

基于有限状态机的 Morse 码识别 算法设计与实现

吴鑫辉, 王永斌, 刘宏波
(海军工程大学, 湖北 武汉 430033)

摘 要:针对手工拍发莫尔斯码各信号间的比例随机性较强, 自动译码判断准确度不高等问题, 提出了一种基于有限状态的莫尔斯码自动识别算法。将电键拍发过程划分为六种状态, 有利于 C++ 语言编程实现的类化与建模。算法能根据报务员发报时码速的变化而自动调整莫尔斯码的各个判别门限, 从而大大提高了码字识别率。最后分析了抽样误差等对莫尔斯判决门限的影响, 给出了各种误差消除的解决方案。在 Windows 平台上的 Visual C++ 可视化编程环境中实现了该算法, 并给出了具体的算法设计流程图。

关键词:莫尔斯码; 有限状态机; 自动识别; 码速

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)05-0175-04

Design and Implementation of Morse Code Recognition Based on FSM

WU Xin-hui, WANG Yong-bin, LIU Hong-bo
(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Aiming at the problems of strong randomness of signals' rate and low-accuracy automatic decoding, the FSM(Finite State Machine) methodology for Morse signals decoding is presented. Divided the keying process to six states, so as to facilitate modeling language with C++. The algorithm can adjust Morse signals discriminant thresholds while code speed changed, thus greatly enhance the code recognition rate. Sampling errors of the classification and solutions have been analysed. At last, implementation of the algorithm in the Visual C++ programming environment on the Windows platform, and algorithm design flow charts are listed.

Key words: Morse code; finite state machine; automatic recognition; code speed

0 引言

基于莫尔斯信号的通信是人类最早的无线通信方式, 具有传统性、经济性和有效性等优点, 所以它仍广泛被应用在海事移动通信、航空移动通信、广播、卫星通信当中^[1]。

目前莫尔斯码识别算法主要有罔瑟算法、相对比较法、绝对比较法、概率分区法等^[2]。但上述算法或要求固定参考时间作为判决, 或以码字概率来分析判别, 所以判别正确率低; 且莫尔斯报多用人工手敲电键发报, 但在实际工作环境中由于报务员的个体差异, 以及发报速度不断变化, 莫尔斯的判别时间门限也发生相应地变化, 所以上述算法自动识别 Morse 码的准确率

不高, 实际应用中达不到译码要求^[3-5]。

有限状态机(FSM, Finite State Machine)是具有离散输入与输出的系统的一种数学模型。表现为有限个不同状态, 在不同的输入作用下, 系统将从一个状态迁徙到另一个状态^[6]。基于有限状态机的 Morse 码算法将 Morse 发报过程划分为相应的六种状态, 并在各个状态下实时跟踪 Morse 报文发报速度变化而自动修改各个判决门限范围, 简化了识别过程并且大大提高了报文识别率。

1 系统总体设计

该系统中终端操作平台硬件电路不停的对手电键信号进行抽样采集, 采集速率为每秒 100 次。根据采样得到的一串高低电平脉冲, 将点划信号解码为低电平脉冲, 间隔解码为高电平脉冲。对莫尔斯电码的有限状态基译码就是在此基础上进行的。译码算法流程如图 1 所示。

收稿日期: 2009-08-09; 修回日期: 2009-12-19

基金项目: “军事 2110 工程”资助项目(JXB-2007-57)

作者简介: 吴鑫辉(1986-), 男, 江西上饶人, 硕士研究生, 研究方向为无线通信、数字通信; 王永斌, 教授, 研究方向为无线通信。

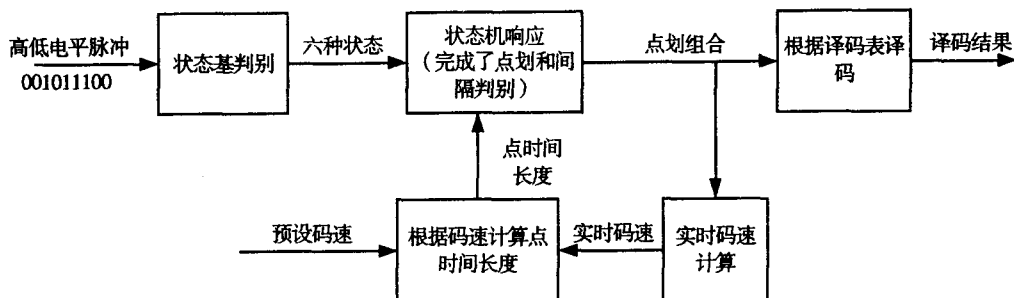


图 1 基于状态机的译码算法流程图

电键拍发开始后,首先对各个状态基进行判别,执行相应的状态机响应。经过状态机的响应函数执行后,确定出了每种信号的类别,并进行适当组合,当遇到码间间隔或组间间隔时就得到一个字母的莫尔斯码的点划组合,并查“码表”得出相应的码字。同时将码速变化反馈调整点时间长度,重新计算各间隔判决门限,提高了译码准确率。

2 有限状态机设计与码速的计算

2.1 有限状态机判别及状态转移

莫尔斯码一般使用电键来进行拍发,根据电键按下与抬起可划分为 6 个不同的拍发状态。6 个按键状态定义如表 1 所示。

表 1 状态机与按键状态的对应关系

状态机	按键状态
Invalid	无用的
KeyFirstDown	第一次按下电键
KeyDown	电键按下
KeyKeepDown	电键保持按下
KeyUp	电键抬起
KeyKeepUp	电键保持抬起

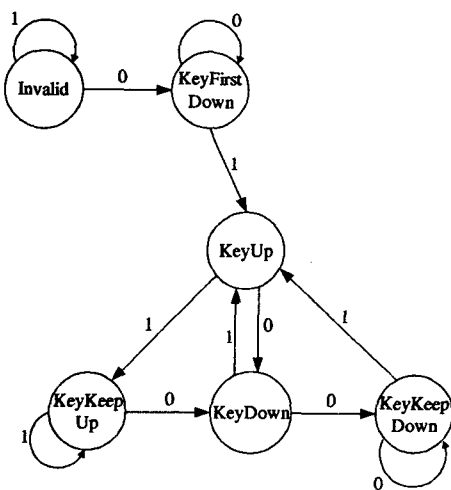


图 2 按键状态转移图

根据状态变化将有限状态机各个状态画成状态转移图(见图 2)。用圆圈表示状态;状态转移用有向弧

线表示;用标有箭头的节点表示初始状态;属于终结状态机中的状态用双圆表示。在任意发报状态中,当接收到高低电平时,都可由状态转移图判断出按键下一步处于什么状态。并且当状态变化时便可计算出各状态持续的时间。

例如现在按键处于 KeyKeepDown 状态,若硬件电路下一时刻对电键抽样得到的是低电平,即按键没有抬起,则根据状态转移图可知,按键还在 KeyKeepDown 状态,并将 KeyKeepDown 状态时间累加。当对电键抽样时间得到的是高电平,即电键抬起了,根据状态转移图,按键此刻处于 KeyUp 状态,此时便可得出 KeyKeepDown 状态总共所持续的时间。以此类推,可以得到各个状态持续的时间。

2.2 码速计算及信号类别域界设定

由于报务员发报时不可能保持恒定的码速,所以要计算莫尔斯码信号的实时码速。根据莫尔斯码的码速,便可划分点、划、三种间隔的门限范围,从而准确地译码。

标准码速通常采用“Paris”制或“CODEX”制两种计速方法^[7]。文中码速 Speed 的计算公式是:

$$\text{Speed} = (m_JS + (m_JiZu - 1) * 4) * 60.0 / \text{intTime} * (1000 / 500.0);$$

m_JS 为每组中码的位置; m_JiZu 为码组数(4 个码一组); intTime 为抽样时间(定时器时间为 500ms)。在定时器到达时刻,按上面公式实时计算得出新的码速,并在发报界面上显示出来。

发报训练前,报务员可以选定一个发报码速,根据发报码速由码速-点时间长度经验曲线^[8]可计算出对应的点时间长度,从而在此基础上进行判别译码。根据码速计算点时间长度的程序流程,如图 3 所示,其中,码速单位为码/分,点时间长度单位为 ms, Round 为四舍五入取整运算。

在训练过程中码速往往发生变化,则对码速进行动态计算,得出点时间长度的变化。由点时间长度可以推算出点、划和三个时间间隔的长度,从而实现自适应码速译码。

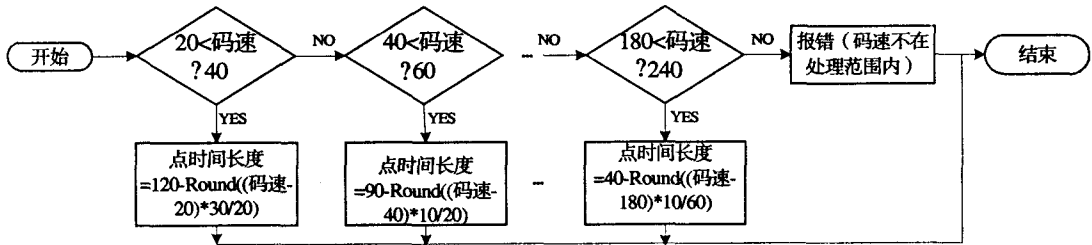


图3 根据码速计算点时间长度

3 有限状态基状态响应及 Morse 码识别

根据从手电接收的高低电平,并按照有限状态机的按键状态转移图,可以判决出发报处于什么状态中。对各状态机设计相应的响应,从而最终判决出码字与组字:

- (1)Invalid 状态机: break(退出);
- (2)KeyKeepDown 状态机: 按键按下状态时间与抽样时间累加;
- (3)KeyKeepUp 状态机: 按键抬起状态时间与抽样时间累加;
- (4)KeyFirstDown 状态机: 按键按下状态时间等于抽样时间,电键开始发报;
- (5)KeyUp 状态机: 可以得出 KeyKeepDown 状态所持续的时间,即按键状态持续的时间。

根据点时间长度归一化按键时间差(按键状态时间长度/点时间长度),对归一化后的按键时间差判别码字的点与划,如大于判决值则为划,小于判决值则为点。标准的 Morse 报文中点长:划长 = 1:3,但是在低速拍发时,点与划的长度比例难以达到一比三的关系,划一般较长。否则,听起来就会有点粗、划短的感觉。所以一般用经验值 4.0/3.0 来判决点与划。判决流程如图 4 所示。

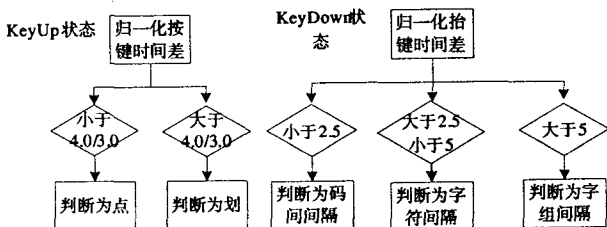


图4 KeyUp 与 KeyDown 状态机下判别流程处理

(6)KeyDown 状态机: 按键状态变化即可得出 KeyKeepUp 状态下抬键所持续的时间。根据点时间长度归一化抬键时间差(抬键状态时间长度/点时间长度),对归一化后的抬键时间差进行判别,得出按键时间差为码内间隔、字符间隔、字组间隔的一种。标准的 Morse 报文中点时间

长度:码内间隔:字符间隔:字组间隔 = 1 : 1:3:7,但是在低速拍发报文时往往达不到上面的要求,一般按经验值判决各个间隔。判断流程如图 4 所示。

每当判别出点与划时,计算出当前码速,根据图 3 中码速与点时间关系将点时间修正反馈给各状态机,从而实现了莫尔斯码的自适应识别。

将各有限机状态识别出的点与划依次存储起来,当识别出字符间隔时,将判别出的点与划进行组合与“码表”对应查得相应的字符。若“码表”中不存在识别出的点、划组合,说明拍发 Morse 码有误,并自动以“/”代替。同理,当识别出字组间隔时按“码表”将字符与字组译出。

4 抽样误差等判决门限影响及解决方案

4.1 软件消抖设计实现

(1)波形抖动的产生。

终端操作平台硬件电路每隔 10ms 抽样电键信号,当电键为抬起状态时,抽样信号为高电平,系统解析为符号“0”;当电键为按下状态时,抽样信号为低电平,系统解析为符号“1”。但是,在实际拍发中,抽样电路会产生毛刺,或发报人员在拍发点划时电键发生极短时间的弹起,而当抽样时间刚好发生在毛刺或电键非正常抬起的时刻,系统会解析为电键处于 KeyUp 状态,下一个抽样时刻又解析为 KeyDown 状态,如果不将这个毛刺除去,会对点时间的计算有极大的影响。

波形抖动的产生如图 5 所示。

(2)软件消抖设计。

消除去在 KeyDown 状态基下,判断抬起时间(timeSpaceInterval)是否小于某个设定值,如果抬起时间小于该值时,说明为电键波形抖动状态,继续保持 KeyKeepDown 状态;如果抬起时间大于设定值,则表

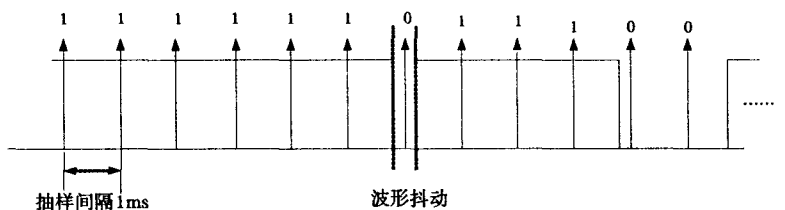


图5 波形抖动的产生

示电键上一状态处于 KeyUp 状态,从而计算点时间变化。

//软件消除抖动

if(timeSpaceInterval<50){//小于 5ms,去抖动算法

timeKeyInterval += timeSpaceInterval;

//回归“保持按下”状态机

m_EnumKeyStatus = KeyKeepDown;

break;

}else{

//按键加入修正:当前一时刻值的 1/2

timeKeyInterval = timeSimpleInterval/2.0;//表示按下-按键时间差:点或划(变化)}

4.2 抽样误差修正

抽样的任务是对模拟信号进行时间上的离散化处理。所以它的做法为,将时间上连续的模拟信号 $M(t)$,送到一个叫作抽样门的开关电路,每隔一段时间对模拟信号抽取一个样值。在电键拍发中,电键的 KeyKeepDown 状态和 KeyKeepUp 状态下为一个时间连续的波形,当电键各状态基转变时,抽样电路不可能及时发现并会产生大小不等的延迟 T , T 的范围为 $0 \sim 10\text{ms}$ 。虽然误差值比较小,但是状态基转变时都会产生抽样误差,误差时间叠加将对点时间的计算带来较大的误差,所以应该将该误差平均化到各抽样时间点,减小其对码判决的干扰。

抽样误差的产生如图 6 所示。

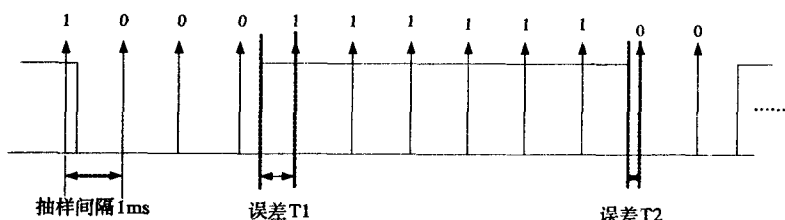


图 6 抽样误差的产生

具体编程实现是在 KeyUp 和 KeyDown 状态基下,将上一时刻的持续时间 timeKeyInterval 加上误差估测值 timeSimplemis。代码如下:

//按键时间加入修正:当前一时刻值的 1/2

timeKeyInterval = timeKeyInterval + timeSimpleInterval/2.0;

//间隔时间加入修正:前一时刻值的 1/2

timeSpaceInterval += timeSimpleInterval/2.0;//表示空、空时间差

4.3 二次译码判决设计

报务人员在训练时不可能以一个恒定的码速进行

拍发。在拍发过程中,提速或降速时码间间隔过小,会发生两个码紧连一起的情况。一般情况下一个莫尔斯码的点和划不会超过 5 个,然而在提速或减速时码间间隔很有可能不够长,导致两个码的点或划连在一起变成一个码,使码的点与划的个数超过 5 个,识别不出码字。

二次译码判决为在点与划组合识别不出某个码时,再将储存点与划的组合与对应的报底的两个码字进行对比,如果符合则判为两个码字,如果不符合则判为错码。

5 结束语

设计了一种基于有限状态机的莫尔斯码码速自适应译码算法。与传统的莫尔斯码信号识别算法区别是:不需利用概率来判决,该算法将莫尔斯发报识别划为六种状态,在各个状态下,根据报务员发报码速变化,自动计算并调整点时间长度与各个判断门限,从而大大提高了译码准确率。在 Visual C++ 编译环境下应用 C++ 语言成功完成了莫尔斯码自动译码功能,实际测试动态发报训练莫尔斯码识别率能达到 99% 以上,完成了预期要求。

参考文献:

- [1] 唐新来. 基于 FPGA 的无线通信收发模块设计方案[J]. 微计算机信息, 2008, 24(1): 214-217.
- [2] 霍建, 刘鸿雁, 段秀铭. 手工拍发的莫尔斯信号种类识别算法设计[J]. 鞍山科技大学学报, 2006, 29(4): 351-353.
- [3] 岳喜才, 郑崇勋. 基于离散 Gabor 谱的短波电报信号检测[J]. 数据采集与处理, 1999, 14(1): 22-25.
- [4] 李春晓, 赵旦峰, 李强. 用语音识别技术实现莫尔斯报的自动识别[J]. 信息技术, 2006(2): 51-53.
- [5] 马威, 张敬修, 王虎帮. Morse 电码自动译码系统[J]. 兵工自动化, 2007, 26(6): 51-55.
- [6] 盛友招. 排队论及其在现代通信中的应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 24-27.
- [7] 魏海舰, 徐家品. 一种手工莫尔斯电报质量评估系统设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(8): 4-7.
- [8] 李叙良. 无线电报务[M]. 北京: 八一出版社, 1993: 19-39.

比较[J]. 中国自动识别技术, 2006(1): 34-36.

- [10] 汪勇. 浅谈基于质量追溯的汽车产品质量管理系统[J]. 世界标准信息, 2008(1): 22-27.

(上接第 174 页)

Technology Letters, 2009, 51(9): 2046-2048.

- [9] 苏冠群, 卢菲菲. 单品识别时代的高频与超高频 RFID 应用