清 华 大 学

**综 合 论 文 训 练**

题目：基于时间数字转换的符合计数器（开题报告）

系 别：电子工程系

专 业：电子信息科学与技术

姓 名：宾光祥

指导教师：马晓红

2018 年 1 月 4 日

中文摘要

量子通信的安全性高且传输效率高，在近二十年间快速发展。得益于光学仪器和单光子探测器的制造工艺提升，我们能够在实验室内完成与量子通信有关的许多量子光学实验。符合计数器作为测量光子时间相关性的仪器，在这些实验中起到了重要的作用。但市面上的符合计数器普遍价格昂贵，并且操作复杂。为此本文实现了一种基于FPGA的双通道符合计数器，并设计了测试系统，在保证符合计数功能的前提下，降低了仪器成本。

符合计数器电路在ZedBoard上实现，通过Pmod标准接口输入。为了提高符合计数器的精度，设计采用了时间内插技术，利用FPGA内部的进位链作为延时单元，搭建了800位的进位链，使用频率为100MHz的时钟信号锁存。为了消除进位链锁存结果中的一阶和二阶气泡现象，采用了4输入NAND门的整形电路。之后采用基于ROM结构的温度计码到二进制码的编码器，节约了逻辑资源并缩短了编码时间。粗计数模块为减少亚稳态影响采用了双时钟计数的方法。针对实验特定的输入波形和时钟信号的关系，使用了简化的符合计数判定模块，利用粗计数和细计数结果计算并统计符合值。最后设置了合适的计数时间，顺利地显示结果。

在测试时首先搭建了马赫增德尔干涉仪和二阶相干度测试光路，测得光子产生频率为10kHz。之后使用延时信号发生器分别生成10kHz的时钟信号和外部信号，测量进位链和编码模块，获得的精度为16ps。分别生成单路和双路信号测试了单光子计数和符合计数功能，最后得到符合计数的精度在200ps。

**关键词：**FPGA；符合计数器；时间数字转换器；进位链

ABSTRACT

Quantum communication has been developing rapidly due to its high security and transmission efficiency in the past two decades. Thanks to the improved manufacturing process of optical instrument and single photon detectors, we’re now able to perform many quantum optical experiments related to quantum communication in the laboratory. As an instrument for measuring the time correlation between photons, the coincidence counters play an important role in these experiments. However, most coincidence counters in the market are very expensive and hard to operate. Thus, in this paper, an FPGA-based dual-channel coincidence counter is designed along with a test system to reduce the cost while ensuring that he counting function is satisfied.

The circuit is implemented on the ZedBoard with input via the Pmod standard interface. In order to improve the resolution time of the counter, we use the time interpolation method. Specifically, we use the carry chain in FPGA as delay and build an 800-bit carry chain. The signal on the chain is latched by a clock with frequency 100MHz. To eliminate the first and second order bubbles in latched results, a 4-input NAND gate shaping circuit is used. Then the use of ROM-based thermometer-to-binary encoder help us saving the logic resources and shorten the coding time. The coarse counting module uses an invert clock to reduce metastable effects. Based in the relationship between the input signal width and the period of the board, a simplified count module is made. The time delay is calculated according to the coarse and fine counting result. The result of coincidence counting is displayed successfully because of the appropriate count time.

During the test, we first set up the Mach-Zehnder interferometer and the g(2) test system and know the photon generate frequency is 10kHz. After that the delay signal generator provides clock signal and external signal with 10kHz, it’s shown that the accuracy of carry chain and coding module is 16ps. Finally single and dual signal are generate respectively to test the single photon count function and coincidence count function, the final time resolution of this FPGA-based coincidence counter is about 200ps.

**Keywords:** FPGA; coincidence counter; time digital convertor; carry chain

目 录

[第1章 引言 3](#_Toc502842980)

[1.1 研究背景 3](#_Toc502842981)

[1.2 18](#_Toc502842982)

第1章 引言

1.1 研究背景

核物理学家为了寻找一对时间上和空间上都高度相关的粒子，就需要在相同的空间位置上测量二者到达的时间间隔，若两个粒子的时间差小于某个阈值则视为符合，将符合的粒子对数计数，这一过程就叫做符合计数，完成这一过程的仪器叫做符合计数器。早在1924年，Walther Bothe和Hans Geiger设计出精度为1ms的符合计数器，从而验证了康普顿散射遵循能量守恒定律[1]，鉴于符合计数器对宇宙射线、量子力学和超声波研究的推动作用，Bothe得到了1954年诺贝尔物理学奖。

19世纪末至20世纪初，由于经典力学与经典电磁学理论无法很好的描述粒子尺度的物理现象，物理学家们创立了量子力学，经过不断的完善量子力学成为近代物理学探究微观世界的主要工具。其中的量子纠缠是指两个粒子相互高度影响，其中任意一个粒子的状态受到外界测量的干扰都会破坏这个纠缠态。这一性质意味着使用纠缠粒子传输信息时，任何窃听信道的行为都会被识别出。基于这一想法，Charles Bennett和Gilles Brassard在1984年提出了量子秘钥分配标准BB84[2]。

信息论最早由香农提出，运用概率与统计的知识将抽象的不可测的信息量和可计算的熵之间架起了桥梁，是现如今生活中各种通信系统的理论基础。量子通信利用量子纠缠效应，将信息论与量子力学知识相结合，相比传统通信方式，量子通信所使用的量子秘钥分配技术具有极高的安全性和传输效率。近十年间随着个人信息泄露的事件不断发生，信息安全的重要性日益提升，因此量子通信被人们广泛看好并有可能在未来成为人们生活中重要的通信方式。

在选择量子通信的载体时人们发现光子作为一种静止质量为零的玻色子，自身状态不易改变，可以经受在信道中的长期传输而极少产生误码，同时作为电磁波，已有的通信领域的调制、传播和解调等技术能很好地应用在光子上。因此用光子作为通信粒子成为量子通信的主要方向，主要的研究方法即为光量子实验。在实验中利用量子纠缠效应产生的一对光子就需要进行符合测量，用到的就是符合计数器。

## 1.2 研究现状