

· 光电工程系统技术 ·

基于差分自相关矩阵的激光脉冲编码识别

应家驹, 何永强, 周中亮, 胡文刚

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

摘要:在分析了激光脉冲编码方式的基础上, 提出基于自相关矩阵统计的激光脉冲编码识别方法: 利用接收到的脉冲序列, 构造一阶差分自相关矩阵和二阶差分自相关矩阵, 分别对其进行直方图统计, 根据直方图特点识别激光脉冲序列的编码方式, 并解算出脉冲时间参数. 通过仿真实验, 验证算法的有效性, 用计算机仿真生成不同类型的脉冲序列, 并设定脉冲丢失概率和虚假脉冲概率, 验证编码识别算法. 实验证明该编码识别算法正确率高, 实时性好, 有较强的抗干扰脉冲能力.

关键词:激光; 编码识别; 差分自相关矩阵; 直方图统计

中图分类号: TN977

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0010-03

A Method for Decoding Laser-Pulse Series Based on Autocorrelation Matrix Statistic

YING Jia-ju, HE Yong-qiang, ZHOU Zhong-liang, HU Wen-gang

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: According to the analysis of laser-pulse encoding modes, a method to decode laser-pulse series based on autocorrelation matrix statistic is put forward. The received laser-pulse series are used for constructing first order difference autocorrelation matrix and second order difference autocorrelation matrix. The elements of the two autocorrelation matrixes are counted in histogram mode. The laser-pulse series encoding mode can be classified by the characteristic of the two histograms, the time parameter of the pulse can be calculated out. The validity of the algorithm is tested by emulating experiment. Different modes of encoding laser-pulse are generated, and the missing probability and false probability are set, then the laser-pulse series are decoded by the algorithm. The emulating experiment shows that the algorithm has high precision, good real-time and anti-interference performance.

Key words: laser; decoding; difference autocorrelation matrix; histogram

激光编码识别的算法主要有: 基于时间的自相关法, 伪随机编码的最小周期识别^[1], 基于自相关的激光编码^[2]等. 在分析激光制导信号编码特性的基础上, 建立一阶差分和二阶差分自相关矩阵, 使用直方图统计方法对激光制导信号进行编码分类识别.

1 激光脉冲编码方式

激光编码主要有以下几种方式: 脉冲间隔编码(PCM)、精确频率码、二变间隔码、有限位随机周期

码、等差序列码和位数较低的伪随机码^[3,4]. 分析以上 6 种常用的编码形式, 前 4 种都属于周期型编码, 可将其归为一类. 因此, 编码形式主要可以分为三类: 周期型, 等差型, 伪随机型^[5].

1.1 周期型编码脉冲序列

周期型编码脉冲序列模型如下

$$Y_{i+kn+l} = \epsilon_{i+kn} (t_i + nt_k + v_{i+kn}) (1 - \alpha_l) + \alpha_l t_l \quad (1)$$

式中, Y_{i+kn+l} 为脉冲时刻序列; k 为单周期中包含

的脉冲个数; $n = 1 \cdots N$ 为周期序号; $i = 1 \cdots k$; $\epsilon_{i+kn} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 为脉冲随机丢失系数, 取 0 的概率为 D_{lost} , 取 1 的概率为 $1 - D_{lost}$, D_{lost} 为脉冲丢失概率, 满足均匀分布; t_i 为循环周期中规则的时间脉冲间隔; $t_k = \sum_{i=1}^k t_i$ 为编码循环周期; v_{i+kn} 为激光脉冲不稳定性(抖动)随机值, 由激光目标指示器输出激光频率稳定度以及指示器与目标之间距离的变化所造成, 其分布规则为正态分布; $\alpha_l = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 为假脉冲出现随机系数, 取 1 的概率为 D_{false} , 取 0 的概率为 $1 - D_{false}$, D_{false} 为假脉冲出现概率, 满足均匀分布; t_l 为虚假脉冲时刻, 满足泊松分布。

有限位随机周期脉冲 t_i 各不相同, 但 $\sum_{i=1}^k t_i = T$ 按一定规律周期性变化. k 可以根据需要设定。

脉冲间隔编码(PCM): $t_i = nt_{clk}$, t_{clk} 为循环移位寄存器的驱动时钟, 其频率通常为整数, 如 10 Hz. k 为循环移位寄存器中编码含 1 的个数. 美军常用的三位码, 如“372”, 其二进制表现形式为: “001 101 110 010”, 则 $k = 6$.

精确频率码: $k = 1$, 严格控制其频率, 使之并非整数重频激光, 如: 10.15 Hz.

二变间隔码: $k = 2$, $T_1 + T_2 = T$, 并且 $r = T_1/T_2 \approx 1$.

1.2 等差型脉冲序列

等差型脉冲序列的模型如下

$$\mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} X_{3,2} - X_{2,1} & X_{4,2} - X_{3,1} & \cdots & X_{l+2,2} - X_{l+1,1} \\ X_{4,3} - X_{3,2} & X_{5,3} - X_{4,2} & \cdots & X_{l+3,3} - X_{l+2,2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{l+1,l} - X_{l,l-1} & X_{l+2,l} - X_{l+1,l-1} & \cdots & X_{2l,l} - X_{2l-1,l-1} \end{bmatrix}$$

对一阶差分自相关矩阵和二阶差分自相关矩阵, 以脉冲不稳定(抖动)时间为邻域, 进行直方图统计, 根据特点识别编码类型, 进一步计算得出其时间参数. 其程序流程如图 1 所示。

3 仿真实验及分析

为验证其有效性, 使用计算机进行仿真验证, 模拟激光目标指示, 根据式(1)、式(2)模型生成脉冲序列, 脉冲丢失概率 D_{lost} 和假脉冲出现概率 D_{false} 分别

$$Y_{m+l} = \epsilon_m \left(\sum_{i=1}^m t_i + v_m \right) (1 - \alpha_l) + \alpha_l t_l \quad (2)$$

式中, Y_{m+l} 为脉冲时刻序列; $\epsilon_m = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ 为脉冲随机丢失系数; t_i 为脉冲时间间隔, 满足 $t_i - t_{i-1} = \Delta t$, Δt 为常数; v_m 为激光脉冲不稳定性(抖动)随机值, 分布规则为正态分布。

1.3 伪随机脉冲序列

伪随机脉冲序列是将脉冲间隔编码(PCM), 经过设定好的函数反馈到寄存器中, 使之不具备周期性. 伪随机脉冲序列模型表达形式如式(2), 但其中 t_i 的表达形式为

$$t_i = f(t_{i-1}, t_{i-2}, \cdots, t_1) \quad (3)$$

2 差分自相关矩阵统计编码识别

在一组信息中寻找某种未知的规律时, 进行自相关运算是最佳的选择^[1]. 假定接收到的脉冲序列长度为 $2l$, 其记录的脉冲时刻为: Y_1, Y_2, \cdots, Y_{2l} , Y_1 为初始时刻记为 0.

$$\text{令 } X_{i,j} = Y_i - Y_j$$

则构造一阶差分自相关矩阵

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} X_{2,1} & X_{3,1} & \cdots & X_{l+1,1} \\ X_{3,2} & X_{4,2} & \cdots & X_{l+2,2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{l+1,l} & X_{l+2,l} & \cdots & X_{2l,l} \end{bmatrix} \quad (4)$$

构造二阶差分自相关矩阵

$$\begin{bmatrix} X_{l+2,2} - X_{l+1,1} \\ X_{l+3,3} - X_{l+2,2} \\ \cdots \\ X_{2l,l} - X_{2l-1,l-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

可调, 设定其分别为 2%. 如图 2 所示, 生成长度为 50 的脉冲序列, 序列中随机丢失一个脉冲, 并且随机添加一个虚假脉冲。

运行编码识别算法, 进行自相关矩阵直方图统计, 一阶差分自相关矩阵统计如图 3 所示。

二阶差分自相关矩阵统计如图 4 所示。

如图 3 图 4 所示, 周期型编码: 一阶差分直方图统计, 极大值呈周期出现, 并且极大值数值大致相等, 约为脉冲序列的一半 l ; 二阶差分其峰值在 0 处, 其数值约为一阶差分统计中的极大值之和. 其脉

冲周期为一阶差分两两极大值之间的时间间隔. 在序列中截取脉冲周期长度的脉冲序列, 即可得单一周期内脉冲时间参数.

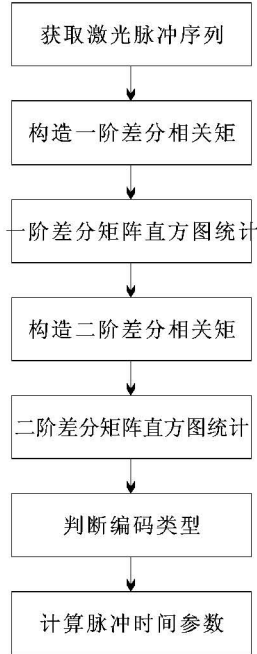


图 1 差分相关矩阵统计编码识别流程图

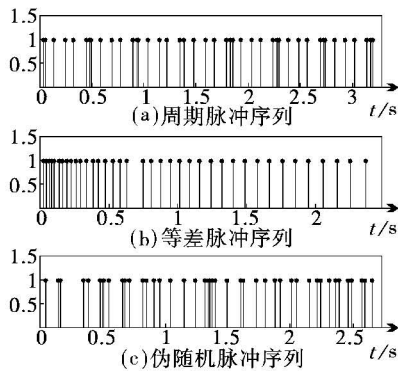


图 2 编码脉冲序列

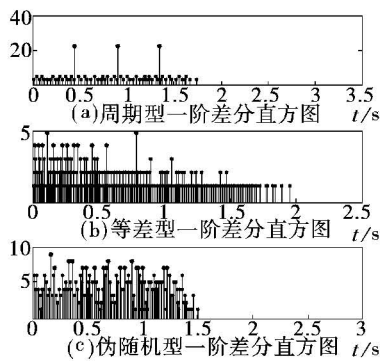


图 3 一阶差分相关矩阵统计直方图

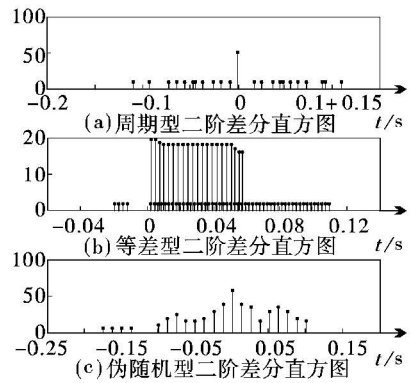


图 4 二阶差分相关矩阵统计直方图

等差型编码: 一阶差分无规律; 二阶差分统计极大值呈周期出现, 数值大致相等, 约为脉冲序列的一半 l . 极大值两两脉冲间隔为 $\Delta t = t_i - t_{i-1}$.

伪随机型编码: 一阶差分无规律; 二阶差分统计极大值呈周期出现, 但数值起伏较大. 极大值两两脉冲间隔为伪随机编码的驱动时钟周期.

为验证算法的时效性, 在双核 1.66 GHz 处理器, 512 M 内存的计算机上, 运行 matlab7.0, 进行编码识别运算, 记录其运算耗时, 如表 1 所示.

表 1 编码类型识别运算时间

脉冲序列长度	计算耗时/s
300	0.027 3
400	0.048 9
500	0.068 2

4 结 论

基于差分自相关矩阵统计的激光编码识别, 算法简单有效, 实时性能好, 可在短时间内完成编码识别. 该算法具有较强的抗干扰能力, 当出现脉冲丢失或虚假脉冲时, 对编码识别的准确性影响很小.

参考文献

- [1] 童忠诚, 朱诚, 孙晓军. 激光伪随机编码的最小周期识别技术研究[J]. 激光与红外, 2007, 37(5): 415 - 417.
- [2] 李君波, 杨涛. 基于自相关的激光编码解算[J]. 光学与光电技术, 2004, 2(4): 34 - 36.
- [3] 薛建国, 陈勇. 高重频激光对激光导引头的干扰研究[J]. 航空兵器, 2006, (3): 30 - 32.
- [4] 安化海, 闫秀生, 郑荣山. 激光制导信号的编码分析及识别处理技术[J]. 光电对抗与无源干扰, 1996, (3): 26 - 30.
- [5] 巨养锋, 马宝强, 姚梅, 等. 激光制导信号的编码和干扰技术[J]. 电光与控制, 2007, 14(1): 85 - 87.