

# 带改进 AGC 系统的 IR-UWB 无线定位接收机的设计与实现\*

李昂, 龚乐

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 给出一种带自动增益控制(AGC)环路的 IR-UWB 无线定位系统非相干接收机。为了使各个接收机不因多径效应或发射机距离远近的改变而引起幅度变化,在接收机中引入 AGC 模块,通过对连续工作方式下的 AGC 进行改进,使之能够工作在非连续的 IR-UWB 脉冲方式下,并通过硬件设计与实现证明了这种改进的 AGC 环路工作稳定,接收机用于室内定位系统,能够达到保持幅度平稳、减少抖动、提高定位精度的要求。

**关键词:** AGC; IR-UWB; 无线定位接收机

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)04-0031-04

The design and realization of the impulse radio ultra-wideband positioning receiver which equipped with improving AGC system

Li Ang, Gong Le

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** This thesis provided a kind of non-coherent receiver with a loop circuit of AGC for IR-UWB wireless location system. To avoid the multipath effect and the variation of amplitudes due to the different distances of transmitters, and to keep the amplitude stable, the tremble minimum and the position accuracy in the indoor location system, we draw the AGC module into the receiver in this paper and explained how to meliorate AGC under the continuous working condition for working in the discontinuous IR-UWB pulse mode. Finally, we proved that the improved AGC loop can work stably through the hardware designing and implementation, and the receiver can be used in indoor positioning.

**Key words:** AGC; IR-UWB; indoor positioning

脉冲超宽带(IR-UWB)信号具有衰减小、穿透性强、定位精度高、多径分辨率高等优点,能够有效改善室内定位的效果。近年来,IR-UWB 定位技术既克服了 GPS 信号强度不足以穿透建筑物的缺点,又避免了蜂窝通信室内定位系统的多径效应和非视距传播的影响,因此 IR-UWB 定位技术成为室内定位技术的研究热点<sup>[1]</sup>。

IR-UWB 信号采用基带窄脉冲作为信息的载体,常用的脉冲信号接收方法统分为相干接收和非相干接收两类。其中非相干接收是将接收信号进行非相干解调(如包络检波、平方律检波),不需要产生本地模板信号,对定时恢复精度要求低,且结构简单<sup>[2]</sup>。本文在非相干接收机系统中加入了脉冲 AGC 模块,目的是用来保证

各个接收机不会受多径效应或者发射机距离远近的改变所引起的幅度变化的影响,保持幅度平稳,从而减少抖动,避免影响到后续电路。但脉冲工作方式下的 AGC 系统较为少见,因此首先对连续工作方式下的 AGC 进行了改进,从而设计出了带改进 AGC 的 IR-UWB 无线定位接收机系统。通过硬件设计和实现,表明了这种无线定位接收机系统工作稳定,精度较高,达到了设计要求,是一种较为理想的无线接收机模型。

## 1 接收机系统模型

在目前常用的定位算法中,TOA 与 TDOA 方法比较适合 IR-UWB 定位<sup>[3-4]</sup>,本文设计的接收机采用 TDOA 方式。TDOA 方式是通过数台彼此相邻的接收机接收来自标签发送的信号,计算到达时间,再计算各个接收机

\* 基金项目:国家自然科学基金(60962001,60472091)

硬件纵横

Hardware Technique

的到达时间差,最后通过双曲线定位算法来确定标签位置,因此 TDOA 方式也叫双曲线定位技术,如图 1 所示。

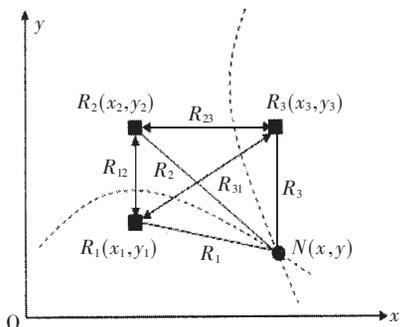


图 1 双曲线定位原理图

本文采用的系统结构如图 2 所示。该系统由需要定位的标签 Tag(发射机)、定位接收机(BS1、BS2、BS3)、时间差计数器 Counter 和后端服务器组成,每个接收机坐标已知。定位过程:取 BS1 为主接收机,BS1 与 BS2、BS3 距离分别为 4 m,且成等边三角形排列。Tag 在 4 m×4 m 范围内移动,不断发出频率 10.7 MHz 的超宽带脉冲,3 个接收机分别从接收到的信号中提取的信号到达时间,送入时差计数器。设定 BS1 最先接收到的信号,然后计数器记录下后续到来的 BS2 和 BS3 与 BS1 的到达时间差,再送入后端处理器中,通过定位算法得出标签 Tag 的具体坐标值。

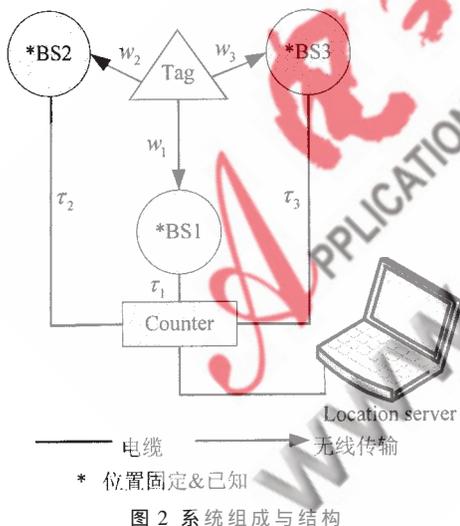


图 2 系统组成与结构

参考文献[5]中设计的接收机是最初的设计,此时并未包括 AGC 模块,其组成框图如图 3 所示。



图 3 最初的接收机组成框图

测试中采用的脉冲发射机发出的是工作宽度为 950 ps,频率为 10.7 MHz 的周期脉冲信号。在室内视距环境下,发现锁相环输出的波形拉开前沿时有明显的抖动,按照电磁波传播速度,信号每抖动 1 ns 的宽度,定位时

就产生 30 cm 的误差。而导致这种抖动的原因是发射机的不断移动和室内传播的多径效应。

本文对上述系统模型进行了改进,加入了改进的脉冲 AGC 模块,如图 4 所示。这种设计的目的是用来保证各个接收机不会因为多径效应或者发射机距离的改变引起幅度变化,保持幅度平稳,从而减少抖动,避免影响到后续电路。



图 4 改进的接收机组成框图

2 改进 AGC 的设计

2.1 AGC 简介

自动增益控制(AGC)系统是一个在电子学领域中应用很广的系统,在广播、电视、通信和雷达接收机中几乎都不可避免地被采用,并且对于这些接收机的性能有着重要影响<sup>[6]</sup>。其作用是:当输入信号很弱时,接收机的增益大;当输入信号很强时,自动增益控制电路进行控制,使接收机的增益减小。这样,当接收信号强度变化时,接收机的输出端的电压或功率基本不变或保持恒定。

在常用的通信接收机中主要用的是连续工作状态,因此连续工作方式的 AGC 获得了较多的应用。对于 IR-UWB 信号,它发射的是二阶高斯脉冲信号,而接收机接收的实际上是三阶高斯脉冲信号,即整个定位系统工作的信号是高斯脉冲信号,如果将通常的 AGC 系统直接应用于脉冲信号接收,效果不是很理想,同时对器件也提出很高的要求。因此首先对 AGC 做了一定的改进。

2.2 IR-UWB 接收机 AGC 的设计思想

对于超宽带通信系统,接收机检测技术和在距离发生变化时如何控制增益是其中的难点和重点<sup>[7]</sup>。超宽带信号在时域上是极窄脉冲,在频域上有着类似高斯白噪声的特性,而且发射功率极低,频谱极宽。图 5 是接收机所接收的信号,不难发现在接收的信号当中,由于有谐波分量的存在,表现出完整的包络特性,这个经过检波后输出的包络仍然是一个不完整的脉冲波形,只是其中包含所需要的 10.7 MHz 基波和大量的谐波,并且观测到频率为 10.7 MHz 的点幅度最大,即这一点能量最高,而

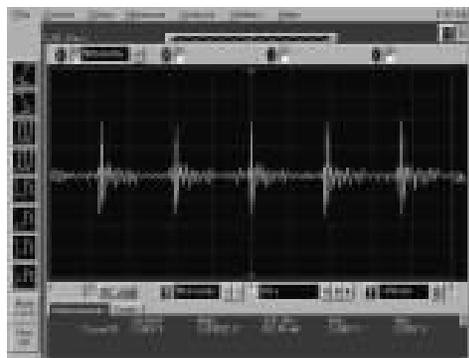


图 5 接收机接收到的脉冲波形

## 硬件纵横

Hardware Technique

系统所要的就是 10.7 MHz 的计时脉冲。

改进 AGC 的设计思想就是把这个 10.7 MHz 的基波分量提取出来, 成为一个 10.7 MHz 的正弦波, 作为可调增益控制放大器(VGA)的输入信号, 这样即使是脉冲超宽带信号也可以用连续自动增益控制系统来实现。

## 2.3 元件选取与测试

选用了 Analog 公司的芯片 AD8368 作为主要 AGC 控制芯片来实现大范围的超宽带接收机 AGC 控制, 它是一个兼有 VGA 和 AGC 功能的高集成度中频放大器<sup>[8]</sup>。AD8368 通过增益控制接口可分别在增益上升和增益下降两种模式中工作。在增益上升模式(MODE 接高电平)时, 增益随着增益控制电压的升高而增大; 而在增益下降模式(MODE 接低电平, 通常接地)时, 增益减小。但不管在哪种模式, 它在 -12 dB~+22 dB 增益范围内都可以按照 37.5 dB/V 精确调整, 且一致性误差极小, 增益电压范围从 100 mV~900 mV, 由于单片 AGC 内部集成 VGA 和精确平方律检波器, 因此可以方便地构成单片 AGC 环路。

AD8368 芯片 MODE 置于上拉和下拉电平时的增益控制方程如下:

$$Gain_{HIGH}(dB) = 37.5 \times V_{GAIN} - 14, \quad Gain_{LOW}(dB) = -38 \times V_{GAIN} + 24.8$$

图 6 为 AD8368 的增益控制图。当增益电压  $V_{GAIN}$  在 0.5 V 左右时, 增益大约是 5 dB, 处于增益上升和增益下降两种模式线性区域的交点, 因此将增益电压调至该点附近。

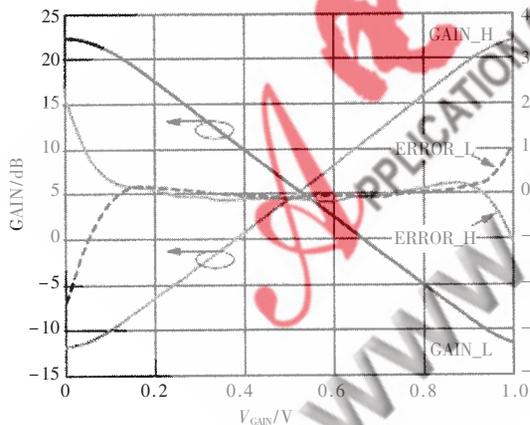


图 6 AD8368 增益控制图

图 7 是 AD8368 的输入输出信号功率关系图。当输入信号在 -20 dBm~14 dBm(63mV~3.16V) 之间时, AD8368 的输出可以稳定在 0 dBm(633 mV) 附近。经过实际测定, AGC 保证输出稳定的范围大致在 624 mV(±3 mV)。这说明 AD8368 满足了稳定幅度的要求。

## 2.4 电路设计

围绕 AD8368 设计的整个 AGC 环路框图如图 8 所示。

图 8 中接收信号通过低噪声放大器后

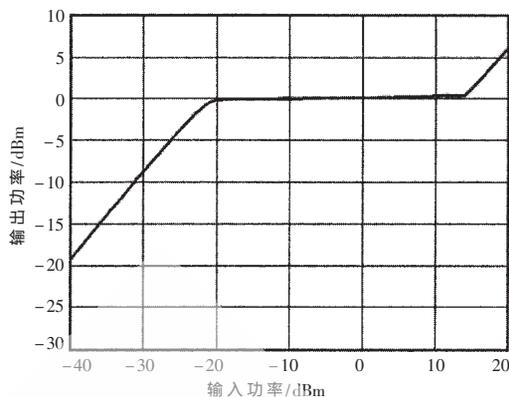


图 7 AGC 输入输出功率关系图

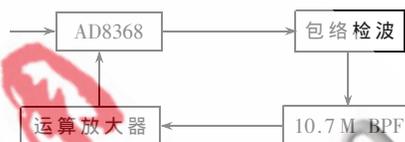


图 8 AGC 环路框图

进入 AD8368, 对其输出的稳定信号进行包络检波, 然后将包络中的 10.7 MHz 的分量滤出, 但此信号非常弱, 作为反馈输入 AD8368 太小, 因此使用运算放大器将其放大, 再送回 AD8368。

## 3 带改进 AGC 的 IR-UWB 接收机电路设计

将改进 AGC 加入到整个定位接收机中, 得到带改进 AGC 的 IR-UWB 接收机整体结构图, 如图 9 所示。

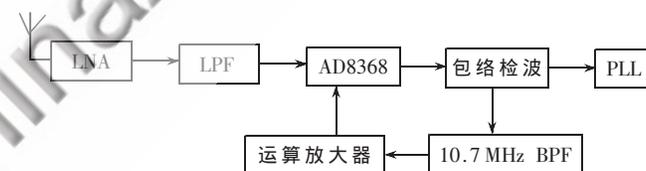


图 9 带改进 AGC 的 IR-UWB 接收机整体框图

## 4 测试与实现

## 4.1 AGC 测试数据

在 5 m×5 m 的房间内移动发射机, 分别在 1 m、2 m、3 m、4.5 m 4 个距离上测定了 AGC 环路的各点波形与参数。特别还测试了系统在增强的多径影响下的性能。记录 AD8368 的测试结果如表 1 所示。

分析上述结果, 发现输出信号基本稳定在 600 mV 附近, 考虑到脉冲信号的特性与各种干扰的存在, 与 2.3 节中测试的输出 624 mV 相比较, 此结果在合理范围内, 并且证明了 VGA 工作是正常的。

表 1 AD8368 测试结果

D/mV	1	2	3	3(多径)	3.5	4	4(多径)	4.5
输入信号/mV	358	197	135	148	113	102	118	98
输出信号/mV	605	599	598	600	598	595	596	592

表 2 标签实际坐标、接收机测量坐标和误差

$(x, y)$	(1.00,1.00)	(1.00,1.50)	(1.50,1.50)	(1.50,2.00)	(2.00,2.00)	(2.00,2.50)	(2.50,2.50)
$(x', y')$	(0.83,1.13)	(0.86,1.65)	(1.34,1.63)	(1.39,2.10)	(1.91,2.07)	(1.91,2.54)	(2.42,2.45)
误差	0.214	0.205	0.206	0.148	0.114	0.098	0.094

$(x, y)$ 代表实际坐标值, $(x', y')$ 代表测量到的坐标值。表中数值单位均为米。

#### 4.2 AGC 环路各点波形分析

AGC 环路中的脉冲包络检波器也是一个重要组成部分。在设计中,采用了非理想积分器实现检波功能,通过设置积分器的基极偏置进行积分,进而提取包络。在调试过程中,当没有脉冲信号到来时,三极管截止;当脉冲到来时,三极管在正半周期内导通,集电极电流对集电极电容充电,在示波器上观察包络就是第一个向下的尖峰前沿;脉冲结束后,三极管又截止,然后集电极电容通过与集电极电阻组成的回路开始放电,示波器上显示为尖峰的后沿。由于接收到的信号是一个脉冲簇,有大量的多径噪声,因此得到的包络不是一个单独脉冲。另外每个脉冲的宽度非常窄,还不到 1 ns,因此放电速度非常快。而在第一个脉冲进行充电时,由于电压很高,三极管会进入饱和状态,这样在放电时就不会直接变为截止,而要有一个退出饱和的过程,随后才进入截止状态。因此,得到的包络也不是一个从第一个脉冲前沿直接平滑下去类似三角波的包络,而是出现两个峰之后才平滑下去。又因为有前段 AD8368 的存在,包络检波的输出在各距离上变化很小,并且抖动非常小,达到了加入 VGA 模块的要求。

AGC 环路中的 BPF 选用村田公司的 10.7 MHz 陶瓷滤波器, Q 值很高。再经过 AD9632 放大电路,输出的波形为 10.7 MHz 的正弦波,用来反馈输入到 AD8368,其幅值按照设定的阻值应为 320 mV。实测得结果在 324 mV 左右。

综上所述,整个 AGC 环路工作正常,包络输出得到有效控制,从而实现了稳定和改善定位精度的目的。

#### 4.3 接收机测试数据

在证明了上述 AGC 环路正常工作之后,对整个接收机系统进行了测试,来检验加入了改进的 AGC 模块后接收机的工作情况。表 2 列出了定位标签的实际坐标,接收机测量的标签坐标,以及通过计算得出的二者之间误差的情况。

从表 2 可以看出,定位系统的误差在 10 cm~20 cm 附近,如果增加接收机的数量,采用统计方法得到的精度会更高。所以此接收机方案能够实现精度较高的室内定位。

利用锁相环作为跟踪电路,来处理 IR-UWB 接收信号的前沿,实时跟踪相位变化得到时间信息,把时间信

息再转化为到达时间差,这些过程硬件也已实现。不过唯一的不足是,它仍然没有解决接收机受多径等外界因素影响下的接收机信号幅值变化问题,影响了定位精度。为了解决这一问题,设计了改进的自动增益控制 (AGC) 电路,使得在 IR-UWB 定位接收机系统中能够实现 AGC 的控制,从而减少抖动、提高定位精度。结果证明,本文的设计达到了最终的目的。

#### 参考文献

- [1] 肖竹,黑永强,于全,等.脉冲超宽带定位技术综述[J].中国科学 F 辑:信息科学,2009,39(10):1112-1124.
- [2] WEISENHOM M, HIRT W. Robust noncoherent receiver exploiting UWB channel properties. 0-7803-8373-7/04.2004. IEEE.
- [3] 吴绍华,张乃通.室内信道环境下 UWB 精确测距研究[J].通信学报,2007,28(7):65-71.
- [4] 吴绍华,张软宇,张乃通.新颖的基于门限比较的脉冲超宽带 TOA 估计算法[J].通信学报,2008,29(7):7-13.
- [5] 廖丁毅,王玫,郑霖,等.基于脉冲锁相环的超宽带定位接收机设计[J].桂林电子科技大学学报,2010.2,30(1):17-20.
- [6] BARRAS D, JAECKEL, HIRT W. A wideband 0 to 60 dB CMOS variable gain amplifier for IR-UWB IQ Receivers. 978-1-4244-4353-6/09.2009. IEEE.
- [7] 万中波.新型超宽带定位接收机研究[D].桂林电子科技大学硕士学位论文,2010.
- [8] "800 MHz, Linear-in-dB VGA with AGC Detector-AD8368". 2006-2008 Analog Devices, Inc.

(收稿日期:2010-10-10)

#### 作者简介

李昂,男,1986 年生,硕士研究生,主要研究方向:IR-UWB 无线定位技术。

龚乐,男,1986 年生,硕士研究生,主要研究方向:IR-UWB 无线定位技术。