

SIP 标准中的核心技术与研究进展*

司端锋⁺, 韩心慧, 龙勤, 潘爱民

(北京大学 计算机科学技术研究所, 北京 100871)

A Survey on the Core Technique and Research Development in SIP Standard

SI Duan-Feng⁺, HAN Xin-Hui, LONG Qin, PAN Ai-Min

(Institute of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

+ Corresponding author: E-mail: siduanfeng@icst.pku.edu.cn, <http://www.icst.pku.edu.cn/>

Received 2003-12-31; Accepted 2004-11-03

SI DF, Han XH, Long Q, Pan AM. A survey on the core technique and research development in SIP standard. *Journal of Software*, 2005,16(2):239–250. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/239.htm>

Abstract: Although only more than one year since session initiation protocol (SIP) had been delivered, SIP has already become the research hotspot in telecommunication and network fields. More than 30 RFCs and drafts were delivered by SIP WG, including core protocol, QoS, security, message header and method extension, interconnection with PSTN, firewall and NAT traversal, application, multi-message body, instant messenger, etc. This paper introduces the SIP standard and the newest research trends in its related fields, and points out the future research direction and the promising foreground application.

Key words: SIP WG; session initiation protocol; SIP extend; security; QoS; interconnection; 3GPP; network control; SIP application

摘要: 由 IETF 最年轻的工作组之一的 SIP(session initiation protocol)工作组发布的 SIP 相关标准已经成为通信和网络界的研究热点。目前 SIP 工作组发表的协议和草案超过 30 个,除了核心协议以外,其他协议涵盖 QoS、安全、消息头和方法扩展、与 PSTN 等其他协议的互操作性、穿透防火墙和 NAT、应用、多消息体、即时消息等诸多话题,其最终目标是为所有 Internet 成功的应用提供无所不在的接入,成为联系 Internet 和电信、多媒体的媒介。对 SIP 标准中的核心技术和研究进展进行了综述,着重介绍了以上 SIP 相关标准及应用中的核心技术和相关领域最新的研究动态,并指出了进一步的研究方向和应用前景。

关键词: SIP 工作组; SIP 标准; SIP 扩展; 安全性; QoS; 协议互操作性; 3GPP; 网络控制; SIP 应用

中图法分类号: TP393 **文献标识码:** A

* Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2002AA119020 (国家高技术研究发展计划(863)); the National Research Foundation for the Doctoral Program of Ministry of Education of China under Grant No.20040001050 (国家教育部博士点基金)

作者简介: 司端锋(1976—),男,江苏徐州人,博士生,工程师,主要研究领域为网络与信息安全,多媒体通信;韩心慧(1969—),男,博士生,助理研究员,主要研究领域为网络与信息安全,多媒体通信;龙勤(1977—),男,博士生,主要研究领域为网络与信息安全;潘爱民(1970—),男,博士,副研究员,主要研究领域为网络与信息安全。

会话初始化协议(session initiation protocol,简称 SIP)近年来在通信和网络研究领域受到极大关注,是下一代网络(NGN)中的核心协议之一.它最初是由 IETF 的 MMUSIC(multiparty multimedia session control)工作组提出的一个标准,用来解决 IP 网上的信令控制.在 IP 网络分层模型上,SIP 是工作在应用层上的一个信令协议,可以用来建立、修改和终止有多方参与的多媒体会话进程^[1].

图 1 是一个 Internet 多媒体体系结构模型,表明了 SIP 在 Internet 协议栈中的位置.最初提出的应用场景包括 IP 电话呼叫、多媒体分发、多媒体会议等,但目前 SIP 的应用领域已远远不限于这些场景.SIP 协议是基于

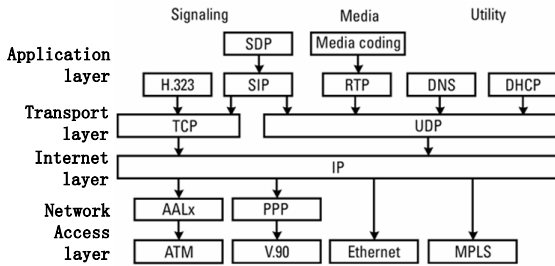


Fig.1 SIP position in Internet architecture

图 1 SIP 在 Internet 网络体系结构中的位置

Internet 两个最成功的服务 Web 和 Email 进行设计的,设计思想成熟,面世时间不长即获得广泛应用.SIP 协议的优势还表现在:可扩展性、灵活性、互操作性、可重用性以及提供了一种可以将简单的应用结合到复杂的服务中去的方法^[2].现在,SIP 已经被 3GPP 工作组定义为第三代移动通信系统的信令协议以提供 IP 多媒体服务^[3].它能将蜂窝系统和 Internet 应用领域融合在一起,为人们提供了一条使得成功的 Internet 服务无所不在的途径.利用 SIP,用户将能够把传统的 Internet 服务,比如 Email、Web 以及多媒体和即时消息等新服务结合起来.SIP 的出现是在通信网络界以外毫无所知

的情况下发生的一场革命,它将人们从电信服务的高投入、低增值中解放出来,并带入低投入、高增值的服务中去(这正是 Internet 的准则).这场革命将使用 Internet 技术重新定义通信网络的体系结构,其领导者就是会话初始化协议(SIP).

1999年,MMUSIC工作组最初提出 SIP想法,当时,多媒体系统体系结构取得了一定的成功,但是这个体系结构中有一个不能令人满意的地方:它没有办法明确地邀请用户加入一个特定的会话.邀请用户加入多播会话是 IETF 提交 SIP 的初衷,从那时起,SIP 协议稳定向前发展.目前,SIP 可以用于邀请用户加入所有类型的会话,包括多播和点到点会话.1999年2月,MMUSIC工作组发布 SIP 的提议标准 RFC2543.此时,SIP 已经在 IETF 中获得足够的重视,于1999年9月成为一个独立的 SIP 工作组,Jonathan Rosenberg,Joerg Ott,Dean Willis担任第一任主席.2001年3月,IETF第50次会议决定将 SIP 工作组分成两部分:SIP 工作组和 SIPPING 工作组.新的 SIP 工作组的主要任务是讨论 SIP 规范及其基本扩展;SIPPING 工作组的任务是讨论关于使用 SIP 协议进行具体的应用.SIP 工作组于2002年6月发表了新的 RFC3261,此时,SIP 的 RFC 已进入草案标准的状态^[1].现在,有 3GPP、SIMPLE、网络控制等工作组决定采用 SIP 作为工作协议,这些都是对 SIP 协议的极大肯定,促进了 SIP 协议的进一步发展.

作为一个新的、具有广阔前景和许多研究机构关注的一个热点协议,SIP 吸引了众多的研究者投入这方面的工作,同时,由于 SIP 出现的时间不长,加上各种 SIP 相关的协议和应用发展很快,目前国内和国际上还没有将这些重要的发展情况、核心技术和目前的研究成果作一个整体上的介绍.鉴于 SIP 在网络和通信领域所占的重要地位和目前表现出来的广阔前景,为了捕捉 SIP 发展的动态,对 SIP 研究有一个总体上的把握,促进国内迅速跟上国际研究的步伐,综述这方面的工作十分有意义.本文详细介绍了 SIP 核心协议的体系结构、SIP 工作组已经发表和尚未发表的其他 RFC 和 Drafts 中的核心技术、以 SIP 作为工作协议的工作组的主要相关工作、国内外在 SIP 领域取得的主要成果和 SIP 的发展动态,并指出了进一步的研究方向和应用前景.

1 SIP 的系统组织结构

本节介绍 SIP 核心协议中定义的基本功能和系统构成,并给出了一个基于 SIP 的通信系统的研究模型.

1.1 SIP基本功能

IETF 坚持采用分层的方法来创建服务,SIP 作为应用层上的一个控制(信令)协议,用来建立、修改和终止有

多个参与者参加的多媒体会话进程,参与会话的成员可以通过组播(multicast)、单播(unicast)或者两者结合的方式进行通信.SIP 可以用于邀请新的成员加入一个已经存在的会话,也可以用于创建一个全新的会话.作为 SIP 的核心思想之一,它可以用于明确地邀请某一个成员加入或者创建会话,这一点相对多播、SAP(会议通告协议)等是一个很大的进步.通信双方可以共同协商使用的媒体参数(比如是否支持视频).SIP 独立于它所处理的多媒体会话类型和描述会话所使用的机制,能够用一个可扩展的体系结构应用于视频会议、语音通话、共享白板、游戏会话、应用共享、桌面共享、文件传输等各种情况.一般情况下,SIP 协议使用 RTP 协议传送音频和视频流,使用 SDP 协议进行媒体描述^[4].SIP 通过这样的机制来实现其扩展性:通信双方或多方使用 SDP 进行音、视频的会议描述,如果通信的几方希望在建立的 SIP 框架上进行一个游戏会话,那么只需要使用一个适用于描述游戏会话的协议来取代 SDP 协议.使用 SIP 协议可以进行会话的管理,包括发起和终止会话、修改会话参数、调用服务、引入其他用户、设置转移呼叫、呼叫保持等.SIP 的可扩展性还表现在它可以通过定义新的消息头(header)和方法(method)来增加新的功能,这一点应用在大部分增加新功能的 SIP 扩展 RFC 中^[5-20].

SIP 另一个重要的功能是支持用户移动性,通过 SIP 定义的代理(proxy)服务器和重定向(redirection)服务器来实现.由于 SIP 实现了通信用户终端的定位,保证了无论被呼叫方在网络的任何位置上都可以确保呼叫达到被呼叫方.它通过 SIP URL(uniform resource indicator,统一资源标识符)进行标识,其格式和 Email 地址很相似,通常采用 user@domain 的形式,如 SIP:sidf@icst.pku.edu.cn,完整的 SIP URI 的格式是: sip:user:password@host:port;uri-parameters?headers.详细描述参见文献[1].用户必须首先向一个服务器登记他当前的位置,才能被呼叫者找到,如果用户的位置发生变化,必须将新位置向服务器重新注册.服务器支持一个用户同时拥有多个地址记录,存到数据库中,当服务器需要联系这个用户时,它会按顺序依次联系记录里的位置信息,直到从一个位置里得到反馈信息或者没找到.SIP 提供了重定向和代理两种操作模式来完成对用户的定向.另外,SIP 可以用于其他的 IETF 协议以建立一个完整的多媒体体系结构,如传输实时数据、提供 QoS 反馈的 RTP 协议^[21]、控制流媒体发送的实时流传输协议 RTSP^[22]、控制到公共交换电话网(PSTN)网关的媒体网关控制协议 MEGACO^[23]、描述多媒体会话的会话描述协议 SDP^[4]等.

1.2 SIP 网络元素

SIP 中有两种元素:SIP 用户代理 UA(user Agent)和 SIP 网络服务器.用户代理(UA)是一个用于和用户打交道的 SIP 元素,其存在的形式多种多样,如软电话(softphone)、实际的 SIP 电话机、其他计算机应用程序等(如 Windows Messenger,Windows Messenger 4.6/4.7/5.0 版本支持用户自定义采用 SIP 协议进行通信.根据 UA 在会话中扮演的角色不同又可分为用户代理客户机(user Agent client,简称 UAC)和用户代理服务器(user Agent server,简称 UAS),前者发起呼叫请求,后者响应呼叫请求.SIP 网络服务器分为 3 类:代理服务器(proxy)、重定向服务器(redirect)、注册服务器(registrar).代理服务器能够代理前面的用户向下一跳服务器发出呼叫请求,然后由服务器决定下一跳的地址.代理服务器分为有状态代理和无状态代理服务器两种.有状态和无状态代理服务器的区别是有状态代理服务器记住它接收到的入请求,以及回送的响应和它转送的出请求.无状态代理服务器一旦转送请求后就忘记所有的信息.这样,有状态代理服务器可以生成并行地尝试多个可能的用户位置的请求并送回最好的响应.无状态代理服务器的效率要高于有状态代理服务器,它是构成 SIP 结构的骨干.重定向服务器在获得了下一跳的地址后,立刻告诉前面的用户,让用户直接向下一跳地址发出请求,而自己则退出对这个呼叫的控制.注册服务器的作用是用来完成对 UAS 的注册,在 SIP 系统的网元中,所有 UAS 都要在某个登录服务器中注册,以便 UAC 通过服务器能找到它们.另外,在实际的 SIP 系统中,还有一个很重要的服务器,即位置服务器(location server),位置服务器存储并向用户返回可能的位置信息,注册服务器接收到位置信息时会立即将这些信息上载到位置服务器.位置服务器用来向客户提供代理服务器或重定向服务器的位置,作为一个全局的数据库,作用就像 DNS,它的访问和接入可以是非 SIP 的,如 Finger 或轻量级目录访问协议(LDAP)^[24].位置服务器不属于 SIP 服务器的范畴,因为位置服务器和 SIP 服务器之间并不使用 SIP 协议,一些位置服务器使用 LDAP 和 SIP 服务器进行通信.

1.3 SIP消息

有两种类型的 SIP 消息:请求消息(从客户机发到服务器)和响应消息(从服务器发到客户机).请求消息包含一个请求行、几个消息头(header)、一个空行和一个消息体.SIP 请求消息的请求行的格式为:Request-Line=Method SP Request-URI SP SIP-Version CRLF.如:INVITE sip:bob@biloxi.com SIP/2.0.在请求行中包含了一个方法(method),决定了请求消息的类型和目的.在 SIP 核心规范中,一共定义了 6 种 SIP 请求,见表 1.

Table 1 SIP request methods

表 1 SIP 请求方法

Method name	Meaning	Method name	Meaning
INVITE	Invite	OPTIONS	Capability query
ACK	Acknowledgement	CANCEL	Cancel
REGISTER	Register	BYE	Bye

消息头提供了关于请求(或者应答,在应答消息里也包含消息头)的信息和关于这些消息所包含的消息体的信息.表 2 列出了 SIP 核心协议中定义的所有 44 个消息头.

Table 2 All SIP message heads defined in SIP core protocol

表 2 SIP 核心协议中定义的所有 SIP 消息头

Accept	Accept-Encoding	Accept-Language	Alert-Info	Allow
Also	Authorization	Call-ID	Call-Info	Contact
Content-Disposition	Content-Edcoding	Content-Language	Content-Length	Content-Type
Cseq	Date	Encryption	Error-Info	Expires
From	In-Reply-To	Max-Forwards	MIME-Version	Organization
Priority	Proxy-Authenticate	Proxy-Authozization	Proxy-Require	Record-Route
Require	Response-Aey	Retry-After	Route	Server
Subject	Supported	Timestamp	To	Unsupported
User-Agent	Via	Warning	WWW-authenticate	

SIP 响应消息包含状态行、消息头、空行和消息体.状态行的格式为:版本号、状态码和原因短语,即:Status-Line=SIP-Version SP Status-Code SP Reason-Phrase CRLF.如:SIP/2.0 180 Ringing.当前的版本号为 SIP/2.0,状态码是从 100~699 的整数,且分成 6 种不同的类.表 3 列出了所有可能的情况.

Table 3 SIP response codes and meanings

表 3 SIP 响应代码及其含义

Status code	Meaning	Status code	Meaning
1xx(100~199)	Provisional	4xx(400~499)	Client error
2xx(200~299)	Success	5xx(500~599)	Server error
3xx(300~399)	Redirection	6xx(600~699)	Global failure

1.4 系统结构实例分析

SIP 协议具有很强的可扩展性,在此给出一个实际的 SIP 系统结构示例,这个结构可以用来实现如视频会议、即时消息、网络电话、3G 系统交互和多媒体分发等功能.这个系统结构包含注册、位置、代理、重定向服务器及客户端.示例环境中包含 2 台服务器,每台服务器具有注册、代理、重定向和位置服务器的逻辑功能,有数个客户端,分别采用 Windows Messenger、Windows 平台下的 XLite 软电话、Linux 平台下 Osip 的 Bonephone 和我们自己尚处于开发阶段的 SIP 通用客户端.每一种客户端都有多个,在图 2 中象征性地画出 1 个作为示例.

设定两个用户通过它们各自的服务器进行通信.用户 A 使用客户端 1,即 Windows Messenger 5.0,其 SIP URI 为 sidf@sipa.icst.pku.edu.cn,IP 地址为 192.168.1.122,使用的服务器组 IP 地址为 192.168.1.166,域名为 sipa.icst.pku.edu.cn;用户 B 使用图 2 中的客户端 2,即一个位于 Windows 系统下的软电话,URI 为 :8911@sipb.icst.pku.edu.cn,IP 地址为 192.168.1.200,它的服务器组 IP 地址为 192.168.1.167,域名为 sipb.icst.pku.edu.cn.

我们给出了如下的呼叫场景:(1) 用户 B 邀请用户 A 进行一次会话,呼叫请求经过 B 所在域的代理服务器转发到 A 所在域的代理服务器,A 的服务器通过位置服务器进行查询,位置服务器指出用户 A 尚未登陆,此次呼叫失败;(2) 为了得到用户 A 的在线状态,用户 B 订阅了出席(presence)服务;(3) 用户 A 注册登陆;(4) 用户 B 发现用户 A 已经在线,重新发起呼叫请求;(5) 双方建立连接,进行媒体会话;(6) 用户 B 提出结束请求,用户 A 确认

后会话结束.在这个场景中,我们提前使用了 SIP 扩展的消息头:订阅 Presence 服务的 Subscriber、Notify 方法,它们在 SIP 工作组的扩展协议中定义.

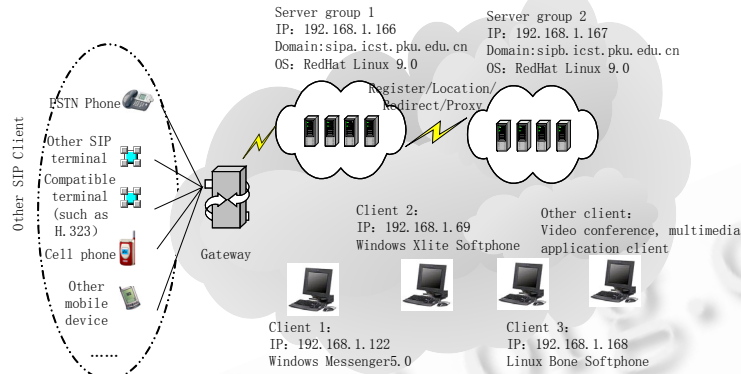


Fig.2 SIP application system

图 2 SIP 应用系统结构

图 3 是呼叫的所有过程的示意图,图中 A 和 B 的服务器组分别包括了各自的代理、位置、重定向和注册服务器.限于篇幅,这里,不再列出具体的 SIP 消息内容,详细的描述参见文献[1].

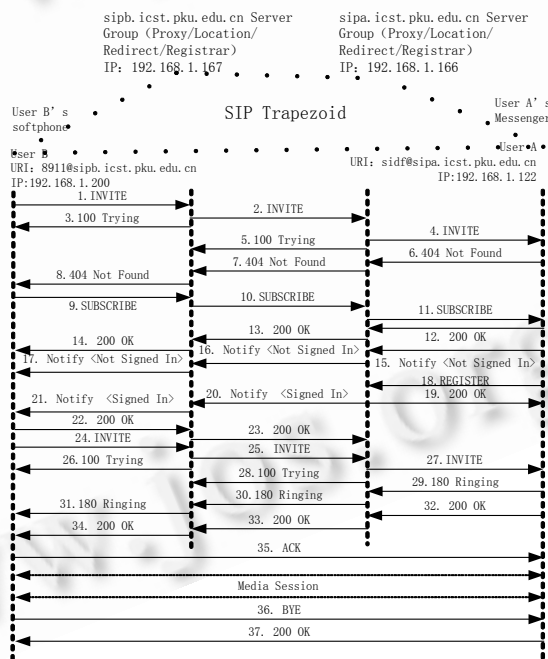


Fig.3 SIP session flow

图 3 SIP 会话流程

2 SIP 协议扩展核心技术及研究进展

目前 SIP 工作组发表的协议超过 26 个,另外还有许多草案,这些草案有些是非常成熟的,即将成为新的 RFC. 本节重点介绍 SIP 工作组已经发表和即将发表的这些 SIP 的相关标准中的核心内容,以及目前与其相关的学术研究的进展.

2.1 SIP体系结构扩展

前面提到 SIP 的优势之一表现在其灵活性和扩展性上,这些扩展可以视为 SIP 工具包,每一个扩展将解决一个具体的问题.这些扩展都是以一种模块化的风格实现,并且所有的扩展都符合 SIP 设计原则,保证这些扩展都可以在会话期间建立协商.同时,SIP 本身也是 IETF 的一个工具包,它和 IETF 其他的协议一起完成共同的任务,并且这些 Internet 的协议在一起可以用一种模块化的方式升级.

文献[25]给出了 SIP 扩展参数协商的过程.使用 SIP 进行通信的双方或者多方可以在建立呼叫的同时进行呼叫参数和能力的协商,但是由于 SIP 存在许多扩展,因此呼叫的一方需要知道另一方是否支持这些扩展,这个草案给出了一个 Supported 头,呼叫方会把它支持的所有扩展列入这个消息头中,同时把建立呼叫所需的扩展列入 Require 头^[1]中,同时服务器也使用这两个消息头进行关于扩展支持情况信息的交流,保证了所有通信实体能够在一次会话中得到一致.

SIP 工作组给出了 SIP 体系结构扩展的设计原则^[26].总结起来包括:(1) 不要破坏现有的 Internet 体系结构工具包方法,比如不能创建一个 SIP 扩展,使得人们可以使用 SIP 协议进行 Web 浏览,因为 IETF 已经有 HTTP 协议用来实现这个目标了;不能尝试使用 SIP 解决一切它可能解决的问题,这样的后果是把 SIP 协议变得大而复杂,IETF 的标准化过程确保了 SIP 保持精简和可管理.(2) 不要试图改变方法的语义.比如,INVITE 消息的语义是邀请会话,不能出现这样的消息头: INVITE Real-Purpose Tell me your capabilities.查询能力应该使用 OPTIONS 方法.(3) 坚持会话建立和会话描述的独立性原则.(4) 坚持 SIP 实体之间的对等关系.(5) 只在必须的时候才进行扩展.(6) 扩展时考虑安全性.SIP 的扩展工作从发表之日起到现在一直没有停止过,这也正是 SIP 协议的优势所在.SIP 体系结构扩展是 SIP 协议巨大生命力所在,也是其被广泛应用和成为下一代网络软交换核心协议的原因所在.

2.2 SIP安全性问题

SIP 执行过程中的安全性是一个至关重要的问题,也是至今尚未完全解决的一个问题^[5,27],包括保证信息的机密性和完整性,防止重放攻击和信息欺骗,提供会话中对参与者的鉴别,防止 DoS 攻击、应用的安全性等,比较典型的实际安全隐患包括注册攻击、假冒服务器、篡改消息体、拆卸会话、拒绝服务等^[28].SIP 利用消息头和

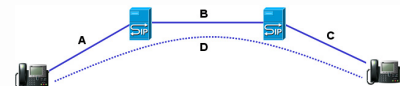


Fig.4 Hop to hop & end to end security

图 4 点到点与端到端安全

消息体为多媒体会话提供点到点或端到端的安全机制.如图 4 所示,在路径 D 中需要实现端到端的安全性,而在路径 A,B,C 中要实现每一跳的点到点安全.文献[27]给出了这些安全性措施:在 A 和 C 端,使用 HTTP Digest Authentication;D 段的安全性由 S/MIME 保证^[5,19,29],B 段的安全性由 IP/SEC 和 TLS 来完成.SIP 重用了 HTTP

和 SMTP 的安全模型.当然,信息的完全加密将为信令的机密性提供最好的保护,同时还可以保证信息不会被恶意中间媒介修改.但是,SIP 请求和响应不能在端到端的用户之间完全加密,因为在大多数网络体系结构中,信息头域如 Request-URI,Route,和 Via 对服务器来说必须是可见的,只有这样,SIP 请求才能够正确地发送.同时,代理服务器需要修改消息的某些参数(如增加 Via 头域值),因此,SIP UAs 必须信任代理服务器.另外,SIP 的实体还需要彼此之间相互鉴别.

文献[5]给出了 SIP 中实现安全性的几种方案:(1) 传输和网络层安全.两种流行的方案是 TLS 和 IPSec.另外,证书也可以用来提供鉴别.(2) SIPS URI 方案.SIPS 是指安全 SIP,这种方案遵循 SIP URI 的语法格式,但是提供了一些措施使得数据可以安全到达指定的资源.SIPS URI 方案中的传输是独立于 TLS 的.SIPS URI 方案允许头域指定安全的资源,从而增加安全性.SIPS URI 表示为: sips:alice@Atlanta.com;transport=tcp.(3) HTTP 鉴别.HTTP 鉴别提供了挑战(challenge)的能力,依靠 401 和 407 响应以及头域运送挑战和信任状.HTTP 摘要鉴别方案不用经过较大的修改就可以应用在 SIP 中,提供了重放保护和单向鉴别.(4) S/MIME(安全/多用途 Internet 邮件扩展,Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions)^[19].前面提到,端到端的 SIP 消息完全加密将保证机密性,但是在实际中是不实用的,因为网络中间媒介(如代理服务器)需要读一定的消息头来保证消息正确的路由,如果这些中间媒介被排除在安全框架之外,SIP 消息将不能进行正确的路由传送.但是,S/MIME 允许 SIP UAs 在

SIP 中加密 MIME 消息体,而端到端的加密消息体不对头产生任何影响。S/MIME 可以为消息体提供端到端的机密性和完整性以及相互鉴别。

同时,S/MIME 可以通过 SIP 消息隧道为 SIP 头域提供一系列的完整性和机密性^[5]。传输媒体的安全性(media security)不属于 SIP 协议讨论的范畴,但与 SIP 应用密切相关。比如,如何保证使用 RTP/RTCP 传输音频或者视频数据的安全性,一种可行的方案是采用 SRTP 方案,如图 5 所示。如何有效加密和鉴别多媒体通信数据目前是一个公开的研究问题^[29]。另外一个重要的问题是私密性(privacy)。SIP 消息经常包括发送者的一些敏感信息,不仅仅包括他们说过什么,还包括和谁通信,什么时间通信,持续了多长时间,他们在什么地方参加会话等。许多用户要求这样的私人信息能够被隐藏起来。关于 SIP 的私密性问题参见文献[13,14,27]。SIP 的安全性问题已经成为 SIP 应用的主要问题之一,目前尚没有令人满意的研究成果。

2.3 服务质量(QoS)

服务质量包含很多不同方面的指标,一个和多媒体流相关的 QoS 参数包括带宽、最大时延、时延抖动和包丢失率以及呼叫建立时延。呼叫时延依赖所用的承载信令信息的传输协议,尤其是在信令信息丢失需要重传的时候。所以对于基于 SIP 协议的媒体流传输,首先考虑信令协议对 QoS 的支持,然后再考察呼叫建立时延,因为呼叫建立时延受错误检测和错误纠正机制的影响。为了分析简单起见,我们以基于 SIP 的 IP 电话(VoIP)的例子进行分析。(1) 在对媒体流的 QoS 支持上,SIP 与传输协议一起来保证 QoS。通过地址翻译、接纳控制、带宽控制和地域管理,以及呼叫控制信令、呼叫鉴权、带宽管理和呼叫管理等呼叫和管理措施来实现。(2) 在呼叫建立时延上,SIP 在呼叫建立时类似于 H.323 第 3 版,几乎同时建立一个 UDP 连接和一个 TCP 连接,如果 UDP 连接成功,则关闭 TCP 连接;否则,立刻启用 TCP。SIP 是顺序地操作 UDP 和 TCP,如果 UDP 失败,则会增加呼叫建立时延。(3) 在环路检测方面,为了防止环路,SIP 采用了 via 头字段,检查其内容,如果新端点已出现在 via 列表中,则表示有环路了。文献[30]给出了基于 SIP-T(SIP for telephone)的 VoIP 网络的 QoS 性能分析,指出队列大小(如缓冲区大小)、队列延迟的方式、SIP 信令系统的队列延迟变化是影响 SIP 服务质量的 3 个关键。在给出模型的基础上,利用无优先权的优先队列(non-preemptive priority queue),从理论计算和实际模拟两方面给出结果^[30]。下一代通信系统将会提供多媒体服务,并且会以一种更灵活和智能的方式提供更高的服务质量,文献[31]提出了一种在 SIP 之上基于 MPLS(多协议标签交换)的网络模型,并指出 SIP 协议可以和其他 QoS 保证机制实现完美结合,实现良好的服务质量。文献[32]给出了在另外一个场景中的例子,在基于 SIP 协议 Satellite-UMTS 系统上研究如何提升系统性能和服务质量,并给出了不同情况下的比较结果。QoS 问题是影响 SIP 应用的主要因素之一,已经成为众多研究人员的主要研究方向之一。

2.4 协议的互操作性及其研究进展

这方面的研究对象是使用 SIP 协议的系统如何与其他已经存在并且运行很好的系统之间的无缝连接。比如:基于 SIP 的网络与 PSTN(公共交换电话网)、ISDN、移动通信网以及基于 SIP 的系统与基于 H.323 的系统的兼容性、SIP 与 IPv4,IPv6 的互操作性等。

目前使用 SIP 的 VoIP 技术已经逐渐成熟,当恰当地配置好 IP 网络并采用了相应的 QoS 特性时,VoIP 提供可以和 PSTN 相同的语音质量,但是,基于 SIP 的 VoIP 得到广泛应用的一个前提是它必须具有和 PSTN 交互的能力。目前这种能力已经实现^[33]。由于 PSTN 的体系结构和 IETF 不一致,所以两者的交互只能通过 PSTN 和 IP 网络边界上的网关进行协议转换。一种简单的实现方案是通过数字用户线 DSS 建立 ISDN/SIP 网关;使用 SG(信令网关)接收 PSTN 传来的信令并封装在 IP 之上,使用 SCTP(流控制传输协议)进行传输是另一种实现方案。在这种情况下,SG 需要把收到的信令路由到媒体网关控制器 MGC,由 MGC 完成 PSTN/SIP 信令转换、控制 MG、实现 MGCP/H.248 通信等功能。一些专门用于 PSTN/SIP 交互的 SIP 扩展被提了出来:INFO 方法、用于 ISUP

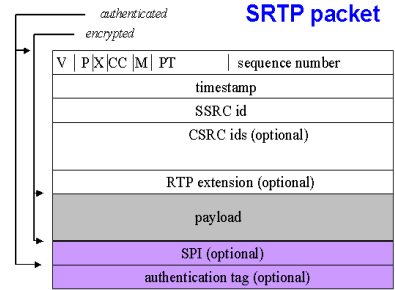


Fig.5 Implementing RTP security by SRTP

图 5 使用 SRTP 实现 RTP 传输的安全性

和 QSIG 对象的 MIME 媒体类型、用 Internet 设备请求 PSTN 服务方法 PINT. 其中有一个重要的概念是 SIP 桥, 其作用是帮助一个 PSTN 呼叫穿过 SIP 网络, 最终再回到 PSTN 中去. 关于 SIP 桥的基本结构及 PINT 的详细描述参见文献[20].

在与其他信令协议的交互方面, SIP 目前的版本不提供与 SS7(7 号信令)的交互, 但是有不少的 Internet 协议草案正在做这方面的工作. 随着软交换概念的提出和发展, SIP 有望成为软交换设备之间的信令协议, 成为各种信令互操作的纽带. 此外, 文献[34]介绍了在 IP 多媒体服务如视频会议中, 存在异质终端时进行信息流的传送和控制问题, 研究 SIP 与 ISO 的 MPEG-4 DMIF(delivery multimedia integration framework)的协同工作问题, 给出了一个原型设计和实验系统. 文章设计出一个多媒体会议模型, 使得在目前的 IP 网络环境中存在多种多样的异质多媒体终端类型时, 两个多媒体会议信令协议之间可以协同工作^[34]. 关于 SIP/SDP 与 H.323 协同工作问题, 见文献[35,36]. 下一代网络的发展使得众多协议之间的互操作性成为科研的当务之急.

2.5 防火墙和 NAT 问题

由于在目前的网络环境中, 出于安全性和 IPv4 地址资源问题的考虑, 防火墙和 NAT 设备广泛存在, 这样, 如何使 SIP 协议穿透防火墙和 NAT 成为 SIP 应用研究领域的一个重要课题.

通过阻止外部用户直接访问内部计算机, 防火墙可以使网络上的计算机免受非法访问的侵害. 网络地址转换 NAT 是 IETF 提出的一个标准, 用于允许专用网络(使用专用地址范围, 例如 10.0.x.x, 192.168.x.x, 172.x.x.x)上的多台 PC 机或设备共享单个、可全局路由的 IPv4 地址. 因为 IPv4 地址分配架构不能提供足够的 IP 地址, 人们部署了许多 NAT 产品, 以便对 IP 地址和 TCP/UDP 端口进行共享. 这时, 使用 SIP 的应用在功能上可能会大打折扣, 如即时语音和视频通信功能、应用程序共享、白板、文件传输、远程协助、多玩家游戏、实时通信及其他对等服务. 目前实现 SIP 穿越防火墙和 NAT 问题的方法主要有:

(1) 使用应用层网关 ALG(application layer gateways), 国内在这方面做了一些研究工作^[37-39]. 应用层网关可以被设计成能够识别 H.323 和 SIP 协议的防火墙, 也被叫做 ALG Firewall. 它不是简单地查看包头信息来决定数据包是否可以通过, 而是更深层地分析数据包负载内的数据, 也就是应用层的数据. H.323 和 SIP 协议都在负载中放了重要的控制信息, 例如, 语音和视频终端使用哪一个数据端口来接收其他终端的语音和视频数据. 通过分析哪一个端口需要打开, 防火墙动态地打开那些被应用的端口, 而所有其他端口依然安全地保持关闭状态. 但是, 由于要分析数据包负载, 这样就加重了防火墙的处理任务, 影响网络的运行, 成为潜在的网络瓶颈; 并且如果网络中有多层防火墙和 NAT, 则在呼叫路径上的每个防火墙都必须被升级以支持 ALG 功能. 文献[38]提出用 SIP 协议的扩展实现 SIP-NAT 网关, 文献[39]给出了详细的 SIP ALG 解决方案.

(2) 隧道穿透方案. 即在防火墙和 NAT 设备的内外架设专门的隧道来传送 SIP 数据. 我们在这方面的研究工作实现了这种方案. 隧道穿透解决方案由两个组件构成: Server 端和 Client 端, 分别放在防火墙和 NAT 的外面和里面. Client 端具有网守和代理功能, 内部终端注册到 Client 上, 它和外部的 Server 创建一个信令和控制通道, 可以把所有的注册、呼叫控制信令以及媒体数据转发到 Server, 转发时进行端口映射. 这种解决方案的缺点是所有经过防火墙的通信都必须经由 Server 来进行中转, 这会引入潜在的瓶颈. 美国的 Ridgeway 公司也实现了这种解决方案.

(3) 虚拟专用网(VPN). VPN 技术是当前在 IP 网络上提供安全通信的方法之一, 在同一个 VPN 网内可以解决防火墙穿越问题; 在 VPN 技术中, 在 UDP 和 TCP 层下的 IPSec 层被用来提供安全的 IP 通信, 但由于基于 VPN 技术的 IPSec 层使用它自己的连接标识符而不是 UDP 或 TCP 端口, 而且 IPSec 上面的层要被加密, 这种解决方案无法处理对 NAT 尤其是 NAT 问题, 可以考虑实现防火墙、NAPT、VPN 功能三者结合进行解决. 这种方案的缺点就是它仅仅允许位于同一个 VPN 内的设备进行通信, 而无法与位于公众网的终端用户进行通信.

(4) 基于 UPnP 的解决方案. UPnP 的全称是 Universal Plug and Play(通用即插即用协议), 是为了在电脑、智能设备和智能家电之间建立无所不在的(pervasive)网络连接而提出的协议体系. 由微软公司发起, 在 1999 年成立了一个开放的产业联盟 UPnP Forum, 制订了一系列标准. 其中的 IGD(internet gateway device)工作委员会提出了穿透 NAT 的解决方案, 很多 NAT 设备制造商已经在新产品中支持这个协议. 它以 Internet 标准和技术(例

如,TCP/IP、HTTP和XML)为基础,使这样的设备彼此可自动连接和协同工作,从而使网络(尤其是家庭网络)对更多的人成为可能。

(5) STUN协议.STUN(simple traversal of UDP over NAT)是一个解决基于SIP的VoIP及其他IP多媒体应用系统穿透NAT的通信协议.一个支持STUN的SIP用户代理能够自行更改合法IP和虚拟IP之间的SIP/SDP包中的IP地址及端口的相应关系,因此能够让SIP和RTP包在不更改NAT和网络设置的情况下成功穿透NAT.IETF的建议标准RFC3489给出了详细的介绍。

(6) Full Proxy方法.Proxy有点类似于网关,只是在Proxy的两边都是同样的协议,它不具备协议转换的作用.Proxy可以对内外的IP网络都有所了解,并使基于IP的呼叫看起来像两个完全分离的呼叫:其中一个是从内部网络起呼的终端到Proxy,另一个是从Proxy到外部网络上的终呼终端.而这个Proxy则起到把两个呼叫融合在一起的作用,从而解决了NAT的问题。

(7) Middlebox Communications.它是一种新出现的概念,其目的是使用第三方应用程序(包括硬件设备)来控制FireWall/NAT设备动态地决定安全策略,以适应VoIP业务.第三方的应用程序使用MidCom定义的协议(或私有协议)控制FireWall/NAT设备根据“MultiMedia over IP”的需要动态地打开呼叫信令、媒体流互通的IP地址和端口号,这样Firewall/NAT系统就无须嵌入过多的对“MultiMedia over IP”协议分析、解析的功能,而只需要维持已经存在的安全策略及转发机制,从而实现Firewall/NAT设备的穿透。

综上所述,目前有很多穿透防火墙和NAT的方法,各种方法各有利弊,比如隧道穿透方法,布网简单,对所有的协议适用,不需要公布IP地址,但是所有的媒体都必须经过同一个Server,存在潜在时延和性能瓶颈;STUN方法需要终端支持,目前尚不支持对防火墙穿透的支持;完全代理方法需要公开IP相应的地址,需要额外的IP地址,同时存在潜在的性能瓶颈;使用应用层网关的方法,不需要增加新设备,但是需要对防火墙和NAT设备进行更新等等.总之,以上方法各有优缺点,需要在使用时根据实际情况选择最合适的方法。

2.6 SIP消息头和方法的扩展

本节对SIP工作组已经发表的和尚处于草案阶段的重要消息体和方法的扩展进行简单总结,见表4.其中SUBSCRIBE/NOTIFY方法在第2节的举例中已经使用到了,关于这部分的详细描述,参见文献[7-20]。

Table 4 SIP extensions

表4 SIP扩展

Message head and method extension	Meaning	Message head and method extension	Meaning
SUBSCRIBE/NOTIFY	Subscribe/notify	Accept-Contact	Accept contact address
REFER	Reference	Reject-Contact	Reject contact address
MESSAGE	Human-readable message	Request-Disposition	Request disposition
PRACK	Acknowledge provisional response	DO	Carry command
UPDATE	Update parameters	Privacy	Privacy security
COMET	Assuring preconditions	P-Asserted-Identity	Privacy extensions for trusted network to carry the identity
INFO	Transport mid-session information	P-Preferred-Identity	

2.7 其他

SIP工作组还定义了一些其他的扩展功能,如使用MESSAGE方法用于即时消息的发送,以多用途Internet邮件扩展(MIME)的格式接收多消息体,事件的异步通知功能,第三方控制功能,呼叫者喜好自定义,预处理会话,用户代理的自动配置等。

2.8 SIP应用进展及研究动态

3GPP(3rd generation partnership project,第三代移动通信伙伴项目)^[40]工作组已经决定采用SIP作为其IP多媒体域的工作协议,其目标是对Internet所拥有的所有成功服务提供无处不在的接入,将Internet世界和蜂窝世界融合在一起.3G网络被分为3个不同的域,分别是:电路交换域、分组交换域和IP多媒体子系统域.电路交换域的职能是采用电路交换技术继续提供第二代移动通信系统所具有的语音和多媒体服务;分组交换域的职能是为终端提供Internet的接入,它主要被视为一种接入技术(在第二代移动通信系统中,这种目的通过拨号连

接和综合业务数字网 ISDN 来实现);IP 多媒体子系统域是 3G 中最重要的域,这个域采用 SIP 协议作为主要的信令协议向用户提供基于 Internet 的多媒体服务.从逻辑上讲,所有的 3G 终端都包含一个 SIP 用户代理 UA,IP 多媒体网络节点就是 SIP 的代理,这里给它赋予一个新的名字:呼叫/会话控制功能 CSCF(call/session control functions),有 3 种形式的 CSCF:P-CSCF(proxy-CSCF,代理 CSCF),S-CSCF(serving-CSCF,服务 CSCF),I-CSCF(interrogating-CSCF,询问 CSCF).P-CSCF 是网络和终端之间的联系点,S-CSCF 的作用是为用户提供用户所预定的服务,I-CSCF 的任务是为用户找到需要的 S-CSCF.另外,在 3G 的系统中还有一个叫家庭服务预定器 HSS(home subscriber server)的网络节点,其作用是接收 CSCF 的信息查询.

图 6 给出了一个漫游用户之间会话的流程.文献[41]介绍了基于 SIP 的 3G 呼叫控制系统的容错特性.无线技术论坛(3GPP,3GPP2,MWIF)选择 SIP 作为 IP 多媒体子系统(IMS)会话管理协议,在 IMS 里,SIP 信令执行呼叫状态控制功能(CSCF),特定的 CSCF 服务将使用冗余支持容错性.文章提出了一个基于 SIP 的容错机制系统,并使用通用状态共享机制提高 SIP 会话的可靠性.

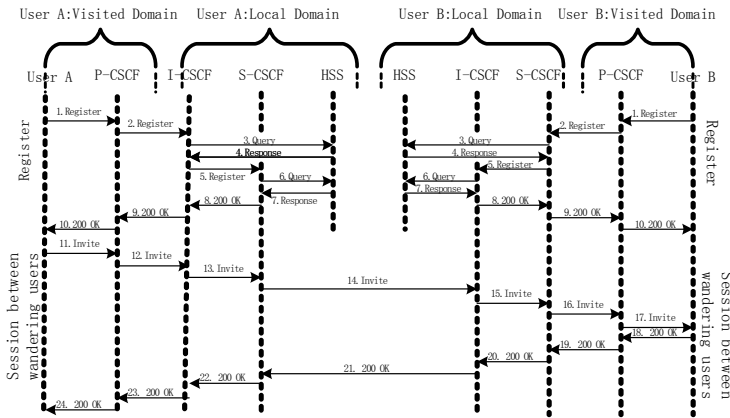


Fig.6 Roamed session between 3G users using SIP
图 6 3G 用户间使用 SIP 建立的漫游会话

有线电视缆接入网络提供音频、视频、多媒体服务,使用一种叫做线缆调制解调器(cable modem)的设备,为用户提供 SIP 多媒体服务,详细描述见文献[42].使用 SIP 建立多媒体会议^[43,44]也是目前主要的研究工作,研究的重点一般在如何提供 QoS、安全、可控的多媒体会议框架,会议具有三方通话、定制工作安排、备忘录、支持多个 IM 会议室等功能.将 SIP 用于网络控制领域是另外一个热点研究领域^[45-47].当我们的日常用具、冰箱、闹钟、门锁、电灯都有一个网络接口的时候,它们就变成了网络用具,目前已经有研究工作说明了这些网络化的用具的可控性,但是还没有成熟可行的解决方案用于网络用具的中间域通信,SIP 协议成为扮演这个角色的候选工具.文献[45]介绍了 SIP 用于网络用具(networked appliances,简称 NAs)的一个场景.网络用具是被广泛认可的下一个主要的 Internet 应用,比如,一个可以根据日程安排自动调整叫醒时间的电子闹钟、天气和交通状况预报、家庭安全系统(比如在办公室可以看到某个人走进你的家庭);再如,电冰箱可以向服务站汇报它需要修理,甚至都可以不让主人知道.一个 NA 是一个带有嵌入式处理器和网络连接的具有专门功能的消费设备.基于 SIP 的网络用具服务体系结构如图 7 所示^[45].文献[46]研究了 SIP 在网络用具中应用的安全性问题.基于 SIP 的 IP 电话系统和多媒体会议控制系统是目前 SIP 应用领域应用最广泛,也是发展最快的一个研究领域,目前的研究工作涵盖 VoIP 系统实现、多媒体通信体系结构、性能分析、无线语音通信等领域^[48-51],其他的研究工作还包括 SIP 的应用领域,如远程教育、多媒体分发、P2P 网络等.

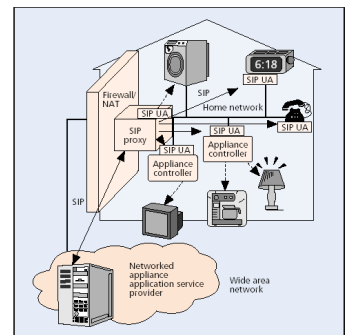


Fig.7 SIP in NAs architecture

图 7 SIP 在网络用具体系结构中的应用

目前活跃在 SIP 领域并且在某一方面取得重要进展的研究机构还包括:(1) Columbia 大学 RTI 实验室,在研项目为互联网扩展多媒体体系结构 CINEMA(Columbia InterNet extensible multimedia architecture)^[52];(2) iptel 工作组的 SER(SIP express router)项目,用于开发 SIP 应用^[53];(3) Vovida 的 Vovida Open Communication

Application Library (VOCAL)项目^[54];(4) PurpleCom公司的reSIProcate项目,实现SIP的协议栈并开发SIP应用;(5) IBM公司基于SIP的信息设施基础化建设;(6) Cisco和DataConnection等公司基于SIP实现VoIP及其他高级应用;(7) 中国科学院沈阳计算机应用研究所、中国科学院计算所等单位的SIP应用项目;(8) 北京大学计算机科学技术研究所SIP研究小组,目标是实现基于SIP的安全、可控、可扩展的多媒体通信体系结构及应用^[29,55],等等.这些研究机构的研究范围包括:SIP协议栈实现,基于SIP的语音、视频及多媒体、无线通信、分布式计算等应用,完善SIP体系结构,解决目前SIP中存在的安全、QoS、互操作性等问题,SIP在软交换及下一代网络体系结构中的应用等,他们的研究同时也代表了SIP领域的发展方向.

3 总结与展望

IETF的SIP工作组完成的SIP标准引导了目前网络和通信领域一大热点.随着SIP扩展协议对SIP核心的逐渐完善和补充,SIP标准将会发挥越来越重要的作用.3GPP、PacketCable、网络用具研究机构将SIP作为工作协议极大地促进了SIP标准的进一步发展,而多媒体会议、VoIP、多媒体分发等领域逐步采用SIP协议进行实现,标志着SIP已经成为一个应用范围广泛、逐步走向成熟的协议.在VoIP领域,SIP的出现动摇了H.323协议族的首席地位.在SIP领域的研究重点除了上述之外,还包括使用SIP协议的QoS、安全性、成熟的体系结构框架、软交换、下一代网络NGN等方面.SIP工作组将会继续发挥其主导作用,促进SIP协议的更加完善和更广泛的应用.目前,SIP协议已经成为下一代网络中软交换的核心协议之一,我们相信,随着SIP相关标准的进一步完善以及国内外对SIP应用研究的进一步深入,SIP协议将在下一代网络协议族中发挥越来越大的作用.

致谢 感谢导师王选院士、陈堃铎教授和邹维研究员多年来的关心和悉心指导;感谢叶志远老师的支持帮助;感谢白敏珠老师的关心督促.在此一并表示感谢!

References:

- [1] Rosenberg J, Schulzrinne H, Camanilo G. SIP: Session initiation protocol. Internet RFC 3261, 2002.
- [2] Schulzrinne H, Rosenberg J. The session initiation protocol: Internet-Centric signaling. IEEE Communications Magazine, 2000. 134-141.
- [3] Garcia-Martin M, Henrikson E, Mills D. Private header (P-Header) extensions to the session initiation protocol (SIP) for the 3rd-generation partnership project (3GPP). Internet RFC3455, 2003.
- [4] Handley M, Jacobson V. SDP: Session description protocol. Internet RFC 2327, 1998.
- [5] Arkko J, Torvinen V, Camarillo G, Niemi A, Haukka T. Security mechanism agreement for the session initiation protocol (SIP). Internet RFC 3329, 2003.
- [6] Rosenberg J, Schulzrinne H. Session initiation protocol (SIP): Locating SIP servers. Internet RFC 3263, 2002.
- [7] Rosenberg J, Schulzrinne H. Reliability of provisional responses in the session initiation protocol (SIP). Internet RFC 3262, 2002.
- [8] Rosenberg J, Schulzrinne H. An offer/answer model with the session description protocol (SDP). Internet RFC 3264, 2002.
- [9] Roach AB. Session initiation protocol (SIP)-specific event notification. Internet RFC 3265, 2002.
- [10] Camarillo G, Monrad A. Mapping of media streams to resource reservation flows. Internet RFC 3524, 2003.
- [11] Rosenberg J. The session initiation protocol (SIP) UPDATE method. Internet RFC 3311, 2002.
- [12] Camarillo G, Marshall W, Rosenberg J. Integration of resource management and session initiation protocol (SIP). Internet RFC 3312, 2002.
- [13] Marshall W. Private session initiation protocol (SIP) extensions for media authorization. Internet RFC 3313, 2003.
- [14] Peterson J. A privacy mechanism for the session initiation protocol (SIP). Internet RFC 3323, 2002.
- [15] Sparks R. The session initiation protocol (SIP) refer method. Internet RFC 3515, 2003.
- [16] Schulzrinne H. Requirements for resource priority mechanisms for the session initiation protocol (SIP). Internet RFC 3487, 2003.
- [17] Campbell B, Rosenberg J. Session initiation protocol (SIP) extension for instant messaging. Internet RFC 3428, 2002.
- [18] Willis D, Hoeneisen B. Session initiation protocol (SIP) extension header field for registering non-adjacent contacts. Internet RFC 3327, 2002.
- [19] Ramsdell B. Secure/Multipurpose Internet mail extensions version 3 message specification. Internet RFC 2633, 1999.
- [20] Donovan S. The SIP INFO method. Internet RFC 2976, 2000.
- [21] Schulzrinne H, Casner S. Real-Time transport protocol. Internet RFC 1889, 1996.
- [22] Schulzrinne H, Rao A, Lanphier R. Real-Time streaming protocol. Internet RFC 2326, 1998.
- [23] Cuervo F, Greene N, Rayhan A. Megaco protocol version 1.0. Internet RFC 3015, 2000.
- [24] Yeong W, Howes T, Kille S. Lightweight directory access protocol. Internet RFC 1777, 1995.
- [25] Rosenberg J, Schulzrinne H. The SIP supported header. Internet draft-ietf-sip-serverfeatures-00.txt, 2002.

- [26] Rosenberg J, Schulzrinne H. Guidelines for authors of SIP extensions. Internet draft-ietf-sip-guidelines-06.txt, 2002.
- [27] Stefano S, Luca V, Donald P. SIP security issues: The SIP authentication procedure and its processing load. IEEE Network, 2002, 38-44.
- [28] Si DF, Pan AM. Research of voice over IP security. Computer Engineering, 2004,30(18):105-107 (in Chinese with English abstract).
- [29] Si DF, Long Q, Han XH, Zou W. Security mechanisms for SIP-based multimedia communication infrastructure. In: Li LM, ed. Proc. of the 2nd IEEE Conf. on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS). IEEE Press, 2004. 575-578.
- [30] Wu JS, Wang PY. The performance analysis of SIP-T signaling system in carrier class VoIP network. In: Wu C, ed. Proc. of the IEEE 17th Int'l Conf. of Advanced Information Networking and Applications (AINA 03). Washington DC: IEEE Computer Society, 2003. 39-44.
- [31] Zhang C, Guy CG. TE-SIP server design for a SIP-over-MPLS based network. Proc. of the IEEE Communication Technology (ICCT). 2003,(2):1758-1761.
- [32] Victor YH, Rahim T, Barry E. Performance evaluation of SIP-based session establishment over satellite-UMTS. IEEE Communications Magazine, 2003. 1381-1385.
- [33] Zhang Y. SIP-based VoIP network and its interworking with PSTN. Electronics & Communication Engineering Journal, 2002. 273-282.
- [34] Toufik A, Ahmed M, Raouf B. Interworking between SIP and MPEG-4 DMIF For heterogeneous IP video conferencing. In: Proc. of the IEEE Communications (ICC). Vol.4, 2002. 2469-2473.
- [35] Schulzrinne S. Interworking between SIP/SDP and H.323. Internet draft-singh-sip-h323, 2003.
- [36] Ho JM, Hu JC, Peter S. A conference gateway supporting interoperability between SIP and H.323. In: Proc. of the 9th ACM Multimedia Conf. New York: ACM Press, 2001. 421-430.
- [37] Wei L, Li T, Lei WM. Design and implementation of a SIP-based voice mail service. MIMI-MICRO Systems, 2003, 24(2):184-187 (in Chinese with English abstract).
- [38] Cheng YW, Lei WM. A solution to realize SIP-NAT in network layer with SIP extension. MINI-MICRO Systems, 2003, 24(1):151-153 (in Chinese with English abstract).
- [39] Luo Q, Xu L, Chang ZQ. Solution and implementation of ALG base on SIP. Computer Applications, 2003,23(2):120-122 (in Chinese with English abstract).
- [40] 3GPP. <http://www.3gpp.org/>
- [41] Bozinovski M, Gavrilovska L, Prasad R. Fault-Tolerant SIP-based call control system. Proc. of the IEEE 23rd Electronics Letters, 2003,39(2):254-256.
- [42] PacketCable. <http://www.packetcable.com/>
- [43] Petri K, Schulzrinne H, Wu XT. A SIP-based conference control framework. In: Kevin A, Jim G, eds. Proc. of the Int'l Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video(NOSSDAV 2002). ACM Press, 2002. 53-61.
- [44] Venkatesha RP, Richard H, Jamadagni HS. A scalable distributed VoIP conferencing using SIP. In: Proc. of the IEEE 8th Int'l Symp. on Computers and Communications (ISCC'03). New York: IEEE Computer Society, 2003. 608-613.
- [45] Stan M, Dave M, Simon T, Abhrajit G. Service portability of networked appliances. IEEE Communications Magazine, 2002. 116-121.
- [46] Tat C, Senthil S. On applying SIP security to networked appliances. In: Proc. of the IEEE 4th Int'l Workshop on Networked Appliances. New York: IEEE Press, 2002. 31-40.
- [47] Rahman M, Akinlar C. On secured end-to-end appliance control using SIP networked appliances. In: Charles J, Madjid M, eds. Proc. of the IEEE 5th Int'l Workshop on Networked Appliances. New York: IEEE Press, 2003. 24-28.
- [48] Goode B. Voice over Internet protocol (VoIP). Proc. of the IEEE, 2002,90(9):1495-1517.
- [49] Jiang WY, Kazuumi K, Schulzrinne H. QoS evaluation of VoIP end-points. Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications (ICC), 2003,26(1):1917-1921.
- [50] Shen QG. Performance of VoIP over GPRS. In: Proc. of the IEEE 17th Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications (AINA 03). New York: IEEE Computer Society, 2003. 611-614.
- [51] Chen XZ, Wang CF, Xuan D, Li ZC, Min YH, Zhao W. Survey on QoS management of VoIP. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Computer Networks and Mobile Computing (ICCNMC 03). IEEE Computer Society, 2003. 69-77.
- [52] CINEMA: Columbia InterNet Extensible Multimedia Architecture. <http://www.cs.columbia.edu/IRT/cinema/>
- [53] Iptel.org, the IP Telephony Site. <http://www.iptel.org/>
- [54] SIP Stack. <http://www.vovida.org/protocols/downloads/sip/>
- [55] Si DF, Long Q, Han XH, Zou W. SMCI: A secure multimedia communication infrastructure based on SIP. In: Pedy P, ed. Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Computer Science and its Application (ICCSA). San Diego: National University Press, 2004. 67-71.

附中文参考文献:

- [28] 司端锋,潘爱民.IP 电话中的安全性研究,计算机工程,2004,30(18):105-107.
- [37] 魏磊,李彤,雷为民.基于 SIP 协议的语音邮件服务的设计与实现.小型微型计算机系统,2003,24(2):184-187.
- [38] 程延伟.利用 SIP 协议扩展实现 SIP-NAT 网关.小型微型计算机系统,2003,24(1):151-153 .
- [39] 罗强.针对 SIP 的 ALG 解决方案及实现.计算机应用,2003,23(2):120-122.