

基于 FPGA 的超声波小型空间定位系统设计*

肖顺文**

(西华师范大学 南充 637002)

摘要: 讨论了一种新型的小型空间定位系统。该系统采用三角形测量原理实现三维精确定位, 利用 FPGA 丰富的查找表结构完成算法。可随时根据实际检测或实验数据更新查找表, 降低系统偏差, 使其适用范围更广, 定位精度更高。并采用动态扫方式将测量结果实时地显示出来。

关键词: FPGA 器件; 超声波传感器; 小型空间; 定位系统

中图分类号: TN79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4550(2006)04-0029-03

Design of Small Space Ultrasonic Positioning System Based on FPGA

XIAO Shun-wen

(China West Normal University Nanchong 637002)

Abstract: A kind of new small space ultrasonic positioning system is introduced in this paper. The system uses the triangle survey principle to realize three dimensional positioning and uses the rich lookup table structure of FPGA to complete the algorithm. It can renew the lookup table according to the actual examination or the experimental data, and it can also reduce the system deviation, which means a better positioning and a wider application. And the measuring result can be displayed immediately through dynamic scanning.

Key words: FPGA; ultrasonic sensor; small space; positioning system

1 引言

FPGA 器件高集成、高速度、低功耗、体积小, 有丰富的查找表(LUT)资源, 在数字电路的设计中得到广泛的应用。基于 FPGA 的 ASIC 的设计灵活方便, 性价比高, 可以克服模拟器件抗干扰性差的缺点。超声波具有定向性好、能量消耗小、在传输过程中衰减较小、反射能力较强等优点, 它不受光线、被测物颜色等影响, 在恶劣工作环境下具有一定的适应能力。超声波传感器广泛应用于非接触式检测中, 利用超声波检测比较迅速、方便、计算简单、易于做到实时控制。

本设计利用超声波传感器给 FPGA 提供足够精

确的被检测物体位置信息, 系统精确地将空间中的物体定位并将其位置信息实时地显示出来。

2 超声波定位原理

将超声波发射器置于被检测的物体上, 向周围按照一定的时间间隔发送超声波脉冲, 在周围 3 个固定位置上分别接收超声波发射器发出来的脉冲信号, 通过比较三个接收器收到信号的时间, 可以算出超声波发生器的具体位置。当目标移动时, 可以通过不间断测量, 描出目标的运动轨迹。

超声波的速度为 v , 发射器发出声波到接收器接收到声波的时间为 t , 则两者间距 L 为

$$L = vt \quad (1)$$

* [收稿日期] 2006-05-30; [修改日期] 2006-06-22

** [作者简介] 肖顺文(1970-), 男, 讲师, 主要从事嵌入式应用/EDA 教学及研究工作。

3 三维定位算法

为了讨论简单, 设在一个固定的参考坐标系的原点 o 、 x 轴上 x' 点、 y 轴上 y' 点分别安装上 3 个超声波接收器, 同时在被检测的物体上安装上 1 个超声波发射器, 如图 1 所示。

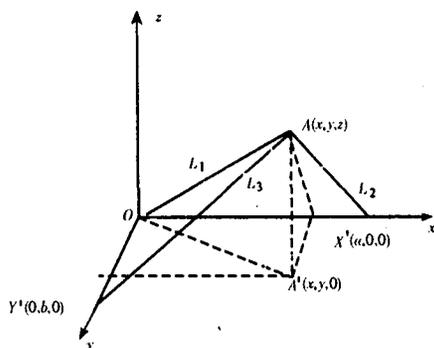


图 1 三维定位坐标图

设被检测物体在 A 点坐标为 (x, y, z) , 3 个超声波接收器坐标为 $o(0, 0, 0)$ 、 $x'(a, 0, 0)$ 、 $y'(0, b, 0)$, L_1 、 L_2 、 L_3 由 (1) 式及检测电路经过计算得出。则有

$$L_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (2)$$

$$L_2^2 = (a - x)^2 + y^2 + z^2 \quad (3)$$

$$L_3^2 = x^2 + z^2 + (b - y)^2 \quad (4)$$

联解式 (3) ~ (5) 得

$$x = \frac{L_1^2 - L_2^2 + a^2}{2a} \quad (5)$$

$$y = \frac{L_1^2 - L_3^2 + b^2}{2b} \quad (6)$$

$$z = \sqrt{L_1^2 - x^2 - y^2} \quad (7)$$

即测量出 L_1 、 L_2 、 L_3 , 就可利用上式求出 x 、 y 、 z 的值, 即得到被检测物体在三维坐标中的位置, 实现定位。

4 系统构成

系统结构原理框图如图 2 所示, 该图只是 x 轴方向超声波接收处理回路, 其他两路结构相同(图 2 中省略没有画出来)。该系统由超声波发射/接收电路、分频/控制电路、首波检测电路、计数电路、查找表、动态扫描及显示电路组成。发射器、3 个接收器(处于 O 、 x' 、 y' 三点)及相应电路通过导线与 FPGA 的连接(如图 2 中, 发射器经功率放大电路与 FPGA 相连, 三个接收器分别经各自的信号放大电路、脉冲产生电路与 FPGA 相连)。对 x 、

y 、 z 的值设计精度为 0.01 m, 最大显示为 9.99 m。FPGA 是整个系统的核心部件。

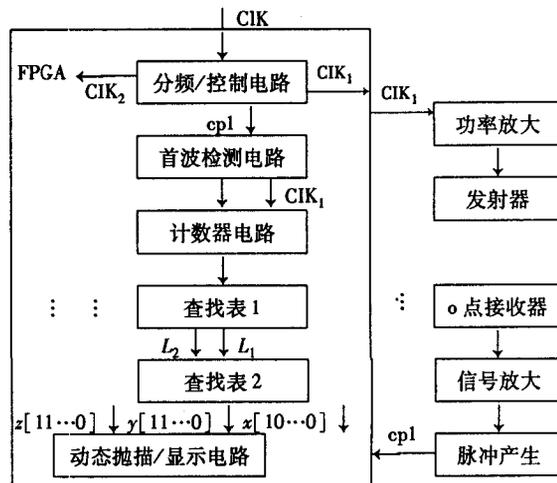


图 2 系统原理框图

4.1 硬件设计

4.1.1 超声波传感器的发射/接收电路

发射器采用 TCT40-2F, 超声波发送部分 40 kHz 的振荡源由系统时钟经分频电路产生; 功率放大电路由晶体三极管及脉冲升压变压器组成。

接收器采用 TCT40-2S, 接收电路如图 3 所示, 图中 U_1 、 U_2 为高速运算放大 LF356, U_3 为比较器 LM339。当接收到超声波信号时, 首先经过 U_1 放大, 再经 U_2 进一步放大后, 经过比较器 U_3 形成脉冲信号。调节电位器 RW_2 可以调节比较电压, 使得比较器的输出端在没有信号时始终为低电平。

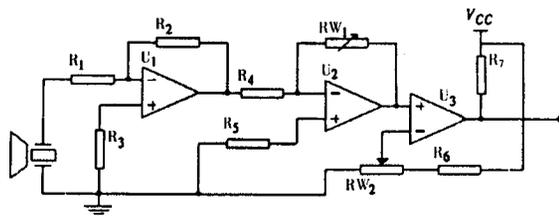


图 3 接收电路

4.1.2 FPGA 控制部分

分频器产生 40 kHz 的频率信号用来驱动超声波传感器, 当第一个超声波脉冲发射的同时, FPGA 中的计数器开始计数, 在首波检测电路检测到第一个回波脉冲的瞬间, 计数器停止计数, n 为计数器计数脉冲个数(用二进制数)。

查找表 1 电路将脉冲个数 n 转换为距离数 L , 查找表电路采用参数化模块 lpm_rom 来实现。事先通过计算 L 的值(用 12 位二进制数表示, 其中低 4 位为厘米数, 中间 4 位为分米数, 高 4 位为米数。), 并按 n 的大小依次存入 ROM 中, 用 n 作为

地址访问 ROM, 即可输出 n 对应的 L 值。

查找表 2 电路将 L_1 、 L_2 、 a 按式(5)转换为 x 值, 事先通过计算得出 x 的值(用 12 位二进制数表示, 其中低 4 位为厘米数, 中间 4 位为分米数, 高 4 位为米数。), 依次存入 ROM 中, 用 L_1 、 L_2 作为地址访问 ROM, 即可输出对应的 x 值。

动态扫描及显示电路由九进制计数器、位译码、七段译码、数码管组成, 由于九进制计数器循环计数, 其 9 个计数状态 0000B ~ 1000B 按顺序循环变化, 作为 x 、 y 、 z 的米/分米/厘米位的 9 个选择信号, 同时也作为位译码输入。位译码根据九进制计数器的 9 个计数状态 0000B ~ 1000B, 依次给 9 个共阴数码管的阴极送低电平, 使 9 个数码管依次点亮, 实现动态扫描。如 $f_{clk2} = 1 \text{ kHz}$, 则每个数码管的显示时间为 1 ms, 刷新频率为 111 Hz。

4.2 查找表模块软件设计及仿真

被检测物体距离 3 个超声波接收器的距离 L 又可以写为:

$$L = vt = vnT_{CLK1} \quad (8)$$

式中: n 为计数器脉冲个数; T_{clk1} 为 $clk1$ 的周期, 即 $T_{CLK1} = 1/(40 \times 10^3) \text{ s}$; v 经计算其在常温下近似为 340 m/s。则

$$S = 340 \times n \times 1/4 \times 10^{-4} \quad (9)$$

n 与 S 的关系见表 1。

表 1 n 与 S 的关系

n /个	1	2	...	10	...	50	...	300	...	500	...
S /m	0	0.02	...	0.09	...	0.43	...	2.55	...	4.25	...

根据表 1, 利用 `lpm_rom` 形成查找表电路。图 4 是利用 ROM 实现的一个 12×12 的查找表, 其中“`lpm_rom`”的参数设置为

`LPM_WIDTH = 12`

`LPM_WIDTHAD = 12`

`LPM_FILE = e:\dwxt\rom.mif`

定义地址线为计数器的输出结果 `count [11...0]` 即 n , 寻址输出结果 `out [11...0]` 为 12 位米/分米/厘米位即 L 。ROM 存储的数据(表 1)都放在“`rom.mif`”文件内。仿真结果如图 4。

5 测试结果

被检测物体在 A 点(x, y, z)实际坐标为(0.50 m, 0.50 m, 1.00 m), 分别测试 5 次, 实验结果如表 2。

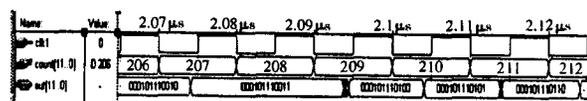


图 4 仿真结果

表 2 测试结果

L_1 对应数码管显示结果/m	1.02	1.03	1.03	1.04	1.03
L_2 对应数码管显示结果/m	0.41	0.43	0.41	0.44	0.42
L_3 对应数码管显示结果/m	0.42	0.42	0.43	0.41	0.43

6 结束语

造成偏差的主要原因是查找表中的数据是按理论计算的结果, 在实际运用过程中超声波在介质中传输受很多因数的影响。要纠正偏差, 只需将反复实验测得的位置信息 L 与 n 值对应, 用实际测得的 L 更新查找表, 偏差会大大降低。本设计用于测定物体运动轨迹实验, 经过实验修正后, 定位精度得到大大提高。本设计可用于三维高精确定位, 如机器人的精确控制与定位等。

参考文献

- [1] 褚振勇, 翁木云. FPGA 设计及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [2] 熊春山, 彭刚, 黄心汉, 等. 基于超声测距的三维精确定位系统与设计[J]. 自动化仪表, 2001(3):7-10.
- [3] 余锦波, 龙建军, 吴百海. 水下物体的超声波定位系统的研究[J]. 机床与液压, 2005(11):103-105.
- [4] 高明光, 唐松林, 崔贤玉, 等. 超声传感器在物位测量中的应用[J]. 传感器技术, 1997,16(3):46-48.
- [5] 张新苗, 赵雅兴. FPGA 中查找表(LUT)的应用[J]. 集成电路应用, 2000(4):18-19, 35.

短 讯

★电子科技大学与台湾敦吉集团于 2006 年 6 月 27 日签署了合作共建协议, 由敦吉集团提供 30 万美元, 电子科技大学提供 100 万元人民币配套资金, 共同建设“微波暗室实验室”。