD或hello协议等其他检测机制检测到下一跳路径发生故障，将流量转发给备份下一跳路径转发，其主要的处理过程如下：

- a) 将发生故障的主下一跳路径从转发表移除。
- b) 如果备份路径转发表项尚没有在转发表中安装，将计算的备份下一跳路径的转发表项加入转发表，比如备份路径同时也是一个主下一跳的情况。

同时路由器应该将可能受此故障影响的其他链路的转发表项也从转发表移除，即使在检测到故障时没有发觉其他链路受到影响，

备份下一跳仅仅用于对沿着最短路径转发的流量使用，组播流量的相关处理不在本标准范围内。

## 9 故障恢复

故障发生后，流量倒换到备份路径上，但不能一直应用备份下一跳路径转发流量，基于网络中部署的路由协议，进行路由收敛，计算出新的主下一跳路径，要考虑切换到新的主路径转发流量。

在路由收敛的过程中有可能有微环路发生，造成流量丢失，因此当路由收敛后计算出新的主下一跳路径后，流量要延迟一段时间倒换到新主下一跳路径转发流量，这样可以避免新主下一跳路径的转发表项没有完全安装而可能产生转发微环路，造成流量丢失，因此路由收敛计算出新主下一跳路径后，不能立即倒换流量，要为新主下一跳节点以及其他新主路径中的其他节点预留充分的时间安装新的路由新的转发表项。

如果新计算的主下一跳在故障前就是无环的，那么新主路径将不受故障影响，因此在路由收敛后，可以不用延迟，直接将流量倒换到新主下一跳路径。

如果可选下一跳路径提供了恰当的保护，且备份下一跳到目的节点的路径不经过S节点或故障节点，备份路径不受故障影响，不会产生微环路，延迟安装新主下一跳路径是安全的，可以继续使用备份下一跳路径转发流量，以下情况下将流量切换到新的路径：

- 路由收敛后的新主下一跳在拓扑改变前是 loop-free 的，或者
- 配置 hold-down 保持时间超时，或者
- 接收到网络中不相关的拓扑改变通告。

## 10 路由/协议方面

### 10.1 LDP 模式

对于LDP模式下使用本标准定义的规范，需要保证提前为备份路径分配转发层面的标签。LDP需要工作在DU模式下的标签分配方式，使LDP标签分配不是严格按照SPT进行标签分配，并且采用自由标签保持方式，使节点能保留非主邻居节点发送的标签，以备故障情况下可以尽快通过备份路径转发流量。

### 10.2 IS-IS

多拓扑IS-IS网络环境下LFA的应用不在本标准范围内。

### 10.3 OSPF



当路由器从多个区域收到到目的地址的路由时，OSPF可能存在到一个目的前缀的路径出一个区域后，又回到同一个区域，可能会产生微环路，为LFA的应用引入了一定的复杂性。当另一个区域存在一条路径比已经计算了LFA的区域的区域的路径更短，并且这条路径连接两个ABR时，会导致以上情况发生。

下面的场景会导致以上问题，影响LFA的应用，因此为了尽量避免微环路，本标准描述的规范在以下场景存在的多区域OSPF网络应该限制使用。

——虚链路：允许路径离开骨干域穿过传输域，经过传输域的路径可以经任何 ABR 路由器出去，选择的传输域路径不是在骨干域运行 SPF 确定的最短路径。

——可选 ABR：当 ABR 不与骨干连接，根据从多个区域获得的区域间路由摘要选择路由。这种情况比如 ABR A 决定使用区域 2 的路径，这条路径经过 ABR B，但 B 路由器决定使用区域 1 的路径。

——ASBR 摘要：ASBR 节点本身可能是一个 ABR 路由器，被发布到多个区域，其他 ABR 考虑应用哪个区域的路由。

——AS 外部前缀：一个外部路由前缀可能被多个 ASBR 路由器在不同的区域发布，和/或者以多个通过至少一个 ABR 连接的不同区域的转发地址发布。ABR 路由器决定通过哪个区域到达地址前缀。

如果OSPF AS外部链路状态通告（LSA）消息设置转发地址，网络中所有路由器通过在路由表中查找该转发地址来计算到外部前缀的下一跳，而不是利用为ASBR计算的下一跳。这种情况，选择到转发链路的备份路径计算备份下一跳，而不能选择到ASBR的备份路径。

本标准描述的方法对Multi-Topology OSPF场景的应用不在本标准范围内。

10.4 BGP 下一跳同步

通常情况下，在发布BGP前缀时以AS出口路由器的路由器ID作为BGP下一跳，并且通过IGP路由获得到达AS的出口路由器路径。BGP通过在路由表中递归查找获得到达BGP下一跳的直连IGP下一跳。IP快速重路由计算到所有的IGP目的地址的备份下一跳，包括到AS出口路由器ID的备份下一跳，BGP从IGP简单继承这些备份下一跳，BGP选路过程没有改变，BGP继续基于IGP最优路径寻找最近的出口路由器。

BGP域间路由协议的快速重路由不在本标准范围内。

10.5 组播考虑

组播流量的快速重路由不在本标准范围内。

11 安全考虑

本标准描述的机制不涉及对任何路由协议的修改，因此不会引入新的安全威胁。



附录 A  
(资料性附录)

FRR 在 IP 公众网络中的应用分析

A.1 FRR在接入网络的应用

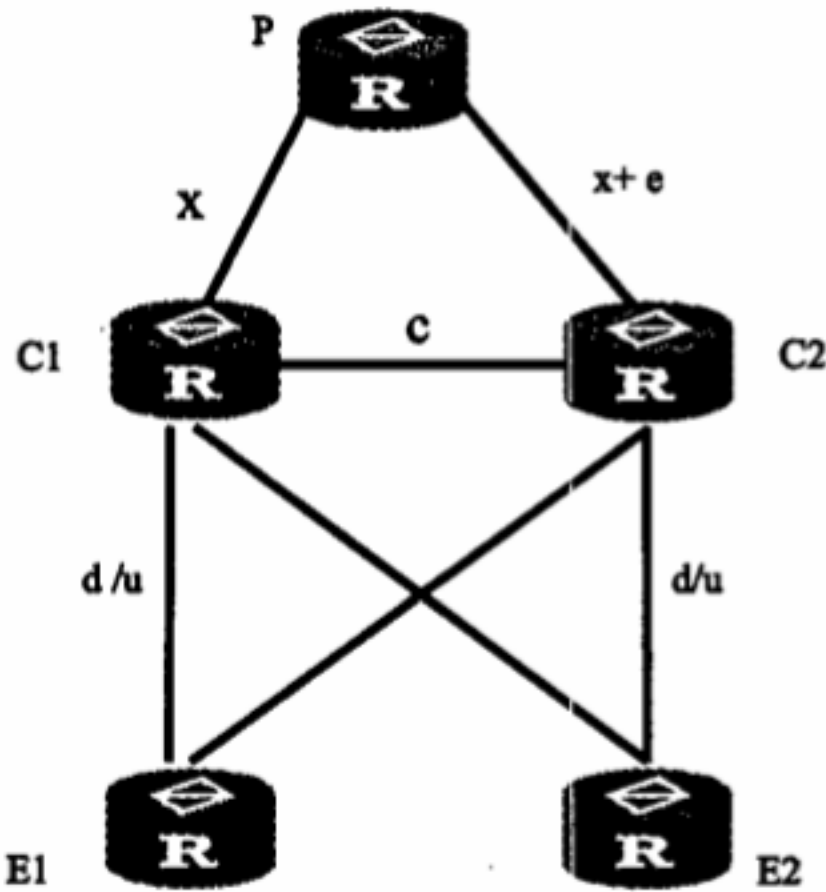
IP 公众网络通常有一个核心网络和若干个接入网络构成。通过核心网络把多个接入网络互相连接起来。最常见的核心网络表现为一个ISIS 2级域(OSPF 0 域),而每个接入区域限定为一个ISIS 1级域(OSPF 非 0 域)。通常接入网络中的每个接入区域的网络拓扑是相似的,因此建立以下抽象模型,对接入网络的LFA进行应用分析:

- 两个路由器 (C1 和 C2) 提供接入网络和其他网络之间的连接。如果两个路由器之间有链路连接,则该链路具有一个对称的 IGP metric 为  $c$ 。
- 如果接入区域内存在汇聚区域,两个汇聚路由器 (A1 和 A2) 将汇聚区域和接入区域的两个路由器 C1 和 C2 连接起来。如果 A1 和 A2 之间有链路连接,则该链路有对称的 IGP metric 为  $a$ 。连接 A 和 C 路由器 CA 方向链路 metric 为  $d$ , AC 方向 metric 为  $u$ 。
- 接入区域内的两个边缘路由器 E1 和 E2, 这两个路由器双归属到 C1 和 C2。Cx 和 Ey 之间的直接链路的 metric 在不同方向分别是  $d$  和  $u$ 。
- 一个 IP 前缀 P 用来代表一个重要的 IGP 目的地,该目的地不在本地接入网内。从 C1 到 P 的 IGP metric 是  $x$ , 从 C2 到 P 的 metric 是  $x + e$ 。
- 假定  $c < d + u$ , 这是普遍认同的设计规则。

下面以三角形拓扑和Full-Mesh拓扑为例,分析LFA在接入网络中的应用。

A.1.1 三角形拓扑

下面分析链路C1E1每个方向故障,节点E1和C1故障时,对应的LFA如何进行保护。三角形拓扑组网如图A.1所示。



图A.1 三角形拓扑组网

A.1.1.1 链路E1C1故障

当图A.1中E1C1链路故障时, 到C1, E2和P三个目的地的流量受此链路故障影响。

到目的地C1的LFA是C2（满足 $c < d + u$ ），但无法提供到C1路由的节点保护。

由于满足 $d < d + u + d$ ，同时满足 $d < c + d$ ，因此到目的地E2的LFA是C2，同时它也能提供节点保护。

到目的地P的LFA是C2（满足 $c < d + u$ ），如果存在 $x + e < x + c$ ，即 $e < c$ 成立满足，则C2同样提供节点保护。从这里看出， $e$ 和 $c$ 之间的关系对LFA的覆盖很重要。如果 $e > c$ ，则无法提供节点保护。

结论：所有主接口是E1C1的重要PoP之内的路由，都提供LFA链路和节点保护。所有主接口是E1C1的重要PoP之间的路由都提供LFA链路保护，如果 $e < c$ 的话，也提供节点保护。

A.1.1.2 链路C1E1故障

C1上只有一个主路由通过C1E1：到E1的路由（因为 $c < d + u$ ），因此C1E1故障时仅影响这条路由。

C1到目的地E1的LFA是C2，满足 $d < c + d$ 。

当E1故障时，无法提供节点保护，因为唯一受影响的业务在E1终结，因此无论怎样都会丢失。

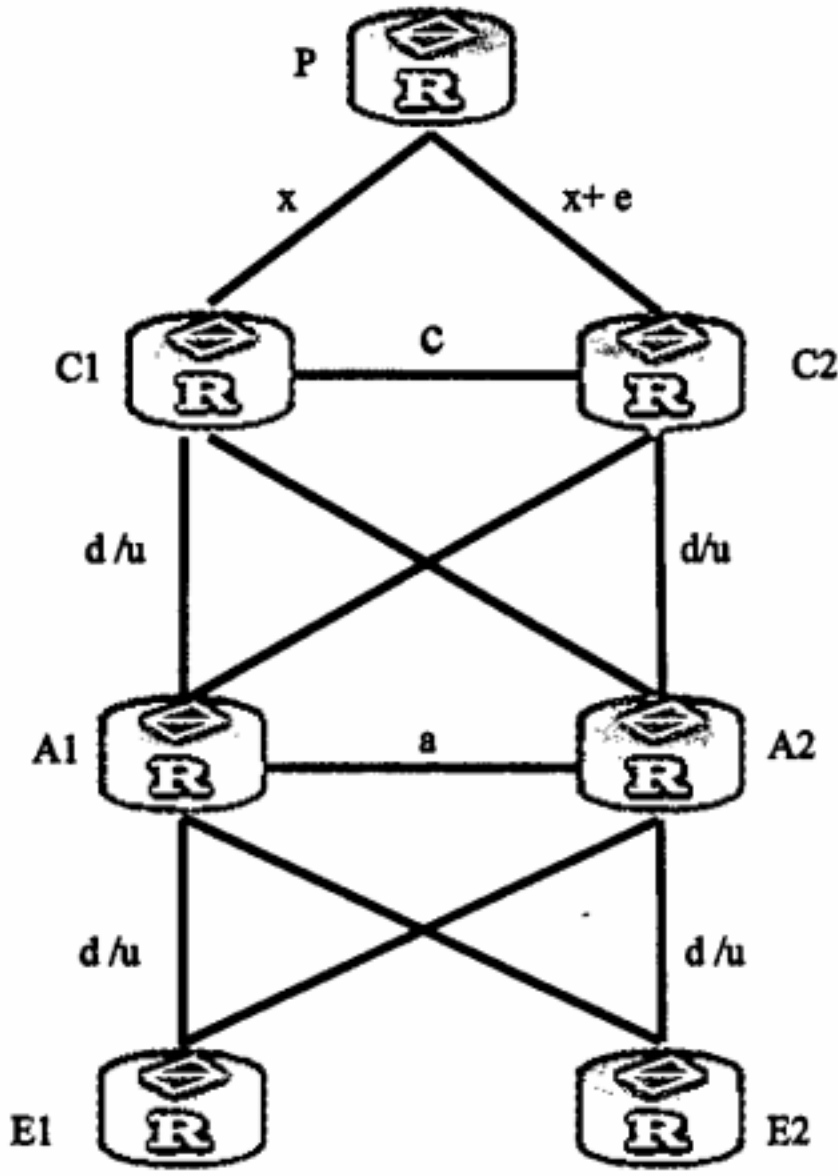
结论：所有主接口为C1E1的重要路由，提供LFA链路保护，但无法提供节点保护。

A.1.1.3 结论

所有重要的PoP之内的路由提供LFA链路和节点保护。所有重要的PoP之间的路由提供LFA链路保护，如果 $e < c$ ，可以保证提供节点保护。同时IGP收敛不会引发任何微环路。

A.1.2 Full-Mesh拓扑

在Full-Mesh网络拓扑（如图A.2所示）中规范链路C1A1、A1E1以及节点E1、A1和C1故障时LFA的保护机制。C2A2、A2E2以及节点E2、A2、C1故障时，LFA的保护过程是相同的，不重复进行分析。



图A.2 Full-Mesh拓拓扑组网

A.1.2.1 链路E1A1故障

当E1A1链路故障时，到目的地A1、C1、E2和P的流量受到影响。

到A1的LFA是A2（满足 $a < d + u$ ），无法提供到A1路由的节点保护，因为A1故障，到A1的业务无论怎样都会丢失。

到C1的LFA是A2（满足 $u < d + u + u$ ），同时提供节点保护（满足 $u < a + u$ ）。

到E2的LFA是A2（满足 $d < d + u + d$ ），同时提供节点保护（满足 $d < a + d$ ）。

到P的LFA是A2 ( $u+x < d+u+u+x$ )，同时提供节点保护 (满足  $u+x < a+u+x$ )。

结论：所有主接口为E1A1的重要的PoP之内和PoP之间的路由提供LFA链路和节点保护。

#### A.1.2.2 链路A1E1故障

A1上只有一个主路由通过A1E1：到E1的路由 (因为  $c < d+u$ )，因此A1E1故障时仅影响这条路由。

A1上到E1的LFA是A2 (满足  $d < a+d$ )。

当E1故障时，无法提供节点保护，因为唯一受影响的业务在E1终结，因此无论如何都会丢失。

结论：所有主接口为A1E1的重要路由，提供LFA链路保护，但无法提供节点保护。

#### A.1.2.3 链路A1C1故障

当E1A1链路故障时，到C1和P的流量受到影响。

到C1的LFA是C2 (满足  $c < d+u$ )，无法提供路由C1的节点保护，因为C1故障，到C1的业务无论如何都会丢失。

到P的LFA是C2 (满足  $c < d+u$ )，如果同时满足  $x+e < x+c$ ，则实际上提供节点故障保护。

结论：所有主接口为A1C1的重要PoP之内的路由提供LFA链路保护。所有主接口为E1C1的重要PoP之间的路由提供LFA链路保护 (如果  $e < c$ ，则实际提供节点保护)。

#### A.1.2.4 链路C1A1故障

当链路C1A1故障时，C1有三个路由受到影响：A1，E1和E2。E2的行为和E1类似，因此不重复进行分析。

因为我们假定  $c < a$ ，同时成立： $d < c+d$ ，因此C1到A1的LFA经过C2。无法提供A1故障的节点保护，因为A1失效时，到A1的业务无论如何都会丢失。

C1到E1的LFA经过A2，满足  $d < u+d+d$ ，并且提供A1故障的节点保护 (满足  $d < a+d$ )。

结论：所有主接口为C1A1的重要路由均提供LFA链路保护，除路由目的地所在节点故障之外，都可提供节点保护。

#### A.1.2.5 结论

所有重要的PoP之内的路由都提供LFA链路和节点保护。所有重要的PoP之间的路由都提供LFA链路保护，同时A和C节点故障时都提供节点保护，但C节点故障时要求满足  $e < c$  的条件。同时IGP收敛不会引发任何微环路。

### A.2 FRR在核心网络的应用分析

由于骨干网的规划设计特点，在骨干网络中要想优化网络的拓扑以获得LFA的保护覆盖，比接入或汇聚网络中要困难的多，因此对于骨干网络可以分下面三种情况，考虑LFA的应用部署策略。

第一种情况：希望加快网络的IGP收敛速度。这种情况下可以使用LFA，效果是非常明显的，可以显著的提高IGP收敛时间，网络中断的时间可以缩短为之前的十分之一(500ms变为50ms)，而不增加额外的开销。

第二种情况：不重新规划现有网络，实现非常高的和确定的FRR保护覆盖。这种情况下不能使用LFA，原因是不修改网络的条件下，无法为每条链路找到LFA备份链路，不能提供高的保护覆盖。在这种情况下使用MPLS TE FRR是更好的解决方案，可以提供更全面的保护。



第三种情况：重新规划现有核心网络，实现非常高的和确定的FRR覆盖。这种场景使用LFA，可以基于LFA保护备份链路的需要，重新规划核心网络的拓扑。在网络拓扑满足要求的情况下，使用LFA是很适合的，它以非常简单的方法达到很好的网络保护效果。

## 参 考 文 献

- [1]IETF, draft-ietf-rtgwg-lfa-applicability-04
  - [2]IETF RFC5286, Basic Specification for IP Fast Reroute: Loop-Free Alternates
  - [3]IETF RFC5714, IP Fast Reroute Framework
  - [4]IETF RFC2328, OSPF Version2
  - [5]IETF RFC5880, Bidirectional Forwarding Detection
-

中华人民共和国  
通信行业标准  
公众 IP 网络可靠性  
IP 快速重路由技术要求  
YD/T 2416-2012

\*

人民邮电出版社出版发行  
北京市崇文区夕照寺街 14 号 A 座  
邮政编码：100061  
宝隆元（北京）印刷技术有限公司印刷  
版权所有 不得翻印

\*

开本：880×1230 1/16 2013 年 3 月第 1 版  
印张：1.25 2013 年 3 月北京第 1 次印刷  
字数：30 千字

15115 • 32

定价：15 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010)67114922