

改进的 Berlekamp 算法在数据收集平台处理中的应用*

郑 波

于越华

(国家卫星气象中心, 北京 100081) (后勤指挥学院, 北京 100858)

提 要

该文采用改进后的 Berlekamp 迭代算法^[1], 应用于气象卫星数据收集平台 BCH 地址码的译码、纠错问题. 针对 (31, 21) BCH 码, 该算法在随机纠正 2 位错码时, 具备了迭代次数少、计算速度快的特点. 经过计算证明, 此方法用于数据收集平台的 BCH 码的译码、纠错是可行的.

关键词: 气象卫星; 数据收集平台; BCH 码纠错.

静止气象卫星的数据收集是天气预报业务和大气科学研究不可缺少的重要手段, 其主要特点是利用遍布各地的数据收集平台 (DCP) 采集数据, 经过编码调制后发往卫星, 再由卫星转发到地面接收设备解调出数据. 这些数据广泛用于气象、水文、地震、海洋、航运、森林防火等许多领域. 尤其是设在海岛、山区、沙漠等边远地区的 DCP 收集的资料, 更具有一定的应用价值.

在 DCP 资料的处理和它的管理过程中, DCP 的识别非常关键. 而 DCP 的识别又直接依赖于它的地址 (BCH) 码, 如果地址码在传输过程中出现错误, 就不知道接收到的 DCP 数据来自哪个平台, 属于何种资料, 该资料也就失去了应用的价值. 因此 BCH 码的译码、纠错在 DCP 资料的处理中是非常重要的. 本文就 DCP 资料的 BCH 地址码的编码、译码作一般性的介绍, 重点讨论 BCH 码的纠错算法问题.

1 DCP 资料的 BCH 地址码

所有的 DCP 都是按静止气象卫星协调小组对报文的规定格式发送报文, 否则地面接收系统将无法正确的接收解调. DCP 的报告格式为:

载波 5s, 比特同步 250 bit, 字同步 15 bit, 地址码 31 bit, 数据 < 50 s, 结束码 EOT.

其中 31 位地址码采用 (31, 21) BCH 码. 该码的生成多项式如下式:

* 1995-03-17 收到, 1995-06-23 收到修改稿.

$$g(x) = x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + 1 \quad (1)$$

它的距离 $d = 5$, 随机纠错能力是 2 位。

在这 31 位地址码中, 前 21 位按一定的规律编排, 后 10 位是派生码。其编排方法为:

$b_0 \sim b_3$ 表示用户所属部门

$b_4 \sim b_7$ 表示用户下属单位

$b_8 \sim b_{15}$ 表示小单位内平台序号

$b_{16} \sim b_{19}$ 表示平台地点与运载工具

b_{20} 表示自定时与随机平台的类型

后 10 位派生码 (校验位) 按下列方式生成:

$$b_{21} = 0, 3, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20$$

$$b_{22} = 0, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20$$

$$b_{23} = 0, 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 17, 19$$

$$b_{24} = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 20$$

$$b_{25} = 0, 2, 4, 6, 9, 10, 14, 15, 18, 19, 20$$

$$b_{26} = 0, 1, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 19$$

$$b_{27} = 1, 2, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 20$$

$$b_{28} = 0, 2, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18$$

$$b_{29} = 1, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19$$

$$b_{30} = 2, 4, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 19, 20$$

上述 $b_{21} \sim b_{30}$ 位中从 0 ~ 20 按指出的前 21 位计数, 若 1 的个数为偶数, 则该位为 0, 若 1 的个数为奇数, 则该位为 1。

以日本 GMS 卫星中继的我国泰山 DCP 为例, 其 BCH 地址码表示为:

$$\begin{array}{cccccccccccccccccccc} 00 & 00 & 00 & 10 & 00 & 01 & 00 & 00 & 00 & 01 & 10 & 01 & 01 & 11 & 11 & 1 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ b_0 & b_2 & b_4 & b_6 & b_8 & b_{10} & b_{12} & b_{14} & b_{16} & b_{18} & b_{20} & \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{派生码(校验位)}} \end{array}$$

它的 16 进制地址为: 0 2 1 0 1 9 7 E。

2 BCH 地址码的纠错算法

BCH 码是一种循环码, 是在实际的差错控制系统中被广泛采用、使用最普遍的一种码, 该码的生成多项式 $g(x)$ 与最小距离 d 之间有着密切的关系, 可以根据 d 的要求, 很容易构造出码字, 而且易于工程实现^[2]。

在数据收集平台的传输过程中, 由于信道干扰, 噪声等影响, 难免出现错误, 这时根据 BCH 码的编码理论^[2], 就可以采用一定的算法, 将其纠正过来, 这里采用的是文献[1]中的迭代算法。

由 (31, 21) BCH 码的生成多项式 (1) 可知, 它可以分解成:

$$g(x) = (x^5 + x^2 + 1)(x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1) \quad (2)$$

由于 (31, 21) BCH 码有 4 个根, $\alpha^1 = 00010$, $\alpha^2 = 00100$, $\alpha^3 = 01000$, $\alpha^4 = 10000$, 代入式

(2), 可以求出 $\alpha^0, \alpha^1, \dots, \alpha^{31}$. 利用这 4 个根, 代入接收到的 BCH 码的接收多项式, 进行迭代, 就可以计算出接收码是否出错, 错位是第几位, 然后再予以纠正. 具体步骤如下:

(1) 判别接收到的 BCH 码是否有错

设接收到的 BCH 码字为 $R(x)$, $S_j = R(\alpha^j)$ 是 $R(x)$ 的伴随式, 其中 $j = 1, 2, 3, 4$, 代入 α , 则有:

$$\begin{aligned} S_1 &= R(\alpha^1) \\ S_2 &= R(\alpha^2) \\ S_3 &= R(\alpha^3) \\ S_4 &= R(\alpha^4) \end{aligned} \quad (3)$$

当 $S_1 = 0, S_2 = 0, S_3 = 0, S_4 = 0$ 时, 证明接收的码元无错位. 接收到的码字可以直接译码使用.

当 S_1, S_2, S_3, S_4 不全为 0, 且当

$$S_2 S_1^{-1} = S_3 S_2^{-1} \quad (4)$$

时, 证明接收到的码有 1 位错误. 而当

$$S_2 S_1^{-1} \neq S_3 S_2^{-1} \quad (5)$$

时, 证明接收到的码有 2 位错误.

(2) 1 位错的处理

当式(4)成立, 证明接收的码中有 1 位错误, 但这时并不知道 31 位码字中哪一位出错, 必须找到 31 位码中的错码位置, 才能予以纠错, 其 1 位码错的错位多项式为:

$$\sigma(x) = 1 - S_2 S_1^{-1} x \quad (6)$$

将 $\alpha^j (j = -30, -29, \dots, -1, 0)$ 代入上式. 当 $\sigma(\alpha^j) \neq 0$ 时, 此位不错; 当 $\sigma(\alpha^j) = 0$ 时, 此位有错. 找到错误码的位置, 将 j 位的 0 换成 1, 或 1 换成 0, 即将错位纠正过来.

(3) 2 位错的处理

当式(5)成立, 证明接收到的码中有 2 位以上的错误, 这时由接收码的伴随式计算:

$$D = S_2^2 - S_1 S_2 \quad (7)$$

$$D_1 = S_2 S_3 - S_1 S_4 \quad (8)$$

$$D_2 = S_2 S_4 - S_3^2 \quad (9)$$

由上列 3 个计算结果再计算:

$$C_1 = D_1 D^{-1} \quad (10)$$

$$C_2 = D_2 D^{-1} \quad (11)$$

其 2 位错的错位多项式为:

$$\sigma(x) = 1 - C_1 x - C_2 x^2 \quad (12)$$

2 位错的错误位置判别方法同 1 位错时一样.

3 计算结果

按照上述方法, 用经过日本 GMS 卫星中继的我国泰山 DCP 的 BCH 地址码为例进行模拟计算, 结果如下:

以泰山 DCP 为例:

正确的接收码字 (31 位, 从 0~30 位)

00000010000100000001100101 1 1 1 1 1

当任意 1 位出错时, 接收码为:

01000010000100000001100101 1 1 1 1 1

经过计算找到错位, 并纠正 (从 0 位数起数, 第 1 位错)

00000010000100000001100101 1 1 1 1 1

当任意 2 位出错时, 接收码为:

00000010000100010001100101 1 0 1 1 1

经过计算找到错位, 并纠正 (从 0 位数起数, 第 15 位和第 27 位错)

00000010000100000001100101 1 1 1 1 1

当此组地址码经判别正确时, 自动停止纠错. 当任意 1 位码错时, 自动识别, 找到错位予以纠正. 当任意 2 位码错时, 同样自动识别, 找到错位予以纠正. 此算法在纠正 1 位错时迭代次数仅 2 次, 在纠正 2 位错时迭代次数 4 次, 迭代次数少, 运算速度快, 是一种适应于 DCP 资料实时处理的较好的方法.

参 考 文 献

- 1 于越华. Berlekamp 迭代算法的改进. 信号处理, 1994, 10 (1): 53~57.
- 2 王新梅. 纠错码与差错控制. 北京: 人民邮电出版社, 1989.

APPLICATION OF THE IMPROVED BERLEKAMP'S ITERATIVE ALGORITHM TO DATA COLLECTION PLATFORM PROCESSING

Zheng Bo

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Yu Yuehua

(Logistics Command Academy, Beijing 100858)

An improved Berlekamp's iterative algorithm is adapted to correct the error code of BCH for Data Collection Platform (DCP) of the meteorological satellite in this paper. The method can correct two bits error code with random for (31, 21) BCH code and has fast convergence ability for iteration. A group of perfect results has been got from computations.

Key words: Meteorology satellite; Date Collection Platform; BCH code error-correcting.