

# 基于混沌扩频的多用户应急通信系统模型设计与仿真分析

焦方源

(西华师范大学 计算机学院, 四川 南充 637009)

(jiao\_fy@163.com)

**摘要:**针对应急通信中信道噪声干扰严重影响通信质量的实际问题,研究了应急通信系统信道噪声干扰的来源与本质特征,提出了应急通信信道模型;论述了混沌扩频应急通信系统干扰噪声抑制原理,设计了多用户混沌扩频应急通信系统仿真模型,并结合典型信道干扰噪声环境对其比特误码率(BER)进行了仿真与分析。仿真实验结果表明,基于混沌扩频的应急通信系统能够有效抑制强噪声干扰,显著改善应急通信系统误码性能。

**关键词:**应急通信;混沌扩频;系统设计;仿真分析

**中图分类号:** TP393; TN915 **文献标志码:** A

## Chaotic spread spectrum-based model design and simulation of multi-user emergency communication system

JIAO Fang-yuan

(College of Computer Science, China West Normal University, Nanchong Sichuan 637009, China)

**Abstract:** In view of the present issue that channel noise seriously affects the communication quality of emergency communications, this paper studied the channel noise source and essential characteristics of emergency communication system and proposed a channel model of emergency communication, discussed the principles of interference noise suppression in chaotic spread-spectrum emergency communication system, designed a multi-user simulation model of chaotic spread spectrum emergency communications system, and advanced its Bit Error Ratio (BER) simulation and analysis in typical channel interference noise. The simulation results show that the chaotic spread spectrum communication system can effectively suppress strong noise interference and improve system BER performance in emergency communications significantly.

**Key words:** emergency communication; chaotic spread-spectrum; system design; simulation analysis

## 0 引言

地震、飓风、海啸、火灾和恐怖活动等成为了近十年来重大灾害的主要形式,这些重大灾害的频繁发生给世界各国人民的生命和财产安全带来了严重的危害。灾害事件发生后,快速有效的应急通信是抢救灾民生命与财产、稳定灾区社会秩序的重要环节,具有极为重要的现实意义;然而,从通信技术方面讲,灾害现场产生的大功率电磁噪声和各种干扰严重地影响了应急通信传输效率与质量<sup>[1]</sup>,给工作带来了严重的不利影响,提高灾害应急通信质量成为了进行有效灾害救援的核心环节。本文结合混沌序列的高度随机性能和扩频通信的抗噪声能力,以混沌扩频理论为基础,论述应急通信系统强干扰抑制方法,设计基于混沌扩频的多用户应急通信系统模型,并结合典型噪声干扰信道对其主要功能效果进行仿真与分析。

## 1 信道噪声分析及仿真模型设计

### 1.1 应急通信系统信道中的噪声与干扰

应急通信实践是在极其恶劣的环境、恐慌的心态和混乱的现场秩序中进行的。灾害发生后人们采用各种方式的终端设备迅速接入通信网络,试图抢先与亲人取得联系,因而导致了严重的网络拥塞与相互干扰;由于爆炸、燃烧、电器异常工作和输电线路短接而产生的突发大功率电磁脉冲,在极

宽频带内影响了应急通信信号的有效传输;建筑物倒塌、山体滑坡、空气极度恶化等原因使得通信信号传输多径化;为了逃生或救灾需要,通信信号经常通过快速移动的车辆上发出与接收, Doppler 频移也会引起信号传输质量的严重下降;众多车辆电器的同时工作给应急通信信号带来了连续的脉冲干扰<sup>[2]</sup>。纵观世界各地的应急通信实践发现,与传统通信信道的噪声干扰相比较,应急通信系统信道中噪声干扰有着突出的特点,即应急通信系统信道中除了白噪声干扰外,还具有严重的邻频干扰、突发间断脉冲干扰、多径传输信号干扰、连续随机脉冲干扰和 Doppler 频移干扰。

### 1.2 应急通信信道的仿真模型

根据应急通信信道的噪声干扰特征,在 Simulink 中选用“AWGN Channel”模拟白噪声;“Multipath Rayleigh Fading Channel”模拟 Doppler 频移;“Discrete Impulse”模拟突发脉冲;“Rayleigh NoiseGenerator”模拟与白噪声叠加后的邻频干扰;“Random Number”模拟随机信号干扰;“Rician Noise Generator”模拟各种无线终端发出的电磁干扰;“Integer Delay”模拟信道时延;用不同时延和增益的三路信号叠加模拟多径效应。于是,得到应急信道仿真模型如图1所示。

## 2 多用户应急通信系统及其仿真模型设计

### 2.1 多用户混沌扩频应急通信系统结构设计

灾害应急通信系统是工作于极其恶劣的灾害现场环境下

收稿日期:2010-07-06;修回日期:2010-08-23。

基金项目:西华师范大学校级科研项目(07A023);西华师范大学灾后重建专项研究基金资助项目(08A019)。

作者简介:焦方源(1969-),男,四川渠县人,讲师,硕士,主要研究方向:通信传输、信息处理。

的特殊通信系统,兼有抢险指挥相关的专用通信功能和灾民通信联络的公用通信功能;噪声干扰极其严重和信道极易拥塞是急通信系统的突出特点<sup>[3]</sup>。鉴于应急通信系统上述特征和混沌扩频技术优良抗干扰性能,可将每一个用户发出的基带信息数据进行基带调制,然后用具有高度随机特性进行混沌序列进行扩频调制,再经具有复杂噪声干扰特性的应急信道进行传输,到达接收端后再依次解扩、相关解调和抽样判决而恢复出原有基带信息<sup>[4]</sup>。不但可以通过数目极其巨大的混沌序列实现多用户信息的复用传输,而且还可以利用混沌扩频实现更加理想的噪声干扰抑制。多用户混沌扩频应急

通信系统结构如图 2 所示。

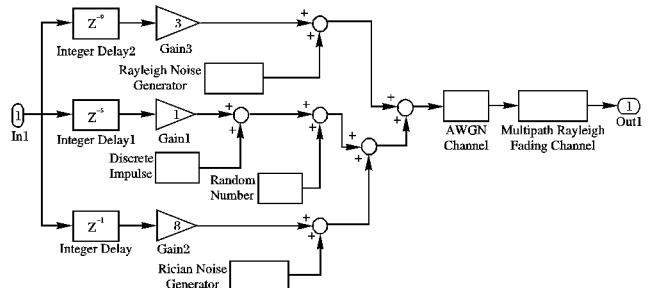


图 1 应急通信信道仿真模型

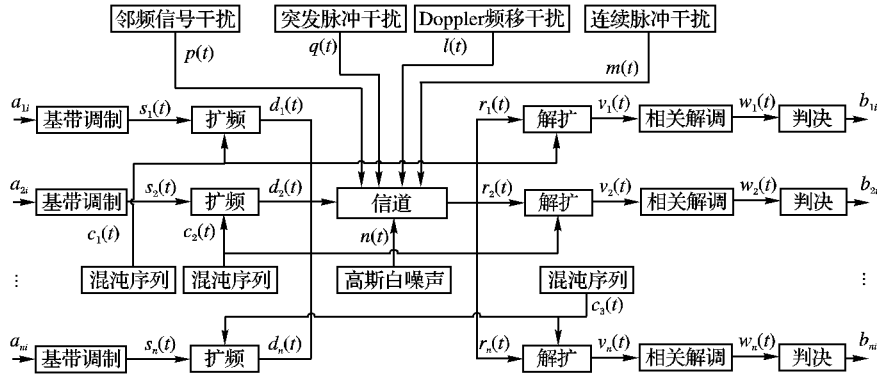


图 2 多用户混沌扩频应急通信系统结构示意图

## 2.2 应急通信信道噪声干扰抑制原理

对图 2 所示的多用户混沌扩频应急通信系统模型,各功能模块的输入输出信号如图 2 所示设置,  $p(t), q(t), l(t), m(t), n(t)$  为应急信道中的各种大功率噪声干扰,则第  $k$  个用户的输入基带数字信息  $a_{ki}, k = 1, 2, \dots, n$  经基带调制后有输出信号:

$$s_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} s_{ki}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_{ki} g(t - iT_b); k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中,  $a_{ki} = \pm 1, g(t)$  为宽度  $T_b$  的矩形脉冲。经扩频后输出信号为:

$$d_k(t) = s_k(t) c_k(t) = s_k(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n p(t - nT_c); k = 1, 2, \dots, n, T_b \gg T_c \quad (2)$$

其中,  $c_n$  为混沌映射决定的系数,  $p(t)$  为宽度为  $T_c$  的矩形脉冲。再经应急信道传输到达接收端后信号为:

$$r(t) = \sum_{k=1}^n d_k(t) + p(t) + q(t) + l(t) + m(t) + n(t) = \sum_{k=1}^n s_k(t) c_k(t) + p(t) + q(t) + l(t) + m(t) + n(t); k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

经解扩后,第  $k$  路输出信号为:

$$v_k(t) = c_k(t) r(t) =$$

$$c_k(t) \left[ \sum_{k=1}^n s_k(t) c_k(t) + p(t) + q(t) + l(t) + m(t) + n(t) \right]; k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

再经相关接收后,输出信号为:

$$w_k(t) = \int_0^{T_b} v_k(t) dt = \int_0^{T_b} c_k(t) \sum_{k=1}^n s_k(t) c_k(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) p(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) q(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) l(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) m(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) n(t) dt =$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{T_b} c_k(t) s_k(t) c_k(t) dt + \int_0^{T_b} c_j(t) \sum_{j=1, j \neq k}^n s_j(t) c_k(t) dt + \\ & \int_0^{T_b} c_k(t) p(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) q(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) l(t) dt + \\ & \int_0^{T_b} c_k(t) m(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) n(t) dt \end{aligned} \quad (5)$$

当  $c_k(t) (k = 1, 2, \dots, n)$  收发两端完全同步时,由混沌序列的正交性质有:

$$\int_0^{T_b} c_k(t) c_j(t) dt = \begin{cases} K (\text{非 0 常数值}), & j = k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (6)$$

式(5)中  $\int_0^{T_b} c_k(t) s_k(t) c_k(t) dt$  为当前第  $k$  路信道有用信号;

$\int_0^{T_b} c_j(t) \sum_{j=1, j \neq k}^n s_j(t) c_k(t) dt$  为系统中非当前信道信号对第  $k$  路信道信号的合成干扰,由式(6)可知其值为 0;其余各项为信道噪声干扰信号,其频谱均被接收端  $c_k(t)$  扩频展宽而转变为类随机信号,在接收端通频带内的功率谱密度大大降低,从而在接收端既定的通频带内接收到的噪声功率必定大大减小。于是式(5)可简化为:

$$w_k(t) = \int_0^{T_b} s_k(t) c_k(t) c_k(t) dt + N(t) \quad (7)$$

$$N(t) = \int_0^{T_b} c_k(t) p(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) q(t) dt +$$

$$\int_0^{T_b} c_k(t) l(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) m(t) dt + \int_0^{T_b} c_k(t) n(t) dt \quad (8)$$

由于此时  $N(t)$  为功率衰减后的噪声干扰,其值对抽样误判过程的影响程度大大减弱,于是将式(7)输入抽样判决后,输出端就能以更大概率得到正确最终输出序列:

$$b_{ki} = a_{ki}; k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

从上述分析可知,在应急通信系统中各种大功率噪声干扰经过混沌扩频率传输后,其功率已经被大幅度衰减,从而提高了通信可靠性质量。

## 2.3 多用户应急通信系统仿真模型

与普通伪随机序列相比,混沌序列具有更加优秀的随机

性能,主要表现在混沌序列具有尖锐的自相关性及其微弱的互相关性、更为明显的非周期性、足够多的码序列数目、优异的初值敏感特性和高度的随机特性<sup>[5]</sup>。于是,本系统模型选用改进型的 Logistic 混沌映射<sup>[6]</sup>产生扩频混沌序列。图1

所示的信道模型作为系统仿真信道,“Random-Integer Generator”模拟用户终端,“M-PSK”模拟基带调制,“Product”模拟扩频及解扩调制,“Error Rate Calculation”统计系统 BER 数值,得到多用户混沌扩频应急通信系统仿真模型如图3所示。

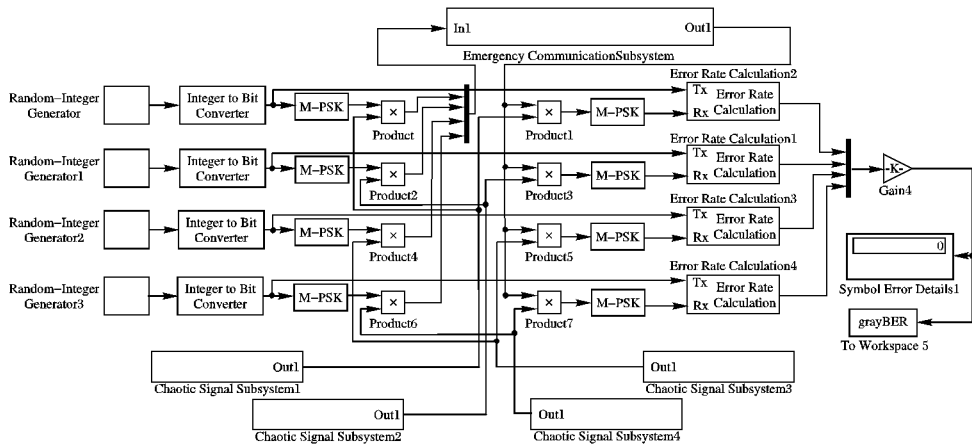


图3 多用户混沌扩频应急通信系统仿真模型

### 3 仿真实验

#### 3.1 脉冲干扰下的 BER 仿真

应急通信实践表明,灾害现场产生大量的大功率电磁脉冲干扰是不可避免的,而且是影响应急通信质量的重要因素。为测试本系统对大功率脉冲干扰的抑制能力,现对图1中信道模型进行修改,只保留选用“AWGN Channel”模拟白噪声,“Discrete Impulse”模拟突发脉冲,“Random Number”模拟随机信号干扰,用不同时延和增益的三路信号叠加模拟多径效应。再依次以混沌序列、PN序列、Walsh序列作为扩频序列,得到系统的 BER 仿真曲线如图4所示。

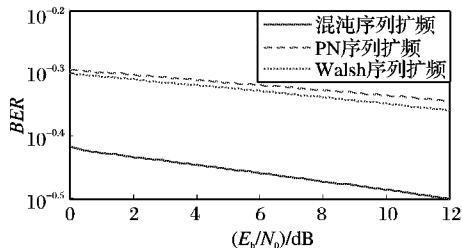


图4 脉冲干扰下不同序列扩频时系统 BER 曲线

#### 3.2 邻频干扰下的 BER 仿真

灾害现场由于接入终端数量庞大、种类繁多、频段混叠,信号之间的相互干扰是不可避免的,而且成为了影响应急通信质量的重要因素。为测试本系统对大功率脉冲干扰的抑制能力,现对图1中信道模型进行修改,只保留选用“AWGN Channel”模拟白噪声,“Rayleigh NoiseGenerator”模拟与白噪声叠加后的邻频干扰,“Random Number”模拟随机信号干扰,“Rician Noise Generator”模拟各种无线终端发出的电磁干扰,用不同时延和增益的三路信号叠加模拟多径效应。再将先后以混沌序列、PN序列、Gold序列、Walsh序列作为扩频序列,得到系统的 BER 仿真曲线如图5所示。

#### 3.3 不同数量用户作用下的 BER 仿真

灾害发生时,灾民争先接入通信网络进行呼叫时造成网络拥塞的直接原因,也是造成通信干扰加剧的重要因素。为测试本系统对用户数量剧增的适应能力,将图3所示系统中的用户数量依次设置为2、3、4,对应应急通信系统 BER 数值进行仿真实验。得到不同数量用户条件下,系统的 BER 如图

6所示。

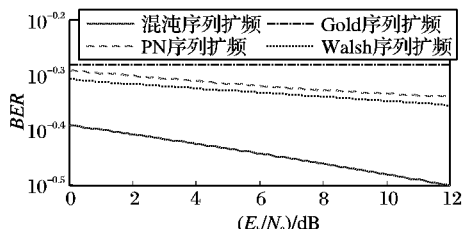


图5 大功率邻频干扰下 BER 曲线

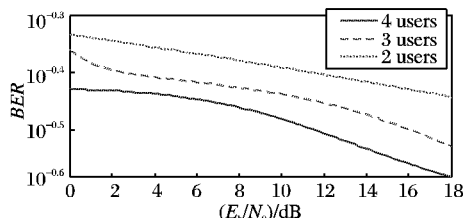


图6 用户数量与系统 BER 关系曲线

#### 3.4 不同调制方式作用下的 BER 仿真

采用不同调制方式的通信系统具有不同的传输质量与速率,而且对通信环境也有不同的适应能力。为测试本系统对通信调制技术的适应能力,选用图3所示系统为模型,依次选用4PSK、8PSK、16PSK 和 64PSK 作为调制手段,对系统的 BER 数值进行仿真实验。得到不同调制方式下,系统的 BER 曲线如图7所示。

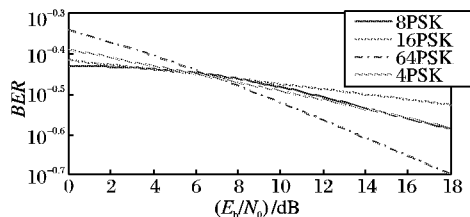


图7 调制方式与 BER 关系曲线

#### 3.5 混沌序列不同强度时系统的 BER 对比仿真

混沌信号具有类噪声的特点,混沌扩频通信实质上就是利用噪声作为载波的通信技术<sup>[7]</sup>,为了有效解决了外界大功率噪声干扰的问题,混沌信号必须要有一定的强度<sup>[8]</sup>。为了寻求适合应急通信信道的最佳混沌信号强度,现以图3所示系统为模型,依次将控件“Gain”(控制混沌信号强度)的值设

置为8、16、32、64对系统BER数值进行仿真实验。得到不同强度混沌信号扩频时,系统BER如图8所示。

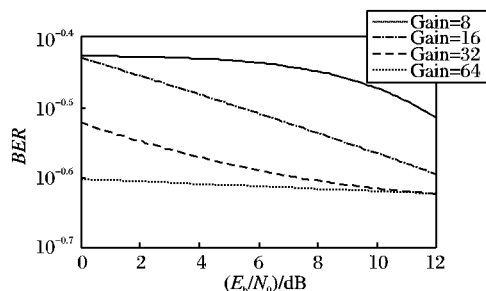


图8 不同强度混沌序列扩频时系统BER曲线

### 3.6 多径信号干扰下的BER仿真设计

灾害现场由于建筑物倒塌、山体滑坡或大气严重恶化等原因,信号大多通过多条路径进行传输,在接收端其合成信号与原信号存在较大失真,从而影响了应急通信的传输质量。为了测试本系统对多径效应的抑制能力,现对图1中信道模型进行修改,只保留选用“AWGN Channel”模拟白噪声,“Random Number”模拟随机信号干扰,用不同时延和增益的三路信号叠加模拟多径效应。再先后以混沌序列、PN序列、和Walsh序列作为扩频序列,得到系统的BER仿真曲线如图9所示。

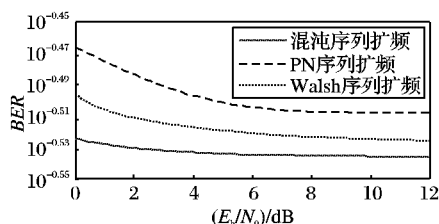


图9 多径信号干扰下系统BER曲线

## 4 仿真数据分析

从图4、图5可以看出,大功率脉冲干扰和大功率邻频干扰下采用混沌序列扩频时的系统BER整体下要比其他序列扩频时低得多,而且随着信道条件的改善而急速下降,体现出混沌序列扩频系统对大功率脉冲干扰和大功率邻频干扰的抑

制能力;从图6可以看出,4用户系统的BER值在相同信道条件下要比2、3用户系统低,体现出了在一定范围内本系统具有抗拥塞和邻频干扰的能力;从图7可以看出,虽然采用各种调制方式时系统BER均随着信道条件的改善而下降,但在强噪声干扰(信噪比低于7 dB)时,8PSK的抗噪声干扰能力最强;从图8可以看出,Gain为64的混沌信号进行扩频调制时,系统BER值整体最低;从图9可以看出,多径信号干扰作用下,混沌信号进行扩频调制时的系统BER值最低,体现出对多径干扰的良好抑制能力。

## 5 结语

深入研究并论述了应急通信中信道的噪声与干扰本质特性,构建了应急信道的仿真模型;根据应急通信的实际需要,提出了多用户应急通信系统的系统结构,并且针对典型信道噪声干扰环境和系统典型应用需要,进行了一系列多用户应急通信系统BER数值仿真(以4用户为例)。仿真实验数据证明,本系统具有良好的抗强噪声干扰能力,能够有效地提高应急通信的可靠性。

### 参考文献:

- [1] 焦方源,李佳,李薇.基于MANET+MDS的自适应灾害应急通信系统结构及其应用研究[J].电信快报,2010,464(2):17-20.
- [2] 兰燕红.城市交通应急系统的能力评价及预案研究[D].北京:北京交通大学,2008.
- [3] 崔维嘉,陈曦,陆杰青,等.多跳蜂窝网络代理选取问题研究[J].计算机工程与应用,2007,43(6):114-116,155.
- [4] 于银辉.混沌扩频通信技术研究及其应用[D].长春:吉林大学,2005.
- [5] 孙克辉,周家令,牟俊.多用户混沌扩频通信系统的设计与仿真[J].计算机仿真,2007,24(8):112-115.
- [6] 柳平,闫川,黄显高.改进的基于Logistic映射混沌扩频序列的产生方法[J].通信学报,2007,28(2):134-140.
- [7] LIU CHONGXIN, LIU TAO, LIU LING, et al. A new chaotic attractor[J]. Chaos Solitons and Fractals, 2004, 22(5): 1031-1038.
- [8] WANG FAQIANG, LIU CHONGXIN. A new criterion for chaos and hyperchaos synchronization using linear feedback control[J]. Physics Letters A, 2006, 360(2): 274-278.
- [9] SIAMWALLA R, SHARM R, KESHAV S. Discovering Internet topology [C/OL].// IEEE INFOCOM'99. Washington, DC: IEEE, 1999 [2010-03-02]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.3717&rep=rep1&type=pdf>.
- [10] CASTRO R, COATES M, LIANG G, et al. Network tomography: recent developments [J]. Statistical Science, 2004, 19(3): 499-517.
- [11] COATES M, HERO A O, NOWAK R, et al. Internet tomography [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(3): 47-65.
- [12] RATNASAMY S, MCCANNE S. Inference of multicast routing trees and bottleneck bandwidths using end-to-end measurements [C].// INFOCOM'99: 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Washington, DC: IEEE, 1999. 353-360.
- [13] DUFFIELD N G, HOROWITZ J, PRESTI F L, et al. Multicast topology inference from end-to-end measurements [EB/OL]. [2010-01-06]. <http://www.ce.uniroma2.it/~lopresti/Articoli/topologyITC.pdf>.
- [14] CASTRO R, COATE M, NOWAK R. Likelihood based hierarchical clustering [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(8): 2308-2321.
- [15] COATE M, CASTRO R, NOWAK R, et al. Maximum likelihood network topology identification from edge-based unicast measurements [C].// Proceedings of the 2002 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems. New York: ACM, 2002: 11-20.
- [16] SHIN M-F, HERO A O, III. Hierarchical inference of unicast network topologies based on end-to-end measurements [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(5): 1708-1718.
- [17] 马知恩,王锦森.工科数学分析:下册[M].北京:高等教育出版社,2002:55-57.
- [18] 于斌,孙斌,温暖,等.NS2与网络模拟[M].北京:人民邮电出版社,2007:46-133.

(上接第214页)

### 参考文献: