

# 软交换中 H. 323 与 SIP 互通信令网关的技术实现

林晓勇<sup>1,2</sup>, 徐明海<sup>1</sup>, 成际镇<sup>1</sup>, 吕 琚<sup>2</sup>

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏南京 210003;  
2. 江苏电信实业中博通信科技有限公司, 江苏南京 210003)

**摘要:**随着多媒体技术与网络技术的发展, H. 323 与 SIP 协议作为下一代网络 NGN 中的核心软交换技术的主要协议, 必然在一段时间内长期并存。首先介绍了 NGN 的分层体系, 接着对 IP 协议中的 H. 323 协议、SIP 协议做了精要的介绍, 并对这两种关键 IP 协议的属性进行了深入比较。提出了实现 H. 323-SIP 互通信令网关 IWF 的基本要求, 建立了 IP 语音的封装结构, 逻辑信道信令互通的常规机制以及 Fast Start 机制实现模式, 着重对 IWF 实现的一些关键技术, 最终实现了在 IWF 的 H. 323 与 SIP 互通信令消息的转换交互过程。

**关键词:**软交换; H. 323; 会话初始化协议; 互通信令网关

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)03-0154-04

## Implementation of IWF Between H. 323 and SIP in Soft Switch Network

LIN Xiao-yong<sup>1,2</sup>, XU Ming-hai<sup>1</sup>, CHENG Ji-zhen<sup>1</sup>, LÜ Jun<sup>2</sup>

(1. College of Telecommunication & Information Engineering, Nanjing University of Post and Telecommunication, Nanjing 210003, China;  
2. Jiangsu Telecommunication Group Zhongbo Communication Technology Ltd, Nanjing 210003, China )

**Abstract:** With the development of multimedia and network technology, there are currently two major IP standards for signaling and control of internet protocols, namely ITU-T H. 323 and IETF SIP (session initiation protocol). First introduce the architecture of NGN, follow with the certain characters of H. 323 and SIP, then make a deep comparison for both H. 323 and SIP. Propose some specifications of IWF, which is the inter-working function in the GW. Some key techniques for IWF are interpreted, the signaling interactive procedure is designed to realize the active IWF between H. 323 endpoints and SIP user agents, including the encapsulation structure of voice over IP, normal process and Fast Start process of the signaling definition for logic channel connections.

**Key words:** soft switch; H. 323; SIP; IWF

## 0 引言

下一代网络 NGN (Next Generation Network) 标志着新一代电信网络时代, 将传统的电路交换 CS (Circuit Switch) 为主的公共交换电话网 PSTN (Public Switched Telephone Network) 向以 IPv4/IPv6 为核心的分组交换 PS (Packet Switch) 为主的电信级网络发展<sup>[1]</sup>。NGN 通常可以分为四层体系, 分为接入和传输层, 媒体层、控制层(软交换层)、业务(应用)层, 各层之间采用明确的标准化接口。其中软交换 SS (Soft

Switch) 是 NGN 的核心控制功能实体, 为 NGN 提供实时的业务控制、连接控制及媒体捆绑, 其中 H. 323 协议与 SIP 协议是分组交换网中具有竞争性的协议, 作为能承载多种协议的软交换技术, 必须能够同时支持 H. 323 和 SIP 这两种关键 IP 协议。

## 1 软交换体系中关键协议分析

随着网络技术的高速发展, IP 电话和多媒体会议应用日益广泛。作为“Everything Over IP”这一主题下, H. 323 和 SIP 协议成为解决网络业务全“IP”化的核心协议。

### 1.1 H. 323 协议体系分析

H. 323 协议簇是由 ITUT SG16 制定, 用来在分组网络上提供包含语音、视频和数据等多媒体业务, 目前由四个建议版本涵盖<sup>[2]</sup>。H. 323 网络包括 H. 323 终端 (Terminal)、网关 GW (Gateway)、网守 GK (Gatekeeper)、多点控制单元 MCU (Multi-point Control U-

收稿日期: 2010-06-30; 修回日期: 2010-10-08

基金项目: 中兴科研基金资助项目 (NY08 外 52); 国家自然科学基金资助项目 (60872018, 60902015); 江苏省自然科学基金科技创新人才启动资助项目 (BK2007604); 高校博士学科点专项科研基金资助项目 (20070293001)

作者简介: 林晓勇 (1974-), 男, 博士生, CCF 会员, 研究方向为计算机通信和下一代网络。

nit)、授权认证计费 AAA (Authorization Authentication Accounting) 服务器组成。其中 MCU 主要用于电视电话会议,AAA 服务器对应于运营商 (Operators) 的 IP 电话的实时计费以及记帐卡计费。GW 负责对 H. 323 终端的管理、检测,并响应 H. 323 终端的呼叫,GK 与 GW 之间通信采用包括用于注册、认证和状态的 RAS 协议,GK 与 AAA 服务器之间采用 Lucent (朗讯) 公司提出的远程拨号安全认证协议 RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service),IP 呼叫协议包括呼叫控制协议 H. 225.0 和媒体协商协议 H. 245,H. 225.0 用在两个源 GW 和目的 GW 之间的呼叫连接控制,H. 245 采用 Q.931 信令在已经建立呼叫控制连接信道后进行具体的媒体能力协商,并最终为源-目的 GW 之间建立一条承载 IP 语音或 IP 视频的实时传输协议 RTP (Real-time Transfer Protocol) 通道。

### 1.2 SIP 协议体系分析

SIP 协议是由 Internet 工程任务组 IETF (Internet Engineering Task Force) 成立的 SIP 及 SIPPING 工作组,制定的以 SIP 协议为基础的 IP 多媒体系统标准<sup>[3]</sup>。SIP 是建立、修改和终结多媒体会话的应用层协议。SIP 采用客户端/服务器 (Client/Server) 模式,文本描述消息的信令协议,客户端服务器 UA (User Agent) 包括 UAC 和 UAS,网络端服务器包括注册服务器 RS (Register Server),代理服务器 PS (Proxy Server),定向服务器 DS (Direction Server),重定向服务器 RDS (Redirection Server)。SIP 协议栈采用会话描述协议 SDP (Session Description Protocol) 的 SIP 消息来进行 IP 的呼叫控制及媒体协商的全部过程<sup>[4]</sup>,实时流协议 RTSP 用于控制存储媒体的实时操作,例如语音信箱中的播放、快进、倒退、暂停等动作。作为可选的资源预留协议 RSVP,在有网络服务质量 (QoS) 要求的情况下选用,媒体封装由 RTP 协议完成,支持 G711、G721、G723.1、G729A 等 IP 语音协议,及 H. 261、H. 263 及 H. 264 视频流协议,实时流传输控制协议 RTCP (Real-time Transfer Control Protocol) 负责传送相应媒体流的质量统计数据<sup>[5,6]</sup>。

### 1.3 H. 323 与 SIP 协议性能比较

作为承载在 IP 层上的 IP 协议,H. 323 与 SIP 有着各自的特点,不同之处主要体现在以下一些方面:

#### (1) 信令协议方面的差异。

H. 323 采用基于抽象标记语言 ASN.1 和压缩编码规则的二进制方法表示其消息,消息短但其解析器复杂。呼叫控制信令 H. 225.0 是借用了 N-ISDN 中的用户-网络接口 UNI (User-Network Interface) 的 Q.931 消息集,其呼叫控制和媒体信道建立过程是分开的,虽然在 H. 323v3 版本中增加了合二为一的快速呼叫建

立 (Fast Start) 内容,但其 H. 225.0 呼叫控制信令和 H. 245 媒体控制信令都是由传输控制协议 TCP 支持,因此呼叫建立时间较长,确认机制复杂<sup>[7]</sup>。

SIP 系统内 SIP 信令及媒体描述都是基于文本,长度长但易改造解析。SIP 信令完成呼叫控制和媒体信道协商的全过程。SIP 消息支持 TCP 或 UDP 的模式,且会话描述协议 SDP 的内容是包含在 SIP 消息的消息体 (Entity) 中,呼叫建立快速。

#### (2) 网络结构方面的差异。

H. 323 网络各网元均为对等 H. 323 实体,每个实体之间完成对等控制协议,均需完成呼叫建立和释放,以及逻辑信道的打开 (OLC) 和关闭,因此每个实体的功能非常丰富,设计起来复杂。而 SIP 协议定义了各种不同功能的服务器,发起请求的一方为客户机,接收请求并响应的为服务器,SIP 端系统通过一个相对独立的客户端协议程序和一个服务端协议程序协同工作,设计起来较方便。

#### (3) 历史发展原因。

H. 323 体系由 ITUT 制定,最初设计思想主要是用来实现有限带宽网络资源环境下的 IP 电话 (VOIP) 业务,比如 N-ISDN (2B+D) 等环境下,因此对信令消息要求占用带宽小,且主要适用于点对点的 VOIP 应用,H. 323 终端的功能全面,产品面向包含专利的企业级智能终端产品。而 SIP 协议由开放的 IETF 提出,最初在高校、研究所开源使用,网络带宽丰富,更多致力于丰富的应用,如三方通话、电话会议、视频通话、视频会议等,因此随着网络光纤宽带化的发展很快广泛使用<sup>[8]</sup>。虽然 H. 323v3、H. 323v4 很快也推出了会议、视频应用,但企业并未跟进。SIP 协议以其类似 Internet 的其他常用协议 (超文本传输协议 HTTP、多用途 Internet 邮件扩展 MIME 等) 被开发者应用。

#### (4) 其他方面比较。

H. 323 与 SIP 在媒体封装上是完全一致的,都是采用 RTP/RTCP 来传输多媒体实时数据。图 1 示意了 IPV4 的媒体封装格式,G. 7XX/H. 26X 的负载包加上 12 字节的 RTP 头构成 RTP 数据包,加上 8 字节的 UDP 头构成 UDP 包,加上 20 字节的 IP 头构成 IP 包,以 VOIP 中最常用的共轭结构-改进码激励线性预测 (CS-ACELP) 编码的 G729A 语音为例,每帧 10ms,帧长 10 个字节,因此 IP 包长度最小为  $(20+8+12+10) \times 8 = 400\text{bit}$ ,由于 G729A 语音每 10ms 传送一次,因此每秒传送 100 个语音包,因此该 VOIP 通道的最小理论带宽为 40Kbps。SIP 协议同时也支持下一代网络中的 IPv6 协议。

SIP 协议 SIP 信令可以使用 TCP 或 UDP 模式,通常采用 UDP 模式以节省建立时间。SIP 协议考虑到复

杂网络(动态带宽)情况下的 QoS 质量保证,借鉴了 IP 网络的资源预留协议 RSVP,RSVP 协议通常是在 IP 层进行的保证措施,也可以在 UDP 层面上完成。

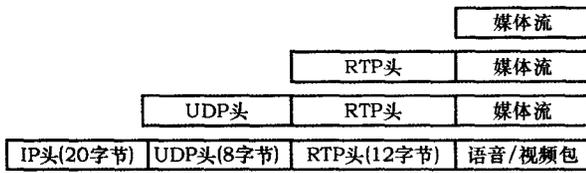


图 1 IPv4 媒体封装的结构

### 2 互通信令网关 IWF 设计实现

H. 323 的复杂性与 SIP 协议的有待完善,必然导致在很长一段时间内二者共存的局面,因此互通功能实体 IWF(Inter-Working Function)的研究与实现成为一项重要和有意义的工作。

IWF 应具有双边侧结构,一边接收 H. 323 实体的信令消息,将其翻译为响应的 SIP 消息;反之,当接收到 SIP 消息时,翻译为 H. 323 信令消息,发送给 H. 323 实体。由于在媒体流处理上的一致性,IWF 主要负责呼叫信令转换、地址解析、终端能力交换、逻辑信道的打开/关闭、呼叫资源的预留和释放、保留呼叫状态、呼叫状态机(FSM)切换、中间信令处理等,不需要对媒体流本身处理。

#### 2.1 IWF 设计的基本要求

(1)兼容 H. 323 与 SIP 协议。IWF 应能视作这两个协议体系结构中完整的一部分,能独立执行各自信令,不能更改其系统本身通信内容。

(2)用户注册过程。IWF 应能够支持 H. 323 系统的 RAS 信令注册机制,以及 SIP 系统中 SIP 终端对注册服务器(RS, Register Server)的注册机制,并解决其互通过程中地址的解析过程。

(3)媒体控制方面的互通。IWF 应能完成 H. 245 消息和 SDP 消息的映射,及可选(Optional)的 H. 245 消息和可选的 SDP 消息转换,最大程度满足复杂情况下的网间互联互通。

(4)透明支持媒体流的编解码算法。IWF 应能对 H. 323、SIP 协议规定的 G7XX/H. 26X 的音频/视频流正确支持,以及未来对采用 MPEG2/4 流的互通交换能力。

(5)IWF 对信令消息的透明性。IWF 不是为了增加信令或改变信令序列,终端发出的任何信令请求,IWF 只作信令消息映射转换,透明转发给对端,由对端来做出应答(Response 或 Status)。从这个角度看,IWF

是透明功能实体。

### 2.2 IWF 功能设计关键技术

IWF 在实现中是一个很复杂的过程,主要包括地址映射、用户注册、呼叫信令的转换、会议参数描述转换、多方会议建立、补充业务实现及 QoS 服务和网络安全<sup>[9]</sup>。

(1)地址映射。H. 323 协议地址包括 H. 323-ID、E164-ID、URL-ID、Transport-ID、Email-ID 及端点号地址,在实现中使用 ASN. 1 定义别名(Alias)。SIP 地址典型的类似 Email 地址的 SIP URL 格式(sip:user@host),采用 BNF 编码格式。

例如:SIP 地址向 H. 323 地址转换。已知 SIP 地址:linxy@njupt.edu.cn 转换为:

```
H. 323 Alias Address: |
H323-ID="linxy@njupt.edu.cn",
url-ID="linxy@njupt.edu.cn",
email-ID="linxy@njupt.edu.cn";
```

其他类型 SIP 地址,如" sip:+86-25-8349-2602@njupt.edu.cn" 或" sip:linxy@202.119.230.8" 均可以对应转换为 H. 323 地址,H. 323 Alias 地址与 SIP 地址转换较为复杂,具体过程略,可参考对应国家标准(见文献[6])。

(2)用户注册与寻址。H. 323 用户的注册是在 H. 323 终端和网守(GK)之间,SIP 用户的注册是在用户代理客户端 UAC(User Agent Client)与注册服务器 RS 之间。

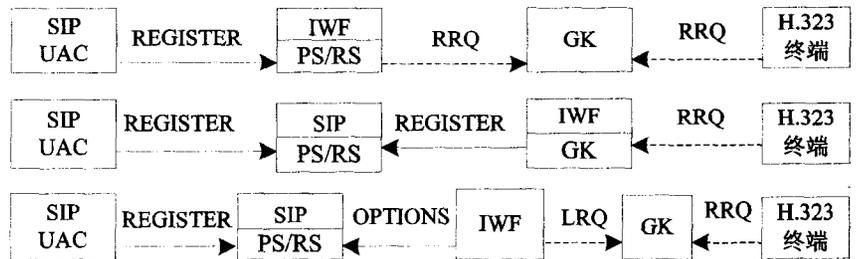


图 2 IWF 互通用户注册的三种常用模式

如图 2 所示,模式 1 示意了 SIP 用户 UAC 发出注册登记消息 REGISTER 到 IWF,此时 IWF 对 UAC 呈现为 RS 功能,并将 REGISTER 转换为 H. 323 信令中的注册请求消息 RRQ(Register Request)发送到网守 GK;模式 2 示意了 H. 323 终端发出 RRQ 消息到 IWF,IWF 将其转换为 REGISTER 消息到 SIP 网络的 RS;模式 3 示意了独立 IWF 的功能,IWF 发出定位请求消息 LRQ(Location Request)给 H. 323 网络的 GK,同时也完成与 SIP 网络的 RS 的能力协商(OPTIONS)。

### 3 IWF 呼叫信令建立实现过程

在解决了地址映射转换、用户注册及寻址等基本

问题后,一个完成的呼叫连接建立过程还包括呼叫信令的连接及终端媒体能力集的协商。H. 323 的呼叫建立是一个复杂的多步骤过程,而 SIP 系统,将信令地址、媒体传输地址和对媒体能力集描述都包含在会话发起消息 INVITE 中一步完成,简化了互联的复杂性。

SIP 端经过 IWF 呼叫 H. 323 端的过程相对简单一些。具体信令交互过程如图 3(a) 所示,携带有丰富 SIP 用户信息的 INVITE 消息发送到 IWF,IWF 此时就代行 GK 功能,与 H. 323 终端完成一系列 H. 225.0 呼叫建立(采用 Q. 931 消息,如 Setup, Call Proceeding, Connect 消息等),H. 245 能力集协商的过程包括了终端能力集 TCS(Terminal Capability Set)和 TCSA 消息确认,主从确认 MSD(Master Slave Determination)和 MSDA 消息确认,以及打开逻辑信道 OLC(Open Logic Channel)和 OLCA 消息确认。当媒体协商信道建立后,就由 RTP/RTCP 来完成多媒体流交互<sup>[10]</sup>。

H. 323 终端呼叫 SIP 端相对要复杂一些,由于 H. 323 呼叫过程是分开的,因此 SIP 端所需要的信息 IWF 无法在一次信令交互中得到,可以采用当 IWF 一接收到 Setup 消息时,就向 SIP 端发出 OPTIONS 请求,询问该 UA 的媒体传输地址能力集 CS(Capability Set),IWF 只有接收了确认(200 OK)后才和 H. 323 进行信令交互,一直到 H. 323 终端与 IWF 之间建立的 H. 245 媒体逻辑信道后,IWF 才向 SIP 端发出 INVITE 呼叫建立请求<sup>[11]</sup>。该方法的缺陷是 IWF 在第一时间通知了 SIP 端,但知道 H. 323 与 IWF 交互通信后才发出呼叫建立请求,

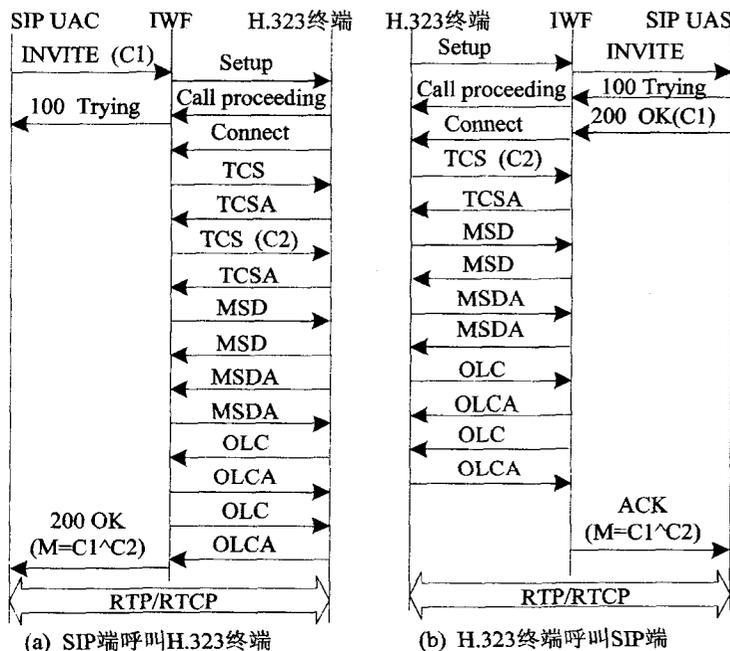


图3 经过 IWF 的 SIP 端与 H. 323 终端信令交互过程

SIP 用户始终处于等待协商状态,耗费大量等待时间和线路资源。改进后的方案见图 3(b),IWF 直接发送 INVITE 消息,该消息仅包含终端能力集的默认描述(C1),SIP 端返回 200 OK(对 C1 的确认)后,由 IWF 与 H. 323 终端建立非快速建立方式,媒体逻辑信道建立后由 IWF 返回 ACK 通知 SIP 端。

H. 323v3 建议在不同运营商网关之间的呼叫采用快速呼叫建立过程,只有在无法做到的情况下,才采用非快速建立方式。图 3 示意了作为全功能 IWF 应具备的非快速呼叫建立过程。在设计 IWF 时,使用快速启动(Fast Start)机制,可以在一个步骤中获取呼叫建立所必需的全部要素,简化信令互联的复杂性。图 4 示意了采用 Fast Start 机制建立呼叫连接的过程<sup>[12]</sup>。

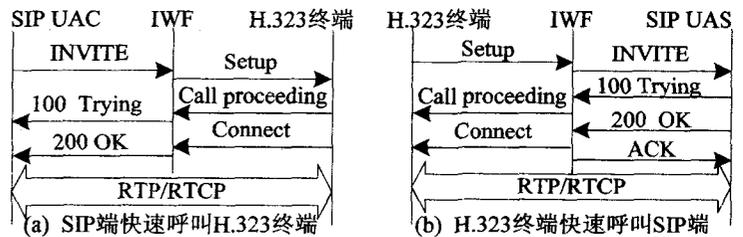


图4 使用 Fast Start 机制的 IWF 信令交互过程

需要说明的是:图 4 中的 Setup 消息中,包含一个 Fast Start 数据单元,该单元由若干个打开逻辑信道 OLC 数据结构组成,每个 OLC 结构描述主叫端点申请的一个发送或接收媒体信道的的所有参数。同样 Connect 消息中也标识了使用的 Fast Start 机制。

### 4 结束语

IWF 方案解决了长期以来,深圳东进语音 IP 资源卡只支持 H. 323 协议,而无法兼容 SIP 协议的情况。IWF 的设计和实现是一个复杂的软件系统,采用分层的、C/S 结构和面向对象的开发模型,由 SIP 主控模块分别管理 SIP 控制模块和 H. 323 呼叫控制模块,其中 SIP 控制模块通过对 SIP/SDP 基本库函数(LIB)操作完成 SIP 消息解析、注册、命令控制,H. 323 呼叫控制模块通过对 H. 323 的 LIB 库进行操作,完成 RAS 信令模块、Q. 931 消息解析、H. 245 信令分解。最后由 IWF 主控模块针对文中所介绍的信令交互过程要求完成所有信令转换功能,并提供可供系统运行状态监测的用户接口,IWF 的互通协议栈最终固化在深圳东进多媒体交换机 keygoe3000 系列上得到了测试和验证。

(下转第 160 页)

$$\begin{aligned}
r_f(1+s) &= 1/2^n \sum_{x \in F_2^n} (-1)^{f(x)+f(x+1+s)} \\
&= 1/2^n \sum_{x \in F_2^n} (-1)^{f(x)+f(x+s)+1} \\
&= -r_f(s)
\end{aligned}$$

要抵抗代数攻击,布尔函数的代数免疫度就必须高,但是代数免疫度高了,其非线性度会不会减少。如果减少了,就会遭受到线性攻击。所以研究非线性度和代数免疫度之间的关系是一个十分重要的任务。

引理 2<sup>[11,12]</sup> 若  $f$  为  $F_2^n$  上的布尔函数,其代数免疫度  $AI(f) = k$  则  $nl(f) \geq 2 \sum_{i=0}^{k-2} \binom{n-1}{i}$ 。且这个下界为紧的。

函数的非线性度和循环谱之间有关系:

$$nl(f) = 2^{n-1} (1 - \max_u |S_{\phi}(u)|) \quad (2)$$

下面具体讨论定理 1 中所构造平衡函数的非线性度的取值特点:

推论:对任意  $x \in F_2^n$ ,定理 1 中所构造  $f(x)$  的非线性度为:

$$nl(f) = 2^{n-1} - \max_u \left| \sum_{x \in A \text{ 或 } w(x) < k} (-1)^{ux} \right|, \text{ 其中 } u \text{ 的重量为奇数。}$$

### 3 结束语

研究了一类具有  $k$  阶代数免疫的平衡函数,给出了此类函数循环谱特征、自相关特征及非线性度特征。并且根据其特点,可以通过特殊“分配” $A$  和  $\forall A$  中点的取值来调整循环谱,自相关的值,使得密码函数的性能得到最大的发挥。

#### 参考文献:

[1] Carlet C. A method of construction of balanced functions with

(上接第 157 页)

#### 参考文献:

[1] 成际镇,林晓勇. 计算机电信集成技术及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:17-20.  
 [2] ITU-T. Recommendation H. 323, Packet-based multimedia communication system[S]. Switzerland:[s. n.],1998.  
 [3] Handley M, Schulzrine H, Schooler E, et al. SIP: session initiation protocol[S]. RFC2543. IETF,1999.  
 [4] Handley M, Jacobson V. SDP: session description protocol[S]. RFC2327. IETF,1998.  
 [5] 张永强,张捍东,赵金宝. SIP 协议栈研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(11):49-50.  
 [6] Rosenberg J. SIP: Session Initiation Protocol[S]. RFC3261. IETF,2002.

optimum algebraic immunity [EB/OL]. 2006. <http://eprint.iacr.org/2006/149>.

[2] Dalai D K, Maitra S, Sarkar S. Basic theory in construction of Boolean functions with maximum possible annihilator immunity [C]//In: Des Codes Crypt (2006). [s. l.]: [s. n.], 2006:41-58.  
 [3] Mac Williams F J, Sloane N J A. The Theory of Error-Correcting Codes[M]. North-Holland;Elsevier,1977.  
 [4] 徐春霞,陈卫红. 求布尔函数零化子的一种算法及一类代数攻击不变量[J]. 电子与信息学报,2007,29(4):66-73.  
 [5] 杨洋. 广义布尔函数的代数免疫与零化子[J]. 湖北大学学报,2008,30(4):329-332.  
 [6] Meier W, Pasalic E, Carlet C. Algebraic Attacks and Decomposition of Boolean Functions [C]//Proc. of EUROCRYPT'04. Interlaken, Switzerland; Springer, 2004:474-491.  
 [7] 王永娟,范淑琴,冀慧芳,等. 正规性和代数免疫[J]. 解放军理工大学学报,2009,10(4):329-333.  
 [8] 冯登国. 密码学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2000.  
 [9] 温巧燕,钮心忻,杨义先. 密码学中的布尔函数[M]. 北京:科学出版社,2000.  
 [10] Dalai D K, Gupta K C, Maitra S. Results on Algebraic Immunity for Cryptographically Significant Boolean Functions [C]//Proc. of INDOCRYPT'04. Chennai, India; Springer, 2004:92-106.  
 [11] Dalai D K, Gupta K C, Maitra S. Cryptographically significant Boolean functions: construction and analysis in terms of algebraic immunity [C]//In: Fast Software Encryption, FSE 2005; number 3557, Lecture Notes in Computer Science. [s. l.]: Springer-Verlag, 2005:98-111.  
 [12] Courtois N, Meier W. Algebraic attacks on stream ciphers with linear feedback [C]//In Advances in Cryptology-EUROCRYPT 2003, number 2656 in Lecture Notes in Computer Science. [s. l.]: Springer-Verlag, 2003:345-359.  
 [7] 信息产业部电信研究院. YD/T 1046/2000. H. 323 和 SIP 的互通技术规范[S]. 2000.  
 [8] Singh K, Schulzrinne H. Interworking between SIP/SDP and H. 323[S]. IETF, 2000.  
 [9] IETF. Draft-agrawal-SIP-H. 323-interworking-01. txt [EB/OL]. 2001-07. <http://www.ietf.com>.  
 [10] IETF. Draft-agrawal-SIP-H. 323-interworking-reqs-06. txt [EB/OL]. 2004-02. <http://www.ietf.com>.  
 [11] Wang Ligang, Agarwal, Anjali, et al. Modelling and verification of interworking between SIP and H. 323 [J]. Computer Networks, 2004, 45(2):363-369.  
 [12] 张越峰,唐学文,张志军. IPv4 与 IPv6 混合网络中的 SIP 电话通信的研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(5): 83-86.