

基于扰动特征分解和前馈调制的网络波动跳变信号抑制算法

陈卫军^{1,2} 睢 丹²

(华东师范大学软件学院 上海 200241)¹ (安阳师范学院软件学院 安阳 455000)²

摘 要 在网络切换和数据通信中,会产生一种网络波动下的时频跳变谐振信号,需要对这种网络波动跳变信号进行抑制,以提高网络稳定性。提出一种基于扰动特征分解和前馈调制的网络波动跳变信号抑制算法,构建网络波动跳变信号谐振数学模型,采用射线模型对网络跳变单频脉冲中的波动信号进行传播损失估计,基于多普勒频移算法提取扰动特征,利用混响慢变包络切片把波动跳变信号的能量聚集在扰动方向,在希尔伯特空间上对网络波动跳变信号进行扰动特征分解。设计前馈调制滤波器,实现对网络波动跳变信号的前馈调制抑制。仿真结果表明,该算法能有效抑制网络波动跳变中的谐振信号,避免了信息损失,数据传输丢包率得到降低,实时性好,解决了大规模混合组网中启动滞后、服务器负载、颤抖等问题。

关键词 网络,扰动特征分解,信号,前馈调制

中图分类号 TP393

文献标识码 A

DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.7.036

Suppression Algorithm of Network Fluctuation Hop Signal Based on Perturbation Characteristic Decomposition and Feedforward Modulation

CHEN Wei-jun^{1,2} SUI Dan²

(School of Software Engineering, East China Normal University, Shanghai 200241, China)¹

(School of Software Engineering, Anyang Normal University, Anyang 455000, China)²

Abstract In the network switching and data communication, a network time-frequency hop resonant signal can be produced, and such fluctuation hop signal should be suppressed to improve network stability. An improved suppression algorithm of network fluctuation hop signal was proposed based on perturbation characteristic decomposition and feedforward modulation, and the network fluctuation hop signal resonant mathematical model was constructed. The ray model was used to estimate the transmission loss, Doppler frequency shift algorithm was used to extract disturbance characteristics, and slowly varying envelope slice was used to gather the signal energy in the disturbance direction. In the Hilbert space, perturbation characteristic decomposition was obtained, the feedforward filter was designed, and the signal suppression was completed. The simulation results show that this algorithm can effectively suppress the resonant signal in network fluctuation hop, the information loss is avoided, data packet loss rate is reduced, and it has good real-time performance. The problems such as network startup delay, server load, trembling are solved.

Keywords Network, Disturbance feature decomposition, Signal, Feedforward modulation

1 引言

当今,网络用户终端不再只是传统意义上的计算机用户,还包括了车载、舰载、机载终端和手持机等网络用户,这些用户共同构成一个混合组合网络。混合组合网络成为网络分布和设计的趋势,组合网络中,由于网络之间的相群特征有差异,在网络切换和数据通信中,会产生一种网络波动跳变谐振信号,这种谐振信号以噪声的形式存在于网络通信系统中,表现为一种跳变脉冲,会带来网络波动和信号的不稳定,出现启动滞后、服务器负载、颤抖等现象。随着网络安全和网络稳定性的发展和应用需求的扩大,研究对转网过程中产生的网络

波动跳变信号的抑制算法,对提供信息通信和网络系统的安全稳定性具有重要意义。

传统方法中,对混合组合网络的波动跳变谐振信号的抑制主要是采用分数间隔均衡调制算法和包络瞬时值统计方法进行。采用统计信号处理方法,通过信号检测理论,实现对有用信号的聚焦,抑制谐波振荡信号^[1,2]。算法在理论和实践中都取得了一定的成果,其中,文献[3]提出了一种基于包络瞬时值预估和混合蛙跳波特间隔均衡调制的网络谐振信号抑制算法,采用包络检波调制方法实现对网络波动跳变信号的检测和估计,提取有用信息特征,达到消波抑制的目的。然而该算法需要实现能量检测预处理,实现较为复杂。文献[4]提

到稿日期:2014-08-25 返修日期:2014-09-24 本文受河南省科技厅基础与前沿研究项目(112300410129),河南省教育厅自然科学研究计划项目(2011B520001)资助。

陈卫军(1971—),男,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络、计算机应用,E-mail:chenweijun0514@163.com;睢丹(1976—),女,博士生,主要研究方向为计算机图形图像处理、虚拟现实。

出一种基于跟踪微分时延误差补偿的失稳网络入侵波动后的稳定与镇定方法,通过时延误差补偿控制方法,实现对网络切换中的失稳信号的抑制,算法没有充分考虑网络入侵后的噪声影响,精度不高。文献[5]对此进行算法改进,提出一种基于能量管理和波特间隔的前置均衡设计的网络切换波动控制算法,该算法存在网络连接时间短、数据包传输中断率高的问题;文献[6]提出一种基于非平稳时变信号分析的网络波动跳变信号抑制算法,抑制信号跳频的交叉项,提高噪声和波动干扰信号的抑制,但该算法需要对信号进行时频分解和相空间重排,计算量大。另外,文献[7]提出了基于 Gabor 小波变换的网络自组网跳变信号抑制算法;文献[8]采用一种基于分数阶 Fourier 变换的跳变信号防波动检测算法,来实现对网络波动跳变信号的抑制和降噪处理。但综合分析传统算法可知,它们都无法有效地实时实现网络波动跳变信号抑制,特别是对大规模混合组合网络的切网产生的波动跳变谐振信号的处理能力欠佳,鲁棒性和实时性不好^[9,10]。

针对上述问题,本文提出一种基于扰动特征分解和前馈调制的网络波动跳变信号抑制算法,提高对大规模混合组合网络的跳变信号抑制性能,通过构建信号模型,基于扰动特征分解和调制处理实现对算法的改进,提高对网络谐振和跳变的消波抑制能力,提高网络通信的均衡性,降低丢包率,保障网络系统的稳定,提高鲁棒性。通过仿真实验验证了算法的有效性和可行性。

2 网络波动跳变信号谐振数学模型和信号分析

2.1 问题描述与网络波动跳变信号谐振数学模型

本文将研究大规模复杂组合网络的切换和数据通信中的波动跳变谐振信号的抑制算法,首先给出网络信号的谐振数学模型,为信号的生成提供模型基础。大规模组合网络通常依据节点的拓扑结构,构建相应的网络模型,随着网络规模的扩大和网络之间协议差异性的变化,由于在网络混合组网过程中的这种差异性特征产生信号波动,导致网络通信传输信道不稳定,甚至给网络攻击者留下漏洞和后门,从而影响网络系统的稳定和安全。因此需要对波动信号进行消波抑制,构建网络谐振信号模型表达式为:

$$\begin{aligned} z(t) &= s(t) + js(t) \otimes h(t) = s(t) + j \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s(u)}{t-u} du \\ &= s(t) + jH[s(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $h(t)$ 称为复信号 $z(t)$ 的瞬时幅度,有时也称为包络; $s(t)$ 称为瞬时相位, $Z(f)$ 可由 $S(f)$ 通过傅立叶变换得到, $H(f)$ 为网络谐振信号的阶跃式传输函数。分析式(1)可知,网络波动跳变的谐振信号是一组非平稳随机信号,具有时变性和非线性。假设网络在切网过程中的信号跳变节点定义为 $v_m, m \in [1, n]$, 网络谐振信号为时域和频域构成的窄带回波的复包络形式,可写作:

$$\tilde{y}(t) = \iint_{\tau, \phi} b(\tau, \phi) \exp[j2\pi\phi t] \tilde{f}(t-\tau) d\tau d\phi \quad (2)$$

其中, $b(\tau, \phi)$ 是窄带扩展函数, $\tilde{f}(t)$ 为各频率分量信号的复包络, τ 为传输时延, ϕ 为多调频信号的随时间变化的频移特性。假设网络在波动跳变过程中,谐振信号随着时间的变化而线性变化的过程为线性变换,这表现为一个调频信号,可得网络波动跳变信号的窄带扩展函数为时变冲击函数或时变格林函数的傅立叶变换,变换过程为:

$$y(t) = \iint_{a,b} \rho(a,b) \frac{1}{\sqrt{|a|}} f\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{da db}{a^2} \quad (3)$$

式中, $f(t)$ 为信号的非平稳态瞬时频率估计值, $\rho(a,b)$ 为宽带扩展函数, a 为尺度参数, b 为时延参数。假设 b_k 是控制两个不同相位跳变节点的网络谐振信号的相位值差, 权系数 $b_0 = 0$, c_k 为相位采样间隔参数, 采用宽带扩展函数描述网络波动跳变信号谐振数学模型, 得到网络波动跳变信号的回波信号演化过程为:

$$y(t) = \frac{1}{c_f} \iint W_f y(a,b) \frac{1}{\sqrt{|a|}} f\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{da db}{a^2} \quad (4)$$

网络波动跳变过程中,采用连续傅立叶变换处理方法,得到信号波动特征的允许性函数,即平方可积函数满足如下允许性条件:

$$c_f = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|F(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (5)$$

式中, $F(\omega)$ 是 $f(t)$ 傅立叶变换, 常数 c_f 称为函数 $f(t)$ 的允许性常数。由此得到网络波动跳变信号谐振数学模型, 其为实现网络波动跳变信号的信号特征分析和前馈调制抑制提供信号源。

2.2 传统的信号包络特征分解预处理方法及弊端分析

在上述构建的网络波动跳变信号谐振数学模型的基础上,需要进行特征提取算法设计,实现对网络波动跳变信号的抑制处理。传统方法采用包络预取特征提取算法对不稳定网络跳变单频脉冲信号进行包络特征分解,具体描述如下:

采用射线模型对网络跳变单频脉冲中的波动信号进行传播损失估计:

$$TL = n \cdot 10 \lg r + ar \quad (6)$$

其中, TL 为不稳定网络跳变单频脉冲信号的传播损失(dB), n 为传播因子, r 为数据收发和网络切换过程中的载频衰减。得到的网络波动跳变信号的时间尺度和时延的带通信号的复包络分别为:

$$s(v) = \int_0^v \sin\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx \quad (7)$$

$$y(t) = u(s(t-\tau)) \exp(j\omega_c s(t-\tau)) \quad (8)$$

式中, v 表示信号包络指向性, $u(t)$ 为复包络, ω_c 为载频(单位:弧度/秒)。对于宽带波动信号,指向性增益为:

$$c(v) = \int_0^v \cos\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx \quad (9)$$

由此得到不稳定网络跳变单频脉冲信号进行包络特征分解的结果为:

$$|s(f)| = A \sqrt{\frac{1}{2k}} \{ [c(v_1) + c(v_2)]^2 + [s(v_1) + s(v_2)]^2 \} \quad (10)$$

得到不稳定网络跳变单频脉冲信号,则 t 时刻散射特性函数为:

$$P_i(t) = \sum_{n=1}^N \frac{A}{r} e^{-jkr} R_n \frac{1}{r} e^{-kr} \quad (11)$$

化简得:

$$P_i(t) = \frac{A}{r^2} \sum_{n=1}^N e^{-j2kr} a_n e^{j\omega_n t} \quad (12)$$

其中, r 为脉冲信号的混响幅度, a_n 为初始频率, k 为跳变信号传递瞬时幅度, A 为调频信号带宽。通过上述方法实现了基于包络预取特征提取的不稳定网络跳变单频脉冲信号特征分解和抑制,结合式(10)可知,采用传统算法所得复信号 $z(t)$ 的

实部与所给定的实信号 $s(t) = a(t) \cos \phi(t)$ 相同,无法有效剔除网络波动跳变信号的负频部分,造成了大量的网络跳频脉冲信号信息损失,抑制效果不好,网络稳定性改善效果不佳,且造成了大量的通信信道冗余和信息损失,提高了网络通信的丢包率,因此需要对算法进行改进。

3 算法的改进设计与实现

3.1 信号扰动特征分解算法的提出

针对传统方法的弊端进行算法改进,为了有效抑制大规模复杂组合网络在切换和数据通信中的波动跳变谐振信号,实现信号降噪和提纯,提出一种基于信号扰动特征分解和前馈调制的网络波动跳变信号抑制算法。信号扰动特征分解算法的实现关键技术如下。

在上节给出的网络波动跳变信号谐振模型中,网络跳变信号辐射圆环面积为:

$$S = \pi(r^2 - MB^2) \quad (13)$$

设单位面积为 ΔS ,则第 i 个圆环有贡献的散射体个数为 $N = [S/\Delta S]$ 。网络跳变单频脉冲信号混响瞬时值服从高斯分布,它的概率密度函数为:

$$f(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_V} \exp\left(-\frac{V^2}{2\sigma_V^2}\right) \quad (14)$$

其中: σ_V 是瞬时值 V 的方差。对于输入的不稳定网络跳变单频脉冲信号,大量的谐波信号含有扰动特征,本文采用多普勒频移算法提取扰动特征,利用混响的慢变包络切片把波动跳变信号的能量聚集在扰动方向,将具有扰动特征的多普勒频移记作 ω_d ,为信号 s 作泰勒级数展开,得到:

$$\begin{aligned} s = \frac{c-v}{c+v} &= (1 - \frac{v}{c})(1 - \frac{v}{c} + (\frac{v}{c})^2 - \dots) \\ &= 1 - \frac{2v}{c} + 2(\frac{v}{c})^2 - \dots \end{aligned} \quad (15)$$

在希尔伯特空间上进行扰动特征分解,对于高斯噪声中的随机信号,采用最大似然自相关估计算法,对信号 s ,在希尔伯特空间上的 H 上的群 G 的不可约表示 U ,若存在某个 $g \in H$,使得

$$\int |\langle g, U(x)g \rangle|^2 d\mu(x) < \infty \quad (16)$$

那么得到希尔伯特空间上的网络波动跳变信号的扰动特征分解结果为:

$$S_T(x, x') = S_n(x, x') *_{\mathcal{G}} \dots *_{\mathcal{G}} S_2(x, x') *_{\mathcal{G}} S_1(x, x') \quad (17)$$

其中, $*_{\mathcal{G}}$ 表示仿射群上的群卷积,这一过程类似于相干函数经过随机介质进行传输的情形,通过上述处理,可以将网络波动跳变信号的谐振特征和独立散射扰动特征准确地映射到希尔伯特空间上,从而解决了传统算法出现的信息损失的问题;在傅立叶域上进行后置能量聚集,增大信号的特征累积。

3.2 特征前馈调制与信号抑制算法的实现

以上述提取的信号扰动特征分解结果为输入变量,设计前馈调制滤波器,实现对网络波动跳变信号的前馈调制抑制。基于前馈滤波的信号抑制处理原理如图1所示。

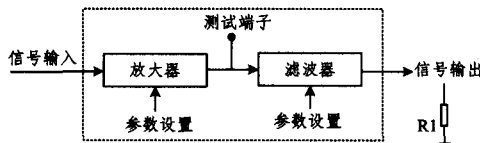


图1 基于前馈滤波的信号抑制处理原理

结合图1所示,以上述计算得到的信号扰动特征分解结果为信号输入,利用自适应滤波器的方法来确定信号频率,考虑一种简单的滤波器形式:

$$H(z) = \frac{N(z)}{D(z)} \quad (18)$$

式中, $N(z)$ 是分子多项式,它的零点在 $z = e^{\pm j\omega_0}$ 处, $D(z)$ 为分母多项式,幅频响应由滤波器的频率参数 α 和带宽参数 r 确定,基于前馈调制方法对滤波器的抽头系数进行自适应调整,得到前馈滤波器的频率为:

$$\omega_0 = \arccos(-\alpha/2) \quad (19)$$

在希尔伯特空间中,由于跳变信号噪声的增强会使前馈调制滤波器无法实现均衡增益,因此本文采用深度零点信道补偿频率响应估计算法,对滤波器抽头系数进行自适应调整,得到的前馈滤波器具有高增益的频率响应,为:

$$e^{j\pi} V = V(e^{j\omega_0}) = \frac{\sin\theta_2 + \sin\theta_1(1 + \sin\theta_2)e^{j\omega_0} + e^{j2\omega_0}}{1 + \sin\theta_1(1 + \sin\theta_2)e^{j\omega_0} + \sin\theta_2 e^{j2\omega_0}} \quad (20)$$

由此得到设计的前馈调制滤波器的传递函数为:

$$H(z) = \frac{1}{2} [1 + V(z)] V(e^{j\omega}) + e^{j\Phi(\omega)} \quad (21)$$

选取不同的陷波器频率参数 θ_1 和带宽参数 θ_2 ,求得前馈调制带宽,设计的前馈调制滤波器具有高增益的频率响应,时宽带宽积满足约束条件:

$$TW \ll \frac{c}{2|v|}, \left| \frac{2v}{c} \right| \ll 1 \quad (22)$$

式中, $|v|$ 表示复包络的时间尺度伸缩,假设 $S_k(t)$ 为信道 e 上传输的数据与节点连接的自适应调节系数,网络谐振信号的扰动特征在分解后,具有深度零点补偿信道,实现信号能量抑制滤波,得到的网络波动跳变信号经过前馈调制后的滤波抑制输出为:

$$y(t) = u(s(t-\tau)) \exp(j\omega_c s(t-\tau)) \quad (23)$$

基于上述设计的前馈滤波器,对大规模组合网络的跳变波动谐振信号进行后置谐振抑制处理,通过扰动特征分解,提高了对跳变信号的抑制性能,特别是本文提出的方法使得信号经聚合后在希尔伯特空间上实现了线性叠加和聚焦,保留了网络波动跳变信号的负频部分,避免了信息损失,对提高网络通信的准确性和有效性有益。通过信号抑制处理,可以使网络避免出现启动滞后、服务器负载、消息消耗以及颤抖等现象。

4 仿真实验与结果分析

为了验证本文算法的性能,进行仿真测试,实验平台为通用PC机,CPU为Intel® Core™ i7-2600@3.40GHz,内存为4*4 GB DDR3@1600 9-9-9-24,操作系统 Windows7,开发工具为VS2008,并行处理使用OpenMP 2.0和MPICH NT 1.2.5,算法设计采用Matlab进行编程实现。

网络波动填报信号中心频率测试为 $f_0 = 1000\text{Hz}$,离散采样率为 $f_s = 10 * f_0\text{Hz} = 10\text{kHz}$,带宽 $B = 1000\text{Hz}$ 。网络波动跳变的谐振信号的延时取值为20ms,用融合参数 ϕ 和 φ 表示这两种预测结果权重分布,参数选择为: $\phi = \varphi = 0.5$,前馈调制滤波器阶数为24,前馈滤波器抽头间隔均为1/2码元间隔,反馈均衡器的阶数为3,抽头间隔为码元间隔,迭代步长均为0.01,级数 $r = 20$ 、长度 $N = 1048575$ 的反馈系数为4000011。

通过信号采集,得到其中一组测试样本的网络波动跳变信号时域波形如图 2 所示。

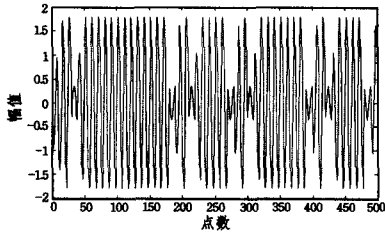


图 2 网络波动跳变信号谱振波形

在码元速率为 1kBaude,载波频率为 3kHz,采样频率为 10 倍载波频率的条件下,对网络波动跳变信号进行扰动特征分解,得到扰动特征的分解结果如图 3 所示,图中,将信号的扰动特征分解为基带信号、本地载波和调制波 3 个部分。

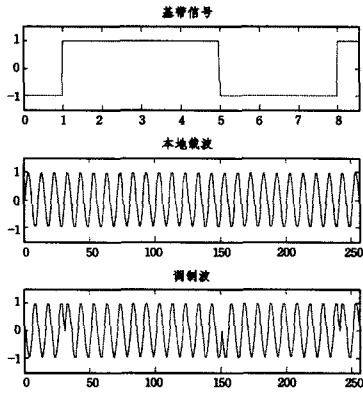


图 3 扰动特征的分解结果

以分解得到的扰动特征为输入变量,在本文设计的前馈调制滤波器中,实现对网络波动跳变信号的抑制处理,通过前馈调制抑制后的解调信号输出结果如图 4 所示。由图可见,采用本文算法能有效抑制网络波动跳变中的谐振信号,避免了网络波动和信号不稳定,有效解决了混合组网网络中进行网路切换和数据通信而出现的启动滞后、服务器负载、颤抖等问题。

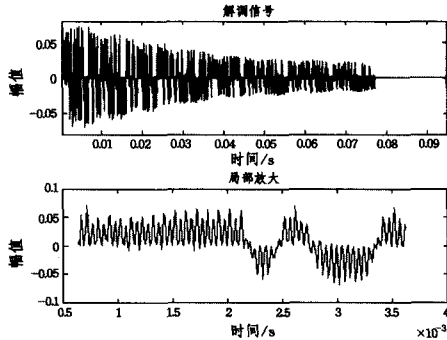


图 4 谐振信号抑制输出结果与局部放大波形

为了对比算法性能,以数据传输丢包率为测试指标,采用本文算法和传统算法对网络波动跳变信号进行谐振抑制,进行性能比较,得到的在不同网络传输吞吐量下两种方法的传输丢包率对比结果如图 5 所示。通过分析图 5 可知,采用本文算法时网络数据传输的丢包率低于传统算法,展示了本文算法在保证网络通信系统稳定性和安全性方面的优越性。

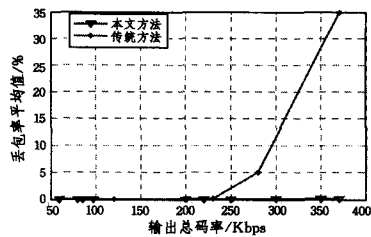


图 5 网络性能对比

测试系统的运行时间。在相同 CPU 负载下,采用本方法实现网络波动跳变信号的抑制,数据传输的平均运行时间间隔为 15s,而传统方法约为 35s,说明通过本文方法加快了网络传输调整速度,提高了收敛性,保证了网路切换的实时性和稳定性。

结束语 在大规模混合组合网络中,由于网络之间的相群特征存在差异,在网络切换和数据通信中,会产生一种网络波动跳变谐振信号,这种谐振信号以噪声的形式存在于网络通信系统中,表现为一种跳变脉冲,会带来网络波动和信号不稳定。研究对转网过程中产生的网络波动跳变信号的抑制算法,对提高信息通信和网络系统的安全稳定性具有重要意义。本文提出一种基于扰动特征分解和前馈调制的网络波动跳变信号抑制算法,提高了对大规模混合组合网络的跳变信号抑制性能。本文构建了网络波动跳变信号谐振数学模型,提出了信号扰动特征分解算法,设计前馈滤波器,实现了扰动特征前馈调制与信号谐振抑制。通过分析得出,采用本文算法能有效抑制网络波动跳变中的谐振信号,避免了网络波动和信号不稳定,降低了数据传输丢包率,网络切换实时性和稳定性较传统方法优越。

参 考 文 献

[1] 靳晓艳,周希元,张琬琳. 多径衰落信道中基于自适应 MCMC 的调制识别[J]. 北京邮电大学学报,2014,37(1):31-34
Jin Xiao-yan,Zhou Xi-yuan,Zhang Wan-lin. Modulation Recognition Using Adaptive MCMC in Multipath Fading Channel[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014,37(1):31-34

[2] 韩慧鹏,梁红,胡旭娟. 自适应 IIR 陷波器在信号检测中的应用[J]. 弹箭与制导学报,2008,28(2):315-317
Han Hui-peng,Liang Hong,Hu Xu-juan. Signal Detection Based on Adaptive IIR Notch Filter[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2008,28(2):315-317

[3] Xie S L, Liu Y, Yang J M, et al. Time-Frequency Approach to Underdetermined Blind Source Separation[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2012,23(2): 306-315

[4] 饶雨泰,杨凡. 网络入侵搅动下的网络失稳控制方法研究[J]. 科技通报,2014,30(1):185-188
Rao Yu-tai, Yang fan. Network Intrusion Stir the Network Instability Control Methods of the Research[J]. Bulletin of Science and Technology, 2014,30(1):185-188

[5] 黎峰,吴春明. 基于能量管理的网络入侵防波动控制方法研究[J]. 计算机仿真,2013,30(12):45-48,335
Li Feng, Wu Chun-ming. Research on Prevention Fluctuation Control method of Network Intrusion Based on Energy Management[J]. Computer simulation, 2013,30(12):45-48,335

[6] Alfaro V M, Vilanovab R. Robust tuning of 2DoF five-parameter PID controllers for inverse response controlled processes[J].

- [7] 杨明, 郝亮, 徐殿国. 基于自适应陷波滤波器的在线机械谐振抑制[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(4): 63-69
Yang Ming, Hao Liang, Xu Dian-guo. Online suppression of mechanical resonance based on adapting notch filter[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014, 46(4): 63-69
- [8] 王瑞, 马艳. 基于分数阶傅里叶变换的线性调频脉冲信号波达方向估计[J]. 兵工学报, 2014, 35(3): 421-427
Wang Rui, Ma Yan. DOA Estimation of Wideband Linear Frequency Modulated Pulse Signals Based on Fractional Fourier Transform[J]. Acta Armamentarii, 2014, 35(3): 421-427
- [9] 欧世峰, 高颖, 赵晓晖. 自适应组合型盲源分离算法及其优化方案[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(5): 1243-1247
Ou Shi-feng, Gao Ying, Zhao Xiao-hui. Adaptive Combination

- Algorithm and Its Modified Scheme for Blind Source Separation [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(5): 1243-1247
- [10] 刘遒, 郭立红, 肖辉, 等. 基于参数动态调整的动态模糊神经网络的软件可靠性增长模型[J]. 计算机科学, 2013, 40(2): 186-190
Liu Luo, Guo Li-hong, Xiao Hui, et al. Software Reliability Growth Model Based on Dynamic Fuzzy Neural Network with Parameters Dynamic Adjustment[J]. Computer Science, 2013, 40(2): 186-190
- [11] 方科. 高动态扩频信号捕获的多普勒补偿[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(7): 122-124
Fang Ke. Research on Doppler Compensation in Acquisition of High Dynamic Spread Spectrum Signals[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2013, 34(7): 122-124

(上接第 145 页)

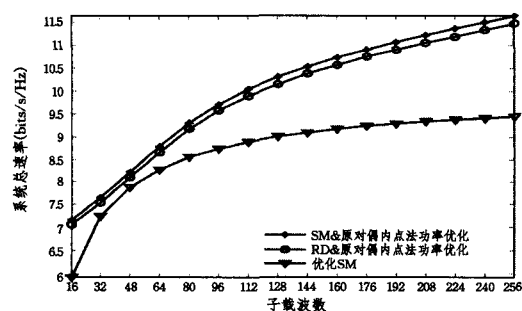


图 3 高总功率下系统总速率与子载波数的关系

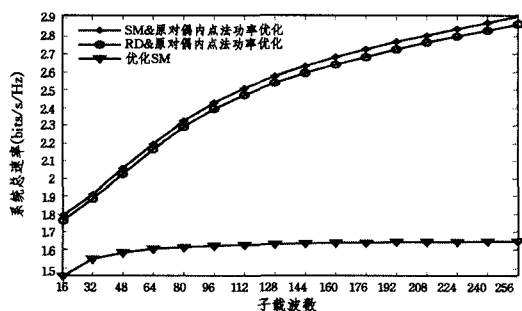


图 4 低总功率下系统总速率与子载波数的关系

结束语 本文主要研究了 AF 模式下正交频分(OFDM)双向中继系统的功率分配优化问题, 将功率优化问题分为两层优化问题, 即子载波间、各节点上的功率优化分配问题。运用最优子载波匹配算法以及建立用户和中继节点间的最优功率分配比例关系来简化系统模型, 较大程度地降低了算法的复杂度。然后, 在求得的最优节点功率比例的基础上, 利用原对偶内点法的迭代算法求解各个子载波对上的功率分配问题。本文提出的算法可以显著提升系统总功率, 且复杂度明显低于其它对比算法。

参考文献

- [1] 王东, 冯文江, 衡玉龙. OFDMA 协同通信系统资源分配算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(5): 86-90
Wang Dong, Feng Wen-jiang, Heng Yu-long. Resource allocation algorithm for OFDMA-based cooperative communication systems [J]. Computer Science, 2012, 39(5): 86-90
- [2] Hammerstrom I, Kuhn M, Esli C, et al. MIMO two-way relaying with transmit CSI at the relay[C]//IEEE 8th Workshop on Sig-

- nal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC 2007). IEEE, 2007: 1-5
- [3] Wu Yun-nan, Chou P A, Kung S Y. Information exchange in wireless networks with network coding and physical-layer broadcast[R]. MSR-TR-2004, 2005
- [4] Fan Bin, Wang Wen-bo, Lin Yi-cheng, et al. Subcarrier allocation for OFDMA relay networks with proportional fair constraint[C]//IEEE International Conference on Communications (ICC'09). IEEE, 2009: 1-5
- [5] Wang Wen-yi, Wu Ren-biao. Capacity maximization for OFDM two-hop relay system with separate power constraints[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(9): 4943-4954
- [6] Shim Y, Park H, Kwon H M. Optimal power allocation for Two-way decode-and-forward relay networks with equal transmit power at source nodes [C]//2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE, 2013: 3335-3340
- [7] Ho C K, Zhang Rui, Liang Ying-chang. Two-way relaying over OFDM; optimized tone permutation and power allocation[C]//IEEE International Conference on Communications (ICC'08). IEEE, 2008: 3908-3912
- [8] Vu H N, Kong H Y. Joint subcarrier matching and power allocation in OFDM two-way relay systems[J]. Journal of Communications and Networks, 2012, 14(3): 257-266
- [9] 唐伦, 刘进, 陈前斌, 等. OFDM 双向中继子载波配对与功率联合优化[J]. 北京邮电大学学报, 2011, 34(s1): 85-89
Tang Lun, Liu Tong, Chen Qian-bin, et al. Joint Optimization for Sub-Carrier Pair and Power in OFDM-Based Two-Way Relaying [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34(s1): 85-89
- [10] Guo Hui, Ge Jian-hua, Ding Hai-yang. Symbol error probability of Two-way amplify-and-forward relaying[J]. Communications Letters, IEEE, 2011, 15(1): 22-24
- [11] Tse D N. Optimal power allocation over parallel Gaussian broadcast channels[C]//IEEE International Symposium on Information Theory. Institute of Electrical Engineers Inc(IEEE), 1997: 27-27
- [12] Boyd S, Vandenberghe L. Convex optimization[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009: 1-623
- [13] 解可新, 韩立兴, 林友联. 最优化方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 1997: 28-36
Xie Ke-xin, Han Li-xing, Lin You-lian. Optimization methods [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1997: 28-36