

DOI:10.3969/j.issn.1003-0972.2017.02.025

一种新型的超宽带同步捕获方案设计

王燕^{1,2*}, 杜海明³, 赵红梅³, 乔幸帅³

(1.北京师范大学教育技术学院,北京 100875;

2.信阳职业技术学院数学与计算机科学学院,河南 信阳 464000;

3.郑州轻工业学院电气信息工程学院,河南 郑州 450002)

摘要:基于非相干能量检测接收系统并结合传统的相干接收的滑动相关搜索思想与数据导频辅助方法,提出了三路串并行结合导频辅助的同步捕获方案.首先,在基带电路利用一路可控积分器,并采用步长搜索来获取系统的同步时钟.然后,通过对其他两路积分器进行同步搜索,来获取细同步信号和定位信息.给出了该同步方案的工作流程和关键模块,并进行时序仿真与波形分析.

关键词:超宽带;导频辅助;同步捕获

中图分类号: TN911.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0972(2017)02-0293-06

New Scheme Design of Synchronization and Acquisition for UWB Signal

WANG Yan^{1,2*}, DU Haiming³, ZHAO Hongmei³, QIAO Xingshuai³

(1.Education Institute of Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2.College of Mathematics and Computer Science, Xinyang Vocational & Technical College, Xinyang 464000, China;

3.College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A novel and realizable scheme of three ways serial-parallel combination and pilot-assisted synchronization and acquisition was proposed in order to realize the synchronization and acquisition of the receiver, which was combined by the non-coherent energy detection of receiver system and the search idea of sliding correlation and pilot-assisted of the coherent receiver system. The synchronization clock can be obtained by using the search idea of step-size on the base-band circuit through the first controllable integrator, and the exquisite synchronization and location information were obtained by using synchronization search through the rest controllable integrators. The key module of circuit realization and the definite process of the scheme of synchronization and acquisition were simulated and analyzed, and it was verified to be feasible by analysis of the time-simulation wave.

Key words: UWB(ultra-wideband); pilot-assisted; synchronization and acquisition

0 引言

接收机都存在同步的问题,稳定、可靠、精确的同步是通信系统间确保信息正确传输的前提,对通信至关重要,尤其是超宽带(ultra-wideband, UWB)接收系统,更加需要精确的时钟同步.

超宽带通信系统由于是以极窄脉冲进行传输,接收信号的捕获同步是一个非常重要且具有挑战性的难题^[1-3].目前,已有不少文献对其进行了研究.文献[4-6]基于最大能量搜索的同步算法比较简单,但是需要很多积分器或者很长的前导序列来

完成同步,功耗较高;文献[7]提出了一种使用能量补偿与自适应门限的同步与检测算法,降低了接收器的能耗与硬件复杂度,但算法复杂度较高,实现困难;文献[8]设计了一种无数据辅助的同步检测方法,该方法不需要前导序列,节约数据资源,但硬件电路结构复杂,不利于数字化的实现,捕获用时长,不适合用于超宽带的快速精确定位.基于此,本文结合传统的相干接收中滑动相关的搜索思想^[9-11]与数据导频辅助的方法^[12,13],在所设计的非相干能量检测接收系统的基础上提出了一种有导频辅助的三支路串并结合的同步捕获方案.

收稿日期:2016-10-10;修订日期:2016-11-01; * .通信联系人, E-mail: xing_zhou@sina.com

基金项目:国家自然科学基金项目(U1504604);科技人才队伍建设计划项目(131PCXTD594)

作者简介:王燕(1979—),女,河南信阳人,讲师,硕士,主要从事应用数学与通信信号建模的研究.

1 UWB 通信定位接收方案设计

针对超宽带信号采样率高的难题,提出了一种非相干能量检测的数模混合接收方案,图1为其结

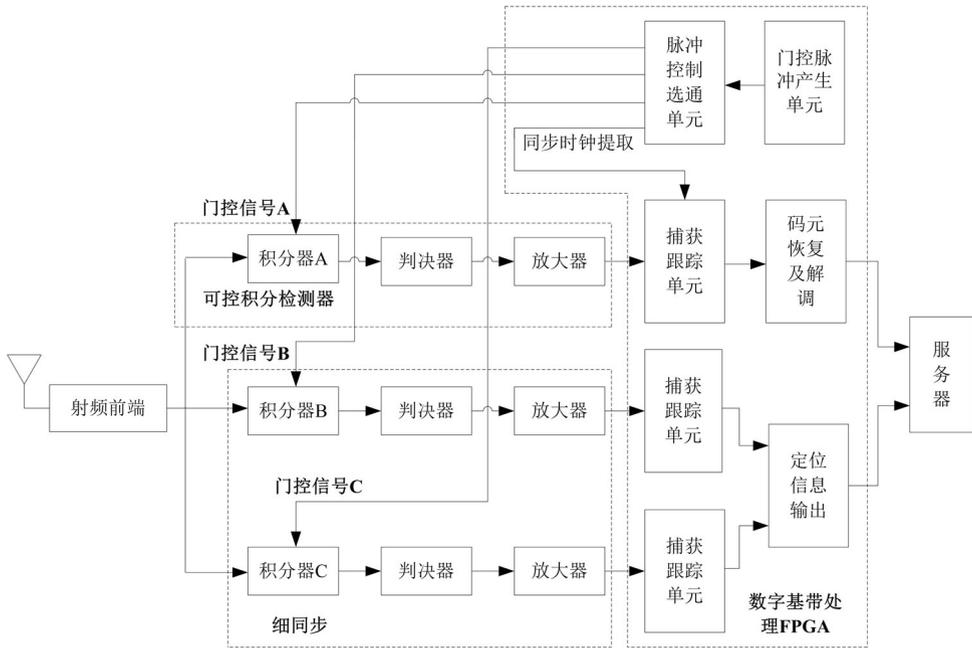


图1 超宽带通信定位接收机框图

Fig. 1 Architecture diagrams of UWB location receiver

经天线接收的信号通过射频前端处理后由功率分配器均匀馈入三路可控积分器,得到不同时段内的信号能量,积分结果由高速判决器送入FPGA进行基带处理,得到数据及定位信息.捕获过程处理时,由支路A的积分结果来调整可控积分器的工作相位,利用对判决器输出脉冲个数的统计来获得同步定时信息.同步时钟捕获完成后,支路A进行数据解调并触发支路B、C,使它们通过对积分窗门控信号的控制来实现信号的细同步和输出定位信息,以实现整个系统的通信与定位功能.该方案利用一路可控积分器来获取系统同步时钟,在基带电路实现捕获算法,不仅缩短捕获时间同时还降低捕获方案的实现难度.另外,利用两路积分器的细测量达到超宽带室内的精确定位的目的.

2 UWB 通信定位接收机同步捕获方案

由图1可知,接收方案中的同步捕获是由FPGA数字电路完成,射频端积分检测电路在基带电路控制下完成全时域内分段UWB信号的检测,即通过FPGA控制积分器以步进的方式搜索捕获到达系统同步.

本文采用的是串并结合的步进控制方式,单纯

构框图.该方案设计了可控积分检测电路用于实现信号的检测与数字化,转化后的信号采用FPGA数字芯片进行基带处理,较之采用模拟的方法实现难度大大降低.

的并行控制方式需要多路积分检测电路同时工作,这样虽然能够缩减捕获搜索的时间,却增加了硬件电路资源,提高了设计成本;而串行步进只要一路积分器,确保步进控制能够覆盖整个信号的持续时间,便可无遗漏地完成信号的检测,但这样的方式需要的搜索时间较长,因此串行方式是以搜索时间的消耗换取成本的降低.基于以上分析,综合不同方式的优缺点,同时兼顾搜索时长与系统硬件复杂度,设计了有导频辅助的串并结合线性步进搜索的方式实现系统同步.

设定系统的传输速率为10 Mb/s,这样的设定与图2中所模拟的重复频率为10 MHz的UWB信号对应,图3为积分检测电路判决后的、适合FPGA数字端处理的UWB信号.通信系统在传输数据时是以帧为单元传输的,假定本次传输的信号格式如表1所示,一帧的长度为1024比特,最前端的300个连“1”为导频码,其作用是作为导频辅助数据用来确定超宽带通信定位接收机的同步时刻并提取位同步时钟,然后以此刻作为后续帧头、帧尾的检测以及数据解调的标准时钟,同时作为服务器提取定位时间信息的标志.帧头设定为11位的巴克码“11100010010”,数据信息为706比特,帧

尾为 7 位的巴克码,其值是“1110010”.在接收依据接收到的导频码确定同步后,当数字端基带解调模块检测到帧尾数据时,说明此时一帧的数据传输完毕,然后,超宽带通信定位接收机复位,重复以上的步骤,继续下一帧数据的检测.

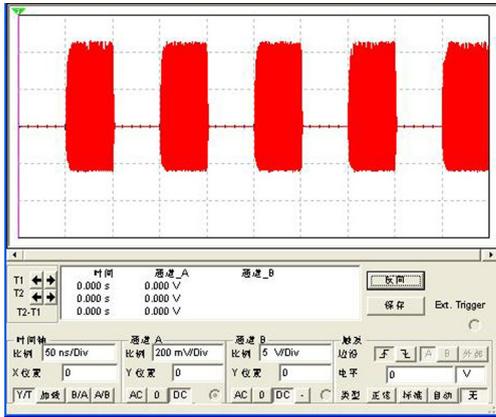


图 2 重复频率为 10 MHz 的 UWB 信号

Fig. 2 10 MHz UWB signal

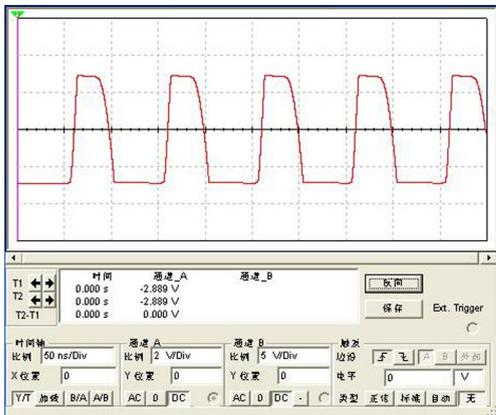


图 3 判决后的 UWB 信号

Fig. 3 Judged UWB signal

表 1 传输信息数据格式

Tab. 1 Data format of information transmission

导频码	帧头	数据	帧尾
300 比特	11 比特	706 比特	7 比特

在捕获阶段,如图 1 中数字端结构所示,脉冲控制选通单元在门控脉冲产生电路的驱动下,从产生的门控信号中选取一路作为 A 支路工作的开启信号,此时 B、C 支路暂不工作.A 支路在该脉冲的控制下对接收到的 UWB 信号做积分运算,门控信号的周期 $T=100\text{ ns}$,占空比为 1:1.A 支路积分检测电路在门控信号高电平期间做信号积分,在低电平期间做清零运算,即积分器 A 在门脉冲的控制下积分时间与放电时间均为 $T/2$.假设门控信号每次步进的时间长度 $t_{\text{step}}=5\text{ ns}$,则在 $T=100\text{ ns}$

的情况下,积分控制信号只要经过 20 次步进便交叉覆盖整个码元持续时间,如图 4 所示.采用此类步进控制交错积分的方式,实现了积分领域对全时域信号的检测,避免了遗漏.

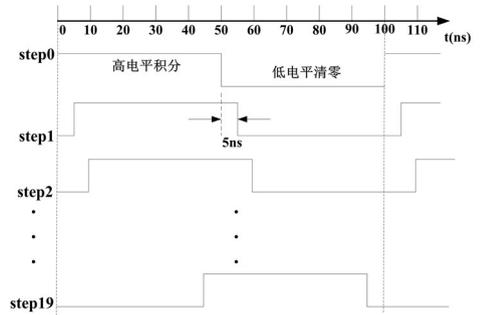


图 4 A 支路积分器的门控信号步进图

Fig. 4 Gate-control signal step of A branch integrator

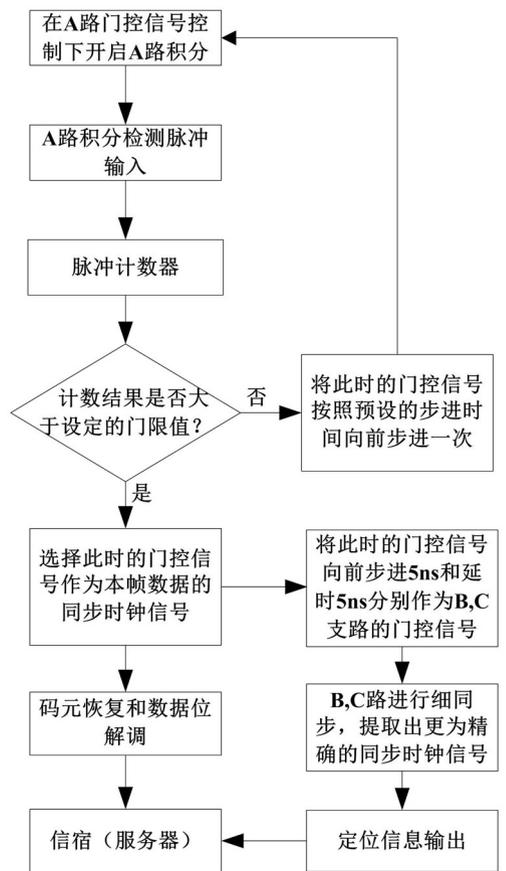


图 5 超宽带通信定位接收机同步捕获工作流程图

Fig. 5 Synchronous capture workflow of UWB location receiver

图 5 给出了超宽带通信定位接收机数字端同步捕获过程的详细流程.首先,门控信号 step 0 控制积分器对接收信号积分,当能量值超过门限值时输出判决脉冲信号给 FPGA,在预定时间内 ($30\text{ }\mu\text{s}$)FPGA 对接收的脉冲信号进行计数,当计数值超过设定门限值时,即认为系统完成同步,将门控信号作为同步时钟;否则,将门控信号步更新为

step 1, 并重复上一过程; 若对一帧同步导频码搜索后, 计数值都不超过门限值, 就取计数值最大时对应的门控信号作为同步时钟. 支路 A 同步后, 将其同步时钟信号延时和提前 5 ns, 分别作为 B、C 两路门控脉冲的输出, 并触发这两路积分器, 采用与支路 A 相同的规则并以 0.5 ns 为步长来实现精确的同步搜索, 再从这两路中选取最精确的一路信号作为细同步信号, 实现定位信息提取.

3 基于 FPGA 的同步电路设计与仿真

根据以上同步方案的分析以及 UWB 通信定位系统结构框图(图 1)所示, 可以确定数字端同步电路实现的模块组成及其各个模块的功能, 同时由

超宽带通信定位接收机同步捕获工作流程图也确定了数字端同步电路工作的时序, 根据以上的分析结果来设计各个模块, 实现电路同步的功能, 同步电路总体模块框图见图 6 所示.

图 6 的模块组成可看出所提方案只需针对一条支路进行模块的设计, 其余两条支路的模块与其大致相同, 仅在一些参数上改变即可, 如步进间隔或端口定义. 因此该方案充分减小了设计的工作量, 简化了设计结构, 突出了采用数字电路设计的优越性. 根据图 6 所示, 基于 VHDL 语言来编写同步电路的各个组成模块, 运用 EDA 设计软件 Quartus II 7.2 对进行时序仿真, 给出时序仿真波形并进行分析.

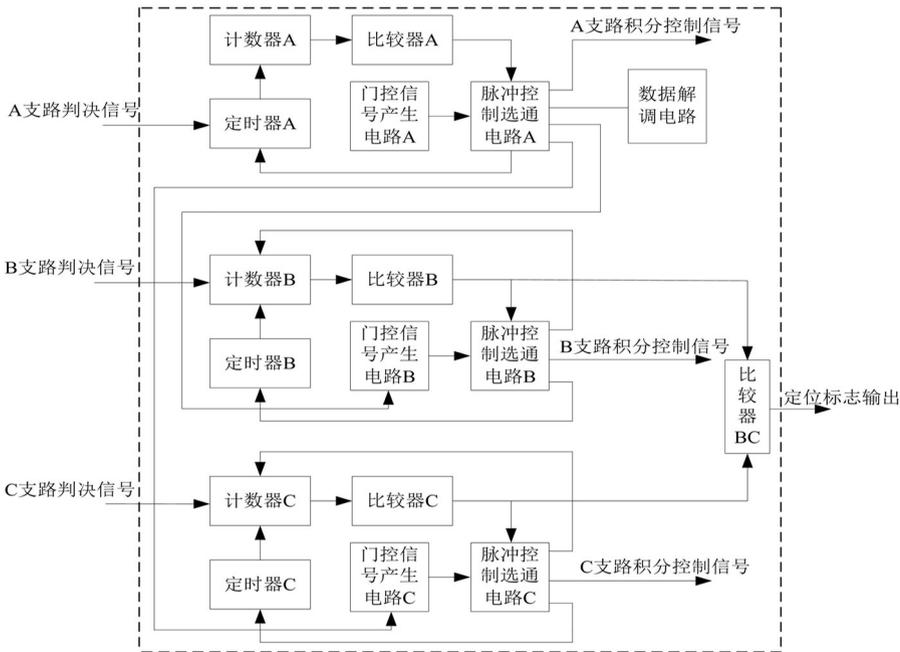


图 6 同步电路结构框图

Fig. 6 Architecture of synchronous circuit

首先, 以 A 支路积分控制信号产生电路为对象进行时序仿真, 时序波形如图 7 所示. 由图可见, 其结果为一簇周期为 100 ns 的方波信号组, 由 20 路组成, 每一路较之前一路都有 5 ns 的延时, 与图 4 中 A 支路步进示意一致, 因此满足 A 支路积分步进设定的要求. 支路 B、C 与 A 的差别只是步进次数与间隔不同, 因此不再对其进行时序仿真与分析.

然后, 再对脉冲控制选通电路进行时序仿真, 该电路的作用是根据脉冲计数的结果来控制积分控制信号的步进, 并选取最佳控制信号, 确定电路同步的时刻以及当前的控制脉冲. 而 A 支路的脉

冲控制选电路除了具备以上功能外, 还要在确定 A 支路同步的时刻选取 B、C 支路的控制信号, 用于 B、C 支路做细同步使用, 以支路 A 为例给出该模块的时序仿真波形如图 8 所示. 由图 8 可见, 当使能信号 EN 为高电平时, 除了端口 output 输出 A 支路积分控制脉冲外, 端口 outputb 和 outputc 也输出相应的脉冲来作为 B、C 支路开始工作的控制脉冲, 且两路信号具有一定的时延; 当 EN 为低电平时, 此时端口 outputb 和 outputc 均无信号输出, 且处于低电平状态, B、C 支路积分器不工作, 仅在低电平初始时刻, 输出新的一路步进控制信号的同时端口 count 输出一段大约 1 μ s 的高电平, 该高

电平作为定时电路的复位信号,达到对定时器置初值重新进行倒计时的目的.其余两个支路与 A 支路的功能相似,区别在于不需要再输出额外的两路

信号,因此也不需要设置输出端口 outputb 和 outputc.

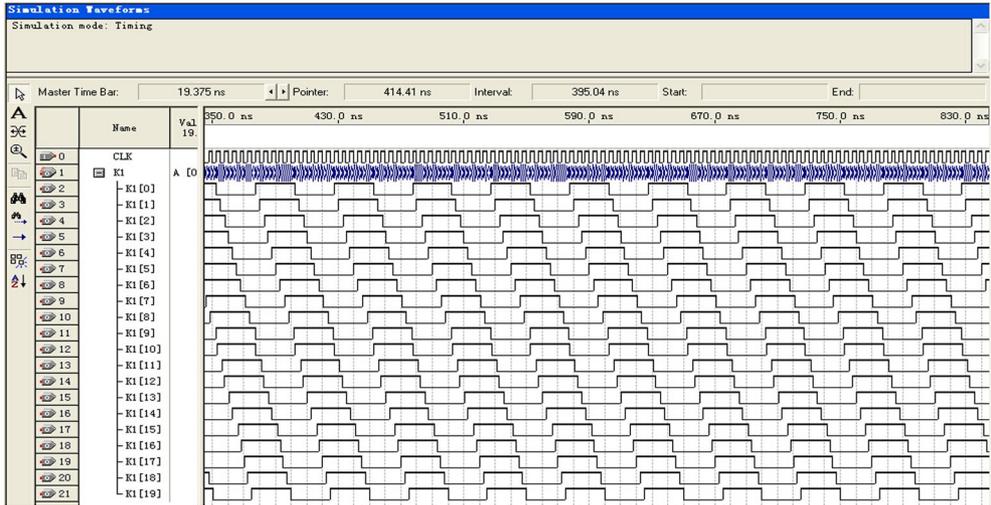


图 7 A 支路积分控制信号产生电路时序仿真

Fig. 7 Timing simulation of A branch integrator control signal

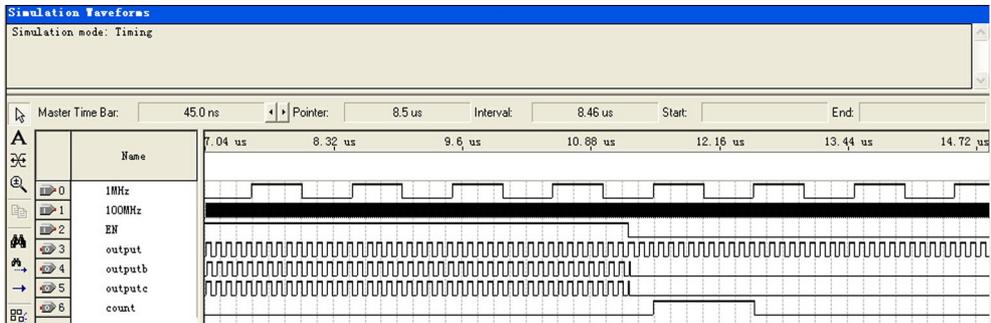


图 8 脉冲选通电路时序仿真

Fig. 8 Timing simulation of pulse gating

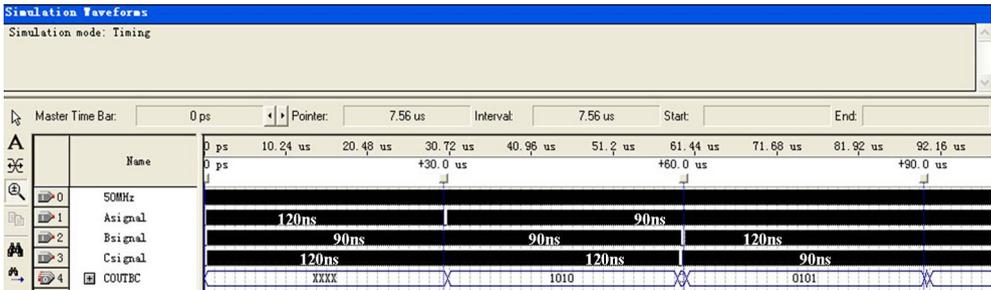


图 9 同步电路时序仿真

Fig. 9 Timing simulation of synchronous circuit

最后,对该同步方案的顶层电路进行仿真,结果如图 9 所示.系统的工作频率为 50 MHz,三个支路采样后的信号输入端分别表示为 A signal、B signal 和 C signal.仿真时设定三个时间段,时长均为 30 μ s,对应定时器的 30 μ s 计数限制,在每个时段里分别设置三个端口输入不同的信号频率.在 0 ~ 30 μ s 之间,设定 A 端口的频率为 120 ns,如果在 30 μ s 的时间内计数结果不会大于设定值, A 支路不同步,同时 B、C 支路不工作,那么进入下一次

计数判断过程;在 30 ~ 90 μ s 内,设定端口 A 的信号频率为 90 ns,此时 A 支路完成同步,开启 B、C 支路,B、C 支路按照流程中的设定进行系统细同步,30 ~ 60 μ s 内,B 支路的信号频率为 90 ns,C 支路为 120 ns,那么 B 支路的计数结果大于 C 支路的且大于设定值 300,此时同步电路输出“1010”作为标志由服务器提取当前时间作为定位时间信息;同理,在 60 ~ 90 μ s 内,B 支路的信号频率为 120 ns,C 支路为 90 ns,C 支路完成细同步工作,输出

标致信息“0101”。以上仿真的结果以及分析与设计的预期结果一样,验证了该方案的可行性。

通过对支路积分控制信号产生电路、脉冲控制选通电路和整个方案分别进行时序仿真并进行分析,其结果表明所提方案的可行性。

4 结论

基于非相干能量检测思想结合相干接收的滑动相关搜索思想与数据导频辅助方法,针对高速

TH-PPM的超宽带通信定位系统的接收机进行设计,提出数据辅助、串并结合的同步捕获方案,重点研究了同步电路的实现,给出该同步方案的工作流程和关键模块,利用VHDL编程语言编写了电路的各个模块并进行时序仿真与验证,通过对时序仿真波形进行分析,表明该同步方案是可行的,对下一步利用FPGA对整个系统的具体实现具有指导意义,同时该方案对其他系统的接收机的数字实现也具有参考价值。

参考文献:

- [1] 李一兵,张兰,王博. UWB信号快速同步算法研究[J]. 微计算机信息,2008,24(8):169-170.
LI Yibing,ZHANG Lan,WANG Bo. Research on synchronization algorithm of UWB signal[J]. Control & Automation,2008,24(8):169-170.
- [2] 王艳芬,陈颖,武洋洋,等. IR-UWB通信同步跟踪系统仿真实验设计[J]. 实验室研究与探索,2014,33(3):85-89.
WANG Yanfen,CHEN Ying,WU Yangyang,et al. Simulation experiment design of IR-UWB communication synchronization tracking system[J]. Research and Exploration in Laboratory,2014,33(3):85-89.
- [3] 黄志清,陆冬青,邱云明. 脉冲干扰时 TH-PAM-UWB信号抗截获方法研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(4):110-113.
HUANG Zhiqing, LU Dongqing, QIU Yunming. Research on anti-intercept method of TH-PAM-UWB under pulse jamming[J]. Science Technology and Engineering,2015,15(4):110-113.
- [4] RABBACHIN A,OPPERMANN I. Synchronization analysis for UWB systems with a low-complexity energy collection receiver [J]. IEEE Joint UWBST & IWUWBS,2004(5):288-292.
- [5] CASU M R, CREPALDI M, GRAZIANO M. VHDL-AMS simulation environment for an UWB impulse radio transceiver [J]. Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on,2008,55(5):1368-1381.
- [6] WENTZLOFF D D, LEE F S, DALY D C, et al. Energy efficient pulsed-UWB CMOS circuits and systems[C]// IEEE International Conference on Ultra-Wideband,2007:282-287.
- [7] 阮越,唐颖. 一种基于新型同步算法的脉冲UWB能量检测接收器设计[J]. 电路与系统学报,2012,17(3):83-87.
RUAN Yue,TANG Ying. Design of an impulse radio UWB energy detection receiver based on novel synchronization algorithm [J]. Journal of Circuits and Systems,2012,17(3):83-87.
- [8] 徐湛,苏中. 基于能量检测的脉冲超宽带无数据辅助同步算法[J]. 科学技术与工程,2013,13(17):4801-4807.
XU Zhan,SU Zhong. Non-data-aided synchronization in IR-UWB system based on energy detection[J]. Science Technology and Engineering,2013,13(17):4801-4807.
- [9] 胡楚锋,郭淑霞,李南京,等. 超视距宽带信号同步测量技术研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(11):2531-2537.
HU Chufeng, GUO Shuxia, LI Nanjing, et al. Synchronous measurement for a wideband signal at non-line-of-sight[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2014,35(11):2531-2537.
- [10] 王康年,葛利嘉,张洪德,等. 一种跳时超宽带无线电信号的高效同步捕获方法[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2007,8(2):113-117.
WANG Kangnian, GE Lijia, ZHANG Hongde, et al. High performance acquisition approach for time-hopping UWB sequence in wireless communication[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Nature Science Edition),2007,8(2):113-117.
- [11] 杜鹃,刘伟. 超宽带通信系统中同步算法研究[J]. 通信技术,2010,43(9):35-37.
DU Juan, LIU Wei. Study on synchronization algorithm in ultra wideband communication system[J]. Communications Technology,2010,43(9):35-37.
- [12] 周玉波. 通信系统中同步技术的研究[J]. 信息技术,2008(12):135-137,140.
ZHOU Yubo. Research on synchronization in communication system[J]. Information Technology,2008(12):135-137,140.

责任编辑:任长江