

一种新型结构的 GPS 检测相关器研究与实现

杨 涛,何文涛,李金海,杨靖华,阎跃鹏

(中国科学院 微电子研究所,北京 100029)

摘 要:提出了一种速度更快的 GPS 检测算法,在该算法基础上采用硬件描述语言实现了一种新型结构的 GPS 检测相关器.该相关器采用 pipeline 技术,在相同并行度要求下电路规模更小,数据吞吐率更高.采用 modelsim 进行了功能仿真和时序仿真,仿真结果表明该相关器功能正确,时序满足要求.

关键词:多驻留检测;相关器;流水技术;全球定位系统

中图分类号: TN403

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)07-0102-04

Research and Implementation of a Novel Structure for GPS Detection Correlator

YANG tao, HE Wen-tao, LI Jin-hai, YANG Jing-hua, YAN Yue-peng

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

Abstract: An optimized GPS detection algorithm is proposed in this paper which can increase the detection speed tremendously. Based on this algorithm, this paper proposes a novel structure of the detection correlator by using HDL. Pipeline technique is introduced in this correlator which can help to reduce the circuit scale and enhance the data throughput on the same parallelism. In this paper, the function and timing simulation have been done on modelsim. The simulation results indicate that function of the correlator is correct and satisfies timing requirement.

Key words: multi dwell detection; correlator; pipeline technique; global positioning system

1 引言

GPS 商用市场空间越来越大,用户对接收机的性能要求也越来越高,其中基带算法成为研究热点,而弱信号的快速检测与估计又是基带算法的核心.传统的弱信号检测算法包括 Tong 检测算法和 M of N ^[1]检测算法,而 Tong 检测算法是一种可变搜索次数的检测算法,计数上限比较高,存在系统不收敛的风险.所以,GPS 基带算法当中普遍使用搜索次数固定的 M of N 算法.但是,传统的 M of N 检测算法其检测速度是搜索次数的倒数,当 N 越大时,检测速度越慢,即在每个待检测单元上的驻留时间越长.

本文根据 GPS 信号的特点,从统计学的角度对

传统的 GPS 信号 M of N 检测算法进行优化.经推导得到优化后的 M of N 算法检测速度是传统算法的 $[N/1.2]$ 倍左右,并且在 Neyman-Pearson 准则下保持系统总体虚警概率与传统 M of N 算法在相同的数量级,而总体检测概率在 0.9 以上的情况下信噪比的衰减不到 1dB;同时在优化的检测算法基础上,采用流水线方案实现了一种新型结构的相关器.相关器各个通道时分复用面积较大的信号处理模块与检测模块,在相同并行度情况下,进一步减少了相关器面积.

2 M of N 检测算法及其优化

GPS 信号同步过程详见文献[2-3],一般分为捕获、检测、精捕获和跟踪四个部分.本节重点对检测

算法进行分析和优化.检测过程是对捕获阶段得到的信号峰值与噪声阈值进行比较确认的过程.GPS信号非常弱,在OpenSky的情况下,标准强度为-129dBmW,更多的环境下比同这个强度更弱.同时GPS系统对导航电文解调的误比特率指标为 10^{-6} ,传统的单驻留检测算法达到这个指标.所以目前基带中主要采用多驻留检测算法.所谓多驻留检测算法就是指在一个待检测单元上对同一个信号强度与噪声门限进行多次比较确认的算法.文献[2]中介绍两种多驻留检测算法, M of N 检测算法和Tong检测算法.Tong检测算法是一种可变搜索次数的检测算法,计数上限比较高,存在系统不收敛的风险,而 M of N 算法包含更好的基准噪声源技术.

传统的 M of N 算法的检测过程是一个贝努力随机过程,每次检测试验独立. N 次试验的总体虚警概率见式(1)[4]:

$$P_{FA} = 1 - \sum_{n=0}^{M-1} \binom{N}{n} p_{fa}^n (1 - p_{fa})^{N-n} \quad (1)$$

N 次试验的总检测概率见式(2)[4]:

$$P_D = 1 - \sum_{n=0}^{M-1} \binom{N}{n} p_d^n (1 - p_d)^{N-n} \quad (2)$$

搜索速度定义为见式(3),单位为chip/s.

$$R_s = \frac{d}{NT} \quad (3)$$

式中, P_{FA} , P_D , R_s 分别表示总体虚警概率,总体检测概率和搜索速度. p_{fa} , p_d , d 分别表示单次虚警概率,单次检测概率和码片间隔. N , M , T 分别表示总的驻留次数,成功驻留次数和驻留时间.

由式(3)可以看出传统的 M of N 检测算法的检测速度与驻留时间和驻留次数成反比,而该算法要求 N 次固定比较后再决定检测成功或者失败,每次驻留时间为 T ,总驻留时间为 NT ,检测速度变慢,不利于基带的高并行度开发.

如果能减少 N 或者 T 或者两者的值都能提高检测速度,但是减少 T 将会降低接收机的捕获灵敏度.本文通过减少 N 值来提高检测速度,从而提高基带处理的并行度.其中,式(4)~(6)是优化后的检测速度、总体虚警概率和总体检测概率公式.

$$R_{ms} = (1 - p_{fa}) + Np_{fa} \quad (4)$$

$$P_{mFA} = p_{fa} \left(1 - \sum_{n=0}^{M-1} \binom{N-1}{n} p_{fa}^n (1 - p_{fa})^{N-(n+1)} \right) \quad (5)$$

$$P_{mD} = (1 - \sum_{n=0}^{M-1} \binom{N}{n} p_d^n (1 - p_d)^{N-n}) p_d \quad (6)$$

式中, R_{ms} , P_{mFA} , P_{mD} 分别为 M of N 算法优化后的检测速度、总体虚警概率和总体检测概率.其他变量与式(1)~(3)相同.

表1所示为 $N=8$ 的情况下, M 取不同的值时,在保证总体虚警概率处在相同数量级上的同时,传统算法与优化算法的平均驻留时间的比较.其中,假设驻留时间归一化为1,码片间隔为1.

表1 优化算法与常规算法比较

常规算法	单次虚警概率	总体虚警概率	检测速度
$M=4$	0.011	$9.8929e-007$	1/8
$M=5$	0.029	$1.0674e-006$	1/8
$M=6$	0.058	$1.0374e-006$	1/8
$M=7$	0.105	$1.0223e-006$	1/8
优化算法	单次虚警概率	总体虚警概率	检测速度
$M=4$	0.013	$1.0387e-006$	1/1.091
$M=5$	0.031	$1.0706e-006$	1/1.217
$M=6$	0.061	$1.0252e-006$	1/1.427
$M=7$	0.107	$1.021e-006$	1/1.749

由表1可以看出,优化算法与传统算法的总体虚警概率保持在相同数量级,且检测速度大幅度提高.其中,当 $M=4$ 时,优化算法的结果最为理想.

图1为传统 M of N 算法与优化算法检测速度的比较,其中取 $M=4$, $N=8$.

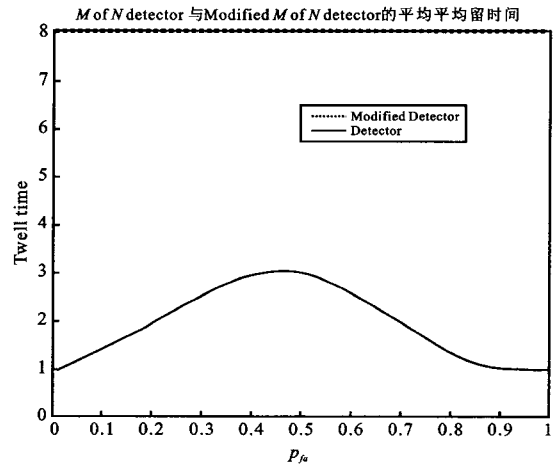


图1 两种算法平均驻留时间比较

图2为两种算法总体检测概率比较通过对传统 M of N 算法的优化,在不影响系统总体检测概率与虚警概率的情况下,成为实现高并行度的检测相关器的算法基础.

3 检测相关器设计实现

检测相关器主要结合专门的捕获引擎来对由捕获引擎已经搜索到若干个待检测单元的码相位和多

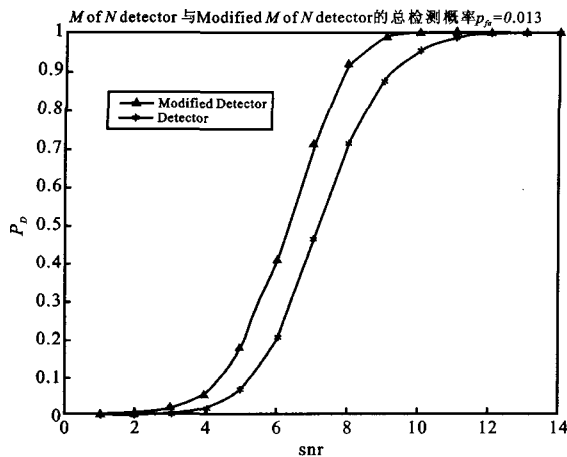


图2 这两种算法对总体检测概率的影响.
普勒频点对应的相关峰值进行并行检测和确认.

3.1 单通道结构

如图3所示,单通道检测相关器主要由四大模块组成,分别是解调模块、解扩模块、信号处理模块及检测模块.

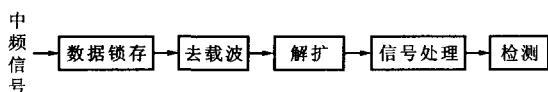


图3 单通道检测相关器框图

解调模块产生可配置的本地中频,和输入中频信号进行混频,完成多普勒载波剥离功能.输入信号频率受GPS卫星与接收机相对运动速度及本地晶振稳定度影响,而可配置的本地中频可以最大限度减小这种影响.

解扩模块实现码发生器时钟的产生,并且在该码率下产生GOLD码,与载波剥离后的信号进行相乘解扩的功能.

信号处理模块是关键模块之一,通过相干积分和非相干积分的结合来达到高灵敏度功能.

检测模块采用优化的M of N算法实现,对来自信号处理模块的信号功率和噪声门限进行比较.如果开始信号功率小于门限或者N次检测后信号功率大于噪声门限的情况没有达到M次,则说明信号不存在;如果N次检测后信号功率大于噪声门限的情况达到了M次,说明信号存在.否则,说明检测器还处在多驻留检测过程中.

3.2 检测相关器结构

从系统角度分析,检测相关器的设计采用流水线技术,让每个检测通道共享信号处理与检测器模块.多通道检测相关器数据路径如图4所示.

多通道检测相关器控制路径主要体现在数据触

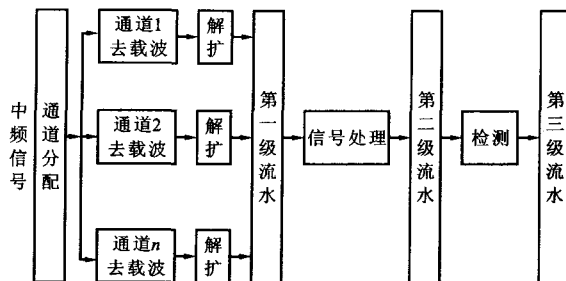


图4 多通道检测相关器数据通路

发的流水方案的控制过程中.具体过程为:将任意一个检测通道中产生的累加完成的dump信号与此时的累加数据保存到寄存器队列,等候时钟片轮循检测,当时钟片轮循检测到dump信号有效并且具有更高优先级令牌时,将公共模块分配给该通道使用.否则,按次序分配共享资源.一旦数据从寄存器队列中读走,就将其清零.

采用数据触发的流水技术,类似于中断控制单元,该流水控制算法见下面伪代码描述.

```
pipeline(dump_i){
    if dump_i enable
        look for the tag of the new dump;
    if the tag number more than two
        the old tag dump first;
        the other has the same chance;
    else
        waiting;}
```

4 软件调度方案

检测相关器的软件调度方案如图5所示,实现系统的高并行度处理.参考文献[5]中介绍一种峰值检测方案,但是文中提到的检测算法对噪声门限很灵敏,本文提出更优的系统检测方案.

5 性能分析、仿真验证与综合

本文仿真数据采用MATLAB产生1号GPS卫星信号,载波中频 $f_i = 1.405\text{MHz}$,采样频率 $f_s = 5.714\text{MHz}$,码片滑动code_slew=0,码NCO的输出频率 $f = 2.046\text{MHz}$.根据式(7),频率步长为

$$\text{dco_step} = \frac{f_0 \times 2^N}{f_s} \quad (7)$$

式中, N 为NCO或DCO累加器数据位宽, f_0 为想要得到的输出频率, f_s 为采样频率,可以分别计算得到载波频率步长与码频率步长,载波频率步长:

$$\text{p_nco_step} = 32'b0011_1110_1111_0010_0111_1000_0011_1111$$

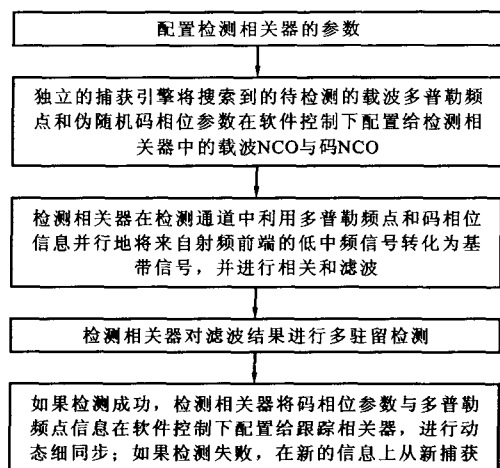


图5 检测相关器的系统调度方案

码频率步长:

$p_dco_step = 23'b10_1101_1101_0101_$

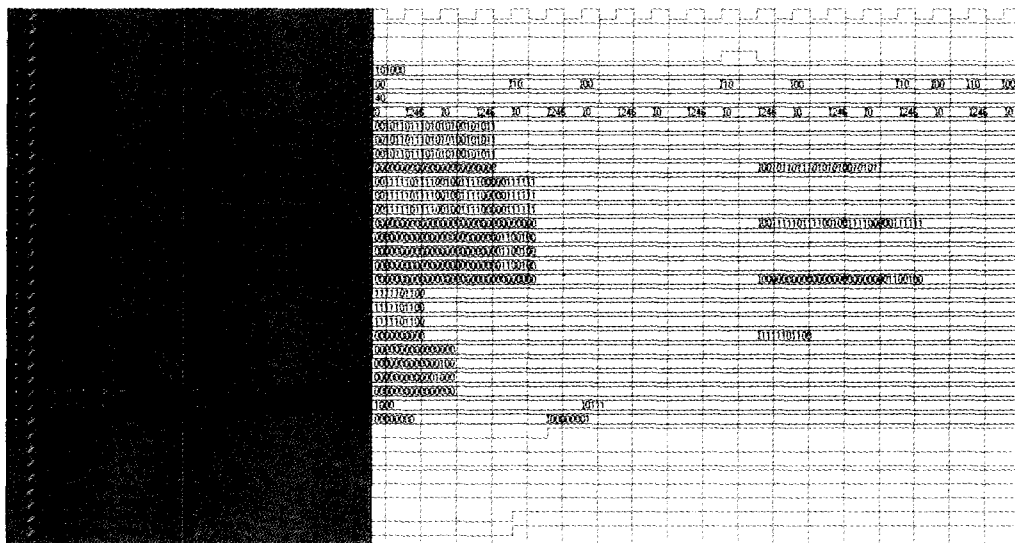


图6 检测相关器仿真结果

采用 SMIC 公司 $0.18\mu m$ 工艺库单元, 利用 synopsys 公司的 Design Compiler 综合工具进行综合。面积为 $280\ 160.218\ 750\ \mu m^2$; 功耗为 $8.432\ 5\ mW$; 关键路径的时序为 $14ns$, 达到了设计指标。

参考文献:

- [1] 姚铮, 崔晓伟. 应用于 GPS 接收机的序贯检测器性能分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(7): 1166 - 1169.
- [2] 罗鸣, 曹冲. 全球定位系统——信号、测量与性能[M]. 2

0010_1011

1 号卫星的前十个反序列值作为初始化值 $prn = 10'b111101100$. 相关器通道数配置为 8. 仿真中只对其中 3 个通道进行仿真, 8 个通道的情况一致.

在配置好载波 NCO 和码 NCO 以及码发生器的初始相位, 并将计算好的噪声门限设置好后, 在系统时钟采到 $p_req^{[5]}$ 为高电平时, 则在等到时间基准 s_tics 脉冲时将 p_nco_step 和 p_dco_step 以及 prn 一起分配给 8 个通道里面的 3 个空闲通道. 本次仿真中通道 1 的 $code_slew = 0$; 其他两个都设置成非零. 结果通道 1 检测成功, 并且报告外面当前空闲通道数 $p_state = 4'b0111$. 然后, 将通道 1 对应的 $code_slew$ 、 prn 、 p_nco_step 、 p_dco_step 信息在 s_tics 时输出给跟踪相关器.

仿真结果如图 6 所示, 功能正确.

版. 肖雄兵, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 339 - 365.

- [3] 寇艳红. GPS 原理与应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007: 112 - 179.
- [4] Ward P. GPS receiver search techniques[C]//Proc. of IEEE PLANS'96. Atlanta, GA, 1996.
- [5] 汪宿梁, 毛志刚, 谢懋. 基于 GPS 预捕获的算法研究及硬件实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(6): 105 - 109.

作者简介:

杨涛 男, 硕士研究生. 研究方向为超大规模集成电路设计与系统应用.