

多模 GNSS 接收机中 BCH(15,11,1) 并行解码算法

蔺晓龙, 何文涛, 徐建华, 叶甜春

(中国科学院 微电子研究所, 北京 100029)

摘 要: 北斗卫星导航系统 B1 信号使用 BCH(15,11,1) 编码, 其空间信号接口控制文件提供的解码器由反馈移位寄存器组成, 需要多个时钟周期解码, 且与其他卫星导航系统解码结构不兼容. 为此推导了 BCH(15,11,1) 的监督矩阵和校正子, 设计了仅使用组合逻辑构成的解码器. 仿真结果表明该解码器能够在一个时钟周期内完成解码, 实现和操作都更简单, 且与 GPS、GLONASS 卫星导航系统的解码器结构一致, 简化了多模卫星导航接收机的解码设计.

关键词: 多模卫星导航接收机; 北斗卫星导航系统; BCH(15,11,1) 解码

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)02-0050-04

BCH(15,11,1) Parallel Decoding Algorithm in Multi-mode Satellite Navigation Receiver

LIN Xiao-long, HE Wen-tao, XU Jian-hua, YE Tian-chun

(Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The B1 signal of BeiDou navigation satellite system is coded by BCH(15,11,1), and the decoder provided by the BeiDou's ICD is based on the feedback shift register. The decoder requires multiple clock cycles, and is not compatible with other satellite navigation system. Therefore, based on the derivation of check matrix and syndrome of BCH(15,11,1), a decoder based on combinational logic is proposed by this paper. The simulation results show that this decoder can work in one clock cycle, and is easily implemented. The structure of this decoder is same as the GPS and GLONASS's, and simplify the design process of multi-mode GNSS receiver.

Key words: GNSS receiver; BeiDou navigation satellite system, BCH(15,11,1) decode

1 引言

目前提供公开民用服务的全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)包括美国的 GPS, 俄罗斯的 GLONASS 和中国的北斗. 多系统兼容的 GNSS 接收机(多模 GNSS 接收机)能够利用更多的卫星信号, 提供更好的定位结果, 是未来接收机的发展趋势. 由于各个全球卫星导航系统的信号编码结构不同, 要求多模 GNSS 接收机具备多种解码能力.

全球卫星导航系统的空间信号接口控制文件(Interference Control Document, ICD)定义了该卫星导航系统的各项参数, 是接收机设计的主要参考

标准^[1-3]. 各个全球卫星导航系统的 ICD 均给出了其信息的编解码结构, 如: GPS 的 L1 信号使用 Hamming(32,26) 编码, GLONASS 的 G1 信号使用 Hamming(85,8) 编码, 北斗的 B1 信号使用 BCH(15,11,1) 编码. GPS 和 GLONASS 信号使用 Hamming 编码, 两者 ICD 都提供了组合逻辑实现的解码结构. 北斗信号使用 BCH 编码, 其 ICD 提供的解码方式是反馈移位寄存器组成的除法型解码结构, 该结构需要串行输入待解码(校验)码组, 15 个时钟周期后给出解码(校验)结果.

北斗卫星导航系统这种与 GPS、GLONASS 不同的解码结构, 不利于多模 GNSS 接收机的设计. 如 GPS、GLONASS 采用组合逻辑实现, 可在一个时钟

收稿日期: 2013-04-20; 修回日期: 2013-05-22

基金项目: 中国第二代卫星导航系统重大专项多模导航型基带芯片(2011 GFZX03030204)

周期内完成解码,则写入待解码(校验)的码组和读取解码(校验)结果这两条指令可顺序执行。而北斗卫星导航系统的解码器包含反馈移位寄存器序列,在写入待解码码组后,需要等待多个时钟周期,检查到解码电路完成信号后方可读取解码结果。如此,对不同的卫星导航系统需要不同的解码(校验)结构和数据处理方法,增加了多模 GNSS 接收机设计的复杂度。

本文利用 BCH(15,11,1)编码的生成多项式,推导出其监督矩阵和校正子的表达式,从而可以使用组合逻辑(异或),在一个时钟周期内完成解码,与 GPS、GLONASS 卫星导航系统的解码结构一致,从而降低多模 GNSS 接收机数据解码设计的复杂度。

2 GPS、GLONASS、北斗卫星导航系统的解码结构

2.1 GPS、GLONASS 的解码结构

GPS 与 GLONASS 都使用 Hamming 类编码,

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

校正子:

$$\mathbf{S} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{H}^T \quad (3)$$

以上公式不包括 GPS 导航信息的极性校正,具体参看文献[1]。

如果校正子 $\mathbf{S}$ 为零矩阵,则表示输入码组正确;否则,输入码组有误比特。对于有纠错能力的编码,可根据 $\mathbf{S}$ 的值,查找纠错 ROM 表,对输入码组进行纠错。

图 1 所示的解码结构仅使用了组合逻辑(异或),所以在一个时钟周期内即可给出校正子和解码结果。

2.2 反馈移位寄存器组成的除法型 BCH(15,11,1)解码结构

北斗卫星导航系统 B1 信息使用 BCH(15,11,1,1) 编码,属于循环码。北斗卫星导航系统的空间信号接口控制文件(ICD)提供了一个标准的、利用反馈移位寄存器组成的除法型解码结构,如图 2 所示。

初始时移位寄存器清零,输入码组逐位输入到

其解码结构类似,如图 1 所示。

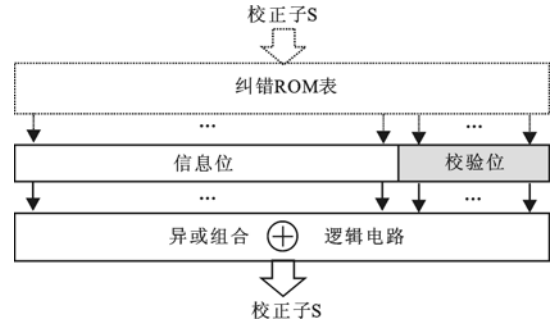


图 1 GPS/GLONASS 解码结构

输入码组(导航信息)存入缓存序列后,组合逻辑电路(主要是异或操作)根据监督矩阵(或称奇偶矩阵),对输入码组特定位置的比特数据进行异或操作,得到校正子矩阵。以 GPS 为例,输入码组为

$$\mathbf{A} = [a_{23}, \dots, a_1, a_0] \quad (1)$$

监督矩阵:

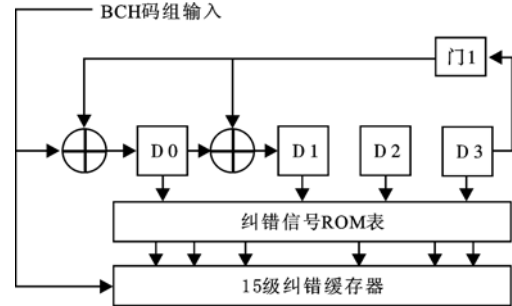


图 2 反馈移位寄存器组成的 BCH(15,11,1)解码结构
除法电路和 15 级纠错缓存器中,当码组全部输入后,除法电路的 4 级移位寄存器的状态即为校正子 $\mathbf{S}=[d_3, d_2, d_1, d_0]$,根据校正子 $\mathbf{S}$ 的取值查找纠错信号 ROM 表,对 15 级纠错缓存器里的值进行纠错,最后输出纠错后的信息码组。

图 2 所示解码电路与图 1 解码结构的区别在于:该解码电路使用了反馈移位寄存器。这导致解码过程中,15 级输入码组必须串行输入,而校正子则要在码组全部输入后才能得到,即该解码电路需要 15 个时钟周期完成解码操作。

3 BCH(15,11,1)的并行解码结构

为了解决北斗卫星导航系统 BCH 解码与 GPS、GLONASS 系统解码结构不同的问题,由式(3)可知,只要能够得到 BCH(15,11,1)的监督矩

$$\mathbf{G}(x) = \begin{bmatrix} x^{k-1}g(x) \\ x^{k-2}g(x) \\ \vdots \\ g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

对式(5)做线性变换,将其化为典型阵:

$$\mathbf{G}(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} = [\mathbf{I}_k, \mathbf{Q}] \quad (6)$$

由 $\mathbf{Q} = \mathbf{P}^T$ 得

$$\mathbf{P} = \mathbf{Q}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由 $\mathbf{H} = [\mathbf{P}, \mathbf{I}_r]$, 其中 $\mathbf{I}_r$ 表示单位阵, 则监督矩阵 $\mathbf{H}$ 为

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

输入码组为

$$\mathbf{A} = [a_{15}, \dots, a_4, a_3, a_2, a_1, a_0] \quad (9)$$

阵, 就可以利用图 1 的解码结构. 以下将求解 BCH(15,11,1)的监督矩阵, 已知 BCH(15,11,1)的生成多项式为^[4-5]:

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

可得其生成矩阵为($k = 11$):

式中, $[a_{14}, \dots, a_4]$ 表示 11 位信息位, $[a_3, a_2, a_1, a_0]$ 表示 4 位校验位. 由式(8)、式(9)、式(3)可得校正子 $\mathbf{S} = [s_0, s_1, s_2, s_3]$ 的展开表达为:

$$\begin{aligned} s_3 &= a_3 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11} \oplus a_{12} \oplus a_{13} \oplus a_{14} \\ s_2 &= a_2 \oplus a_5 \oplus a_6 \oplus a_8 \oplus a_{10} \oplus a_{11} \oplus a_{12} \oplus a_{13} \\ s_1 &= a_1 \oplus a_4 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11} \oplus a_{12} \\ s_0 &= a_0 \oplus a_4 \oplus a_7 \oplus a_8 \oplus a_{10} \oplus a_{12} \oplus a_{13} \oplus a_{14} \end{aligned} \quad (10)$$

如果校正子 $\mathbf{S}$ 为零矩阵, 表示输入码组正确, 否则, 根据 $\mathbf{S}$ 的值查表可纠错 1 个误比特. 由式(10)可得 BCH(15,11,1)的并行解码结构如图 3 所示.

图 3 的解码结构与 GPS、GLONASS 的解码结构相同, 能够用一个时钟周期完成解码. 至此, GPS、GLONASS、北斗三个卫星导航系统的信息解码结构都统一为图 3 所示结构.

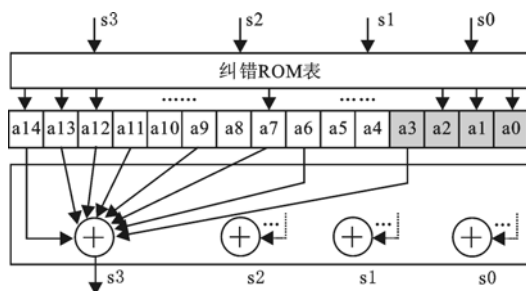


图 3 组合逻辑组成的 BCH(15,11,1)并行解码结构

4 仿真实验结果

对图 3 所示解码结构进行验证,首先使用编码器产生一个 BCH(15, 11, 1)码组 $\text{In}[14:0] = 15\text{b}101101101101101$,通过信道传输,假设接收机接收到的码组为 $\text{word}[14:0] = 15\text{b}101001101101101$,其中第[11]位发生了误比特。功能仿真结果见图 4。

User:huy@casue-hz6				Date:02/22/2013	Total Time Range:0-402393	Page 1 of 1
#	Design	Signal	Value	COREF	Time:0-402393 x 1ps(C1 :OREF)	
001	VI	word[14:0]	15'h01001010101101	0	1000000	1000000
						10100101011010
						10110101011011
002	VI	data[14:0]	15'h01001010101101			
003	VI	drag[3:0]	4'b1110			1110

图 4 功能仿真结果

将 word 输入并行解码器后,输出校正子为 $dreg[3:0]=4b1110$,表示输入码组存在误比特,经过纠错后解码输出为 $data[14:0]=15'b101101101101101$,与原始码组 $In[14:0]$ 一致,解码和纠错功能正确。

由于该并行解码结构全部由组合逻辑构成,输入待解码码组后,在下一个时钟周期即可得到解码纠错输出。

5 结束语

本文由 BCH(15,11,1)的生成多项式推导出其

监督矩阵和校正子,设计了仅用组合逻辑构成的解码器。仿真结果表明,该解码器能够在一个时钟周期内完成解码,相比北斗 ICD 提供的反馈移位寄存器组成的解码器结构,实现和操作都更简单。更重要的是该解码器与 GPS、GLONASS 卫星导航系统的解码结构一致,简化了多模 GNSS 卫星导航接收机解码器的设计。

参考文献:

- [1] Navstar GPS space segment/navigation user interferences IS-GPS-200 (Revision D) [M]. Navstar GPS Joint Program Office, 2006.
- [2] GLONASS interference control document national radio signal in bands L1, L2 (Edition 5, 1) [M]. Moscow: Russian Institute of Space Device Engineering, 2008.
- [3] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件: 1.0 版 [M]. 北京: 中国卫星导航系统管理办公室, 2012.
- [4] 樊昌信, 张甫翊, 徐炳祥, 等. 通信原理 [M]. 5 版. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [5] Calderbank A R. The art of signaling: fifty years of coding theory [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1998, 44(6): 2561-2595.

作者简介：

蔺晓龙 男,(1985—),博士研究生.研究方向为卫星导航接收机信号处理算法.

何文涛 男,(1982—),博士,助理研究员.研究方向为卫星导航接收机信号处理算法及超大规模集成电路设计.

徐建华 男,(1963—),研究员,博士生导师.研究方向为GPS接收机、FPGA平台开发、芯片系统设计.

叶甜春 男,(1965—),研究员,博士生导师.研究方向为集成电路设计与应用、纳米加工制造技术、新型器件.

(上接第 46 页)

- [2] 潘海军,陈佳.电子不停车收费(ETC)芯片国产化可行性分析[J].公路交通科技·应用技术版,2011,7(6):261-264.
- [3] 梁科,李国峰,王锦,等.一种以太网介质访问控制器芯片的设计与实现[J].微电子学与计算机,2011,28(6):1-4.
- [4] 全国智能运输系统标准化技术委员会. GB/T20851-2007,电子收费专用短程通信[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

- [5] 交通运输部公路科学研究院. 收费公路联网电子不停车收费技术要求[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [6] 王时雨,贺占庄,张盛兵. 基于FPGA的以太网MAC控制器的实现[J]. 微电子学与计算机,2012,29(2): 171-175.

作者简介:

李跃辉 男,(1977—),硕士,助理研究员.研究方向为大規模数字集成电路设计、专用短程通信.