

激光测距仪

文件编号: WAS-18A1SC

简介

激光测距仪可以满足基本的测量要求, 距离测量、面积测量、体积测量、高度追踪等等, 从功能上分类可分为一维激光测距仪、二维激光测距仪、三维激光测距仪, 在完善的硬件电路基础上, 搭配激光测距算法能够获取误差在毫米级别的距离值, 通过无线通信功能可以直接在上位机(PC 端或者手机)的应用得到二维或者三维模型, 同时只需合适的反射物, 室内测量作业, 或者室外地形勘探都能获取高精度的量测值。

激光测量距离的方式有许多种, Holtek 激光测距仪所使用的是飞行时间法中的相位法, 优点是精度较高, 精度可到达毫米等级, 但相位法需要较复杂的计算, 测量过程中使用到异步采集同步化、差频测相、傅利叶转换、距离合成等等, Holtek 将以上复杂的操作原理整理成此方案, 提供客户直接参考使用, 可有效减少产品开发的周期。

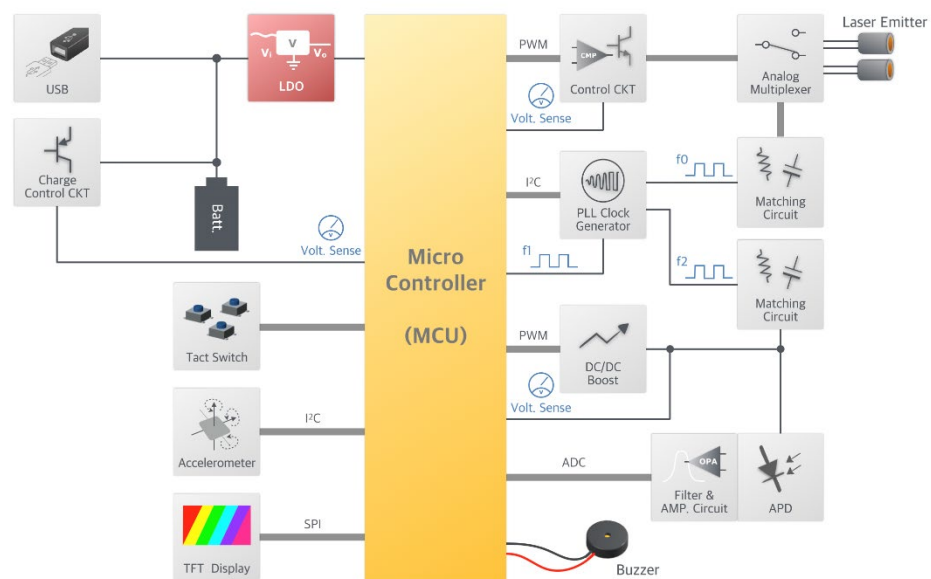


图 1

应用领域

室内距离测量。

方案特点

1、激光测距：使用激光可快速且精准地测量与物体的距离。

激光测量比超声波测量更加精准，且较不易受到外界干扰，但需要复杂且快速的计算，因此需搭配 32-bit Arm® Cortex®-M0+核心的 HT32F52352。

2、相位法(飞行时间法)：测量激光往返所产生的相位延迟，计算出物体实际距离，理论测量精度可达到 mm 量级。

工作原理

激光相位法测距原理

相位式激光测距仪是用无线电波段的频率，对激光束进行幅度调制并测定调制光往返测线一次所产生的相位延迟，再根据调制光的波长，换算此相位延迟所代表的距离。即用间接方法测定出光往返测线所需的时间。

算法流程

激光距离计算步骤分为以下三部分，分别为激光回波信号的采集、回波信号的相位计算、距离合成计算。激光回波信号采集须注意内外光路采集的时间点，截取后的回波信号通过 FFT 可取得回波信号的相位，最后使用多组不同测尺计算出实际长度。

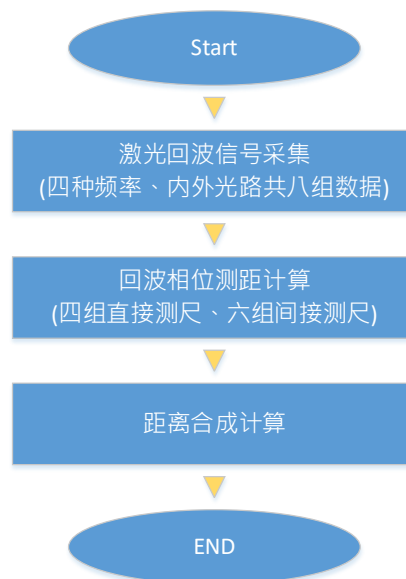


图 2

差频测相

本算法是使用差频测相的原理，时钟芯片产生出高频的主振信号与本振信号，主振信号用来对激光进行调制，本振信号则叠加到 APD 反向电压上，通过混频电路将主振信号与本振信号混频，产生相位不变的低频信号，此动作能有效简化电路的复杂度，并方便 MCU 进行回波信号的捕捉。

调制光频率	第一组	第二组	第三组	第四组
主振频率(MHz)	152	153	160	200
本振频率(MHz)	151.99	152.99	159.99	199.99
差频	10kHz			

表 1

由上述可知通过混频电路的回波信号频率为 10kHz，因此 MCU 可以使用 ADC 轻松对回波信号进行捕捉。

激光回波信号采集

激光测距仪回波信号频率为 10kHz 的正弦信号，使用 HT32F52352 内建的 ADC 搭配 PDMA 功能，可快速且精准的捕捉激光的回波信号。

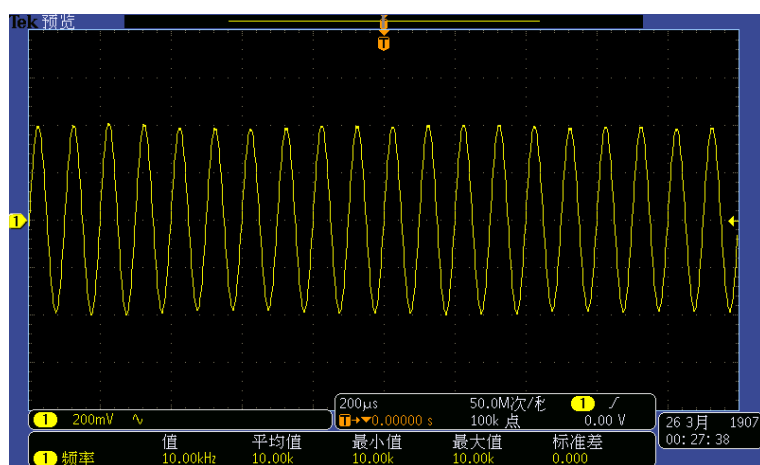


图 3

本算法利用 4 个不同频率的光调制信号实现测距，每一个测尺的回波信号分别再对应内光路和外光路两段信号，通过计算外光路和内光路信号之间的相位差，即可获得该段测尺测量的距离值。

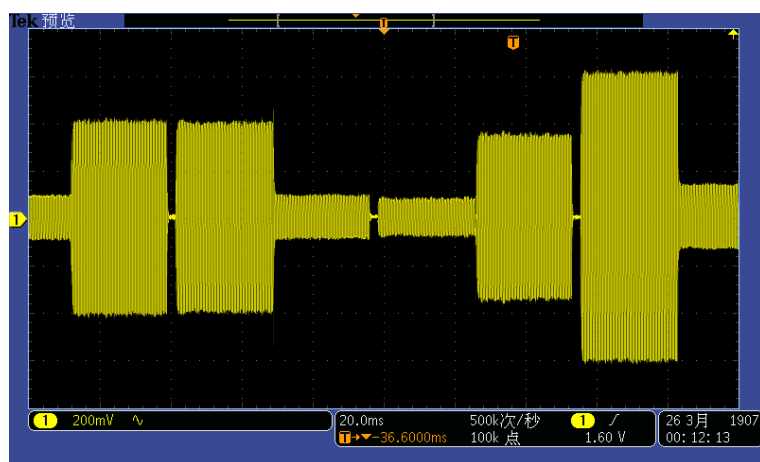


图 4

要实现一个测尺的距离测量，需要高精度地捕捉内外光路信号的相位差，本算法通过 ADC 搭配 PDMA 准确地控制 ADC 捕捉的时间与间隔，并通过 FFT 计算，得出每段回波信号的相位值。

相位测距计算

图 5 为相位法激光测距原理示意图，由图可看出距离 $D = \frac{1}{2} \times c \times t$ ，(c：光速，t：时间差)；

假设调制光频率为 f ，调制信号的波长 $\lambda = \frac{c}{f}$ ，在待测距离 D 上往返一次产生的相位延迟为 φ ，

则其对应的时间差 $t = T \times \varphi / 2\pi$ (T：调制光周期)。待测距离 D 可以表示为：

$$D = \frac{1}{2} \times c \times t = \frac{1}{2} \times \frac{c}{f} \times \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) = Ls(N + \Delta N)$$

($Ls = \frac{\lambda}{2}$ 测尺长度， N ： 2π 整数倍， ΔN ： 2π 余数)

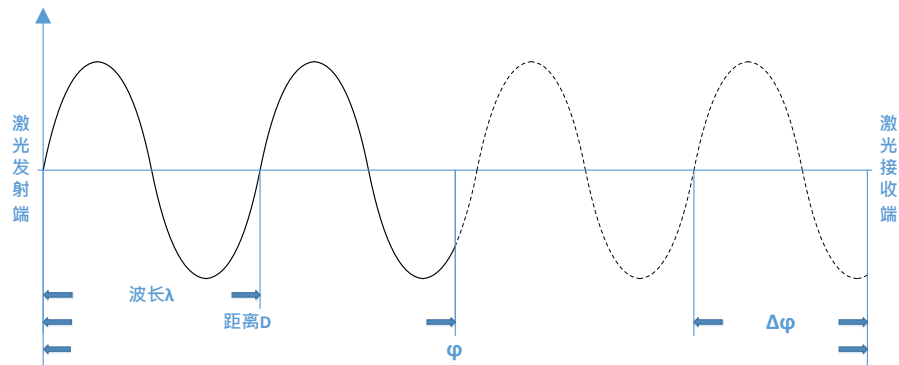


图 5

直接测尺和间接测尺

方案的测距仪使用的测尺频率最小为 152MHz，由前述测尺长度公式可以得到其对应最大直接测尺长度为 0.987m，无法满足远距离测量，因此需要利用间接测尺，实现远距离的测量。

任意两个直接测尺频率的差值可以作为新的间接测尺频率，其测尺长度由间接测尺频率决定，相位差由原来两个直接测尺的相位差的差值计算得到。

本方案其对应的直接测尺和间接测尺如表 2 所示，例如由 200MHz 和 160MHz 的两个测尺频率，可以得到 40MHz 的间接测尺信号，间接测尺长度为 3.75m；由 152MHz 和 153MHz 的两个测尺频率信号，可以得到 1MHz 的间接测尺信号，间接测尺长度为 150m。

$$\text{测尺长度}(L) = \frac{\text{光速}(c)}{2 \times \text{频率}(f)}$$

直接测尺	调制频率	200MHz		160MHz		153MHz		152MHz
	测尺长度	0.75m		0.9375m		0.9805m		0.987m
间接测尺	调制频率	48MHz	47MHz	40MHz	8MHz	7MHz	1MHz	
	测尺长度	3.125m	3.1915m	3.75m	18.75m	21.42m	150m	

表 2

距离合成计算

本算法共使用了 10 组测尺，测尺长度由大到小依次 150m、21.42m、18.75m、3.75m、3.19m、3.12m、0.98m、0.98m、0.93m、0.75m。由前述公式可知，对于特定测尺，只能得到不足 2π 部分相位差对应的距离，即每个测尺最大测量距离不超过其测尺长度。

为了保证测距的精度，需要小的测尺，而为了保证测量的距离，需要大的测尺。因此，必须

使用多测尺衔接算法，才能同时获得高精度和远距离的测量。

使用两个以上测尺进行距离测量时，假定测尺长度依次为 (LS_1 、 LS_2 、 LS_3 ...且 $LS_1 > LS_2 > LS_3 > \dots$)， LS_1 大于被测距离，所以 $N_1 = 0$ ：

$$D_1 = LS_1 \times (N_1 + \Delta N_1) = LS_1 \times \Delta N_1$$

将第一级测尺计算距离代入第二级测尺的计算结果：

$$D_2 = LS_2 \times \left[\text{int} \left(\frac{LS_1 \times \Delta N_1}{LS_2} \right) + \Delta N_2 \right]$$

依次类推，第 i 级计算结果为：

$$D_i = LS_i \times \left[\text{int} \left(\frac{D_{i-1}}{LS_i} \right) + \Delta N_i \right]$$

这样，层层递推计算，可以得到最终合成的距离。

功能说明

产品规格

- 量程：0.2m~60m
- 精度： $\pm(1.5\text{mm} + 2.3 \times 10^{-4}D)$ ，D 为测量距离(m)
- 工作电流：待机耗电 3.0 μ A，开机耗电 157mA
- 工作电压：电池供电 3.3V~4.2V(或 USB 供电)
- 工作温度：0 $^{\circ}$ C~40 $^{\circ}$ C
- 屏幕类型：2.0 吋 176 $\times$ 220 TFT 彩屏

产品功能

模式：单次测量、连续测量、面积测量、体积测量、一次勾股、二次勾股①、二次勾股②、自动水平、自动垂直、加减法(距离、面积、体积)。

操作说明

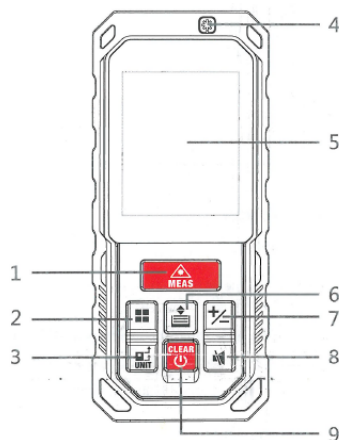


图 6. 样机正面

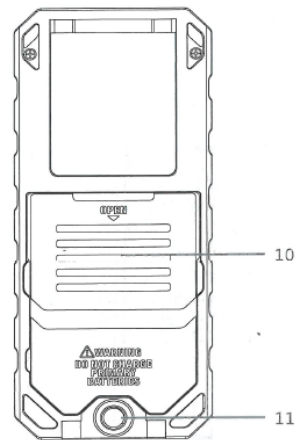


图 7. 样机反面

1、测量键

选择测量模式后，短按测量数据，长按进入连续测量模式。

2、功能键

按此键切换到面积、体积、一次勾股、二次勾股(1)、二次勾股(2)、自动水平、自动垂直测量模式。

3、基准、单位键

测距仪默认基准为后基准，短按切换基准模式(前/三脚架螺丝孔/后基准)，长按切换测量单位(m/ft/in)。

备注：机器重启后，测量基准会自动转换成默认测量后基准。

4、激光图标

5、2.0 寸 TFT-LCD 显示屏

测量模式显示，数据计算结果显示。

6、历史数据

按此键直接进入查看历史测量数据，最近 20 个测量或计算数据将逆序显示出来。

7、加减(+/-)键

在单次测量、面积、体积测量模式下，短按“加”，长按“减”。

8、静音键

按此键关闭或开启蜂鸣器。

9、开关机、清除、返回键

长按开关机，短按清除上一步操作或者返回。

10、电池仓

11、三脚架螺丝孔

方案设计说明

激光测距仪由主控板、激光接收板和按键板组成，主控板 MCU 为 HT32F52352，负责控制激光发射与接收，并计算出测距仪与物体之间的距离，激光接收板主要负责激光回波信号的接收与放大，将放大后的信号送回主控 MCU，以下将对主控板上的功能做进一步的介绍。

硬件说明

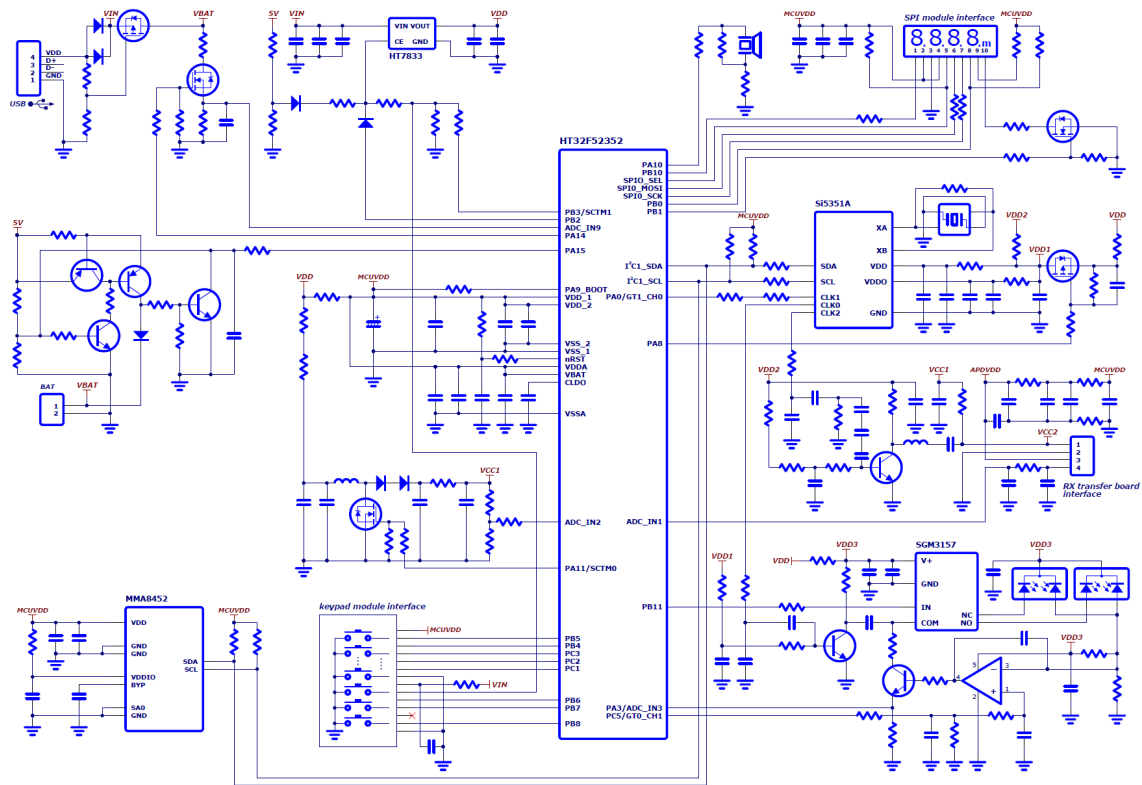


图 8

激光测距仪主控板依功能可区分为主控 MCU 电路、电源控制电路、加速度传感器电路、APD 高压偏置电路、振荡信号耦合电路、激光调制发射电路；主控 MCU 电路包含上述所说的 HT32F52352 与周边基本电路；电源控制电路包含 USB 供电、电池充电管理、芯片电源稳压等，电源相关控制；通过加速度传感器电路可得到产品目前的姿态，计算出角度可以再进行更多不同模式的计算，例如一次勾股、二次勾股、垂直测量、水平测量等等；APD 高压偏置电路负责提供激光接收所需的电压，通过控制电压可调整激光回波接收的灵敏度；振荡信号耦合电路为激光发射时，叠加上一高频信号，并在激光接收回波时，使用一频率与回波信号进行耦合，通过差频测相取得回波信号相位；激光调制电路为调整激光发射时的功率控制。

本激光测距仪采用相位测量法，因此使用两颗激光发射头(内、外光路)，并由同一接收头接收激光的回波信号，通过内、外两路不同的激光信号相位差可推算出测距仪与物体之间的距离，当测距仪与物体之间距离较短时，内、外光路的相位差值较小，反之若物体较远时，内、外光路的相位差值会增加。相位计算需使用到快速傅里叶变换(FFT)，并使用多个不同频率对同一距离的待测物进行测量，才可取得准确的距离。

Layout 及硬件注意事项

图 9 及图 10 为主控板 PCB Layout 正反面图示。

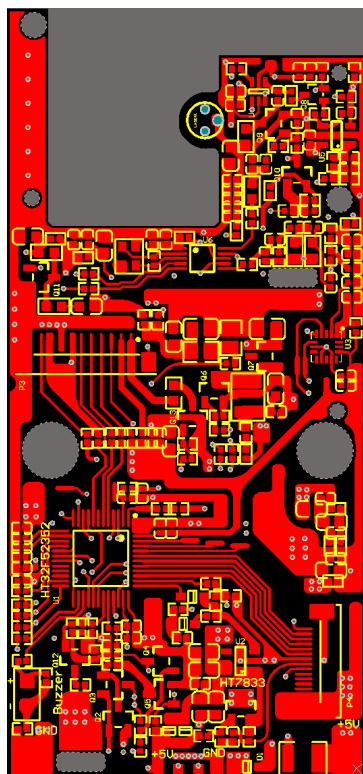


图 9. PCB Layout 正面

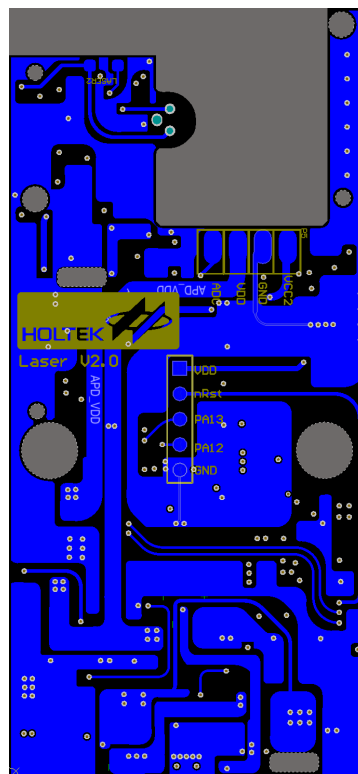
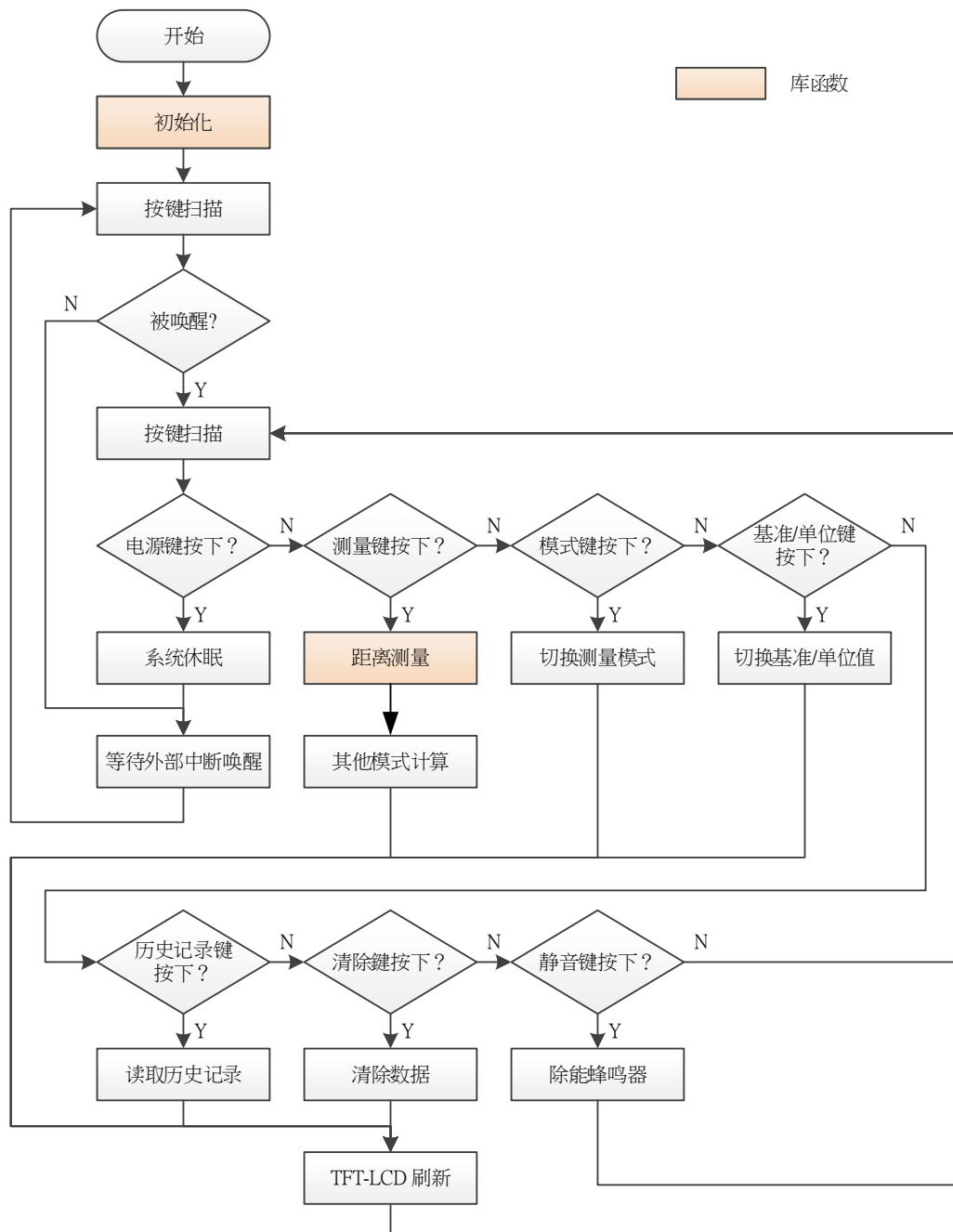


图 10. PCB Layout 反面

PCB BOM 表

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
Buzzer		B1	Buzzer	Buzzer	1
0.1nF	Capacitor	C1, C28, C44	0402_C	Cap	3
10uF	Capacitor	C2, C3, C4, C17, C33, C45	0603_C	Cap	8
0.1uF	Capacitor	C5, C14, C15	0603_C	Cap	3
0.1uF	Capacitor	C6, C8, C18, C19, C21, C2	0402_C	Cap	21
10pF	Capacitor	C7, C52, C54, C56	0402_C	Cap	4
2.2uF	Capacitor	C9, C72, C73, C74	0402_C	Cap	4
100pF	Capacitor	C10, C12	0402_C	Cap	2
10uF	Capacitor	C13, C16, C22	0402_C	Cap	3
E7	1 Amp General Purpose R	D1	SOD_323	Diode 1N4003	1
1N4148	1 Amp General Purpose R	D2, D3, D4, D5	SOD_323	Diode 1N4003	4
221	Inductor	L1	1210_L	Inductor	1
0.1nF	Capacitor	C60	0603_C	Cap	1
E7	1 Amp General Purpose R	D1	SOD_323	Diode 1N4003	1
1N4148	1 Amp General Purpose R	D2, D3, D4, D5	SOD_323	Diode 1N4003	4
221	Inductor	L1	1210_L	Inductor	1
USB	Header, 4-Pin	P1	USB_JUMP	Header 4	1
BAT	Header, 2-Pin	P2	HDR1X2	Header 2	1
LCD	Header, 10-Pin	P3	SMD-10	Header 10	1
KEY	Header, 14-Pin	P4	SMD-14	Header 14	1
與接收板的?	Header, 4-Pin	P5	SMD-4	Header 4	1
XTAL 27M	Header, 2-Pin, Dual row, f	P6	SMD-2520_4P	Header 2X2H	1
燒錄測試接?	Header, 5-Pin	P7	SMD-5	Header 5	1
AO3401		Q1, Q10	SOT23	PMOS	2
S8550	PNP General Purpose Am	Q2, Q3	SOT23	PNP	2
S8050	NPN General Purpose Am	Q4, Q5	SOT23	NPN	2
BSS131	N-Channel Power MOSFE	Q6	SOT23	NMOS	1
BAV99		Q7	SOT23	BAV99	1
S8050	NPN General Purpose Am	Q8	SOT23-1	NPN	1
BFR193	NPN General Purpose Am	Q9, Q11	SOT23	NPN	2
AO3400	N-Channel Power MOSFE	Q12, Q13	SOT23	NMOS	2
1K	Resistor	R1, R4, R6, R11, R17, R5	0402_R	Res2	7
5K6	Resistor	R2, R10, R55, R56	0402_R	Res2	4
0Ω	Resistor	R3, R13, R14, R36, R39, R	0402_R	Res2	7
8.2K	Resistor	R7	0402_R	Res2	1
30K	Resistor	R8	0402_R	Res2	1
2K7	Resistor	R9	0402_R	Res2	1
33K	Resistor	R12, R27, R65	0402_R	Res2	3
10Ω	Resistor	R15, R48, R71, R72, R93	0402_R	Res2	5
100Ω	Resistor	R16, R68, R85, R86	0402_R	Res2	4
10K	Resistor	R18, R42, R45, R60, R61	0402_R	Res2	8
18K	Resistor	R19	0402_R	Res2	1
4.7K	Resistor	R21, R87, R90, R96	0402_R	Res2	4
330	Resistor	R22	0402_R	Res2	1
4K7	Resistor	R23, R24	0402_R	Res2	2
100K	Resistor	R25, R26, R30, R59, R64	0402_R	Res2	5
2R00	Resistor	R28	1210_R	Res2	1
100R	Resistor	R29, R80	0402_R	Res2	2
0Ω	Resistor	R35, RB1, RB2, RB3, RB4	0402_L	Res2	10
70Ω	Resistor	R47	0402_R	Res2	1
39K	Resistor	R43	0402_R	Res2	1
33K	Resistor	R44	0805_R	Res2	1
3MΩ	Resistor	R45	0402_R	Res2	1
10Ω	Resistor	R92	0603_R	Res2	1
400nH	Resistor	RL1	0402_L	Res2	1
120nH	Inductor	RL4	0603_L	Inductor	1
HI32F52352		U1		HI32F52352	1
HT7833		U2	SOT23-5	HT7833	1
MMA8452	16QFN	U3	16QFN-5x3x5x3	MMA8452	1
SGM3157		U4	SOT23-6	SGM3157	1
C41BA		U5	SOT23-5	C41BA	1
SI5351A		U6	10MSOP	SI5351	1
Laser		內光路激光頭	SMD-3	Laser	1
Laser		外光路激光頭	SMD-3(1)	Laser	1

软件说明

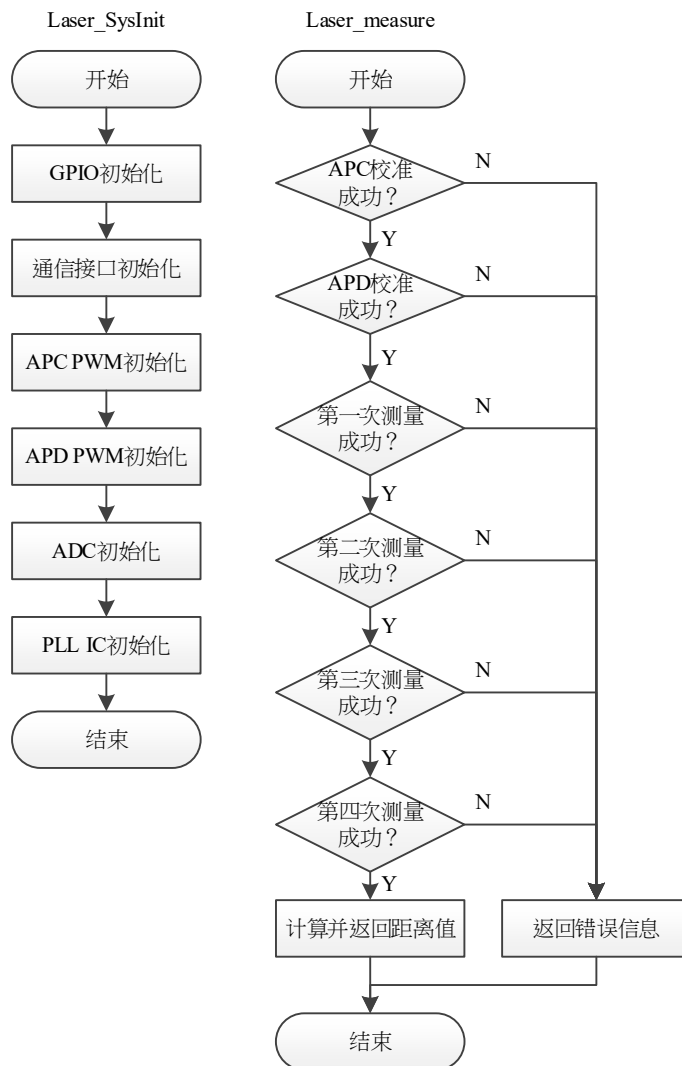


开机时系统先对周边功能进行初始化，包含测量会用到的 ADC、PDMA、PWM 等功能，测量相关的初始化可调用库函数(Laser_SysInit)协助完成。

激光测距仪最主要的功能为测量距离，需测量距离时可直接使用库函数(Laser_measure)，调用后函数回传的数据为距离，若测量过程发生错误，则回传的距离值为 0，并可读取到错误代码。

激光测距仪其他功能如面积、体积、一次勾股、二次勾股、垂直测量、水平测量等功能，则是先使用函数取得距离后，搭配加速度计所计算出的角度再进行计算取得。

库函数说明



库函数可完成 APC、APD 功率自动调整，并执行 ADC 采集回波信号，再将采集后的数据进行整理，通过 FFT 取得回波信号的相位，并计算出实际的距离，最后将计算结果回传，若计算过程发生错误，则回传的距离值为“0”，可通过错误代码(Err_Code)得知错误信息。距离数据也可搭配加速度计延伸出不同的测量模式，由加速度计可得知倾角，可延伸出一次勾股、二次勾股、垂直测量、水平测量等许多模式。

代码	错误原因
Err 261	超出测量距离
Err 501、502	APC、APD 初始化失败
Err 510	Si5351A 通讯失败
Err 520、521	ADC 采样错误

表 3

void Laser_SysInit(void)

功能：初始化测量需要的周边功能，GPIO、PWM、ADC、PDMA 等等。

输入：无。

输出：无。

float Laser_measure(void)

功能：测量距离。

输入：无。

输出：返回距离值(float)，距离值为“0”时，表示测量错误，“Err_code”可读取错误代码。

ErrStatus Trim_APD(void)

功能：自动调整 APD、APC 到合适的值。

输入：无。

输出：返回执行结果，“SUCCESS”表示成功，“ERROR”表示出错。

Laser_On

功能：启动激光。

输入：无。

输出：无。

Laser_Off

功能：关闭激光。

输入：无。

输出：无。

测试数据

测量误差数据

测试条件（方式）：使用连续测量模式，通过串口打印到 PC 端，记录连续 200 笔的测量结果。
由最大误差（测量值与实际值的最大差值）作为指标衡量精确度，同时相对误差（最大误差占平均值的百分比）以误差最大的一次测量做计算。

实际值(m)	测量均值(m)	最小值(m)	最大值(m)	最大误差(mm)	相对误差(%)
0.5	0.501	0.499	0.503	3	0.60%
1.0	1.000	0.998	1.002	2	0.20%
1.5	1.504	1.502	1.507	7	0.47%
2.0	1.999	1.997	2.002	3	0.15%
5.0	5.003	5.002	5.005	5	0.10%
10.0	10.002	9.998	10.006	6	0.06%
15.0	14.996	14.991	15.003	9	0.06%
20.0	20.003	19.994	20.011	11	0.06%

备注：考虑到每台样机安装的位置及内激光光程的不同，需要对样机进行实际距离的校准，校准效果越好，测量均值就会与实际值越接近。这里采用 0.2m、0.3m、0.4m、0.5m、0.6m、0.7m、0.8m 作为校准点，直接对测量结果进行差值补偿。

整机功耗测试

测试条件（方式）：电池电压选择 4.2V，测量距离选择 0.573 米左右，对主要耗电模块进行对比测试。

待机模式	3.0μA
开机模式(TFT OFF，无激光，Si5351A 不工作)	105mA
开机模式(TFT ON，无激光，Si5351A 不工作)	141mA
开机模式(TFT ON，有激光，Si5351A 不工作)	151mA
开机模式(TFT ON，有激光，Si5351A 工作)	157mA

方案对比

	Holtek 方案	行业方案
功能	距离测量、角度计算 (可延伸其他功能)	距离测量、角度计算 (可延伸其他功能)
性能	时间：<400ms/次 Flash：26.5KB SRAM：4.3KB	N/A
成本	Standard MCU + 激光驱动电路	Standard MCU + 激光驱动电路
其他	提供算法技术支持	N/A

结论

本文以 HT32F52352 主控 MCU，结合 Holtek 自行开发的算法完成激光测距仪方案。HT32F52352 提供高速的 ADC 捕捉功能，可满足激光信号的信号捕捉，并有效缩小相位计算时的误差；48MHz 核心速度，让激光测距仪在 500ms 可快速计算出物体距离。

参考资料

参考文件 HT32F52352 Datasheet。

如需进一步了解，敬请浏览 Holtek 官网 www.holtek.com.cn。

版本及修改信息

日期	作者	版本	修改信息
2020.07.31	黄楚灿	V1.10	- 整合 I²C 接口 - 修改相关硬件线路
2019.11.29	洪玮廷	V1.00	无

免责声明

本网页所载的所有数据、商标、图片、链接及其他数据等 (以下简称「数据」), 只供参考之用, 合泰半导体(中国)有限公司及其关联企业 (以下简称「本公司」) 将会随时更改资料, 并由本公司决定而不作另行通知。虽然本公司已尽力确保本网页的数据准确性, 但本公司并不保证该等数据均为准确无误。本公司不会对任何错误或遗漏承担责任。

本公司不会对任何人士使用本网页而引致任何损害 (包括但不限于计算机病毒、系统故障、数据损失) 承担任何赔偿。本网页可能会连结至其他机构所提供的网页, 但这些网页并不是由本公司所控制。本公司不对这些网页所显示的内容作出任何保证或承担任何责任。

责任限制

在任何情况下, 本公司并不须就任何人由于直接或间接进入或使用本网站, 并就此内容上或任何产品、信息或服务, 而招致的任何损失或损害负任何责任。

管辖法律

以本公司所在地法律为准据法, 并以本公司所在地法院为第一审管辖法院。

免责声明更新

本公司保留随时更新本免责声明的权利, 任何更改于本网站发布时, 立即生效。