

SG3a 信道下 UWB 信号的接收判决设计

曹亚帅 2017110220

北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876

摘 要: 超宽带 (UWB) 传输技术以其低功耗、高速率和强的多径分辨能力等特点在近年来受到广泛关注 [1], 但在实际场景中超宽带信号将经历复杂的多径传播而产生时间扩散, 由于高的传输速率会使其接收性能变得非常糟糕。本文通过仿真单用户的 2PPM-TH-UWB 信号在 SG3a-CM1 信道上的 RAKE 接收, 发现了高速传输对于误码率的影响。本文根据模式识别方面的思想提出一种基于神经网络的译码方法, 目的是利用它替代 RAKE 结构和均衡结构直接抑制符号间干扰 (ISI) 从而达到很好的接收译码性能, 但是通过 MATLAB 构建训练译码器, 最终发现目前采用简单的神经网络译码方法没有成功, 并分析了原因。

关 键 词: UWB; 接收译码; 符号间干扰; 误码性能; 神经网络

1 引言

超宽带, 即 UWB 系统, 它采用功率谱密度极低、宽度极窄的基带脉冲串来传送信息, 带宽极宽, 不需要载波调制。由于该技术具有抗多径干扰能力强、系统复杂度低等优点, 非常适用于室内等短距离通信领域。它还具有很高的数据传输速率, 理论上可实现几百 Mbps 以上的高速数据传输。但研究表明, UWB 信号在密集多径信道中传输存在严重的多径衰落问题 [2]。由于 UWB 系统使用纳秒级宽的脉冲进行通信, 具有很强的多径分辨能力, 这使得 RAKE 接收机来捕获尽可能多的信号能量来改善接收性能。经实际测量表明, UWB 系统的在 SG3a 信道环境时延扩展很大, 导致接收信号必然存在符号间干扰 (ISI)。

2 实验分析

2.1 误码性能分析

本文考虑单用户的 2PPM-TH-UWB 信号在 SG3a-CM1 信道上, 采用了三种 RAKE 接收方式, 仿真三种方式的性能 [3]。三种方式分别为理想 RAKE、选择性 RAKE (SRake)、部分 RAKE (PRake)。首先设置脉冲间隔为 5ns, 重复编码 3 位, $S=2$, $P=2$ 。仿真结果如图 1 所示。图 1 表明在脉冲间隔为 5ns 的情况下误码率并不理想, 这对应于较高的传输速率。图 2 是脉冲间隔为 60ns, 重复编码 1 位, $S=2$, $P=2$ 的仿真结果。

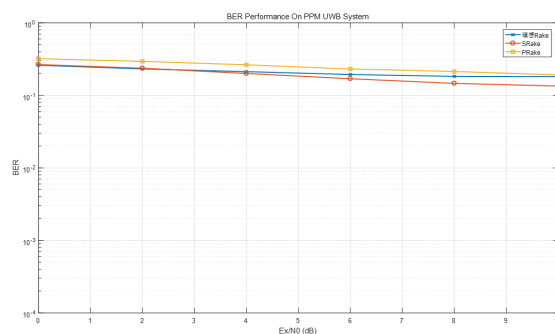


图 1 脉冲间隔为 5ns 对误码性能的影响

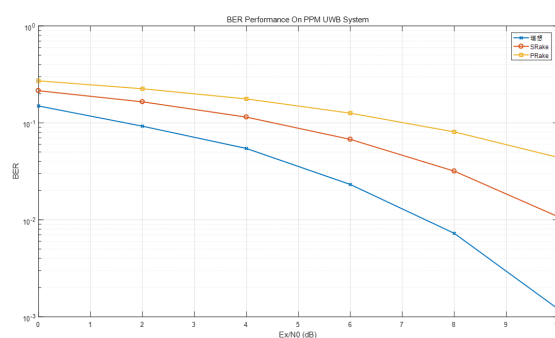


图 2 脉冲间隔为 60ns 对误码性能的影响

为了和图 1 对比, 本文又对脉冲间隔为 60ns, 重复编码 3 位, $S=2$, $P=2$ 进行了实验仿真, 结果如图 3。和图 1 比较说明了较低的传输速率会使误码率降低, 和图 2 比较说明重复编码也会带来性能的提升。上述仿真结果也同时比较了三种接收方式的性能: 理想 RAKE>SRake>PRake。

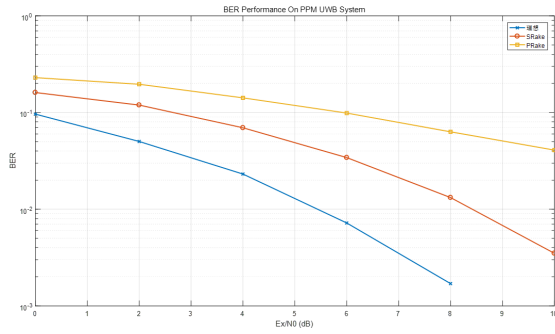


图3 脉冲间隔为 60ns 对误码性能的影响

2.2 信道分析

SG3a 多径信道包含 4 种，本文考虑其中的 CM1 信道：传播距离为 0-4m，考虑视距传输 [3]。图 4 表示了 CM1 信道的离散冲激响应，从中可以看出处于前面的多径分量能量较高。

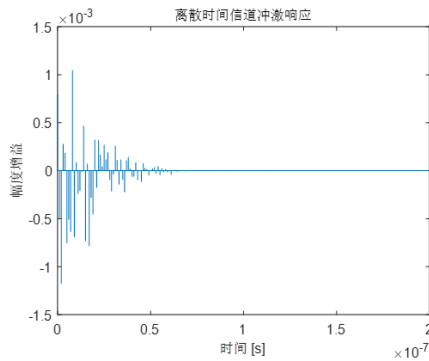


图4 CM1 信道的离散冲激响应

同时本文也给出了信道冲激响应的功率延迟剖面 (PDP)，如图 5 所示。可以看到能量的时间弥散，在第一径到达以后的 30ns 之后仍有接收能量的存在，所以脉冲间隔的设置决定了符号间干扰的问题 [3]。要控制 ISI，可以考虑增大脉冲间隔。

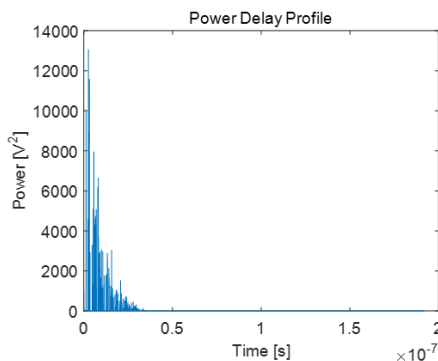


图5 CM1 信道冲激响应的 PDP

3 问题

通过以上分析，UWB 因为脉冲间隔导致符号间干扰的问题，使得很难在实际信道中高速传输，这就限制了 UWB 的应用和进一步发展，UWB 的优势难以体现。

为此人们提出过一些方法来弥补这个缺陷。符号间干扰是信道的特性所导致的，因此可以通过在接收端加均衡器产生与信道相反的特性，用来抵消信道的时变多径传播特性引起的码间干扰，通过均衡器消除信道的频率和时间的选择性。也有将滤波器加在信道前起到一个“预滤波”作用 [4]。

由于无线信道未知、多变，所以需求是一种自适应的均衡器 [5]，多种 RAKE + 均衡的方案就被提出。但是均衡器的设计方案中有很多算法借鉴了机器学习的方法，那么机器学习可以直接学习信道的特性，那是否可以设计一个基于机器学习算法的直接判决的译码器，从而将 RAKE + 均衡替换成一个只有输入和输出的译码器。

如图 6 所示，模式识别中有从图像数据直接训练得到的识别 label。同样的可以设计一种神经网络，从接收到的固定窗口大小的采样值去判决，期待得到好的性能提升。

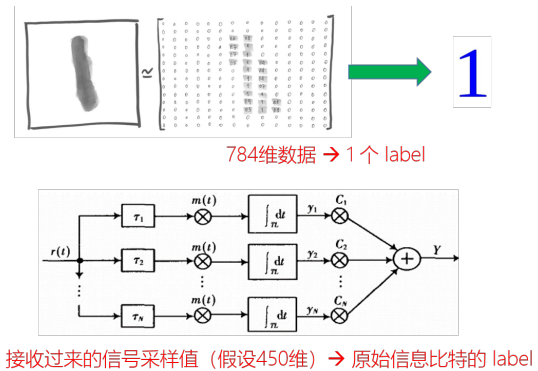


图6 图像分类和信道译码

4 结果与分析

4.1 实验设计

基于机器学习的思路我们重新设计接收机，这个接收机本质上是不同周期固定的接收序列训练得到的模型，其中采用了神经网络的方法，神经网络可以视为一种新的 filter。本文首先针对固定的 SNR 下 [6]，多次在 CM1 信道生成时变下的信道接受序列，本实验采用脉冲间隔为 5ns，重复编码 3 位，且每个原始比特对应的接收采样

为 750 个离散点为训练数据集，对应的标签是原始比特序列。参考手写数据集分类的实验：784 个数据点，可以通过 784-30-10 的三层人工神经网络 (ANN) 得到较高的分类正确率。而本次实验针对译码多次调整发现学习速度较快的结构是 750-32-8-1，学习率为 0.02。实验结果如图 7。

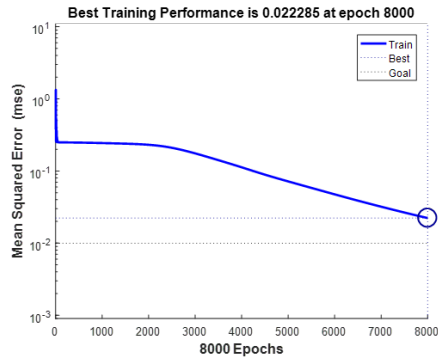


图 7 神经网络学习曲线

实验结果是一个 4 层网络可以很好的在训练数据上拟合，但是在训练过程中测试集的验证正确率却一直维持在 52.75% 左右，这说明神经网络无法从信道的直接接收值中学习到任何对译码有用的信息。

4.2 原因分析

因为信道特性，所设置的脉冲间隔导致接收数据之间肯定存在相关性，而且离散卷积的特性和一般函数不同，信号系统的输入和输出不是一对一的关系，而是多对多的关系，所以一般的人工神经网络难以提取到有用的信息，可以在未来的研究中考考虑使用和改进 CNN，使其对译码有效分类。本文又分析了接收信号的影响，如图 8 和图 9，是同一信号的发送和接收。可知对一般通信系统，UWB 信号相当于噪声，并且大多数情况下，UWB 信号淹没在噪声中，从电子噪声中将脉冲信号检测出来是一件非常困难的事。采用编码对脉冲参数进行伪随机化后，脉冲的检测将更加困难。因此对于一个简单的神经网络来说，接收到的采样值相当于随机数一样难以提取特征。

即便使用复杂的深度学习架构可以提取接收信号的有用特征，但是付出的计算量和付出的时间代价，并不能用于实际场景，在未来研究中要考虑这一点。

参考文献 (References)

[1] 刘定芳, 李有根, and 周雪花. 一种改进的超宽带 rake 接收机. 舰船电子工程, (12), 2008.

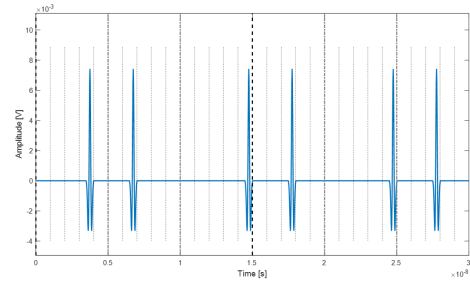


图 8 发送信号波形

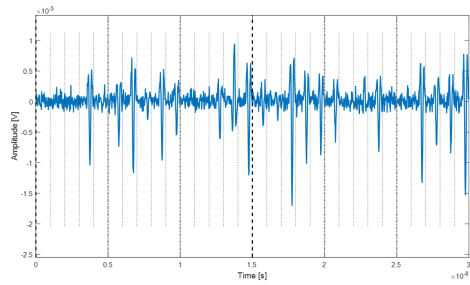


图 9 接收信号波形

[2] 刘定芳 and 李平安. 基于 IEEE 802.15.3a 信道模型的 2ppm-th-uwB rake 接收机研究. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版), 28(7):144-147, 2006.

[3] Maria-Gabriella Di Benedetto, 贝内代托, Guerino Giancola, 詹科拉, and 利嘉. 超宽带无线电基础. 电子工业出版社, 2005.

[4] 武丽静 and 王斐. 一种基于频域预滤波的超宽带信道卡尔曼估计算法. 中国电子学会第十五届信息论学术年会暨第一届全国网络编码学术年会论文集 (下册), 2008.

[5] 汪一鸣 and 朱洪波. 一种较低复杂度的 uwB 信道自适应均衡技术. 通信学报, 26(10):13-18, 2005.

[6] Tobias Gruber, Sebastian Cammerer, Jakob Hoydis, and Stephan ten Brink. On deep learning-based channel decoding. In *Information Sciences and Systems (CISS), 2017 51st Annual Conference on*, pages 1-6. IEEE, 2017.