

面向卫星网络的扩频多址接入控制方法

陈 蕾,肖 甫

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

摘 要:针对卫星网络传输时延长、通信时间短和突发业务量大的特点,首先设计了高优先级、高实时性业务主动重传策略,然后在此基础上提出了一种面向卫星网络的主动重传扩频时隙 ALOHA 多址接入控制方法。该方法融合了扩频通信、S-ALOHA 随机访问控制协议和主动重传策略的优点,能满足特殊环境中提供“区分服务”的实际要求。最后的仿真结果不仅证实了该方法的吞吐性能比时隙 ALOHA 系统有了很大的提高,而且能以较小的吞吐量损失为代价增加高优先级业务的成功发送率。

关键词:卫星通信;扩频时隙 ALOHA;主动重传;随机多址接入协议

中图分类号: TN914.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)12-0240-04

Spread Spectrum Multiple Access Control Method for Satellite Network

CHEN Lei, XIAO Fu

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: For satellite network with high propagation delay, short communication time and sudden large amount of business, an active repeat transmission strategy applicable to high-priority and real-time business was designed, and based on it, the multiple access control method of active repeat spread spectrum slotted-ALOHA (AR-SS-S-ALOHA) for satellite communication network was presented. The proposed method combines the advantages of spread spectrum communication, S-ALOHA random access control protocol and active repeat transmission strategy, and can provide “differentiated services” in special circumstances. Finally, computer simulations demonstrate that AR-SS-S-ALOHA has not only better throughput performance than that of S-ALOHA, but also increases effective sending rate of high-priority business with a slight loss of throughput.

Key words: satellite communication; spread spectrum slotted ALOHA; active repeat transmission; random multiple access protocol

0 引 言

卫星通信网络经常服务于某种特殊需要,如抗震救灾和军事作战,不仅传输时延长、接入用户数量多,而且接入的业务具有突发性强、通信时间短的特点,其有限的上行带宽和功率给卫星通信系统为更多用户提供更好服务提出了严峻的考验^[1]。多址接入控制方法作为解决此问题的关键技术,直接影响着卫星网络系统的频谱利用率、系统容量、通信服务质量和设备复杂程度及成本等^[2]。因此,在设计卫星网络多址接入控制协议时需要考虑信道资源的可配制性、协议实现的

复杂性以及系统的安全保密性等问题^[3]。

以 S-ALOHA^[4] 为代表的随机共享多址接入协议具有结构简单易行的特点,不需要额外的信道申请时间,它允许用户根据自己的意愿随时发送信息,这种协议尤其适合于大规模突发业务接入的情况,已广泛应用于无线分组网络和卫星广播通信等系统中。由于一个时隙内只能传输一个数据帧, S-ALOHA 系统的信道利用率极低,其最大吞吐率仅为 0.368。另一方面,扩频技术由于具有抗多径、抗多种干扰、低功率谱密度及多址能力强等特点也正被广泛应用于卫星通信领域。在扩频系统中,多个用户在同一频段同时进行的数据传输只造成类似背景噪声的多址干扰而不会造成分组的碰撞丢失。因此,将扩频技术与时隙 ALOHA 结合起来,利用伪随机(Pseudo Noise, PN)序列的相关特性来捕获和分辨同时传输的数据包,可以使信道吞吐率大大提高^[5-8]。20 世纪 90 年代初, Norman Abramson 曾经把扩频技术和 ALOHA 技术的优点结

收稿日期:2010-04-06;修回日期:2010-07-20

基金项目:国家自然科学基金(60703086, 60973140);国家高科技“863”项目(2007AA0820);江苏省博士后基金(0801019C)

作者简介:陈 蕾(1975-),男,博士,讲师,研究方向为卫星网络通信、信息安全;肖 甫,博士后,副教授,研究方向为无线传感器网络、虚拟现实、多媒体技术。

合起来设计出了一种新的简洁、高效的宽带接入协议——扩频 ALOHA (Spread ALOHA Multiple Access, SAMA) 多址接入协议^[8], 文献[9, 10]分别研究了 SAMA 系统的吞吐性能和时延特性, 并对该系统的分组碰撞情况进行了详细分析, 文献[11]则从理论上给出了 SAMA 系统的最优数据包长度选择方法及典型值。

但是, 在特殊环境下, 比如抗震救灾和军事作战应用背景中, 卫星通信系统不仅传输时延长、接入用户数量多, 而且接入的业务具有突发性强、通信时间短的特点。虽然 SAMA 系统的信道吞吐能力有了很大的提高, 但是无法提供“区分服务”, 不能保证高优先级业务的实时有效接入。在典型的卫星通信系统中, 由于端到端传播时延与数据分组长度的比值大约在 10^2 数量级, 分组碰撞无法得到及时的反馈和控制。因此, 对于卫星网络来说, 建立不要求更多反馈信息的改进协议是唯一可行的方案。为此, 文中借鉴文献[12]提出的主动重传思想, 针对卫星网络的长时延特点设计了高优先级、高实时性业务主动重传策略, 并在此基础上提出了一种面向卫星网络的主动重传扩频时隙 ALOHA 多址接入控制方法 (Active Repeat Spread Spectrum Slotted-ALOHA, AR-SS-S-ALOHA), 能够以较小的代价改善系统的时延吞吐性能, 满足提供区分服务的要求。AR-SS-S-ALOHA 方法中各用户使用的 PN 序列初始相位相同, 在发送时加入不同的随机时延, 接收端利用 PN 序列的自相关特性, 解扩后分辨各用户的信号, 这样接收单元只需在一个码道上监听, 从而降低了其复杂程度, 同时也易于用匹配滤波器实现快速捕获。

1 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法

为了方便地阐述文中提出的卫星网络 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法, 本节将首先介绍采用该方法的卫星网络接入系统结构, 然后介绍 AR-SS-S-ALOHA 方法的控制实现流程。

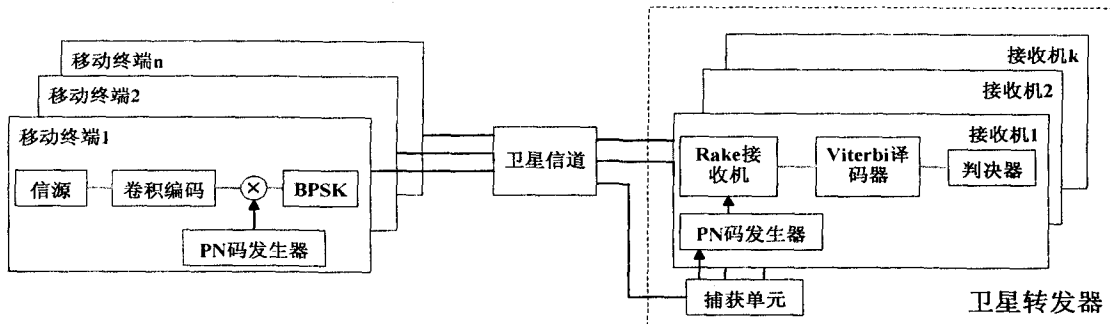


图 1 AR-SS-S-ALOHA 接入系统结构框图

1.1 AR-SS-S-ALOHA 系统结构

AR-SS-S-ALOHA 系统结构如图 1 所示, 在该系统中, 单颗卫星覆盖地面面积数百万平方公里甚至更多, 服务的移动终端成千上万, 这些地面接入终端之间地理位置相当分散, 并且从卫星的广播信号中获取系统同步信息。移动终端在发送数据包前产生一个随机整数 k , 并且在时隙开始延时 k 个 Chip 时间后开始发送, PN 序列也随之延时^[6]。

AR-SS-S-ALOHA 接入系统时隙划分和数据帧结构如图 2 所示。图中, 同步码为一个短 PN 序列, 用于上行突发调制同步捕获, 优先级标志码为一个 0 和 1 序列, 代表该数据帧的优先级别, 地址及信息码用于携带终端的物理地址、有关上行信道的参数信息以及待传送的数据信息; T_{slot} 为时隙时间, T_p 表示数据帧发送时间, T_u 表示每个时隙内允许发送的数据帧到达时间的最大延迟, 超过该最大延迟的数据帧需缓存于队列中等待下一个时隙开始时发送, 并且满足 $T_{\text{slot}} = T_p + T_u$ 。卫星转发器中采用 RAKE 接收机, 捕获单元利用匹配滤波器进行捕获, 同步码序列输入匹配滤波器后, 将输出相关峰。根据相关峰位置, 可确定地面终端的发送时间, 卫星转发器中的一个接收机则被指定接收该终端的信号。

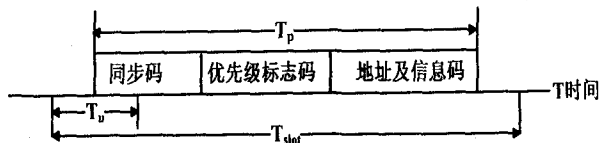


图 2 AR-SS-S-ALOHA 接入系统
时隙划分和数据帧结构图

1.2 AR-SS-S-ALOHA 方法控制流程

AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法主要用于解决卫星网络环境中大容量多用户并发接入问题, 同时希望能针对不同类型的业务提供不同的区分服务。与其他多址接入控制方法不同, 本方法是一种策略性方法, 其基本思想是: 在传统的 S-ALOHA 系统的基础上引入扩频编码调制技术, 同时对高优先级业

务采用主动重传策略,在保留 S-ALOHA 系统结构简单易行的基础上,提高了系统的吞吐量和信道效率,并保证高优先级业务的实时有效接入。AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法流程如图 3 所示。

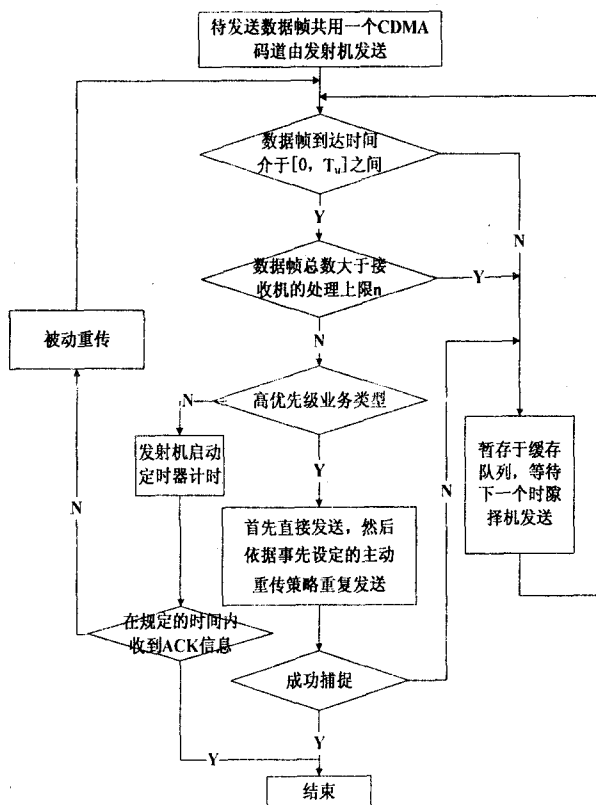


图 3 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法流程图
AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法流程中所涉及的具体细节描述如下:

(1) 预先对不同性质的业务进行优先等级的详细划分及编码。卫星通信系统需要向着容纳多种业务的综合业务网发展以支持不同种类的业务,这些业务的特点通常体现在信息流对时延的敏感程度、信息流的突发性(峰值速率与均值速率之比)以及通信建立方式(面向连接或无连接)等方面,除此之外还应该考虑一个重要的特点,那就是业务本身所具有的价值。特别是在抗震救灾和军事作战应用的特殊背景下,来自不同类型终端的不同业务将会体现出不同的重要性,为了保证业务拥塞时有着重要价值的各种指令的有效畅通,应该考虑对不同类型的信息数据提供“区分服务”,采取“不公平”策略来对待这些服务请求,即使网络过载时,也应该使得重要的业务能竞争到充分的带宽,从而保证优先、实时、高效传送。在卫星网络实际的优先级划分及编码方案中,可以对每一种业务所具有的属性设置不同的等级和权值,设计一种业务价值函数来映射各种业务所具有的优先级别,这些优先级别可由 1 个若干 bit 的数据序列来表征。

(2) 同一频带内的若干信息数据使用同一个扩频序列进行扩频调制后形成功率谱密度极低的扩频宽带信号,由发射机发射。

(3) 如果待发射的数据帧产生时间在每一个时隙开始后 T_u 时刻之前且此时该时隙中到达的数据帧总数小于等于接收机的处理上限 n ,则该数据帧随到随发,否则暂存于缓存队列中,等待下一个时隙开始后各自加入一个随机时延,然后出缓存队列独立发送。

(4) 当发送端发送数据帧时:

1) 如果数据帧优先级较低,发送端于该数据帧发送时刻开始启动定时器计时并监听从接收端发来的确认信息 ACK,当收到一个否认信息 NAK 或者在一个给定时间 $t(t \geq \text{卫星单跳往返时延})$ 内没有收到任何返回信息后,发送端认为该数据帧未能发送成功,于是发送端按照预先设定的时延重传机制进行被动重传。

2) 如果数据帧优先级较高,发送端在直接发送一次后,无论该数据帧是否成功被接收机捕获,发送端均依据事先设定的主动重传策略延迟一随机时间后重复发送。

图 4 阐明了文中所设计的主动重传机制原理,该机制实现高优先级数据帧主动重传,主动重传策略描述如下:对于高优先级数据帧,发送端发送该数据帧后每隔一个随机时延 $T_{\text{delay}}(i)$ 均进行主动重传,直至发送成功收到确认信息(ACK)或达到主动发送的上限 M 次后停止主动重传。本策略中的 $T_{\text{delay}}(i)$ 定义为: $T_{\text{delay}}(i) = T_{\text{slot}} * R * i$,其中, T_{slot} 为设定的时隙时间, R 为区间 $[0, m]$ 内的随机整数, i 代表业务优先级, m 为一小于 5 的正整数。

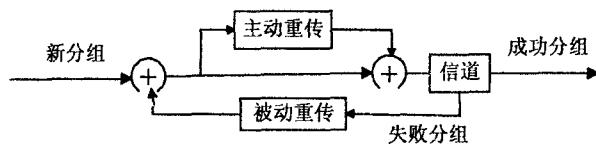


图 4 主动重传机制原理图

(5) 接收端接收到数据帧时,如果相邻数据帧的到达时间差大于若干(最少 2 个)个 Chip(码片),接收端可成功捕获该数据帧,同时向发送端发送确认信息(ACK)。此外,在接收端还可以采用码组合技术来减少实际应用中卫星信道的高误码率,对 M 次接收到的同一数据帧进行码组合,只要 M 次接收及其码组合的检测中有一次接收正确,即认为传送成功,否则认为传送失败。

2 AR-SS-S-ALOHA 系统实验仿真

本小节利用 MATLAB 软件来计算、评估和分析 AR-SS-S-ALOHA 系统的接入性能。为方便起见,

预先作如下假设:

1) 本系统中数据分组未能成功传输的原因只是由于前一个数据帧与随后到达的数据帧的到达时间小于或者等于设定的捕获时间;

2) 本系统是一个完全同步的时隙系统,接收机在一个时隙内可以捕获 m 个到达的数据帧(m 值不定),其中 $0 \leq m \leq \min(1/Q, K)$ 。 Q 是接收机的捕获比率, K 是接收机中的解码器个数。其中, $Q = T_{\text{cap}}/T_u$, T_{cap} 是接收机所需的最短捕获时间。实验中参数设定如下:系统用户总数为 50,时隙捕获比例为 0.01 或 0.03,接收机中的解码器个数为 20,假定系统中所有用户公用同一扩频码。图 5 显示了不同传输负载情况下 AR-SS-S-ALOHA 系统和 P-ALOHA、S-ALOHA 系统的稳态吞吐性能。

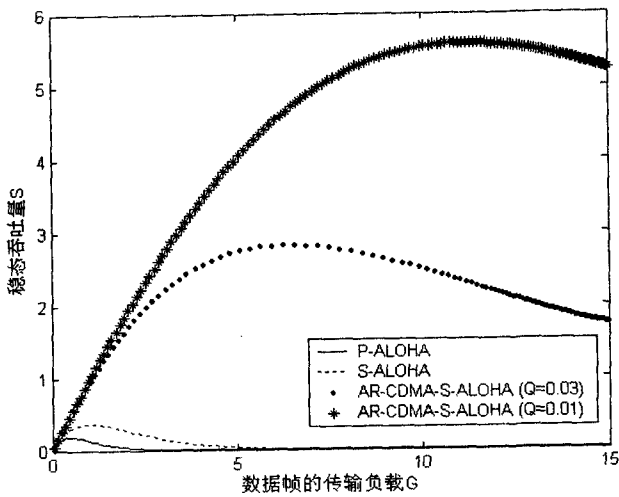


图 5 不同传输负载条件下系统稳态吞吐性能比较

从图 5 可以看出,对于 P-ALOHA 系统,当 $G = 0.5$ 时,系统吞吐量达到最大值 0.184 数据帧/时隙,当 $G \geq 3$ 时,系统几乎全部阻塞;对于 S-ALOHA 系统,当 $G = 1$ 时,系统吞吐量达到最大值 0.368 数据帧/时隙,当 $G \geq 8$ 时,系统也几乎全部阻塞。这是因为在这两种系统中一个时隙内最多可以成功地捕捉一个数据帧。而对于 AR-SS-S-ALOHA 系统,由于突破了传统的捕捉数目局限,使得在一个时隙内捕捉到多个数据包成为可能,当 $Q = 0.03$ 时系统吞吐量最大值已经接近 2.8112,当 $Q = 0.01$ 时系统吞吐量最大值则为 5.5891 个,直观地说明了基于扩频技术的 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法的性能优势。同时,由于捕捉比率 Q 决定了接收机捕捉数据帧的速度,图 5 说明可以通过调整参数 Q 来改变 AR-SS-S-ALOHA 系统的稳态吞吐性能。

表 1 说明了当 $Q = 0.01$ 时 AR-SS-S-ALOHA 系统传输负载与相应的稳态吞吐量变化关系,从表 1

可以看出,稳态吞吐量相对于传输负载的变化并不十分敏感,传输负载由 7 变为 17 时,负载增加了一倍多,但是吞吐量变化仅为 0.1423,从而间接说明了 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法中的高优先级业务主动重传策略的有效性,当一个时隙内高优先级业务多次主动重传时,不仅能显著增加高优先级业务的成功发送率,而且对系统的稳态吞吐性能影响甚微,也就是说以较小的代价获得了提供“区分服务”的能力,使得重要的业务能竞争到充分的带宽,从而保证优先、实时、高效传送。

表 1 AR-SS-S-ALOHA 系统传输负载
— 稳态吞吐量变化关系比较

传输 负载(G)	7	9	11	13	15	17
稳态吞 吐量(S)	4.938	5.425	5.587	5.497	5.232	5.080

3 结束语

文中提出的面向卫星网络 AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法融合了高优先级业务主动重传策略、扩频通信和 S-ALOHA 随机访问协议三方面的优点,其吞吐性能比时隙 ALOHA 系统有了很大的提高,而且能以较小的吞吐量损失为代价增加高优先级业务的成功发送率。与现有技术相比,其优势主要体现在:

(1) 良好的适应性。AR-SS-S-ALOHA 多址接入控制方法符合卫星网络用户多、传输时延长、突发业务量大和通信时间短的特点,有很强的针对性。

(2) 较强的实用性。在抗震救灾或军事作战等特殊应用场景中,对于某些实时性和优先级高的业务,通过主动重传策略,既可以减少发送时延,又可以增加发送成功的概率。

(3) 收发机结构简单、通信功率低。本方法无须预留专门的控制信道,不需要额外的信道申请时间,同一频带内的所有信息数据使用同一个扩频序列进行扩频调制,系统可实现性好,能够满足卫星网络环境中星上载荷低功耗、小体积、高速宽带、工作可靠等特点。

(4) 频率利用率高、系统具有软容量。扩频系统是干扰受限系统,在指定的干扰电平下,即使用户已达到限定数目,也允许增加个别用户,系统性能并无明显下降,在业务高峰期,允许误码率增加一个小的数值,以增加忙时的可用信道数。

参考文献:

- [1] 谢慧婷,孙力娟,肖 甫,等.卫星网络控制系统体系结构研究[J].计算机技术与发展,2009,19(10):207-210.

- [3] Wade T, Sommer S. A to Z GIS[M]. Redlands: ESRI Press, 2006.
- [4] 唐卫, 吴焕萍, 罗兵, 等. 基于 GIS 的气象服务产品后台制作系统[J]. 计算机工程, 2009(9): 232-234.
- [5] 张立朝, 潘贞, 王珂珂, 等. 面向服务的地理信息系统架构研究[J]. 北京测绘, 2008(3): 5-8.
- [6] Ming-Hsiang T. A dynamic architecture for distributing geographic information service on the internet[D]. Colorado: University of Colorado, 2001.
- [7] Smiatek G. SOAP-based web services in GIS/RDBMS environment[J]. Environmental Modelling & Software, 2005, 20: 775-782.
- [8] 吴庆双, 胡祺, 蔡继盛. WebGIS 构建模式初步探讨及实例分析[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(11): 221-224.
- [9] Naryanan S, Mcilraith S. Analysis and simulation of web services[J]. Computer Networks, 2003, 42(5): 675-693.
- [10] 陈崇成, 涂平, 黄绚, 等. 土地利用改造规划的多因子空间分析[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2): 117-121.
- [11] Shen Zhanfen. Architecture design of grid GIS and its applications on image processing based on LAN[J]. Information Science, 2004, 166: 1-17.
- [12] 阙爱珂, 王绪本, 高志勇, 等. 基于地理处理建模的珍稀特有植物空间分布识别方法[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(5): 30-38.
- [13] 习景, 徐造林. 基于 GIS 的航道信息管理系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(1): 173-178.

(上接第 243 页)

- [2] Peyravi H. Medium access control protocols performance in satellite communications[J]. IEEE Communications Magazine, 1999, 37(3): 62-71.
- [3] 李斗, 王峰, 姬冰挥, 等. 宽带卫星 Mesh 网多址接入信道预测分配方案研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(4): 763-768.
- [4] Tanenbaum. 计算机网络[M]. 第 4 版. 潘爱民, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] 郭凯, 卫国, 朱近康. 一种基于捕获的扩频分组无线网 MAC 层协议及其性能分析[J]. 通信学报, 2003, 24(8): 155-160.
- [6] Park H R, Kang B J. On the performance of a maximum-likelihood code-acquisition technique for preamble search in a CDMA reverse link[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 1998, 47(1): 65-74.
- [7] Bigloo A M Y, Gulliver T A, Bhargava V K. Maximum-likelihood decoding and code combining for DS/SSMA slotted ALOHA[J]. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45(12): 1602-1612.
- [8] Abramson N. Multiple access in wireless digital network[J]. Proceedings of the IEEE, 1994, 82(9): 1360-1368.
- [9] 李建新, 刘增基, 郭峰, 等. 基于 ALOHA 的宽带接入技术研究[J]. 电子学报, 2000, 28(10): 86-88.
- [10] 孙诗东, 聂景楠. 扩频 ALOHA 多址系统吞吐量和时延性能分析[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(7): 1251-1254.
- [11] 郭宏, 郭英, 段毅. 扩谱 ALOHA 多址访问系统中数据包长度的最优化研究[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 10-13.
- [12] 王映民, 毕见鑫, 易克初. 主动重发的 DS/CDMA ALOHA[J]. 通信学报, 2001, 22(2): 118-122.

(上接第 246 页)

参考文献:

- [1] 辛星. 工业加热炉温度 Smith 模糊自适应 PID 控制算法研究[J]. 中国科技信息, 2009(12): 52-53.
- [2] 李娟. 史密斯模糊整定 PID 控制器的设计及仿真[J]. 计算机仿真, 2007, 24(3): 141-143.
- [3] 范子荣. 模糊 PID-Smith 智能控制器的设计[J]. 山西大同大学学报, 2009, 25(5): 66-68.
- [4] 吴异卉. 基于 LabVIEW 的模型参考自适应控制的实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11): 181-182.
- [5] Woo Zhi-Wei, Chung Huang-Yuan, Lin Jin-Jye. A PID type fuzzy controller with self-tuning scaling factors[J]. Fuzzy Set and System, 2000, 115(2): 321-326.
- [6] 冯相如. 基于 Smith 预估补偿的模糊 PID 减温器控制系统仿真[J]. 电气技术与自动化, 2008, 37(1): 134-136.
- [7] 边立秀, 赵日晖. Fuzzy 自整定 PID 参数的 Smith 预估主汽温控制系统[J]. 计算机仿真, 2004, 21(1): 102-104.
- [8] Tan W. Turning of a modified Smith predictor for processes with time delay[J]. Control Theory & Applications, 2003, 20(2): 297-301.
- [9] 孟宇, 彭晓华, 张浩. 模糊自适应整定 PID 控制及其仿真研究[J]. 机械工程与自动化, 2006(6): 92-96.
- [10] 张泾周, 杨伟静, 张安祥. 模糊自适应 PID 控制的研究及应用仿真[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 132-135.
- [11] Wu Zhixiao. PID type fuzzy controller and parameters adaptive method[J]. Fuzzy Sets and System, 1998, 78: 23-35.
- [12] Reznik L, Bournistrov A. PID plus fuzzy controller structures as a design base of industrial applications[J]. Engineering Application of Artificial Intelligence, 2000, 13(4): 419-430.
- [13] 罗冰洋. PID 控制器参数自整定方法比较[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2005, 15(9): 100-101.
- [14] 张亚萌, 董峰. 智能模糊控制技术在换热器控制系统中的应用[D]. 天津: 天津大学, 2005: 13-14.