

基于双定时器的自适应高精度频率测量算法

蒋淦华, 甘 仿, 吴阳健, 刘灏鑫

江西软件职业技术大学, 江西 南昌

收稿日期: 2022年6月18日; 录用日期: 2022年6月30日; 发布日期: 2022年7月12日

摘 要

本文基于职业本科培养高素质高层次技术技能人才要求, 以学科竞赛——蓝桥杯全国软件和信息技术专业人才大赛为导向, 赛教融合, 在对单片机类课程教学改革过程中, 分析历年蓝桥杯“单片机设计与开发”真题, 提出了信号频率测量方法——双定时器自适应高精度频率测量法。双定时器信号频率测量法避免了使用外部中断(频率测量法)频繁打断CPU运行的缺陷, 根据被测信号频率大小自适应选择双定时器测频法还是测周法, 提高信号在低频领域和高频领域的频率测量精度。

关键词

蓝桥杯, 单片机, 信号频率测量, 双定时器

Adaptive High Precision Frequency Measurement Algorithm Based on Double Timer

Ganhua Jiang, Fang Gan, Yangjian Wu, Haoxin Liu

Jiangxi University of Software Professional Technology, Nanchang Jiangxi

Received: Jun. 18th, 2022; accepted: Jun. 30th, 2022; published: Jul. 12th, 2022

Abstract

Based on the requirements of cultivating high-quality and high-level technical talents for vocational undergraduate education, guided by the discipline competition—Lanqiao Cup National Software and Information Technology Professional Talent Competition, and the integration of competition and teaching, this paper analyzes the real problem of “single chip microcomputer design and development” of the Lanqiao Cup over the years, and puts forward a signal frequency measurement method—Double timer adaptive high precision frequency measurement method. Double ti-

mer signal frequency measurement method avoids the defect of using external interrupt frequency measurement method to frequently interrupt CPU operation. According to the frequency size of the signal on the side, the double timer frequency measurement method or the cycle measurement method is adaptively selected to improve the frequency measurement accuracy of the signal in the low frequency field and high frequency field.

Keywords

Blue Bridge Cup, Single Chip Microcomputer, Signal Frequency Measurement, Double Timer

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2022年3月22日,中国高等教育学会高校竞赛评估与管理体系统研究工作组发布2021年全国普通高校毕业生竞赛排行榜中,蓝桥杯全国软件和信息技术专业人才大赛已经连续3年成功上榜,是高校教育教学改革和创新人才培养的重要竞赛项目,持续有力支撑综合测评、奖学金评定、升学考研、工作就业。

蓝桥杯大赛由工业和信息化部人才交流中心主办、面向全国高校大学生的IT类学科竞赛,坚持以“立足行业,突出实践,广泛参与,促进就业”为宗旨,围绕当前社会发展急需的信息技术专业重点领域,进行高校青年学子专业IT技能及创新能力的培养[1]。

竞赛项目“单片机设计与开发”是蓝桥杯的一项主要竞赛类别,主要考核参赛学生在规定5个小时内,利用掌握的电子技术、传感器技术、单片机控制技术等知识点,通过嵌入式C语言编程,实现单片机控制系统功能,是一项需要多门专业课知识交叉运用的学科竞赛,为后续学生参加全国大学生电子设计大赛打下坚实基础。

“信号频率的测量”是在第七届、第八届、第十届、第十三届蓝桥杯“单片机设计与开发”中多次出现的相关考核知识点,相关考核知识点主要是对单片机系统资源外部中断、定时器的灵活使用。本文使用蓝桥杯“单片机设计与开发”竞赛平台控制器(型号CT107D),分析了传统定时器和外部中断实现信号频率测量的优缺点,在此基础上提出了双定时器自适应高精度频率测量算法,解决使用外部中断频率测量法频繁打断CPU的缺陷,根据信号频率的大小自适应选择双定时器频率测量法[2][3]。

2. 频率测量方法原理

四种信号频率测量方法及其信号频率范围如表1所示。

Table 1. Adapted frequency of four methods of measurement
表 1. 四种测量方法适应频率

方法	频率范围
定时器和外部中断测频法(固定测量时间)	高频
定时器和外部中断测周法(固定测量个数)	低频
双定时器测频法(固定测量时间)	高频
双定时器测周法(固定测量个数)	低频

2.1. 定时器和外部中断测频法(固定测量时间)

外部中断引脚接被测频率信号，初始化外部中断方式为下降沿触发，固定定时器定时时间 T ，在 T 时间内记录外部中断脉冲个数 N 。根据频率定义，可以换算出被测信号频率值 f 为：

$$\frac{1S}{T} = \frac{f}{N} \quad (1)$$

本方法实现信号频率测量存在两个缺陷：

1) 启动定时器时间无法与外部脉冲信号边沿保证同步，理论上存在实际测量个数 N 与理论测量个数 M 会可能相差 ± 1 个脉冲。

$$|M - N| \leq 1 \quad (2)$$

利用软件冒泡排序算法降低启动定时器和外部脉冲信号无法同步带来测量误差。统计 n 次单位时间内脉冲个数 N_i ，冒泡排序后，求数据的平均值作为最终的脉冲个数 N 。

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \quad (3)$$

2) 外部中断响应程序会打断 CPU 正常运行，当被测信号频率越高时，产生外部中断的次数越多，频繁中断 CPU 的运行，会降低 CPU 运行效率，比如测量信号频率为 10 KHz，那么单位时间内 CPU 会响应外部中断 10000 次[4]。

本方法适用于高频率信号，频率越高，外部中断统计个数越多， ± 1 脉冲所产生误差越小。

2.2. 定时器和外部中断测周法(固定测量个数)

外部中断引脚接被测频率信号，初始化外部中断为下降沿触发。在外部中断检测到信号下降沿时，启动定时器，记录定时器时间 t_1 ，当检测到下一个下降沿时停止定时器，记录定时器时间 t_2 ，因此被测信号频率值 f 为：

$$f = \frac{1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

本方法实现信号频率测量存在的缺陷是：被测信号边沿无法保证与定时器内部时钟源保持同步，理论上存在定时器内部脉冲计数，可能会相差 ± 1 个脉冲。

本方法适用于低频率信号，当信号频率越低，定时器内部脉冲计数就越多，定时器所产生误差越小。

2.3. 双定时器测频法(固定测量时间)

双定时器测频法利用两个定时器，其中一个定时器用于定时；一个定时器用作计数，时钟源为被测信号。双定时器测频法工作原理以 STC15F2K60S2 单片机定时器 0 内部结构图 1 来分析[5]。

由图 1 所示， $C/\bar{T} = 1$ 为计数功能，时钟源为单片机 T_0 Pin 引脚外部信号； $C/\bar{T} = 0$ 为定时功能，时钟源为内部时钟。

工作原理：使用两个定时器，定时器 1 用于定时单位时间，定时器 0 用作计数器。启动定时器 1 的同时，将定时器 0 数据寄存器 TH_0 和 TL_0 清零，当定时器 1 达到单位时间时，此时 TH_0 和 TL_0 的值为被测信号频率 f 的数值：

$$f = TH_0 \ll 8 + TL_0 \quad (5)$$

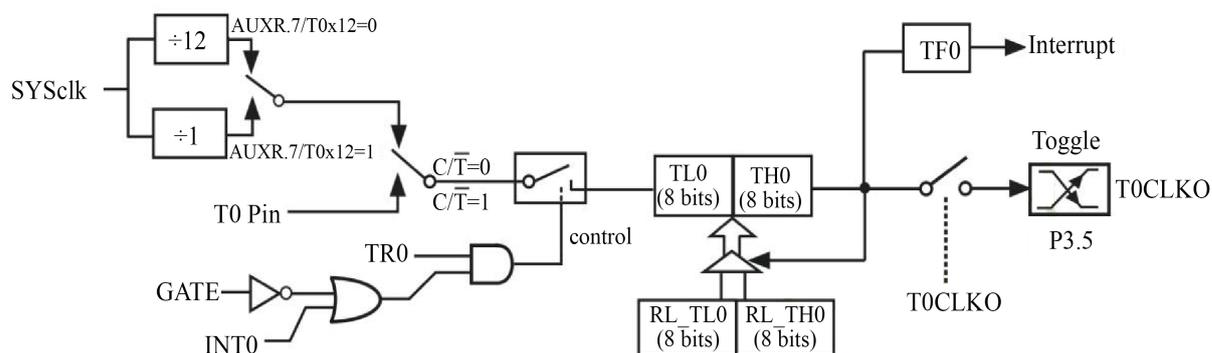


Figure 1. Internal structure block diagram of STC15F2K60S2 Timer 0

图 1. STC15F2K60S2 定时器 0 内部结构框图

双定时器测频法(固定测量时间)方法相对于外部中断测频法而言,最大的优点在于不用频繁打断 CPU 的正常运行,但是仍然存在定时器 1 和定时器 0 无法做到真正意义上的同步,可能会存在 ± 1 个脉冲数误差,适用于高频率信号,因为频率越高,定时器 0 统计外部脉冲个数越多,所产生误差越小。

2.4. 双定时器测周法(固定测量个数)

双定时器测频法(固定测量时间)适用于高频率信号,当被测信号频率越低时,定时器 0 统计个数越少,所产生误差越大。因此对于低频率被测信号,可采用双定时器测周法(固定测量脉冲个数) [6]。

如图 1 所示,当定时器 0 固定测量脉冲个数为 N 个时,计数器 TH_0 和 TL_0 的初值可以设为:

$$\begin{aligned} TH_0 &= (2^{16} - N) / 256 \\ TL_0 &= (2^{16} - N) \% 256 \end{aligned} \quad (6)$$

当定时器 0 计数溢出时,进入中断响应服务程序,计算定时器 1 在 N 个脉冲期间运行时间 T ,推算信号频率为:

$$f = \frac{N}{T} \quad (7)$$

本方法仍存在定时器 1 和定时器 0 无法做到真正意义上的同步,定时器内部时钟源计数可能会存在 ± 1 个脉冲数,适用于低频率信号,因为信号频率越低,定时器内部脉冲次数就越多,所产生误差越小。

3. 双定时器的自适应频率测量法

对于固定测量时间法,适用于被测信号为高频信号,可能的 ± 1 个脉冲数误差来自被测信号。对于固定测量个数法,适用于被测信号为低频信号,可能的 ± 1 个脉冲数误差来自定时器内部时钟源。

为了使得测量信号频率范围宽、测量精度高,在系统程序设计,应根据测量信号频率值实现双定时固定测量时间法和固定测量个数法自适应[7]。

如图 1 所示,假设系统主频为 12 MHz,定时器内部时钟源为系统主频 12 分频之后的 1 MHz,定时器时钟源周期为 1 μ s。

当被测信号频率为 1 KHz 以上时,采用固定测量时间法,在单位时间内,被测信号源 ± 1 脉冲误差个数带来最大误差 D 为:

$$D \leq \frac{1}{1000} \quad (8)$$

$$D \leq 0.1\%$$

当被测信号频率为 1 KHz 以下时, 采用固定测量个数法, 被测信号为 1 KHz, 周期为 1 ms, 对应定时器统计内部时钟源个数 C 为:

$$C = \frac{1 \text{ ms}}{1 \text{ us}} = 1000 \quad (9)$$

在被测信号一个周期内, 定时器内部时钟源 ± 1 脉冲误差个数带来最大误差 D 为:

$$D \leq \frac{1}{1000} \quad (10)$$

$$D \leq 0.1\%$$

综上所述, 假设定时器内部时钟源为 1 MHz 时, 系统采用双定时器自适应算法测量信号频率的最大误差为 0.1%, 自适应调整频率为 1 KHz。当信号频率大于 1 KHz 时, 采用固定测量时间法; 当信号频率小于 1 KHz 时, 采用固定测量个数法, 考虑到被测信号可能会在 1 KHz 频率时, 存在上下波动, 会造成双定时器自适应算法的反复切换, 因此在程序流程设计时, 需考虑加入迟滞特性。

4. 双定时器自适应测频程序流程图

微控制器 STC15F2K60S2 片上资源有 6 路定时器/计数器, 使用 2 路定时器完成信号频率的测量功能。定时器 1 作为定时单位时间, 使用内部时钟作为时钟源; 定时器 0 作为计数器, 使用被测信号作为时钟源, 双定时器自适应算法切换如图 2 所示。

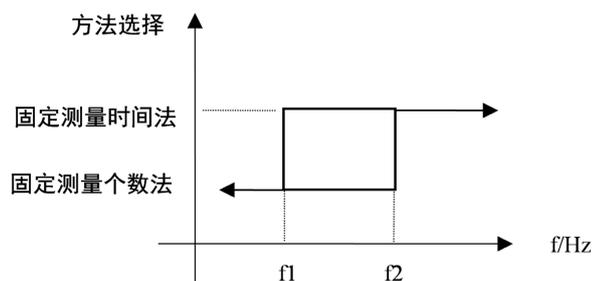


Figure 2. Adaptive algorithm switching
图 2. 自适应算法切换

如图 2 所示, 双定时器自适应算法切换加入了迟滞特性。程序中有两个频率阈值 f_2 , f_1 。当测量信号频率按增加的趋势, 且大于 f_2 时, 选择固定测量时间法; 信号测量频率按减小的趋势, 且小于 f_1 时, 选择固定测量个数法; 其他频率时刻, 频率测量方法保持原有不变。

$f_2 - f_1$ 称为回差频率, 其数值大小表示信号频率的抗干扰能力, 避免在临界频率比较时, 因信号频率不稳定, 而出现自适应算法的反复切换。阈值频率 f_1 , f_2 可以根据中心频率 $f_0 = 1 \text{ KHz}$, 来灵活取值。

如图 3 程序流程图所示, 系统上电时, 会对两个定时器进行初始化配置, 一个作为定时器, 一个作为计数器, 开机运行之时会默认选择固定测量时间算法, 然后开始信号频率测量, 当测量信号频率大于阈值频率 f_2 , 且趋势增加时, 切换到固定测量时间法; 当测量频率小于阈值 f_1 , 且趋势减少时, 切换固定测量个数法; 其他频率范围, 测量算法保持原有不变。

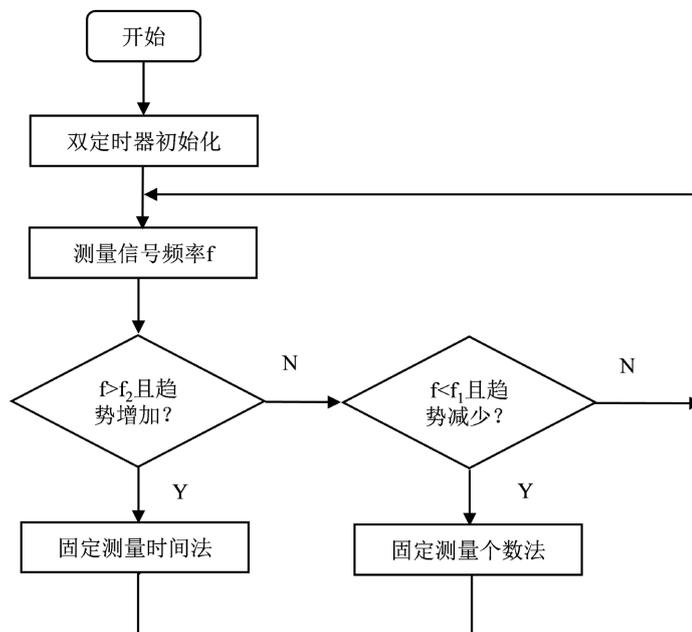


Figure 3. Flow chart of frequency measurement program
图 3. 频率测量程序流程图

5. 结束语

本文将蓝桥杯电子类“单片机设计与开发”学科竞赛知识点与课程教学融合一起，将竞赛知识点进行项目化改造，融赛入课，让学生在情景教学中感受竞赛氛围的同时，也掌握课程知识要点，培养学生思考问题的逻辑能力，也推动单片机类课程教学改革。

本文提取历年蓝桥杯电子类“单片机设计与开发”学科竞赛高频考点“信号频率测量”，提出了双定时器自适应高精度信号频率测量，利用单片机系统两大重要知识点：中断系统和定时器计数器系统，推动赛教融合，以达到提高教师教学能力，提升学生解决问题能力的目的。

基金项目

本文得到江西省教育厅科学技术研究重点项目(GJJ216402、GJJ216403)、江西省高等学校教学改革研究重点课题(JXJG-21-87-1)资助。

参考文献

- [1] 彭大海, 蒋水秀, 郭书军. “蓝桥杯”全国软件和信息技术专业人才大赛(电子类)实训指导书[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [2] 李彦秀. 基于 STC8A 系列单片机的高精度频率计设计[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(6): 125-126.
- [3] 张一获. 高速高精度频率测量技术的研究[J]. 电子质量, 2016(12): 1-3+35.
- [4] 潘宇. 基于 FPGA 和 STM32 的脉宽频率测量方法[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(2): 83-86.
- [5] 赵嘉怡, 李外云. 基于 STC 单片机的等精度频率测量[J]. 信息通信, 2016(3): 81-82.
- [6] 姜志健, 庄建军, 陈旭东, 赵之轩. 基于 FPGA 的高精度频率计的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2017, 40(5): 41-46.
- [7] 徐伟, 吴静, 杨阳, 袁振国, 王迪. 等精度信号参数测量仪设计[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(6): 100-104.