

遥控起爆器的汉明码纠错应用研究\*

郭天天 杜耀志 尹江健 沈 青  
国防科技大学指挥军官基础教育学院(湖南长沙,410072)

[摘 要] (8,4)汉明码易于遥控起爆器实现纠错功能,文章给出了其编译码算法,并采用 CC1100 无线模块对其性能进行了测试。测试结果表明,采用(8,4)汉明码,误码率最大降低了 80%,遥控距离最大增加了近 50%。(8,4)汉明码能有效降低遥控起爆的误码率,增加遥控距离,在遥控起爆器中具有很强的实用价值。  
[关键词] 遥控起爆器 汉明码 误码率  
[分类号] TJ510.2 TN919.3

引言

遥控起爆器对数据传输的准确性有着极高的要求。然而电磁波在传输过程中能量会损耗,传播距离越远,损耗越大;并且受多普勒频移、阴影效应和多径效应等影响,会产生码间干扰和信号失真。这些现象会极大地影响通信质量,为了保证遥控起爆器可靠工作,应使用纠错编码<sup>[1-2]</sup>。

目前常用的纠错编码方式包括自动请求重发、正反码、汉明码、循环码、BCH 码、卷积码等。其中汉明码比较简单直观,既有检错能力,又有纠错能力,而且软硬件实现起来也较为简单<sup>[3-6]</sup>。对于遥控起爆器来说,传输的数据量不大,并且一般都采用成本低廉的单片机,所以应该采用汉明码<sup>[7]</sup>。

1 汉明码算法

汉明码是一种线性分组码,编码时首先将待发送的数据进行分组,每组分成  $n$  位,然后附加  $r$  位监督码元,构成一组位码元  $k(k = n + r)$ ,形成  $(k, n)$  码。在遥控起爆器中通常使用 8 位单片机,数据收、发通信及处理都以字节为单位进行,所以采用(8,4)汉明码,可以很方便地对高、低 4 位信息分别编译码。

1.1 编码

设  $m = (m_4, m_3, m_2, m_1)$  为信息位,  $C$  为编码后的码字,则  $C = m \oplus G = (C_8, C_7, C_6, C_5, m_4, m_3, m_2, m_1)$ ,  $G$  为生成矩阵,本文采用的  $G$  如式(1)所示<sup>[2]</sup>:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

生成的监督码元如式(2)所示:

$$\begin{aligned} C_5 &= m_2 \oplus m_3 \oplus m_4 \\ C_6 &= m_1 \oplus m_3 \oplus m_4 \\ C_7 &= m_1 \oplus m_2 \oplus m_4 \\ C_8 &= m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 \end{aligned} \quad (2)$$

1.2 译码

设发送端发送的码字序列为  $C = (C_8, C_7, C_6, C_5, m_4, m_3, m_2, m_1)$ , 由于干扰可能产生错码,假设接收端接收到矢量  $y = C + e$ , 称  $e$  为信道的错误图案。

对汉明码来说,  $GH^T = HG^T = 0$ , 其中  $H$  为一致监督矩阵<sup>[2]</sup>, 从而有  $CH^T = mGH^T = 0$ 。接收端在收到码字后计算伴随式  $s = yH^T = eH^T$ 。若错误图案  $e = 0$ , 则  $s = 0$ ; 若  $e \neq 0$ , 则  $s \neq 0$ 。显然, 伴随式  $s$  只取决于错误图案  $e$ 。当  $s \neq 0$  时, 译码器的工作就是根据  $s$  找到错误图案  $e$ , 并将接收到的矢量译码为  $\hat{c} = y + e$ 。如果将所有  $2^8$  个可能的接收矢量  $y$  进行陪集分解, 可以得到 16 个陪集, 则对应的 16 个陪集首就是可纠正图案集。编写译码程序时, 首先在内存中建立一个陪集首表, 然后通过查表完成从伴随式  $s$  到错误图案  $e$  的映射<sup>[8-9]</sup>。

2 系统测试

遥控起爆器分发射单元和接收单元两部分<sup>[10-11]</sup>, 一般采用单片机作为控制和运算器件, 其原理框图如图 1 所示。

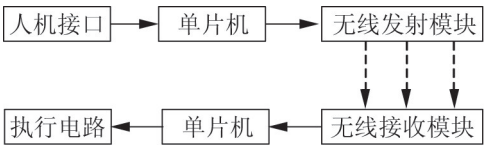


图 1 遥控起爆器原理框图

\* 收稿日期:2012-03-07  
作者简介:郭天天(1974 ~ ),男,博士,副教授,主要从事地雷爆破与破碎工程方面的研究。E-mail:ttguo\_mail@126.com

为了测试汉明码的有效性,根据遥控起爆器的原理搭建了一个简单的测试系统,其结构如图 2 所示。

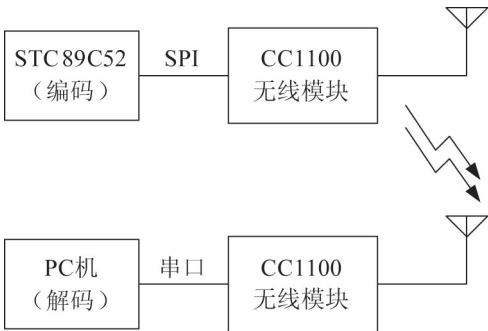


图 2 测试系统结构图

测试系统的发射端使用 STC89C52 单片机进行编码,编码完成后由 SPI 接口传给 433MHz 的无线模块 CC1100 发射,发射数据速率为 9600 bit/s。CC1100 是 TI 公司生产的一种多波段 UHF 收发器,成本低,功耗小,编程方便,应用非常广泛,最大传输距离可达数百米<sup>[12-13]</sup>。发射端如图 3 所示。在接收端,使用同样的无线模块接收,接收的数据通过串口传给 PC 机,进行解码和结果分析。

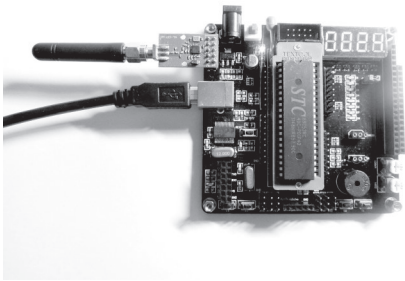


图 3 无线模块与单片机开发板

上述测试系统只要稍加改造,在发射端加上人机接口,在接收端加上执行电路就是一个实际的遥控起爆器。

测试过程中,发射端和接收端间隔不同的距离,发射端循环发射从 0x00 ~ 0x0f 这 16 个字节组成的数据包;接收端实时接收解码,并计算误码率。每次测试都分不编码和汉明码编码两个阶段,以便对比。发送端和接收端的软件流程分别如图 4 和图 5 所示。

3 测试结果

使用上述测试系统,在开阔地进行了两项测试:

- 1) 无线数据传输的误码率测试;
- 2) 无线数据传输的最大遥控距离测试。

测试过程中发射端采用电池供电,距离地面 1.5 m 左右;接收端使用笔记本电脑,距离地面 0.5

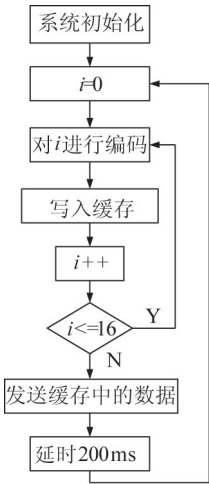


图 4 发送端软件流程图

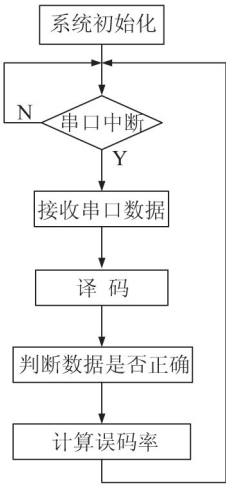


图 5 接收端软件流程图

m 左右。误码率测试结果如表 1 所示。

表 1 误码率测试

距离/m	BER1/%	BER2/%
50	1.24	0.95
100	2.36	1.52
150	4.57	2.54

表 1 中的 BER1 为未进行汉明码编码时的误码率,BER2 为加入汉明码时的误码率。可以看出,加入纠错编码后,系统误码率有了较大的改善,尤其是随着距离的增加,改善幅度增大,最高下降了近 80%。

最大遥控距离的测试方法是,在误码率不超过 2% 的条件下,所能达到的最大无线传输距离。测试结果如表 2 所示。

表 2 最大遥控距离测试

	BER/%	最大距离/m
未加纠错编码	2	87
纠错编码	2	130

从表 2 可以看出,在 2% 误码率条件下,加入纠错编码后,最大遥控距离增加了近 50%。

在测试过程中,使用的是低增益天线,遥控距离有限。在实际使用中,可以使用高增益天线以增加遥控距离。

4 结语

本文根据遥控起爆器广泛采用 8 位单片机,以及遥控起爆数据量小,但可靠性要求高的特点,提出在遥控起爆器中采用(8,4)汉明码,以牺牲码长为代价,保证数据的可靠性。

本文研究了(8,4)汉明码的编译码实现,并进行了测试。测试结果表明,在 433MHz 波段,(8,4)汉明码能有效降低误码率,增加遥控距离。说明这种方式实现纠错功能简单,减少了对硬件电路的依赖,充分发挥了系统的灵活性,具有良好的实用性,在遥控起爆器中具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

[1] 杨静,陈钟荣,叶晶晶. 纠错编码技术在无线模块中的应用[J]. 自动化仪表,2009,30(12):19-21.

[2] 郭天天,杜耀志,尹江建. 纠错编码在遥控起爆器中的应用[J]. 爆破器材,2010,39(6):14-16.

[3] 王新梅,肖国镇. 纠错码——原理与方法[M]. 西安:

西安电子科技大学出版社,1996:56-98.

[4] Isaka M. High-rate Serially Concatenated Codes Using Hamming Code[C]. Proc of IEEE International Conference on Communications, Seoul, IEEE Communications Society, 2005:637-641.

[5] 付瑜. 军事演习中炸点显示系统的设计研究——炸点遥控系统的研究[D]. 成都:成都理工大学,2008.

[6] 孙琮琮,余学军. 远程多路遥控起爆器材的设计[J]. 爆破器材,2011,40(6):29-31.

[7] 辛英. 汉明码纠错检错能力分析与应用[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2008,21(1):34-36.

[8] 孙丽华,丁杰,肖化. 单片机与 PC 机通信中的纠错编码[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),2005(4):50-54.

[9] 张玲,李磊民,刘刚. 海明码纠错在无线遥控中的应用[J]. 通信技术,2007,40(11):17-19.

[10] 段美霞,郭勇,鲁长江. 远程多路遥控起爆器的设计与实现[J]. 电子器件,2005,28(2):387-389.

[11] 孙琮琮,余学军. 远程多路遥控起爆器的设计[J]. 爆破器材,2011,40(6):29-31.

[12] 王俊荷,高飞,吴节林. 基于 CC1100 点对点无线数据采集[J]. 计算机科学,2011,38(10A):212-214.

[13] 李娟,唐小超,葛立峰. 基于 CC1101 射频技术的室内超声定位系统[J]. 自动化与仪表,2009,24(6):1-4.

Study on the Application of Hamming Code Error Correction in Remote Detonator

GUO Tianian, DU Yaozhi, YIN Jiangjian, SHEN Qing

School of Basic Education for Commanding Officers, NUDT (Hunan Changsha, 410072)

[ABSTRACT] The (8,4) Hamming code can be easily achieved on regular remote detonator. The encoding and decoding algorithm are introduced in this paper, and its performance is tested by CC1100 wireless module. The test result shows that the (8,4) Hamming code can reduce the BER by 80% maximally, increase the remote control distance by nearly 50% maximally, and have very important practical value for remote detonator.

[KEY WORDS] remote detonator, Hamming code, BER

(上接第 28 页)

Application of Primary Explosive GTX in Plain Detonator

YU Xunmeng, WEI Zhenghe

Guangxi Jinjianhua Industrial Explosive Materials Co., Ltd. (Guangxi Baise, 533000)

[ABSTRACT] The paper introduces the basic property of a primary explosive, zinc carbohydrazide perchlorate (GTX). Based on its property in combination with our company's experience in production of detonators, construction and production technology of No.8 plain detonator is adjusted and improved by application of the new primary explosive GTX in the plain detonator. The suitable production technology and the best technical parameters are provided. When the range of charge amount is within 0.17±0.02 g and the pressing pressure is 22±2 MPa, the strong cap will increase to 7.8mm.

[KEY WORDS] zinc carbohydrazide perchlorate (GTX), plain detonator, production technology, technical parameters