

学校编码: 10384

分类号\_\_密级\_\_

学 号: 23120061152502

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

多脉冲游标扩时测距算法及其  
应用设计研究

Research on Multi-pulse Ranging Algorithm and its Application  
Based on Time-domain Expansion with Vernier Principle

房永强

指导教师姓名: 郭东辉 教授

专业名称: 电路与系统

论文提交日期: 2009 年 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘 要

随着近代光学、电子学的发展和各种新型光源（激光、红外光等）相继出现，基于电磁波测距技术的非接触测量方式取得了飞速发展。相对人工测量，电磁波测距技术的优势体现在：操作简便，精确度高，实时测量速度快，安全性好并且可以适应恶劣的测量环境，因此已逐渐成为国内外的研究热点，促进了人们对电子测时技术、信号调制技术、时刻鉴别技术以及高稳定度频率源等领域的深入研究。

本论文主要围绕脉冲测距技术的理论及其应用展开研究。论文首先介绍并对比了电磁波测距的主要方式，其中微波测距方式具有良好的环境适应性和稳定的测量性能，较适合于工业生产中的物位检测，具有良好的应用前景。而后重点研究高精度时间间隔测量技术，并提出了一种基于游标扩时原理的多脉冲测距算法。在此基础上，针对非接触式的短程物位测量领域，进而研究了一种基于游标扩时和相关检测的微波脉冲调制测距算法，并结合计算机仿真技术加以验证。最后将多脉冲游标扩时测距算法实际应用于网线电缆长度测量。

本论文的创新点与主要工作体现在以下几方面：

(1) 提出一种多脉冲游标扩时测距算法，利用两个时钟信号的微小周期差内插扩展脉冲传输时间以提高测时精度，从而确保高精度的距离测量。在此基础上，进一步研究了一种基于游标扩时和相关检测的微波脉冲调制测距算法，并利用ADS软件对算法的理论实现进行了仿真验证。

(2) 对时间间隔测量技术中，游标内插法的时钟频率稳定度进行了有益探讨，得出了在满足一定测时误差要求的情况下，确定时钟频率稳定度的理论依据。

(3) 设计了一种测量标准5类UTP网线电缆长度的装置，即通过双绞线传输电波脉冲，利用多脉冲游标扩时测距算法原理测量该信号在双绞线上的传播时间，经单片机运算处理后换算为距离并显示。

**关键词：**游标扩时；多脉冲测距；微波调制；相关检测；网线测量

---

## ABSTRACT

With the development of optronics and electronics and the advent of varied novel light sources(laser、infrared light, etc) in the modern times, noncontact measurement based on electromagnetic distance measuring technique has acquired rapid development. Compared with artificial measurement, the advantages of electromagnetic distance measuring technique are as follows: simplicity of operation, high accuracy, real-time rapid measurement, safety and adapt to the rugged measuring surrounding. So it has gradually become hot spot of research in worldwide, which promotes further study in the fields of time interval measurement, signal modulation, time discrimination technique and high stability of frequency source.

The main work of this thesis is focuses on pulse ranging technology and its application. Firstly, this thesis presents the main ways of electromagnetic distance measurement. By means of comparative analysis, microwave ranging technique has good performance with environmental adaptability and stability, so that it's suitable for level measurement in industry and has good application prospects. Afterwards, we focus on the time interval measuring technique of high precision, and then introduce a novel multi-pulse ranging algorithm based on time-domain expansion with vernier principle. According to level measurement of non-contact and short distance, a microwave pulse modulation ranging algorithm, which is based on time-domain expansion with vernier principle and the method of cross correlation, is proposed. Furthermore, it's also verified by computer simulation. Finally, multi-pulse ranging algorithm based on time-domain expansion with vernier principle is practically applied to measure lengths of network cables.

The innovations and the characteristics of this thesis are as follows:

(1) Multi-pulse ranging algorithm based on time-domain expanding technique with vernier principle has been presented, the thought of which is based on the tiny difference between the periods of two clocks. The time interval between transmitted pulse and received pulse was interpolatively expanded to improve the accuracy of time measurement, so that distance measurement of high precision can be achieved. Furthermore, the microwave pulse modulation ranging algorithm based on the time-domain expanding technique with vernier and the cross correlation method is proposed, which has been simulated and verified by ADS.

(2) As to the time interval measurement technology, frequency stability of clock signal in vernier interpolation method has become an issue of concern, and the theoretical equation to determine the frequency stability of clock signal is obtained with the certain measurement error in time-domain.

(3) An equipment to measure length of standard 5- species UTP network cables has been adopted. Pulse electric wave is transfered by twisted-pair, and the multi-pulse ranging algorithm based on time-domain expansion with vernier principle has been used to measure the travel time, and then the distance value is computed by MCU.

**Key Words:** Time-domain Expansion with Vernier Principle; Multi-Pulse Ranging; Microwave Modelation; Cross Correlation; Measuring of Network Cable

# 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 电磁波测距方式的比较 .....	2
1.3 关键技术及其研究现状 .....	4
1.3.1 时间间隔测量技术.....	4
1.3.2 信号调制及时刻鉴别技术.....	5
1.4 论文工作及章节安排 .....	6
<b>第二章 时间间隔测量技术</b> .....	<b>7</b>
2.1 时钟计数法 .....	7
2.2 内插扩展原理 .....	8
2.3 高精度模拟测时方法 .....	9
2.3.1 模拟内插法.....	9
2.3.2 时间-幅度转换法.....	10
2.4 高精度数字测时方法 .....	11
2.4.1 延迟线内插法.....	11
2.4.2 游标内插法.....	12
2.5 本章小结 .....	14
<b>第三章 多脉冲游标扩时测距算法研究</b> .....	<b>15</b>
3.1 脉冲法测距 .....	15
3.2 多脉冲游标扩时测距算法原理 .....	16
3.2.1 原理分析.....	16
3.2.2 时钟频率稳定度的探讨.....	18
3.2.3 距离模糊的探讨.....	19
3.3 时间测量模块设计 .....	21
3.3.1 时钟形成单元.....	21
3.3.2 时间间隔测量单元.....	23

---

3.4 本章小结 .....	25
<b>第四章 基于游标扩时和相关检测的微波测距算法 .....</b>	<b>26</b>
4.1 微波脉冲调制原理 .....	26
4.2 基于游标扩时和相关检测的微波测距算法 .....	27
4.2.1 微波脉冲调制波形 .....	27
4.2.2 相关检测 .....	28
4.2.3 测距原理分析 .....	29
4.3 测距系统主要结构设计 .....	32
4.3.1 射频前端收/发单元 .....	32
4.3.2 相关时钟控制单元 .....	33
4.3.3 信号处理单元 .....	33
4.4 信号处理单元仿真分析 .....	34
4.4.1 ADS 简介 .....	35
4.4.2 仿真分析 .....	35
4.5 本章小结 .....	38
<b>第五章 基于多脉冲游标扩时测距算法的网线电缆测量 .....</b>	<b>39</b>
5.1 网线测距硬件电路设计 .....	39
5.1.1 脉冲信号收发电路 .....	40
5.1.2 时间测量电路 .....	40
5.1.3 单片机控制模块 .....	41
5.1.4 按键及液晶显示 .....	42
5.2 单片机软件开发 .....	44
5.2.1 HT-IDE3000 集成开发环境 .....	44
5.2.2 程序设计 .....	46
5.3 实验测试及结果分析 .....	47
5.4 本章小结 .....	49
<b>第六章 工作总结与展望 .....</b>	<b>50</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>52</b>



附录.....	56
硕士期间发表的论文 .....	64
致谢.....	65

厦门大学博硕士论文摘要库

---

# CONTENTS

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background of the Researchs.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Comparison of Electromagnetic Distance Measuring Method.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Key Technology and Research Status.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Time Interval Measuring Technology .....	4
1.3.2 Signal Modulation and Technology of Time Discrimination .....	5
<b>1.4 Synopsis of Work Contents and Arrangement of this Thesis.....</b>	<b>6</b>
<b>Chapter 2 Time Interval Measuring Technology .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Clock Counting Method .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Interpolation Measuring Principle.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 High Precision Measuring Based on the Analog Method.....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Analog Interpolation .....	9
2.3.2 Time-Voltage Amplitude Conversion.....	10
<b>2.4 High Precision Measuring Based on the Digital Method .....</b>	<b>11</b>
2.4.1 Delay Line Interpolation .....	11
2.4.2 Vernier Interpolation.....	12
<b>2.5 Section Conclusion .....</b>	<b>14</b>
<b>Chapter 3 Research on Multi-pulse Ranging Algorithm Based on Time-domain Expansion with Vernier Principle.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Pulse Ranging Method.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Multi-pulse Ranging Algorithm Based on Time-domain Expansion with Vernier Principle.....</b>	<b>.....</b>
3.2.1 Principle Analysis .....	16
3.2.2 Discussion of Clock Frequency Stability .....	18
3.2.3 Discussion of Range Ambiguity .....	19
<b>3.3 Design of Time Measuring Module .....</b>	<b>21</b>

3.3.1 Clock Forming Unit .....	21
3.3.2 Time Interval Measuring Unit.....	23
<b>3.4 Section Conclusion .....</b>	<b>25</b>
<b>Chapter 4 Microwave Ranging Algorithm Based on Time-domain Expansion with Vernier and Cross Correlation Principle .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Fundamental Principle of Microwave Pulse Modulation.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Microwave Ranging Algorithm Based on Time-domain Expansion with Vernier and Cross Correlation Principle .....</b>	<b>27</b>
4.2.1 Waveform of Microwave Pulse Modulation.....	27
4.2.2 Cross Correlation Principle.....	28
4.2.3 Analysis of Ranging Principle .....	29
<b>4.3 Design of the Main Structure of Microwave Ranging System .....</b>	<b>32</b>
4.3.1 Transmit and Receive RF Front-end Unit.....	32
4.3.2 Relative Clock Signal Controlling Unit.....	33
4.3.3 Signal Processing Unit.....	33
<b>4.4 Simulation Analysis of the Signal Processing Unit .....</b>	<b>34</b>
4.4.1 Introduction of ADS.....	35
4.4.2 Simulation and Analysis .....	35
<b>4.5 Section Conclusion .....</b>	<b>38</b>
<b>Chapter 5 Measuring of Network Cables by the Multi-pulse Ranging Algorithm Based on Time-domain Expansion with Vernier Principle .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Hardware Design of Network Cables Ranging Circuit .....</b>	<b>39</b>
5.1.1 Ttransceiver Circuit of Pulsed Eelectric Wave .....	40
5.1.2 Time Interval Measuring Circuit.....	40
5.1.3 MCU Controlling Module.....	41
5.1.4 Button and LCD Module .....	42
<b>5.2 MCU Software Design .....</b>	<b>44</b>
5.2.1 Hotelk Integrated Development Environment 3000 .....	44
5.2.2 Program Design .....	46

---

5.3 Experimental Results and Analysis .....	47
5.4 Section Conclusion .....	49
Chapter 6 Summary and Prospect .....	50
References .....	52
Appendix.....	56
Published and Accepted Paper List.....	64
Acknowledgements .....	65

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景及意义

早期的人工测量距离，通常是采用量尺或视距测量的方法，但其存在测量速度慢、耗费人力、存在视觉差等主要问题从而影响着测量精度，并且不适用于一些恶劣的测量环境。20世纪40年代起随着光学、电子学的发展，基于电磁波测距技术的非接触测量方式取得了飞速发展，出现了以激光、红外光和其他光源为载波的光电测距方式和以微波为载波的微波测距方式[1]。相比于人工测量，电磁波测距技术的优势体现在[2]：操作简便，精确度高，实时测量速度快，安全性好并且可以应用于不利的测量环境，因此逐渐成为国内外的研究热点，促进了人们对电子测时技术、信号调制技术、时刻鉴别技术以及高稳定度频率源等领域的深入研究。

电磁波测距根据载波为光波或微波主要分为光电测距和微波测距，前者又因光源和电子部件的改进，发展成为激光测距和红外测距。实际应用中对于不同的测量领域，要根据性能要求，环境适应性和硬件成本等因素综合考虑，选择最佳的测距方式。电磁波测距发射信号的形式主要有脉冲调制方式和连续波调制方式[3]。对于经常需要进行高精度短程测量的工业生产、民用建筑这类特定的应用领域，出于要求测距仪能长时间在线工作的考虑，发射信号通常采用脉冲调制方式，以降低功耗，并且与连续波调制方式相比，脉冲式测距在信号处理上通常可以省去进行频谱分析时复杂的傅立叶运算，实现复杂度较低，测距系统的成本也相应降低[4]。但由于电磁波传播速度接近光速，近距离传输时相应的时间间隔很短，采用一般的测量方法很难直接进行时间量的检测[5]，因此有必要从高精度的时间间隔测量方法及相应的信号处理技术上寻求解决途径。

本论文主要围绕脉冲测距技术的理论及其应用展开研究。论文首先介绍并对比了电磁波测距的主要方式，其中微波测距方式具有良好的环境适应性和稳定的测量性能，较适合于工业生产中的物位检测，具有良好的应用前景。而后深入分析现有的高精度时间间隔测量技术，并提出了一种基于游标扩时原理的多脉冲测距算法。在此基础上，针对非接触式的短程物位测量领域，进而研究了一种基于

游标扩时和相关检测的微波脉冲制测距算法，并结合计算机仿真技术加以验证。最后将多脉冲游标扩时测距算法实际应用于网线电缆长度测量。

## 1.2 电磁波测距方式的比较

电磁波测距根据载波为光波或微波主要分为光电测距和微波测距，前者又因光源和电子部件的改进，发展成为激光测距和红外测距。虽然不同测距方式的工作原理和信号处理过程有所区别，但它们的基本思路都是通过对目标返回的回波信息进行分析，以获得源与目标的相对距离。下面对这些测距方式进行介绍和比较。

### 一、 激光测距

激光具有单色性和相干性好、方向性强等特点。自从1948年瑞典AGA公司制成第一台光电测距仪后[3]，测距技术开始从光学测视差角和基线转入到光电测距的阶段，并且随着电子技术的高速发展，激光测距仪不断改进，现在已经达到了相当完善的程度。脉冲激光测距是利用激光脉冲持续时间极短，能量在时间上相对集中、瞬时功率很大的特点，在有合作目标的情况下，脉冲激光测距可以达到极远的测程。目前卫星大地测量中用于测量月球和人造卫星的激光测距仪，就是采用脉冲测距法，此外激光测距在很多领域也得到了广泛的应用[6-9]。

激光测距具有抗电磁干扰的优点，但其光学系统结构复杂，工作时受天气和大气影响大。激光一般在晴朗天气里衰减较小，传播距离较远，而在大雨、浓烟、浓雾等恶劣环境里，衰减急剧加大，传播距离大受影响。另外，大气环流还会使激光光束发生畸变、抖动，直接影响激光测距时刻鉴别的精度[10]。

### 二、 红外测距

红外线是一种波长比可见光长，肉眼看不见的光，有显著的热效应和较强的穿透云雾的能力。红外线测距是用调制的红外光来进行精密测距[11-13]，通过发射并接收目标物体反射回的红外线来计算时间差，并依据信号的强弱及波长的不同分析出待测目标与信源的距离及其性质，测距范围通常在几十米到百米，是一种中短距离的测距技术。由于人类肉眼感知不到红外线，因而相对于激光，具有较强的隐蔽性。红外线测距在技术上难度不大，构成的测距系统成本低廉，但是

在恶劣的天气环境和长距离探测方面不够理想。

### 三、微波测距

微波是指波长在0.1mm~1000mm、频率在300MHz~3000GHz范围内的电磁波。微波测距是利用微波作为载波进行精密测距，其操作简便，测距精度较高，测程可达10公里以上。微波测距具有以下突出优点[14][15]：（1）稳定的测量性能，其测量性能不受被测物体表面形状、颜色等的影响；（2）良好的环境适应性，微波的穿透能力很强，其测距精度受雨、雪、雾及阳光等天气因素和杂音、污染等环境的影响较小，可以适应各种天气变化；（3）不仅可以测量距离，还可以测量目标物体的相对速度及方位角等参数。

对上述电磁波测距方式在技术性能上进行综合比较，如表1.1所示。

表1.1 电磁波测距方式技术性能的比较

	激光	红外线	微波
测量距离	远	一般	远
硬件成本	高	低	一般
温度稳定性	高	一般	高
恶劣天气适应性	差	差	强
湿度/粉尘等影响	大	大	小

从表中可以看出，激光和红外线方式容易受到天气和环境等干扰的影响，而在这种不利的测量环境下，微波测量就表现出更大的优越性[16]，主要体现在微波具有稳定的测量性能和良好的环境适应性，受雨、雪、雾的干扰小，可以适应各种天气变化。同时，微波测距系统不仅可以测量目标距离，而且还可以测量目标物体的相对速度及方位角等参数。此外，在相同测量条件下，使用微波工作，能使电路元件尺寸更小，从而使测距系统小型化。

而在工业生产中储料的物位测量，包括液位、料位和界面等[17][18]，通常是处于高温、高压、易燃易爆、腐蚀性较强等不利的测量环境，要求测距系统具有良好的环境适应性，并且测量装置的体积应尽可能小以便于安装。在这种情况下，当考虑采用非接触测量方式时，更适宜选择微波测距方式。

### 1.3 关键技术及其研究现状

脉冲测距技术是以电磁波作为载体,通常采用直接发射或载波脉冲调制的形式。对于直接脉冲发射方式,实现的关键在于精确测量收发脉冲的时间间隔和相应的时刻鉴别方法[19]。而对于采用载波脉冲调制方式,实现的关键还在于信号的波形调制及相应的信号处理技术[20],以实现准确鉴别发射与接收时刻的目的。

#### 1.3.1 时间间隔测量技术

在电子技术领域内,时间间隔测量是非常重要的测量技术。1983年国际计量大会重新定义1米为真空中平面电磁波在299792458分之一秒内行程的长度,因此时间单位的定义影响着其它六个国际单位的基准定义,是测量许多其它物理量的基础,如伽利略测量光速的实验就是现代激光测距的雏形[21]。

时间间隔测量最基本的方法是时钟计数法,其原理上存在最大为一个参考时钟周期的量化误差(也称 $\pm 1$ 误差)[22]。提高时钟计数法测时分辨力最直接的方式是提高时钟频率,但这受器件工作速度、系统功耗等因素限制。例如,当要求1ns的测量精度时,时钟频率需要提高到1GHz,此时一般的计数器芯片很难正常工作,同时也会带来电路板的布线、材料选择以及加工等诸多问题,因此该方法不适合于短时间间隔的测量。在时钟计数法基础上引入内插测量技术是提高时间分辨力的有效手段[23],其基本思想是把产生 $\pm 1$ 误差的两个“零头时间”提取出来并进行测量,但由于两个“零头时间”宽度上都小于时标信号的周期,不可能直接测量,因此采用内插扩展技术先将它们展宽N倍,然后再由计数法进行测量。内插法本质上并非消除量化误差,而是在不增加计数时钟频率的情况下,将误差减小若干倍,从而使测时分辨力大大提高。实践证明该解决途径是切实可行的,并且取得了大量的研究成果[24],如模拟内插、延迟线内插和游标内插。还有一类从根本上克服时钟计数原理误差的方法,即对前、后沿的量化误差进行转换,通过测量电压、相位等其它的物理量达到测量时间的目的[25]。这些测时方法的应用使得短时间间隔的测量精度大大提高。

军用脉冲激光测距仪、远程雷达的定位检测,汽车防撞的测距雷达以及卫星



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库