

基于 FPGA 的 NMEA 解码和校正的算法设计

贺良华, 张 杰, 游 钊

(中国地质大学 机械与电子信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对目前全球定位系统(GPS)在 NMEA-0183 码解码及其授时系统校正电路复杂、难以提高精度的不足之处, 提出了一种完全用 FPGA 来实现 NMEA 码解码、校正的方法。该解码算法以 NMEA-0183 协议定义的语句格式为基础, 根据 GPS 输入秒脉冲的上升沿, 循环判断码的帧起始位、帧状态、帧结束位标志, 直至完成正确解码; 校正算法则用线性预测理论, 以最小预测误差为原则, 对前一时间段的系统时间进行加权计算, 在当前时刻出现丢码、误码或不能正常工作时, 则以该计算值为当前系统时间的预测值来校正和维持系统时间。用硬件描述语言对该解码、校正算法编程, 并在一块 FPGA 芯片内部生成硬件电路。仿真与硬件测试结果证明算法精确有效, 经济实用, 稳定性好。

关键词: FPGA; NMEA 码; 解码; 线性预测; 校正

中图分类号: TP 301

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)02-0127-04

0 引言

解码、时间校正是全球定位系统(GPS)中的关键问题, GPS 授时、导航定位以其高精度、实时、抗干扰、技术成熟等优点被应用到诸多领域中, 目前, GPS 接收器上使用的协议是美国国家海洋电子协会(NMEA)指定的标准协议^[1-6]。NMEA 协议^[7]有 0180、0182 和 0183 这 3 种, 0183 是前 2 种的升级, 也是目前使用最为广泛的。现有 NMEA-0183 解码大都用 PC 机^[8]、单片机^[9]实现, PC 机解码系统一般比较复杂, 而单片机解码系统精度提高困难^[10]。现有授时系统时间维持的方法主要有: 直接用 GPS 时间维持^[11]、本地晶振简单计数和 GPS 时间同时来维持^[12]、NMEA-0183 码解析信息维持时间^[13]等, 这些时间校正方法大都是基于 PC 机实现的, 实现成本高, 维持时间的精度也不是很高, 还有一些理论分析可行但尚未实现的方法, 如概率论方法、线性回归方法。

本文详细介绍了一种针对 NMEA-0183 码的解码、校正算法, 该算法通过硬件描述语言在现场可编程门阵列(FPGA)芯片内部生成相应的硬件电路来实现。

1 算法设计

1.1 NMEA-0183 语句格式介绍

NMEA-0183 协议定义的语句^[14]很多, 常用的数据输出语句如: 卫星定位数据信息 \$GPGGA(Global Positioning System Fix Data)、当前卫星信息 \$GPGSA(GPS DOP and Active Satellites)、可视卫星信息 \$GPGSV(GPS Satellites in View)、推荐定位信息 \$GPRMC(Recommended Minimum Specific GPS/TRAN-

SIT Data)、地面速度信息 \$GPVTG(Track Made Good and Ground Speed)、地理定位信息 \$GPGLL(Geographic Position, Latitude/Longitude)等。

各种语句具有相似的格式, 语句的一般格式为 \$aacc,ddd,ddd,...,ddd*hh<CR><LF>

其中, “\$”为帧命令起始位; “aacc”为地址域, 前 2 位为识别符, 后 3 位为语句名; “ddd, ..., ddd”为数据; “*”为校验和前缀; “hh”为校验和, “\$”与“*”之间所有字符代码的校验和(各字节做异或运算, 得到校验和后, 再转换 16 进制格式的 ASCII 字符); “<CR><LF>”为帧结束标志, 回车和换行。

NMEA-0183 定义的上述语句中, 识别符均为“GP”, 语句名则为“GP”后的 3 个字母, 各语句中的数据个数因语句的功能不同而有所不同, 如推荐定位信息的语句格式为

\$ GPRMC, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l*hh<CR><LF>

其中的数据 a~l 分别代表如下含义:

- a. UTC 时间, hhmmss(时分秒)格式;
- b. 定位状态, A=有效定位, V=无效定位;
- c. 纬度 ddmm.mmmm(度分)格式(前面的 0 也将被传输);
- d. 纬度半球 N(北半球)或 S(南半球);
- e. 经度 dddmm.mmmm(度分)格式(前面的 0 也将被传输);
- f. 经度半球 E(东经)或 W(西经);
- g. 地面速率(000.0~999.9 节, 前面的 0 也将被传输);
- h. 地面航向(000.0~359.9°, 以真北为参考基准, 前面的 0 也将被传输);
- i. UTC 日期, ddmmyy(日月年)格式;

j. 磁偏角(000.0~180.0°,前面的 0 也将被传输);

k. 磁偏角方向,E(东)或 W(西);

l. 模式指示(仅 NMEA-0183 3.00 版本输出,A=自主定位,D=差分,E=估算,N=数据无效)。

1.2 NMEA-0183 码解码算法

用户设备中的 GPS 接收器在收到 GPS 信息后需对相关信息予以解码处理,从而得到用户的位置、时间等信息,进而实现用 GPS 导航和定位的目的。下面以推荐定位信息 \$GPRMC 为例,说明解码算法。

1.2.1 相关标识符说明

count_dot 为分隔符计数器,计 GPS 信息中域分隔符“,”的个数;count 为数据个数计数器,计相邻域分隔符之间数据个数;time 为时间寄存器;StartF 为解码开始标志;PPS 为秒脉冲;chushi 为判断帧起始位及识别符;judge 为语句判断状态;receive 为时间存储状态。

1.2.2 算法基本思路

a. 系统初始或复位后处于 chushi 状态,判断是否有 PPS 的上升沿,若有,StartF 置“1”,接着执行 b,否则等待,直到出现 PPS 上升沿;

b. 判断是否是帧起始位 \$,若是执行 c,否则状态不变直到出现起始位;

c. 判断是否是识别符为 GP,若是执行 d,否则返回 b;

d. 状态机“judge”为判断语句名,若语句名是 RMC 执行 e,否则返回 b;

e. 状态机“receive”为根据计数器 count_dot 和 count 的值将相应时间信息存储到对应的寄存器中,并判断帧结束标志符,若是则返回 a,否则状态不变。

count_dot 值决定了现在存储的信息是 \$GPRMC 中的哪段信息,如 count_dot=1,存储的是时间信息中的小时、分钟、秒;count_dot=3,存储的是纬度信息;count_dot=5,存储的是经度信息;count_dot=9,存储的是时间信息中的年、月、日。所以可以选择性地存储解码信息,并能灵活地提取所需的信息。

1.3 NMEA-0183 码时间校正算法

当 NMEA 码解码时,有可能出现 NMEA 码丢失/误码的情况,主要表现是:码偶然性的个别丢失;码长时间丢失;码解析出现相同的时间(误码)。当 NMEA 码出现秒脉冲丢失或误码时,必须进行校正,以确保系统时间处于一个较小的误差范围内。

本文采用线性预测理论来进行校准。由于 NMEA 码本身存在的误差相对较小,因此校准时以 NMEA 码时间为基准时间,同时默认晶振的偏差幅度相对收敛。

1.3.1 线性预测理论

线性预测^[15]是根据过去 p 个取样值 $\{x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-p)\}$ 的加权和来预测当前信号取样值 $x(n)$,预测值用 $\hat{x}(n)$ 表示,则有

预测方程:

$$\hat{x}(n) = -\sum_{l=1}^p a_l x(n-l) \quad l=1, 2, \dots, p$$

预测误差:

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) = x(n) + \sum_{l=1}^p a_l x(n-l) =$$

$$\sum_{l=0}^p a_l x(n-l) \quad a_0 = 1$$

最小均方预测误差准则: $\varepsilon = E[e^2(n)] = \min \Rightarrow$ 求最佳预测系数 $\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$

本文所述的 NMEA-0183 校正算法运用线性预测理论,可以概括为:将过去 p 个有效值 M 的加权和作为当前计数器计 1 s 的标准值,其中 M 是计数器在连续 2 个有效 PPS(GPS 输入秒脉冲)之间对晶振计数的计数值。

1.3.2 各种情况下的校正分析

相关标识符说明:Pulse_n 为秒脉冲标志(n 为正整数),A 为晶振计数器,A_value 为晶振计数器的值,B 为溢出计数器,B_value 为溢出计数器的值,field 为晶振漂移范围,Second_value 为秒寄存器,Reg_B 为预测值寄存器,Reg_B_value 为预测值寄存器保存值。

a. 正常情况。NMEA 码秒脉冲 Pulse_1 出现时,A、B 同时开始计数,当出现 NMEA 码秒脉冲 Pulse_2 时,判断 A_value 是否在 field 内(正常情况下计数器 A 在 1 s 内的计数值在晶振漂移范围内),若在 field 内重新计算预测值(Reg_B_value)作为下一次计数的溢出值,当出现 NMEA 码秒脉冲 Pulse_3 时,通过秒脉冲或溢出计数器来给 Second_value 加 1,后面秒脉冲处理与 Pulse_3 相同,图解如图 1 所示。

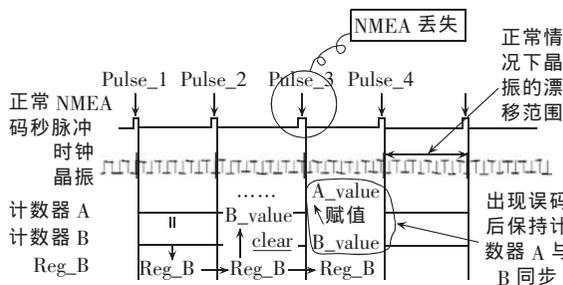


图 1 NMEA 码各种情况图解

Fig.1 States of NMEA-code pulses

b. 码偶然性的个别丢失。NMEA 码出现个别丢失时根据前一时间段的预测值来维持系统时间,直到 NMEA 码重新出现时,判断 A 的值(A_value)是否在 field 范围内,若当 NMEA 码重新出现时,解析时间和系统自身计数出现连续性不符,则按 NMEA 码长时间丢失的情况来处理,否则按正常情况处理,图解如图 1 所示。

c. 码长时间丢失。NMEA 码出现连续性丢失时根据前一时间段中预测值维持系统时间,当 NMEA 码重新出现时,计数器 A 开始对 GPS 输入秒脉冲计数,直到 A_value 进入晶振漂移范围后开始比较解析时间,若 NMEA 码解析时间符合系统计数所得时间,则按正常情况处理,否则当其连续很长时间与计数所得时间不符合时,则丢弃计数时间,统一用解析

时间。

d. 误码。在正常情况下,当连续 2 次 NMEA 码的解析时间出现相同时,根据预测值维持系统时间。

1.4 算法的 FPGA 硬件实现

根据上述算法的设计思路,用硬件描述语言编写相应程序并在 FPGA 内部生成硬件电路,进而实现 FPGA 硬件解码和校正。

2 算法测试结果

为了验证所设计的算法的可行性,根据本文所述的算法编写相应的仿真测试程序,并以解码算法的结果为基础,对校正算法在硬件平台上进行了验证。

2.1 校正算法的仿真结果

校正算法在 modelsim 仿真环境下,对所述的校正算法进行了仿真试验,该仿真测试了 NMEA 码可能出现的各种情况:初始化、正常、偶然丢失、长期丢失。仿真结果表明各种状态转换都符合算法要求,且时间严格同步。

2.2 硬件平台上算法运行的测试结果

在所实现的 FPGA 硬件解码、校正系统上,GPS 接收器输出的秒脉冲、NMEA 码,用 Tektronix TDS1002 数字示波器采用同步跟踪的方式观察校正后的输出秒脉冲与 GPS 接收器输出的秒脉冲。图 2 显示了 NMEA 码丢失一段时间后再次出现时 2 个秒脉冲的同步测试结果,其中 u_{M1} 的脉冲是校正后的输出秒脉冲, u_{M2} 的方波是 GPS 接收器输出的秒脉冲。根据示波器检测记录的数据,光标 1 滞后参考时间点 1.28 s,光标 2 滞后参考时间点 0.28 s,二者之间的时间差为 1 s,秒脉冲信号的频率均为 1 Hz,幅值为 5 V。由图 2 可知,2 个秒脉冲信号此时是完全同步的,说明校正算法能实现高精度的维持时间。

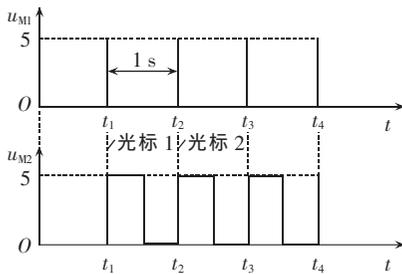


图 2 秒脉冲同步跟踪测试结果

Fig.2 Result of second pulse synchronous tracking

3 结语

本文根据 NMEA-0183 协议格式提出的解码算法能够灵活地提取出需要的信息,如时间、地理位置、卫星信息等,而不需要授时、导航定位系统对信息的二次处理;校正算法则运用了线性预测理论,在最小预测误差原则下,由前一时间段晶振在 1 s 内计数值计算出的预测值作为 GPS 接收器在当前时刻出现丢码、误码或不能正常工作时的系统晶振计数的

标准值以校正和维持系统时间。

所述的解码、校正算法都用硬件描述语言在 FPGA 芯片内部生成了相应的硬件电路,实现了解码、校正功能。同时时间输出格式也可以用硬件语言实现,只需要将校正时间转换为标准时间格式(如 IRIG_B)就能应用到实际系统中(如网络时间同步),不需要外扩复杂的电路,这为授时或定位系统的开发提供了很大的方便。

仿真与硬件测试结果验证了本算法的有效性和正确性,该算法简单易行、精度高、时延小、稳定性好。

参考文献:

- [1] 谢庆明,郭勇,陈川. GPS 精确授时在雷电定位系统中的应用[J]. 微计算机信息,2008,24(12):209-211.
XIE Qingming, GUO Yong, CHEN Chuan. The application of GPS accuracy of time in lightning location system[J]. Micro Computer Information, 2008, 24(12): 209-211.
- [2] 柳平增,毕树生,梁勇,等. 基于 GPS 的通用信息采集终端的设计[J]. 微计算机信息,2008,24(11):216-217.
LIU Pingzeng, BI Shusheng, LIANG Yong, et al. Design of an all-purpose terminal based on GPS[J]. Micro Computer Information, 2008, 24(11): 216-217.
- [3] 任强,李尚柏. 基于 FPGA 的 GPS 同步时钟装置的设计[J]. 微计算机信息,2007,23(3):261-263.
REN Qiang, LI Shangbo. Design of a GPS synchronous clock equipment based on FPGA[J]. Micro Computer Information, 2007, 23(3): 261-263.
- [4] 刘发彪,陈新,林真,等. 基于语音传输的 GPS 定位系统的设计与实现[J]. 现代电子技术,2004(20):3-5.
LIU Fabiao, CHEN Xin, LIN Zhen, et al. Design and realization of GPS position system based on tone via[J]. Modern Electronics Technique, 2004(20): 3-5.
- [5] 刘高峰,刘健. 基于 GPS 定位系统的舰船雷达标校系统研究[J]. 舰船技术科技,2006,28(6):100-102.
LIU Gaofeng, LIU Jian. Research on ship borne radar calibration system based on GPS positioning system[J]. Ship Science and Technology, 2006, 28(6): 100-102.
- [6] 李益恒. GPS 定位系统在隧道施工控制测量中的应用[J]. 广东交通职业技术学院学报,2006,5(3):44-47.
LI Yiheng. Application of GPS orientation system in the survey construction of tunnels[J]. Journal of Guangdong Communications Polytechnic, 2006, 5(3): 44-47.
- [7] 肖远亮. NMEA-0183 数据标准在 GPS 技术中的应用[J]. 物探装备,2003,13(2):127-133.
XIAO Yuanliang. Application of NMEA-0183 standard in GPS technique[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2003, 13(2): 127-133.
- [8] 石福升. GPS 卫星定位系统在地学仪器中时间同步技术研究[J]. 石油仪器,1997,11(4):19-22.
SHI Fusheng. The study of time synchronizing technique of GPS in geosciences instruments[J]. Petroleum Instruments, 1997, 11(4): 19-22.
- [9] 李光飞. GPS 定位信息的单片机控制显示系统[J]. 微计算机信息,2004,20(11):92-93.
LI Guangfei. The display system control by microcontroller for GPS's information[J]. Micro Computer Information, 2004, 20(11): 92-93.
- [10] 马艳,谢楠,田静华. GPS 高精度水电站授时系统[J]. 浙江水利水电专科学校学报,2008,20(2):84-88.
MA Yan, XIE Nan, TIAN Jinghua. Precision timing system based on GPS in hydropower stations[J]. Zhejiang Wat Cons &

- Hydr College, 2008,20(2):84-88.
- [11] 丁明勇,杜伟,龚维强. 基于GPS授时的霓虹灯倒计时广告牌[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2005,22(4):351-353.
DING Mingyong,DU Wei,GONG Weiqiang. Neon lamp count-down billboard based on GPS[J]. Chongqing Technol Business Univ:Nat Sci Ed,2005,22(4):351-353.
- [12] 王久鹏,尚春阳. 一种基于GPS的校时系统[J]. 现代电子技术,2008(13):175-178.
WANG Jiupeng,SHANG Chunyang. Time correcting system based on GPS[J]. Modern Electronics Technique,2008(13):175-178.
- [13] 黄冠利,王辉,徐华平. 基于时间序列解决GPS信号定位漂移的研究[J]. 计算机工程与应用,2008,44(31):94-97.
HUANG Guanli,WANG Hui,XU Huaping. Research on drifting of GPS positioning based on temporal series[J]. Computer Engineering and Applications,2008,44(31):94-97.
- [14] 曹婷婷,高玉. GPS中NMEA-0183协议的应用[J]. 电子工程师,2006,32(10):8-11.
CAO Tingting,GAO Yu. Application of NMEA-183 protocol for GPS[J]. Electronic Engineer,2006,32(10):8-11.
- [15] 姚天任. 数字语音处理[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2003:177-180.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

贺良华(1966-),男,湖北荆州人,副教授,博士,主要研究方向为信息处理、智能检测与控制系统(E-mail:lianghua@cug.edu.cn);

张杰(1987-),男,湖南常德人,研究方向为通信与信息处理;

游钊(1987-),男,湖北黄冈人,研究方向为检测技术与自动化装置。

Algorithm design of NMEA decoding and correction based on FPGA

HE Lianghua,ZHANG Jie,YOU Zhao

(Faculty of Mechanical & Electronic Information,China University of Geosciences,Wuhan 430074,China)

Abstract: As the decoding and timing circuits of current GPS with NMEA-code are too complicated to increase its time precision,a FPGA-based decoding and timing way is proposed,which,based on NMEA-0183 protocol,detects cyclically the start bit,status bit and ending bit of NMEA code frame according to the uprising edge of second pulse from GPS till the accomplishment of precise decoding. Based on the theory of linear prediction and with the principle of minimal prediction error,the correction algorithm carries out the weighted calculation with the system time of last period,which is taken as the predicted current system time to correct and maintain system time when there is code loss,code error or abnormal working conditions. The algorithm is programmed with hardware description language and burned on a FPGA chip. Simulation and HW test prove it is accurate, effective, economical and stable.

Key words: FPGA; NMEA-code; decoding; linear prediction; correction

(上接第126页 continued from page 126)

- [14] 邓小莺,杨军,陈鑫,等. 基于噪声分析的低抖动全数字锁相环的设计[J]. 微电子,2008,38(4):600-604.
DENG Xiaoying,YANG Jun,CHEN Xin,et al. Design of a low-jitter all-digital phase-locked loop based on noise analysis[J]. Microelectronics,2008,38(4):600-604.
- [15] 刘韬,楼兴华. FPGA数字电子系统设计与开发实例导航[M]. 北京:人民邮电出版社,2006:2.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

张志文(1963-),男,湖南长沙人,教授,博士,主要从事电气装备自动化与新技术、高压直流输电、电力系统谐波抑制、新型电力电子器件及应用等研究(E-mail:hdzzw@126.com);

曾志兵(1983-),男,湖南沅江人,硕士研究生,主要从事交直流电能变换理论及其新技术与装备、电力电子与电力传动、基于新型换流变压器的整流系统应用研究(E-mail:contact6zzb@163.com)。

Synchronous frequency multiplication technology based on total digital phase-locked loop

ZHANG Zhiwen,ZENG Zhibing,LUO Longfu,WANG Wei,GUO Bin,WANG Chenglin

(College of Electrical & Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China)

Abstract: A synchronous frequency multiplication technology based on total DPLL(Digital Phase-Locked Loop) is presented to follow grid frequency in real time and improve the pulse control precision of converter in direct current transmission system,which adds a parameter-adaptive control module to traditional DPLL to improve the phase-lock speed and precision. The synchronous frequency multiplication module designed by the approximate compensation method based on it can multiply the grid frequency by any times to provide precise clock for the control system of converter to improve the phase control precision and reduce the non-characteristic harmonic. The synchronous frequency multiplication device based on total DPLL is designed in QUARTUS environment with FPGA(Field Programmable Gate Array). The simulative and experimental results prove the correctness and advantage of the proposed technology.

Key words: DPLL; digital synchronous frequency multiplication; pulse producer; HVDC; FPGA