

The Wireless Channel “Fingerprint” Feature Modeling Based on MATLAB Software

Rengkang Wu, Lin Jing, Xiaozheng Shen

School of Statistics and Mathematics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan
Email: wurengkang@163.com, jinglinscnu@126.com, 1528435114@qq.com

Received: Mar. 8th, 2016; accepted: Mar. 23rd, 2016; published: Mar. 30th, 2016

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

According to the wireless channel characteristics of the mobile communication, this paper took it into comprehensive analysis, using the MATLAB software to solve the channel parameters of the discrete linear system and filter parameters as the main feature for wireless channel. Then the multipath time delay spreading, angle spreading and Doppler spreading as the important characteristic indexes were extracted. Therefore, this article extracted the channel coefficients of the wireless channel, multipath time delay spreading (coherence bandwidth), Doppler spreading (coherent time) and angle spreading (coherence distance) from four dimensions of channel, time, frequency, and space of discrete linear time variable systems. These four indicators can depict the “fingerprint” feature of the wireless channel completely and show the actual physical significance.

Keywords

MATLAB Software, Channel Coefficient, Time Delay Spread, Doppler Spread, Angle Spread

基于MATLAB软件的无线信道“指纹”特征建模

吴仍康, 敬林, 申小征

云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明

Email: wurengkang@163.com, jinglinscnu@126.com, 1528435114@qq.com

摘要

本文针对移动通信中的无线信道特征进行综合分析，通过运用Matlab软件求解出离散线性时变系统以及滤波器的相关参数作为无线信道最主要的特征。同时，提取了多径时延扩展、Doppler扩展以及角度扩展等重要特征指标。因此，本文从离散线性时变系统的信道特征、时间、频率、空间四个维度分别提取了无线信道的信道系数、多径时延扩展(相干带宽)、Doppler扩展(相干时间)以及角度扩展(相干距离)四个特征指标，较为完整地刻画出了无线信道的“指纹”特征并具有实际的物理意义。

关键词

Matlab软件，信道系数，时延扩展，Doppler扩展，角度扩展

1. 引言

在信息大爆炸的时代，移动通信产业以惊人的速度迅猛发展，也已经成为带动全球经济发展的主要高科技产业之一，并对人类生活及社会发展产生了巨大的影响。在移动通信中，发送端和接收端之间的电磁通路称为无线信道。在无线通信的过程中由于传播环境的复杂性以及各个参数的时变形，发射的信号将受到多径效应、Doppler效应等影响产生各种衰落。这使得不同传播环境下的信道具有各自的信道特性。如何发现并提取这些特征并将其应用于优化无线网络，是当前一个研究热点[1]。

周龙,刘海萍(2010)针对实际的无线信道，对两类信道模型进行了研究，一类是基于实测统计方法的统计性信道模型；另一类是基于无线电磁波传播机理的确定性模型。胡文舜(2013)研究了在时变信道下多普勒分集技术可以有效克服甚至利用多普勒扩展的影响。冯松(2013)考虑到实际无线信道中包含噪声，对存在噪声的情况进行了分析和研究，表明采取信道参数提取算法能够有效估计出信道的各个参数，为进一步仿真研究提供了算法支撑。无线信道与周围的环境密切相关，不同环境下的无线信道具有一些差异化的特征。如何发现并提取这些特征并将其应用于优化无线网络，是当前一个研究热点。刘留等(2014)讨论了高速铁路在不同条件下无线信道大尺度、小尺度等方面的衰落特性，得出高速铁路无线信道特征参数受传播环境、位置等因素影响较大；成凌飞等(2015)基于巷道内环境复杂，电磁波局限等特点，研究了巷道无线信道相干带宽及影响因素，指出无线信道在巷道内比地面上有更大的多径衰落，设计无线通信设备时难度系数较大，为优化设计通信设备提供了理论支撑[2]-[6]。

从现有的文献分析来看，对无线信道特征的研究与建模，大都基于单一的维度考虑，故对无线信道特征的提取与建模存在一定的不足。基于此，本文将基于所测量的三种场景下真实信道的数据运用MATLAB软件从信道系数、时间、频率、空间四个维度考虑信道的特征，建立信道“指纹”模型，并运用所建立的统计模型对“指纹”特征以及图形化描述的结果进行检测并从统计意义上有效区分不同的场景(区域)。

2. 特征建模

2.1. 背景分析

根据移动通信中无线信道的信号传播方式可知，信号在不同环境下的无线信道具有一定的差异。在实际环境中，信号可能利用障碍物的反射、散射以及绕射等路径传播到达接收端，形成多径信道。这使

得不同传播环境下的信道具有各自的信道特性。

因此,根据所测量的三种场景下真实信道的数据可以提取不同的信道特征,即信道的“指纹”特征。本文将从题中所给出的离散时变线性系统的模型中求解出每个信道的信道系数,以及从时间、频率、空间三个维度去提取相应的特征指标,得到信道“指纹”。进而将所得到的特征值进行可视化,得到信道“指纹”图形化的描述。

2.1.1. 信道系数

根据问题分析中所给信息可知,并考虑到滤波器、噪声以及时变性的影响,无线信道模型可以建立为离散时变线性系统。即:

$$r[k,n] = \sum_0^{M-1} h[k-m,n] \cdot g(m) + u(k,n) \quad (1)$$

其中 $k = 0, 1, 2, \dots, 99$, $n = 0, 1, 2, \dots, 1499$, $M = 49$, $r[k,n]$ 为不同时刻真实无线信道的测量结果; $u[k,n]$ 为复高斯白噪声。

因此,根据该模型可以得到 $h(i,n)$ 的表达式,结果如下:

$$h(i,n) = \begin{cases} \frac{r[n,0]}{g(0)} + u[k,n] & (i=0) \\ \frac{r[n,k_i] - \sum_{j=1}^i g(j)h(i-j)}{g(0)} + u[k,n] & (1 \leq i \leq 48) \\ \frac{r[n,k_i] - \sum_{j=1}^{48} g(j)h(i-j)}{g(0)} + u[k,n] & (49 \leq i \leq 99) \end{cases} \quad (2)$$

其中 $h(i,n)$ 表示完整的时变信道的信道系数, $g(j)$ 为等效滤波器,其参数由数据 5 可知。又 $g(0)$ 接近于 0,因此在数据处理的过程中我们将乘上 $g(0)$ 以便结果的处理以及有效性。信道系数可作为信道的“指纹”特征用于区分不同场景下的信号。运用 Matlab 软件编程可得出信道各个场景下的信道系数矩阵^[7] $h(i,n)$,部分代码详见附录。

2.1.2. 时延扩展与相干带宽

在无线通信中由于接受端所在地理环境的复杂性,不同相位的多个信号在接收端相互叠加,造成信号的加强与减弱,即多径衰落。多径时延扩展与相干带宽是用于描述本地信道时间扩散的两个重要参数。其中 rms 时延扩展可以定义为:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3)$$

其中:

$$\text{平均附加时延: } \bar{\tau} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}, \quad \tau^2 = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)};$$

$$\text{相干带宽通常定义为: } B_C = \frac{1}{5\sigma_\tau}。$$

由于 τ_k 为时延,本题已将时延折算为样本点,故在计算时直接使用样本点数作为时延。 $p(\tau)_k \propto |X|$,故计算时用 $|X| = \sqrt{a^2 + b^2}$ 等效替代。运用 Matlab 软件编程可计算出三个场景时延扩展数据如表 1。

由表 1 分析可知, 场景一的 5 次测试时延扩展值均在 17~19 之间波动, 明显小于场景二与场景三的时延扩展值。因此, 可以通过时延扩展特征将场景一进行区分。

2.1.3. Doppler 扩展与相干时间

由于单位脉冲发射端与接收端可能存在相对运动, 因此信道各参数具有时变性。Doppler 扩展与相干时间是描述信道时变性的两个重要参数。Doppler 频移的定义为:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (4)$$

令 $\frac{v}{\lambda} = \alpha$ (α 为常数), 则 $f_d = \alpha \cos \theta$, 其中 $\theta = \arctan(b/a)$ 。

相干时间通常定义为: $T_c = \frac{0.423}{f_d}$ 。

根据公式我们可以计算出三个场景的 Doppler 频移的系数如表 2。

由表 2 可以看出, 场景一的多普勒系数均值为-0.00082, 场景二的多普勒系数均值为 0.0013, 场景三的多普勒系数均值为-0.00752; 场景二多普勒系数均值为正, 而场景一和三的多普勒系数均值均为负, 因此, 可以通过多普勒系数将场景二区分出来。

2.1.4. 角度扩展与相干距离

角度扩展是用来描述空间选择性衰落的重要参数。角度扩展的定义为:

$$\delta = \sqrt{\sum (\theta - \bar{\theta})^2 P_\delta(\theta)} \quad (5)$$

其中 $\theta = \arctan(b/a)$, $P_\delta(\theta) \propto |X|$ 。S 相干距离: 信道冲击响应维持不变(或一定相关度)的空间间隔的统计平均值。定义为:

$$D_\delta = \frac{0.187}{\delta \cos \theta} \quad (6)$$

角度扩展的计算结果如表 3。

由表 3 分析可知, 场景二的 5 次角度扩展值均趋近于 0, 而场景一的角度扩展值均在 0.39 附近波动, 场景三的角度扩展值在 0.25 附近波动。因此, 该特征可以较好的区分场景一、场景二、场景三。

根据无线信道的离散时变线性模型可以得出信道最主要的特征值即信道系数, 再通过其传播特点、衰落特性以及所测量的真实数据, 可以从时间、频率、空间三个维度分别提取三个特征值, 综

Table 1. Resulting data of the three scenes delay spread
表 1. 三个场景时延扩展结果数据

| 时延扩展 | 场景一 | 场景二 | 场景三 |
|-------|---------|---------|---------|
| test1 | 17.2447 | 24.1175 | 20.1963 |
| test2 | 18.2713 | 21.6951 | 22.1784 |
| test3 | 18.263 | 22.1822 | 21.004 |
| test4 | 19.0694 | 18.0396 | 19.048 |
| test5 | 18.8093 | 18.3907 | 19.3076 |

合分析此四个特征值的数量范围即信道的“指纹”模型，我们能够判断无线信号属于哪些不同场景。详见表 4。

2.2. 信道“指纹”特征图形化描述

根据上述信道“指纹”的特征提取得到的四个特征值以及其数量范围我们可以将其可视化，从图形上能够更加简单直观的判断出不同信号的场景来源。

其中，场景一的“指纹”特征图如图 1 所示。红色代表时延扩展、绿色代表角度扩展，蓝色代表多普勒扩展。

其中，场景二的“指纹”特征图如图 2 所示。红色代表时延扩展、绿色代表角度扩展，蓝色代表多普勒扩展。

其中，场景三的“指纹”特征图如图 3 所示。红色代表时延扩展、绿色代表角度扩展，蓝色代表多普勒扩展。

Table 2. Doppler coefficient table of the three scenes
表 2. 三个场景的多普勒系数表

| 多普勒系数 | 场景一 | 场景二 | 场景三 |
|-------|---------|---------|---------|
| test1 | -0.0008 | 0.0024 | -0.0054 |
| test2 | -0.0002 | 0.0014 | -0.0051 |
| test3 | -0.0027 | -0.0019 | -0.0152 |
| test4 | 0.0009 | 0.0039 | -0.0080 |
| test5 | -0.0013 | 0.0007 | -0.0039 |

Table 3. The calculation results of the angle spread
表 3. 角度扩展的计算结果

| 角度扩展 | 场景一 | 场景二 | 场景三 |
|-------|--------|---------|--------|
| test1 | 0.3937 | 0.0024 | 0.2484 |
| test2 | 0.3814 | 0.0014 | 0.2177 |
| test3 | 0.4134 | -0.0019 | 0.2544 |
| test4 | 0.3587 | 0.0039 | 0.2817 |
| test5 | 0.4236 | 0.0007 | 0.2825 |

Table 4. The table of the finger channel
表 4. 信道指纹特征表

| 信道主要特征 | 信道系数 |
|--------|-------------|
| 时间维度 | 时延扩展(相干带宽) |
| 频率维度 | 多普勒扩展(相干时间) |
| 空间维度 | 角度扩展(相干距离) |

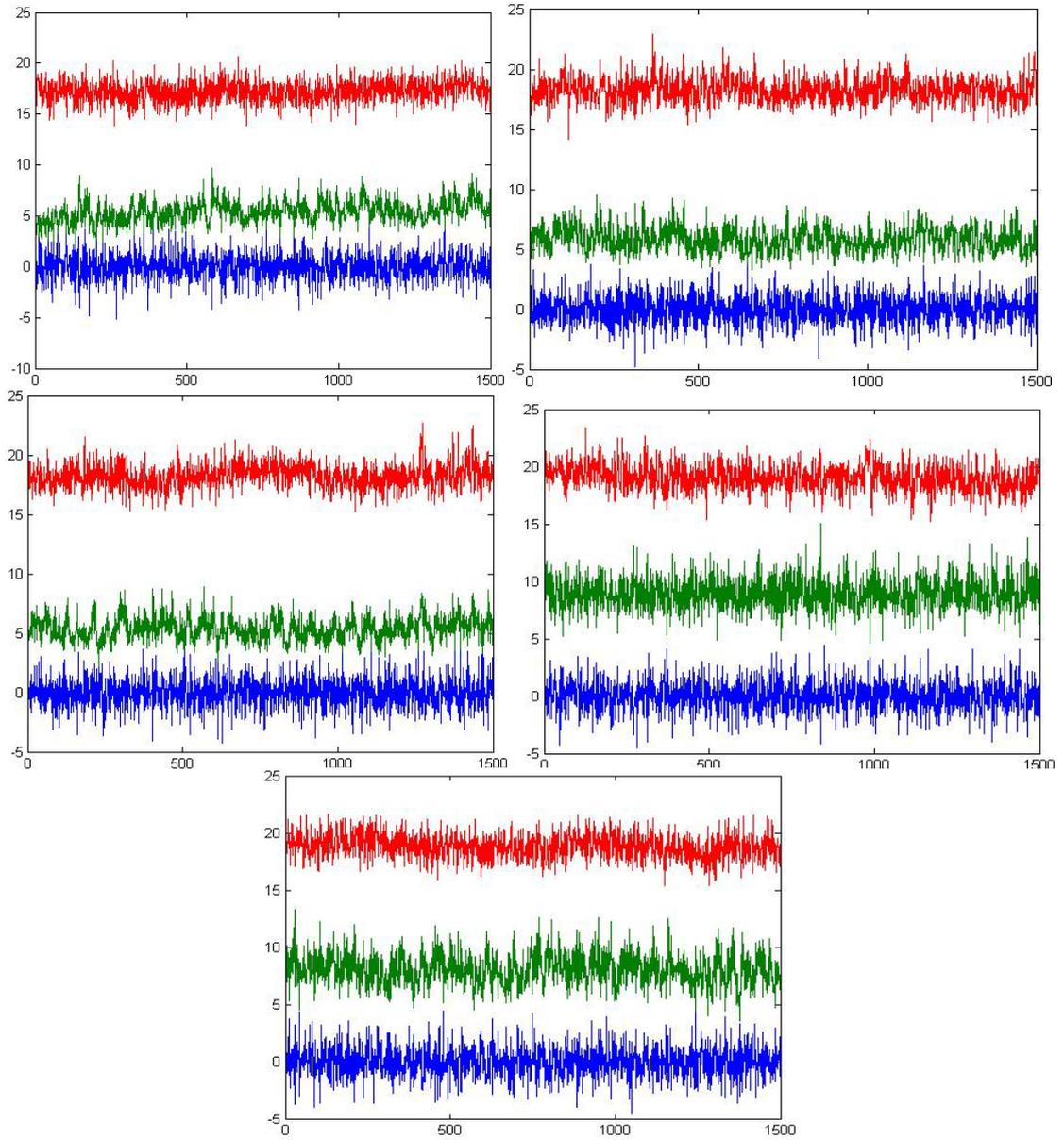
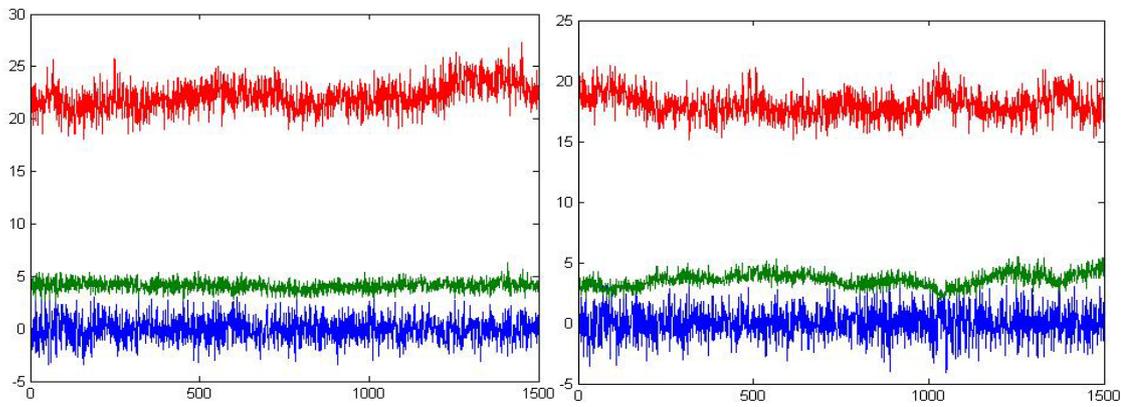


Figure 1. Feature map of the scene one
图 1. 场景一的特征图



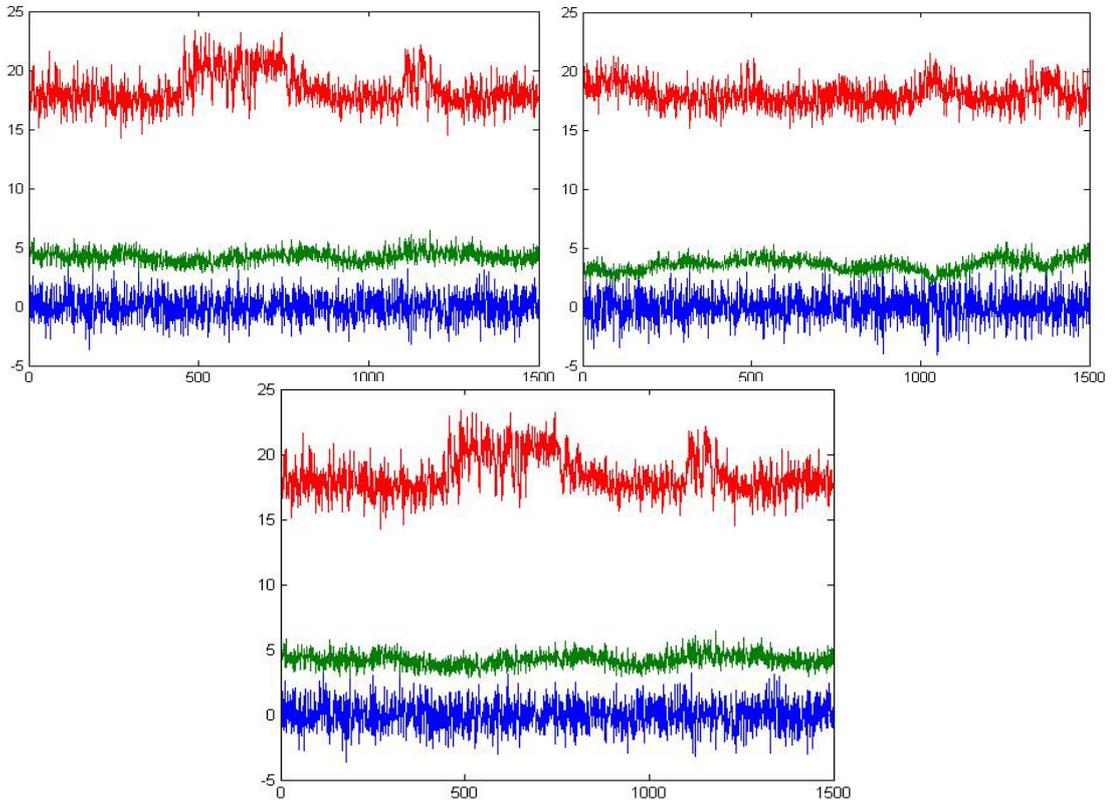
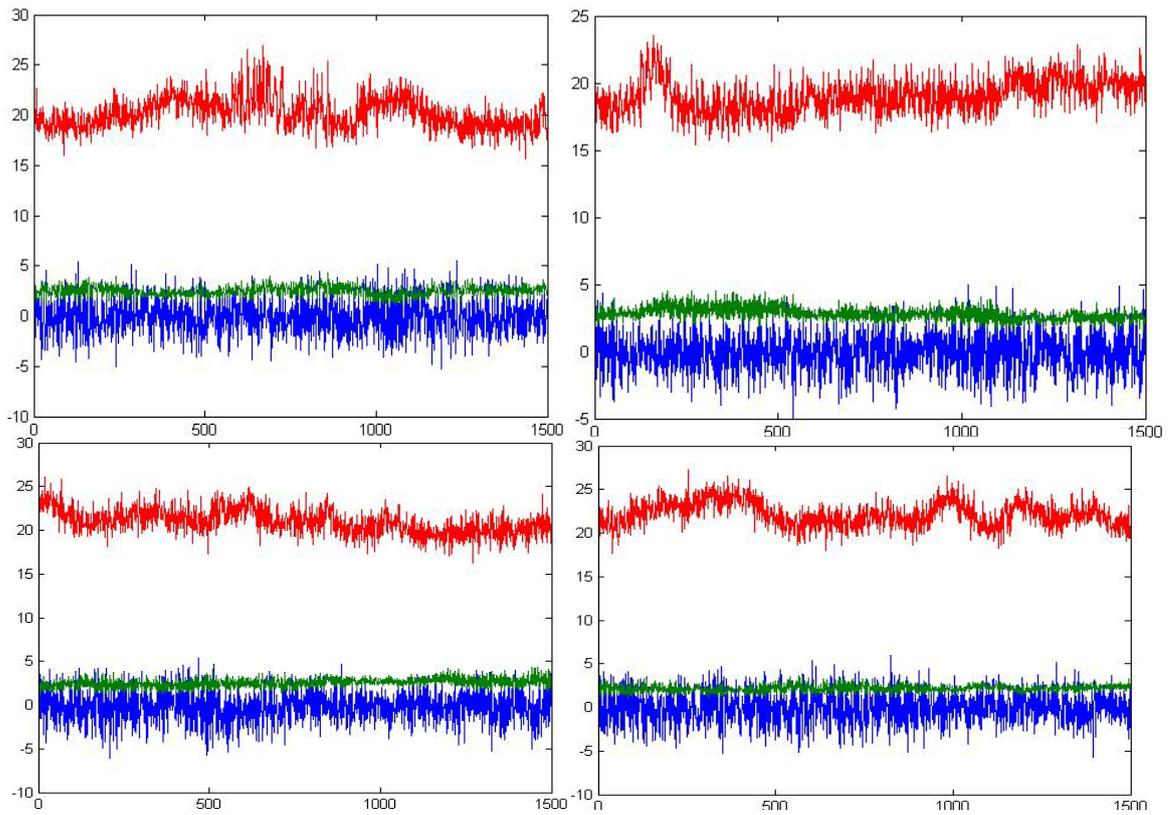


Figure 2. Feature map of the scene two
图 2. 场景二的特征图



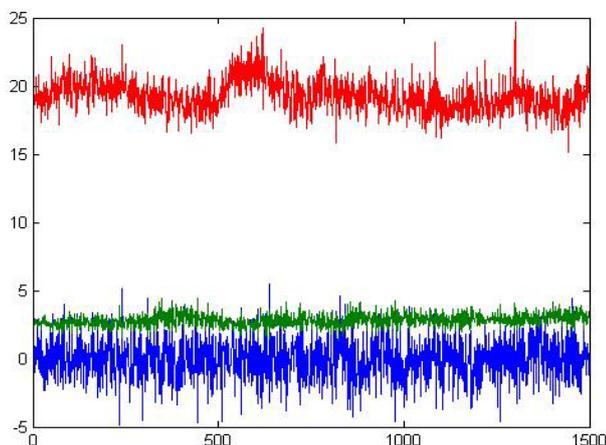


Figure 3. Feature map of the scene three

图 3. 场景三的特征图

3. 结论

本文针对已知的三种场景的真实信道测量结果,基于背景描述,采用特征提取的方法,基于 MATLAB 软件对所提供的样本数据进行分析,进而建立“指纹”模型,并找出区分三种场景的“评价指标”来验证“指纹”建模的合理性。在提取特征值时,本文从信道系数、时间、频率、空间四个维度考虑了信道的“指纹”模型。较为准确、全面的刻画了信道的各个特征。其次,在提取特征后,本文将各个特征的值进行了可视化,获得其图形化的描述。使得结果直接明了。

参考文献 (References)

- [1] Rappaport, T.S. 无线通信原理与应用[M]. 第二版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 周龙, 刘海萍. 无线通信系统信道模型研究[J]. 光机电信息, 2010, 27(4): 26-30.
- [3] 胡文舜. 时变信道下多普勒分集技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [4] 冯松. 无线信道测量参数提取算法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [5] 刘留, 陶成, 陈后金. 高速铁路无线传播信道测量与建模综述[J]. 通信学报, 2014, 35(1): 115-127.
- [6] 成凌飞, 高鹏飞, 王利超. 巷道无线信道相干带宽及其影响因素的研究[J]. 计算机仿真, 2015, 32(12): 137-141.
- [7] 薛年喜. MATLAB 在数字信号处理中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

附 录

Matlab 部分程序:

```
function [timeexpend4,dopplerexpend4,angleexpend4]=feature4(ChannelIR)
timeexpend4=zeros(17700,1);
dopplerexpend4=zeros(17700,1);
angleexpend4=zeros(17700,1);
for i=1:17700
a=ChannelIR(i,:);
[timeexpend,dopplerexpend,angleexpend]=feature(a);
timeexpend4(i,:)=timeexpend;
dopplerexpend4(i,:)=dopplerexpend;
angleexpend4(i,:)=angleexpend;
end
end
function [timeexpend,dopplerexpend,angleexpend]=feature(a)
b=real(a);
c=imag(a);
mo=sqrt(b.^2+c.^2);
hunderd=[1:100]';
hunderd2=hunderd.^2;
tao=(mo*hunderd)/sum(mo);
tao2=(mo*hunderd2)/sum(mo);
timeexpend=sqrt(tao2-tao^2);
```