

红外线通信系统中的 GBN-ARQ 协议时延性能研究

黎锁平 滕国宝 周永强 马成业
(兰州理工大学理学院 兰州 730050)

摘要 由于红外线通信半双工的特点,GBN-ARQ 重传机制与全双工传输链路上的 GBN-ARQ 重传机制有很大不同。研究了半双工传输链路上的 GBN-ARQ 重传机制,分析了该机制在半双工传输链路上的传输特征,将影响传输系统的因素参数化,在此基础上利用排队理论分析系统时延组成,求得了 GBN-ARQ 系统的分组平均等待时延与平均分组服务时延的一般表达式。通过数值仿真分析了分组传输正确率、发送窗口长度以及分组长度对系统时延的影响。

关键词 IrDA(红外数据协会),半双工,GBN-ARQ(退回 n 步重传),M/G/1 排队系统

中图分类号 TN915.01 **文献标识码** A

Delay Analysis for GBN-ARQ Protocol over Infrared Communication Systems

LI Suo-ping TENG Guo-bao ZHOU Yong-qiang MA Cheng-ye
(School of Science, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract Because of the specific property of half-duplex over the IrDA links, Go-Back-N Automatic Repeat request protocol(GBN-ARQ) is different from GBN-ARQ over duplex links. In this paper, the GBN-ARQ protocol over half-duplex links was proposed, and the factors which affect the transmission system were expressed with proper parameters according the property of half-duplex links. Then, the general expression of average packet delay was obtained through analyzing the component of average packet delay by using queuing theory, which contains average packet waiting delay and packet service delay. At last, the influence of packet error rate, windows length and data packet length on system delay was analyzed by numerical simulation.

Keywords IrDA, Half-duplex, Go-Back-N ARQ, M/G/1 queuing systems

1 引言

IrDA(红外数据协会)红外线通信为室内无线数据传输提供了安全可靠的技术。现在已有大量的移动设备采用了 IrDA 红外连接技术来满足无线通讯的需要。但是,红外线传输常常受到严重的噪声干扰,致使接收端接收到的数据错误率非常高,并且常常出现连接中断的现象。自动请求重传(Automatic Repeat Request, ARQ)差错控制技术可以为此提供可靠的数据通信^[1]。文献[1]中针对红外传输提出了一种改进的选择 ARQ 重传机制;文献[2]在红外通信环境下,从分析分组传输错误率的角度对比了 SW-ARQ 和 GBN-ARQ 重传机制的性能。然而生活中的通信网络或数据传输网络大都是全双工通信模式,所以对 ARQ 协议在全双工传输模式通信中的性能分析人们已经做了大量的工作。比如文献[3, 4]就先后提出了基于信道环境变化而自适应地改变传输机制的二模式与三模式 GBN-ARQ 协议,并且分析了传输系统在该协议作用下的吞吐量性能。文献[5-7]根据接收端是否带休眠分别对 GBN-ARQ 系统的时延性能及其滑动窗口的控

制问题运用排队理论进行了解析研究,并且得出了分组时延解析式。红外数据传输技术因其独特的物理特性,使数据传输只能采用半双工的传输模式,而有关半双工机制下 ARQ 协议时延的研究目前很少。在这样的背景下对 ARQ 协议进行时延性能研究,可以为提高系统传输速率与吞吐量提供可行的理论指导,这具有非常现实的意义。本文将影响系统的因素参数化,建立了半双工传输模式下 GBN-ARQ 系统的时延排队模型,推导出了 GBN-ARQ 系统的分组平均等待时延和分组平均服务时延的解析式。对窗口长度和分组长度及其两者共同作用下系统时延性能的变化规律和特征通过数值仿真分析进行了探讨,得到了改善 ARQ 系统时延性能的一些重要结论。

2 红外线通信的特点及半双工模式下 GBN-ARQ 协议的基本原理

半双工传输模式主要应用于红外通信,这是由红外线的特性所决定的。在红外设备的设计上,收发器同在一个载体上,所以发射器和接收器的光部分不是孤立的,发送的信号

到稿日期:2010-03-30 返修日期:2010-08-07 本文受教育部“春晖计划”基金(Z2006-1-62006),甘肃省自然科学基金(0809RJZA019),甘肃省高校研究生导师科研基金(0703-10)资助。

黎锁平(1965-),男,博士,教授,主要研究方向为随机控制与应用随机过程、网络信息论与无线通信系统建模分析,E-mail:lsuop@163.com;

滕国宝(1983-),男,硕士生,主要研究方向为无线通信系统建模分析,E-mail:tgabc@163.com(通信作者)。

会干扰接收的输入信号。当发射器射出光时,接收器可能正处于接收状态,这样会使得从其它器件传输过来的信号被射出的光破坏掉。因此,红外数据连接是半双工形式的,不允许在同一时间内同时进行数据的发送和接收。假设有两个装有红外设备的移动台,设其中一个为发端,另一个为接收端,发端向接收端发送光脉冲。当发端发送信息时,接收端则不能发送信息;而当接收端向发端发送反馈光脉冲时,发端也不能发送信息。

全双工模式下 GBN-ARQ 协议的基本思想在文献[4]中已做了详细论述,其工作原理如图 1 所示。设发送窗口长度为 4,发端一直处于发送状态,接收端先收到第一个分组,同时发出一个 ACK,这个 ACK 发送端在发完第四个分组才收到。在收到第二个分组的 ACK 的时候,发端已经发完第五个分组。假设第三个分组有错误,接收端向发送端发送 NAK 应答。发端收到这个 NAK 时,已经发完了第六个分组,发端这才知道第三个分组有错误。根据 GBN 的原则,发端要回退 4 步,重新开始发送第三个分组。

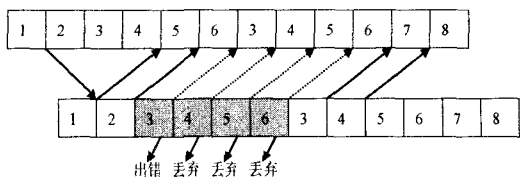


图 1 全双工模式中 GBN-ARQ 滑动窗口示意图

与全双工模式下的 GBN-ARQ 不同,在半双工模式下的 GBN-ARQ 协议传输原理为:在发端向接收端传输数据这段时间,接收端不可以发送数据。只有当发送端停止发送数据后,接收端才能发送,所以发端连续发送 n 个分组就停下来等待接收端的应答。如果发送端接收到对已发送分组的应答都是 ACK,则继续发送下一个窗口的分组。如果其中有一个已发分组返回的是 NAK 应答,那么发送端将在下一发送时刻(收到已发分组的所有应答)重发第一个出错的分组及其后续的 $n-1$ 个分组。接收端在接收到发端发送来的分组后,对窗口内的分组进行 CRC 检测,然后返回一个应答分组(包含窗口内所有分组的接收信息)。如果 CRC 检验分组正确,则将该分组递交上层;如果 CRC 检测分组出错,则将该分组及其后续的全部丢弃,等待发送端重传。

在半双工传输机制下,GBN-ARQ 的工作原理如图 2 所示。假设发送窗口长度为 4,一开始发端首先发送 1-4 号共 4 个分组,然后就停下来等待接收端的反馈应答。接收端在接收完 4 个分组后,返回应答分组(包含 4 个分组的应答)。发端得知 2 号分组出错,下一个窗口发送 2-5 号分组。同理发端得知 4 号分组出错后,下一个窗口发送 4-7 号分组。如果在一个发送窗口内出现了多个分组出错的情况,那么发端发送最先出错的分组及其后续 $n-1$ 个分组。

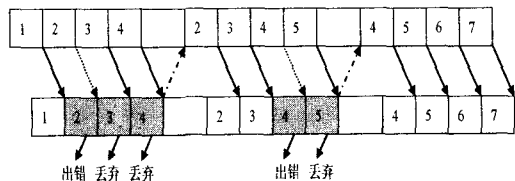


图 2 半双工模式中 GBN-ARQ 发送窗口示意图

通过对半双工传输模式中 GBN-ARQ 系统的分析可知,

在分组传播和应答分组传播期间内,接收端一直处于空闲状态,可以将这段时间视为一个休假期,休假期长度记为 V_i 。一个分组的服务时延是分组从开始发送到接收端成功接收分组之间的时延,因而包括分组第一次传输时延、重传时延(分组在数据链路上的传播时延、接收端的处理时延和反馈时延),是一个等效服务时延^[4]。因为分组长度相等且服从先到先服务规则,所以在分组服务时延为一般性独立同分布的前提下,此 GBN-ARQ 系统的传输过程可以用接收端有休假的 M/G/1 排队模型描述,如图 3 所示。

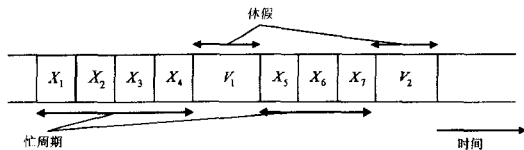


图 3 接收端有休假的 M/G/1 排队系统分组传输

为方便分析问题,对半双工传输模式 GBN-ARQ 系统做如下基本假设:发端总有数据可发送,系统中的所有分组到达过程是相互独立的,速率是 λ 的 Poisson 过程;分组在数据链路上的一次传播时延与反馈时延(接收端发送的应答分组的传播时延)相等,为 t_p ,对每个分组,在接收端的处理时延与应答分组的发送时延都远远小于传播时延(可以忽略不计);接收端的应答分组在返回链路上不会出错,即发端能准时成功接收到接收端发送的每一次 ACK 或 NAK 应答。

3 半双工传输模式中 GBN-ARQ 系统时延性能分析

由于半双工传输模式中 GBN-ARQ 系统的传输过程可以用接收端有休假的 M/G/1 排队模型描述,下面将基于等效服务时延的思想建立系统的传输过程模型。

令 λ 为分组到达率, m 为分组长度, X_k 为第 k 个分组的服务时延, V_k 为接收端第 k 次休假期。 X_k 和 V_k ($k=1,2,\dots$) 都是相互独立的随机变量,并且与到达间隔互相独立,其均值分别为 $\bar{X}=1/\mu$ 和 \bar{V} 。设第 i 个分组到达系统时第 l 个分组正在接受服务,其剩余服务时延为 R ,此时等待队列总共有 N_i 个分组,那么由文献[4]可知,带休假的 GBN-ARQ 系统的分组平均等待时延为

$$W = \frac{R}{1-\rho} = \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-\rho)} + \frac{\bar{V}^2}{2\bar{V}} \quad (1)$$

式中, $\rho = \lambda/\mu$ (μ 为接收端服务率), $R = \frac{1}{2} \lambda \bar{X}^2 + \frac{1}{2} \frac{1-\rho}{\bar{V}}$ 为分组平均剩余服务时延。

由式(1)可知,只要求得分组服务时延 X_k 以及接收端休假期 V_k 的一、二阶矩,就可以求出 GBN-ARQ 系统的分组平均等待时延。假设需要重传的分组等概率地位于发送窗口的每一个分组(窗口长度为 n),即重传分组位于第 i ($i=1,2,\dots,n$) 个分组的概率是 $1/n$,分组传输正确的概率为 p ,重传次数为 k ,则该重传分组第一次传输接收端的平均服务时延(接收端忙碌时延)为 $m \cdot \frac{1}{n} [n + (n-1) + \dots + 2 + 1] = \frac{m(n+1)}{2}$ 。

在分组传播和反馈信息传播期间接收端处于休假状态,记休假期 $v_0 = 2t_p$,以后相继重传共 k 次,直至分组传输成功。对于每一次重传,接收端的实际服务(处于忙碌状态)时延为 nm ,休假期为 $2t_p$ 。

从以上对半双工传输过程的分析可得,一个分组从开始

传输到被成功接收在接收端的服务时延为 $X_k = \frac{m(n+1)}{2} + kmn$, 接收端的休假期长度 $V_k = 2(k+1)t_p$, 其传输成功的概率为 $p(1-p)^k$ (1次正确传输、 k 次错误传输), 从而可以得出分组在接收端的等效服务时延及接收端等效休假期的概率分布为

$$P\{X_k = \frac{m(n+1)}{2} + kmn\} = p(1-p)^k \quad (2)$$

$$P\{V_k = 2(k+1)t_p\} = p(1-p)^k \quad (3)$$

则 X_k 的一、二阶矩分别为

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{m(n+1)}{2} + kmn \right] p(1-p)^k \\ &= \frac{m(n+1)p}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (1-p)^k + mn p \sum_{k=0}^{\infty} k(1-p)^k \\ &= \frac{2mn + mp - mn p}{2p} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{X}^2 &= \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{m(n+1)}{2} + kmn \right]^2 p(1-p)^k \\ &= \left[\frac{m(n+1)}{2} \right]^2 \sum_{k=0}^{\infty} p(1-p)^k + m^2 n(n+1) p \sum_{k=0}^{\infty} k(1-p)^k \\ &\quad + m^2 n^2 p \sum_{k=0}^{\infty} k^2 (1-p)^k \\ &= \frac{m^2(n+1)^2}{4} + \frac{m^2 n(1-p)(2n+p)}{p^2} \end{aligned} \quad (5)$$

V_k 的一、二阶矩分别为

$$\bar{V} = \sum_{k=0}^{\infty} [2(k+1)t_p] p(1-p)^k = \frac{2t_p}{p} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}^2 &= \sum_{k=0}^{\infty} [2(k+1)t_p]^2 p(1-p)^k \\ &= 4t_p^2 p \sum_{k=0}^{\infty} k^2 (1-p)^k + 8t_p^2 p \sum_{k=0}^{\infty} k(1-p)^k + 4t_p^2 p \sum_{k=0}^{\infty} (1-p)^k \\ &= \frac{4t_p^2(2-p)}{p^2} \end{aligned} \quad (7)$$

将式(4)一式(7)代入式(1), 得半双工模式下 GBN-ARQ 系统分组平均等待时延为

$$\begin{aligned} W &= \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-p)} + \frac{\bar{V}^2}{2\bar{V}} \\ &= \frac{\lambda m^2 p^2 (n+1)^2 + 4\lambda m^2 n(1-p)(2n+p)}{8p^2 - 4\lambda p(2mn + mp - mn p)} + \frac{t_p(2-p)}{p} \end{aligned} \quad (8)$$

由此可以得出半双工模式下 GBN-ARQ 系统分组的平均服务时延

$$\begin{aligned} T &= W + \bar{X} \\ &= \frac{\lambda m^2 p^2 (n+1)^2 + 4\lambda m^2 n(1-p)(2n+p)}{8p^2 - 4\lambda p(2mn + mp - mn p)} + \frac{2(2-p)t_p + 2mn + (n-1)mp}{2p} \end{aligned} \quad (9)$$

如果用 η 表示系统的吞吐量, 即单位时间内成功传输的分组数, 那么有 $\eta = \frac{1}{T}$ 。

4 仿真分析

红外线通信系统因为其半双工传输模式, 从而在相同的条件下吞吐量远远小于全双工通信。要想提高系统的吞吐量性能, 就要设法降低系统的分组平均服务时延。而影响系统时延的因素有很多, 如信道传输正确率、分组长度、窗口长度等。图 4 是依据上述解析分析结果, 取参数 $\lambda = 0.07$, $t_p = 1$,

$p = 0.98$, 利用 Matlab 软件就窗口长度和分组长度共同变化对系统分组平均时延的影响规律所进行的仿真。由图可见, 在分组的传输正确率 p 一定和其他传输条件(分组到达率、数据链路传输时延及分组反馈时延)相同的情况下, 窗口长度与分组长度的改变对系统的时延都有影响。当分组长度一定、窗口长度变大时, 系统时延也跟着逐渐增大, 但时延增大的趋势在分组长度不同时是不一样的。图中 4 条曲线分别对应着分组长度 m 从 1 到 4 的情形。容易看出 $m=1$ 时, 随着窗口长度由小变大, 系统时延增大的趋势比较缓和。但 $m=4$ 时, 当窗口长度逐渐增大时, 系统时延增大的趋势非常明显, 系统时延急剧增大。这是因为对于同样的窗口长度, 分组长度增大时, 每次传输的数据长度呈窗口长度的倍数增大, 从而造成分组平均传输时延也迅速增大。

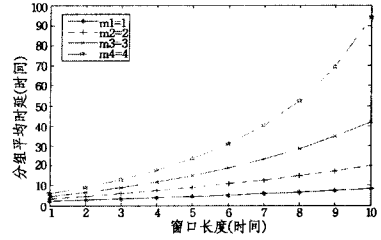


图 4 窗口长度与分组长度对平均服务时延的影响

图 5 是窗口长度与链路传输正确率共同变化对系统分组平均时延影响规律的探讨。仿真中, 取参数 $\lambda = 0.07$, $t_p = 1$, $m = 1$ 。由图可见, 分组长度一定时, 虽然窗口长度不同, 但随着分组传输正确率的增大, 系统时延都有减小的趋势。这是由于好的信道环境使得分组平均重传次数减小, 即分组平均传输时延减小, 由此可见改善信道环境对于提高系统传输性能的重要性。

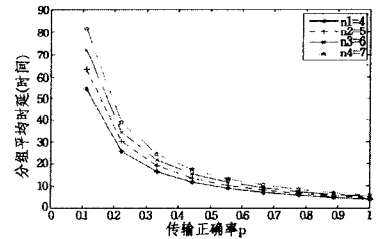


图 5 传输正确率对平均服务时延的影响

上述仿真分析表明: 当分组传输正确率比较低时, 通过减小窗口长度或者减小分组长度, 能够较大程度地减小 GBN-ARQ 系统的分组平均时延, 从而提高系统吞吐量。在分组长度、分组到达率以及系统处理时延等传输条件一定的情况下, 提高系统的传输正确率是减小系统分组时延, 提高系统吞吐量的最直接的办法, 但这样做的代价是大大增加了系统实现的复杂度。因此, 在信道环境不稳定的情况下, 也即分组传输正确率变化时, 可以根据其变化情况调整窗口长度的大小, 以达到提高吞吐量的目的。

结束语 红外线因其半双工传输机制, 使系统传输效率受限, 排队理论是分析通信网络性能的一种重要的工具。通过把影响系统性能的主要因素参数化, 建立红外传输链路上 GBN-ARQ 系统排队模型, 对 GBN-ARQ 系统的时延性能进行理论分析, 求得系统分组平均服务时延的解析表达式。本文建立的模型可以用来对 GBN-ARQ 系统实施窗口长度控

制。由此实现通过检测系统传输环境的变化而自适应地改变窗口长度,从而实现比较理想的时延及吞吐量性能。

参考文献

- [1] Shah A M, Shamim Ara S, Matsumoto M. An Improved Selective Repeat-ARQ Scheme for IrDA Links at High Bit Error Rate [J]. New Zealand: The HIT Lab NZ, University of Canterbury, 2005:37-42
- [2] Varthis E G, Fotiadis D I. A comparison of stop-and-wait and go-back-N ARQ schemes for IEEE 802.11e wireless infrared networks[J]. Computer Communications, 2006, 29: 1015-1025
- [3] Yao Yu-dong. An Effective Go-Back-N ARQ Scheme for Varia-

ble-Error-Rate Channels[J]. IEEE Transactions on communications, 1995, 43(1): 20-23

- [4] Vojinovic R, Petrovic G. The analysis of the adaptive three-mode ARQ GBN scheme using retransmission cycles mechanism[J]. International Journal of Electronics and Communication, 2006, 60: 190-198
- [5] 黎锁平, 刘存明, 何志鹏. 无线数据传输的 GBN-ARQ 和 SR-ARQ 系统时延性能研究[J]. 信号处理, 2005, 25(3): 384-388
- [6] 黎锁平, 刘存明. 带休假的返回 n-ARQ 系统时延性能研究[J]. 系统工程学报, 2008, 23(3): 367-371
- [7] 黎锁平, 刘存明. 基于噪声信道的 ARQ 系统时延性能及最小滑动窗口控制研究[J]. 信息与控制, 2008, 37(6): 697-702

(上接第 31 页)

的计算结果来建立用户角色指派关系,还要依据用户属性信息。不同节点利用信任模型计算出的用户信任度可能会不同。信任度具有主观性,并不是用户固有的特征,用它对用户进行分类不够准确。因此 TABAC 中考虑了用户属性(如年龄、学历、专业等),这些属性是用户特征的表现,从多个角度说明用户的客观情况,依据用户属性和信任模型的计算结果一同来对用户进行分类,弥补基于信任和信誉模型来建立用户角色指派关系的局限性。

(2) 用户增加时, TABAC 可以有效地对新增加用户的访问行为进行控制。

对等网络中节点动态地加入(退出),由于节点上存放用户信息,因此导致用户的加入(退出)。对于用户的加入(退出),其他节点是不知道的。当对等网络中一个节点上新增了用户,除非使用全网的消息投递,否则其他节点就不知道此用户的存在,而全网的消息投递代价太大。再者,如果每增加一个用户,节点都需要立即考虑为它建立授权关系,由于用户数目大,对于单个节点来说有许多用户是不会访问其资源的,因而不会使用到授权关系,于是建立授权关系所花费的开销就被浪费了。

(3) TABAC 的访问检查流程可以减少对新增用户的授权开销。

用户加入时,用户信息不存储在节点上,因此不必建立该用户的角色指派关系。在其访问资源时,才去建立用户角色指派关系。采用这样的工作流程,即使有许多用户加入对等网,但是只要没有实际访问资源,节点就不会考虑为其建立授权关系。这样能够适应 P2P 网络中节点的动态性。当用户退出时,如果此用户对应的用户角色指派关系过期,就自动撤销了授权。如果在有效期中,用户又加入了网络,产生了访问请求,那么可以继续拥有用户角色指派关系中对应的角色。

(4) 下一步工作。本文在基于信任模型的角色访问控制的基础上通过引入用户属性、资源属性和环境属性实现对具有相同信任度的用户的细粒度访问控制。文中给出了模型的基本概念、授权规则和访问控制流程。在具体访问控制策略的实施中属性的选取、描述,不同节点上属性信息的获取、语义一致性分析、转换和映射,以及属性信息的引入有可能带来的时间复杂度是下一步值得深入研究的工作。

参考文献

- [1] 宋伟, 卢正鼎, 李瑞轩, 等. 一种 Peer-to-Peer 环境下的分布式访

问控制模型[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(12): 31-33

- [2] Maruoka M, Nemati A G, Barolli V, et al. Role-based Access Control in Peer-to-Peer(P2P) Societies[C]// 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE Computer Society, 2008: 495-500
- [3] Fenkam P, Dustdar S, Kirda E. Towards an Access Control System for Mobile Peer-to-Peer Collaborative Environments[C]// Proceedings of the Eleventh IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprise. IEEE Computer Society, 2002: 95-102
- [4] Palomar E, Estevez-Tapiador J M, Hernandez-Castro J C, et al. Certificate-based Access Control in Pure P2P Networks[C]// Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing. IEEE Computer Society, 2006: 177-184
- [5] Berket K, Essiari A, Muratas A. PKI-based Security for Peer-to-Peer Information Sharing[C]// Proceedings of the Fourth International Conference on Peer-to-Peer Computing. IEEE Computer Society, 2004: 45-52
- [6] 张书钦, 芦东昕, 杨永田. 对等网络中基于信任的访问控制研究[J]. 计算机科学, 2005, 32(5): 31-33
- [7] 张骞, 张霞, 刘积仁. 混合 P2P 环境下有效的访问控制机制[J]. 东北大学学报, 2007, 28(5): 643-647
- [8] Wang Lei, Zhu Yanqin, Jin Lanfang, et al. Trust Mechanism in Distributed Access Control Model of P2P Networks[C]// Seventh IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science. IEEE Computer Society, 2008: 19-24
- [9] Tran H, Hitchens M, Varadarajan V, et al. A Trust based Access Control Framework for P2P File-Sharing Systems[C]// Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE Computer Society, 2005: 302c-302c
- [10] Gummedi A, Yoon J P. Modeling Group Trust For Peer-to-Peer Access Control [C] // Proceedings of the 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. IEEE Computer Society, 2004: 971-978
- [11] Al-Kahtani M A, Sandhu R. A Model for Attribute-Based User-Role Assignment[C]// Proceedings of the 18th Annual Computer Security Applications Conference. Las Vegas, Nevada, IEEE Computer Society Press, 2002: 353-364
- [12] Zhu Yi-qun, Li Jian-hua, Zhang Quan-hai. A General Attribute based RBAC Model for Web Service[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Services Computing. 2007: 236-239