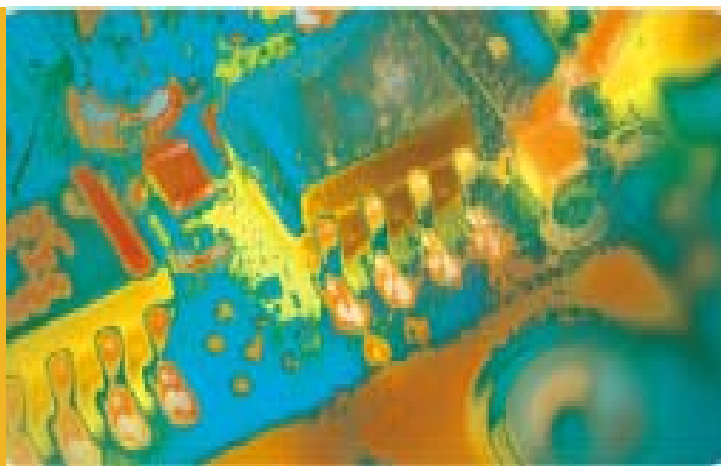




温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

# 网络性能测试与分析



<http://network.wzu.edu.cn>

<http://www.spirent.com>

ZCR@wzu.edu.cn



温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第四章 IP路由测试



<http://network.wzu.edu.cn>

<http://www.spirent.com>

[ZCR@wzu.edu.cn](mailto:ZCR@wzu.edu.cn)

# 本章教学提要

## ■教学目标：

✓路由测试涉及哪些技术指标

✓**OSPF**路由协议；

✓了解路由测试的**RFC**文档

✓理解**OSPF**路由测试相关方法学

✓掌握路由表容量测试方法学；

✓掌握路由震荡测试方法学

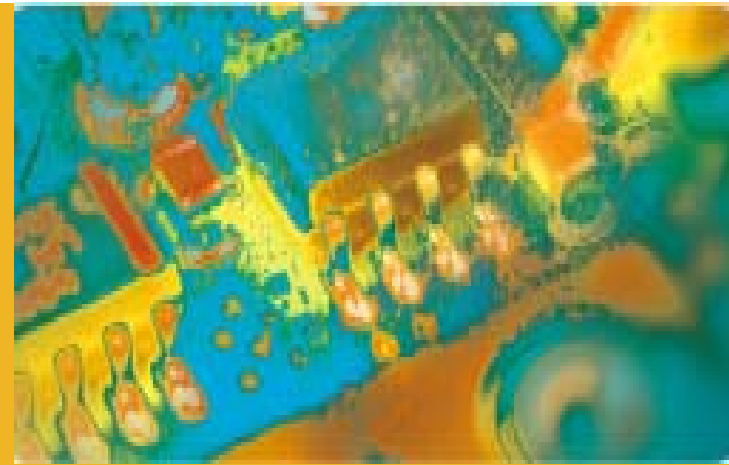
●**教学难点/重点**：路由表容量测试方法学、路由振荡测试方法学

●**教学时数**：理论**6**学时



温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

# 第一节 IP路由 测试的必要性



# 本节关注问题

- 路由与路由协议简介
- 为什么要进行**IP**路由测试

# 路由概述

- 路由器实现了网络的互联
- 路由器最基本的功能是路由与交换
- 路由器中的分组转发主要依靠查找转发表来完成，而转发表又是根据内存中的路由表得到的

# 路由表的生成和维护

## ■静态路由

- ✓ 静态路由（**static routing**）是指由网络管理员根据其所掌握的网络连通信息手工配置的路由表表项
- ✓ 默认(**default**)路由或缺省路由,默认路由能够为那些在路由表中没有其它路由与其目的地址匹配的数据包指出数据包转发所需的端口

## ■动态路由

- ✓ 动态路由是指路由器依靠路由协议自主学习而获得路由信息，路由协议是用于路由器之间交换路由信息的协议
- ✓ 内部网关协议（**IGP**）：**RIP、OSPF、IS-IS**
- ✓ 外部网关协议（**EGP**）：**BGP 4**

# IP路由测试的必要性

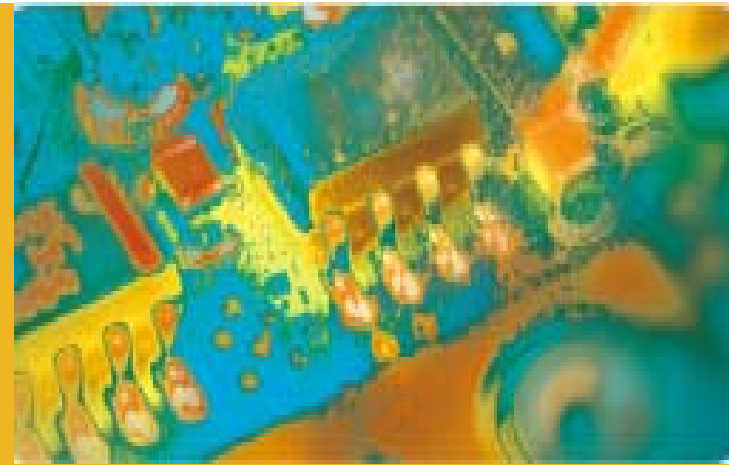
- 路由器的数据包转发和路由处理性能直接影响到整个网络的性能
- 路由器采用何种方式获得路由信息会直接影响路由性能
- 静态路由消耗（**time-consuming**）管理员的时间，但没有额外的路由维护开销，对网络拓扑变化的适应性较差，网络的可扩展性也受限制。
- 动态路由协议能较好的适应复杂多变的网络环境，但需要较多的资源消耗（**resource-consuming**），包括路由器的**CPU**时间与内存、网络链路带宽等。





温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

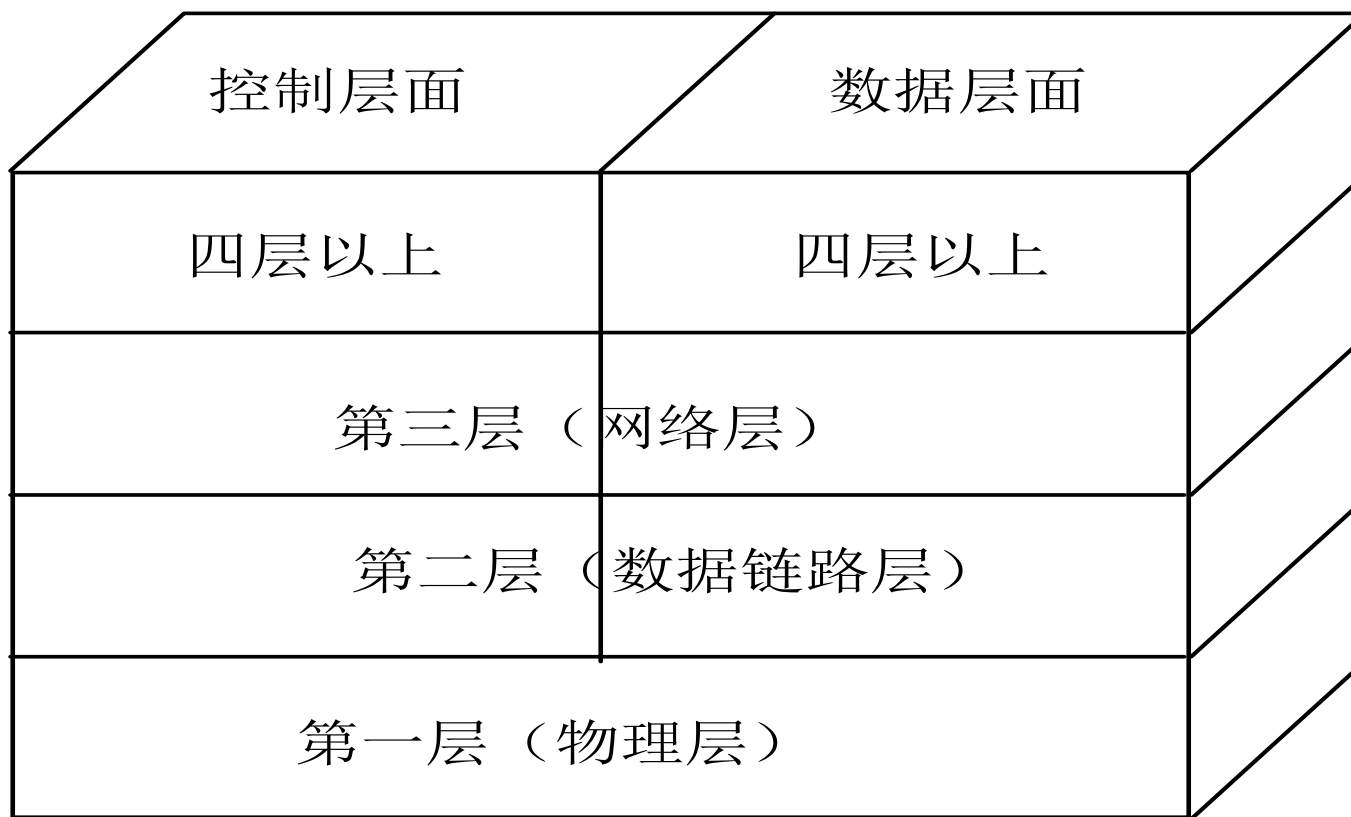
## 第二节 路由测试的基本概念



# 路由器的控制层面和数据转发层面

- **OSI**三层的路由器功能可分为路由选择和数据包转发，分别对应于控制层面和数据转发层面
- 在数据转发层面，关注的是根据**FIB**表转发**IP**数据包的过程
- 在数据控制层面，关注的是根据网络拓扑信息形成**FIB**表的过程
- 数据转发功能是以控制层面的功能为基础的
- 关于网络层的相关测试可以从数据转发层面和控制层面两个方面来进行

# 控制层面与数据转发层面



# 路由器控制层面的主要指标

- **RFC 2889、RFC 3222、RFC 3918**是一些与路由测试相关的**RFC**文档
- 评价路由性能的参见参数
  - ✓ 路由表容量
  - ✓ 路由学习速率
  - ✓ 路由震荡 (**Flapping**)
  - ✓ 路由收敛 (**Convergence**)
  - ✓ 对**VLSM**和**CIDR**的支持

# 路由表容量

- 路由表的最大容量是指路由器的路由表中所能容纳的最大路由信息条目数
- 不同型号或功能定位的路由器其最大的路由容量是不一样的
- 如果路由器需要的路由条目超过了其最大路由表容量，就会因产生部分路由表项无法被保存的现象，即路由表溢出
- 路由设备所支持的路由表的最大容量是决定路由器转发性能的一个重要因素

# 路由学习速率

- 是指路由器接收到有关一条新路由的信息到路由器构建这条路由并插入到路由表中所花的时间
- 路由学习速率越高，则路由器通过新路由转发的分组丢失率就越小
- 是决定路由器转发性能的一个重要因素

# 路由震荡 (Flapping)

- 又叫路由波动
- 是指由于种种原因导致到某个目的网络的路由在短期内反复撤销和重现
- 路由震荡通常以每秒更新路由的数量来衡量，每秒更新路由的数量越大，说明路由震荡越严重
- 路由震荡是路由不稳定性的主要表现，对路由器转发能力有很大的影响

# 路由收敛 (Convergence)

- 路由收敛是指同一个网络中所有路由器对网络拓扑的认识达到一致的过程
- 也被理解为路由变化通知到全网所用时间
- 收敛是评估路由协议的一个关键指标
- 路由协议的收敛速度越快，其运行性能就越好。



## 对VLSM和CIDR的支持

- 有类别路由协议：**RIPv1**
- 无类别路由协议：**RIPv2、OSPF、IS-IS 和 BGP**

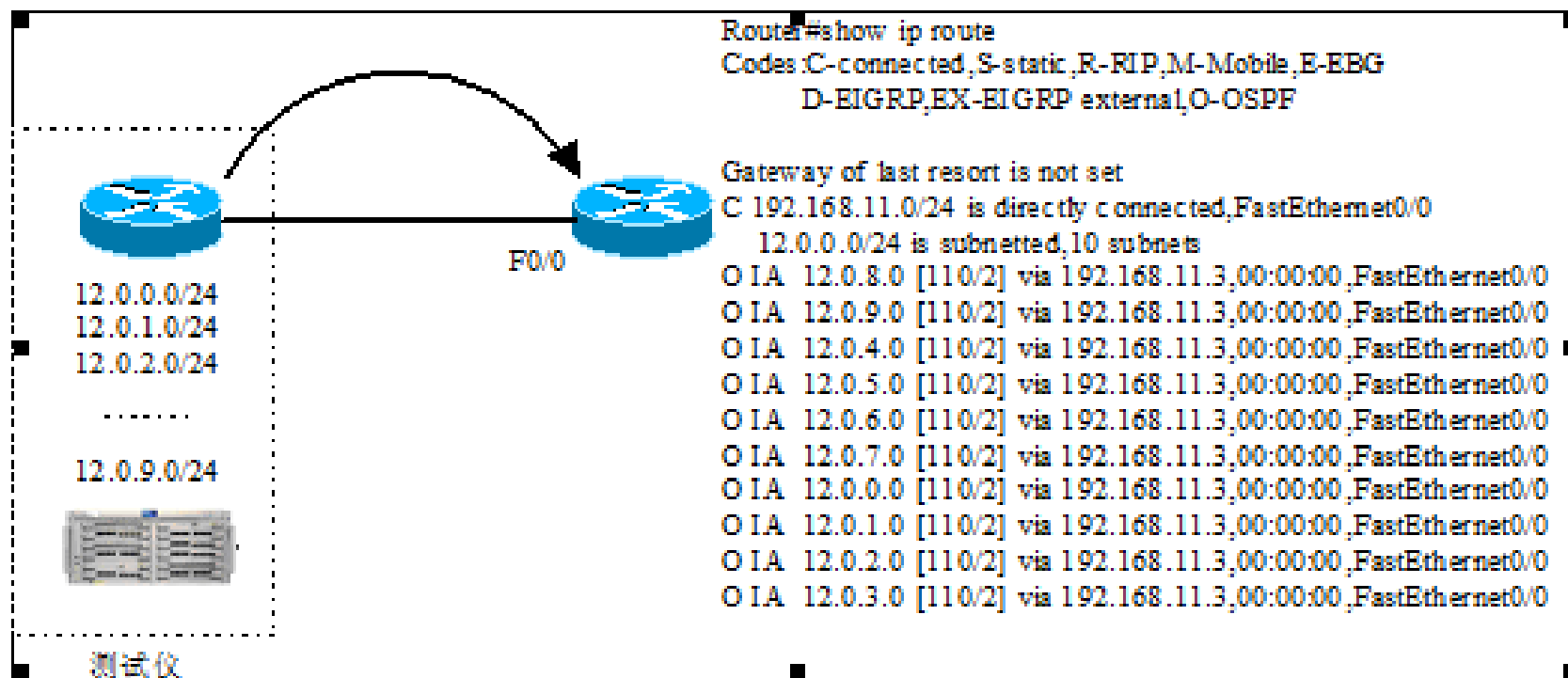
# 路由测试的基本方式

- 根据路由器的访问与管理方式、路由器的控制层面与数据转发层面的关系，对路由的测试可以通过下列三种基本方式来实现：
  - ✓ 控制台读数法
  - ✓ 控制层面学习法
  - ✓ 数据转发层面和控制层面结合法

# 控制台读数法

- 控制台读数法的基本思想是在被测路由设备的控制台上直接观察测试结果
- 优点是可以直接了当的观测到测试结果
- 缺点是这种测试方法观察到的为**RIB**表的内容，而不是**FIB**表的内容，而且当**RIB**表表项较多时肉眼也难以观察

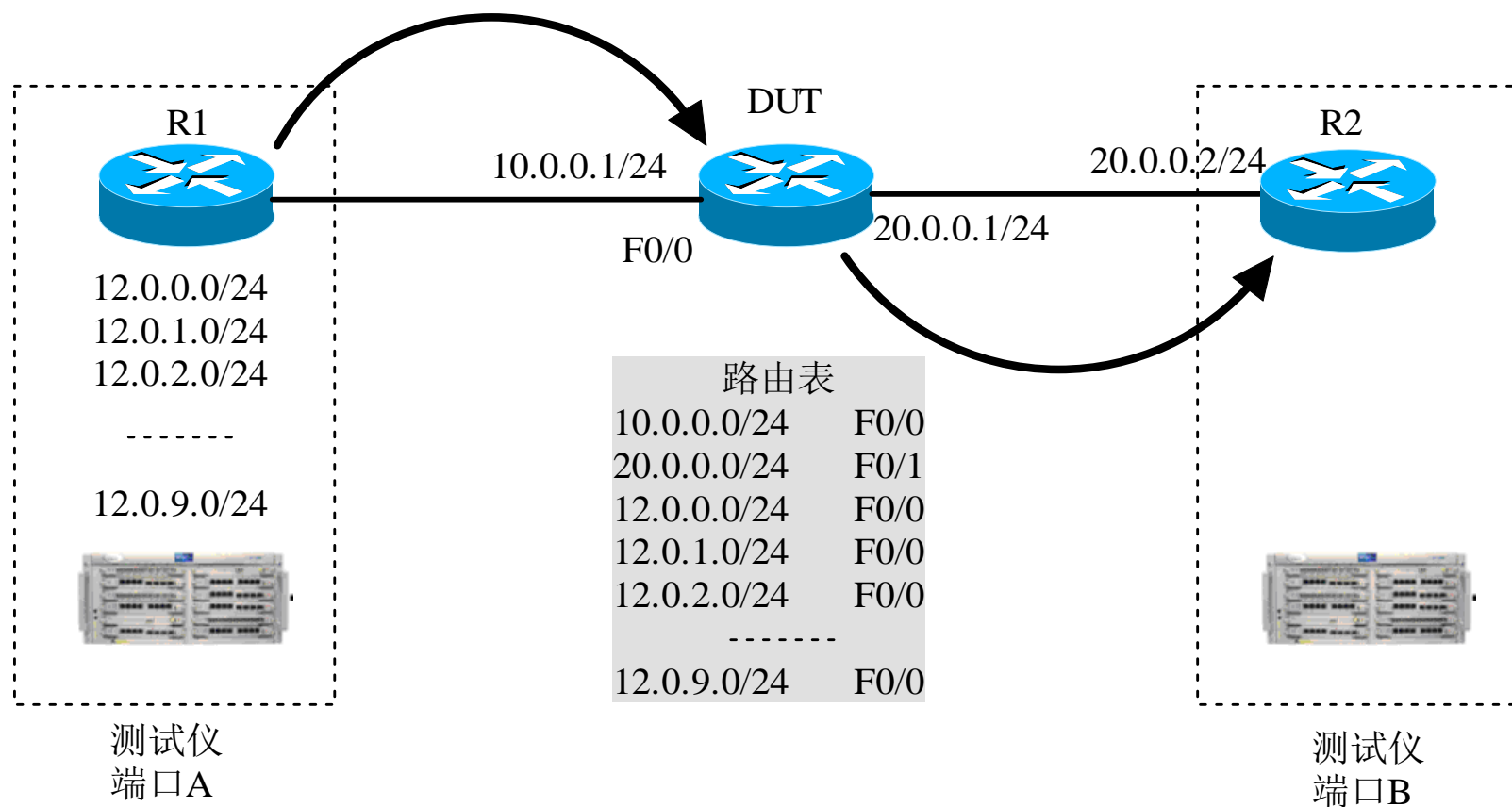
# 控制台读数法的示例



# 控制层面学习法

- 控制层面学习法的基本思想是在测试仪表上直接观察测试信息
- 这种方法需要使用测试仪表上的至少两个端口
- 一个端口发送特定网络前缀的路由信息给被测路由设备
- 另一端口上接收由被测试路由器发送的路由更新流量，
- 通过对接收流量与发送流量进行信息比对得出结论
- 后面的**OSPF**洪泛时间的测试和**SPF**时间的测试都使用这类方法
- 测试的仍然为**RIB**表的内容

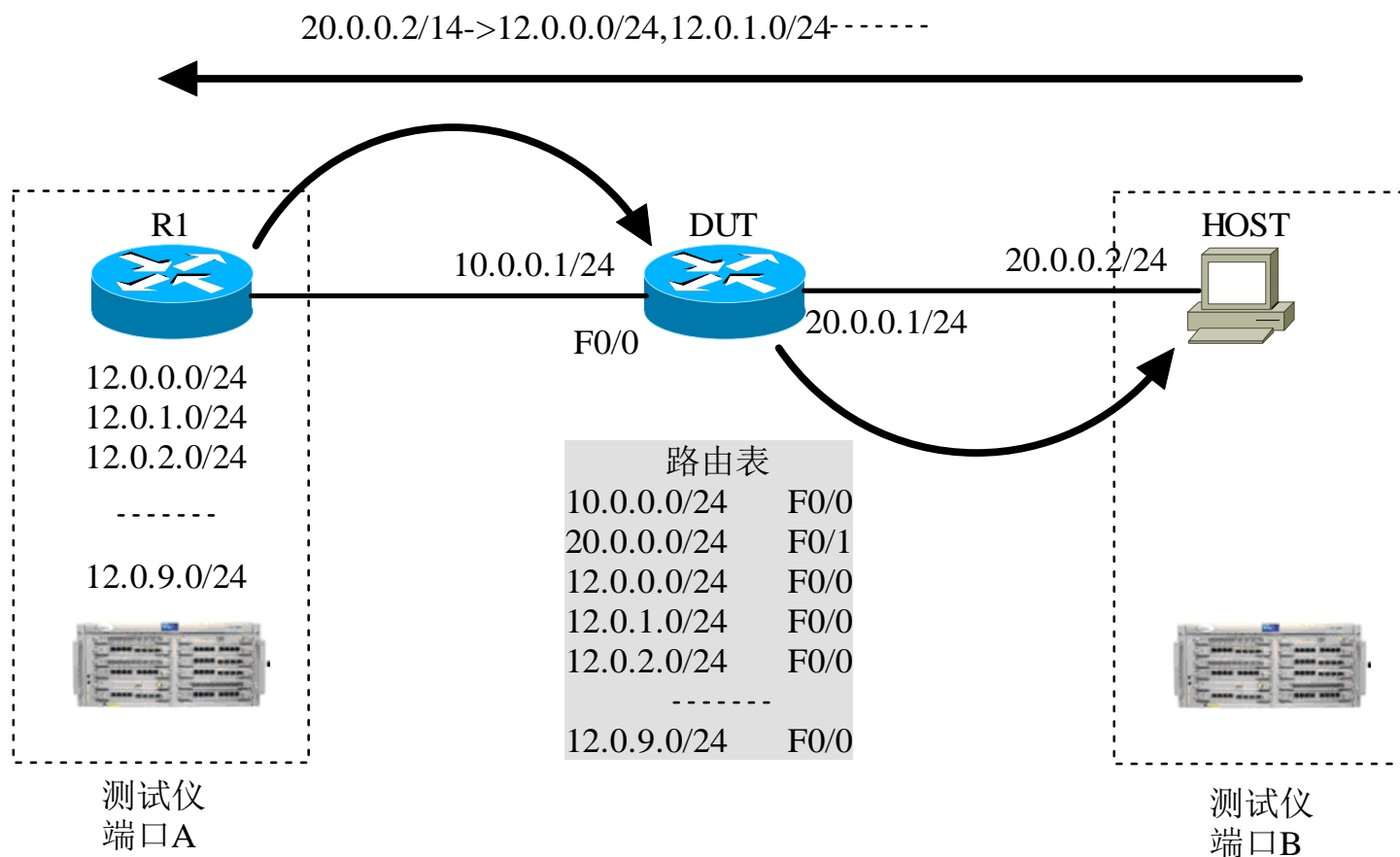
# 控制层面学习法



# 数据转发层面和控制层面结合法

- 该方式采用了数据转发层面的转发来验证控制层面的正确性
- 是目前对路由测试最为科学并广泛采用的测试方法，也是路由测试中所推荐或建议的方式
- 使用该方法进行路由测试时，测试的为**FIB**表的内容
- “路由容量的测试”和“路由震荡的测试”均采用了这种方法

# 数据转发层面和控制层面结合示意图

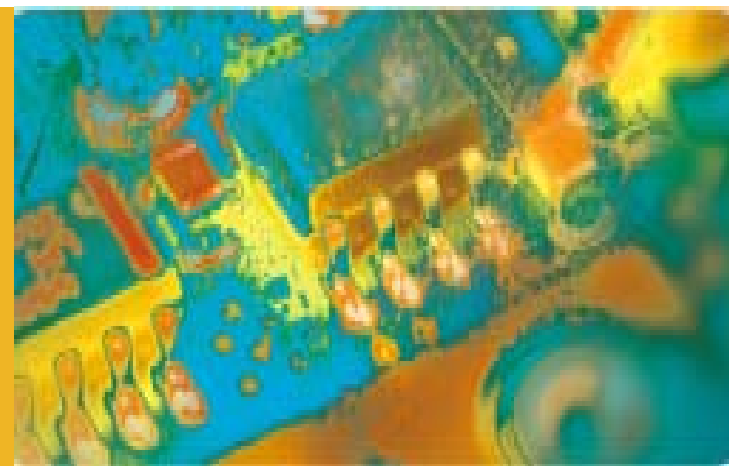






温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

### 第三节 三层路由测试相关的RFC文档与测试术语



## 三层路由测试相关的RFC文档

- 对于路由器控制层面的三层测试而言，可参考的相关RFC文档主要有**RFC1812**和**RFC3222**。
- **RFC1812**中定义了**FIB**表与**RIB**表
- **RFC3222**则定义**FIB**表表项和大小等内容，并明确指出转发信息表和路由信息表是不同的

## 相关的路由测试术语

- 路由信息表**RIB**：从邻居路由器收到的路由信息而形成的信息表。该表保存在路由器的内存中
- **FIB** (转发信息表**Forwarding Information Base**)表：指路由设备上用于转发IP分组的信息表。**FIB**表的内容由**RIB**表下发，在**FIB**表中只存在一条唯一路径到某个特定的目的网络
- **FIB**表条目（**Forwarding Information Base Entry**）：**FIB**表条目是指**FIB**表中所出现的每一条数据记录。每个条目均包含了转发IP分组到一个特定目标网络所必须的基本信息，包括网络前缀、路由器接口标识和下一跳信息等基本字段

# 相关的路由测试术语

- **FIB大小 (Maximum Forwarding Information Base Size)**：指**FIB**表所支持的最大条目数。如果路由器的**FIB**表容量太小，会导致出现丢包的情况。因此**FIB**表大小是影响路由器转发性能的关键因素
- **网络前缀(Network Prefix)**：网络前缀是用来表示一组系统的**IP**地址中相同的比特位，即网络号
- **网络前缀长度(Network Prefix Length)**：网络前缀长度是指用来定义网络前缀的比特数的长度
- **最长前缀匹配算法 (Longest Length Prefix Match Algorithm)**：路由器查询路由表时，若发现关于某个目标网络在路由表中有数个不同长度前缀的路由条目与之匹配时，则选择最长前缀的条目并作出相应的转发决定

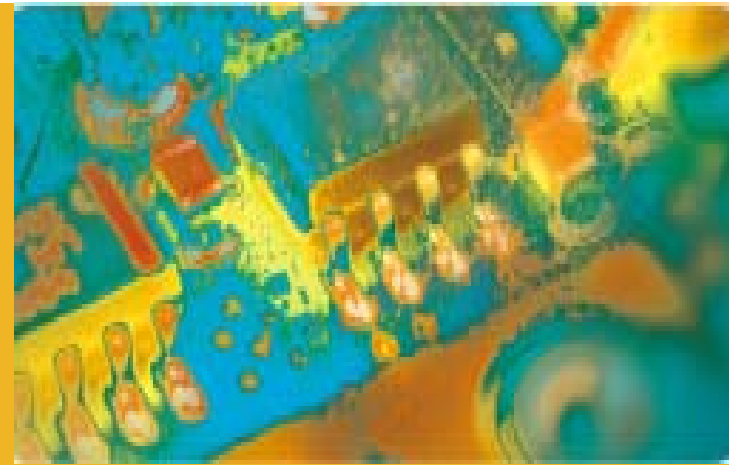
## 相关的路由测试术语

- 基于端口或板卡的**FIB表**（**Per-Interface or Per-Card Forwarding Information Base**）：指存储在路由器板卡或单独的物理板卡上的完整的**FIB表**的备份，目的地址与网络前缀的匹配可以在相应的接口或板卡上完成，不需要耗费路由器的**CPU**。以加速**IP**分组中的目的地址与网络前缀匹配的过程。
- 基于端口的**FIB缓存**（**Per-Interface Forwarding Information Base Cache**）：**FIB缓存**是指存储在路由器的接口卡上的**FIB表**子集，也是为了加速**IP**分组中的目的地址与网络前缀匹配查找的过程，但它只是**FIB表**的一个子集。
  - 。



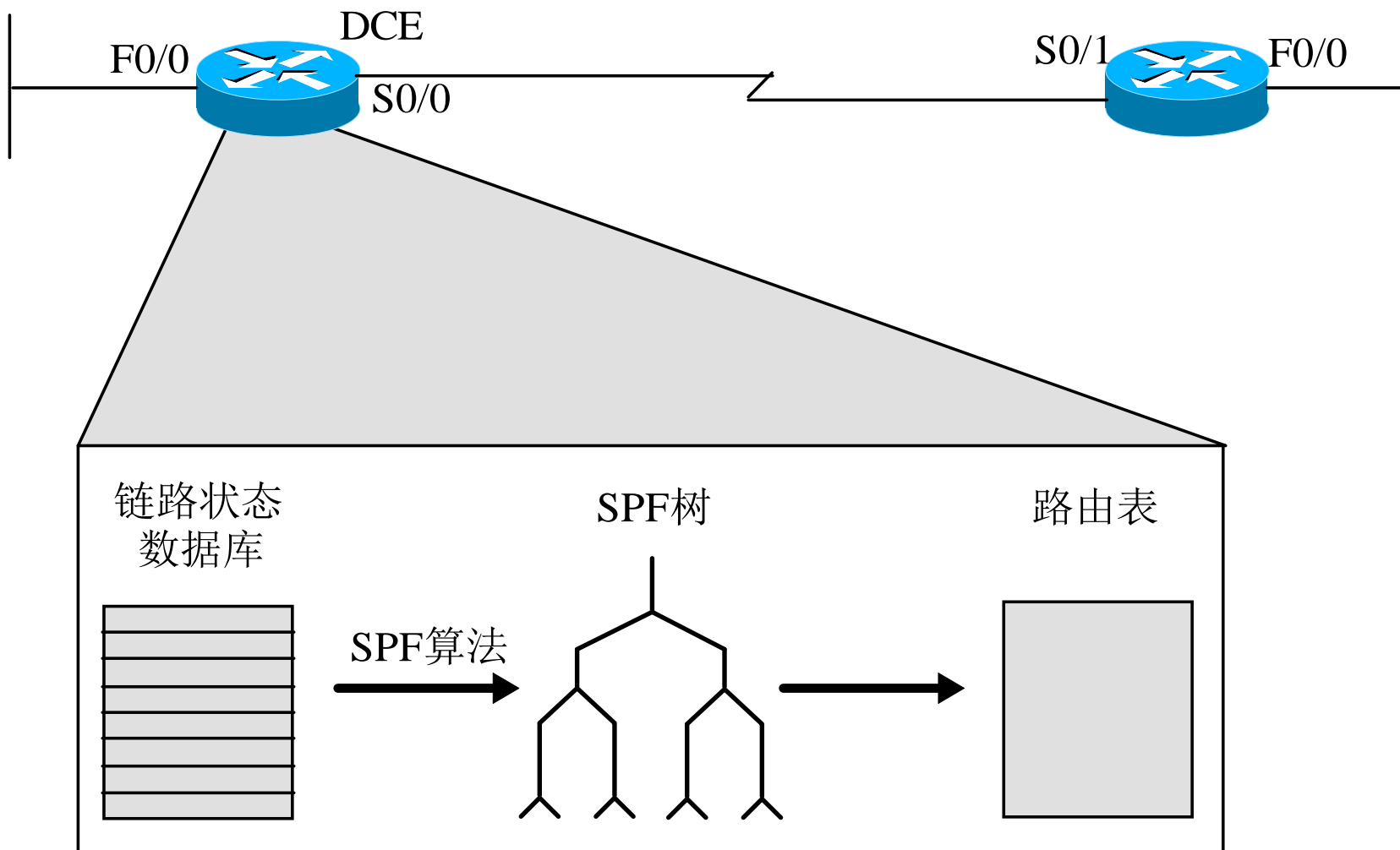
温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第四节 OSPF协议



# OSPF协议概述

- **OSPF**采用链路状态路由选择算法
- 每个**OSPF**路由器使用**HELLO**协议识别邻居路由器并与邻居路由器建立邻接(**adjacency**)关系
- 具有邻接关系的**OSPF**路由器通过洪泛的方式交换链路状态信息，构建关于全网拓扑的链路状态数据库(**Link State Database**)
- 每个**OSPF**路由器以自己为根，采用最短路径优先(**Shortest Path First**，简称**SPF**)算法计算到每个目的网络的最短路径，得到一棵**SPF**树
- 然后使用通向每个网络的最佳路径填充路由表

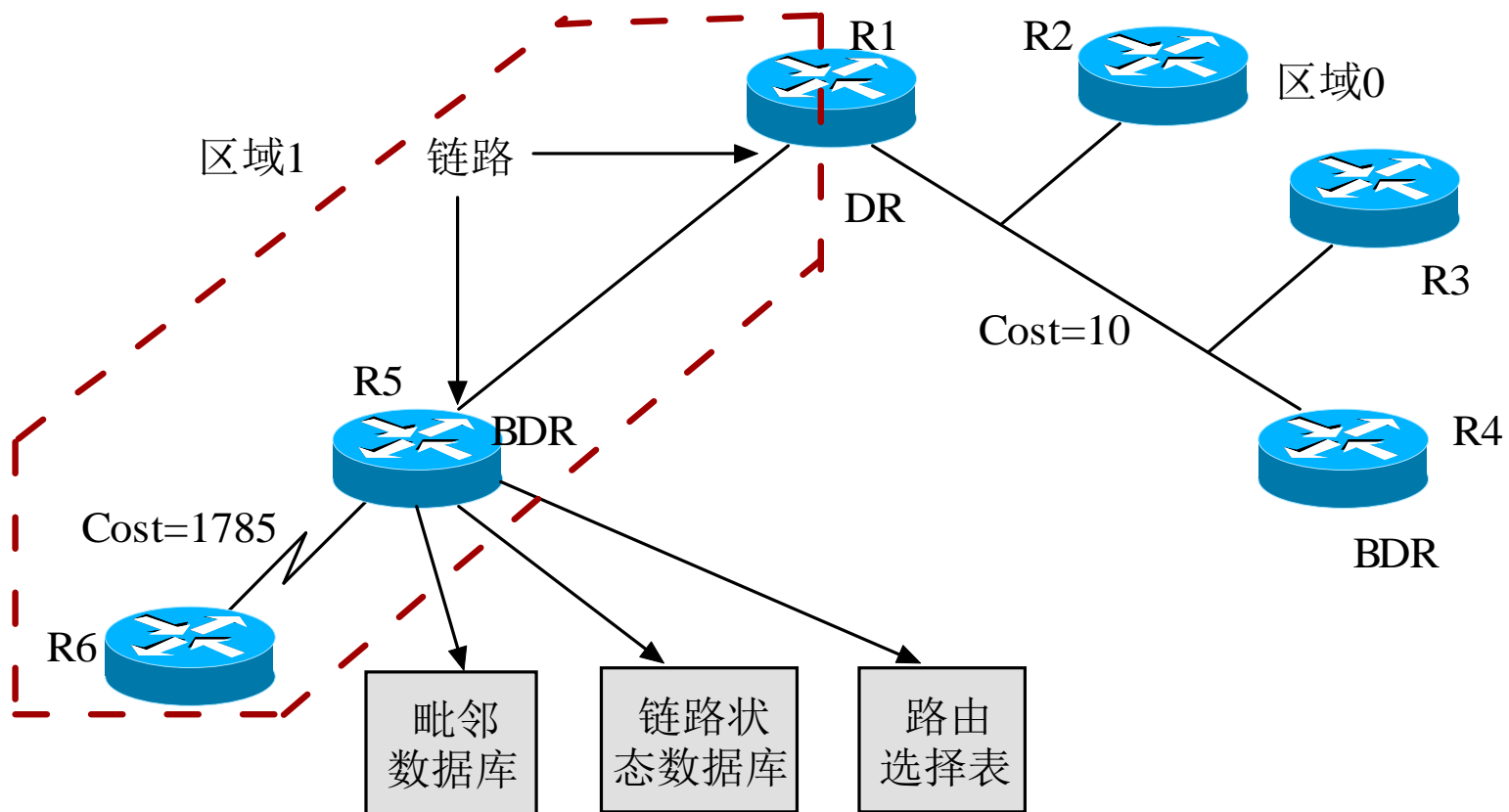




# 多区域OSPF

- 划分为若干个相对独立的区域（**Area**），其中一个区域为骨干区域（**BACKBONE**），其它区域为非骨干区域
- 每个非骨干区域与骨干区域相连并通过骨干区域交换自治系统内部的路由
- 位于同一区域内的各个**OSPF** 路由器维持着一个相同的链路状态数据库，并使用 **Dijkstra**算法创建一个 **SPF** 树，生成相应的路由表
- 多区域的实施降低了**OSPF**的运行开销，加快了路由收敛，同时也限制了错误路由的传播范围

# OSPF基本组成



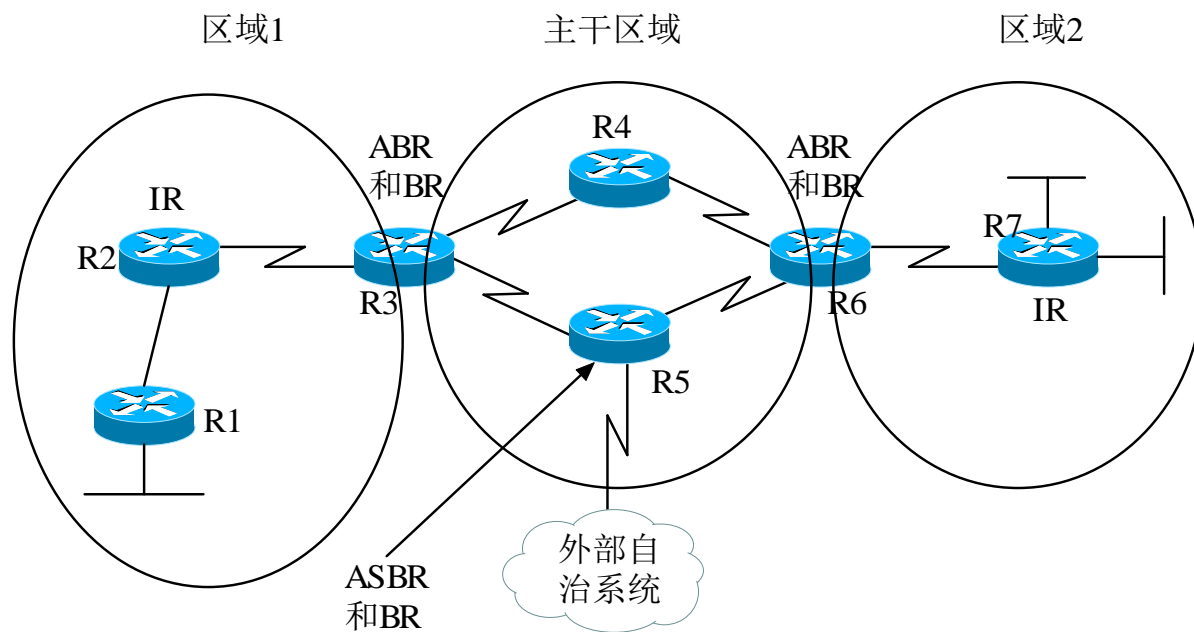
## 有关术语

- **链路（Link）**：一条由线路和传输路径组成的网络通信信道
- **链路状态（Link-state）**：两个路由器或者路由器的接口之间链路的状态以及路由器与邻居路由器的联系
- **邻接数据库（Adjacencies database）**：用于保存所有已经和路由器建立起双向通信关系的邻居路由器，同一个区域每个**OSPF**路由器的邻接数据库都是不同的
- **链路状态数据库（LSDB, Link-state database）**：又叫拓扑结构数据库（**Link-state database topological database**），用于保存关于**OSPF**网络中所有其它路由器的链路状态信息，该数据库显示出了网络的拓扑结构。

# 有关术语

- **开销（Cost）**：给**OSPF**链路所分配的度量标准（**Metric**）值
- **路由选择表（Route table）**：在链路状态数据库上运行**SPF**算法所产生的路由被保存在路由表中
- **SPF算法**：也叫最短路径优先算法（也称为**Dijkstra**算法），每个**OSPF**路由器以自己为根节点，计算根节点到每个网络的最短路径
- **DR和BDR**：在多路访问网络中可以支持两台以上的路由器，为了减少**OSPF**的**LSA**广播流量，**OSPF**选择一个路由器作为**DR**，使其作为所有链路状态更新和**LSA**的集中点；**BDR**用作为**DR**的备份，一旦**DR**失效后，**BDR**可以平滑地接替。

# OSPF路由器类型



- 内部路由器
- 主干路由器
- 区域边界路由器
- 自治系统边界路由器

# OSPF路由器类型

- 内部路由器（**IR, Internal routers**）：内部路由器有唯一的**LSDB**，在同一区域内的所有内部路由器都有着相同的**LSDB**，并运行着路由算法的单一实例(**instance**)；
- 主干路由器（**BR, Backbone routers**）：那些连接到**OSPF**网络主干区域（即区域**0**）的路由器。主干区域是其他**OSPF**区域间的传输区域；
- 区域边界路由器（**ABR, Area border routers**）：**ABR**需要为其所连的多个区域分别运行不同的**OSPF**实例，并为每个区域维护一个独立的链路状态数据库。**ABR**在区域间进行路由信息通告时，可通过汇总路由信息来提高工作效率。
- 自治系统边界路由器（**ASBR, Autonomous System Boundary Routers**）：**ASBR**能够将非**OSPF**的网络信息注入到**OSPF**网络中，也可以将**OSPF**网络中的网络信息重发布到非**OSPF**的网络中。

# OSPF链路的类型

- 点到点链路（**Point-to-point**）：点到点链路所在的网络只存在一对（两个）路由器，并且不需要选举**DR**和**BDR**
- 广播多路访问链路(**broadcast multi-access links**): 以太网就是典型的广播多路访问网络
  - ✓ 传输网络（**Transit networks**）：能够传输不是由本地网络产生的，并且也不是到本地网络的流量的网络
  - ✓ 末节网络（**Stub networks**）：只有一个出口到达其它网段的网络，也叫孤岛网络
- 区域间链路（**Inter-Area links**）：**OSPF**主干区域与其它区域相连的链路为区域间链路
- 外部自治系统间链路（**External Inter-AS links**）：自治系统之间的链路为外部自治系统间链路

# OSPF链路的类型

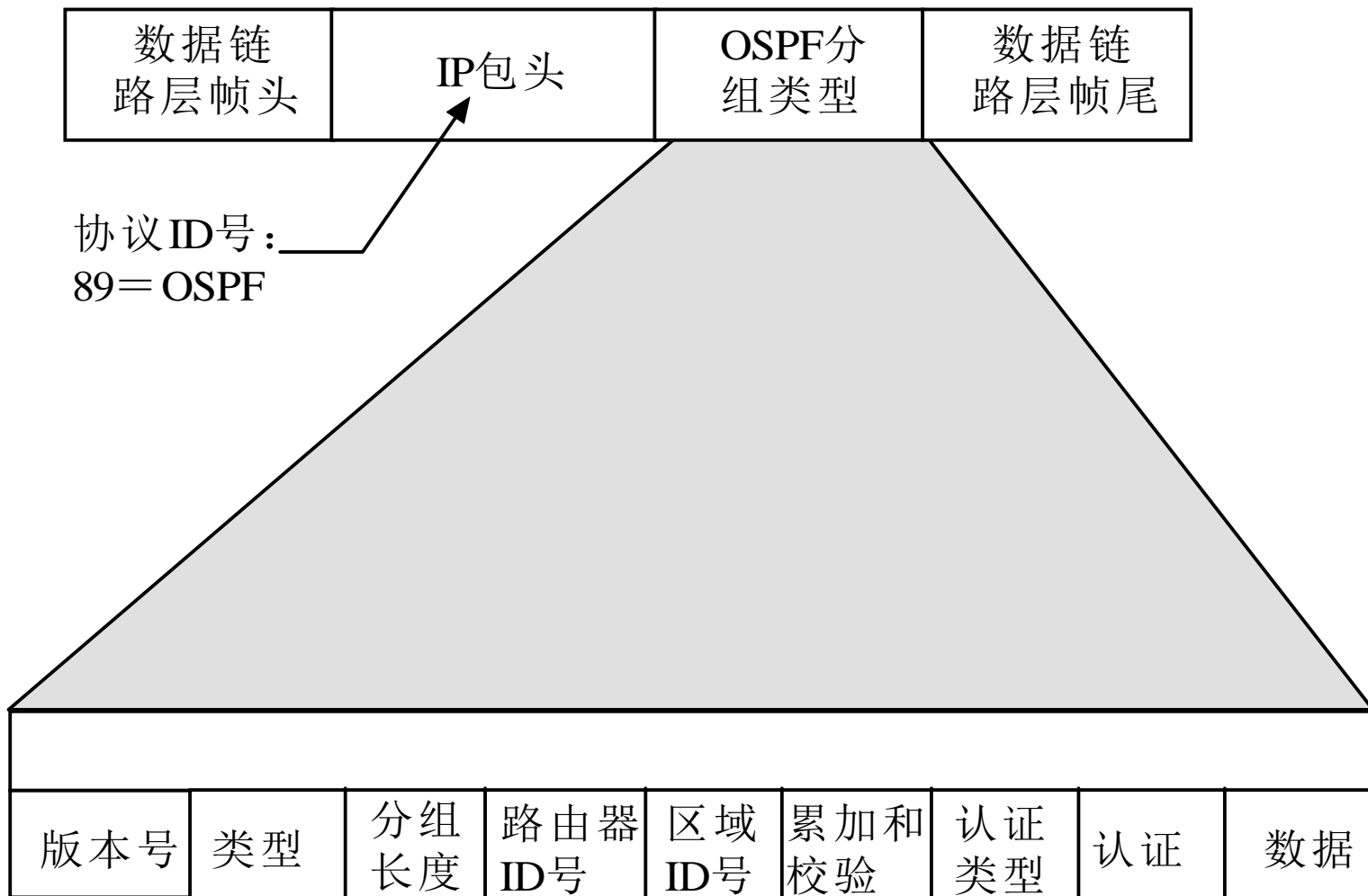
- 非广播多路访问 (**NBMA**)链路：具有连接两个以上路由器的特性，但是在此网络中没有广播的能力，帧中继是典型的**NBMA**网络。
- 虚链路 (**Virtual links**)：一种特殊**OSPF**链路。在多区域 **OSPF** 中，如果一个非骨干区域（如图中**AS1**中的区域**2**）通过其它非骨干区域（如图中**AS1**中的区域**1**）与主干区域相连，则此区域（如图中**AS1**中的区域**2**）到主干区域的链路为虚链路。



# OSPF分组类型

| 类型 | 数据包名称          | 说明                        |
|----|----------------|---------------------------|
| 1  | Hello          | 发现邻居并与其建立相邻关系             |
| 2  | 数据库说明 (DBD)    | 在路由器间检查数据库同步情况            |
| 3  | 链路状态请求 (LSR)   | 由一台路由器发往另一台路由器请求特定的链路状态记录 |
| 4  | 链路状态更新 (LSU)   | 发送所请求的特定链路状态记录            |
| 5  | 链路状态确认 (LSAck) | 确认其它数据包类型                 |

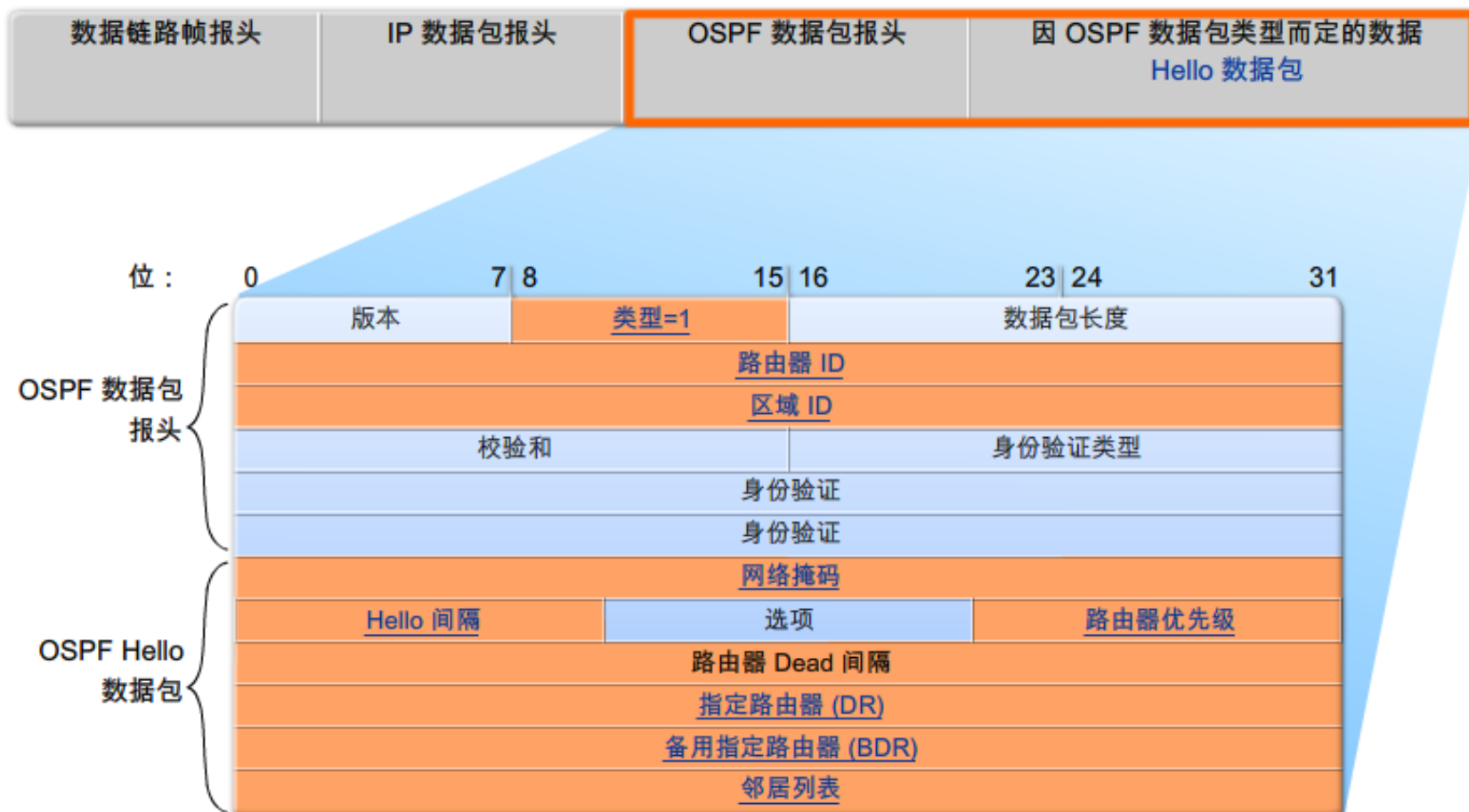
# OSPF分组



# OSPF分组

- 版本：用于给出**OSPF**的版本号。**OSPF**版本有**1**、**2**、**3**，其中版本**1**已经废弃，版本**2**用于支持**IPv4**，版本**3**用于支持**IPV6**。
- 类型：用于给出**OSPF**数据分组类型，类型**1**为**Hello**、类型**2**为**DD**、类型**3**为**LSR**、类型**4**为**LSU**、类型**5**为**LSAck**。
- 分组长度：给出以字节为单位的分组长度。
- 路由器ID：用于标识哪个**OSPF**路由器为本分组的源路由器
- 区域ID：用于指出该分组所对应的始发区域。
- 校验和：用来进行分组头部错误检测，以判断**OSPF**分组在传输过程中是否被损坏。
- 认证类型：是一个用来定义是否使用了认证的可选项。
- 认证：用来指出使用的认证机制。
- 数据：各种**OSPF**分组携带的相关信息

# HELLO协议



# LSA

- **OSPF**通过在邻居间交换链路状态通告包（**link-state advertisement**，简称**LSA**）来报告路由器和链路的状态
- **OSPF**的**LSA**类型可以分为以下7种
  - ✓ 路由器**LSAs**（**Router-LSAs**）
  - ✓ 网络**LSAs**（**Network-LSAs**）
  - ✓ 汇总**LSAs**（**Summary-LSAs**）
  - ✓ **ASBR**汇总**LSAs**（**Summary-LSAs**）
  - ✓ 自治系统外部**LSAs**（**Autonomous system external LSA**）
  - ✓ 组成员**LSAs**（**Group membership LSA**）
  - ✓ **NSSA**外部**LSAs**（**NSSA External LSA**）

# LSA

- 路由器LSAs（Router-LSAs）：LS类型为1，由区域内所有路由器生成，描述了路由器到该区域链路的状态和距离值。路由器LSA只在特定区域进行洪泛扩散，通过类型1的LSA学到的路由在路由表中由字母“O”指示
- 网络LSAs（Network-LSAs）：LS类型为2，它为区域中接入了两个或多个路由器的广播式多路访问网络和NBMA网络生成的，由区域内的DR或BDR生成。网络LSA只在包含该网络的区域内进行洪泛扩散。通过网络链路条目学到的路由在路由表中由字母“O”指示。

# LSA

- **汇总LSAs (Summary-LSAs)**：LS类型为3，由ABR生成，描述了ABR和某个本地区域的内部路由器之间的链路。汇总LSA通过主干区域被洪泛扩散到外部的ABR。汇总链路条目描述到本地区域各网络的路由，并且被发送到主干区域。通过类型3的LSA学到的路由在路由表中由符号“IA”指示。
- **ASBR汇总LSAs (Summary-LSAs)**：LS类型为4，也由ABR生成，描述到ASBR的可达性。ASBR汇总LSAs中LS标识是ASBR的OSPF路由器标识。ASBR汇总LSAs通过主干区域被洪泛扩散到外部的ABR，不会洪泛扩散到完全末节区域。通过类型4的LSA学到的路由在路由表中由符号“IA”指示

# LSA

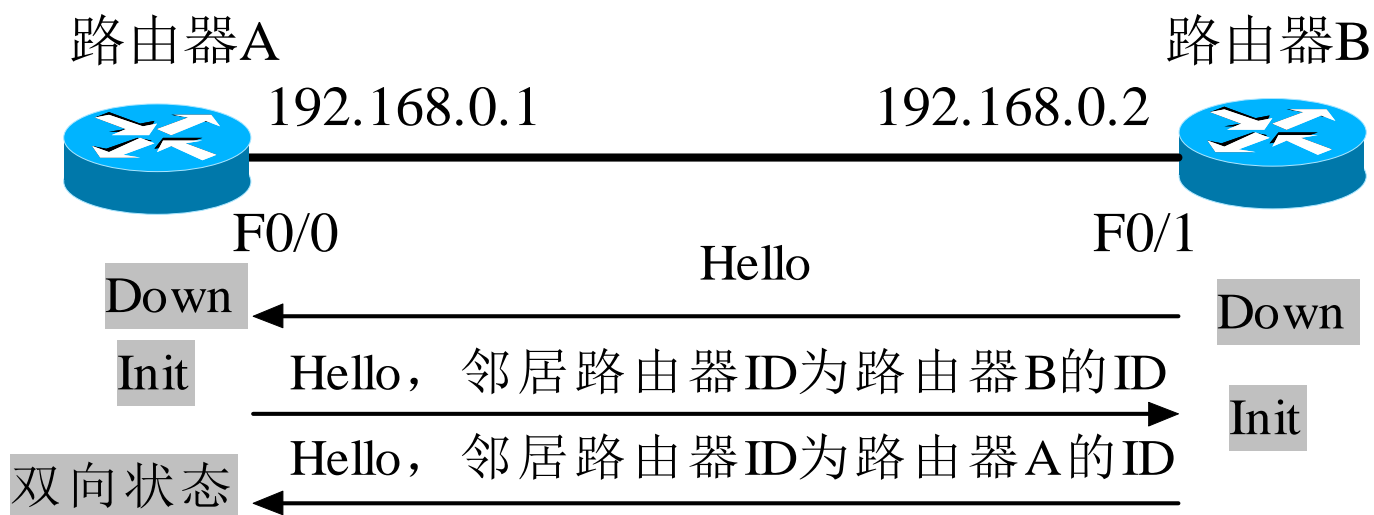
- 自治系统外部LSAs（**Autonomous system external LSA**）：类型为**5**，由**ASBR**生成，描述到自治系统外部的路径。自治系统外部LSA的LS标识域为网络的IP地址，自治系统外部LSA也被用于描述默认路径，这时，LS标识始终被设定为默认目的地（**0.0.0.0**），并且其网络掩码被设为**0.0.0.0**。自治系统外部LSA不会被洪泛到**OSPF**自治系统内除了末节、完全末节和次末节以外的区域。通过类型**5**的LSA学到的路由在路由表中由符号“**E1**”或“**E2**”指示。



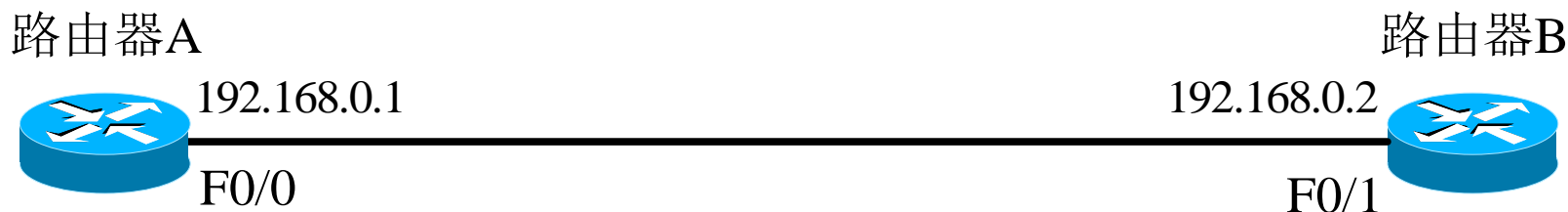
# OSPF协议工作过程

- 包含了以下四个工作过程：
  - ✓ 1. 使用**Hello**协议建立**OSPF**双向关系
  - ✓ 2. **DR**和**BDR**的选择
  - ✓ 3. 数据库同步与邻接关系的建立
  - ✓ 4. 路由表的计算

# 建立双向通信

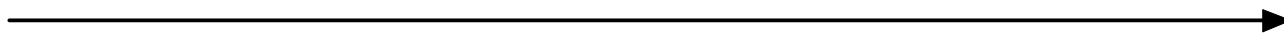


# DR和BDR的选择

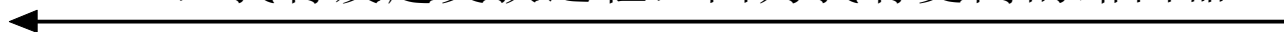


准启动状态

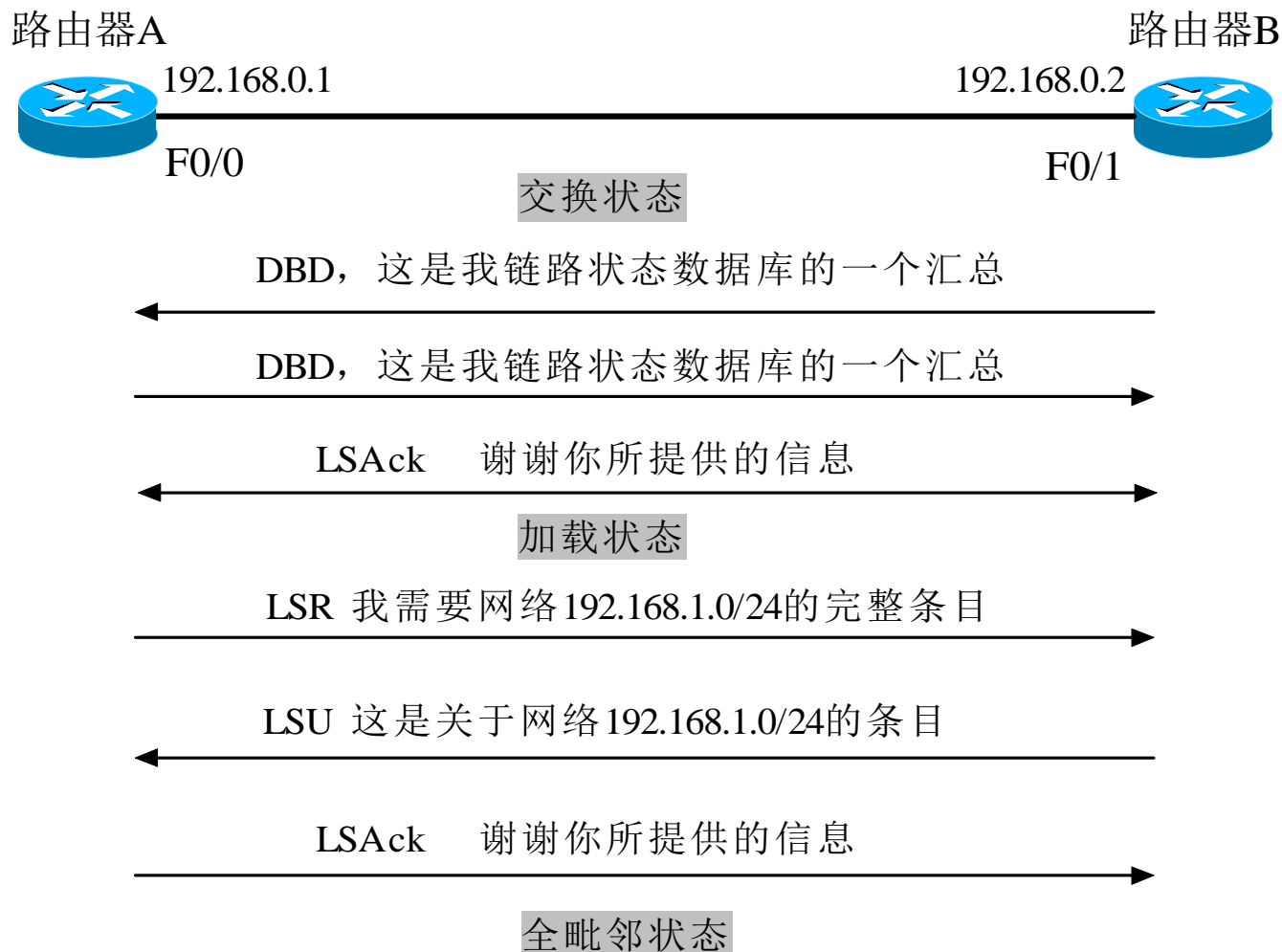
Hello, 我将发起交换过程, 因为我的路由器ID是192.168.0.1



Hello, 我将发起交换过程, 因为我有更高的路由器ID



# 数据库同步与邻接关系的建立



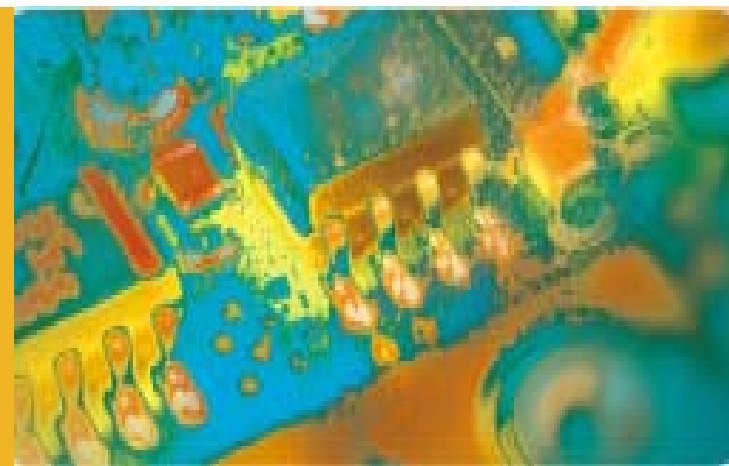
# 路由表的计算

- (1) 初始化，保存旧的路由表
- (2) 用Dijkstra算法计算区域内的路由
- (3) 通过检查Summary-LSA，计算区域间的路由
- (4) 利用虚链路改进路由
- (5) 通过AS-external-LSA，计算AS外部路由



温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第五节 三层路由测试 的基本方法





温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

# OSPF 路由协议相关测试方法



# 与OSPF路由性能测试方法学相关的RFC

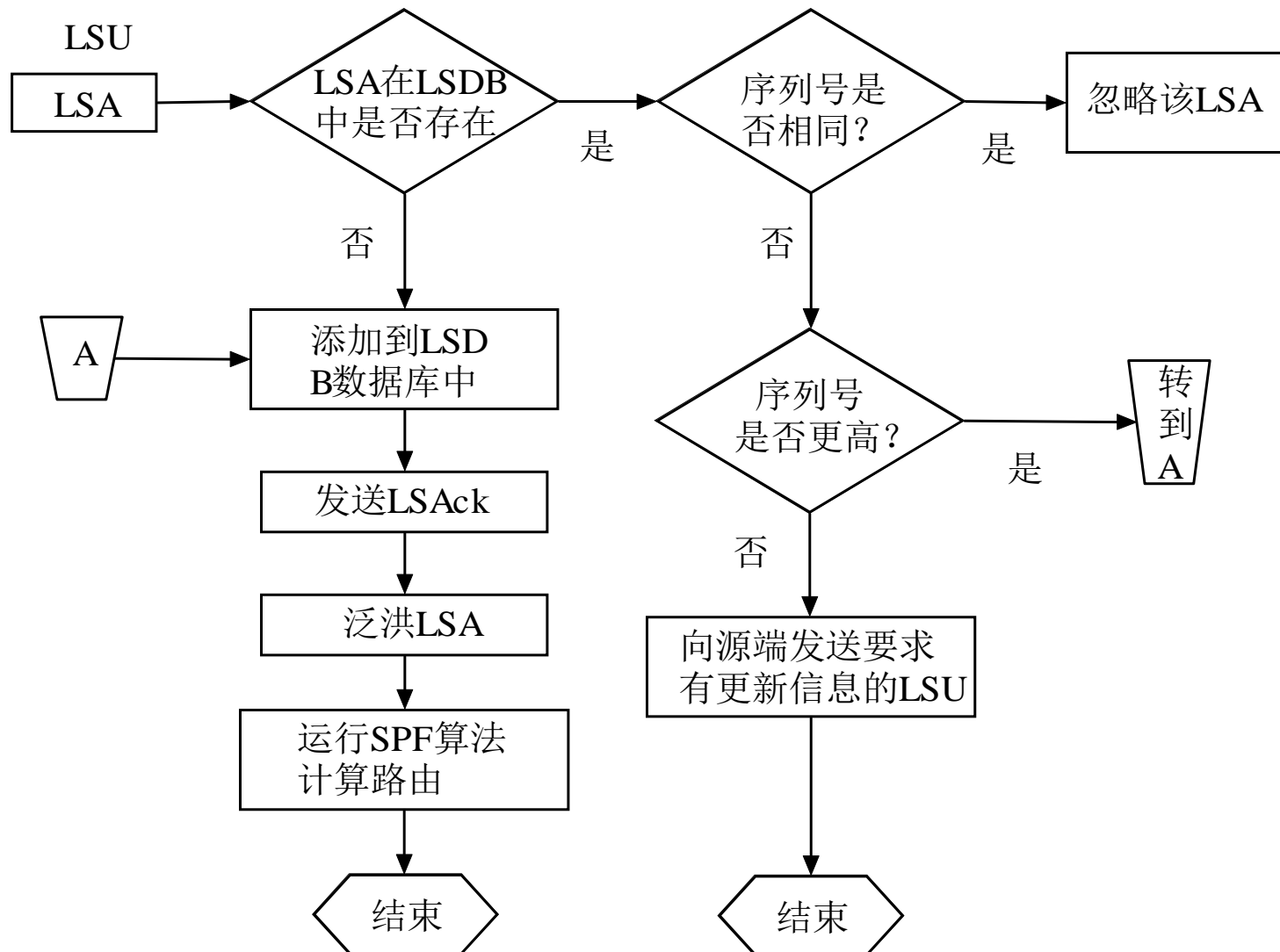
- RFC 4061 Benchmarking Basic OSPF Single Router Control Plane Convergence
- RFC 4062 OSPF Benchmarking Terminology & Concepts
- RFC 4063 Considerations When Using Basic OSPF Convergence Benchmarks



# 处理LSA的时间（Time required to process an LSA）

- 处理LSA的时间是指OSPF路由器收到LSA后将LSA与LSDB进行匹配，并插入到LSDB的时间

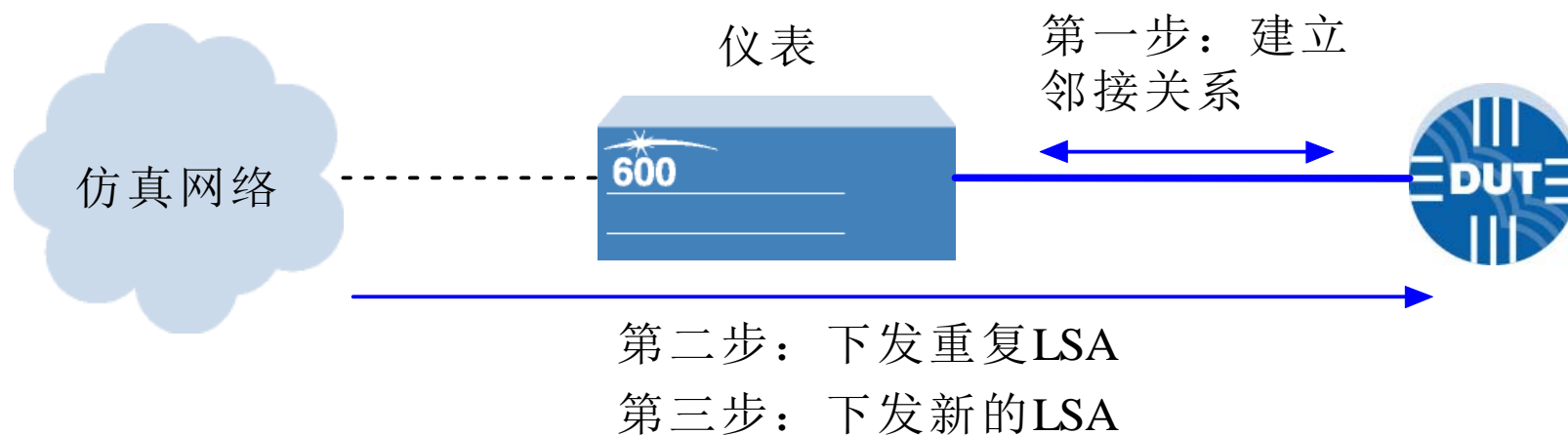
# LSA的处理过程



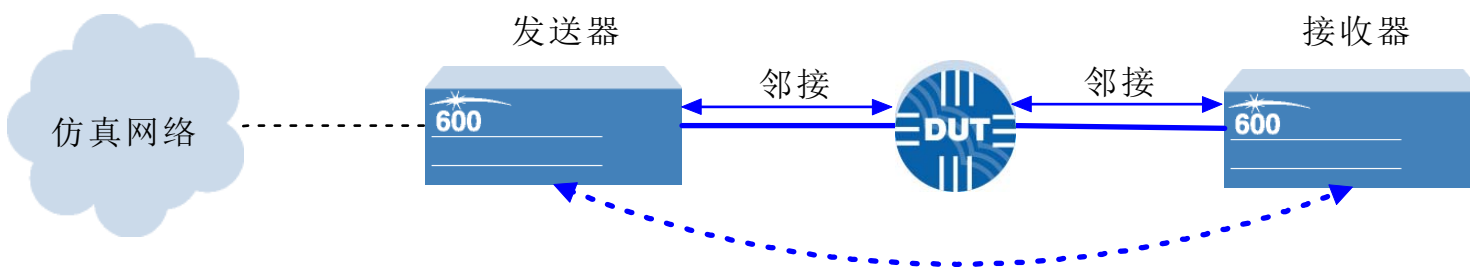
## “处理LSA的时间”测试的设计思想

- 使用仪表的一个端口与DUT（被测路由器）相连，并将端口仿真成OSPF的一个邻居路由器向DUT下发一条新的LSA
- 当DUT对这条新的LSA处理后会向仪表回发LSAck的确认分组，观察并计算仪表下发LSA的时间与收到确认LSAck的时间差。
- 这个时间差除了包括处理LSA的时间外，还包括了传输、洪泛等不属于处理LSA时间的时间
- 在测试时需要先测试这些额外时间

# 处理LSA的时间测试



# 洪泛时间（Flooding Time）的测试



- 其中一个端口仿真成向DUT发送LSA的发送器（Generator）
- 另一个端口作为接收来自DUT所转发的LSA的接收器（Collector）
- 测试开始之前首先确认发送端与DUT、接收端与DUT之间的OSPF链路状态均已成为邻接关系，并将接收端配置成只能单向接收由DUT发送的LSA，而不能反过来向DUT洪泛LSA。

# 洪泛时间（Flooding Time）的测试过程

- 首先，仪表发送端向DUT和接收端注入一定数量的新LSAs;
- 然后在接收端观察并计算接收端接收到的发送端发送的最后一个LSA的时间与接收端接收到的DUT洪泛的最后一个LSA时间之间的差值
- 这个差值就是测试的洪泛时间

# 测试OSPF最短路由优先算法计算时间（Shortest Path First Computation Time）

- SPF计算时间为路由器完成SPF计算过程所需的时间
- 它不包括路由器将路由插入到转发表中的时间
- SPF时间通常只需花数毫秒（milliseconds）。

# 测试SPF计算时间的设计思想

- 使用仪表的一个端口与**DUT**（被测路由器）相连，并将端口仿真成**OSPF**的一个邻居路由器
- 在向**DUT**下发一条新的**LSA**后，立即发送一个已存在于**DUT**中的重复**LSA**，
- 新的**LSA**用于使**DUT**立即进行**SPF**的计算，由于新的**LSA**的应答在**SPF**计算之前已发送，但**DUT**在进行**LSA**的处理时会对两条**LSA**顺序处理，因此使用重复**LSA**的应答则去确定**SPF**算法完毕并且新的拓扑生成完毕。
- 观察并计算仪表下发重复**LSA**的时间和收到重复**LSA**的确认**LSAck**之间的时间差。鉴于这个时间差除了**SPF**计算时间外，还包括了传输、洪泛等其它时间，因此在测试时需要先测试这些额外时间



# SPF计算时间的测试过程

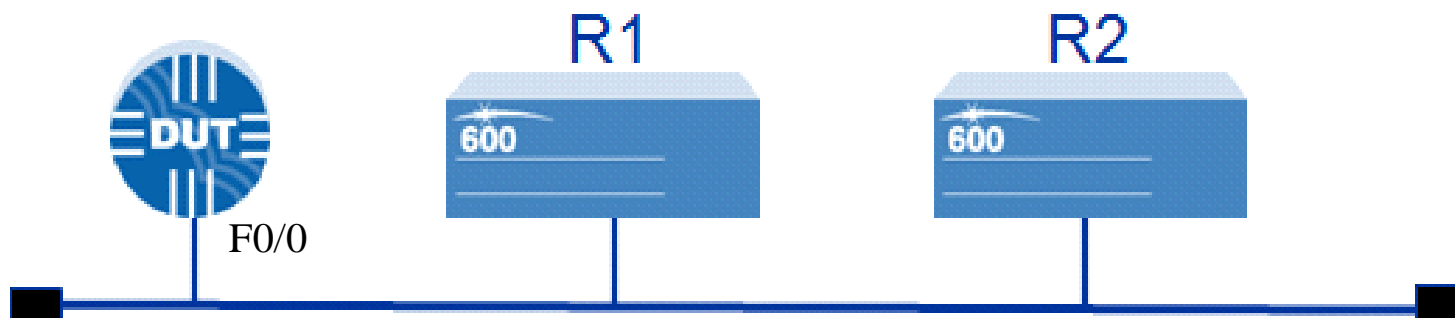


- 首先，将仪表与DUT相连端口仿真为OSPF路由器并确认仪表与DUT的链路已起并建立了邻接关系。
- 仪表仿真的OSPF路由器需要向DUT设备下发一个已经存在于DUT的LSDB中的重复LSA，观察这个LSA下发与收到确认ACK的时间差，该时间为用于LSA发送与LSAck传输等的额外时间；
- 然后，改变仪表发送端与仿真网络之间的链路开销，则仪表会向DUT通告这个新的LSAs，并立即注入另一条仪表前面已注入过的重复LSA；在仪表上观察并计算第二次重复LSA发送时间与这个LSA确认的时间差，这个时间差即为全部SPF时间（totalSPFtime），用该全部SPF时间减去上面计算的LSA发送与LSAck传输等的额外时间即为SPF算法时间。

# 测试DR选择时间（Designated Router Election Time）的测试原理

- 用仪表的端口仿真多个**OSPF**路由器，这些仿真路由器与**DUT**连接在同一个广播式网络
- 设置各仿真**OSPF**路由器以及与**DUT**的优先级，使初始时多个仿真**OSPF**路由器中的一个被选择为**DR**，**DUT**被选择为**BDR**
- 然后将充当**DR**的仿真**OSPF**路由器删除，则此网络上会重新选择**DR**、**BDR**，根据优先级分布，**DUT**将会被选举为新的**DR**
- 通过非**DR**的仿真路由端口上观测所接收到的新**DR**发出的第一个网络**LSA**的时间和所接收到的旧**DR**发送的最后一个**hello**分组的时间，计算两者的时间差即为**DR**选择时间

# 测试DR选择时间的拓扑



# 测试DR选择时间的步骤

- 首先，**DUT**的以太网端口（如**F0/0**口）与仪表的一个端口相连，在仪表的这个端口上虚拟两个**OSPF**路由器，分别是路由器**R1**和路由器**R2**，并设置**DUT**、路由器**R1**和路由器**R2**的优先级，让路由器**R1**成为**DR**，**DUT**为**BDR**。
- 接着，将充当**DR**的仿真**OSPF**路由器**R1**删除，**DUT**、路由器**R2**接收不到路由器**R1**发出的**Hello**分组，当失效时间过了后，此广播式网络上会重新进行**DR**、**BDR**的选择，根据设置的优先级，在新的选举中**DUT**会被选择为**DR**；
- 最后，在仿真的**OSPF**路由器**R2**上观测接收到的路由器**R1**发出的最后一个**Hello**分组的时间和接收的第一个由**DUT**产生的网络**LSA**的时间。计算两者间的时间差得到**DR**选择时间。

# 使用控制台读数法测试路由容量

- 将仪表的端口与被测路由设备的端口相连，通过仪表向被测设备注入一定数量带有特定网络前缀的路由条目，然后在被测路由设备上通过控制台命令观察路由表中是否已正确学习到仪表所发送的路由信息。
- 通常，对于一般路由设备，如果其路由表的容量超过了其最大值，就会在控制台上显示异常结果。
- 采用二分法注入路由条目数量进行测试，测出被测设备的最大路由容量

# 使用控制台读数法测试路由容量的特点

- 优点:

- ✓ 结果非常直观

- 缺点:

- ✓ 测试的是被测路由设备**RIB**表的大小而不是**FIB**表的大小;

- ✓ 当被测设备的路由最大容量大时，通过控制台命令很难用肉眼判断每条路由的正确性，因此这种测试方法并不适合较大规模路由性能测试

- ✓ 此外，有一些网络设备可以通过采用大内存的设计以支持大容量的路由表（**RIB**），但实际只下发部分路由信息到**FIB**表，因此通过控制台命令查看测试结果的方式并不能发现这种“作弊”行为，从而导致测试得到的路由容量与真实的路由容量不一致

# 使用控制层面学习法测试路由容量

- 使用仪表的两个端口。
- 其中的一个端口仿真成发送路由更新信息的邻居路由器向被测设备下发一定数量带有特定网络前缀的路由条目
- 通过在仪表上直接观测端口**B**所学到的路由信息量与端口**A**所发送的路由信息量，并进行相应的比较就可以判断出被测设备的最大路由容量，如果端口**B**学到的路由信息量小于端口**A**所发送的路由信息量，则表示注入的路由条目数超过了被测设备的最大容量
- 采用二分法减少所注入的路由条目再次测试，直到测出被测设备的最大路由容量

## 使用控制层面学习法测试路由容量 的特点

- 使用控制层面学习法测试路由容量相对于第一种测试方法来说有了改进，可以在仪表上进行测试结果的观测，可实现大量路由条目的注入、接收与比较，因此具有测试较大路由表容量测试的能力。
- 该测试方法和第一种方法一样，都只是对路由器的**RIB**表进行了验证，即只验证了控制层面的转发，并没有验证到数据转发层面的转发，即测试出的最大容量为**RIB**表的最大容量，而不是真正用于转发的**FIB**表最大容量

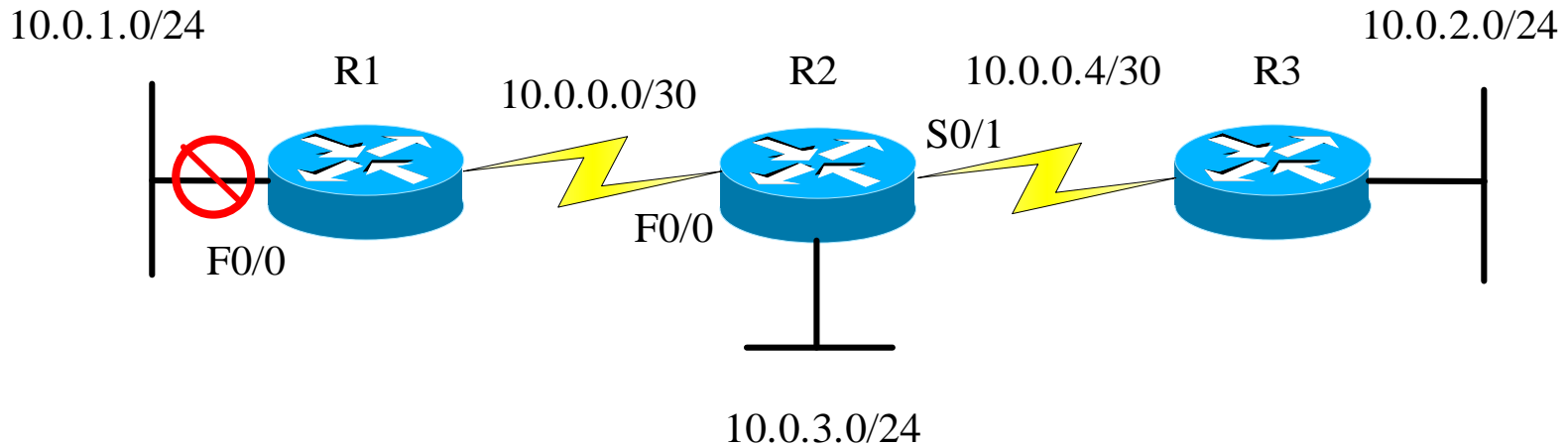


## 使用数据转发层面和控制层面结合法测试路由容量

- 是一种最为客观有效的方式，也是目前路由测试中所推荐或建议的方式
- 使用数据转发层面和控制层面结合法测试路由容量需要使用测试仪表的两个端口
- 仪表端口**A**仿真成**DUT**的一个邻居路由器**R1**向**DUT**注入一定数量带有特定网络前缀的路由条目
- 然后从路由学习的反方向，由仪表端口**B**仿真成一个主机向仪表端口**A**仿真的路由器**R1**发送路由测试流量，测试流量目的**IP**地址为仪表端口**A**向被测设备所发布的**IP**路由前缀。
- 并观测仪表端口**A**的接收流量速率与端口中**B**发送测试流量的速率是否相同

# 路由震荡对路由性能的影响

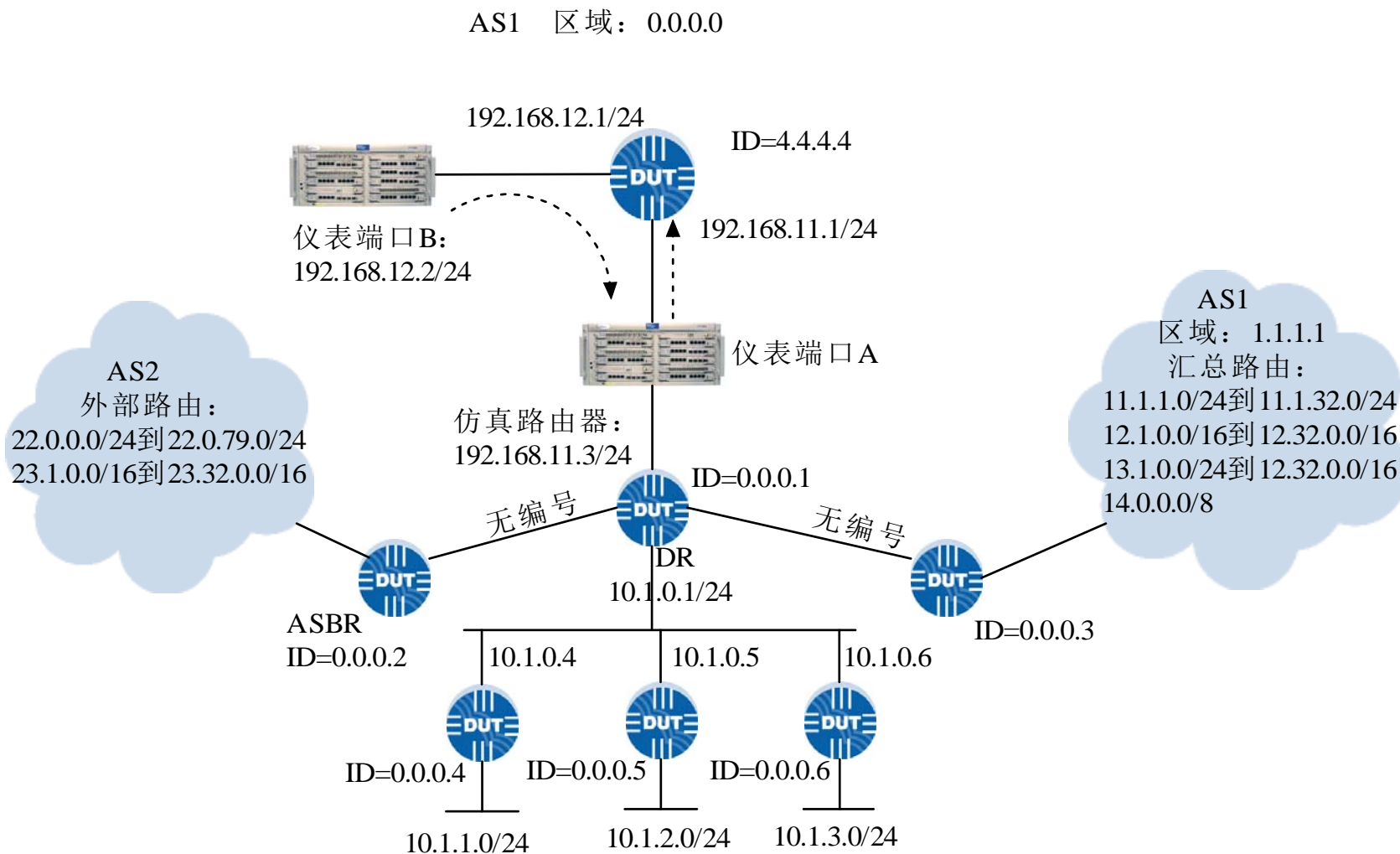
- 在网络中，某些事件可能导致全网范围内的路由重新计算，直接影响到路由的稳定性，从而影响IP报文的转发
- 路由震荡是网络中路由不稳定的主要表现形式



# 路由震荡测试基本设计思路为

- 使用测试仪表的一个端口向**DUT**下发多个特定**IP**网络前缀的路由
- 另一端口用来发送到这些特定**IP**网络前缀的测试流量
- 并且在路由震荡测试的整个过程中，流量发送端口始终保持流量的发送状态不变
- 当路由已稳定时，撤消下发的多个特定**IP**网络前缀中的部分路由
- 等路由再次稳定时，又重新下发刚撤消的路由
- 如此反复下发、撤消，人为制造出路由震荡的环境
- 然后在测试仪表上观测控制层面的转发，并同时观测数据转发层面测试流的转发速率，得到测试结果

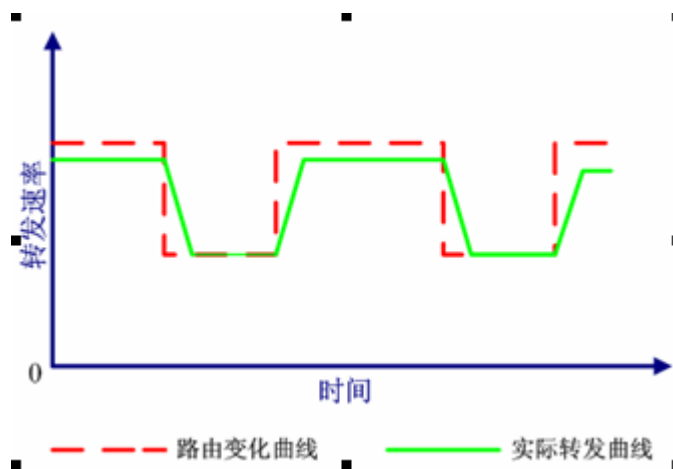
# 路由震荡测试逻辑拓扑结构



# 路由震荡测试步骤

- 首先，将仪表的端口**A**仿真成一个**OSPF**路由器，在该仿真**OSPF**路由器上通过构造多种不同的**LSAs**（如网络路由**LSA**、汇总路由**LSA**和外部路由**LSA**）来仿真出一个虚拟的互连网络环境，并将这些**LSAs**下发给**DUT**。
- 其次，由仪表端口**B**仿真的主机向仪表端口**A**所连的虚拟网络中的所有目标网络发送测试流量。
- 第三，在测试仪表上使用向导或手工命令建立与编辑反复撤消与重发外部路由通告的命令集，并设置测试的持续时间，该时间可根据用户需求进行设置
- 第四，启动反复撤消与重发外部路由通告的命令集，在端口**A**上监测所接收的测试流量，并将其与端口**B**所发送的测试流量进行比较，以判断路由震荡的严重性

## 路由震荡测试效果图



- 由于网络状态或路由变化反映到路由器的**FIB**表存在一定的时间延迟，也就是说控制层面的变化需要一定的时间延迟之后才能从数据转发层面显示出来
- 通常这两条曲线会存在一定程度的偏离或不一致
- 显然，这两条曲线重叠部分越多，说明控制层面的变化反映到数据转发层面的延迟越小，相应的表明被测路由设备震荡测试性能越好