

# 基于 SIP 的软交换在集群通信系统中的设计与实现<sup>①</sup>

张 扬 (中国科学院 研究生院 北京 100049)

**摘要:** 通过对 SIP 协议的分析 and 研究, 设计一个基于 SIP 的软交换的解决方案, 用以实现在集群通信系统中基站间的联网交换, 并且进行相应的 SIP 用户代理、SIP 代理服务器的开发、NAT 穿透问题的解决, 在公安专网环境下对该系统进行了验证。

**关键词:** SIP 协议 NAT 技术 软交换 集群通信系统

## Design and Realization of Trunking System Based on SIP Soft Switch

ZHANG Yang (Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Through the analysis and research on the SIP protocol, this paper proposes a solution based on SIP softswitch. It can be used to implement the networking exchange between the base stations in the trunking system, to develop corresponding SIP agent and SIP proxy server, and to solve the NAT penetration problems. The system has been tested in the public security special network.

**Key words:** SIP; NAT; soft switch; trunking system

## 1 引言

SIP<sup>[1]</sup>(Session Initiation Protocol, 会话发起协议)是 IETF(Internet Engineering Task Force)提出的在 IP 网络上进行多媒体通信的应用层控制协议,可用于建立、修改、终结多媒体会话和呼叫。

软交换<sup>[2]</sup>作为下一代网络(NGN, Next Generation Network)的核心技术,它为具有实时性要求的业务提供呼叫控制和连接控制功能。SIP 是软交换主要使用的接口协议,它能够连接使用任何 IP 网络 and 任何 IP 设备。

集群通信系统(Trunking System)是高级指挥调度系统,是多个用户共用一组无线电信道,并动态地使用这些信道的专用移动通信系统<sup>[3]</sup>。我国所建的模拟集群系统大多采用以节点为中心、多基站联网的星型结构,这种联网结构的关键设备就是交换机,由它负责基站间语音的交换,它一般采用传统的电路交换

方式,将呼叫控制、业务提供以及交换矩阵均集中在一个交换系统中。

以上述为背景,在集群通信系统中,设计基于 SIP 的软交换,通过软件的方式来实现原来交换机的控制、接续和业务处理等功能,并在公安专网环境下对该系统进行了验证。

## 2 系统架构

### 2.1 系统网络拓扑

SIP 中有两个要素:SIP 用户代理(UA, User Agent)和 SIP 用户服务器(US, User Server)。用户代理是呼叫的终端系统元素,而用户服务器是处理与多个呼叫相关联信令的网络设备。

用户代理本身又分为:客户端(UAC, User Agent Client)和服务器端(UAS, User Agent Server),前者产生请求,后者产生对应的响应<sup>[4]</sup>。一个用户代理在

① 收稿时间:2009-04-16

发起呼叫时，它是用户代理客户端，而当被呼叫时，它是用户代理服务器，这种通信方式继承了互联网的C/S(Client/Server，客户端/服务器)模式。

SIP服务器分为SIP代理服务器(Proxy Server)和SIP重定向服务器(Redirect Server)，其主要功能是提供名字解析和用户定位。SIP代理服务器接收请求，决定将这些请求送到何处，并且将它们传送到下一代理服务器。重定向服务器接收请求，向呼叫者发送响应信息，把被叫用户的地址告诉呼叫者。

根据SIP的应用特点设计系统的网络拓扑结构如图1所示。其中,ZC(Zone Controller)是节点控制器，BSC(Base Station Controller)是基站控制器，CC(Chan Controller)是信道控制器，每个基站有若干个无线信道，每个无线信道均配置一个信道控制器，由它负责跨基站呼叫控制及无线单元的语音接入；ZC、BSC担当SIP代理服务器角色，而CC充当SIP用户代理角色；位置服务器是SIP重定向服务器，它保存用户的当前位置；MS(Media Server)是媒体服务器，在ZC的控制下，完成基站间的多方通话，实现跨基站的组呼调度业务。

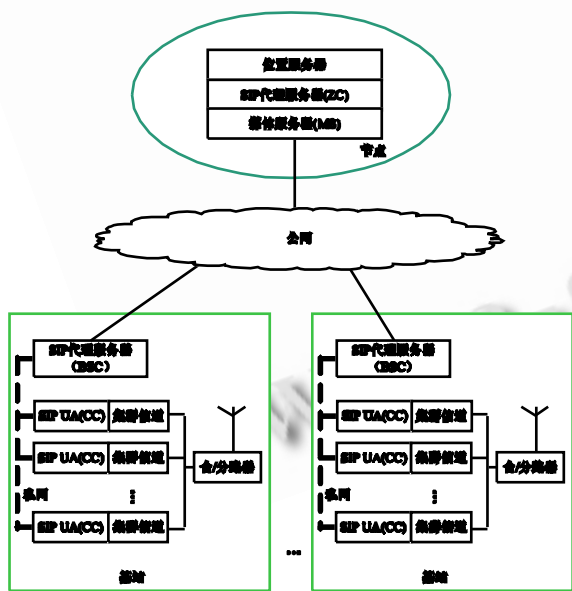


图1 集群通信系统的网络拓扑结构图

系统采用双网设计，每个基站内部形成私网，基站和节点间利用公网连接。私网的IP地址每个信道分配一个，如信道1分配IP地址192.168.200.1，信道2分配192.168.200.2，依此类推，它们都连接到

BSC，BSC的私网IP是192.168.200.253，从图1看出，BSC即SIP代理服务器处在公网(192.165.XXX.XXX)和私网(192.168.XXX.XXX)的边缘，同时识别两种地址，起中间路由作用，它也担当了应用网关的角色(ALG, Application Level Gateway)，能有效地解决NAT(Network Address Translation)的穿透问题[5]。

### 2.2 系统工作流程

在SIP核心规范中请求消息一共定义了6种方法：INVITE表示邀请消息，用于会话建立的发起；ACK表示确认消息，用于对会话建立的确认；BYE表示结束消息，用于终止一个会话；CANCEL表示取消消息；REGISTER表示登记消息，用于向注册服务器登记用户消息；OPTIONS表示查询消息。另SIP消息类型也在扩展，如INFO方法就是一种新的类型，它用来传输在通话过程中某些事件所生成的信息[6]。SIP协议定义了6种响应消息：1XX表示请求被接收并在处理中；200表示请求被成功接收；3XX为主叫用户提供更多的被叫用户地址消息；4XX表示客户错误；5XX表示服务器错误；6XX表示全局错误。

集群通信主要业务是个呼和组呼，图2描述了集群系统跨基站个呼的工作流程，假设移动终端200守在1号基站，300守在2号基站，现在是200呼叫300。

- (1) 200呼叫300，UAC发送一个INVITE请求，并发送到主叫基站端的代理服务器。
- (2) 主叫基站代理服务器将INVITE请求发送到ZC。
- (3) ZC向位置服务器查询被叫300当前地址。
- (4) 位置服务器返回300当前地址。
- (5) ZC向转发INVITE消息到被叫基站的代理服务器。
- (6) 被叫基站代理服务器呼叫被叫用户300。
- (7) 300上线响应，返回200OK应答消息。
- (8) 被叫基站代理服务器将应答传给ZC。
- (9) ZC将应答转给主叫基站代理服务器。
- (10) UAC收到200OK应答，双方进入通话过程。

组呼与个呼的不同在于它是一种多方通话，ZC将主叫基站发送的组呼INVITE请求转发到各个被叫基站。

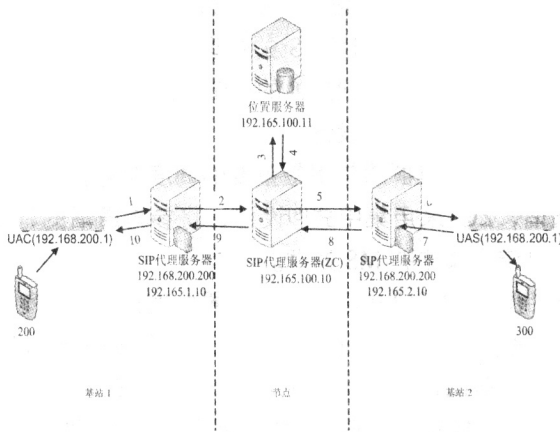


图2 200跨基站个呼300的工作流程图

### 3 系统设计

#### 3.1 系统网络拓扑

##### 3.1.1 UAC 的设计

用户发起呼叫时, UAC 产生 INVITE 消息并传给 SIP 代理服务器, 当收到服务器应答 200 OK 时, 回答 ACK 进行确认, 同时通知主叫用户上线通话。当主叫主动结束通话时, UAC 产生 BYE 消息并通知服务器, 若收到服务器传来的 BYE 消息时, 回答 200, 并通知主叫拆线。

SIP 对用户使用 SIP 统一资源定位符(URL)来标识, 并根据 URL 来寻址, 如集群用户 200、300 分别对应 SIP 用户为 200@192.168.200.253、300@192.168.200.253。

每一个无线信道都对应一个 UAC, 一个完整的 INVITE 请求如下(以 200 呼叫 300 为例):

```
INVITE sip:300@192.168.200.253 SIP/2.0
From:
<sip:200@192.168.200.253>;tag=0-ebe7e0-1
dade0a2
To: <sip:300@192.168.200.253>
Call-ID:
3c6d-2964a5c0-13c4-4@192.168.200.2
CSeq: 1 INVITE
Via:SIP/2.0/UDP 192.168.200.2:5060; branch=
z9hG4bK-7cc63133
Max-Forwards: 70
Contact: <sip:200@192.168.200.253: 5060>
Content-Type: application/sdp
```

```
Content-Length:235
```

```
v=0
```

```
o=Vigor 32383350 32383350 IN IP4
192.168.200.2
```

```
c=IN IP4 192.168.200.2
```

```
t=0 0
```

```
m=audio 10008 RTP/AVP 18
```

```
a=fmtp:97 0-15
```

```
a=ptime:20
```

```
a=rtpmap:18 g729/8000/1
```

##### 3.1.2 UAS 的设计

UAS 收到服务器发送的 INVITE 消息, 从消息中提取主被叫, 先检查是否有空闲的信道, 若没有则返回 486 BUSY HERE(系统忙)消息, 再检查被叫用户是否在服务区, 若不在则返回 404 NOT FOUND(用户不在服务区), 若被叫用户成功上线, 返回 200 OK, 准备通话。

一个成功的 INVITE 应答请求(200 OK)如下:

```
SIP/2.0 200 OK
From:
<sip:200@192.168.200.253>;tag=0-ebe7e0-1
dade0a2
To:<sip:300@192.168.200.253>;tag=0-ebe7cc
-2ba2a0f4
Call-ID: 3c6d-2964a5c0-13c4-4@192.
168.200.2
CSeq: 1 INVITE
Via:SIP/2.0/UDP 192.168.200.2:5060; branch=
z9hG4bK-7cc63133
Contact: <sip:200@192.168.200.253>
Content-Type: application/sdp
Content-Length:231
v=0
o=Vigor 32383350 32383350 IN IP4
192.168.200.1
c=IN IP4 192.168.200.1
t=0 0
m=audio 10008 RTP/AVP 18
a=fmtp:97 0-15
a=ptime:20
a=rtpmap:18 g729/8000/1
```

### 3.2 SIP 消息穿透

图 3 是应用 ALG 解决 NAT 穿透的流程图, NAT 包括 SIP 消息和 RTP (Real-time Transport Protocol)[7]语音流的穿透。

基站控制器(BSC)拥有私网公网双 IP 地址, 它既是 SIP 代理服务器, 也是 SIP 的应用级网关(ALG)。SIP 消息的向外转发由 ALG 转到节点控制器(ZC), 而向内转发则是指 ALG 收到节点控制器的消息后, 转发到 UA。

RTP 的转发也由 ALG 完成, ALG 内部维护一张媒体流的 IP 地址及端口映射表, 当 ALG 收到 UAC 的 INVITE 或 UAS 的 200 OK 后, 从 SDP 中提取 UA 的地址和 RTP 端口, 并从私网指定一个 RTP 端口进行接收, 从公网指定一个 RTP 端口进行转发。

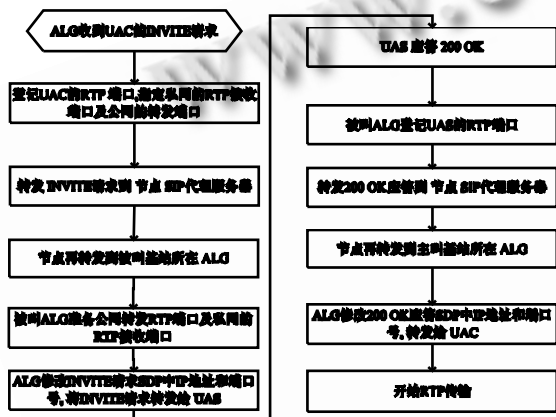


图 3 应用 ALG 解决 NAT 穿透的流程图

### 3.3 SIP 中心代理服务器的设计

SIP 中心代理服务器是一个节点控制器(ZC), 它与所有基站以星型连接, 起转发、控制、处理 SIP 消息的作用。

位置服务器即 SIP 重定向服务器, 接收各基站用户的 REGISTER 消息, 同时对 ZC 发的 INVITE 请求, 返回目标地址。

#### 3.3.1 跨基站个呼设计

个呼是一对一呼叫, 如果是跨基站个呼, ZC 收到主叫的“INVITE”请求, 提取被叫个呼号, 从位置服务器查询被叫所在基站, 将“INVITE”消息转发给被叫基站, 被叫成功上线时先回“180 Ringing”, 再回“200 OK”表示已成功应答, 主叫再回“ACK”予以确认。与此同时, 双方传送 RTP 语音流进行通话。

个呼间的 RTP 语音流不经过 MS, 在两个 BSC 间直接传递, 这样减轻 MS 的处理负荷, 这种信令与媒体分开传送也正是软交换的一个特点。

#### 3.3.2 跨基站组呼设计

组呼是集群通信中最重要的调度业务, 它是多方通话, ZC 采用集中式[8]设计, 将参与通话的基站的 RTP 流全集中在 MS 处理。

图 4 是 SIP 中心代理服务器处理组呼的流程图, ZC 是节点控制器, 也即 SIP 中心代理服务器, MS 是媒体服务器, BSC1、BSC2、BSC3、BSC4 分别代表 4 个基站控制器, 现基站 BS1 是主叫基站, BS2、BS3、BS4 是被叫基站。一个完整的组呼业务包括建立呼叫、通话、拆线三个阶段。

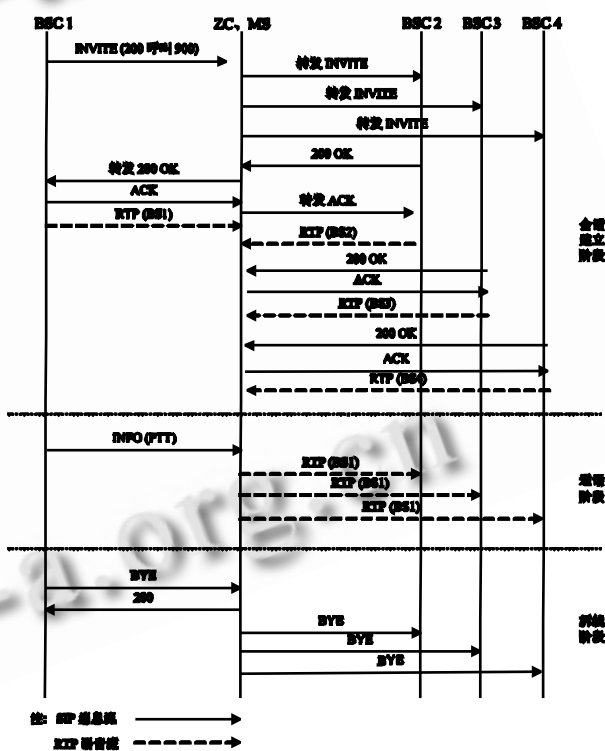


图 4 SIP 中心代理服务器的处理组呼流程图

在呼叫建立阶段, 当某基站移动台发起跨基站组呼时, ZC 收到主叫的 INVITE 请求, 提取被叫组呼号, 从位置服务器查询该组呼所设定的呼叫范围, 将呼叫转发给每个被叫基站。ZC 将第一个应答“200 OK”的消息转发给主叫基站, 对其他被叫基站应答的“200 OK”消息 ZC 直接回复 ACK。ZC 收到 ACK 同时通知 MS 同步接收各基站传来的 RTP 语音流。

进入通话阶段后, 由于组呼是半双工通信, 哪个

基站讲话会有一个伴随的 PTT(PUSH TO TALK)信息,即讲话的 UA 发一个 INFO 的 SIP 消息, ZC 检测各个基站的 INFO 信息, MS 总是选择最近发送 PTT 消息的基站的 RTP 流转发到其他基站,进行多方通话。图 4 示意的是 BS1 在讲话, MS 将 RTP 流转发到 BS2、BS3、BS4,同理,如果 BS3 讲话,其 RTP 流将被 MS 转发到 BS1、BS2、BS4。组呼的半双工通信特点与软交换结合起来,使得参与通话的基站数几乎不受容量限制。

当不需要通话时,主叫方下线,同时发送 BYE 消息,通知其他基站也拆线,至此通话结束。当然, ZC 为防止主叫一直不发下线命令,监测一段时间内若未收到基站的 PTT 信息,将主动发送 BYE 消息给各通话基站,从而结束本次通话。

采用集中式设计, MS 允许有多个,当并发呼叫量大时, ZC 控制将不同的通话均衡在各 MS 处理,同时, MS 间能相互备份,具备很好的容灾功能。

## 4 系统实现

系统分成 3 部分:节点控制器 ZC(SIP 中心代理服务器)、媒体服务器 MS、位置服务器,基站控制器 BSC (ALG 应用网关),信道控制器 CC(用户代理 UA)。

### 4.1 测试方法

节点部分用 1 台服务器实现 ZC、MS 及位置服务功能,再用 3 台服务器分别代表 3 个基站的 BSC,每个 BSC 连接一个 SIP 电话代表 CC,电话号码分别为 200、300、400。

SIP 电话发 REGISTER 消息注册到节点, SIP 电话间任意拨打对方号码实现个呼(如 200 呼叫 300),任一部 SIP 电话通过拨打 900 实现所有电话都能通话的组呼。讲话前按“\*”键表示 PTT 按下,产生的 RTP 语音流穿越 BSC,个呼通话时直达另一个 BSC,而在组呼通话时则到达 MS,由 MS 再分发到每个参与通话端,讲完话后按“#”键表示 PTT 释放。挂机表示拆线,结束此次通话。

### 4.2 系统实现

ZC、BSC、MS 是一台工业控制计算机, ZC、BSC

基于 Windows 操作系统、.Net 运行平台, MS 基于 Linux 系统,位置服务器实际是一台数据库服务器,采用 Microsoft SQL Server 数据库。CC 硬件平台基于 ARM 控制器,软件平台选用 Linux 操作系统,语音编码 G.723.1。系统已在一个省会城市的公安系统使用,该系统共设 6 个基站,注册 4500 部移动台,平均每天跨站呼叫 2800 次,跨站通话时间 220 分钟。

从实际运行看,系统连接基站数可达 30 个、每个基站带信道 16 个,完全满足一个地区公安系统的使用。

## 5 结语

基于 SIP 的软交换,采用遵循开放协议标准,使用 C/S 架构,在公安集群通信系统已成功实现。基于 SIP 的软交换这种标准的全开放应用平台,实现了控制/业务与承载分离的思想,相对传统的模拟集群通信系统 PCM(Pulse Code Modulation)交换模式,具备组网灵活、不受会议容量限制、容灾等优势。

### 参考文献

- 1 Rosenberg J. SIP: Session Initiation Protocol. RFC3261, June 2002.
- 2 糜正琨. 软交换组网与业务. 北京:人民邮电出版社, 2006.
- 3 郑祖辉,陆锦华,丁锐,郑岚. 数字集群移动通信系统. 第 3 版,北京:电子工业出版社, 2008.
- 4 徐培文,谢水珍,杨从保. 软交换与 SIP 实用技术. 北京:机械工业出版社, 2007.
- 5 Biggs B. A SIP Application Level Gateway for Network Address Translation. Internet Draft, 2000.
- 6 周海华,边恩炯. 下一代网络—SIP 原理与应用. 北京:机械工业出版社, 2006.
- 7 Internet Engineering Task Force (IETF). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 1889, January 1996.
- 8 薛绍伟,耿卫东,缪永伟. 一种交互式 SIP 会议实现方案. 计算机工程与设计, 2007,28(7):1699-1701.