

# 第三代移动通信 GSN 性能管理分析

黄国富

(青岛农业大学 网络管理中心, 山东 青岛 266109)

**摘要:**为了设计高性能 GSN 系统、做好系统容量规划、提升系统服务性能,以分析 3G 系统中 GSN 子系统关键性能测量、数据处理能力、未来容量预期及挖掘性能管理数据为系统业务规划提供依据是文中的主要目的。运用了信令面模型和数据面模型统计方法分析系统的容量和性能,接入模式不同的归一化处理容限边界条件方法来分析数据处理能力以及多元线性回归法预测网络流量。仿真分析和实践应用结果表明 GSN 系统在多种混合复杂接入模式下,能有效分析网络业务负荷状况、预测流量趋势、帮助问题定位以及优化网络性能。

**关键词:**服务接入点;忙时信令尝试;通用无线分组服务;GPRS 支持节点;性能管理;关键性能指标;用户面业务处理能力

**中图分类号:** TN929.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)08-0213-04

## Analysis of Performance Management for 3G GSN

HUANG Guo-fu

(Network Management Center, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of planning network capacity and improving the quality of service for high performance GSN, the main purpose of the paper is analyzing the key performance indicators, data processing capability, prediction of network capacity and performance data mining for providing. The methods used in the paper are the computing method of analysis model for GSN and the method of planning network capacity. By means of analyzing signaling service model and data service model, can plan the capacity of system network and measure the performance management analysis of 3G GSN. In addition, the method of normalization for processing on tolerance-boundary conditions is established to analyze data processing capability and network traffic is predicted with multiple linear regressions. The above methods have been implemented effectively to forecast the trend of network traffic and optimize the performance of network. The practical results show that the above policy models meet the requirement of the performance management for 3G GSN and have been testified in experiment effectively.

**Key words:** access point name (APN); busy hour signaling attempts (BHSA); general packet radio service (GPRS); GPRS support node (GSN); performance management (PM); key performance indicator (KPI); user plane traffic processing capability (UPTPC)

## 0 引言

通信系统性能分析在通信网网络管理中起着非常重要的作用,它不但可以报告通信网络的运行状态,分析其业务量,而且还可以反映现有系统的服务质量的变化和发展趋势,统计客户通信习惯<sup>[1]</sup>;根据性能分析结果数据进行网络优化,问题定位,预测运营收入,而且为以后构建通信网络提供规模和性能方面的参数数据,可见性能分析在通信系统网络管理中是一块不可或缺的部分。

现有 GSM 系统应用广泛,其性能分析方法可以为 3G 系统性能分析提供有价值的参考。GSM 核心网

络的性能分析方法基于 3GPP TS12.04 提供的原始测量数据,建立 GSM 系统分析模型,通过定义 KPI 进行业务模型统计。不过应该注意的是其网络呼叫模型主要从传统交换机制演化而来,通常用 Poisson 模型来描述数据网络的流量模型<sup>[2]</sup>。而 GPRS 作为 2.5G 的亮点现正处于过渡状态,根据其技术特点,其性能分析有基于传统交换的部分,也有 IP 交换网络的特点。3G GPRS 核心网络部分继承了 2.5G 的部分系统结构,在其性能分析上也有其相似之处。3G GSN 性能分析管理要求不但要对原始测量数据进行分析,而且要求能够根据结果分析网络业务负荷状况<sup>[3,4]</sup>、帮助问题定位<sup>[5]</sup>、进行网络优化<sup>[6,7]</sup>等,真正体现管理的特点。

## 1 性能分析模型

### 1.1 KPI (Key Performance Indicator)

3GPP 规定了 GSN 的大部分原始性能测量数据,

收稿日期:2010-12-27;修回日期:2011-03-14

基金项目:科技部中国农村技术开发中心资助项目(2010GA741005)

作者简介:黄国富(1979-),男,江苏泰州人,硕士研究生,工程师,研究方向为网络与多媒体通信,音视频编解码研究。

这些测量项可以按照反映 GSN 网络和业务性能的程度分为关键测量项和非关键测量项。KPI 主要应用于 PM 报表以及业务模型计算方法中,直接反映了现有系统关键进程的处理性能。KPI 通常出现于各个缺省报表中,在业务模型、系统规划中也需要参考 KPI 值。下面列出的是 GSN 所需要定义的 KPI,其中斜体为 3GPP 规定的原始性能测量数据。

Attach 过程是 MS 向 GSN 接入 GPRS 服务的第一个信令过程<sup>[3]</sup>,其中需要完成 GSN 对 MS 的鉴权以及 MS 对网络的鉴权,分配临时的 P-TMSI,向 HLR 更新路由区。Attach 过程的原始测量各种 Attach 类型的测量时间发起次数 attAttach 和成功次数 succAttach 应定为关键测量。

Detach 过程由 MS 用来通知其不再接入 SGSN 的业务<sup>[3]</sup>。Detach 过程的测量参数:Detach 过程的原始测量各种 Detach 类型的测量时间发起次数 attDetach 和成功次数应定为关键测量。

Routing Area Update 过程发生在 MS 进入新的路由区域或者周期性路由更新或者 RRC 连接被释放而且原因是直接信令连接重建<sup>[3]</sup>。Routing Area Update 过程的原始测量各种 Update 类型的测量时间发起次数 attRau 和成功次数 succRau 应定为关键测量。

Authentication and Ciphering 过程由 SGSN 发起,用来验证 MS 用户的合法性<sup>[3]</sup>。Authentication and Ciphering 过程的测量时间发起次数 attAuth 和成功次数 succAuth 应定为关键测量。

PDP Context Activation 过程由已经 Attach 的 MS 用来建立承载、接入 PDN 网络,也就是通常所说的 PS 呼叫<sup>[3]</sup>。PDP Context Activation 过程的成功率和单位时间发起次数 attActPdpCtxMs 和成功次数 succ Act Pdp Ctx Ms 应定为关键测量。

短消息过程由 MS 向其他终端发送短消息或者网络向 MS 发送短消息<sup>[2]</sup>。MO SMS 过程,MT SMS 过程的测量时间发起次数 attSmsMo, attSmsMt 和成功次数 succSmsMo, succSmsMt 应定为关键测量。

Reallocation 过程使 UTRAN 向 CN 的接入点从 SRNS 转移到 TRNS<sup>[3]</sup>。Reallocation 过程的单位时间发起次数 attRealloc 和成功次数 succRealloc 应定为关键测量。

SGSN 数据面测量直接反映了 SGSN 的数据业务流量、强度、突发性,故 Iu 接口上行数据包数量 Nbr In-Iu Gtp UDataPkt,下行数据包数量 nbrOutIuGtpUDDataPkt,上行数据包长 nbrInIuGtpUDDataOct,下行数据包长 nbrOutIu GtpUDDataOct、Gn 接口的数据面测量下行数据包数量 nbrInGnGtpUDDataPkt,上行数据包数量 nbrO-uGntGtpUDData Pkt,下行数据包长 nbrInGnGtpUDDataOct,

上行数据包长 nbrOutGnGtpUDDataOct 都应定为关键测量。

用户管理测量平均处于 IDLE 状态用户数 mean-PmmIdleSubs,平均处于 CONNECTED 状态用户数 MeanPmmConn Subs,平均 Attached 用户数 meanAttachedSubsUmts,平均已激活用户数 meanSubsWithActPdpContext,平均已激活上下文数 meanActPDPContext 反映了 GSN 网络服务的用户数量,应定为关键测量。

APN 对应了具体的服务内容,如 MMS、WAP 等等,单位时间各个 APN 对应的 PDP 激活次数 attActPdpContext Umts、成功次数 succActPdpContextUmts、资源不足导致的失败次数 failActPdpContextNoResource、平均激活数量 meanActPdpContext、平均呼叫建立时间 meanActPdpContextSetupTime、平均通话时长 meanAct-Duration Time 都应定为关键测量。

GSN 数据面统计 Gn 接口下行数据包数 nbrOut-DataPktGn、上行数据包数 nbrInDataPktGn、上行数据包平均包长 nbrInDataOctGn、下行数据包平均包长 nbrOutDataOctGn、Gi 接口对应各个 APN 的上行数据包数 nbrOut DataPktGi、平均包长 nbrOutDataOctGi,下行数据包数 nbrInDataPktGi、平均包长 nbrInDataOctGi。

## 1.2 业务模型计算方法

一般 GSN 业务模型可以分为信令面业务模型和数据面业务模型,考虑信令面业务模型统计信令过程的密度和强度,数据面业务模型统计数据流量和突发性,这两方面直接决定了系统的容量和性能。

表 1 主要是 GSN 信令面模型计算方法和描述。其中 nbrHomeSub 为本地归属用户数,nbrVisitNatSub 为国内归属用户数,nbrVisitForeign 为国外归属用户数。

表 1 GSN 信令面模型计算表

信令面模型	计算	描述
bhsaAttach	attAttach / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时 Attach 尝试次数
bhsaDetach	attDetach / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时 Detach 尝试次数
bhsaRau	attRau / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时 RoutingArea Update 尝试次数
bhsaAuth	attAuth / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时鉴权次数
bhsaRealloc	attRealloc / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	Reallocation 忙时尝试次数
bhsaSmsMo	attSmsMo / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时用户发送短消息次数
bhsaSmsMt	attSmsMt / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时用户接收短消息次数
bhsaActPdp	attActPdpCtxMs / (nbrHomeSub + nbrVisitNatSub + nbrVisitForeign)	忙时用户激活 PDP 次数

数据面业务模型可以分成两个部分:数据流量模型和业务分类模型。数据流量模型统计和分析通过 GSN 的 Iu 接口、Gn 接口数据吞吐量,平均包长,和平

均包处理能力;业务分类模型统计和分析针对不同业务 GSN 的数据处理能力。表 2 为数据面流量模型计算表。

表 2 数据面数据流量模型计算表

数据流量模型	计 算	描 述
ppslu	$(nbrInIuGtpUDDataPkt + nbrOutIuGtpUDDataPkt) / duration$	Iu 接口包处理能力
avgInIuPktLen	$nbrInIuGtpUDDataOct + 20$	Iu 接口上行平均包长
avgOutIuPktLen	$nbrOutIuGtpUDDataOct + 20$	Iu 接口下行平均包长
bpslu	$(nbrInIuGtpUDDataPkt * avgInIuPktLen + nbrOutIuGtpUDDataPkt * avgOutIuPktLen) * 8 / duration$	Iu 接口数据吞吐量
ppsGnSgsn	$(nbrInGnGtpUDDataPkt + nbrOutGnGtpUDDataPkt) / duration$	Gn 接口 SGSN 侧包处理能力
avgOutGnPktLenSgsn	$nbrOutGnGtpUDDataOct + 20$	Gn 接口 SGSN 侧上行平均包长
avgInGnPktLenSgsn	$nbrInGnGtpUDDataOct + 20$	Gn 接口 SGSN 侧下行平均包长
bpsGnSgsn	$(nbrInGnGtpUDDataPkt * avgInGnPktLenSgsn + nbrOutGnGtpUDDataPkt * avgOutGnPktLenSgsn) * 8 / duration$	Gn 接口 SGSN 侧数据吞吐量
ppsGnGgsn	$(nbrInDataPktGn + nbrOutDataPktGn) / duration$	Gn 接口 GGSN 侧包处理能力
avgOutGnPktLenGgsn	$nbrOutDataOctGn$	Gn 接口 GGSN 侧上行平均包长
avgInGnPktLenGgsn	$nbrInDataOctGn$	Gn 接口 GGSN 侧下行平均包长
bpsGnGgsn	$(nbrInDataPktGn * avgInGnPktLenGgsn + nbrOutDataPktGn * avgOutGnPktLenGgsn) * 8 / duration$	Gn 接口 GGSN 侧数据吞吐量
ppsGi	$\Sigma (nbrOutDataPktGi + nbrInDataPktGi) / duration$	Gi 接口平均包处理能力
avgOutGiPktLen	$\Sigma nbrOutDataOctGi (APN) / APN\_NBR$	Gi 接口平均上行包长
avgInGiPktLen	$\Sigma nbrInDataOctGi (APN) / APN\_NBR$	Gi 接口平均下行包长
bpsGi	$\Sigma (nbrOutDataPktGi * nbrOutDataOctGi + nbrInDataPktGi * nbrInDataOctGi) * 8 / duration$	Gi 接口数据吞吐量

APN 对应了 GSN 或者 ISP 提供的业务类型,针对 APN 进行的数据统计对于分析 CN 分组域业务特性提供了分析参考。表 3 为 APN 业务模型计算表,组中统计数据为 GPRS 的互联网业务模型研究提供了分析依

据和基础。

表 3 APN 业务相关模型计算表

APN (业务)	统 计	描 述
平均上行数据包长	$nbrOutDataOctGi$	针对该业务的平均上行数据包长
平均上行数据包处理能力	$nbrOutDataPktGi$	针对该业务的平均上行数据包处理能力
平均下行数据包长	$nbrInDataOctGi$	针对该业务的平均下行数据包长
平均下行数据包处理能力	$nbrInDataPktGi$	针对该业务的平均下行数据包处理能力
吞吐量	$(nbrOutDataPktGi * nbrOutDataOctGi + nbrInDataPktGi * nbrInDataOctGi) * 8 / duration$	针对该业务的数据吞吐量

1.3 GSN 容量规划方法

系统容量规划<sup>[8]</sup>需要根据网络的业务模型和实际系统的性能综合进行,实际系统的性能分析由业务模型分析提供。GSN 系统容量规划可以按照 3GPP 划分方法分为数据面规划和信令面的规划。具体的规划方法如图 1 所示。

GSN 系统多信令板和多数据板、核心板以及接口板的结构为系统规划提供了便利条件,计算系统的大小时可以按照信令板、数据板和接口板的容量分别计算。信令面容量规划以系统支持的用户数和 BHSA 为标准,选取典型配置中信令面 BHSA 处理大于给定信令业务模型 1/3~1/2 的配置。数据面容量规划,归一化标准可以用数据吞吐量作为衡量单位,另外根据不同的业务具体分析。

分析 GSN 特别是 GGSN 的数据处理能力在多种接入模式混合的情况下是复杂的,下面给出的一种方法是计算各个接入模式不同的归一化处理容限的边界条件法。定义典型配置的 GGSN 业务处理能力为:

$$UPTPC = Nps\_sub * PPS\_per\_sub * Lpacket\_size \quad (2.1)$$

其中 Nps\_sub 为典型配置所支持的最大用户数,PPS\_per\_sub 为用户平均包处理数量,Lpacket\_size 为平均包长。

GGSN 可见接入模式基本可以分为 raw IP, L2TP 和 IPSEC。定义 raw IP 接入模式处理能力为:

$$UPTPCraw\_ip = Nps\_rawip\_sub * PPS\_rawip\_per\_sub * Lrawip\_packet\_size \quad (2.2)$$

定义 L2TP 接入模式处理能力:

$$UPTPCI2tp = Nps\_l2tp\_sub * PPS\_l2tp\_per\_sub * Ll2tp\_packet\_size \quad (2.3)$$

定义 IPSEC 接入模式处理能力:

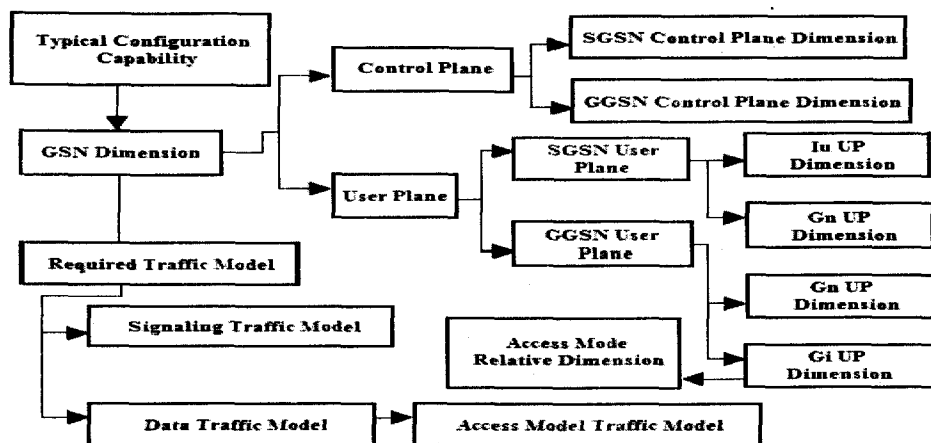


图 1 GSN 系统规划流程

$$\text{UPTPCipsec} = \text{Nps\_ipsec\_sub} * \text{PPS\_ipsec\_per\_sub} * \text{Lipsec\_packet\_size} \quad (2.4)$$

如图 2 所示, a 点对应了 UPTPCraw\_ip, b 点对应了 UPTPCipsec, c 点对应了 UPTPCipsec, 那么这个系统在混合接入模式下的性能应该在 Capability 边界平面以内。做归一化处理得到如下:

$$\text{RATIOipsec} = \text{UPTPCraw\_ip} / \text{UPTPCipsec} \quad (2.5)$$

$$\text{RATIOl2tp} = \text{UPTPCraw\_ip} / \text{UPTPCl2tp} \quad (2.6)$$

将各种接入模式按照归一化比例平均到每个用户上, 可以计算出该配置所支持的用户数:

$$\text{Num\_ps\_sub} = \text{UPTPC\_rawip} / (\text{PPS\_rawip} * \text{L\_rawip\_packet\_size} + \text{PPS\_ipsec} * \text{L\_ipsec\_packet\_size} * \text{RATIO\_ipsec}) \quad (2.7)$$

上面给出了典型配置的数据处理能力计算以及用户数计算, 在用运营商给出的业务模型做容量和系统的规划时, 将业务模型归一化为 UPTPC 值, 选取支持用户数满足和 UPTPC 值同时满足业务模型的典型配置就可以了。

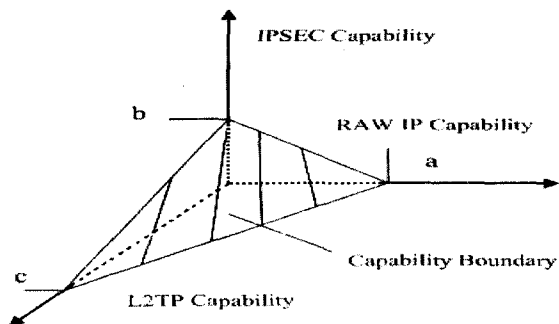


图 2 混合接入模式处理能力的边界定义

#### 1.4 网络流量分析与预测

网络流量的分析和预测意义在于能够解决现有系统容量的验证、接入模式利用率分析和优化、收入估算、未来容量预期等等。Joseph L. Hellerstein, Fan Zhang 和 Perwez Shaba buddin 研究了网络流量的自相似性<sup>[9,10]</sup>, 提出了根据时间/天, 天/周, 月三元因素影

响的流量模型<sup>[11]</sup>,  $y_{ijkl} = u + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijkl}$ , 其中  $u$  为流量均值;  $\alpha_i$  为时间/天的影响,  $\sum_i \alpha_i = 0$ ;  $\beta_j$  为天/周的影响,  $\sum_j \beta_j = 0$ ;  $\gamma_k$  为月的影响,  $\sum_k \gamma_k = 0$ ;  $\varepsilon_{ijkl}$  为随机误差<sup>[12]</sup>。从该模型可知  $\alpha_i$  和  $\beta_j$  反映了短期内的周期性影响, 而  $\gamma_k$  则反映了长期的

变化影响, 比如说用户数量的增长等。为此该模型可以直接应用 GSN 网络流量分析和预测中, 也可根据每用户业务增长和用户的增长来定义模型, 这样对 GSN 系统流量分析来说更加直观。网络预测主要通过多元线性回归<sup>[13]</sup>方程来实现与分析。

## 2 结束语

第三代移动通信网络的建设、规划以及应用正如火如荼地进行中, 如何能够全面地把握好系统的业务容量规划、系统运行服务的质量等, 笔者对 GSN 性能管理作了相关研究与分析。GSN 系统设计、性能评估、预测依赖于有效的测试和分析, 着重于根据性能管理统计原始数据来构造 GSN 业务模型, 进行系统容量规划以及流量分析, 根据结果分析网络业务负荷状况、帮助问题定位、进行网络优化等。

#### 参考文献:

- [1] 顾亦然, 谢鸿飞, 李金发. 移动通信网络中人类行为动力学的研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(9): 57-65.
- [2] Fuchs E, Jackson P E. Estimates of Distributions of Random Variables for Certain Computer Communication Traffic Models[J]. Comm. of ACM, 1970, 13(12): 752-767.
- [3] 郭彬. 信令网负荷优化解决方案[J]. 数字通信世界, 2010(1): 66-69.
- [4] 陈国平. WCDMA 和 TD-SCDMA 信令切换及优化方式对比[J]. 数据通信, 2010(6): 40-42.
- [5] Duffy D E, McIntosh A A, Rosenstain M, et al. Statistical analysis for CCSN/SS7 Traffic Data from Working CCS Subnetworks[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communication, 1994, 12(3): 544-551.
- [6] Hellerstein J L, Zhang Fan, Shababuddin P. Characterizing Normal Operation of a Web Server: Application to Workload Forecasting and Problem Detection[M]//Proceedings of the Computer Measurement Group. [s. l.]: [s. n.], 1998.
- [7] 陈寿峰. 3G 移动通信系统的无线网络优化[D]. 无锡: 江

(下转第 249 页)

书销售商 XML 订单在加密前显示完整信息,书名:计算机技术与发展,书号:CN61-1450/TP,数量:70,卡号:60987997,持卡人:常青,支付日期:2010-03-12。

传送到出版商的 XML 订单已加密,订单信息见图4。对每行的解释如下:

[01~23] 这是一个书销售商发送给书出版商的对信用卡信息加密后的 XML 文档订单;[04~08] 这是有关订单的详细信息,是非敏感信息,以供书出版商的销售部门查看;[09~22] 其中包含的是信用卡加密后的信息,仅供会计部门解密查看;[11~18] 提供了相关的加密信息,如密钥标识符、加密算法,以便会计部门解密;[19~21] 加密的密文信息。

```
[01]<?xml version="1.0"?>
[02]<!--书销售商方提供加密后的 XML 文档订单-->
[03]<书销售商订单>
[04]<订单>
[05]<书名>计算机技术与发展<书名>
[06]<书号>CN61-1450/TP</书号>
[07]<数量>70</数量>
[08]</订单>
[09]<EncryptedData
Type='http://www.w3.org/2001/04/xmlenc#Element'
[10]
xmlns='http://www.w3.org/2001/04/xmlenc#'>
[11]<EncryptionInfos>
[13]<KeyInfo>
[14]<KeyName>1234</KeyName>
[15]</KeyInfo>
[16]<EncryptionMethod
[17]
Algorithm='http://www.w3.org/2001/04/xmlenc#tripleDES-cbc'>
[18]</EncryptionInfos>
[19]<CipherData>
euriekeddedleiffmfmroafjkdvrmektklprjgfgks
fkflfkg
lfksgfdddjhkhfflgtbmtglkgkglfkgmfienjeahd
stewrootmjhhkj
[20]
jhkhfflgtbmtglkgkglfkgmfienjeahdstewrootm
fxvbkfkrjimghj
[21]uhghfgf</CipherData> <!--加密的支付信息-->
[22]</EncryptedData>
[23]</书销售商订单>
```

图4 订单信息

对已加密的 XML 文档进行修剪处理后,在书出版

商的销售部门所能看的订单信息中支付信息(持卡人:常青,支付日期:2010-03-12)被隐藏,重要信息得到了保护。

## 4 结束语

文中提出了一个 XML 加密系统,该系统把加密的粒度细化到 XML 文档的元素级,实现对同一文档的不同部分实施不同类型的加密,对不同的用户呈现不同的视图,用户只能看到被授权的那部分内容,这一功能在电子商务、企业和政府管理等领域很有价值,而其它加密系统无法实现这一功能。

## 参考文献:

- [1] 张 艳,周明天,余 望. 基于 Web services 的 XML 引擎安全模型研究[J]. 计算机应用研究,2008,25(7):61-63.
- [2] Goldfarb C F, Prescod P. XML 用户手册[M]. 潇湘工作室译. 北京:人民邮电出版社,2000.
- [3] 曲巨宝. XML 网络服务安全策略应用[J]. 计算机技术与发展,2007,17(12):151-153.
- [4] Imamura T, Maruyama H. Specification of Element-wise XML Encryption[EB/OL]. 2000. <http://lists.w3.org/Archives/Public/xml-encryption/2000Aug/att-0005/01-xmlenc-spec.html>.
- [5] 况 旭,刘 波. XML 的面向对象语言特性[J]. 计算机技术与发展,2010,20(1):54-57.
- [6] W3C. XML-Signature Syntax and Processing[EB/OL]. 2002. <http://www.w3.org/TR/2002/REC-xmlsig-core-20020212/>.
- [7] IBM. XML Security Suite[EB/OL]. 2000. <http://www.alphaworks.ibm.com/tech/xmlsecuritysuite/>.
- [8] Schneier. 应用密码学:协议、算法、与 C 源程序[M]. 吴世忠译. 北京:机械工业出版社,2000.
- [9] Zhang Jimmy. XML on a Chip[EB/OL]. 2005. <http://www.xml.com/pub/a/2005/03/09/chip.html>.
- [10] 张洪伟. JSP 网络开发技术与整合应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [11] 曾春平,张 鹏,王 超. InsideXML XML 编程从入门到精通[M]. 北京:北京希望电子出版社,2010.
- [12] Geer D. Will Binary XML Speed Network Traffic[J]. IEEE Computer Society,2005,38(4):16-18.

(上接第216页)

南大学,2008.

- [8] 原 玲. 第三代移动通信系统网络规划技术[J]. 计算机应用,2006,26(S1):181-185.
- [9] 田 畅,王 海,郑少仁. 基于用户行为的网络流量模型及自相似性分析[J]. 通信学报,2000,21(9):19-25.
- [10] 王西峰,高 岭,张晓李. 自相似网络流量预测的分析和研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(11):42-45.

- [11] 谢高岗,闵应骅,张大方,等. 一个基于实际测试的网络流量模型[J]. 计算机工程与科学,2001,23(5):51-53.
- [12] 李 捷,刘瑞新,刘先省,等. 一种基于混合模型的实时网络流量预测算法[J]. 计算机研究与发展,2006,43(5):806-812.
- [13] 尚凤军,潘英俊,唐 红. 一种基于回归方程的流量矩阵研究[J]. 计算机工程与应用,2005(9):9-12.