

# 基于卡尔曼滤波的高速移动通信网络信号增强方法研究

于鹏<sup>1</sup> 曲文斌<sup>2</sup>

(1.青岛国信发展(集团)有限责任公司 山东 青岛 266071;

2.交运集团青岛温馨校车有限公司 山东 青岛 266011)

**摘要** 复杂环境障碍物会使得无线信号在传播过程中发生反射、折射和散射,产生多个传播路径,这些不同路径的信号到达接收端的时间和强度不同,相互叠加后会造成信号的失真和干扰,导致信号增强质量下降。因此,文中提出了基于卡尔曼滤波的高速移动通信网络信号增强方法。通过引入卡尔曼滤波算法高效处理高速移动通信网络信号,有效抑制噪声干扰,提升信号稳定性。通过信号初始速率测定与特征提取技术精确识别信号特性,为后续增强处理提供重要依据。设定高速移动通信网络信号多层次增强机制,根据信号特性动态调整网络参数后实现信号增强。通过对比实验证明,该方法能有效提高信号幅值,为高速移动通信网络信号的智能处理和网络性能优化提供了一种解决方案。

**关键词:** 卡尔曼滤波;高速;移动通信网络;信号增强

**中图分类号** TP181

## Research on Signal Enhancement Method for High Speed Mobile Communication Network Based on Kalman Filter

YU Peng<sup>1</sup> and QU Wenbin<sup>2</sup>

(1.Qingdao Guoxin Development (Group) Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266071, China;

2.Transportation Group Qingdao Warm School Bus Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266011, China)

**Abstract** Complex environmental obstacles can cause wireless signals to reflect, refract, and scatter during propagation, resulting in multiple propagation paths. signals from these different paths arrive at the receiving end with different times and intensities, leading to signal distortion and interference, and thus degrading the signal enhancement quality. Therefore, a signal enhancement method for high-speed mobile communication networks based on Kalman filtering is proposed. By introducing the Kalman filtering algorithm, the method achieves efficient of high-speed mobile communication network signals, effectively suppresses noise interference, and improves signal stability. The method accurately identifies signal characteristics through initial signal rate measurement and extraction technology, providing important basis for subsequent enhancement processing. A multi-level enhancement mechanism for high-speed mobile communication network signals is set up, and the network parameters are adjusted according to the signal characteristics to achieve signal enhancement. Comparative experiments show that this method can effectively improve the signal amplitude, providing a solution for intelligent processing of speed mobile communication network signals and network performance optimization.

**Key words** Kalman filter, High speed, Mobile communication network, Signal enhancement

## 0 引言

在复杂的通信环境中,信号传输过程经常受到各种干扰和噪声的影响,导致信号质量下降,从而影响通信的可靠性和稳定性。为了提高高速移动通信网络的信号质量,研究者提出了多种信号增强方法。罗永剑<sup>[1]</sup>提出了基于深度自适应小波网络的移动通信网络传输信号增强方法。该方法首先进行信号初始速率测定及特征分类,然后采用多层次的方式对信号进行去噪处理,通过构建深度自适应小波网络的传输信号增强模型,实现信号的自适应补偿处理,并

达到信号增强的目标。该方法在复杂动态环境中的适应性仍需进一步验证。深度自适应小波网络的训练和优化过程较为复杂,对计算资源要求较高。张洁<sup>[2]</sup>提出了基于 MEC 的移动通信网络传输信号增强方法。该方法利用 MEC 平台的网络服务功能,将信息数据直接下沉至本地的边缘网络,通过节点分流和改变运输层速度来增强信号。但该方法在部署和运维方面存在一定的挑战,如需要进一步优化 MEC 平台的资源分配和调度策略,以适应不同场景下的需求。尽管以上的信号增强方法取得了一定的成果,但仍存在一些不足。本文提出了基于卡尔曼滤波的高速移动通信

**作者简介:** 于鹏(1983—),本科,中级工程师,从事工程项目管理工作。

网络信号增强方法,旨在利用卡尔曼滤波的递归估计算法,实时消除信号状态的动态估计和噪声,从而提高信号质量和传输效率。

## 1 基于卡尔曼滤波的高速移动通信网络信号处理

卡尔曼滤波作为一种递归估计算法,在动态系统状态估计中展现出卓越的性能,尤其适用于存在噪声和不确定性的环境。在高速移动通信网络中,通过各类传感器(如天线、接收器等)采集信号数据。在多种外界环境因素的干扰下,采集到的信号数据包含有用信息和噪声,需要进行预处理以提取有用信息<sup>[3]</sup>。根据卡尔曼滤波的5个核心公式(状态预测方程、方差预测方程、状态更新方程、增益方程和方差更新方程)进行迭代计算,得到最优的状态估计。其中,状态预测方程如式(1)所示:

$$x(k)=F(k-1)x(k-1)+B(k-1)u(k-1) \quad (1)$$

其中, $x(k)$ 表示时刻 $k$ 的状态量; $F(k-1)$ 表示状态转移矩阵;表示时刻 $k-1$ 的状态量; $B(k-1)$ 表示控制输入矩阵; $u(k-1)$ 表示时刻 $k-1$ 的控制输入。方差预测方程如式(2)所示:

$$P(k)=F(k-1)P(k-1)F(k-1)^TQ(k-1) \quad (2)$$

其中, $P(k)$ 表示时刻 $k$ 的状态方差协方差矩阵; $Q(k-1)$ 表示过程噪声协方差矩阵。状态更新方程如式(3)所示:

$$x(k)=x(k)+K(k)[y(k)-H(k)x(k)] \quad (3)$$

其中, $x(k)$ 表示预测阶段得到的状态估计值; $K(k)$ 表示卡尔曼增益矩阵; $y(k)$ 表示时刻 $k$ 的测量值; $H(k)$ 表示测量矩阵。增益方程如式(4)所示:

$$K(k)=P(k)H(k)^T[H(k)P(k)H(k)^T+R(k)]^{-1} \quad (4)$$

其中, $P(k)$ 表示预测阶段得到的状态方差协方差矩阵的预测值; $R(k)$ 表示测量噪声协方差矩阵。利用卡尔曼滤波进行信号重构,如式(5)所示:

$$Z(k)=x(k)(I-K(k)P(k)) \quad (5)$$

其中, $I$ 表示单位矩阵。

## 2 信号初始速率测定与特征提取

根据卡尔曼滤波处理后的高速移动通信网络信号数据进行初始速率测定与特征分类等操作,从而为后续的高速移动通信网络信号增强奠定基础。信号初始速率,即信号在初始阶段的变化速度,是反映信号动态特性的重要参数<sup>[4]</sup>。在卡尔曼滤波处理后的信号基础上,通过计算信号的导数或差分来近似估计信号的初始速率。对于离散时间信号,可以通过计算相邻时刻信号的差值来近似信号的导数。假设卡尔曼滤波处理后的信号为 $Z(k)$ ,其中 $k$ 为时间索引,则信号的初始速率(近似导数)如式(6)所示:

$$Z(0) \approx \frac{Z(1)-Z(0)}{\Delta t} \quad (6)$$

其中, $\Delta t$ 表示相邻时间索引之间的时间间隔。

为了更准确地估计信号的初始速率,采用滑动窗口法。在窗口内计算信号的导数,然后取平均值作为初始速率的

估计值。假设窗口大小为 $N$ ,则初始速率的估计如式(7)所示:

$$\hat{Z}(0)=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{Z(i)-Z(i-1)}{\Delta t} \quad (7)$$

信号特征分类有助于识别信号的类型、模式或状态。提取卡尔曼滤波处理后的信号特征,如均值、方差、峰值、频率成分等,然后利用机器学习算法进行分类。均值 $\mu$ 反映信号的平均水平,其表达如式(8)所示:

$$\mu=\frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} Z(k) \quad (8)$$

其中, $M$ 表示信号长度。方差 $\sigma^2$ 反映信号的波动程度,其表达如式(9)所示:

$$\sigma^2=\frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} (x(k)-\mu)^2 \quad (9)$$

峰值 $P_e$ 反映信号的最大值,其表达如式(10)所示:

$$P_e=0 \leq k \leq M Z(k) \quad (10)$$

提取特征后,获取相关的特征向量 $F=\{\hat{Z}(0), \mu, \sigma^2, P\}$ ,有助于深入理解网络行为,提升通信质量,为后续设定高速移动通信网络信号多层次增强机制提供依据。

## 3 高速移动通信网络信号多层次增强实现

结合高速移动通信网络信号特征向量,设定高速移动通信结合高速移动通信网络信号特征向量,设定高速移动通信网络信号多层次增强机制,根据信号的动态特性和类别,动态调整网络参数,从而有效提升信号质量。多层次增强机制的第一层为基础信号处理与滤波<sup>[5]</sup>。在第一层级先对采集到的原始信号进行基础信号处理,包括去噪、滤波等预处理操作,以提高信号的信噪比和稳定性。卡尔曼滤波作为一种高效的递归估计算法,能实时更新信号状态,减少噪声干扰,为后续的增强处理提供可靠的基础。在第二层级,信号速率匹配与动态调整。根据式(7)计算得出的信号初始速率测定结果,动态调整网络参数,以匹配信号的传输速率。通过调整传输功率、调制编码方式等参数,优化信号的传输质量,减少误码率和丢包率。根据测定的初始速率动态调整传输功率 $P_{tx}$ ,从而实现高速移动通信网络信号多层次增强,如式(11)所示:

$$P_{tx}=F_{\alpha} \hat{Z}(0)+\beta \quad (11)$$

其中, $\alpha$ 和 $\beta$ 表示调整系数。

在第三层级分类特征与优化资源。在第三层级,利用特征提取的结果,对网络资源进行智能优化。通过识别不同信号的特征类别(如语音、视频、数据等),根据业务需求和网络负载情况,动态分配网络资源和带宽,确保关键业务的优先传输。基于信号初始速率测定与特征分类的高速移动通信网络信号多层次增强机制,为网络信号的智能调控和优化提供了一种新思路。通过多层次的处理和增强策略,根据信号的动态特性和类别,动态调整网络参数,从而

有效提升信号的传输质量和网络性能。

## 4 对比实验

### 4.1 实验环境

此次实验旨在分析与验证本文提出的基于卡尔曼滤波的信号增强方法的实际应用效果。考虑到最终结果的真实性和可靠性,将某高速移动通信网络环境作为此次实验背景。在该背景下,分别完成应用本文方法的信号增强(实验组);应用基于深度自适应小波网络方法的信号增强(对照A组);应用基于MEC方法的信号增强(对照B组)。同时,构建了一个包含多个测试区域和复杂通信信道的实验环境,以模拟真实的高速移动通信网络场景。实验环境被划分为5个独立的测试区域,每个区域内部都设置了多个监测节点。这些节点以循环方式相互连接,形成一个全面的监测网络,以捕捉网络传输中的信号变化。每个监测节点都配备信号采集和处理设备,能实时记录和分析网络传输信号的质量、强度以及稳定性。为了建立稳定的数据传输通道,选择有线连接方式,将主控计算机与各个测试区域的无线路由器进行连接。实验环境的链路带宽被设定为220 Mb,运行频率范围控制在155~245 Hz。设定通信时间不超过1.2 s,延时时间为2 ms的严格标准。实验设备的工作电压被设定为220 V,工作电流为180 A,以确保设备的持续稳定运行。

### 4.2 实验数据

在实验过程中,可控参数的设置如表1所列。在应用3种方法对信号增强前,信号初始强度示意如图1所示。

表1 实验中可控参数设置表

| 序号  | 可控参数     | 设置值                  |
|-----|----------|----------------------|
| (1) | 信号功率增益差值 | +1.18 dB             |
| (2) | 信噪比      | 8.8 dB               |
| (3) | 频谱效率比    | 15.23~18.12 bit/s/Hz |
| (4) | 信号识别频率范围 | 140~220 Hz           |

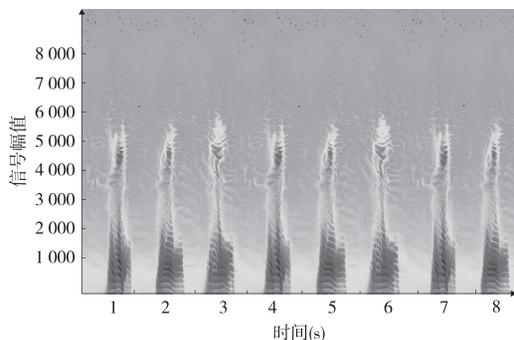


图1 信号初始强度示意图

本文按照表1中数据设置实验条件,并在相同实验条件下对比了3种方法应用后高速移动通信网络信号增强效果。

### 4.3 实验结果

应用3种方法,增强后的效果如图2—图4所示。

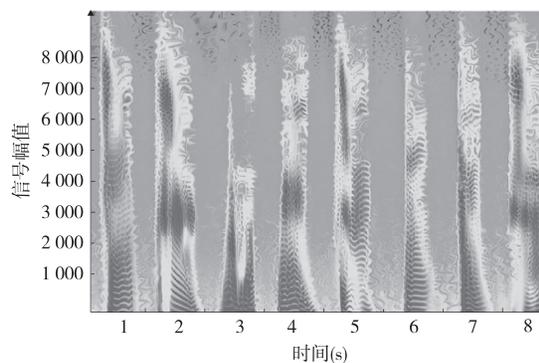


图2 实验组方法信号增强效果图

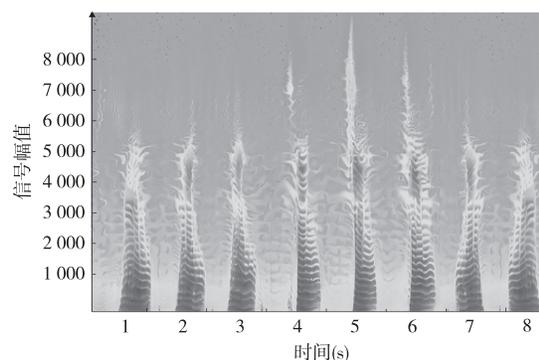


图3 对照A组方法信号增强效果图

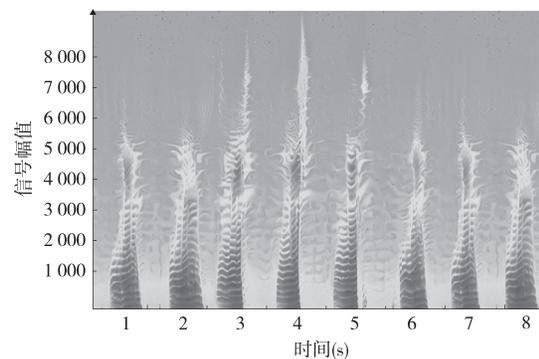


图4 对照B组方法信号增强效果图

从上述3种信号增强方法的对比结果可以发现,实验组所采用的方法显著提升了信号的幅值,相较于初始信号,其实验组在各个时间段的信号幅值均能稳定达到8000。相比之下,对照A组和对照B组的方法仅在部分时间段内实现了信号幅值接近8000的效果,且整体提升并不显著。实验结果表明,实验组所提出的信号增强方法在实际应用中展现出更高的价值。实验组信号增强方法的核心在于采用了卡尔曼滤波技术。这种技术不仅能显著提高信号的信噪比,还能在保持信号原有特征的基础上,实现信号幅值的稳定增强。

## 5 结语

本文深入研究了基于卡尔曼滤波的高速移动通信网络  
(下转第63页)