

一种应用于 RFID 数据传输的自适应均衡方法

钱丽霞,郝学元,颜晓红

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

摘要:在射频识别(Radio Frequency Identification,RFID)系统中,传输信号在高速远距离传输过程中,受传输环境和突发状况等影响,导致传输信号产生畸变和衰减,解调后的基带信号会产生码间干扰,影响了信号传输质量,并且限制了传输的速度。文中提出了一种适用于 RFID 系统基带数据传输的自适应 FFE-DFE 均衡的方法。该方法实现复杂度低,不需要很复杂的电路设计,算法计算速度快。实验结果表明,自适应 FFE-DFE 均衡方法有效改善了均衡效果,减小了误码率,消除了信号中的码间干扰和噪声,数据传输距离大大延长。

关键词:射频识别;码间干扰;前向均衡器;判决反馈均衡器;误码率

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0185-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.042

An Adaptive Equalization Method for RFID Data Transmission

QIAN Li-xia,HAO Xue-yuan,YAN Xiao-hong

(College of Electronic Science and Engineering,Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003,China)

Abstract:In the process of high speed and long-distance transmission of the RFID system,the signal can be affected by transmission environment and other unexpected effects. These factors can cause distortion and attenuation,the serious Inter-Symbol Interference (ISI) is produced to the demodulated baseband signal. Then the quality of transmission is affected and the transmission speed is limited. In this paper,a method for baseband data transmission of RFID system with an adaptive FFE-DFE equalization is presented. This method has low complexity and does not need complex circuit design,and the algorithm calculates quickly. The experiment results show that the adaptive FFE-DFE equalization method can improve the performance of equalization and reduce the bit error rate. The inter-symbol interference and noise of the signal are also eliminated. The data transmission distance is greatly extended.

Key words:RFID;ISI;FFE;DFE;BER

0 引言

在 RFID 系统数据传输过程中,特别是在标签快速移动时,传输信号由于受传输环境和长距离高速传输等的影响,恢复的基带信号会产生码间干扰和衰减现象,接收端的解码模块难以获得正确的传输信号,传输质量得不到保证,从而传输速率大大降低,传输距离也受到了很大的限制^[1-2]。针对 RFID 系统实时性变化和对接机处理数据速度快的要求,文中提出了采用 4 抽头的前向反馈均衡(Feed-Forward Equalizer,FFE)和 5 抽头的判决反馈均衡(Decision-Feedback Equalizer,DFE)组合使用,结合自适应 LMS 算法均衡处理数据的方法。FFE 结构简单,能处理不严重的码间干扰,对于较严重的码间干扰其消除能力就受到限

制,并且抽头数的不断增多会增加复杂度;DFE 属于非线性均衡器,能处理较严重的干扰,但不易实现前端化^[3-4]。而经过改进后的这种自适应 FFE-DFE 结合的均衡器不仅实现复杂度低,而且选择经典的 LMS 算法,计算量少,信道跟踪能力强,加快了数据处理速度,同时能较好地应对 RFID 系统实时性变化。相比常用的单独的多抽头高复杂度算法的均衡器以及过零检测方案的接收机处理方法,实现简单,降低了设计复杂度,成本低,具有更强的抗干扰能力。并且从实验结果来看,可以快速准确地处理数据,达到很好的均衡效果,减小误码率,很大程度上提高了传输速度并延长了传输距离。

收稿日期:2014-03-17

修回日期:2014-06-22

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2011AA050526)

作者简介:钱丽霞(1989-),女,硕士生,研究方向为电子与通信;颜晓红,博士生导师,研究方向为物理电子学。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1347.037.html>

1 系统整体模型概述

RFID 系统大多是由电子标签和读写器两部分组成。主要原理是读写器向标签发送载波信号,标签接收后返回数据给读写器,读写器再向主机返回数据^[5-6]。读写器与标签之间的通信具有突发性,且读写器的接收信号长度短,有频偏,要求接收机能快速响应并完成数据处理得到准确可靠的信号^[7-10]。本设计在数字接收机中对接收信号均衡补偿部分进行主要的模拟分析。

首先,信号经过衰弱信道并加噪声后先对信号进行预处理,即采用门限法、步长法和拐点法结合的综合矫正法进行信号矫正,具体参见文献[11]。这样一个预处理一定程度上为之后的均衡提供当前值,可以减小 DFE 的错误判决扩散问题,改善 LMS 收敛慢的问题。然后将得到的预处理信号送到自适应 FFE-DFE 均衡器均衡,先由 FFE 消除前面的符号干扰,然后再将纠正的信号送入 DFE,消除后面的码间干扰,从而完成整个均衡过程。系统模型如图 1 所示。

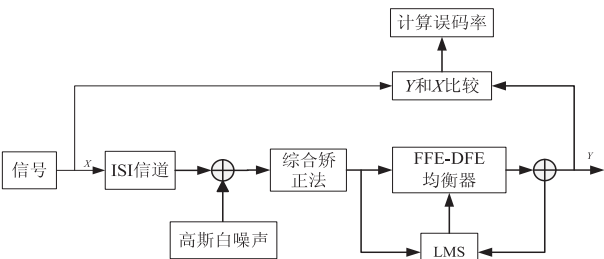


图 1 系统整体模型

2 FFE-DFE 均衡器部分简述

传统的频域均衡滤波器一般都是采用简单线性均衡器或者更多的是 DFE。但是这两种滤波器都存在自身的缺陷和不足:

(1) 线性均衡器结构简单,实现容易,但是当多径干扰十分严重时,其消除干扰的能力就受到了限制,无法达到要求^[12]。

(2) DFE 属于非线性均衡器,非线性均衡器的输出是接收信号的非线性组合,不易于实现前端化;而且判决反馈均衡当前的比特逻辑状态值依赖于前几个比特的逻辑判决,所以如果前几个比特的逻辑状态出错,就很容易造成错误扩散,就会影响均衡的准确性^[13]。

这里的线性均衡器采用 FFE,其输出是接收信号和延迟形式的线性组合,相比于其他线性均衡器,结构较为简单,可消除不十分严重的多径干扰。其次,FFE 作为前馈部分能提供更大的灵活性,能够塑造与信道频率响应匹配的传递函数,更易于在信道的接收端或者发送端进行灵活布置,实现线性均衡器的前端化。DFE 适用于信道多径干扰较严重的情况,但是其不容

易实现前端化^[14-15]。FFE 可以补充 DFE 的操作,能够消除超前的码间干扰和滞后的码间干扰,而 DFE 可以消除滞后的码间干扰。所以将 FFE 和 DFE 结合均衡比单独的 FFE 均衡或单独的判决反馈均衡可以达到更好的均衡效果。FFE-DFE 均衡器模型如图 2 所示。

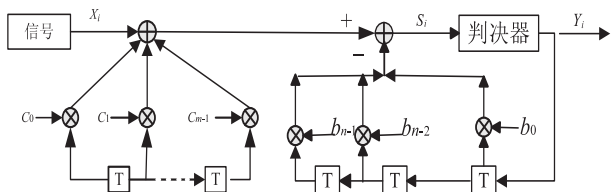


图 2 FFE-DFE 均衡器模型

FFE-DFE 均衡输出 $S(i)$:

$$S(i) = \sum_{k=0}^{m-1} C_k X_{i-k} - \sum_{l=0}^{n-1} b_l \hat{Y}_{i-l} \quad (1)$$

其中, m 和 n 分别是 FFE 和 DFE 的抽头个数; C_k 和 b_l 分别是 FFE 和 DFE 的抽头系数。

3 自适应 LMS 算法

文中采用的算法是最小均方差算法 (Least Mean Square, LMS), 对于时变的信道, 该算法有良好的跟踪能力, 实时更新均衡器的抽头系数, 其计算量少, 简单易实现, 这样可以满足 RFID 系统处理数据速度快, 自适应突变环境的要求。用来递推调整均衡器抽头系数 W_k 的基本 LMS 的算法^[16]:

$$\hat{W}_{k+1} = \hat{W}_k - \mu e_k X_k^* \quad (2)$$

其中, μ 是步长因子; e_k 是均衡误差。

自适应 FFE-DFE 基于 LMS 算法的抽头系数更新算法为:

$$S_n = \sum_{i=0}^{m-1} c_i x_{n-i} - \sum_{i=0}^{n-1} b_i \hat{y}_{n-i} \quad (3)$$

$$e_n = Y_n - \hat{Y}_n \quad (4)$$

$$b_{k(n+1)} = b_{k(n)} - \mu_b y_{n-k} e_n, k = 0, 1, \dots, n_b - 1 \quad (5)$$

$$C_{k(n+1)} = C_{k(n)} - \mu_f x_{n-k} e_n, k = 0, 1, \dots, m_f - 1 \quad (6)$$

其中, m 和 n 分别是 FFE 和 DFE 的抽头个数; C_k 和 b_k 分别是 FFE 和 DFE 的抽头系数。

FFE-DFE 均衡每处理完一个符号, 产生一个误差信号, 然后更新所有的抽头系数, 依次循环进行, 直到处理完最后一个符号。

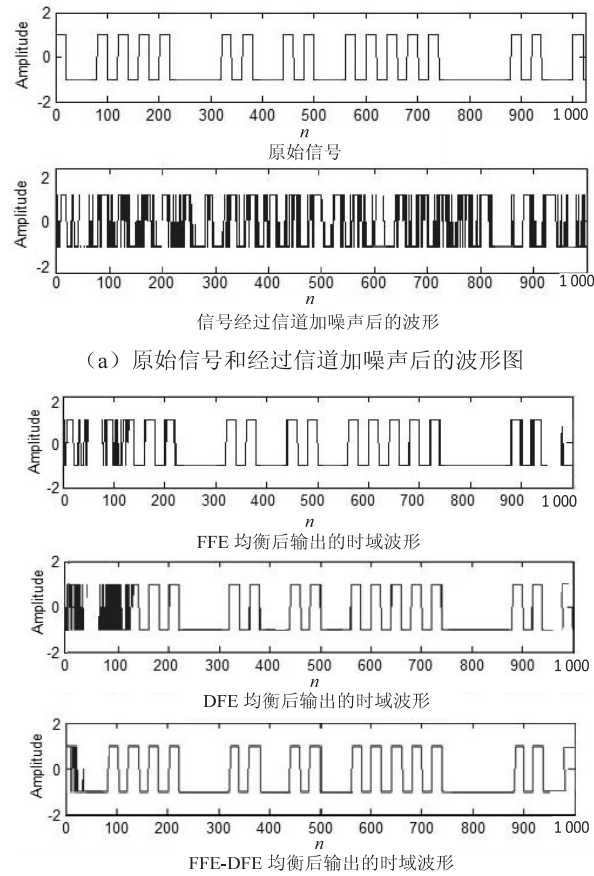
4 仿真与测试

根据上述理论在 MATLAB 环境下进行建模仿真, 均衡器采用 4 抽头的 FFE 和 5 抽头的 DFE 组合, 在均衡器抽头数选定上, 考虑到虽然抽头数越多均衡效果越好, 但抽头数过多结构就较复杂, 且不易实现, 这里 4 抽头的 FFE 和 5 抽头的 DFE 组合均衡已经可以很好

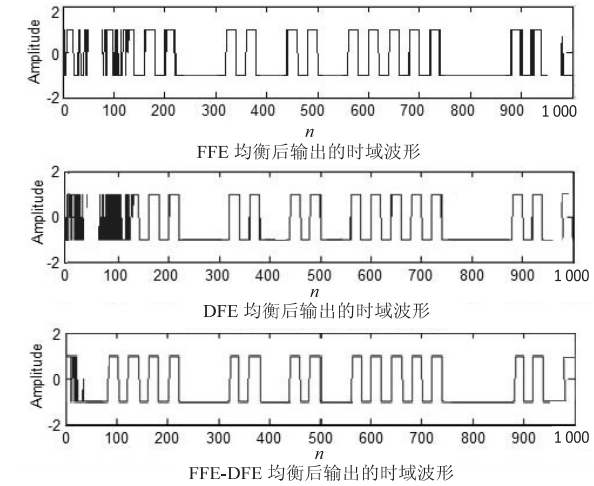
地完成干扰信号的均衡^[3-4,12],减小了实现复杂度。

(1)均衡前后波形图。

原始信号经过初始化后,转化为二元数字信号,经过信道加噪声后由均衡器均衡。在参数都相同下,将自适应4抽头 FFE-5抽头 DFE 均衡器与单独的11抽头 DFE 与单独的11抽头 FFE 均衡器均衡后波形进行了比较,如图3所示。



(a) 原始信号和经过信道加噪声后的波形图



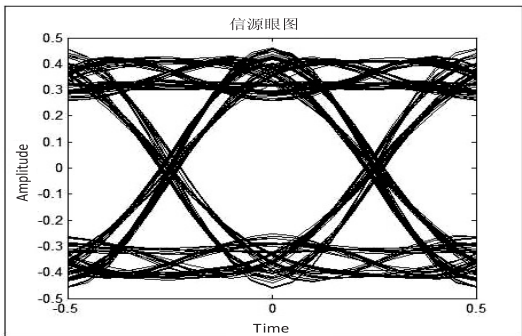
(b) 三种均衡器均衡后的波形图

图3 均衡前后的信号波形图

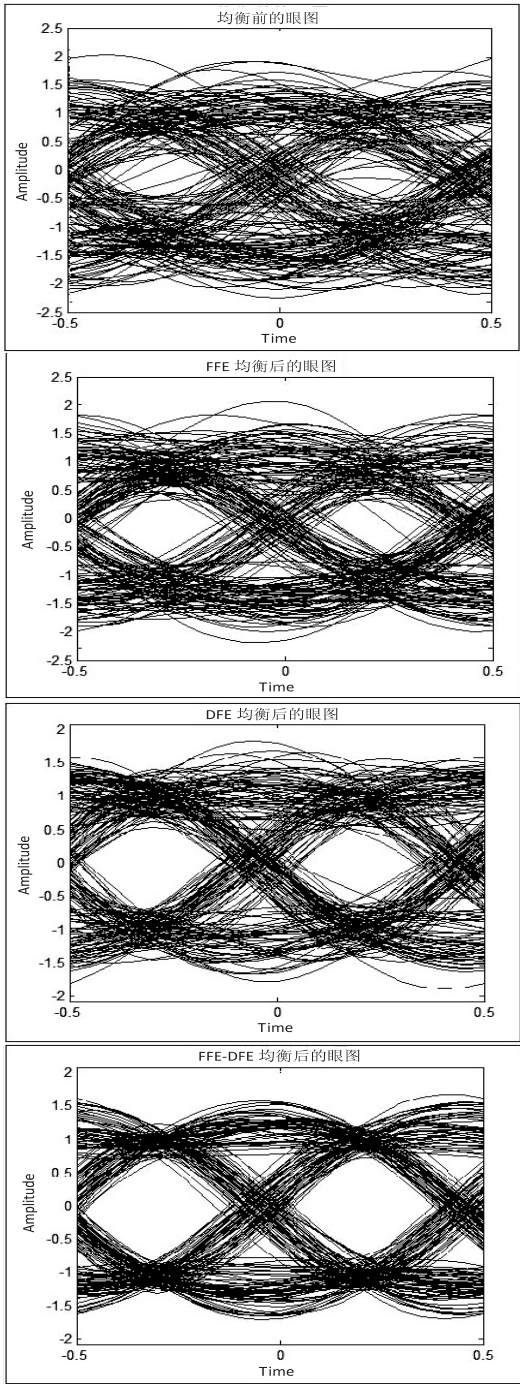
由图可见,FFE 均衡后,从波形中可以看出,仍有滞后的干扰存在,DFE 均衡效果要比 FFE 均衡效果好很多,而 FFE-DFE 均衡效果更佳,基本还原了原始信号。

(2)均衡前后的眼图。

上述三种均衡器的眼图由图4所示。



(a) 信源眼图



(b) 经过信道加噪声后的未均衡的眼图和三种均衡器均衡后的眼图

图4 均衡前后的眼图

从眼图看到,经过 ISI 信道并加噪声未均衡前的眼图眼睛由于受严重的码间干扰几乎是闭合的,信号畸变严重,接收机是无法正常工作的。FFE 均衡后眼图睁开,但眼皮厚度很厚,信号畸变还是很大,效果并不是很好,这与它的均衡能力有限有关;DFE 均衡后的眼图就相对睁开得更大了;而自适应 FFE-DFE 均衡器的眼图效果相较于两者更佳,张开幅度增大,眼皮厚度也更小了,也不存在抖动,说明其去除噪声和码间干扰的能力大大提高了。

(3)误码率曲线图。

在不同输入信噪比,其他参数一样的情况下,上述三种均衡器的误码率曲线图仿真比较如图 5 所示。横坐标是经过信道的输入信噪比值,纵坐标是均衡输出与输入信号的误码率。

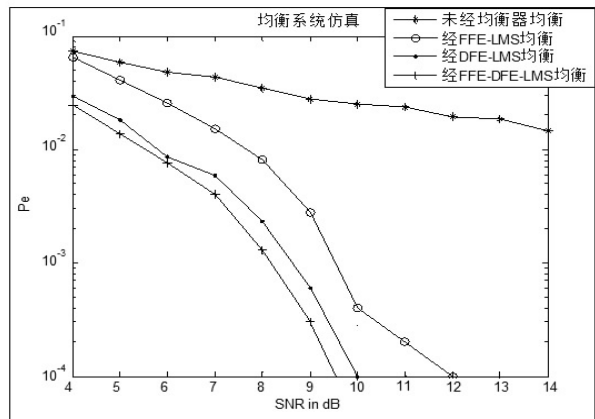


图 5 误码率曲线图

具体原理如图 1 所示,是将均衡输出所得码元与原始码元相比较,判断是否存在误码,统计误码的个数,最后除以原始信号序列的长度得到误码率 P_e 。未经均衡器均衡的误码率是通过 ISI 信道和加噪声后的码元与原始码元比较所得。

由图 5 可见,在不同的信噪比,其他参数一样的情况下,自适应 FFE-DFE 均衡的误码率始终是小于是其他两种均衡器,其次是单独 DFE 均衡器。

5 结束语

文中主要介绍了适用于 RFID 系统数据传输中的一种自适应 4 抽头 FFE-5 抽头 DFE 均衡器,这种均衡器和常用的时域均衡使用的多抽头高复杂算法的均衡器相比,复杂度降低,成本小,均衡效果好。与多抽头常用的 FFE 均衡器和 DFE 均衡器相比,在处理信道码间干扰上,改进后的均衡器均衡效果相比常用的 FFE 均衡器和 DFE 均衡器更佳,均衡后的眼图得到了很好的张开,误码率相比更小,复杂度也低,提高了数据传输的准确性。并且经过实验验证,读写器能够稳定快速地读取 8 m 左右的快速移动的标签,且能够自适应环境的变化,与市面上常见的作用距离 5 m 的产品相比,效果更加稳定可靠,提高了读写器的传输距离和速度。


参考文献:

- [1] 邓海生,李 军. RFID 数据流过滤算法研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(6):26-29.
- [2] 蒋邵岗,谭 杰. RFID 中间件数据处理与过滤方法的研究[J]. 计算机应用,2008,28(10):2613-2615.
- [3] Watts P M, Mikhailov V, Savory S, et al. Performance of single-mode fiber links using electronic feed-forward and decision feedback equalizers[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(10):2206-2208.
- [4] Kelly N P, Ray D L, Vogel D W. A mixed-signal DFE/FFE receiver for 100 base-TX applications[C]//Proc of IEEE international solid-state circuits conference. San Francisco, CA, USA: IEEE, 2000:310-311.
- [5] 黄晨灵,刘 圆,韩益锋,等. 基于 FPGA 的 RFID 数字接收机的设计[J]. 计算机工程,2007,33(13):230-232.
- [6] 郭雷勇,谭洪舟,高守平,等. RFID 系统阅读器反碰撞算法分类与研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):13-16.
- [7] 王铖岑,邓建明. RFID 系统防碰撞算法[J]. 计算机技术与发展,2010,20(1):29-32.
- [8] 乌云高娃,鲁 骏,吴荣华. RFID 读写接收机基带数字信号处理研究[J]. 电子学报,2009,37(6):1382-1385.
- [9] 汪济洲,刘二伟. 一种新的且有鲁棒性动态二进制时隙防碰撞算法[J]. 计算机工程与科学,2011,33(10):169-173.
- [10] 王 民,郭江坤,王稚慧. 一种基于多功能功率的 RFID 阅读器能效增强算法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2013,25(5):694-699.
- [11] 刘 超. 基于 HDB3 编码的长线传输信号失真的矫正算法研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2006
- [12] Kao Shih-Yuan, Liu Shen-Iuan. A 7.5-Gb/s one-tap-FFE transmitter with adaptive far-end crosstalk cancellation using duty cycle detection[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits, 2013, 48(2):391-404.
- [13] 韦照川,李德明,孙希延,等. 一种基于 FPGA 的判决反馈均衡器[J]. 电视技术,2011,35(16):50-52.
- [14] Bulzacchelli J, Beukema T, Storaska D, et al. A 28Gb/s 4-Tap FFE/15-Tap DFE serial link transceiver in 32nm SOI CMOS technology[C]//Proc of ISSCC. San Francisco: IEEE, 2012:324-326.
- [15] 王洪强. 基于 FPGA 的判决反馈均衡器的实现[J]. 通信与广播电视,2010(2):14-18.
- [16] 张 一,胡捍英,郑阳勇. 基于变步长 LMS 算法的线性自适应均衡器的设计[J]. 信息工程大学学报,2013,14(4):428-432.

一种应用于RFID数据传输的自适应均衡方法

作者：[钱丽霞](#)，[郝学元](#)，[颜晓红](#)，[QIAN Li-xia](#)，[HAO Xue-yuan](#)，[YAN Xiao-hong](#)

作者单位：[南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(2)

引用本文格式：[钱丽霞](#).[郝学元](#).[颜晓红](#).[QIAN Li-xia](#).[HAO Xue-yuan](#).[YAN Xiao-hong](#) [一种应用于RFID数据传输的自适应均衡方法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(2)