

# 基于 Gauss - Seidel 迭代算法的块式数据检测技术

周志强, 黄国策, 叶向阳

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**块式数据检测技术能克服短波信道的时变性,能对数据信号进行有效检测。在 Gauss - Seidel 迭代算法的基础之上,提出了对于块式数据线性数据检测器(BLE)的优化设计方案,使得信道估值与数据检测使用相同的设备来完成,进一步降低了系统的复杂度。仿真结果表明,优化后的 BLE 的性能优于传统 BLE 性能。

**关键词:**块式数据传输; Gauss - Seidel 迭代算法; 短波通信

**中图分类号:** TN911.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2006)02 - 0039 - 04

影响短波数据通信误码率的一个重要因素是短波信道的时变色散性。块式数据通信系统能较好地克服短波通信这一缺点。块式数据通信系统是一种同步数据传输系统,它利用已知的训练符号与未知的数据源以数据块的形式交替发送,对信道参数进行跟踪并对数据进行检测。在块式数据检测方案中,采用 LMS 梯度算法对短波信道冲激响应做出估值,利用最小均方误差和(LSSE)准则,得到信道参数矩阵方程,源数据块的检测最终可归结为解此矩阵方程。传统的块式数据线性均衡器(BLE)的设计是基于 Levinson 算法及 Schw 算法的,本文在 Gauss - Seidel 迭代法的基础之上,提出了对于 BLE 优化设计方案。在此方案中,数据检测及信道估值使用相同的设备来完成,而且不需要额外的训练符号,使得系统的复杂程度大为降低,最后将它们与传统的线性检测器的性能进行了比较,结果表明其性能优于传统的线性检测器。

## 1 系统模型

块式数据传输方式是用已知的训练符号与未知的数据源以块的形式交替传输,在本方案中,训练符号块使用零平信号,图 1 所示为数据帧的结构形式。将  $m$  个数据信号与  $n$  个零平信号交替发送。

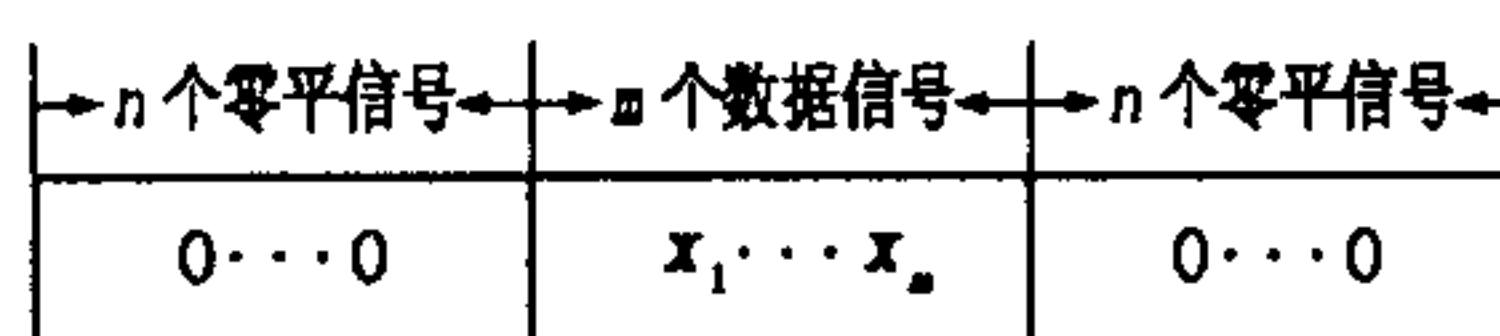


图 1 数据帧结构图

假设所要传送的数据是统计独立的,包括发送滤波器与接收滤波器在内的整个信道冲激响应为  $y(t)$ 。发送滤波器与接收滤波器的冲激响应为  $h(t)$ ,其频率响应如下:

$$h(f) = \begin{cases} 1/2T(1 + \cos(fT)) & -1/T < f < 1/T \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

式中,  $T$  为数据块发送周期。在信号传输过程中,引入的高斯白噪声为  $w(t)$ ,其均值为零,功率谱密度为  $\delta^2$ 。则最后接收滤波器的输出可表示为

$$r(t) = \sum x_i y(t - iT) + w(t) \quad (1)$$

在接收滤波器的输出端,对信号进行采样,采样时间间隔为  $T$ 。取  $n$  为信道的最大记忆长度,信道的采样冲激响应为

$$s(t) = y_0, y_1, \dots, y_n \quad (2)$$

收稿日期:2005 - 06 - 29

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:周志强(1979 -),男,湖北武汉人,硕士生,主要从事短波通信研究;

黄国策(1962 -),男,陕西高陵人,教授,博士生导师,主要从事卫星通信、短波通信研究。

对于接收到的每个数据块中的  $m$  个数据信号,就有  $m+n$  个采样值。利用这  $m+n$  信号对数据进行检测,所得到的检测信号又反过来信道进行估值。设:

$$m+n=k \tag{3}$$

当在不考虑噪声的情况下,接收端接收到的信号可以表示如下:

$$XY = \sum_{i=1}^m x_i Y_i \tag{4}$$

式中,  $Y_i$  为  $k$  维行向量,其形式如下:

$$Y_i = [ \underbrace{0, \dots, 0}_{(i-1) \text{ 个}}, y_0, \dots, y_n, \underbrace{0, \dots, 0}_{(m-1) \text{ 个}} ] \tag{5}$$

$X$  为  $m$  维行向量,  $Y$  为  $m \times k$  矩阵。在方程(5)中,  $y_i (0 \leq i \leq n)$  中至少有一个不为零,因此矩阵  $Y$  的秩为  $m$ 。考虑整个传输过程中噪声的影响,接收端接收到的信号可以表示为:

$$R = XY + W \tag{6}$$

## 2 信号检测技术

### 2.1 线性均衡

对于给定的  $R$ ,我们要对  $X$  做出估计。 $R$ 、 $XY$  与  $W$  都可以看成是  $n$  维信号空间内的点,假设检测器对于  $\{Y_i\}$  有先验知识,因此就可以知道由  $\{Y_i\}$  所张成的  $m$  维子空间,对于任意的  $x_i$ ,向量  $XY$  都在该空间内。对于给定的  $R$ ,  $XY$  的最为可能的取值为离  $R$  距离最近的向量。如果  $R$  在  $\{Y_i\}$  所张成子空间内,那么  $XY$  最有可能的取值为  $R$ ,显然  $R$  不在该子空间内。设对于  $X$  的估值为  $\hat{X}$ ,根据垂直映射定理,  $\hat{X}Y$  为  $R$  在  $\{Y_i\}$  所张成子空间上的垂直映射。因此:

$$(\hat{X}Y - R)Y^T = 0 \tag{7}$$

又因为  $Y$  的秩为  $m$ ,因而  $m \times m$  的矩阵  $YY^T$  为对称正定阵,它的逆阵  $(YY^T)^{-1}$  总是存在。因此:

$$\hat{X} = RY^T(YY^T)^{-1} \tag{8}$$

如果将接收到的信号矢量  $R$  输入线性网络  $Y^T(YY^T)^{-1}$ ,所得到的  $m$  维矢量  $\hat{X}$  就是对信号  $X$  的线性估计。即:

$$\hat{X} = PY^T(YY^T)^{-1} = (XY + W)Y^T(YY^T)^{-1}.$$

$$\text{令: } U = WY^T(YY^T)^{-1} \tag{9}$$

$$\text{则: } \hat{X} = X + U \tag{10}$$

显然,  $U$  为噪声  $W$  经过线性网络  $Y^T(YY^T)^{-1}$  后的输出。

图 2 为线性均衡器的结构图,  $R$  送入  $\{Y_i\}$  相关检测器所得的结果再经过  $(YY^T)^{-1}$  网络,所得到的结果就为对信号  $X$  的估值。

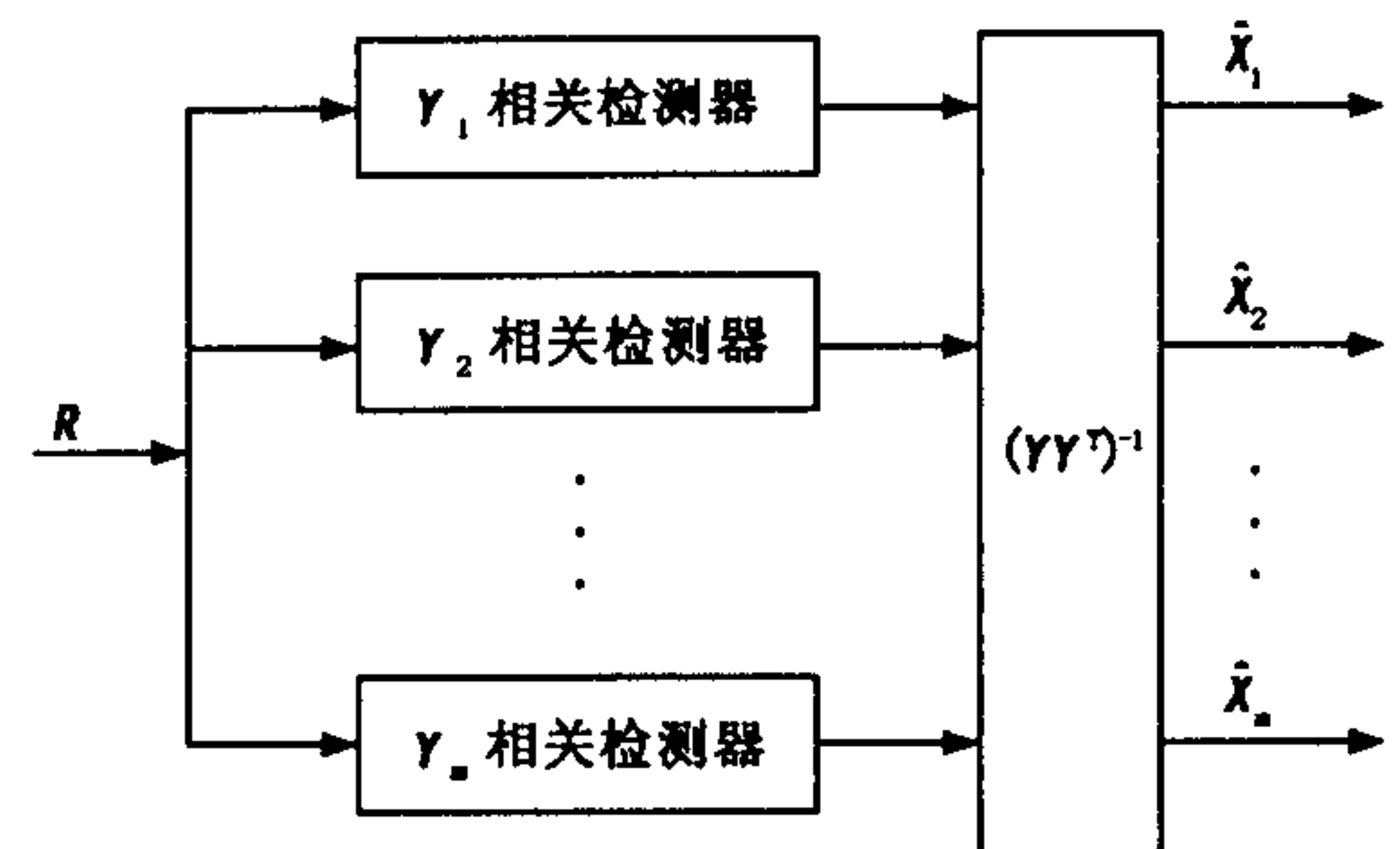


图 2 优化后的线性均衡器图

### 2.2 基于 Gauss - Seidel 迭代的实现过程

当使用 Gauss - Seidel 迭代过程来实现对于  $X$  的估值时,系统的复杂程度大将为降低,其结构如图 3 所示。

假设  $E = \{e_i\}$  为  $\{Y_i\}$  相关检测器的输出结果。在迭代过程的开始,取  $\hat{X} = 0$ ,此时  $E = PY^T$ ,调整  $\hat{X}_1$  的取值,使得  $e_1$  为零,这个过程中通常会改变所有相关器的输出值  $\{e_i\}$ 。接下来调整  $\hat{X}_2$  的取值使得  $e_2$  为零,依次这样下去直到  $\hat{X}_m$ ,这样第一次循环就结束了,紧接着进行第二次循环,以同样的顺序改变  $\hat{X}_i$  的取值,直到  $\hat{X}_i$  的值

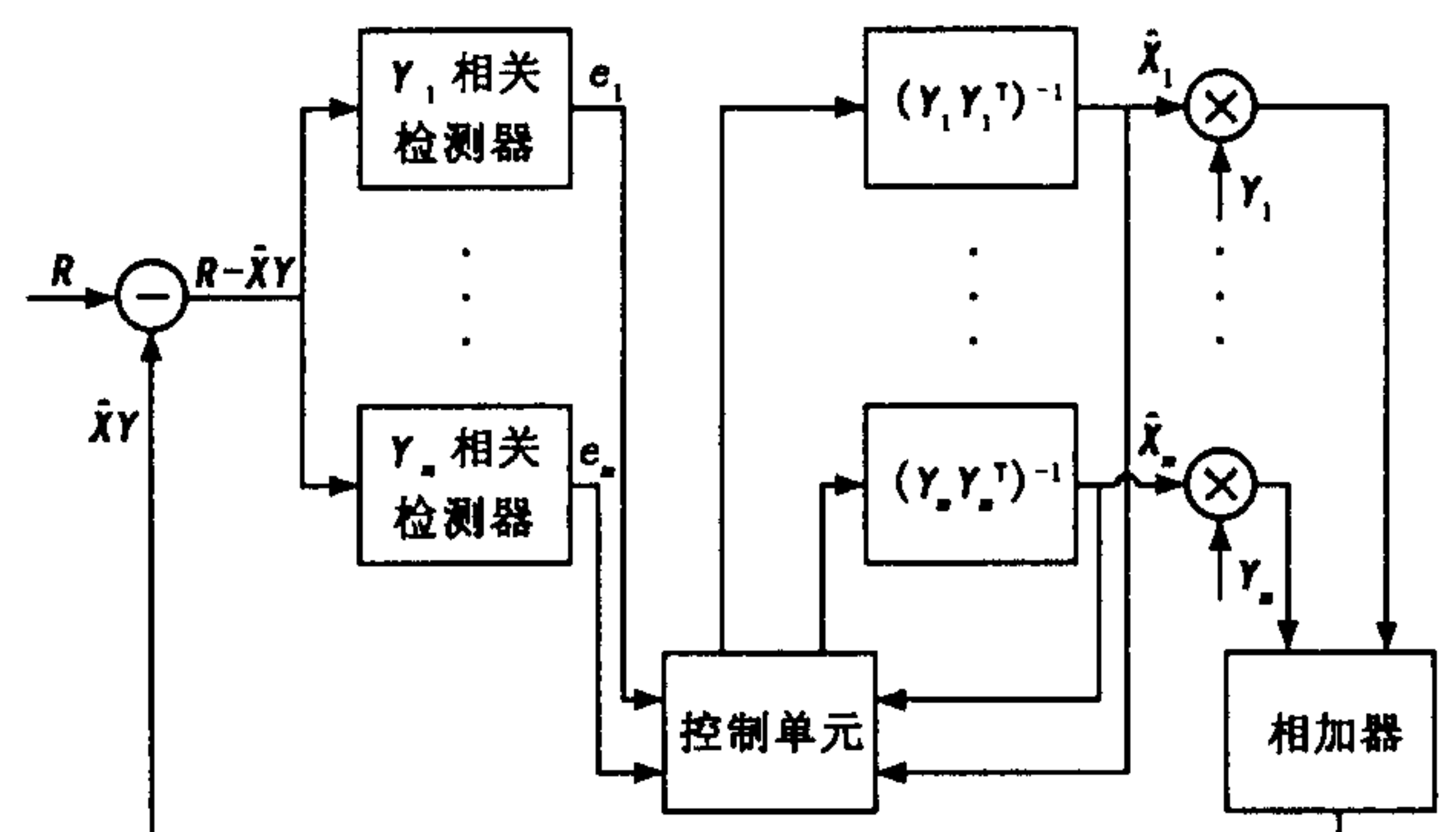


图 3 信号检测 Gauss - Seidel 迭代实现图

保持不变为止。当调整  $\hat{X}_i$  的值使得第  $i$  个相关检测器的输出为零时,  $\hat{X}_i$  的调整幅度为

$$\Delta X_i = e_i/v \quad (11)$$

式中:

$$v = Y_i Y_i^T = a_{ii} \quad (0 \leq i \leq m+1) \quad (12)$$

直到  $\hat{X}_i$  满足方程(7)时,  $\hat{X}_i$  总的调整幅度为

$$\Delta X'_i = qe_i/v \quad (13)$$

其中  $q$  为一常数,只要矩阵  $R$  为对称正定阵, Gauss - Seidel 迭代过程所得到的  $\hat{X}_i$  就能收敛。

由图2可以看出,使用了  $m$  个相关检测器来对一个数据块内的信号进行估值。而在 Gauss - Seidel 迭代过程中,每次只有一个相关器在工作,相继完成对  $m$  个信号的估值,从而代替了  $m$  个相关器的并发工作。这样就使系统的复杂程度大为降低。同时必须指出,系统复杂程度的降低是以检测时间的增长为代价的,因此使用 Gauss - Seidel 迭代过程进行信号检测时,不适合信道特性变化过快的情况。

### 3 信道估值

很显然:

$$XY = Y'X' \quad (14)$$

其中  $Y'$  为行向量  $(y_0, y_1, \dots, y_n)$ ,  $X'$  为秩为  $(n+1)$  的  $(n+1) \times k$  阶矩阵,它的第  $i$  行为

$$X_i = \{ \underbrace{0, \dots, 0}_{(i-1) \text{ 个}}, x_1, \dots, x_n, \underbrace{0, \dots, 0}_{(m-i) \text{ 个}} \}$$

因此:

$$R = Y'X' + W \quad (15)$$

在图2中,将  $m$  个相关检测器换成  $n+1$  个对于  $X'_i$  的相关检测器,则这  $n+1$  个相关检测器的输出为

$$C = RX'^T = Y'B + WX'^T \quad (16)$$

式中:

$$B = X'X'^T \quad (17)$$

矩阵  $B$  为实对称正定阵,当接收端具有  $(X_i)$  的先验知识时,假设对于  $Y'$  的最优估计为  $Q$ ,则有:

$$QB = C \quad (18)$$

此时可以将适量  $C$  送入线性网络得到  $Q$ 。同样也可以通过 Gauss - Seidel 迭代过程来确定  $Q$  的值,这里不再累述。

### 4 性能分析及结论

对优化后的线性检测器进行性能评估。信道的采样冲击响应为  $[0.235, 0.667, 1.0, 0.667, 0.235]$ , 一个数据块中有 8 位数据,图4给出了不同信噪比条件下的误码率曲线。可以看出,经过优化后的线性检测器比未优化的线性检测器性能上有所提高。

块式数据检测技术是近年来提出的一种新的信号检测技术,它能对信道的特性进行实时估计,对每块数据进行独立判决,避免了数据块间的码间串扰。本文在 Gauss - Seidel 迭代算法的基础上,对块式数据线性检测器进行了优化设计,数据检测及信道估值使用相同的设备来完成,使得系统的复杂程度大为降低。仿真结果表明:块式数据检测技术能有效地减小信道上的多径干扰、降低误码率、提高数据传输性能,是一种较好的能适用于短波信道的数据检测技术。优化后的线性检测器的性能优于传统的线性检测器的性能。

参考文献:

- [1] Cozier S N, Falconer D, Mahmoud S A. Reduced Complexity Short - Block Data Detection Techniques for Fading Time Dispersive

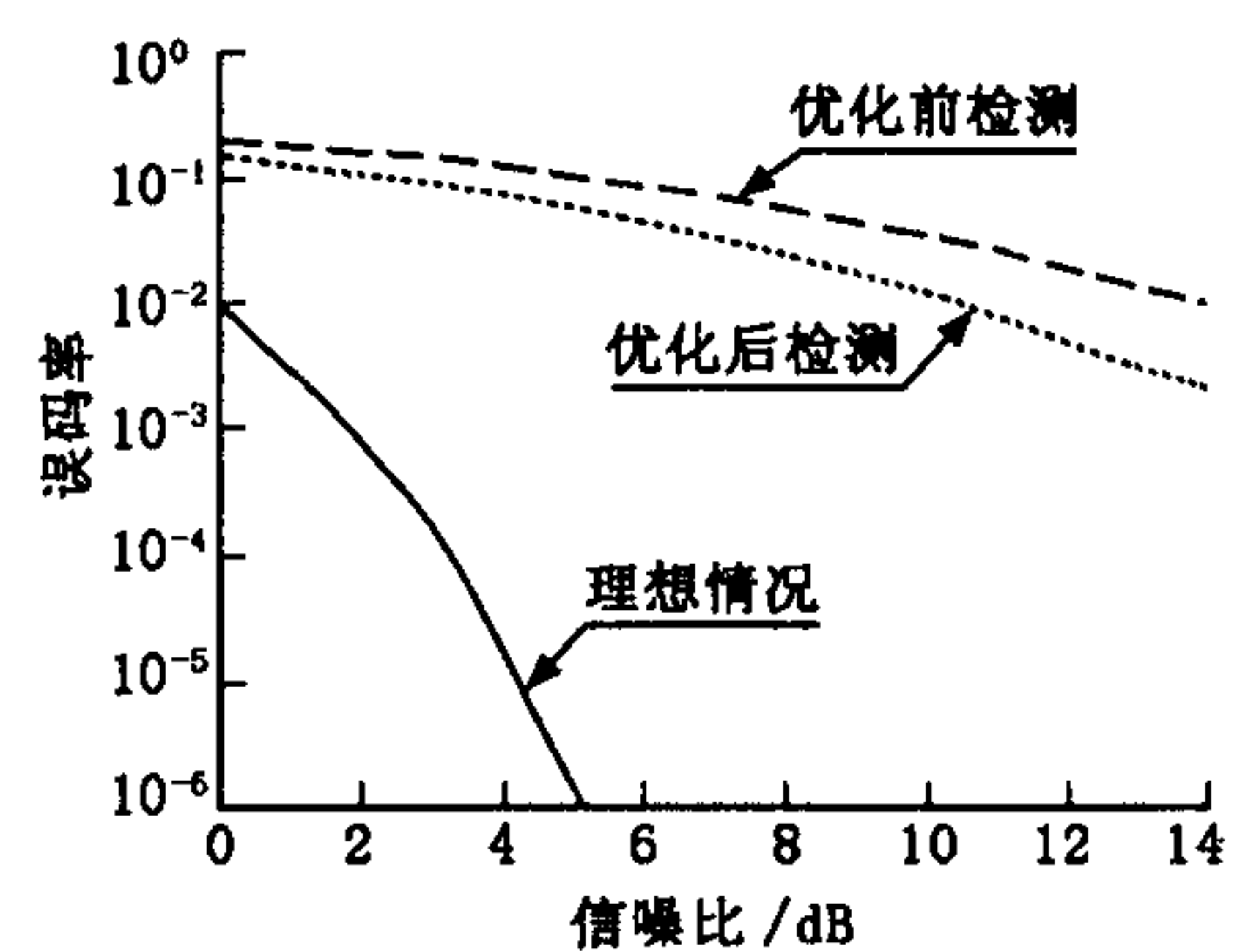


图4 信噪比与误码率曲线图

- Channels[J]. IEEE Transactions On Vehicular Technology, 1992, 41(3):255 - 265.
- [2] Kaleh G K. Channel Equalization for Block Transmission Systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1995, 13(1):110 - 121.
- [3] Farid Ghani, Block Data Communication System for Fading Time Dispersive Channels[A]. Proceedings 4<sup>th</sup> National conference on Telecommunication Technology[C]. 2003. 93 - 97.
- [4] 张 辉. 基于最小均方误差和准则的块式数据检测技术[J]. 西安电子科技大学学报, 1997, 24(3):395 - 399.

(编辑:门向生)

## The Block Data Detection Technique Based on Gauss - Siedel Algorithm

ZHOU Zhi - qiang, HUANG Guo - ce, YE Xiang - yang

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** Block data communicating technology can reliably detect digital data over fading HF channels. This paper proposes an optimum design scheme for the Linear Detector for block data transmission system on the basis of Gauss - Siedel Algorithm, by which the channel estimation and data detection can be accomplished by the same equipment, thus reducing the complexity of the system greatly. The simulation result indicates that the optimized BLE has advantage over the traditional BLE in performance.

**Key words:** block data transmission; Gauss - Siedel Algorithm; HF communication

(上接第 28 页)

- [4] Kosuge Y. Multiple Maneuver Model Joint Probabilistic Data Association for Multi - Target Tracking[A]. Proc. of the 1989 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors[C]. 1989, 602 - 607.
- [5] Kosuge Y. Maneuvering Target Tracking using Multiple Maneuver Model Joint Probabilistic Data Association[A]. Proc. IECON '91[C]. 1991, 2059 - 2064.
- [6] 卢科奇, 申卯兴, 张平定, 等. 目标多航迹数据动态灰色关联算法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2004, 5(4):17 - 20.

(编辑:门向生)

## An Algorithm of Tracking a Maneuvering Target Based on IR Sensor and Radar in Dense Environment

LIU Chen, FENG Xin - xi

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** This paper presents a new method of multi - sensor tracking a maneuvering target in dense environment. In addition to radar measurement, the use of accurate angle data from an Infrared (IR) sensor is proposed to improve tracking performance. IR - integrated Multiple Maneuver Model PDA (IM3PDA) filter combines IR and radar sensor data. The performance of this method is evaluated in terms of tracking success rates and position estimation accuracy by computer simulation.

**Key words:** multi - sensor; data fusion; probability data association; IR