

分类号: TP273
密 级:

单位代码: 10422
学 号: 200912746



山东大学

硕士学位论文

论文题目: 基于UWB的PLUS跟踪定位系统软件
设计与研究

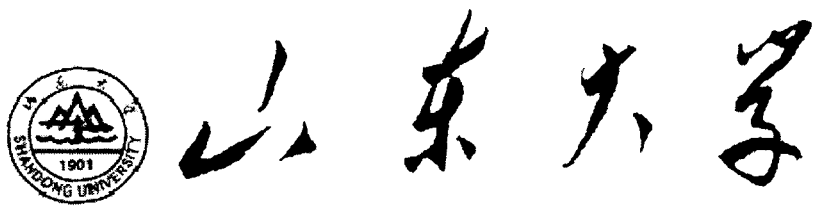
Software Design and Research of PLUS Tracking
and Locating System Based on UWB Technology

作者姓名	薛冰
学院名称	控制科学与工程学院
专业名称	控制科学与工程
指导教师	张焕水 教授
合作导师	

2012 年 5 月 10 日

分类号：TP273
密 级：

单位代码：10422
学 号：200912746



硕 士 学 位 论 文

论文题目：基于 UWB 的 PLUS 跟踪定位系统软件设计与研究
Software Design and Research of PLUS Tracking
and Locating System Based on UWB Technology

作 者 姓 名	薛 冰
学 院 名 称	控制科学与工程学院
专 业 名 称	控制科学与工程
指 导 教 师	张 俊 宇
合 作 导 师	

2012 年 5 月 10 日

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：薛冰 日期：2012年5月10日

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：薛冰 导师签名：王 日期：2012年5月10日

目录

摘 要	i
ABSTRACT	iii
第一章 绪论	1
1.1 课题研究的背景和意义	1
1.2 UWB 技术概述	2
1.2.1 定义	2
1.2.2 技术特点	2
1.2.3 UWB 技术应用现状	3
1.2.4 UWB 技术国内外研究现状	4
1.3 研究内容和组织结构	6
第二章 PLUS 跟踪定位系统设计	7
2.1 PLUS 跟踪定位系统定位方式选择	7
2.1.1 各种定位方式分析	7
2.1.2 定位方式选择	7
2.2 PLUS 跟踪定位平台硬件架构	8
2.2.1 硬件组成	8
2.2.2 系统原理结构	12
2.3 上位机软件系统总体设计	13
2.3.1 软件系统需求分析	13
2.3.2 软件系统组成	14
2.3.3 软件系统编程环境及编程语言	15
2.4 本章小结	16
第三章 UWB 定位系统理论基础	17
3.1 无线定位技术	17
3.1.1 无线定位概述	17
3.1.2 定位的基本方法	19
3.2 TDOA 定位算法研究	21
3.2.1 TDOA 双曲线模型	22
3.2.2 具有解析表达式解的算法	23

3.3 提高定位精度的定位算法研究	24
3.3.1 系统模型	26
3.3.2 信息融合算法	28
3.3.3 仿真结果	30
3.3.4 本章小结	31
第四章 PLUS 跟踪定位软件子系统的设计	33
4.1 软件体系	33
4.2 系统配置模块	34
4.2.1 读取 trackerconfig.txt 文件	36
4.2.2 读取 visualizerconfig.txt 文件	36
4.2.3 保存和读取配置文件	37
4.2.4 函数接口	38
4.3 数据源选取模块	38
4.3.1 从日志文件中读取数据	38
4.3.2 从 IP 地址读取数据	40
4.3.3 函数接口	41
4.4 跟踪标签模块	41
4.4.1 跟踪标签	41
4.4.2 跟踪器 Tracker 介绍	42
4.4.3 多线程同步共享资源编程	43
4.4.4 函数接口	45
4.5 网络通讯	45
4.5.1 IP 地址配置	45
4.5.2 网络通信过程	46
4.6 数据处理	46
4.6.1 获取并显示 TOA 信息数据	46
4.6.2 计算并显示位置数据	47
4.6.3 输出 TOA 数据	47
4.6.4 函数接口	48
4.7 复位	49

4.8 程序运行结果及数据分析	49
4.9 本章小结	50
第五章 PLUS 平台上位机界面设计	51
5.1 Windows 窗体设计器简介	51
5.1.1 控制 Windows 窗体应用程序	51
5.1.2 使用窗体属性影响窗体性态	51
5.1.3 为窗体添加控件	51
5.1.4 管理控件的位置和大小	52
5.1.5 用户输入与反馈	52
5.1.6 使用委托和事件处理	52
5.1.7 Windows 图形设备接口 GDI+	53
5.2 主控界面总体设计	53
5.3 菜单栏	55
5.4 工具栏	56
5.5 状态栏	57
5.6 跟踪区域	57
5.6.1 使用 GDI+绘制跟踪区域	57
5.6.2 窗体载入	57
5.6.3 绘制跟踪区域	58
5.6.4 泛型	59
5.7 标签栏	60
5.7.1 标签栏显示	60
5.7.2 标签信息读取	60
5.7.3 数据库操作	60
5.8 报警栏	61
5.9 跟踪效果显示	61
5.10 本章小结	62
第六章 总结与展望	63
参考文献	65

CONTENTS

Chinese Abstract..... i

English Abstract..... iii

Chapter 1 Introduction 1

1.1 Background and importance of the project..... 1

1.2 Overview of UWB technology 2

1.2.1 Definition..... 2

1.2.2 Technical characteristics..... 2

1.2.3 Status of UWB technology 3

1.2.4 Demostic and overseas status of research and development 4

1.3 Research contents and architechture..... 6

Chapter 2 Design of PLUS tracking and locating system 7

2.1 Selection of locating methods in PLUS system 7

2.1.1 Analysis of different locating methods..... 7

2.1.2 Selection of locating methods 7

2.2 Hardware architecture of PLUS system platform 8

2.2.1 Hardware architecture..... 8

2.2.2 Systemetic theory artechitecture..... 12

2.3 Software system design of upper computer..... 13

2.3.1 Requirements analysis of the software system 13

2.3.2 Software architecture 14

2.3.3 Software system coding environment and language 15

2.4 Summary..... 16

Chapter 3 Theoretical principle of UWB locating system 17

3.1 Wireless locating technology..... 17

3.1.1 Overview of wireless locating 17

3.1.2 Basic approaches of locating 19

3.2 Research of TDOA locating algorithm..... 21

3.2.1 TDOA hyperbola model 22

3.2.2 Algorithm with analytical expression solutions 23

3.3 Research of locating algorithm with higher locating accuracy	24
3.3.1 System model	26
3.3.2 Information fusion algorithm	28
3.3.3 Simulated results	30
3.3.4 Summary	31
Chapter 4 Design of PLUS software subsystem	33
4.1 Software architecture	33
4.2 System configuration module	34
4.2.1 Read trackerconfig.txt file	36
4.2.2 Read visualizerconfig.txt file	36
4.2.3 Save and read configuration file	37
4.2.4 Function interface	38
4.3 Data source selection module	38
4.3.1 Read data from log file	38
4.3.2 Read data from IP address	40
4.3.3 Function interface	41
4.4 Tag tracking module	41
4.4.1 Tag tracking	41
4.4.2 Introduction of Tracker	42
4.4.3 Coding of multithreading synchronic sharing resources	43
4.4.4 Function interface	45
4.5 Network communication	45
4.5.1 IP address configuration	45
4.5.2 Process of network communication	46
4.6 Data processing	46
4.6.1 Obtain and display TOA data	46
4.6.2 Compute and display position data	47
4.6.3 Output TOA data	47
4.6.4 Function interface	48
4.7 Resetting	49

4.8 Results and discussion	49
4.9 Summary	50
Chapter 5 PLUS Upper-computer interface design	51
5.1 Introduction to Windows form designer	51
5.1.1 Control Windows form application programs	51
5.1.2 Affect forms with properties	51
5.1.3 Add controls for forms	51
5.1.4 Manage the position and size of the controls	52
5.1.5 Inputs and feedbacks	52
5.1.6 Use delegation and events processing	52
5.1.7 Windows graphic interface GDI+	53
5.2 Master control interface system design	53
5.3 Menu bar	55
5.4 Toorbar	56
5.5 Status bar	57
5.6 Tracking area	57
5.6.1 Draw tracking area with GDI+	57
5.6.2 Form loading	57
5.6.3 Draw tracking area	58
5.6.4 Generics	59
5.7 Tag bar	60
5.7.1 Tar bar display	60
5.7.2 Tag information reading	60
5.7.3 Database operation	60
5.8 Alarm bar	61
5.9 Tracking display	61
5.10 Summary	62
Chapter 6 Conclusion and future work	63
References	65

摘 要

超宽带（UWB）技术引起了全世界范围内的广泛关注，它是一种全新的，并且与传统的通信技术有很大差异的新型通信技术，在通信、雷达、定位方面有很高的应用价值。它与其他传统的蓝牙、IEEE802.11等无线通信技术相比，具有高传输速率和大系统容量、功耗低、抗多径效果好、穿透能力强、定位精度高等明显优势，非常适合于室内定位。无线传感器网络应用UWB技术实现移动目标的跟踪定位，是近年来十分热门的研究课题。目前，各国都在致力于超宽带定位技术研究及其产品的开发，试图率先抢占UWB市场。许多著名大学和实验室都开展了UWB的研究，并研制出多种UWB定位系统。

本文首先总结了UWB技术的定义、起源、发展、应用现状等，并搭建调试了基于UWB技术的PLUS目标跟踪定位平台，它是后续理论研究及应用开展的载体。

其次，介绍了UWB定位系统的理论基础，通过比较各种定位方式，选取到达时间差（TDOA）算法作为本定位系统的基础理论算法，并对提高定位精度的NLOS消除算法做了初步的介绍和研究。

再次，主要介绍了PLUS定位系统软件设计以及实现。为了实现移动目标的跟踪定位，我们应用Microsoft Visual Studio10版作为开发环境，C#为软件开发语言完成了定位软件子系统的设计。

本系统完成的具体功能如下：

1. 系统配置和数据源选择。识别阅读器以及每个阅读器的MAC地址，识别测量数据以及校正数据，比如阅读器的位置坐标；给所有标签的Z坐标设置成一个已知的定值。并选择从日志文件、仿真数据或者从IP地址实时读取标签位置信息。
2. 网络通讯。使用TCP/IP协议实现数据的实时读取，为了防止停止追踪时出现的线程锁死的现象，使用多线程编程方法同步资源。
3. 数据处理。获取并显示TOA信息数据，进行处理后得到实时位置信息。

为了将跟踪效果实时显示，本文设计了良好的人机操作界面。利用Windows窗体设计器设计了PLUS定位系统的主控界面，包括菜单栏、工具栏、状态栏、跟踪区域、标签栏以及报警栏六个模块。使用窗体设计器中的GDI+技术绘制目标的跟踪效果，使用ADO.NET与Access2003数据库，获取各个标签的信息。主控界面实现了标签的跟踪定位，并能实时观测到跟踪效果。

最后，分析了本文研究工作的不足之处，探讨了未来的研究内容。

关键词 超宽带技术；TDOA算法；NLOS；.NET

ABSTRACT

Ultra Wide Band (UWB) technology interests many scholars in the world, because it is a totally new communication technology which is different with the traditional ones. There is great value of UWB technology in communication, radar and locating domain. Comparing with traditional wireless communication technology such as Bluetooth, IEEE802.11, UWB is preferred in indoor locating because of its high transmission rate, high system capacity, low power consumption, good anti-multipath performance, good penetrability and high locating accuracy. The locating for moving objects based on UWB and wireless sensor network is a popular research topic recently. Currently, many countries are focusing on the research and development of UWB locating technology and the relative products to monopoly the UWB market. Lots of famous universities and laboratories are doing the research about the UWB technology, and many UWB locating systems are designed successfully.

Firstly, the definition, origin, development and application status of UWB technology is introduced. The PLUS target tracking and locating platform based on UWB technology is established and debugged. This platform is the basis of the subsequent theoretical research and practical application.

Secondly, the theoretical basis of UWB locating system is introduced. Through comparing many different locating methods, the Time Difference of Arrival (TDOA) algorithm is selected as the basic theoretical algorithm of the proposed locating system. The NLOS mitigation algorithm which aims to increase the locating accuracy is introduced and investigated as well.

Thirdly, the software design and implementation of PLUS locating system is investigated. In order to track and locate the moving target, the 应用 Microsoft Visual Studio10 version is selected as the development environment and C# as the language for

the subsystem of locating software.

The specific function of the developed system is listed as follows:

1. System configuration and data source selection. Identify the reader, the MAC address of every reader, measured data and correction data, such as the position coordinates of the reader. Set a known value to the Z coordinates of every reader, and read the tag position information in real time from log file, simulation data or IP address.
2. Network communication. Read the data with TCP/IP protocol in real time and synchronise the resource with multithreading coding method to avoid the thread locking when the tracking is ceased.
3. Data processing. Obtain the TOA information data and have them displayed, and then get the real-time position information after the processing.

A Graph User Interface (GUI) is designed to display the tracking location in real time. The master control interface of PLUS locating system is developed with Windows form designer, including menu bar, toolbar, status bar, tracking area, tag bar and alarm bar. Graph the tracking effects with GDI+ in form designer, and obtain the tag information with ADO.NET and Access 2003 database. The master control interface is able to locate the tag and display the tracking effects in real time.

In conclusion, the disadvantages of the developed system and future work are analysed.

Keywords: UWB, TDOA, NLOS, .NET

第一章 绪论

1.1 课题研究的背景和意义

随着社会的不断进步，以及因特网、多媒体和无线通信技术的不断发展，人们与信息网络已经建立了很紧密的联系，人们对实现高速率、高质量无线通信的要求在不断的提高，因此，实现便携式电子设备与因特网之间的短距离高速无线通信已成为未来通信技术的重要发展趋势之一^[1]。近年来，在短距离无线通信领域，国际上提出了无线个域网（WPAN）的概念，它有短距离覆盖、面向特定群体、支持高速率多媒体应用并实现无缝连接的特点^[2]。在WPAN技术中，继蓝牙、802.11a/b之后，超宽带（Ultra Wide Band,UWB）以不可比拟的优势成为最受关注的热门技术^[3]。

美国Sperry Rand 公司的Gerald F.Ross、Catholic大学的Harmuth、罗马航空研究中心的Paul van Etten是UWB发展的一个里程碑，标志着UWB技术从概念研究推进到实际应用开始阶段。1998年，美国联邦通信委员会（FCC）开始征集UWB通信技术在民用通信中应用的意见，并于2002年2月，批准限用于军用雷达的UWB技术可运用于民用产品上，以提高频谱效率，同年4月，批准将3.1GHz和10.6GHz之间免授权的频段分配给UWB使用^[4]。由于UWB在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等诸多领域具有独特的应用价值和广阔的市场前景，此项技术开始引起业界广泛关注。

定位通常是指确定地球表面某种物体在某一参考坐标系中的位置。无线定位技术和方案很多，常用的定位技术包括红外线、超声波、射频信号等，但都不适合室内定位。除了全球定位系统（GPS）在导航和室外环境的应用定位以外，人们对室内定位、短距离定位等应用不甚了解。未来无线定位技术的趋势是室内定位与室外定位相结合，实现无缝的、精确的定位、现有的网络技术还不能完全满足这个要求，而UWB定位技术较GPS、WLAN、红外线、超声波等定位技术有功耗低、抗多径效果好、安全性高、系统复杂度低、能提供精确定位精度等优点^[5]，非常适合于室内高精度定位。UWB定位技术在众多无线定位技术中脱颖而出，成为未来无线定位技术的热点。因此，对UWB定位技术的研究是非常有意义的。

1.2 UWB 技术概述

1.2.1 定义

超宽带技术是一种全新的，并且与传统的通信技术有很大差异的新型通信技术，在通信、雷达、定位方面有很高的应用价值。它是指带宽比很高的通信技术，带宽比是指射频带宽与其中心频率的比值。

美国 FCC（联邦通信委员会）对于 UWB 的定义为^[6]：信号的绝对带宽大于 500MHz，或者，相对带宽大于 20%，相对带宽是指信号频谱的能量带宽和其中心频率的比值，公式表示为：

$$\frac{(f_H - f_L)}{f_c} > 20\% \quad (\text{或者总带宽为 } 500\text{MHz})$$

上式中， f_H 、 f_L 分别表示在峰值功率下降 10dB 时，所对应的上限频率和下限频率。 $f_c = (f_H + f_L) / 2$ 为中心频率。

1.2.2 技术特点

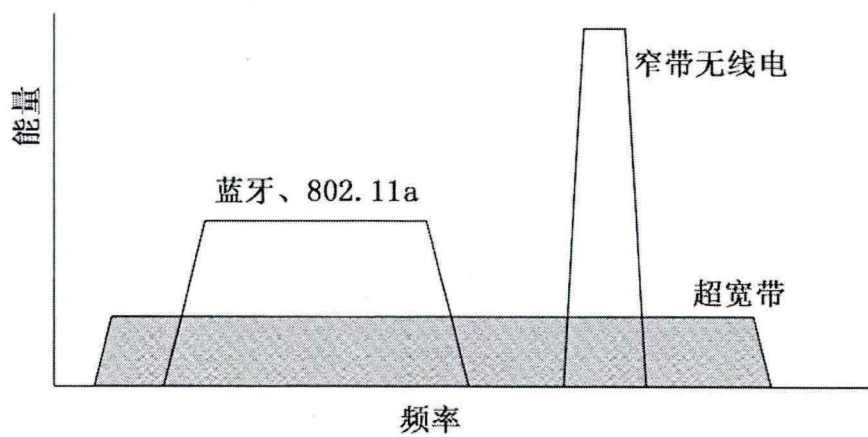


图 2-1 超宽带与其它技术的对比

UWB 技术之所以会引起全世界范围内的广泛关注，是因为它与其他传统的蓝牙、IEEE802.11 等无线通信技术相比，具有以下明显优势^{[7][8]}：

- 1. 高传输速率和大系统容量。根据香农信道容限公式，一定信噪比条件下，信道容量越大，系统传输速率越高，则传输带宽就越大。因此，UWB 系统可以获得很高的通信速率。
- 2. 功耗低。通常情况下，无线通信系统在通信时，要连续发射载波，因此要

消耗一定电能。而 UWB 不传输载波，而是传输超短非正弦波窄脉冲，也就是直接发送脉冲无线电信号，并且只在需要时发送，所以 UWB 系统结构的实现比一般系统要简单的多，消耗电能少。

3. 抗多径效果好。由于 UWB 采用的是持续时间短、占空比极低的窄脉冲，在接收端，多径信号在时间上能做到有效的分离，因此其时间和空间的分辨能力很强，UWB 相对于传统的采用连续传输信号的通信系统来说，抗多径能力要强很多。

4. 保密性强。UWB 保密性表现在两方面。一方面是采用跳时扩频，接收机只有已知发送端扩频码时才能解出发射数据；另一方面，由于 UWB 发射功率极低，信号隐蔽性好，用传统的接收机无法识别接收，增强了系统安全性。

5. 定位精度高。信号带宽越大，信号的距离分辨力就越好。UWB 的超宽频带性，使它比其他传统通信系统的定位精度要高很多。UWB 信号由于其脉冲宽度是纳秒级，可以得到刻度很小的脉冲到达时间，从而使其对应的定位精度达到厘米级，而且可以在室内和地下进行精确定位。此外，超宽带无线电定位，很容易将定位与通信结合，快速发展的短距离超宽带通信无疑将带动 UWB 在定位技术领域内的发展，而常规的技术很难做到这一点。

但是，尽管 UWB 技术相比其它传统通信技术来说有诸多优势，还是它面临着很多挑战，一些技术问题还有很多需要完善的地方，比如通讯距离偏低，定位精度需提高等。但是我们有理由相信，无论是军用还是商用市场的推动下，UWB 技术会进一步发展，并成为无线通信技术中的主力。

1.2.3 UWB 技术应用现状

就现在的发展趋势来看推断，UWB 的应用将主要集中在以下几个方面：

1. 军事应用

由于 UWB 抗多径干扰能力强、分辨率高、带宽宽、干扰小、穿透能强等特点，UWB 在军事上有极大的应用价值。如 UWB 雷达、UWB LPI/D 无线电通信系统（预警机、舰船等）、战术手持和网络的 LPI/D 电台、警戒雷达、UAV/UGV 数据链、探测地雷、检测地下埋藏的军事目标或伪装的物体等。

2. 无线网络

在民用方面，UWB 可用于 UWB 地波通信系统、防撞雷达（民航）、防撞感

应器、WLAN、WPAN 中, 包括 Ad hoc 无线网络、高速 (20Mbit/s) WLAN、WPAN 等。

3. 定位

由于 UWB 技术拥有较好的定位能力, 其应用相当广泛。使用 UWB 技术可以使定位误差在 2cm 之内, 比 GPS 好很多。戴姆勒-克莱斯勒公司想要用 UWB 技术来制造汽车的防碰器。当汽车太靠近另一辆汽车或者当另一辆汽车超车时, 它可以控制装有防碰器的车的车速。摩托罗拉公司也正在开发叫做“透过墙来看”的系统, 用于警察、消防队员的工作中。一些救援机构也试图从直升机上直接探测到地上埋藏的地雷, 应用的也是 UWB 技术。

4. 替代蓝牙

提供更高传输速率的 UWB 技术有可能会成为第三代的蓝牙。Multispectral Solutions 公司和 Time Domain 公司等, 都已经像 IEEE802.15 委员会提出 UWB 规格, 委员会一直致力于推进短距离高速率通信的无线方式, 使之标准化。

作为一种全新的无线电技术, UWB 被认为是无线电技术的革命性进展, 在无线通信、雷达跟踪、精确定位等方面具有广阔的应用前景。

1.2.4 UWB 技术国内外研究现状

1. UWB 技术国外研究现状

超宽带定位技术已经受到全世界范围的广泛关注, 各国都在致力于超宽带定位技术研究及其产品的开发。在美国国防部重点技术计划中, 已经连续几年把 UWB 列为研究计划项目中的重点课题。许多著名大学和实验室, 如美国 MIT Lincoln 实验室、Los Alamos 国家实验室、Ohio 州立大学、Georgia 理工学院、英国 RSRE 实验室等都开展了 UWB 的研究。UWB 技术的研究, 正在以美国为中心进行, Motorola、Intel、AEtherwire&Location、Ubisense 等多家公司推出了 UWB 芯片和系统^{[9][10]}。美国在 UWB 的积极投入, 引起欧盟和日本的重视, 纷纷开始着手 UWB 技术的开发, 试图率先抢占 UWB 市场^[7]。

目前美国海军已经开发了一种军用的 UWB 定位系统 PAL (Precision Asset Location), 在 L 波段工作, 瞬时带宽可以达到约 400MHz。该系统的试验已成功, 它在大型集装箱货物环境下可以达到理想的定位精度, 但是在小型货物定位时, 精度不够理想^[11]。随后开发出的符合民用标准的 PAL650 超宽带无线定位系统^[12],

具有 30cm 的定位精度，多次平均后可达 10cm。

美国 AEtherwire&Location 公司已经开发出最先进的芯片 Aeher5 和 Driver2，具有体积小、功耗低、穿透力强，不易被察觉和定位精度高等特点，现已广泛用于消防、反恐等重大领域。开发的 Localizers 室内定位系统通过待定位的超宽带接收机和几个参考定位的收发机之间进行脉冲通信，通过监测信号中携带的伪随机码的时延来判断到不同参考点的距离。

Localizers 定位系统只要知道三个以上的参考节点就可以知道未知节点的三维位置。Localizers 定位系统两点间最大距离 30-60m，测距精度为 1cm，公司对 Localizers 节点的估计是体积 8mm，价格 50 美分。

英国的 Ubisense 公司的超宽带定位产品，在 20-50 米范围内定位精度可达到 15cm。该系统由传感器和漫游器组成^[13]。它通过蜂窝网络接受 Ubisense 各感应器的超宽频信号，来计算到达角度（AOA 水平和垂直）以及两个传感器之间的到达时间差（TDOA）。

Sapphire 系统是由 Multispectral Solutions 公司开发的 UWB 室内定位系统。该系统包括多个漫游器（其中一个漫游器要作为参考）、至少 4 个接收机和 1 个与计算机相连的控制中心^[14]。它的定位精度是 0.3m，经过数据平滑后能达到 0.1m，漫游器的直径只有 3cm。

Time Domain 公司研制的 PLUS 定位系统，由标签，阅读器，同步分配面板，天线，标签遥控器和定位软件组成。系统的定位精度为正负 15 厘米，使用到达时间差定位法（TDOA）定位和跟踪。

2. UWB 技术国内研究现状

我国在 2001 年 9 月初发布的“十五”国家 863 计划通信技术主题研究项目中，首次将“超宽带无线通信关键技术及其共存与兼容技术”作为无线通信共性技术与创新技术的研究内容，鼓励国内学者加强这方面的研究工作^[15]。2002 年开始跟踪 UWB 技术，2003 年开始积极参加 ITU-R 相关研究组的会议，2004 年以来进行了 UWB 产品的调研与分析，并邀请了国内外研究机构和产品提供商开展技术交流。2004 年 9 月 28 日，首届 UWB 中国论坛在北京召开，2005 年 10 月 12 日，第二届 UWB 中国论坛在香山饭店召开，同年 11 月 11 日，全国超宽带无线通信技术学术会议在南京召开^[16]。

我国有关部门还研究了 UWB 技术干扰的仿真分析，并且与产品供应商共同进

行电磁兼容测试。中国的一些高校、科研机构和通信技术企业在这一领域取得了很多研究成果,获得了诸多专利,主要包括:获得了不同 UWB 技术实现方式的辐射特性;完成了 UWB 与部分公众无线通信系统的电磁兼容分析与实验;为 UWB 技术的频谱规划提供了技术支撑;根据研究结果制定 UWB 管理模式和要求。

以青岛海尔集团和上海环旭电子集团为代表的中国企业在产品开发以及市场化方面走在了世界的前列,与 Freescale 半导体有限公司合作率先展示并推出了 UWB 高清电视和家庭媒体中心等产品和系统,这标志着中国的企业在高新技术的应用开发领域正在迈向世界先进行列^[16]。

超宽带技术以其无与伦比的技术优势,广泛的应用前景,更重要的是它的理论研究价值,被军事领域、学术界和工业界一致看好,是一个非常有潜力的领域。

1.3 研究内容和组织结构

本文的主要目的是设计基于 UWB 技术的 PLUS 跟踪定位系统,实现移动目标在室内的精确定位。本文主要工作包括硬件平台的搭建调试、跟踪定位软件子系统的设计以及上位机主控界面的设计。

全文共分六章,具体组织结构如下:

第一章分别介绍了 UWB 技术的概念意义、技术特点和国内外研究现状及发展趋势,介绍了 UWB 技术在室内跟踪定位的优越性。

第二章首先初步对跟踪定位系统定位方式做了选择,介绍了硬件平台的结构和组成、软件实现部分的组成,另外提出了软件平台的总体设计方案。

第三章主要介绍了 UWB 定位系统的理论基础,通过比较各种定位方式,选取到达时间差(TDOA)算法作为本定位系统的基础理论算法,并对提高定位精度的 NLOS 消除算法做了初步的介绍和研究。

第四章介绍了 PLUS 跟踪定位软件子系统的设计及实现,详细描述了各个模块的设计、功能及实现。

第五章介绍了主控界面的设计及实现,利用 Windows 窗体设计器和 C#编程实现了良好的人机界面,实时显示跟踪轨迹以及跟踪目标的位置信息。

第六章总结全文工作,并探讨了将来的研究内容。

第二章 PLUS 跟踪定位系统设计

2.1 PLUS 跟踪定位系统定位方式选择

2.1.1 各种定位方式分析

所有类型的无线定位系统，所使用的基本定位技术方法，都是相同或相似的，都是通过监测某种信号的特征测量值，利用这些参数，实现移动台定位估计。步骤是先获得和位置相关的变量，建立定位的数学模型，然后通过这些参数和相关数学模型来计算目标的位置。

根据定位算法是否需要通过物理测量来获得节点之间的距离（角度）信息，可以把无线定位算法分为基于距离的定位算法和与距离无关的定位算法两类^[17]，与距离无关的定位算法^[18]对节点要求较低，但精度太低，UWB 定位一般采用基于距离的定位算法。

几种常见的测量技术包括到达时间（Time of Arrival, TOA）、到达时间差（Time Difference of Arrival, TDOA）、到达角（Angle of Arrival, AOA）、接收信号强度指示（Received Signal Strength Indication, RSSI）等^[19]。

2.1.2 定位方式选择

1. 基于 RSSI（Received Signal Strength Indicator）法。已知无线信号的发射功率，在接收节点测量接收功率，计算信号的传播损耗，使用一定的信号传播模型，进而将传播损耗转化为距离，实现对目标的无线定位^[20]。该技术主要使用 RF 信号，是一种简单的实现方法，但在实际环境中，温度、多径效应、非视距产生的阴影效应等条件的变化，都会给定位带来误差，使得它的精确度比较差，可能产生最大 50% 的测距误差^[21]。因此，RSSI 方法很大程度上要受到信道参数估计的影响。

而且 RSSI 测距方法的精度和信号的带宽是没有直接联系的，这样就不能体现 UWB 技术拥有很宽的带宽上的优越性，一般在 UWB 定位系统的应用中，基站和移动台距离较近的情况下，可以使用这种方法来定位，还可以通过与其它定位方法，比如 TOA、TDOA 等方法相结合的方式来提高定位精度。

2. 基于 AOA 法，即信号到达角度测量方法。是一种通过测量基站和移动台之间夹角的定位方法^[22]。为了提高精度，通常使用阵列天线或多个超声波接收器，得到信号到达的多个方向^[23]。AOA 方法最大的不足就是对硬件要求比较高，外界

环境和非视距 NLOS 等因素会给 AOA 定位带来无法预测的影响。UWB 带宽很宽，很大程度上要受周围环境多径散射的影响，所以其 AOA 估计精度难以保证。所以 AOA 定位方法是不适用于 UWB 定位系统中的。

3. 基于 TOA (Time of Arrival) 法。这种方法是通过测量基站和移动台之间无线信号传输时间来实现测距的。已知信号传播速度，得到信号在两个目标之间来回传播的时间，就可以估计出基站和移动台之间的距离。TOA 方法比较容易实现，能提供较高的测量精度，不过在实际应用中，TOA 需要考虑到基站和移动台之间的时钟同步的问题。如果基站之间能保持同步，则可以通过测量信号到达时间差，即采用 TDOA 定位法来定位。

4. 基于 TDOA 法。这种方法是通过测量基站和移动台之间无线信号传输时间差来实现测距的。在已知信号传播速度的情况下，发送者同时发送两种不同的射频信号或者超声波信号，根据接收到这两种信号的时间差，把时间差转化为距离，TDOA 的测量精度一般优于 TOA，在无线传感网络定位研究中使用较多，非常适合于 UWB 定位系统的定位。

通过比较，RSSI 和 AOA 方法很难提高 UWB 定位精度，一般不单独用于 UWB 测距，只能作为辅助手段进行初级粗定位，UWB 实现精确定位主要依靠精密测距完成。综合考虑定位系统的节点规模、成本及对定位精度的要求后，选择了基于距离的定位机制—TDOA，TDOA 定位只需保证各个参考节点之间有一个共同的时钟即可，而不需目标节点和各参考点之间进行同步，使系统相对简化，而且可以充分利用 UWB 技术的带宽优势，最适合用于超宽带定位系统。

2.2 PLUS 跟踪定位平台硬件架构

2.2.1 硬件组成

美国 Time Domain 公司的 PLUS 超宽带 UWB 即时定位系统，由标签，阅读器，同步分配面板，天线，标签遥控器和定位软件组成。如图 2-1 所示，图中方形的天线为平板天线，可以安装在天花板上，圆形的为小型天线（我们使用的是圆形天线），可以由拉杆悬挂在屋顶。图中站立的标签是垂直标签，也叫徽章标签，信号向水平方向发射，小方块的标签是水平标签，也叫资产标签，信号向上发射（我们使用的是垂直标签）。

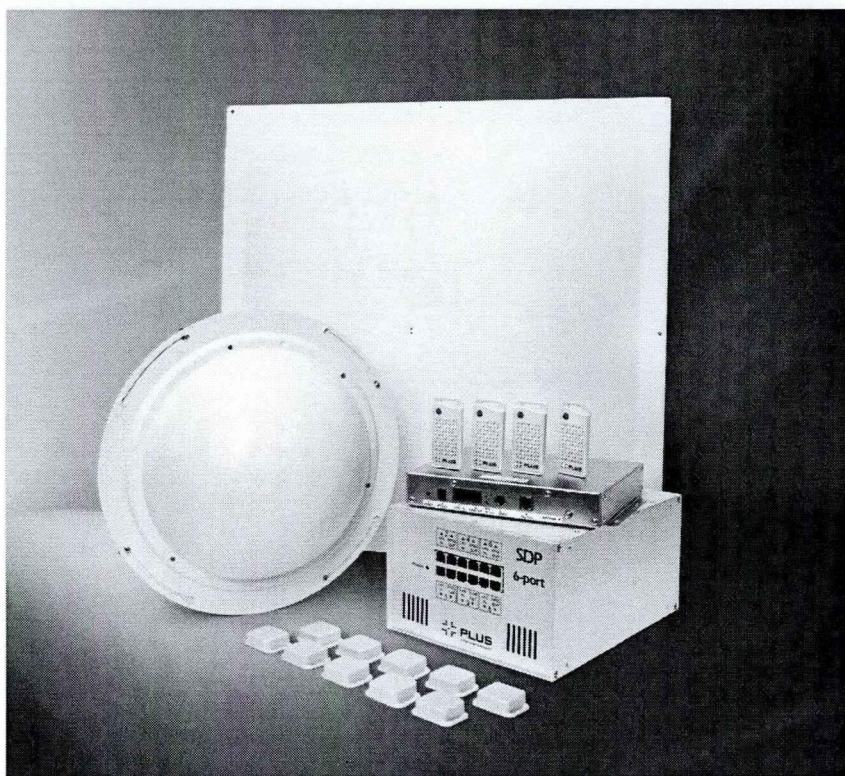


图 2-1 PLUS 定位系统硬件组成

1. 同步分配面板（Synchronization Distribution Panel, SDP）



图 2-2 同步分配面板

一个 PLUS 系统至少有一个 SDP，如图 2-3 所示。它连接定位服务器端和阅读器。它在定位系统中的作用是：给阅读器提供功率输出和动力；同步阅读器；在每一对 LAN IN 和同步 OUT 端口传递以太网数据。SDP 通常连接以太网交换机，在数据传递给定位服务器时预先进行处理。

2. 阅读器（Reader）



图 2-3 阅读器

阅读器的作用是接收标签传输的数据并进行解码，测量信号强度并且生成到达时间（TOA）戳。通常定位系统的部署包括许多阅读器，它们通过 SDP 获得能量并且同步，并且以 UDP/IP 数据包的形式把标签数据和 TOA 结果传送给定位服务器。阅读器接口还可以提供网络配置选项、报警和阅读器状态诊断。

3. 标签确认点（Tag Acknowledgement Point, TAP）



图 2-4 标签确认点

TAP 是和阅读器一起安装的一个网络组件，包括一个 2.4GHz 的收发器，收发器可以给标签发送命令和确认数据包，并且为有效信道分析 2.4GHz 频谱。与阅读器类似，TAP 也可以从 SDP 或者独立电源获得能量，并利用以太网和 PLUS 定位软件通信。

4. 垂直标签（Tag）

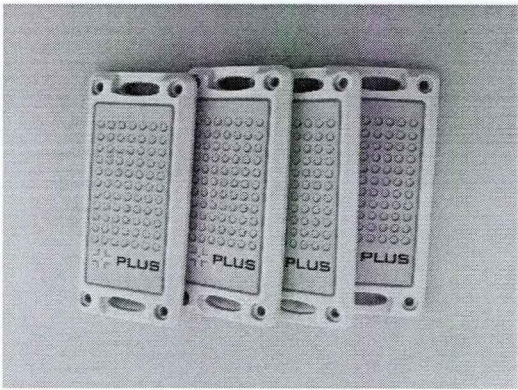


图 2-5 标签

标签给阅读器网络发送超宽带数据包来监测位置信息，同时还包括一个 2.4GHz 接收器从 TAP 装置接受命令和确认数据。TAP 对标签数据的连接，可以看作是联络渠道，用来配置标签的参数，其中包括 UWB 传输率。标签中含有一块可替换的电池，一般可用 1.5-3 年。

5. 小型形状因数天线（Small Form Factor Antenna, SFF Antenna）



图 2-6 天线安装图



2-7 阅读器与天线连接示意图

SFF 天线可以安装在平滑的墙、天花板、仓库等地点。SFF 天线仅重 3.1 磅（包括阅读器），阅读器安装在天线背板的上部，并隐蔽在装置的上端，如图 2-7 所示。SFF 天线是全方向有效的。

各硬件组成部分连接如下：

SDP、TAP、Reader 通过 CAT 5e 以太网电缆相连接，给 SDP 提供 48v 外接电源，然后 SDP 给阅读器和 TAP 提供电源和同步。如图 2-8 所示。

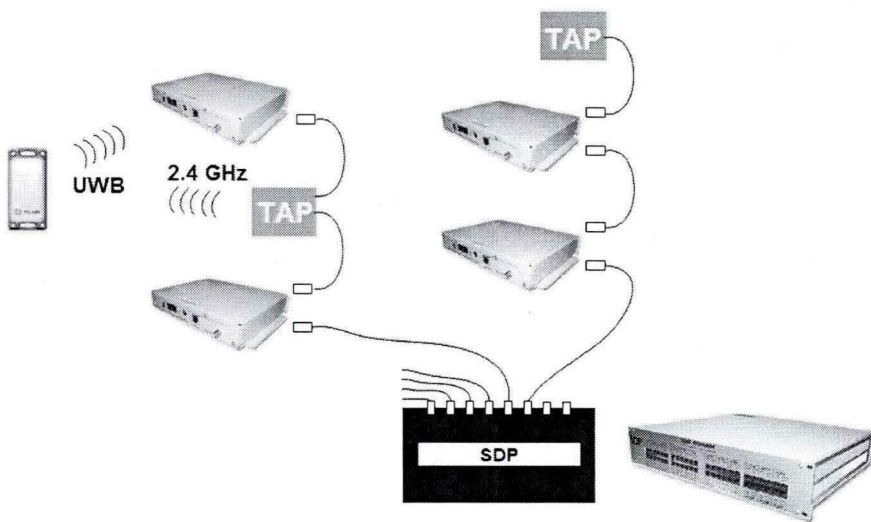


图 2-8 硬件连接图一

我们需要第三方以太网交换机来传输从 SDP LAN 口获得的 UDP/IP 数据，并把数据传送给定位软件服务器。如图 2-9 所示。

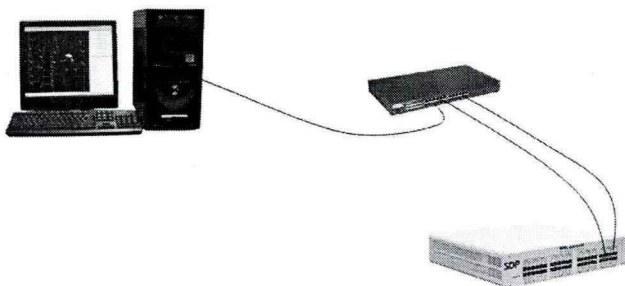


图 2-9 硬件连接图二

2.2.2 系统原理结构

实验采用 PLUS 定位系统，具体原理如下：房间内安装有六个阅读器（与天线安装在一起），标签确认器（TAP）给标签发送 2.4GHz 确认和命令数据包，标签是一个 UWB 信号发射装置，每秒发射 1~100 次 RF 射频脉冲信号，天线接收标签发来的脉冲信号，并且阅读器解析这些脉冲信号。

标签传送的数据包包括标签 ID、序列号、电池状态，阅读器解析信号时给数据包加入信号接收强度（RSSI），并且得到标签信号的到达时间（TOA），然后打包成 UDP/IP 数据包，通过以太网连接把数据包传送给定位引擎。

阅读器和天线组通过电缆和同步分配器相连，然后连到服务器。经过同步分配器同步处理后，各个阅读器的数据传送给服务器电脑，服务器计算 TDOA 数据

之后，得到标签位置。每个标签都有一个独一无二的识别号，所以定位系统可以识别每一个标签在每一个时刻的位置以及运动信息，并可以通过标签遥控器来动态控制标签的工作状态和刷新频率。工作原理如图 2-10 所示。



图 2-10 PLUS 定位系统工作原理

2.3 上位机软件系统总体设计

2.3.1 软件系统需求分析

本文设计的跟踪定位平台上位机软件系统，实现了对室内移动目标的跟踪定位，能够利用获得的各种传感器信息，完成对移动目标位置的计算，同时，还可以对目标标签的状态进行监视和报警。具体系统功能要求如下：

1. 网络通讯

PLUS 跟踪定位平台能够进行基于无线超宽带 UWB 的网络通讯，接收客户端的命令信息，并且能够实时的上传移动标签的状态及其他测量信息。

2. 测量数据采集

可以选择不同数据源，有两种方式，一种是通过网络，通过阅读器读取标签实时的位置信息或者 TOA 数据，也可以通过从已有的标签记录文件中读取信息来获得想要的信息。

3. 计算标签具体坐标位置

通过一定的算法，把获得的标签数据转化成具体的坐标位置，并实时显示，可以实时的观测读取的标签数据，包括 TOA 数据、位置信息等。

4. 各个硬件组成部分参数设置

从配置文件中读取各个硬件组成部分的参数设置，如阅读器的 IP 地址配置、坐标位置，参考标签的配置等。通常在硬件安装时配置好。

5. 地图配置

将室内试验环境用 AUTOCAD 以一定比例画出，并在上位机界面显示，可以更直观的看到标签相对于真实环境中的位置。

6. 报警及处理

监视系统运行的状态，当标签超出实验平台范围、标签数据发送和接收异常时、设备之间断开连接等，提供警报。

7. 良好的人机界面

本文设计的 PLUS 跟踪定位平台主要是利用 UWB 技术为移动目标提供精确的定位。这要求整个上位机软件具有快速的数据响应速度和高效的数据处理能力，以满足整个定位过程的实时性要求。此外，由于室内环境的复杂性，还要求软件系统的健壮性和容错性能满足室内环境多变的要求。同时，易用性和直观性也是我们考虑的重要问题，这样，我们需要设计用户接口，无需深入了解系统的内部结构，就可以方便直观的使用软件。

2.3.2 软件系统组成

软件系统结构框图如图 2-11 所示：

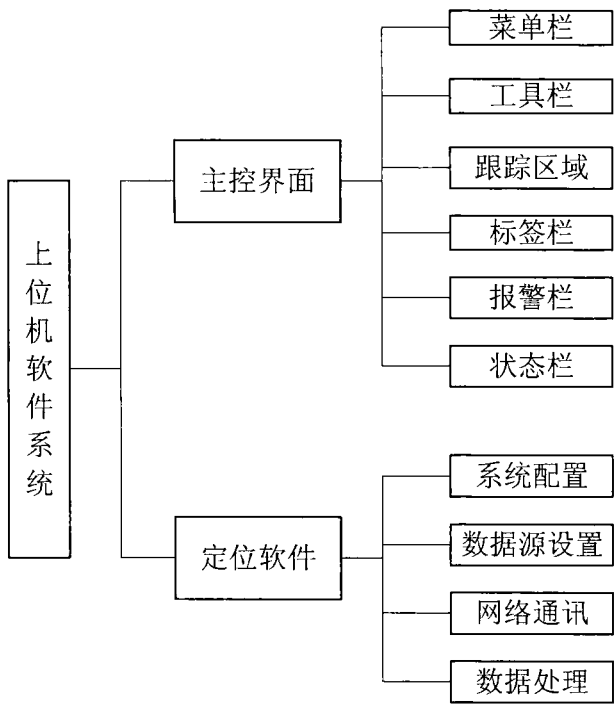


图 2-11 定位系统软件结构框图

PLUS 定位系统的软件设计包括主控界面和定位软件两部分。定位软件包括系统配置、数据源设置、网络通讯以及数据处理四个模块；主控界面包括菜单栏、工具栏、跟踪区域、标签栏、报警栏以及状态栏几部分。

2.3.3 软件系统编程环境及编程语言

本系统的设计是在 Windows XP 中文版操作系统环境下，使用 Microsoft Visual Studio 2010 中文版开发成功的，数据库使用 Access 2003 中文版。

1. Visual C#.NET

.NET 是微软的新一代技术平台，是一种面向网络的、支持各种用户终端的开发环境，可以构建互联互通的应用系统。一个 .NET 应用是一个使用 .NET Framework 类库来编写，并运行于公共语言运行时（Common Language Runtime, CLR）之上的应用程序。

Visual C#.NET 对快速应用程序开发（Rapid Application Development, RAD）提供了充分的支持，这其中包括 Web 和 Windows 应用程序的模板、XML Web 服务的模板和各种其他类型组件的模板。另外，还能大大提高开发效率。

C#语言是C语言家族中新的面向对象的语言，是一种面向对象和类型安全的程序设计语言，它具有清晰的语法和简单的编程模型，利用它可以方便快捷的开发基于图像、数据库、网络等的Web应用程序和Windows应用程序，越来越多的人开始选择C#作为程序设计语言。由于C#编程语言非常适合于基于组件的开发，而且公共语言运行库提供了简化的编程和部署模型，所以它是开发框架程序最好的语言，使用C#图形化编程语言实现良好的人机界面，编写从基站获得TDOA数据、RSSI数据、目标的位置等信息的程序，并实时显示跟踪定位效果。

2. 可视化编程

在用其它程序设计语言设计界面时，都是通过编写程序代码来设计，在这个过程中，根本不能看到界面实际的显示效果，必须编译后，运行程序才能看到。假如对界面的设计不满意，必须回到程序代码中进行修改，这就大大降低了软件开发的效率。Microsoft Visual Studio 2010 提供了可视化的设计工具，把系统界面设计的复杂性“封装”起来，设计者不需要为设计界面而编写大量的代码，只需要按照系统需求，在屏幕上画出各个组件，即图形对

象，并且设置这些对象的属性。它还可以自动产生界面的程序设计代码，设计者只需要编写实现程序功能的那部分代码就可以了，这样就大大提高了程序设计的效率。它采用拖曳式便能完成软件的开发，简单的操作便可以实现一个界面的生成，拖曳的界面配合相应的环境支持的 C#语言，实现定位系统界面的设计，以及数据读取和位置计算程序。

2.4 本章小结

本章首先介绍了无线超宽带UWB技术的定义、技术特点、应用现状已经对定位方式做了初步的介绍，其次介绍了定位平台的硬件架构，包括硬件组成和系统原理结构，接下来主要介绍上位机软件系统的需求分析和设计，在对定位系统的需求进行了分析的基础上，设计了上位机软件的总体结构和各功能模块实现的具体功能，最后介绍了软件系统的编程环境和编程语言。

第三章 UWB 定位系统理论基础

3.1 无线定位技术

无线定位技术有很多种实现方法，在对目标进行定位时，首先要依据信号的形式来确定定位所需要的参数，然后根据定位的几何模型建立对应的方程组，对方程组求解就能获得目标的坐标信息。下面对无线定位的相关技术进行研究。

3.1.1 无线定位概述

无线定位技术和方案很多，全球定位系统^[24]（Global Positioning System, GPS）是目前应用最为广泛的室外定位技术。常用的室内定位技术从信号形式上看，包括红外（Infra-red, IR）、超声波（Ultrasonic, US）和射频识别技术（Radio Frequency Identification, RFID）等，这些都是传统室内无线定位系统主要的技术。UWB 是近几年新发展起来的无线定位技术^[25~29]，能实现高精度的定位。这些技术各有特点，下面分别介绍。

GPS：全球定位系统 GPS 是美国第二代卫星导航系统，它的含义是，利用卫星的测时和测距进行导航，以构成全球卫星定位系统^[30]。GPS 系统是目前技术最成熟且已实用的一种卫星导航和定位系统，能够廉价便捷地在全世界任何地方任何时候提供高精度和连续位置、速度、航向、姿态和时间信息。它的优点是全球及全天候导航定位、定位精度高、实时定位速度快、抗干扰性能好、保密性强，缺点是不能穿透建筑物，因此不适合室内定位。

Wi-Fi 定位：它是 IEEE802.11 的一种定位解决方案，该系统采用经验测试和信号传播模型相结合的方式，易于安装，需要很少基站，能采用相同的底层无线网络结构，系统总精度高，因此应用于小范围的室内定位，成本较低。但是无论室内还是室外定位，Wi-Fi 收发器都只能覆盖半径 90 米以内的区域，而且很容易受到其他信号的干扰，从而影响其精度，定位器的能耗也较高。

红外线室内定位技术。红外线室内定位技术定位的原理是：红外线 IR 标识发射调制的红外射线，通过安装在室内的光学传感器接收进行定位。虽然红外线具有相对较高的室内定位精度，但是由于光线不能穿过障碍物，使得红外线仅能视距传播，且只适合短距离传播。

超声波定位技术。超声波测距主要采用反射式测距法，通过三角定位等算法

确定物体的位置，即发射超声波并接收由被测物产生的回波，根据回波与发射波的时间差计算出待测距离，有点则采用单向测距法。超声波定位整体定位精度较高，结构简单，但超声波受多径效应和非视距传播影响很大，同时需要大量的底层硬件设施投资，成本太高。

蓝牙技术。蓝牙技术通过测量信号强度进行定位。这是一种短距离低功耗的无线传输技术，主要应用于小范围定位。它最大的优点是设备体积小、易于集成在 PDA、PC 以及手机中，因此很容易推广普及。采用该技术作室内短距离定位时容易发现设备且信号传输不受视距的影响。其不足在于蓝牙器件和设备的价格比较昂贵，而且对于复杂的空间环境，蓝牙系统的稳定性稍差，受噪声信号干扰大。

射频识别技术。射频识别技术利用射频方式进行非接触式双向通信交换数据以达到识别和定位的目的。这种技术作用距离短，一般最长为几十米。但它可以在几毫秒内得到厘米级定位精度的信息，且传输范围很大，成本较低。同时由于其非接触和非视距等优点，可望成为优选的室内定位技术。目前，射频识别研究的热点和难点在于理论传播模型的建立、用户的安全隐私和国际标准化等问题。优点是标识的体积比较小，造价比较低，但是作用距离近，不具有通信能力，而且不便于整合到其他系统之中。

ZigBee 技术。这是一种新兴的短距离、低速率无线网络技术，它介于射频识别和蓝牙之间，也可以用于室内定位。它有自己的无线电标准，在数千个微小的传感器之间相互协调通信以实现定位。这些传感器只需要很少的能量，以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个穿泛起，所以它们的通信效率非常高。ZigBee 最显著的技术特点是它的低功耗和低成本。

超宽带技术。这是一种全新的、与传统通信技术有极大差异的通信新技术，它不需要使用传统通信体制中的载波，而是通过发送和接收具有纳秒或纳秒以下的极窄脉冲来传输数据，从而具有 GHz 量级的带宽。与传统的窄带系统相比，具有穿透力强、功耗低、抗多径效果好、安全性高、系统复杂度低、能提供精确定位精度等优点。因此超宽带技术可以应用于室内静止或者移动物体以及人的定位跟踪与导航，且能提供十分精确的定位精度。

UWB 无线定位技术，很容易将定位与通信结合，可以实现人们追求的“智能空间”。目前 UWB 技术正处于发展初级阶段，精确定位技术的商业化正在进行之中，定位算法还有待于进一步的改进。未来无线定位技术的趋势是室内与室外定

位相结合，高精度的无线定位。随着 UWB 技术的不断成熟和发展，市场需求不断增加，在不久的将来，精确的 UWB 定位系统将会得到广泛的开发和应用。

3.1.2 定位的基本方法

所有类型的无线定位系统，所使用的基本定位技术方法，都是相同或相似的，都是通过监测某种信号的特征测量值，实现移动台定位估计。从几何的角度上来说，可以由两个或更多曲线相交，以确定一个目标在二维平面上的具体位置^{[31][32]}。为了方便，以下将要定位的移动目标称为移动台（MS），将参与定位的蜂窝网络基站称为基站（BS）。经常用到的基本定位方法有以下几种：

1. 圆周定位法

已知移动台到基站*i*的距离是 R_i ，以基站*i*所在位置为圆心， R_i 为半径的圆周上，移动台的坐标是 (x, y) ，基站*i*的坐标为 (x_i, y_i) ，则它们之间满足：

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 = R_i^2 \tag{3.1}$$

如果已知移动台与三个基站之间的距离，分别以三个基站位置为圆心，以移动台和基站的距离为半径画圆，移动台的位置就是这三个圆周的交点。如图 3-1 所示。

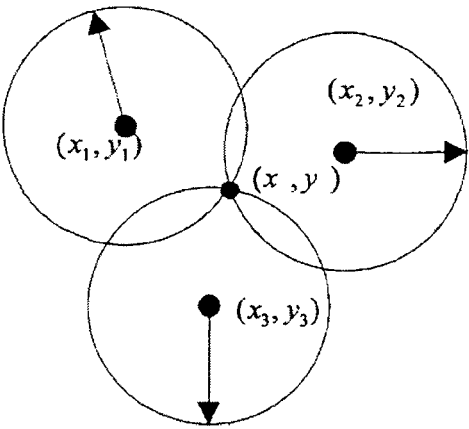


图 3-1 圆周定位法

在定位系统中，若已知移动台发出的信号以直线到达基站的时间 t_i （TOA），可以得到移动台和基站之间的距离 $R_i = c \times t_i$ ，其中 c 是电磁波在空气中的传播速度， $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。对于 $i = 1, 2, 3$ ，联立上述三个方程组，即可得到移动台的位置 (x, y) 。这种方法又称为 TOA 定位法。

事实上，早期采用的 RSSI 定位法也是采用圆周定位^{[33][37]}。RSSI 方法是通过

检测接收信号的接收功率，计算信号的传播损耗，使用已知的信号传播模型，进而将传播损耗转化为距离，通过解上述同样的距离方程组，确定移动台的位置坐标，从而实现对目标的无线定位。

2. 双曲线定位法

当已知基站 1 和基站 2 与移动台之间的距离差 $R_{21} = R_2 - R_1$ ，则按照几何原理，移动台在以两个基站的位置为焦点，与两个焦点的距离差恒为 R_{21} 的双曲线上，见图 3-2。如果还知道基站 1 和基站 3 与移动台之间的距离差 $R_{31} = R_3 - R_1$ ，可以得到另外一组以基站 1 和基站 3 为焦点，与两个基站的距离差恒为 R_{31} 的双曲线上，两组双曲线的交点即移动台的位置。

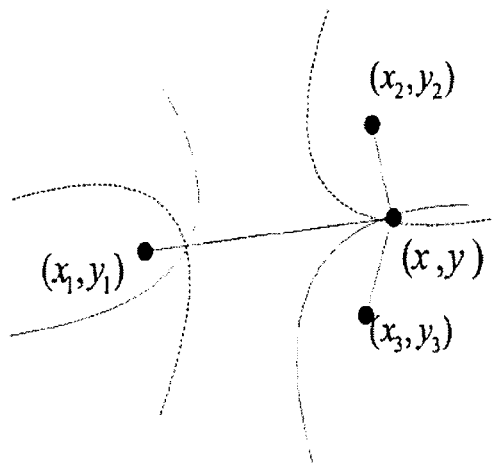


图 3-2 双曲线定位法

两个基站同时发出信号，到达目标终端的时间差为 t_{21} ，或者从移动台发出信号，到达两个基站的时间差为 t_{21} ，则 $R_{21} = c \times t_{21}$ ，其中 c 是电磁波在空气中的传播速度。移动台的坐标是 (x, y) ，基站坐标是 (x_i, y_i) ， $i=1,2,3$ 。它们之间满足：

$$\begin{cases} \left(\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \right)^2 = R_{21}^2 \\ \left(\sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \right)^2 = R_{31}^2 \end{cases} \quad (3.2)$$

因为方程式两边同时开平方，解上述方程组时会得到两个解，即双曲线有两个交点，而这两个交点中只有一个才是移动台真实的位置，所以需要先验知识来分辨出真实解，比如小区半径。一些文献也将这种定位方法称为基于到达时间差法，即 TDOA 定位法^[33]。

3. 方位测量定位方法

这种方法也称为信号到达角度 (AOA) 定位法^{[33][34]}。通过基站接收机天线 (一般是天线阵列) 得到移动台发射电波的入射角, 构成基站接收机到移动台的径向连线, 即方位线。利用两个及以上接收机得到多个 AOA 值, 由此可以得到多条方位线的交点, 即是移动台的位置。

假设基站 1 接收机和基站 2 接收机测到的移动台发射信号的到达角度分别是 θ_1 和 θ_2 , 则满足下式:

$$\tan(\theta_i) = \frac{x - x_i}{y - y_i}, \quad i = 1, 2 \quad (3.3)$$

求解上面的非线性方程, 就可以得到移动台的坐标位置 (x, y) 。

4. 混合定位法

这种方法就是利用上面所说的两种及以上不同类型的信号特征测量值, 如 TOA/AOA, TDOA/AOA, TOA/TDOA 等进行位置的估计^[35~37]。

以 TOA/AOA 方法为例。已知一个基站可以同时测到移动台发射信号到基站的时间 t_1 和角度 θ_1 , 移动台到基站的距离 $R_1 = c \times t_1$, 则解下面的方程组可以得到移动台的位置坐标 (x, y) :

$$\begin{cases} \tan(\theta_1) = \frac{x - x_1}{y - y_1} \\ (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = (ct_1)^2 \end{cases} \quad (3.4)$$

通过对上述定位方法的分析和比较, 可以发现 RSSI 方法易于实现, 且已广泛应用于功率切换等操作中, 但是, 由于多径效应、阴影效应等影响, 其定位精度较差, 且不能体现 UWB 定位系统带宽的优势; AOA 算法虽然有一定精度, 但对硬件设备要求较高; TOA/TDOA 定位方法在无线定位技术中应用比较广, 不仅实现起来比较简单, 而且也能达到较高的精度。特别是 TDOA 定位只需保证各个参考节点之间有一个共同的时钟即可, 而不需目标节点和各参考点之间进行同步, 又能充分利用 UWB 的带宽优势, 所以在本系统中采用 TDOA 的定位方法。

3.2 TDOA 定位算法研究

在无线定位系统中, 估计基于时间测量的移动台位置的方法一般来说需要两个步骤: 首先, 通过延时估计^[38~41], 能得到移动台到达两个基站的到达时间差, 即 TDOA 测量值; 然后, 根据 TDOA 测量值建立双曲线方程组, 采用相应的算法

解方程组，得到移动台的位置^{[42][43]}。本节首先介绍 TDOA 测量值的估计方法，然后介绍基本算法，最后通过 Matlab 仿真讨论算法的性能。

3.2.1 TDOA 双曲线模型

采用 TDOA 技术对移动台的坐标位置进行估计时^[44~47]，如果能得到 TDOA 测量值，也就能获得移动台到两个基站的距离差，获得多个 TDOA 测量值，就能获得一组双曲线方程组，这组方程组是关于移动台坐标位置的，求解这组方程组，就可以得到移动台的估计位置。

设移动台 MS 的坐标是 (x, y) ，第 i 个基站 BS 的位置是 (X_i, Y_i) ，则由上节知识，可以得到 MS 和 BS 之间的距离为：

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (3.5)$$

$$R_i^2 = (X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 = K_i - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2$$

其中，

$$K_i = X_i^2 + Y_i^2$$

令 MS 与基站 1 和基站 i 的距离差为 $R_{i,1}$ ，则

$$R_{i,1} = cd_{i,1} = R_i - R_1 = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (3.6)$$

其中 c 表示电波在空气中的传播速度， $d_{i,1}$ 为基站得到的 TDOA 测量值，要求解该非线性方程组，要先对此方程组线性化处理^[48~50]。

因为：

$$R_i^2 = (R_{i,1} + R_1)^2 \quad (3.7)$$

上式展开为：

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = K_i - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2 \quad (3.8)$$

如果 $i=1$ ，则式(3.5)为：

$$R_1^2 = K_1 - 2X_1 x - 2Y_1 y + x^2 + y^2 \quad (3.9)$$

用式(3.8)-式(3.9)可得：

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = K_i - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y - K_1 \quad (3.10)$$

式子中，

$$X_{i,1} = X_i - X_1, \quad Y_{i,1} = Y_i - Y_1$$

式(3.10)为线性方程组，求解这组方程组就可以得到未知数 x ， y ， R_1 的解，也就得到 MS 的坐标位置。

3.2.2 具有解析表达式解的算法

采用 TDOA 技术对移动台进行定位估计时，有很多种算法可以求解上面提到的双曲线方程组，我们考虑选择应用最广泛的 Fang 算法和 Chan 算法，下面具体介绍。

1. Fang 算法

Fang 算法^[51]利用三个基站对移动台进行二维位置定位，为了方便计算，我们首先给出三个基站的坐标：基站 1 (0, 0)，基站 2 (x_2 , 0)，基站 3 (x_3 , y_3)。则有：

$$R_1 = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$X_{i,1} = X_i - X_1 = X_i$$

$$Y_{i,1} = Y_i - Y_1 = Y_i$$

那么式(3.10)可以简写为：

$$\begin{aligned} -2R_{2,1}R_1 &= R_{2,1}^2 - X_2^2 + 2X_2x \\ -2R_{3,1}R_1 &= R_{3,1}^2 - (X_3^2 + Y_3^2) + 2X_3x + 2Y_3y \end{aligned} \quad (3.11)$$

上面两式相减，可以消掉 R_1 ，简化为：

$$y = g \times x + h \quad (3.12)$$

上式中，

$$\begin{aligned} g &= \{(R_{3,1}X_2) / R_{2,1} - X_3\} / Y_3 \\ h &= \{X_3^2 + Y_3^2 - R_{3,1}^2 + R_{3,1} \times R_{2,1}(1 - (X_2 / R_{2,1})^2)\} / 2Y_3 \end{aligned}$$

将(3.12)带入(3.11)第一个方程，并且联立 $R_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$ ，可得：

$$d \times x^2 + e \times x + f = 0 \quad (3.13)$$

上式中，

$$\begin{aligned} d &= -\{1 - (X_2 / R_{2,1})^2\} + g^2 \\ e &= X_2 \times \left\{ \left(1 - (X_2 / R_{2,1})^2 \right) \right\} - 2g \times h \\ f &= (R_{2,1}^2 / 4) \times \left\{ \left(1 - (X_2 / R_{2,1})^2 \right) \right\}^2 - h^2 \end{aligned}$$

解上面的方程(3.13)，可得 x ，

$$x = \frac{-e - \sqrt{e^2 - 4df}}{2d}$$

代入到(3.12)中，就能得到移动台的估计坐标 y ，也就得到了移动台的估计坐标 (x, y) 。

Fang 算法不需要提供 TDOA 测量数据误差的先验信息，算法的过程和计算相对简单，在定位估计过程中存在的模糊性，也可以通过蜂窝小区的相关信息去除掉，此算法可以简单的得到 TDOA 测量值的最优解。

2. Chan 算法

Chan 算法^[52]是一种具有解析表达式解（closed form solution）的非递归的双曲线方程组解法。该算法的特点是计算量小，在噪声服从高斯分布的环境下，定位精度高。但在非视距（NLOS）环境^[53]下，Chan 算法的定位精度明显下降。

我们只用 PLUS 定位平台中的三个基站进行计算，此时可以得到两个 TDOA 测量值，先假定 R_1 为已知，则 MS 位置 (x, y) 可由式(3.10)按以下形式解出：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} R_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (3.14)$$

式中，

$$K_1 = X_1^2 + Y_1^2$$

$$K_2 = X_2^2 + Y_2^2$$

$$K_3 = X_3^2 + Y_3^2$$

将式(3.14)代入式(3.5)，令 $i=1$ ，得到一个关于 R_1 的二次方程，将其正根代回式(3.14)，就得到 MS 的估计位置。在某些情况可能有两个正根，和 Fang 算法类似，这种模糊性可由有关先验信息进行选择。

3.3 提高定位精度的定位算法研究

在本文设计的定位系统实验中我们发现，如果把标签置于一个密闭的空间或者有障碍物挡在阅读器和标签之间，会使得阅读器不能直接获得标签信息，从主控界面上我们可以明显看到标签的定位出现误差。为此，本文对非视距传播的定位算法做了初步的研究和介绍。

为了提高对定位台的定位精度，除了研究对信号特征测量值的误差具有很好

的鲁棒性的高精度定位算法之外,研究造成测量误差的原因并寻找对策也是非常必要的。在蜂窝网络中,由于非理想的信道环境,使得基站和移动台之间多径传播、NLOS 非视距传播普遍存在,而且在 CDMA 网络中,还存在着多址接入干扰的问题^[54],这些问题都会使信号的特征测量值出现偏差,从而影响定位的精度。如何采取适当的措施降低这些问题的影响,得到准确的信号特征测量值,是提高定位精度的关键,也是移动台定位技术需要研究的重要问题。

UWB 技术与其他技术相比,有着跟好的空间分辨率,可以提供更高的定位精度和鲁棒性,可以满足室内定位系统的需要,但是由于室内环境的复杂性,存在 NLOS 误差的 UWB 系统定位精度仍然会不同程度的降低^[55]。所以,有特定 NLOS 识别方案的 NLOS 平滑技术,在 UWB 定位和跟踪系统中非常重要。

目前降低 NLOS 传播的影响通常有以下几种方法。一种是通过 TOA 测量值的标准差对 LOS 和 NLOS 传播进行区别,NLOS 传播的标准差比 LOS 传播的标准差大的多,这样就能利用误差统计的先验信息把一段时间内的 NLOS 测量值调节到接近 LOS 的测量值。另一种方法是首先判断哪些基站得到的是 NLOS 测量值,然后降低加权最小二乘算法中 NLOS 测量值的权重。还有一种算法是改进算法,利用在 NLOS 环境下传播距离总是比实际距离大的特点在非线性最小二乘算法中加一个约束项,来提高定位的精度。

在各种期刊、会议论文和其它文献中,对于 NLOS 误差消除的研究有很多,具有代表的有:James J.Caffery, JR 在其定位技术专著“Wireless Location in CDMA Cellular Radio Networks”^[56]及发表的论文中主要开展了抗非视距传播、多径和多址干扰技术的研究以及 NLOS 环境下高精度定位算法的研究;M.P.Wylie 中提出了一种判断及消除 NLOS 误差的经典方法^[57],目前很多针对 NLOS 误差消除的研究都是对该方法的进一步研究和深入。McGuire 提出一种鲁棒估计函数^[58],用于改进 NLOS 环境下对移动台的定位估计,还提出一种基于时间差测量值观测得到的测量值非参数近似的定位估计算^[59],在 NLOS 环境下也取得了较好的定位性能。

本文介绍了一种应用于 UWB 系统 PLUS 定位平台的基于信息融合的 NLOS 识别和误差消除方法。NLOS 识别和平滑的过程同时使用了实验中可获得的 TOA 和 RSS 测量数据,这样可以获得与传统的只用 TOA 方法相比更多的信息。提出的信息融合方法可以提高性能并准确识别信道状态,信道状态更新概率,依赖于 TOA 估计残差以及 RSS 测量的似然几率。仿真结果显示,给出的信息融合算法性能更

好的提高了 LOS/NLOS 传播情况中 IEEE802.15.4a 的精确性。

3.3.1 系统模型

由于 IEEE802.15.4a 的强制测距协议,应用 RSS 测量的 TW-TOA^[60]测距过程可以看作是一个多传感器多尺度采样系统。表格 3-1 中展示的多尺度采样模型常常来描述测距协议。

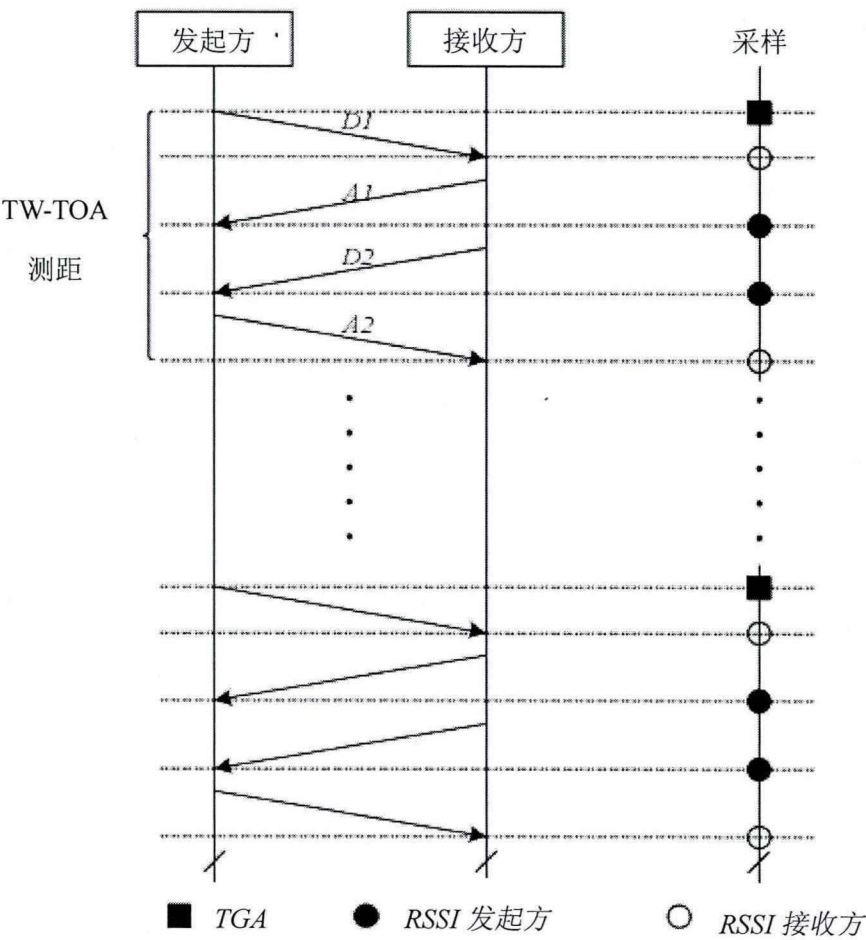


图 3-3 TW-TOA 测距过程中的 TOA 和 RSS 采样

首先,通常为基站的发起方发出一个测距请求数据包 D1,而通常为移动节点的接收方用确认信息 A1 来回应。在 A1 的传输之后,接收方也传输一个时间戳数据包 D2。最后,发起方为时间戳发送一个确认信息 A2。在上面提出的测距协议中,将会获取一个 TOA 测量数据序列以用来进行定位或者跟踪,此过程的采样间隔中至少有两次有效的 RSS 测量会伴随着 TOA 测距过程一同进行。

对于多尺度取样,应用 TOA 测量数据的有偏 Kalman 滤波和应用 RSS 测量数

据的极大似然估计都会应用于基站以进行测距估计。根据不同的采样率，用状态信息融合来融合有偏 Kalman 滤波和极大似然估计的估计结果，来获取更精确的测距估计。

假设在 i 时刻与基站 AN 和移动目标 MN 之间 TOA 数据相对应的距离测量可以模型化为：

$$r(i) = d_A(i) + n(i) + N(i) \tag{3.15}$$

$d_A(i)$ 是真实距离， $n(i)$ 是均值为零、标准差为 σ_m 的附加高斯随机测量噪声， $N(i)$ 是 NLOS 接收测距信号的误差部分。如果存在 LOS 传播，NLOS 误差成分 $N(i)=0$ 。信道测量数据显示 UWB 多径到达以簇群而非连续的形式出现。假设 T_0 是在第一簇群中第一路径的到达时间。到达时间 T_0 与时刻 i 的 NLOS 正数误差成分 $N(i)$ 相相应，并且 $N(i)=T_0c$ 。其中 c 是光速。LOS 情形下，令 $T_0=0$ 。NLOS 情况下的到达时间 T_0 可以模型化为一个指数分布，如下所示：

$$P(T_0) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_0)] \tag{3.16}$$

这里 $\Lambda(1/ns)$ 是簇到达率，它在不同环境中的数据值如表格 1 所示^[61]。

由于大规模衰落，标准路径损耗已经模型化为对数正态随机变量

$$s(j) = 10\beta \log(d_s(j)/d_0) + R \tag{3.17}$$

β 是路径损耗成分， d_0 是基准距离，通常 $d_0=1$ ， R 是零均值高斯随机变量，并且在 LOS 和 NLOS 情况中有不同方差。上面提出的描述路径损耗模型不同环境下的参数如表格 1 所示，其数据已经应用于多种 UWB 无线传感器网络系统的仿真及技术设计中^[62]。

表 3-1 UWB 信道模型中的路径损耗及多径衰减的参数

参数	住宅环境		室外环境	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
β	1.79	2.70	1.76	2.50
$\delta(dB)$	2.75	4.10	0.83	2.00
$\Lambda(1/ns)$	0.047	0.120	0.0048	0.0243

3.3.2 信息融合算法

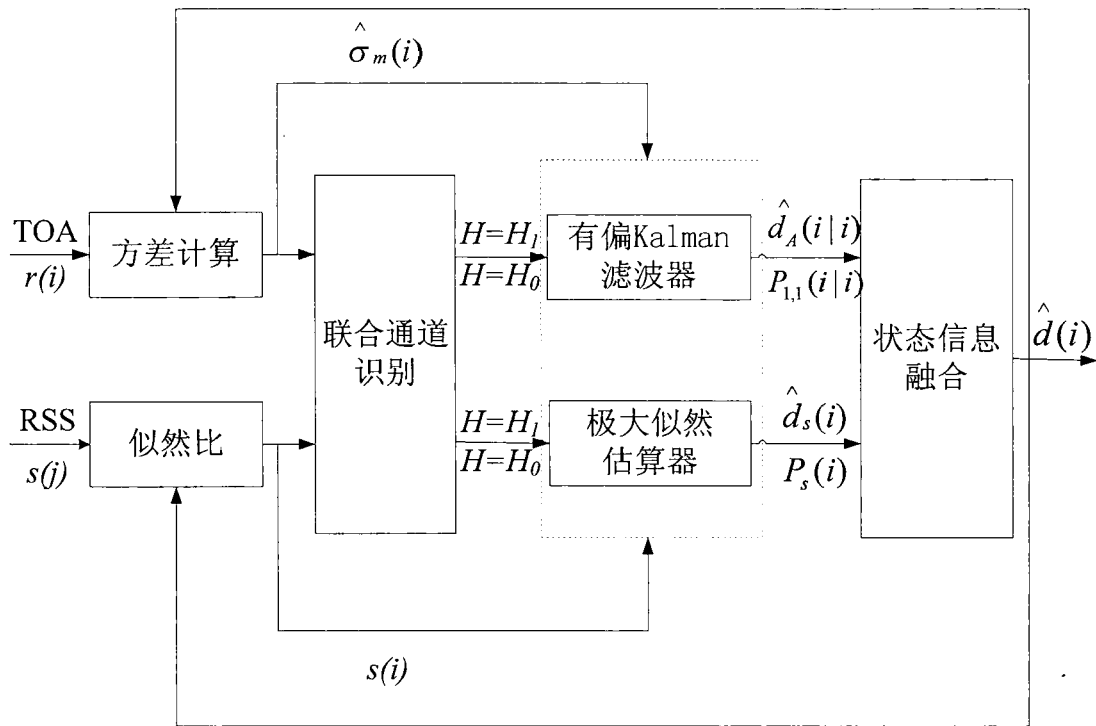


图 3-4 信息融合滤波器架构

本文提出的信息融合结构如图 3-4 所示，其由四部分组成，NLOS 识别、有偏 Kalman 滤波、MLE 以及状态信息融合。

信息融合算法是基于 TOA 和 RSS 两种方法的，并将其测距数据进行融合，得到更加精确、稳定的定位测距结果。基于 TOA 和 RSS 的测距需要经过 NLOS 识别，并根据 LOS 或 NLOS 状态有针对性地进行不同的滤波处理，消除测距过程中的误差噪声。

从 (3.14) 中的测距数据模型中，我们可以定义一个状态变量 $X(i)=[d_A(i) \ d_A(i)]^T$ ， $d_A(i)$ 表示 MN 相对于 AN 的速率。

动态状态方程可以表示为：

$$X(i+1)=\phi X(i)+\Gamma W(i) \tag{3.18}$$

状态转移矩阵和噪声转移矩阵可以分别写成：

$$\phi=\begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Gamma=\begin{bmatrix} T_s^2/2 \\ T_s \end{bmatrix}$$

T_s 为采样周期， $W(i)$ 为过程传动噪声并由移动节点的加速度决定。在此，我

们假设 $W(i)$ 是均值为 0 和协方差为 σ_v^2 的高斯随机过程。此测量表示为：

$$Z(i) = \varphi X(i) + V(i) \quad (3.19)$$

其中 $Z(i)$ 为相应锚节点的 TOA 测量数据, $\varphi=[1 \ 0]$ 为测量矩阵, $V(i)$ 是协方差为 σ_v^2 的测量噪声。

此信息融合算法可以归纳为：

- i. 将得到的 TOA 测量数据进行方差更新计算, 其计算方法为：

$$\hat{\sigma}_m(i) = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{k=i-(C-1)}^i (r(k) - \hat{d}(k))^2} \quad (3.20)$$

$\hat{\sigma}_m$ 为时刻 i 测量的 TOA 测距数据 $r(i)$ 的标准差。对于每个 C 数据采样滑块此计算都重复进行。 $\hat{d}(k)$ 为信息融合估算中的 TOA 估算。

- ii. 将得到的 RSS 测量数据进行似然比加权计算, 其方法为：

$$s(i) = \sum_{j=(i-1)M-1}^{iM} s(j) / M \quad (3.21)$$

- iii. 进行 NLOS 识别。根据 TOA 的 LOS/NLOS 假设检验结果, 可以得到：

$$\begin{aligned} H_0 : \hat{\sigma}_m < \gamma \sigma_m & \text{ 检测到 LOS} \\ H_1 : \hat{\sigma}_m \geq \gamma \sigma_m & \text{ 检测到 NLOS} \end{aligned} \quad (3.22)$$

在此, 信道状态 $H=H_0$ 对应着 LOS 传播, 而 $H=H_1$ 则与 NLOS 传播相对应。

根据 RSS 的 LOS/NLOS 假设检验结果 $f(s(i) | \hat{d}, H_0)$ 和 $f(s(i) | \hat{d}, H_1)$, 可以得到：

$$\begin{aligned} H_0 : \hat{\sigma}_m < \gamma \sigma_m & \text{ 检测到 LOS} \\ H_1 : \hat{\sigma}_m \geq \gamma \sigma_m & \text{ 检测到 NLOS} \end{aligned} \quad (3.23)$$

其中,

$$Q = \frac{f(s(i) | \hat{d}, H_0) \gamma \sigma_m}{f(s(i) | \hat{d}, H_1) \hat{\sigma}_m(i)} \quad (3.24)$$

iv. 根据 NLOS 识别结果, 将第 i 步得到的标准差 $\hat{\sigma}_m(i)$ 代入有偏 Kalman 滤波

器进行滤波, 其在标准 Kalman 滤波^[63]的基础上增加了偏置 $\hat{\sigma}_v(i)$, 其中

$$\hat{\sigma}_v(i) = \begin{cases} \hat{\sigma}_m(i-1) + [\varepsilon(i) / \beta]^2, & \text{如果 } \varepsilon(i) > 0 \text{ 并且检测到 NLOS} \\ \hat{\sigma}_m, & \text{其它} \end{cases} \quad (3.25)$$

并由此得到 TOA 测距数据 $\hat{d}_A(i|i)$ 及其协方差矩阵 $P_{1,1}(i|i)$ 。

v. 根据 NLOS 识别结果, 将第 iii 步得到的加权测量数据代入极大似然估计

器, 进行 MLE 计算, 得到 RSS 测量数据 $\hat{d}_s(i)$ 及其协方差矩阵 $P_s(i)$ 。

vi. 利用步骤 iv 和步骤 v 中所得数据, 进行状态信息融合, 其方法为:

$$\hat{P}_{1,1}(i|i) = [P_{1,1}(i|i)^{-1} + P_s(i)^{-1}]^{-1} \quad (3.26)$$

$$\hat{d}(i) = \frac{1}{\hat{P}_{1,1}(i|i)} [P_{1,1}(i|i)^{-1} \hat{d}_A(i|i) + P_s(i)^{-1} \hat{d}_s(i)] \quad (3.27)$$

3.3.3 仿真结果

仿真结果用来验证本文中的测距估算器的有效性。我们假设目标节点的恒定速度为 1.5m/s 并且直线移动。采样长度为 150, 采样间隔为 0.1s。在 TOA 测量中, 以真实距离得出仿真的测量数据, 将测量噪声和 NLOS 噪声附加至真实距离中得出仿真的测量数据。LOS 测量噪声假定为白随机变量, 其均值为 0, 标准差 $\sigma_m=0.1m$ 。但是 NLOS 测量噪声则假定为指数分布的随机变量, 其参数 $\lambda=0.047$ 。RSS 测量中, 仿真测量数据由表 3-1 中的室内环境参数得出。

参考节点的 LOS 或 NLOS 每 50 个采样后就变换至另一种方法。在每次仿真中, 10 次 Monte Carlo 将会以相同参数运行。 $\hat{\sigma}_m$ 为传动噪声的方差, 取决于目标节点的加速度。在执行中, 将取一个较小值 $\hat{\sigma}_m = 0.15m/s^2$, 并且 $\beta=5$, $\gamma=3$ 。

图 3-5 比较了本文中的信息融合滤波器与参考文献^[61]中有偏 Kalman 滤波器的测距估计。可以看出, 本文中的滤波器可以在 NLOS 至 LOS 信道状态转移中有效

减少 NLOS 误差部分并且成功减少识别误差。

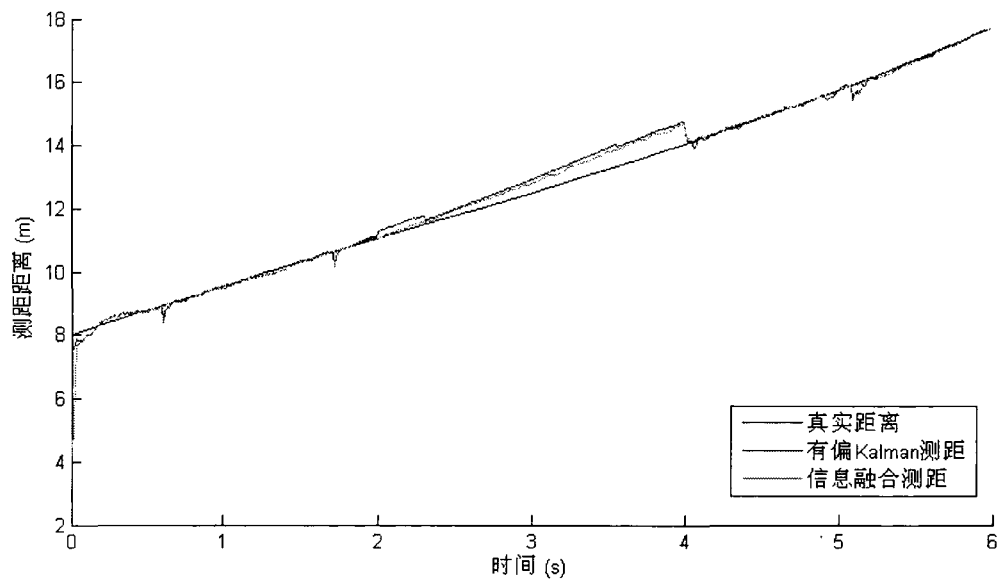


图 3-5 本文中信息融合与有偏 Kalman 滤波器^[64]在 LOS/NLOS 转移条件下测距估计的比较

3.3.4 本章小结

本章首先介绍了无线传感器网络中的无线定位方式以及定位的基本方法，选取 TDOA 算法作为 UWB 定位系统中的基础定位算法，其次对 TDOA 算法做了详细的介绍，并给出两种常用的具有解析表达式解的算法。最后初步介绍和研究了可以提高定位精度的非视距误差消除的定位算法并做了仿真。

第四章 PLUS 跟踪定位软件子系统的设计

本章设计的定位软件子系统，是整个定位系统中的一部分，它包括系统配置模块、数据源选择模块、网络通讯模块和数据处理模块，采用了无线超宽带 UWB 技术以及基于 TDOA 的测距算法，本章定位软件系统的主要功能就是采集、融合设备传送的信息，并且控制这些设备的工作方式，得到标签的实时位置信息。整个系统以 Visual C#为编程语言，在 Microsoft Visual Studio 10 环境下编写成功。

4.1 软件体系

软件体系结构图如图 4-1 所示：

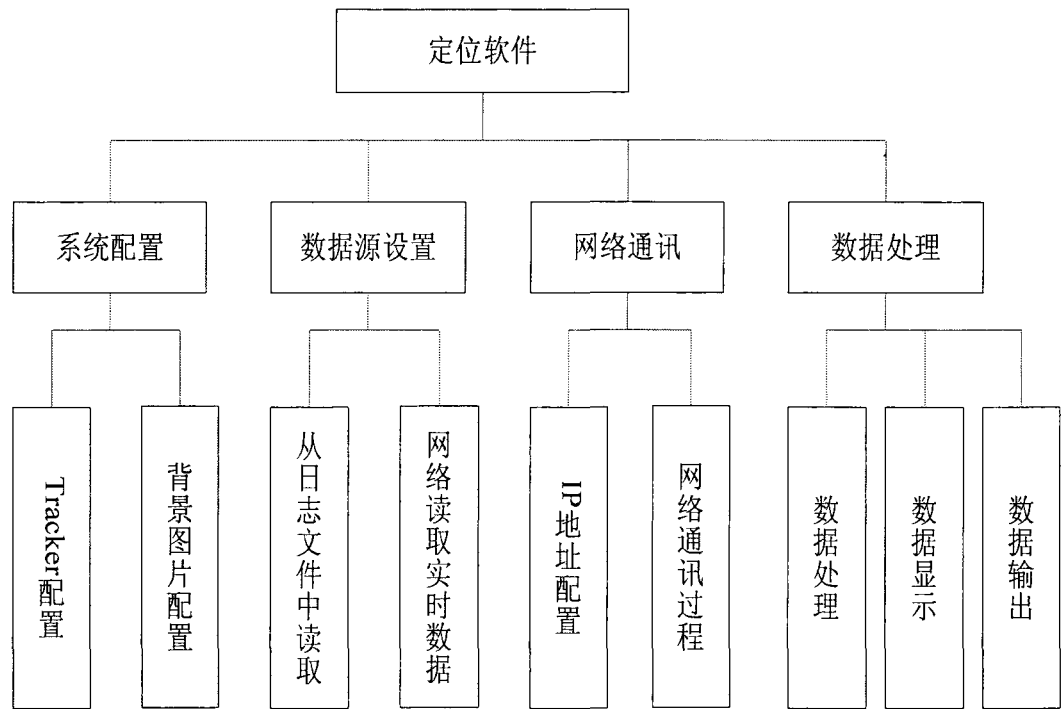


图 4.1 定位软件结构图

本章设计的 TDOA 数据读取和位置计算子系统软件设计，采用基于 TDOA 的算法，结构采用面向对象的设计风格，为了更直观的看到数据，设计了简单界面，由面向对象的 C#程序来实现。界面设计截图如图 4-2 所示：

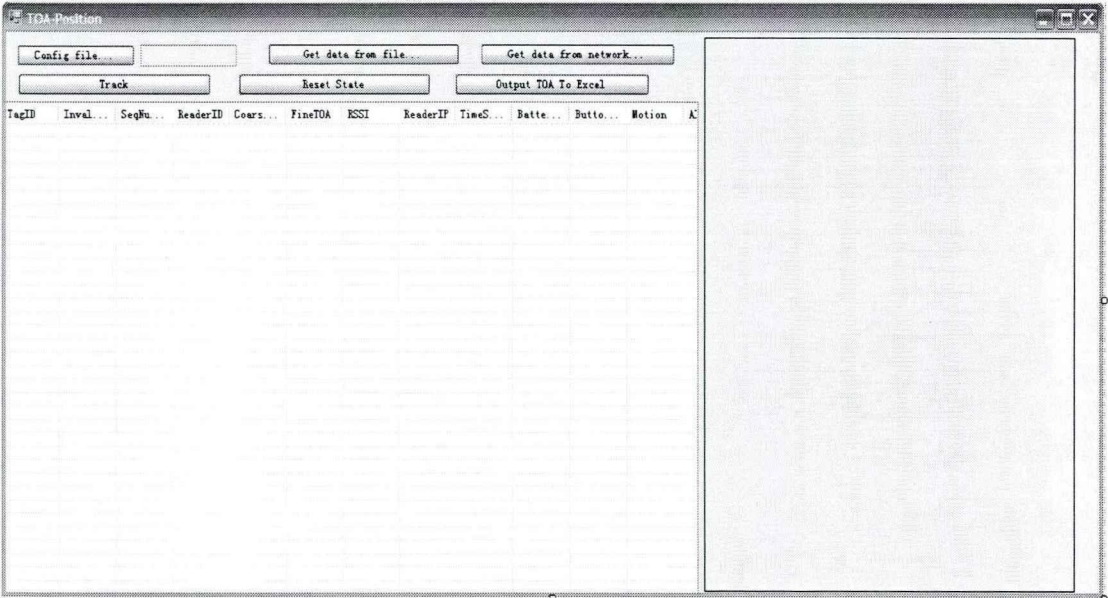


图 4-2 定位系统界面截图

4.2 系统配置模块

Config file 按钮。点击此按钮，会打开一个对话框，可以选择一个 tracker 配置定位系统硬件部分的文件，并读取配置数据，文件格式是一定的，内容包括阅读器坐标、IP 地址、阅读器和标签的校准信息等。系统软件给出了完整的 API 函数用来配置定位软件的操作参数。这些函数接口封装在定位引擎 PLUS Tracker OCX 控件中。导入配置文件之后，文件路径会显示在按钮右边的文本框里。

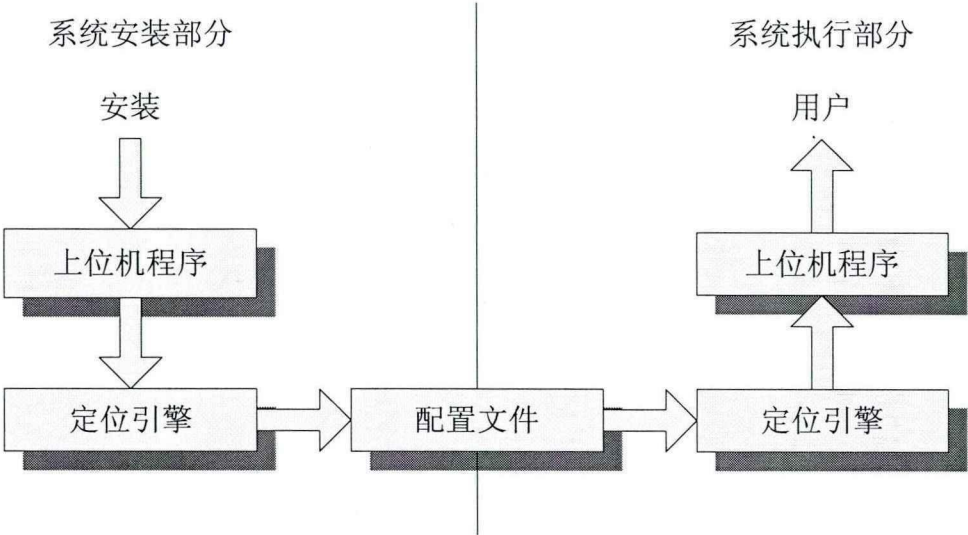


图 4-3 系统配置工作流程

但是，由于大多数应用程序都不必用到这些功能，所以大多数安装过程用的是最初的系统配置文件，一旦安装完成，上位机软件系统将会生成一个配置文件，这个文件里包括完整的定位软件初始化的有效配置，所有应用程序所需要做的就是执行一个定位软件函数选择需要写入的配置文件即可。选择已有的配置文件如图 4-4 所示。打开已写好的有一定格式的配置文件后，程序会读取文件，这样就能自动配置软件了。每次配置完之后，C#程序会使用注册表功能保存这次的配置，当系统复位或者下次再打开系统时，直接读取上次的配置文件，不需要再次配置系统了。

系统配置包括两部分配置文件，一部分叫 `trackerconfig.txt` 的配置文件，包括阅读器的坐标，校正标签的信息等；另一部分叫 `visualizerconfig.txt` 的配置文件，它主要是对背景图片进行设置，本章中的定位软件界面没有用到此配置，在下章介绍的上位机界面中需要用到这部分配置。

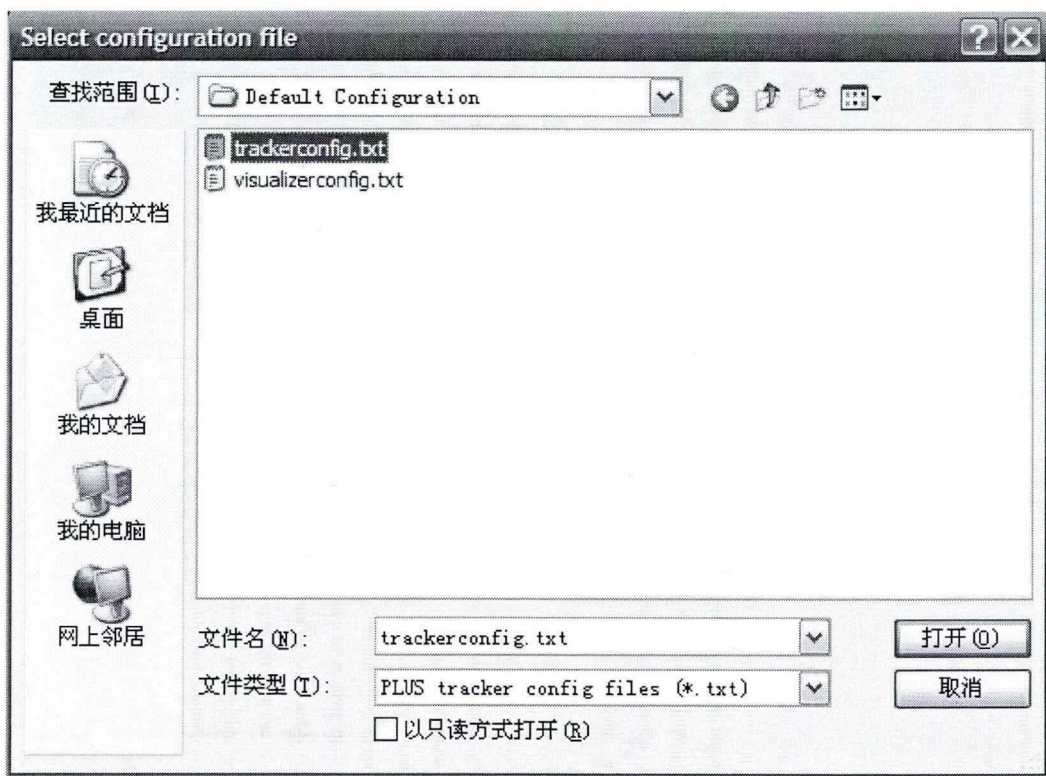


图 4-4 选择已有配置文件

4.2.1 读取 trackerconfig.txt 文件

这个文件的功能是：识别阅读器以及每个阅读器的 MAC 地址，识别测量数据以及校正数据，比如阅读器的位置坐标；给所有标签的 Z 坐标设置成一个已知的定值。

配置程序流程图如下：

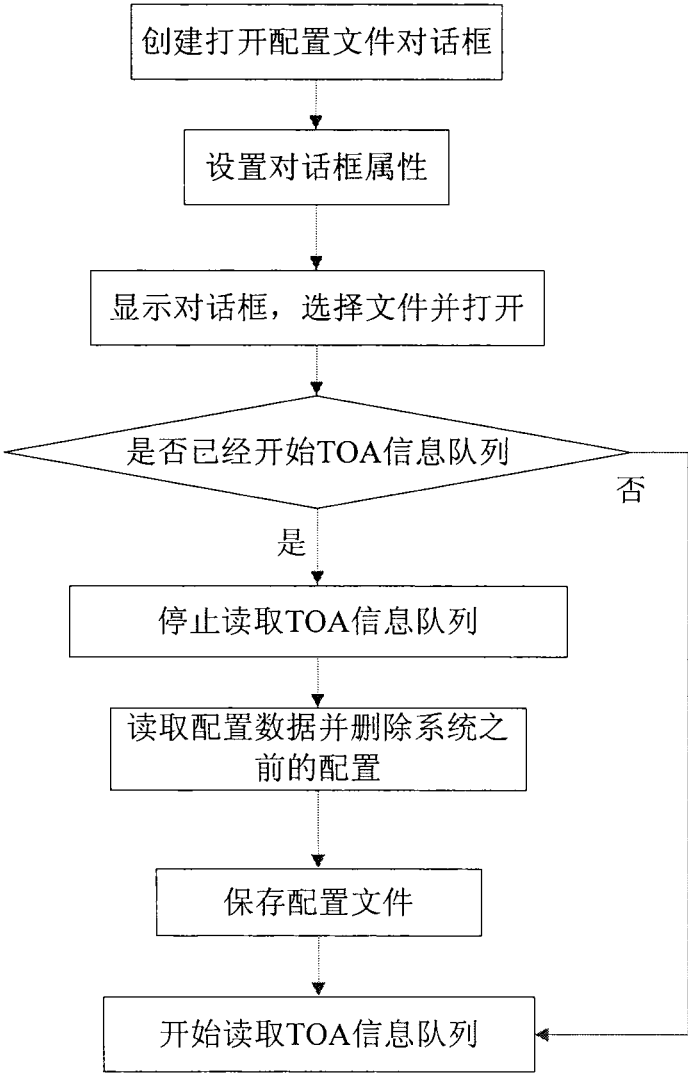


图 4-5 系统配置程序流程图

4.2.2 读取 visualizerconfig.txt 文件

这部分文件功能是：为跟踪区域指定背景图片，本系统中将实验房间用 AUTOCAD 以一定比例画出，作为跟踪区域的背景，这样标签在房间的具体位置能够更直观的观察。配置文件中包括图片的路径、大小以及图片左上角相对于跟踪区域的坐标。

配置程序流程图如下：

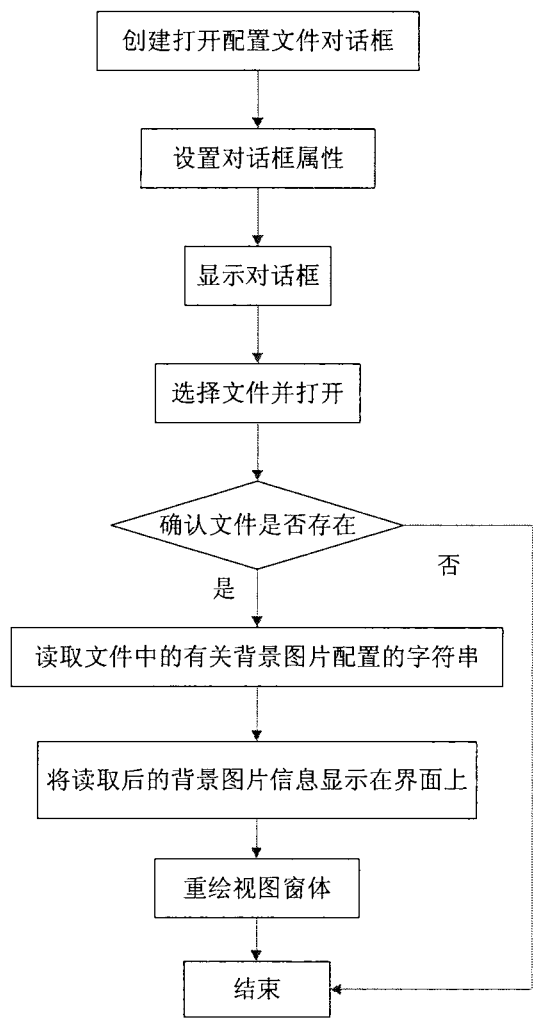


图 4-6 背景图片配置程序流程图

4.2.3 保存和读取配置文件

在.NET Framework SDK Beta2 版中，有一个 Microsoft.Win32 的命名空间，在此命名空间中提供了两个用于注册表操作的类：Registry 类、RegistryKey 类，这两个类都是封闭类，不可以继承。在这两个类中，定义了许多关于注册表的方法和属性，通过调用这两个类，在 Visual C#中就可以比较轻松的处理关于注册表的各种操作了。

在本系统中，我们采用了注册表来保存和读取配置文件，大大降低了配置的复杂性，一旦系统已经配置，程序会自动保存，这样下次需要配置系统时，就可以直接从注册表中读取数据。Registry 类主要封装了 7 个公有的静态域，而这些静

态域分别代表着视窗注册表中的 7 个基本主键。RegistryKey 类主要封装了对视窗系统注册表的基本操作。

具体步骤是：将配置文件保存于 HKEY_LOCAL_MACHINE \SOFTWARE\TIMEDOMAIN\PLUS 目录下，关闭注册表。当系统执行复位或者重新打开系统时，再从此目录下的 Config File 下的 solverIp 的注册表项，并且用 ReadConfig() 函数读取从 Config File 下的注册表项的开头到以字符串“\\VisualizerConfig.txt”结束的注册表项，之后关闭注册表。

4.2.4 函数接口

在此模块中，我们需要用到下面几个函数接口：

Public virtual int ReadConfig (BSTR filePath)，调用此函数接口可以读取配置文件并处理配置数据，运行后删除之前的系统配置数据。filePath 是配置文件名的全路径。

public virtual int IsTOAMessageQueueStarted()，此函数判断是否开始 TOA 信息队列。若此函数返回 0，说明 TOA 信息队列还没开始；若不返回 0，说明已经开始 TOA 信息队列。

public virtual void StopTOAMessageQueue()，此函数停止读 TOA 数据包/信息队列。

public virtual int StartTOAMessageQueue()，开始 TOA 数据包/信息队列。返回 0，成功开始；不返回 0，数据源没设置或者数据源无效。如果数据源是一个 IP 地址，软件可能无法在这个 IP 地址在端口 11000 绑定 UDP 数据包。如果数据源是文件，说明软件无法打开文件并读取它。

4.3 数据源选取模块

4.3.1 从日志文件中读取数据

Get data from file 按钮。点击此按钮，打开选择日志文件或者仿真数据的对话框，日志文件里包括标签的位置信息或者阅读器收到标签的数据信息，这样可以重演之前的定位效果。

程序流程图如下：

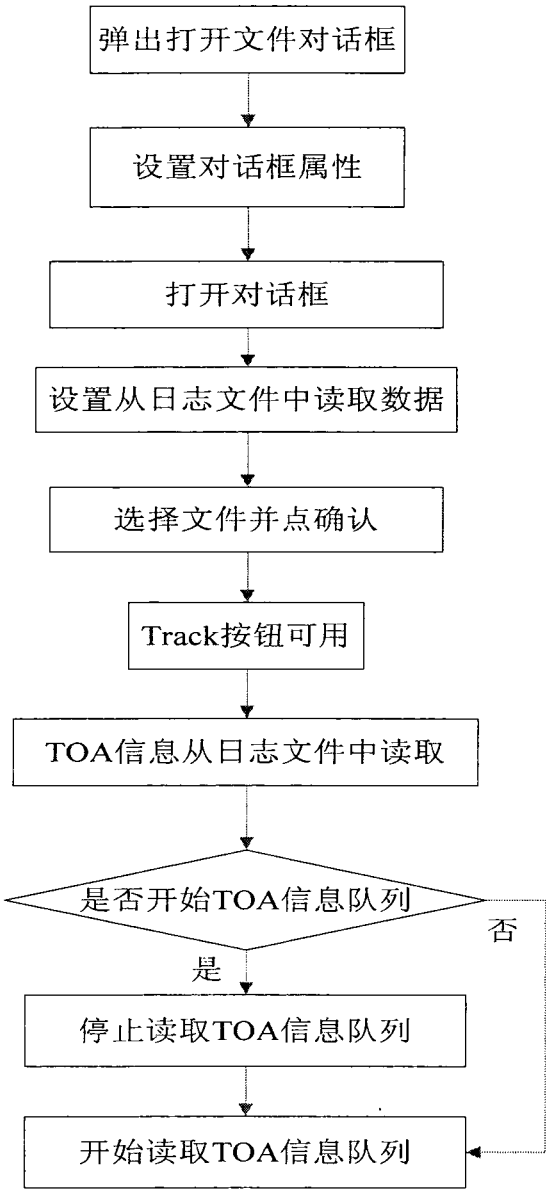


图 4-7 从日志文件中读取数据流程图

在此模块中，我们需要用到下面几个函数接口：

`public virtual string inputRawFileName{set; get; }`，这个函数功能是指定保存了 TOA 信息的输入文件名。

`public virtual int SetInput(int input)`，这个函数选择数据源是日志文件还是网络数据。`input` 为 1，数据源是 IP 数据，即从以太网接口读的实时数据；`input` 为 0，数据源是保存有 TOA 数据的日志文件。

此外还需要一些函数接口，前文中已经介绍过，不再赘述。

4.3.2 从 IP 地址读取数据

Get data from network 按钮。点击此按钮，打开显示 IP 地址的对话框，左边文本框里会显示本地 IP 地址，点击 OK 按钮，执行网络通讯模块的程序，即可从网络实时读取数据。

这里需要域名解析系统得到本地的 IP 地址。域名系统（DNS）是一种用于 TCP/IP 应用程序的分布式数据库，它提供主机名字和 IP 地址之间的转换，这里提到的分布式是指在 Internet 上的单个站点不能拥有所有的信息，每个站点保留它自己的信息数据库，并运行一个服务器程序供 Internet 上的其他系统（客户程序）查询。DNS 提供了允许服务器和客户程序相互通信的协议。

对 DNS 的访问是通过一个地址解析器来完成的，解析器通常是应用程序的一部分，解析器并不像 TCP/IP 协议那样是操作系统的内核。在一个应用程序请求 TCP 打开一个连接或使用 UDP 发送一个数据报之前，必须将一个主机名转换成一个 IP 地址。

C#可以通过调用.NET Framework SDK 封装的类、对象来实现许多强大的网络功能。在.NET Framework SDK 中提供了两个可以用于网络编程的命名空间，一个是 System.Net，另一个是 System.Net.Socket。在 System.Net 命名空间下的 Dns 类中定义了一个方法 GetHostAddresses，此方法查询并返回主机的 Internet 协议（IP）地址，该返回值是一个 IPAddress 类型的数组。

程序运行结果如下：

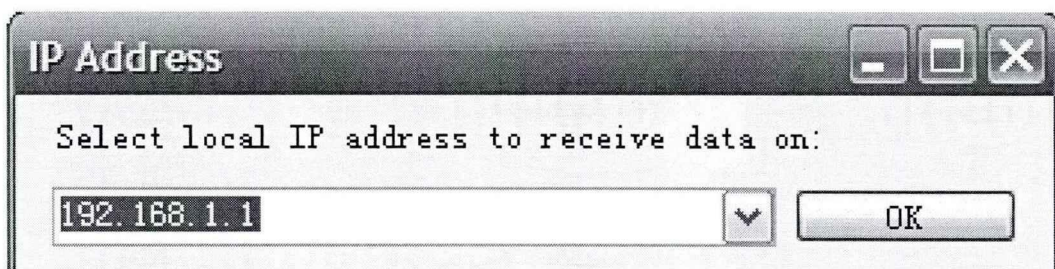


图 4-8 读取数据的 IP 地址界面截图

程序流程图如图 4-9 所示：

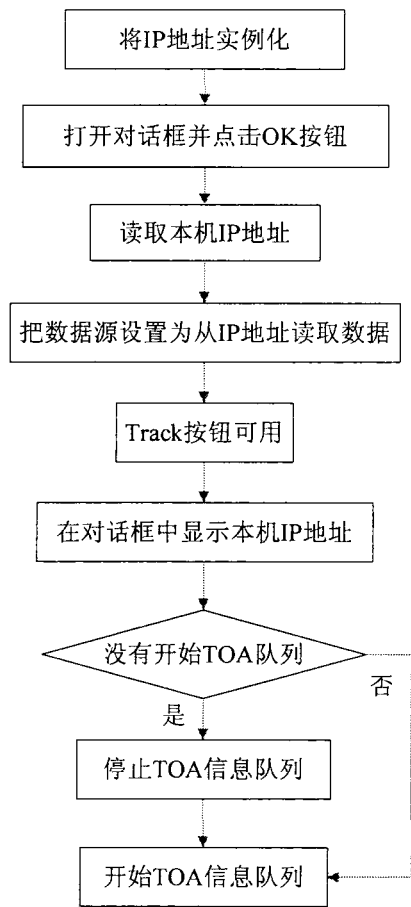


图 4-9 从 IP 地址中读取数据

4.3.3 函数接口

public virtual string localIpInterface { set; get; }, 指定获得 TOA 信息的本地 IP 接口。默认为 “0.0.0.0”，即所有有效网络接口。

public virtual int IsDataSourceIPAddr (), 此函数返回 0 说明数据源为空或者不是有效的 IP 地址；返回值不为 0，则为有效的字符串形式的 IP 地址。

4.4 跟踪标签模块

4.4.1 跟踪标签

Track 按钮。当选择了数据源，Track 按钮才可以使用，在数据处理之前，应用程序等待进一步的命令。点击 Track 按钮，软件开始跟踪标签，得到标签的 TOA 信息，并进行处理和计算之后得到标签的位置信息，TOA 信息实时显示在下面的列表框里，而算出的位置信息实时显示在右边的文本框里。鼠标点击 Track 按钮后，

按钮显示为 Stop Tracking，当再次点击时，停止读取 TOA 信息，也就是停止追踪标签，TOA 和位置信息也停止显示在界面上，此时按钮再次显示为 Track。程序流程图如图 4-10 所示：

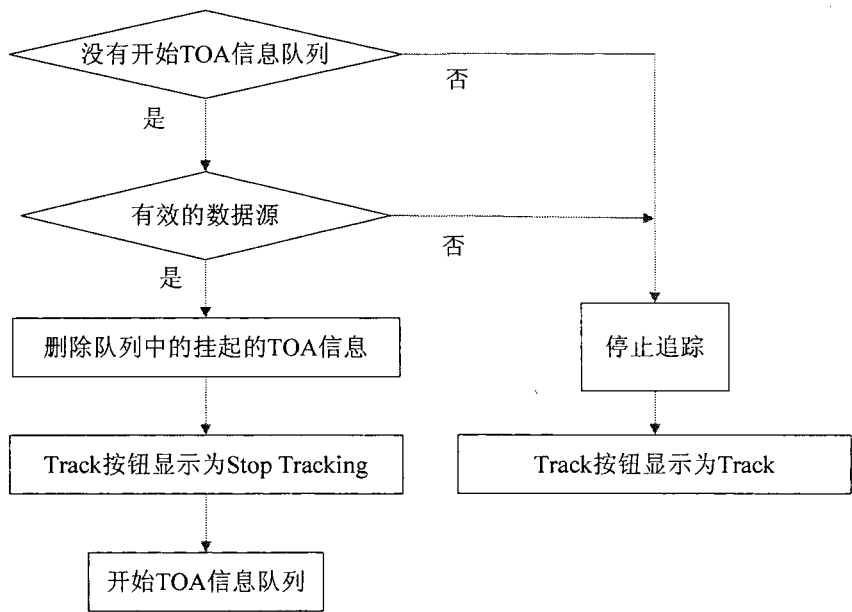


图 4-10 跟踪程序流程图

跟踪定位模块是否可以精确的定位到标签的位置，关键要看位置信息能不能实时的采集标签传送的 TOA 信息并获得最新的位置数据。由于 TOA 信息数据流是基于消息触发的 Tracker API 函数采集，程序按照消息队列逐个处理消息，在试验中我们不断的收到 TOA 信息，但是一旦当我们停止追踪，也就是停止接收数据时，Tracker 追踪器还是不断的会发送其它事件，这样当我们再次开始追踪标签时，就会出现线程锁死，所以我们新开了一个线程，同步停止追踪器 Tracker，来防止停止追踪时出现的线程锁死。

4.4.2 跟踪器 Tracker 介绍

首先介绍 PLUS Tracker OCX 控件，即 PLUS Tracker 追踪器，它提供了很多函数、属性和事件，比如 TOA 数据读取函数、选择数据源的方式等，我们在编程的时候可以直接调用这个控件提供的函数，大大降低了程序编写的难度。

控件包括一个单一的 COM 对象叫 Tracker，它处理 PLUS 阅读器的实时信息，并且利用阅读器的信息校准、解决和维护有关标签、阅读器等的信息。它执行以下功能：

1. 从网络或者日志文件得到阅读器的数据;
2. 通过 COM 事件, 提供对 TOA 消息数据的访问;
3. 管理包含 PLUS 标签、校准标签、阅读器等配置信息的数据库;
4. 管理阅读器的校准; 校准补偿由于阅读器之间的电缆长度延迟而造成的时间偏差。
5. 在标签信息更新时触发事件;
6. 当阅读器和标签事件发生时产生报警信息。

程序中多次用到追踪器, 因此会同时发送很多信息, 比如标签 TOA 数据、位置信息等等, 我们为追踪器另外开一个线程, 使用 Mutex 同步停止追踪器, 这样可以防止线程锁死。

4.4.3 多线程同步共享资源编程

在试验中我们发现, 当系统正在追踪标签时, 我们停止追踪, 而重新开始追踪标签, 会出现死锁的状态。这是因为读取 TOA 数据、停止追踪、读取标签位置信息等有共享的资源 Tracker 追踪器, 虽然我们停止追踪, 但是 Tracker 追踪器还是不断的发送标签的位置信息, 因此我们使用了多线程同步共享追踪器资源的编程方法, 同步停止追踪器, 来防止线程锁死的状态。

Visual C#.NET 和公共语言运行库为编写多线程代码提供了内置支持, 线程是代码的执行路径, 它们是应用程序调度和优先级的基本单位。每个应用程序至少具有一个执行代码的线程, 可以启动多线程来执行 Visual C# 应用程序。C# 语言中包含有用于辅助线程安全的关键字, 以及可简化编写执行多线程代码的任务的 .NET 框架中的类。

通过在应用程序中使用多线程, 可以把任务分割成多个异步部分, 这样就可以写出更高效的代码。但这种在一个进程中执行多个线程的能力也增加了危险性和复杂度。如果多线程不能同步对共享数据的访问, 数据就会破坏。为了避免同步问题, 必须在多线程访问共享对象时提供同步, 使用 Visual C#.NET 进行开发时提供同步是非常容易的。

在我们设计的定位系统中, 使用等待处理同步线程。 .NET 框架中有一个相互排斥的类 Mutex 类, 它派生自 WaitHandle 类, WaitHandle 类为同步对象生成捕捉、释放和等待过程。每个 WaitHandle 对象的状态都属于下面两种之一。

Signaled 表示任何线程都无法获取 WaitHandle 对象;

Not Signaled 表示无法获取 WaitHandle 对象, 任何试图获取这个对象的线程将被阻塞, 知道同步对象收到信号为止。

互斥体 Mutex 类最通用的一个用途就是确保一个应用程序在运行的时候仅有一个实例, 也就是说 Mutex 类至多允许一个线程访问某资源, Mutex 对象时通过在任意给定时刻只允许一个线程获得所有权来起作用的。开始主线程尝试获得一个 Mutex 所有权, 如果获得成功, 那么主线程就会继续执行代码块, 如果失败, 则说明在此之前已经有另一个副本获取了 Mutex 对象。

在系统中, 我们使用了 WaitOne 方法实现同步, 这个虚拟方法会阻塞调用线程, 直至当前的 WaitHandle 对象收到信号为止。WaitOne (int millisecondsTimeout, bool exitContext), 其中 milliseconds Timeout 是指等待的毫秒数, 是 32 位带符号整数; 如果等待之前退出上下文的同步域, 并在稍后重新获取它, 则 exitContext 为 true, 否则为 false。如果当前实例收到信号, 返回 true, 否则为 false。具体的说, 一个线程通过调用 WaitOne() 这个阻塞方法来等待一个事件被触发, 另一个线程通过调用事件对象的 set() 方法以触发事件从而使得第一个线程继续进行。

除了 WaitOne 之外, Mutex 类还公开了 ReleaseMutex 方法, 用于释放 Mutex 对象的所有权, 并允许另一个正在等待的线程获得 Mutex 对象。ReleaseMutex 方法没有参数, 用法如下:

```
trackerStopMutex.ReleaseMutex();
```

拥有 Mutex 对象的线程可以多次调用 WaitOne, 而不会被阻塞, 但在任何等待线程获得对 Mutex 对象的控制权以前, 该线程必须按相应的次数调用 ReleaseMutex。如果拥有 Mutex 对象的线程被销毁, Mutex 对象即被释放。

在此定位系统中, 首先创建一个停止追踪器的 Mutex 对象 trackerStopMutex。主线程调用 WaitOne() 方法, 此时并不阻塞线程, 在等待释放之前退出同步域的情况下, 尝试获得 trackerStopMutex 的 Mutex 的所有权, 如果尝试成功, 追踪器线程会读取标签的 TOA 数据, 然后进行数据处理, 实现对标签的实时跟踪定位, 之后调用 ReleaseMutex 方法释放 Mutex 的所有权。当系统停止追踪时, 会阻塞当前线程, 当前线程每等待 10 毫秒会尝试获得停止追踪器的 Mutex 的所有权, 此时不退出同步域, 如果尝试成功, 停止 TOA 信息队列, 并将当前追踪器线程挂起, 直至重新开始追踪时, 再释放 Mutex 的所有权。一旦此时释放了 Mutex 的所有权, 追

踪器就会开始读取标签的 TOA 数据，重新开始跟踪。如果尝试失败，会强制处理当前程序的所有事件，之后返回重新尝试获得 Mutex 的所有权。

通过多线程同步停止追踪器的方法，程序实现了随时停止并开始追踪标签，而再没有线程死锁的现象发生。

4.4.4 函数接口

Public virtual void FlushTOAMessageQueue ()，删除所有队列中挂起的 TOA 信息，用于 TOA 信息队列停止之后变换数据源时。

4.5 网络通讯

4.5.1 IP 地址配置

默认情况下，阅读器可以在 DHCP 服务器每次启动时要求一个 IP 地址，如果使用这种动态分配 IP 地址的方案，必须有一个 DHCP 服务器连接到跟踪网络，这种方法比较麻烦，所以我们选择使用串行连接配置一个静态 IP 地址。每个阅读器配置时必须伴随着定位引擎的 IP 地址配置，阅读器可以向这个 IP 地址发送数据，定位引擎的 IP 地址也由串行连接配置。这部分 IP 地址配置在安装硬件的时候已经配置好。在运行上位机软件之前，需要配置服务器的 IP 地址与定位引擎的地址相匹配。把网卡的 IP 地址设为 192.168.1.1，网关设置为 255.255.255.0。如下图所示：

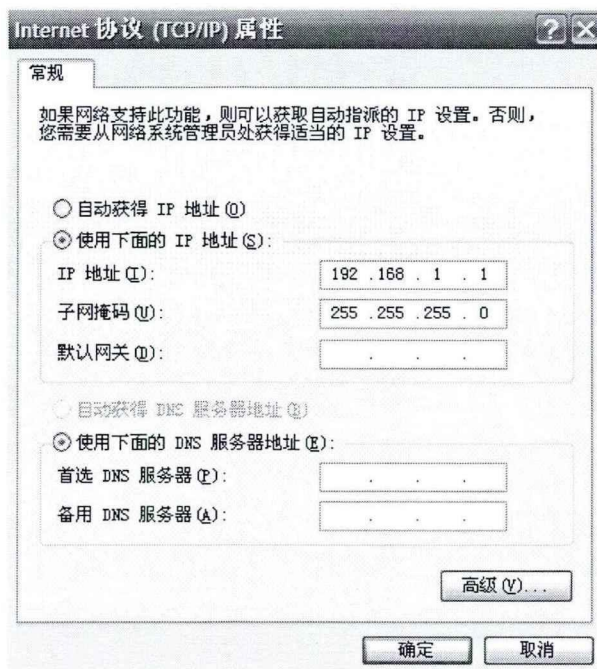


图 4-11 服务器 IP 地址设置

4.5.2 网络通信过程

系统启动时,阅读器在 TCP 端口 11001 监听连接,通过这个端口发送 ASCII 命令可以控制阅读器。而且,在启动时或者在随后的 10 秒内都没有得到标签的传输信息时,阅读器会在 UDP 端口 11000 广播一个发现 TOA 数据包给广播地址,来播报阅读器的状态,这种发现 TOA 数据包是 TOA 数据包的特殊形式,其中的标签 ID 为 0,其他格式都和普通 TOA 数据包格式相同。一旦阅读器启动,每当收到一个标签传送,它就会发送一个二进制 TOA 数据包给 UDP 端口 11000。当它接收到一个标签信道状态传输时,阅读器除了向 UDP 口 11000 发送 TOA 数据包以外,还会发送一个信道状态数据包给 UDP 端口 12000。

4.6 数据处理

当窗体载入时,系统复位,并且读取标签信息队列事件会发生,调用 Tracker 的 NewTOAMessage()函数,可以得到我们想要的标签的 TOA 值,即 coarse TOA、fine TOA,通过 coarse TOA 和 fine TOA 数据,得到 TDOA 值,TDOA 值的计算方法是 fine TOA 数的 $1/256$ 加上 coarse TOA 数,得到标签数据到达每个阅读器的时间,然后系统会随机选择两个阅读器得到的时间相减,这样就得到一个 TDOA 值,根据上一章的 TDOA 算法,任选三个 TDOA 值,就能计算出标签的估计位置。

4.6.1 获取并显示 TOA 信息数据

要使用 ListView 列表控件,将得到的标签 TOA 信息队列各种信息显示出来。每个文件对话框都把 ListView 控件作为它最重要的控件,任何一个想用各种方法显示数据的应用程序都使用它。ListView 控件的详细信息视图非常像一个只读的数据网格,详细信息视图有多个列,并且可以对每一列进行排序,但是不能编辑数据。ListViewItem 表示 ListView 中的每一项。可以在 Columns 属性里编辑每列的名称,ListView 属性可以设置行、列的个数。为了全面观察从标签里读取的信息,这里设置了 16 列,把读取的每一项信息都显示出来,但是计算标签坐标时我们只需要用到其中的几项就可以了。

应用程序通过调用 Tracker 追踪器提供的 NewTOAMessage()函数获取信息,将 ListViewItem 对象的 Text 属性设置为这一列的名称和驱动器字母的组合,Text 属性指的是第一列,也就是标签的 ID,所以要使用下述代码添加另一列文本:

```
Li.SubItems.Add((invalidTOA==1? “有效” : “无效”));
```

这样就给第二列加入了项目，用同样的办法，把各项得到的数据经过一定的处理后加入到其他列中，处理过程这里不再赘述。

这里给 ListView 的外观做了颜色的处理，如果 `invalidTOA==1`，也就是第二列显示有效，则这一行文本全部显示为红色；否则第二列显示无效，偶数行文本全部为绿色，奇数列文本全部为蓝色。

需要说明的是，C#是禁止跨线程访问控件的，所以在访问读取的 TOA 数据时，我们需要使用调用 `Invoke` 匿名方法创建委托，传递一个函数或者委托进去来操作控件，这样就可以解决跨线程调用方法的问题了。当 `InvokeRequired` 值为真时，说明有一个创建它以外的线程想访问它，此时它会在内部调用 `methodInvoked` 来完成向 ListView 里添加项的步骤，这个方法其实保证了控件的安全。

4.6.2 计算并显示位置数据

将读取的标签 TOA 值进行处理和算法计算之后，可以得到对应每个标签 ID 的坐标值。使用 `TextBox` 类，将坐标值显示出来。`TextBox` 类用于管理文本框控件，文本框控件用于创建被称为文本框的标准 Windows 编辑控件，用于接收用户的文本输入。可以用 `Text` 属性获取用户输入到文本框中的文本，`TextLength` 属性获取存储在文本框中的文本的长度。

当文本框控件被置于使用 Windows 窗体设计器的 Windows 窗体上时，最初这个控件可以水平改变大小但是不能垂直改变大小，这是因为文本框控件的默认操作是支持单行文本的输入，要支持多行，必须把 `TextBox` 类的 `Multiline` 属性设为 `true`。我们选择的从多行控件中获取文本的方式是使用 `Lines` 属性，它返回一个字符串的数组，每个数组元素对应一行文本。这里把显示的格式以代码形式给出：

```
str = String.Format("Tag 0x{0:X8} pos {1:f2}m {2:f2}m {3:f2}m\r\n", tagId, X, Y, Z);
```

当文本长度没有超出显示范围时，标签位置信息一行一行的显示，当显示的信息过多，到达文本框底端时，自动删除最上面的数据，以保证能观测到最实时的数据。

4.6.3 输出 TOA 数据

当鼠标右键点击 ListView 框，并且此时 TOA 信息队列没有开始，会触发快捷键事件，在鼠标所在位置弹出快捷菜单，它包括两个功能，选择 `Output to Excel` 选项，把 ListView 中所有数据输出到 Excel 表格中并保存；选择 `Clear All` 选项则

可以清除 ListView 中的所有数据。

以 excel 表格形式输出数据时，用代码实现了对输出表格的设置，主要实现的设置有：

- 1. 设置抬头。合并单元格；列宽为自动适应；单元格左边框加粗；单元格有边框加粗；单元格文本水平居中；单元格文本显示为蓝色字体“TOA 信息”；字体大小为 18、颜色为黑色。
- 2. 设置单元格。行高和列宽分别为 25、20；设置单元格文本水平居左，设置文本格式。
- 3. 设置标题栏。设置标题背景色为浅橙色，标题字体加粗。
- 4. 设置数据区域。表格边界线的宽度为 1；字体大小为 10。
- 5. 设置 Excel 表格最后一行。合并单元格；行高为 20；文本显示为“导出时间：”+导出的时间；文本水平居右。

4.6.4 函数接口

此模块用到的 Tracker 函数接口有：

```
Public virtual void NewTOAMessage (int readerIdLow, //阅读器 MAC 地址高四位
                                   int readerIdHi,   //阅读器 MAC 地高两位
                                   int version,       //TOA 数据包的数据格式
                                                    版本
                                   int batteryState, //来自标签有效负载的电池
                                                    状态字段
                                   int buttonEvent,  //来自标签有效负载的按钮
                                                    事件字段
                                   int seqNum,       //来自标签有效负载的序
                                                    号
                                   int motion,      //来自标签有效负载的动
                                                    作检测字段
                                   int alarm,        //阅读器是否播报一个错误
                                                    条件
                                   int tagId,       //标签的 ID
```

```
int coarseTOA,    //coarse TOA 值, 单位是
                  10ns
int fineTOA,      //fine TOA 值, 单位是 1/256
                  的 10ns
int rssi,         //接收信号强度指示
int preambleCount, //用于诊断
int invalidTOA,   //标志 coarse TOA 和 fine
                  TOA 是否有效
int ipAddr,       //提供 TOA 信息的阅读器的
                  IP 地址
int timestamp,    //当接收到 TOA 信息时,
                  定位软件记录的时间戳, 它是 API 函数
                  GetTickCount() 返回的时间。
short panId)      //标签的 PAN ID
```

每当接收到新的 TOA 信息就会触发这个事件。其中一些函数参数是来源于阅读器 TOA 数据包格式。

4.7 复位

Reset 按钮。点击此按钮，系统停止追踪，系统读取上次配置时的注册表文件，日志文件设为空，本地 IP 接口设为空，配置文件名设为空，Track 按钮不可用且显示为 Track，右边显示位置信息的文本框清空。

4.8 程序运行结果及数据分析

定位软件子系统界面的运行结果如图 4-12 所示。通过此界面，我们可以实时获得各标签的 TOA 各项信息以及实时位置信息。

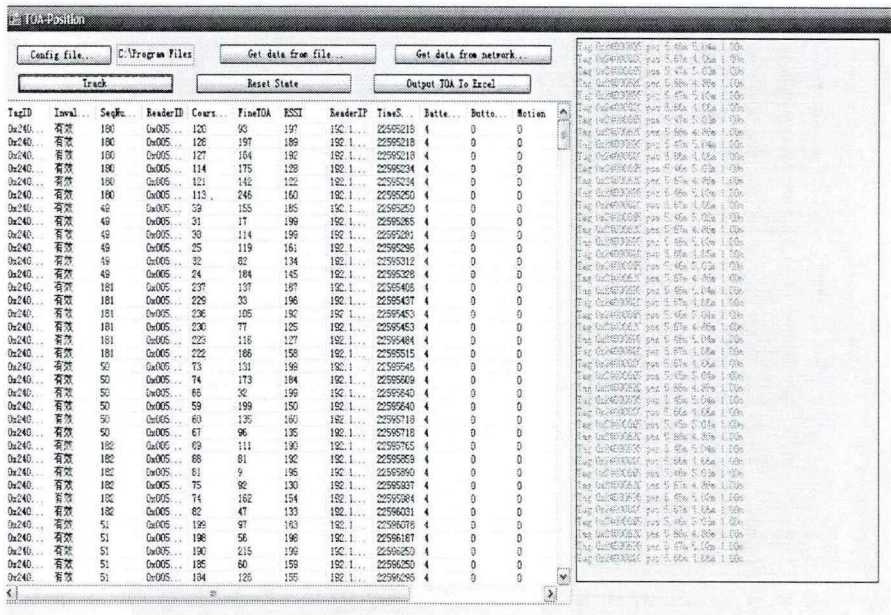


图 4-12 程序运行结果

4.9 本章小结

本章设计了定位软件子系统，主要包括系统配置模块、数据源选取模块、跟踪标签模块、网络通讯模块、数据处理模块以及复位过程，本章分别对组成本系统的各个模块的程序设计、所用技术和函数接口进行了详细的介绍和分析，最后展示了此系统的运行结果。本章是整个上位机定位系统中最重要的重要组成部分，是下一章实现在上位机界面上跟踪定位标签的前期准备。

第五章 PLUS 平台上位机界面设计

本章使用 Windows Visual C#窗体设计器，为 PLUS 定位系统成功设计了可视化界面。

5.1 Windows 窗体设计器简介

Windows 窗体为建立客户端应用程序提供了非常丰富的程序设计框架，用于创建包含大量客户端应用程序的类是建立在 System.Windows.Forms 命名空间基础之上的，统称为 Windows 窗体类。这个命名空间中的类通过 C#来创建丰富的客户端应用程序。这个命名空间中的关键类是 Form 类，它是用于 Windows 窗体应用程序中大多数窗口的基类。Form 类是所有最高级窗口的基类，这些窗口包括应用程序的主窗口、观察窗口以及应用程序中创建的所有对话框。向 Visual C#项目添加新窗体时，可通过大量的预定义方法创建这个类。

5.1.1 控制 Windows 窗体应用程序

Windows 窗体应用程序是由 Application 类控制的，这个类负责应用程序的消息循环和最高级窗口的显示。Application 类用于为 Windows 窗体应用程序提供基本应用程序级别的操作。通过调用 Application 类提供的静态方法，如 Run 和 Exit，可用于控制应用程序启动和终止的方式。不能创建 Application 类的实例，但是可以通过支持上下文对象和事件处理器，与 Application 类合作共同控制应用程序的行为。

5.1.2 使用窗体属性影响窗体性态

用 Visual C#窗体设计器创建的所有窗体和控件对象都拥有控制其性态的属性，这些属性可以通过以下两种方式进行访问：一种是在 C#应用程序中通过程序访问；另一种是通过窗体或者控件的【属性】窗口进行访问。当通过【属性】窗口访问时，窗体设计器会自动产生必要的代码，并将其插入 C#源文件，窗体和控件总是由 C#源代码管理的。

5.1.3 为窗体添加控件

Windows 窗体类包括大量的用于窗体类的基本控件，如 Buttons、TextBox、Lable、ListBox、CheckListBox、ComboBox、ScrollBar、GroupBox 和 Panel。其中 GroupBox 和 Panel 两个控件类可作为容器使用，它们作为其他控件的容器，为它

们的子控件提供独立的标记顺序、环境属性，以及合乎逻辑的与窗体其他部分的分离。所有这些控件，包括 Form 类本身，都是由 Control 基类派生的，它为所有可见的 Windows 窗体组件定义了基本的功能性。在系统设计时，我们还会用到很多高级控件，在下面的系统设计过程中，我们还会详细介绍。

5.1.4 管理控件的位置和大小

有两种用于调整控件大小和决定控件位置的技术：在设计阶段，使用 Windows 窗体设计器管理控件的大小和位置；在运行阶段，使用 Location 和 Size 属性调整控件的大小和位置。

尽管这些技术非常灵活，但是当允许调整空间窗口的大小时，这两种方法都会失去效用，.NET 框架中的控件和窗体有下面两种属性，在调整窗口大小时，可以利用它们自动调整大小或者定位。

Anchor 属性，它指定了对这个控件的父对象大小进行调整时，是如何对控件定位的。默认将控件锚定到窗口的顶部和左边，当调整容器大小时，这个控件和窗口的顶部及左边保持一个锚定的距离。可以将 Anchor 属性设置为一个或多个 AnchorStyle 枚举值。Dock 属性也管理控件和容器之间的互用，它只能将控件停靠在容器的一端，除了 DockStyle.Fill 会调整控件大小使其充满整个容器。所有控件都有 Anchor 和 Dock 属性，用于动态调整窗体上的控件大小和锚定这个控件的位置。

5.1.5 用户输入与反馈

Windows 窗体平台为用户提供了一个非常丰富的交互环境，键盘和鼠标是主要的用户输入方式。键盘主要用于文字输入和导航；鼠标主要用于操作菜单和控件，当用户移动和点击鼠标时，事件被引发并发送到应用程序中。尽管在窗体设计过程中，大多数应用程序输入都是通过控件提供的，但是从键盘和鼠标直接进行输入也非常重要。

5.1.6 使用委托和事件处理

委托是 C# 登记其类中包含的方法的方式，可用于将函数封装到可调用函数对象。可调用函数就像 C、C++ 以及其他语言中的函数指针。与函数指针类似，委托可以把函数的引用与实现分离开，允许实现作为独立模块存在。

委托最常见的应用是传统 C 或 C++ 程序员会使用函数指针的情况，在我们的

系统设计中，就使用了委托在多线程应用程序中提供了线程处理方法。线程处理函数是以委托的形式创建的。C#还需要广泛的应用委托提供事件处理程序，多个委托能自动的链接在一起，使得生成用委托层来处理事件的应用程序。将委托链接在一起就允许一个委托调用多个函数，从而优化了事件处理。要想组合两个或更多的委托，可以使用加法运算符（+和+=），使用减法运算符（-和-=）则可以把委托从委托链中删除。在我们的系统中，用委托方法实现了增加或减少菜单项或快捷菜单项。

C#使用一个成为 event 的特殊委托类型向客户端提供事件通知，例如，Windows 窗体应用程序使用事件处理来处理鼠标移动和操作、菜单选择、按钮点击以及其他类似事件的通知。可以使用重载运算符+=和-=来添加和删除事件处理方法。事件使用 event 关键字来声明字段，如果事件字段是公用的，客户就可以用操作符+=订阅一个事件，从而将一个新的事件处理委托串联到现有委托上。声明事件处理委托常用 EventHandler 作为名字的结尾，且有两个参数 sender 和 e，第一个参数是对引发事件的对象的引用，这个参数总是被声明为 object；第二个参数是用于描述事件的 EventArgs 对象。EventArgs 是事件参数类的一个基类，且不为事件订阅者提供任何有用信息。

5.1.7 Windows 图形设备接口 GDI+

GDI+是绘制用于 Windows 应用程序图形图像的一种新方法。GDI+和 Windows 窗体类始终使用 Point、Size 和 Rectangle 结构指定图形对象的形状、位置和大小。

GDI+使用的关键类是 Graphic 类，它具有执行图形操作以及收集有关显示信息的方法和属性，Graphic 类使用其它类完成绘图和显示。比如，使用 Brush 类和它的子类填充区域，例如矩形。还可以用很多类型和颜色创建 Pen 类，还可以使用 Font 类绘制文本。

我们使用上述 Windows 窗体设计的基本功能，结合 C#编程，设计了 PLUS 定位系统的上位机主控界面，下面做详细介绍。

5.2 主控界面总体设计

通过上一章的介绍，我们可以通过对数据的处理之后，得到标签的位置信息，然后利用上位机可视化界面显示传送的位置信息，实现标签的实时定位。整个系统以 Visual C#为编程语言，在 Microsoft Visual Studio 10 环境下编写成功。

本章对 PLUS 平台的 UWB 跟踪定位上位机软件系统进行总体框架设计，实现了对标签的实时定位和跟踪，上位机主控界面的结构图如图 5-1 所示：



图 5-1 主控界面框图

主控界面主要是包括 PLUS 定位系统控制、定位效果显示和其它模块的控制。其中菜单栏、工具栏的功能是配置各模块的参数，标签信息栏和报警栏的功能是显示系统的状态，跟踪区显示实时跟踪效果。最终设计的界面如图 5-2 所示：

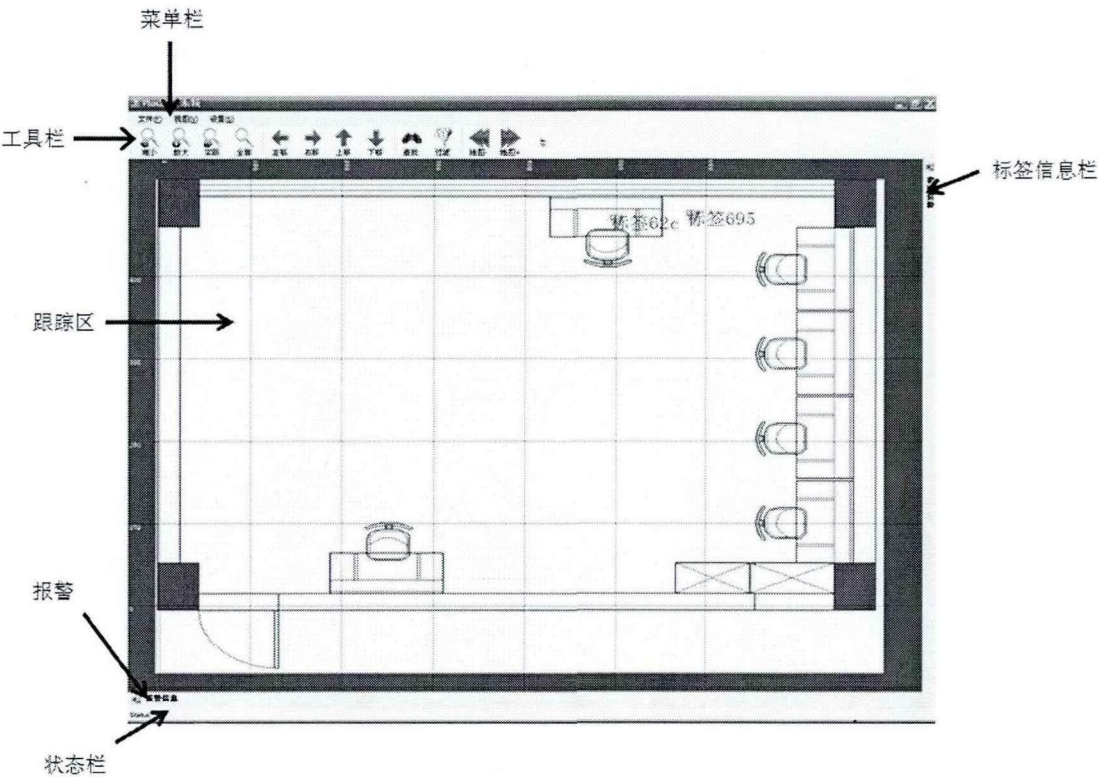


图 5-2 主控界面截图

5.3 菜单栏

菜单是 Windows 应用程序中通用的用户界面元素，通常，出现在 Windows 应用程序顶部边缘的菜单成为这个 Windows 应用程序的菜单栏。我们设计的菜单栏包括文件、视图、设置三个弹出菜单。菜单项应该与一个助记键字符相关联，同时按下助记键字符和 Alt 键将调用菜单项。【文件】【视图】【设置】菜单分别将 F、Y、S 作为助记键字符。菜单栏设计如图 5-3 所示：

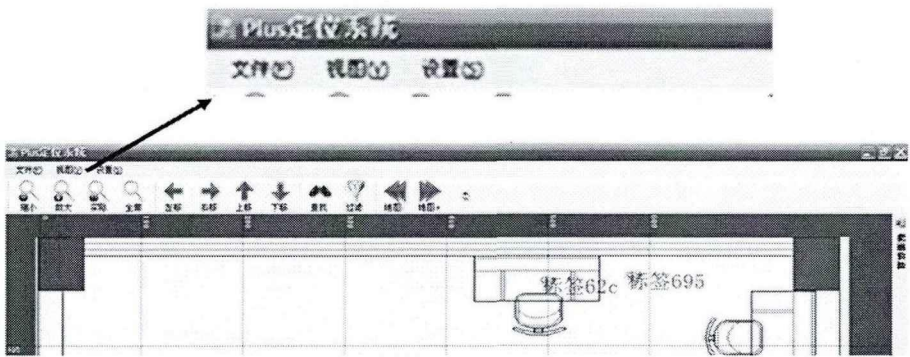


图 5-3 菜单栏

1. 文件菜单

主要实现以下功能：

- (1) 打开并导入写好的配置文件，包括阅读器坐标、识别阅读器的 MAC 地址、为每个标签设置固定的 Z 坐标以及为跟踪区指定背景图片；
- (2) 指定数据源，来自日志文件或仿真数据、来自网络的实时数据；
- (3) 开始跟踪/停止追踪；
- (4) 系统复位。

2. 视图菜单

视图菜单主要是管理工具栏、状态栏、报警栏是否在主界面上显示。

3. 设置菜单

主要实现以下功能：

- (1) 管理跟踪区网格大小。点击网格菜单项，弹出调整网格大小的对话框，对话框弹出位置在（400,300）坐标处。设置以厘米为单位的网格大小，点确定按钮关闭对话框，改变跟踪区网格的显示，这里默认网格大小是 100 厘米。
- (2) 显示广播地址。点击广播菜单项，弹出广播对话框，对话框弹出位置在（400,300）坐标处。文本框中会显示广播地址，点击 OK 键，关闭窗口体。

5.4 工具栏

工具栏的功能主要是管理跟踪区显示效果并刷新。工具栏包含的功能如图 5-4 所示：

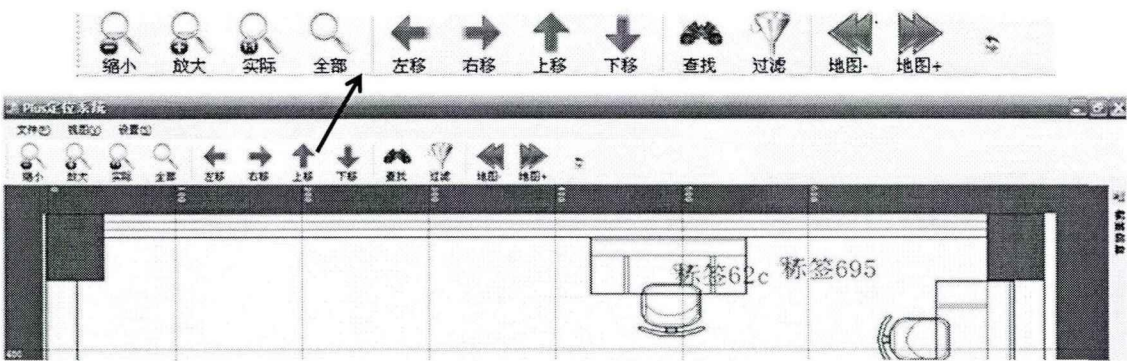


图 5-4 工具栏

5.5 状态栏

状态栏可以用多种方式提供反馈，它常用作仪表板，提供有关应用程序当前的状态。把状态栏的 Dock 属性设为 Bottom，停靠在窗体的下边缘。

5.6 跟踪区域

5.6.1 使用 GDI+ 绘制跟踪区域

我们把跟踪区嵌入到主窗体容器中，载入主窗体的时候，会载入跟踪区视图。我们使用图形设备接口 GDI+（Graphical Device Interface）来绘制跟踪区，使用 Graphics 类所提供的方法和属性，直接在窗体上绘图。

窗体的几何形状，包含 Point、Size 和 Rectangle 结构，这三种结构用来定义形状和位置。Point 结构代表窗体应用程序中的一个二维表面上的位置，用它来定义窗体或控件的位置，还可以在绘制线条、矩形和其它形状时来定义边界。PointF 结构类似于 Point 结构，只是它的坐标是用更精确的浮点数构成。Size 结构用于定义窗体中窗口、窗体、控件和其他矩形区域的大小。同样，也有 SizeF 结构。Rectangle 结构定义了一个矩形的位置和大小。用 Color 结构来定义应用程序所使用的颜色，用 Brush 对象填充矩形等区域。

Graphics 类是使用 Windows 窗体和 GDI+ 编写程序的一个基本类。Graphics 类提供一些方法，使用 Pen 对象绘制线条、图形以及其他形状，还可以使用各种颜色、风格和模式来创建笔。使用 Font 类定义文本显示所用的字体。在窗体上显示字体时，我们使用 DrawString 方法，它可以指定要显示的字符串、文本所用的字体以及定义文本颜色和样式的画笔。使用 Graphics 类中的 DrawLine 和 DrawLines 方法绘制直线或曲线。在一个 Windows 窗体应用程序中，控件和窗体的更新是通过响应 Paint 事件进行的。

5.6.2 窗体载入

当跟踪区窗体载入时，会引发一系列鼠标事件。当鼠标进入跟踪区，在鼠标位置显示十字线光标；鼠标离开跟踪区域，显示箭头光标；当移动鼠标滚轮时，会缩放图形显示比例，并删除之前的绘制，立即重绘；当鼠标左键点击跟踪区拖动时，鼠标显示手形光标，会拖动显示效果，并立即重绘，释放鼠标左键，鼠标又恢复显示十字线光标。此模块有很多坐标转换的问题，窗体增加一个定时器，

管理跟踪区域的及时重绘。

5.6.3 绘制跟踪区域

1. 绘制背景图片

主窗体载入配置文件时, 给出了图片的大小, 左上角坐标值, 根据给出的左上角坐标以及图片的宽度和高度做坐标转换, 以适应跟踪区域。用 DrawImage 方法绘制背景图。

2. 绘制标签位置

首先获取与标签 Id 相对应的每个标签的坐标位置, 得到的坐标要转换为跟踪区内的坐标值, 换算方法为:

```
int tagPosX = Convert.ToInt32(ptf.X * 100 * curValue.fPxPerUnit);
```

```
int tagPosY = Convert.ToInt32(-ptf.Y * 100 * curValue.fPxPerUnit);
```

tagPosX, tagPosY 分别为标签在跟踪区内转换后的坐标, ptf.X, ptf.Y 分别为从网络实时获得的标签坐标值, 单位是米, 而网格大小单位是厘米, 所以坐标要乘 100, curValue.fPxPerUnit 是单位像素数。

3. 绘制标签图像

首先获取图像来源, 然后用 DrawImage 方法画标签图像。图像返回一个矩形, 矩形左上角坐标为 (tagPosX - curValue.fGridSize / 10, tagPosY - curValue.fGridSize / 10), 矩形宽和高都是 curValue.fGridSize / 5。其中, curValue.fGridSize 为网格大小, 默认为 100 厘米。

4. 标签字体显示

使用 Font 类设置字体属性, 然后用 DrawString 方法让标签名称显示在标签图像的右下角。字体为宋体, 字体大小设置为 curValue.fGridSize * 0.1f, 颜色为绿色。

5. 缩放显示效果

当鼠标滚轮移动时, 会缩放跟踪区内所有显示, 这样会伴随着一系列的坐标转换, 以标签矩阵 X 坐标和宽度为例, 代码如下:

```
rect.X = Convert.ToInt32((tagRect[key].X) * curValue.fZoomX) + curValue.iPanX + originX;
```

```
width = Convert.ToInt32(tagRect[key].Width * curValue.fZoomX);
```

tagRect[key].X 为原矩阵 X 坐标, curValue.fZoomX 为缩放比例, 如果滚轮向

上滑动一次, $\text{curValue.fZoomX} *= 1.1f$, 向下滑动一次, $\text{curValue.fZoomX} *= 0.9f$, 原始 curValue.fZoomX 为 $1.0f$ 。 $\text{tagRect[key].Width}$ 为原矩阵的宽度。

6. 绘制网格线

设置网格线为蓝色宽度为 1 的点状线, 用 `DrawString` 方法画水平和竖直标注尺寸, 用 `DrawLine` 方法画出水平和竖直的网格线。

5.6.4 泛型

MSDN 给泛型的定义是: 2.0 版 C# 语言和公共语言运行时 (CLR) 中增加了泛型。泛型将类型参数的概念引入 .NET Framework, 类型参数使得设计如下类和方法成为可能: 这些类和方法将一个或多个类型的指定推迟到客户端代码声明并实例化该类或方法的时候。例如, 通过使用泛型类型参数 `T`, 可以编写其他客户端代码能够使用的单个类, 而不致引入运行时强制转换或装箱操作的成本或风险。使用泛型类型不会强行对值类型进行装箱拆箱, 或对引用类型进行向下强制类型转换, 所以可以最大限度的重用代码、保护类型的安全以及提高性能。

.NET Framework 2.0 版类库提供了一个新的命名空间 `System.Collections.Generic`, 其中包含几个新的基于泛型的集合类。我们在编程时为了编程方便以及提高程序运行效率, 使用了泛型集合类 `List<T>` 和 `Dictionary<Tkey, Tvalue>`。

`Dictionary<Tkey, Tvalue>` 泛型类提供了一组键到一组值的映射, 字典中的每个添加项都由一个值及其相关联的键组成。`Tkey` 表示字典中键的类型, `Tvalue` 表示字典中值的类型。使用 `TryGetValue` 方法来尝试取出一个键对应的值, 如果这个值存在就返回, 返回值类型为布尔类型。我们使用 `Dictionary` 泛型类存储跟踪区各个配置参数、各个标签的当前地理坐标、显示图标以及当前方框图标屏幕区域。

`List<T>` 泛型类表示可通过索引访问的对象的强类型转换, 提供用于对列表进行搜索、排序和操作的方法, 其中 `T` 为列表中的元素类型。`List` 类是 `ArrayList` 类的泛型等效类, 该类使用大小可按需动态增加的数组实现 `ICollection` 泛型接口。泛型集合大大简化了集合的实现代码, 通过它, 可以轻松创建指定类型的集合。我们通过 `List` 泛型类添加元素、删除元素并通过索引访问元素。下面标签栏模块就用到了 `List` 类访问标签在数据库中的 ID、名称等信息。

5.7 标签栏

5.7.1 标签栏显示

主窗体载入时，标签栏隐藏在窗体右侧，当鼠标移到窗体右侧，标签栏会从右侧拉出，标签宽度为默认宽度，标签高度为跟踪区域的高度。标签栏 text 显示“标签信息”；标签栏第一列显示标签 ID，例如 0x24000695、0x2400062c 等；第二列显示标签名称，例如标签 695、标签 62c 等。

5.7.2 标签信息读取

当主窗体载入时，应用程序会从数据库中读取标签的信息，获得所有标签的信息，包括标签 ID 和标签名称，此时把标签的第一项，也就是标签 ID 作为 Dictionary 泛型类中的键，根据键可以提取各类键值，包括各个标签的位置信息、图标等，获取之后即可在跟踪区域内绘制出标签的实时位置，实现定位。

5.7.3 数据库操作

ADO.NET 为创建具有分布式数据共享功能的应用程序提供了一组丰富的组件，使其可以对各种关系型数据、XML 和应用程序中的数据进行访问，是 .NET Framework 中不可缺少的一部分。在 ADO.NET 中，可以使用多种 .NET Framework 数据提供程序来访问数据源，本系统中使用到的是 OLE DB .NET Framework 数据提供程序。

在 ADO.NET 中，对数据库进行操作时，需要先请求连接，以便进行客户端相关信息的认证，比如用户名、密码以及访问的数据库等。为了读取标签的各项信息，并显示到标签栏，我们使用了 Access 数据库。

OLE DB .NET Framework 数据提供程序位于 System.Data.OleDb 命名空间中，可以通过 OLE DB 提供程序与 Access 数据库进行通信。使用 Access 数据库时，连接字符串形式为：

“Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=数据库名”;

通过对数据源的操作，可以得到标签的信息，包括 ID、在跟踪区显示的名字以及显示图标。在标签栏会显示各个标签的信息，跟踪区会显示标签的名字以及图标。

5.8 报警栏

窗体载入时，报警栏隐藏在窗体底端，当鼠标点击报警栏时，会从下方弹出。当标签超出跟踪区域，或者阅读器收不到标签发送的信息时，系统会自动报警，报警信息显示在窗体底端的标签栏的 ListView 中。

5.9 跟踪效果显示

从跟踪效果图中，我们可以实时的跟踪到每个标签在真实环境中的位置以及移动路线，能够配置跟踪效果图，并能在观测各个标签的具体信息。

跟踪效果图如图 5-5 所示：

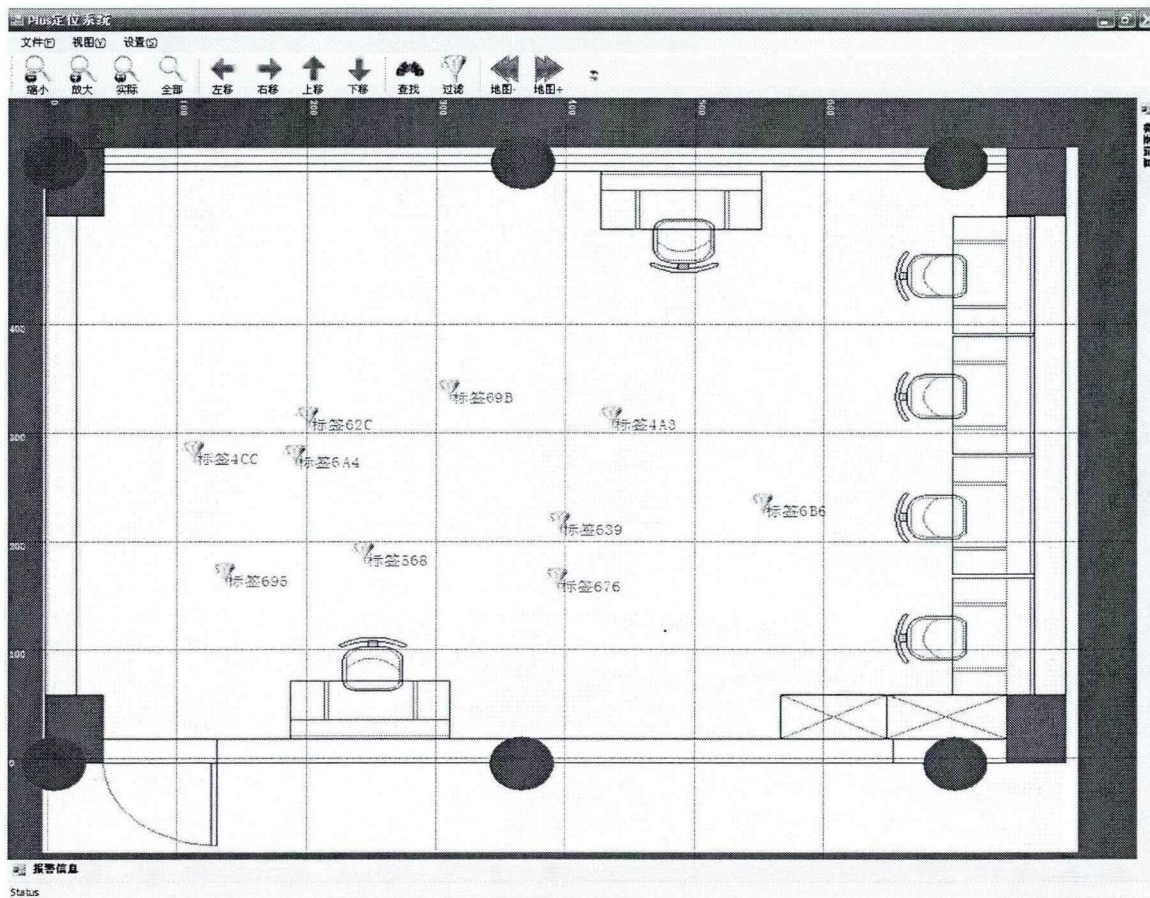


图 5-5 跟踪效果图

5.10 本章小结

本章用 C#编程语言以及 Windows 窗体设计器, 在 Microsoft Visual Studio 2010 环境下编程并实现了 PLUS 定位系统的设计。通过此系统, 我们可以配置系统参数、实时处理得到的数据并观察到每个标签在实验房间内的具体位置。

第六章 总结与展望

超宽带技术作为一种新兴的无线技术，是近年来国内外研究和应用的热门领域，由于超宽带技术在室内定位系统中的优势，研究室内目标跟踪定位具有重要的应用价值。而由于基于到达时间差的 TDOA 算法在 UWB 技术中的优越性，采用这种算法实现移动目标的跟踪定位。本文将 TDOA 算法应用到 UWB 移动目标跟踪定位系统中，具体工作如下：

1. 研究了无线定位算法的基本理论，系统地介绍了到达时间差TDOA算法，探讨了提高定位系统精度的非视距误差消除的方法和结构。
2. 总结了超宽带技术的基本概念、发展现状及应用领域。搭建并调试了PLUS室内跟踪定位平台的硬件系统，为相关理论研究和应用开展提供了载体。
3. 设计PLUS定位软件系统，实现了对底层传感器数据的实时采集和处理，将TDOA算法应用到本跟踪定位平台上，实现对移动标签的实时定位。
4. 应用Windows窗体设计器，完成了主控界面的设计，并实时绘制标签的跟踪效果。

应用 UWB 技术实现无线传感器网络中移动目标的跟踪定位，是新兴的、多学科交叉的研究领域。由于时间所限，本文仍有一些问题需要继续深入研究，主要包括：

1. 在标签被障碍物遮挡或者覆盖时，存在随机时滞和丢包现象。如何将非视距误差消除算法，应用到本定位系统中，以提高本系统的定位精度，将是下一步工作的研究重点。
2. 如何改进TDOA算法，以求得到更高的定位精度，也是今后研究的方向。
3. 还需要进一步通过实验和调试，设计出一个更稳定的跟踪定位系统。

参考文献

- [1] 李唐, 刘永生, 未来无线个人域网中的超宽带技术[J], 现代电信科技, 25(2), pp.10-13, 2003.
- [2] 张新跃, 沈树群, 超宽带无线通信技术及其发展前景[J], 数据通信, 30(5), pp. 9-12, 2004.
- [3] S. D. Kazimierz 著, 张中兆, 沙学军等译, 超宽带无线电技术[M], 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [4] S. J. Gunderson, Naval Total Asset Visibility Precision Asset Location[R], Technical Report, 2002.
- [5] R. J. Fontana, Recent System Applications of Short-Pulse Ultra-Wideband Technology[J], IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 52 (9), pp. 087-2104, 2001.
- [6] M. D. Benedetto and G. Guerino, Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals[M], Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [7] 唐春玲, UWB 定位系统研究[D], 西南大学硕士学位论文, 2008.
- [8] 王华, 郭美, 超宽带(UWB)通信技术及其应用[J], 科技信息, 10(2), pp. 483, 2010.
- [9] 单慧勇, 王太勇, 圆盘型磁流变调速风扇离合器的设计与分析[J], 机械研究与应用, 37(2), pp. 81-82, 2005.
- [10] 申玉良, 潘存治等, 磁流变液离合器的设计与探讨[J], 机械设计, 40(3), pp. 21-24, 2005.
- [11] M. Z. Win and R. A. Scholtz, Characterization of Ultra-Wide Bandwidth Wireless Indoor Channels: A Communications-Theoretic View [J], IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 20 (9), pp. 1613-1627, 2002.

- [12] J. D. Choi and R. A. Scholtz, Performance of Ultra-Wideband Communications with Suboptimal Receivers in Multi-path Channel[J], IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 20(9), pp. 1754-1766, 2002.
- [13] 周翔, UWB 无线通信的国内外发展及研究应用现状[J], 南京工业职业技术学院学报, 15(2), pp. 37-38, 2005.
- [14] 申玉良, 潘存治等, 磁流变液离合器的设计与探讨[J], 机械设计, 18, pp. 21-24, 2005.
- [15] 周翔, UWB 无线通信的国内外发展及研究应用现状[J], 南京工业职业技术学院学报, 14, pp. 37-38, 2005.
- [16] 姜敏敏, 超宽带无线定位算法研究[D], 南京邮电大学硕士学位论文, 2008.
- [17] T. He, C. D. Huang, B. M. Blum, et al, Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks [C], In Proceeding of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 81-95, 2003.
- [18] 孙利民, 李建中, 陈渝等, 无线传感器网络[M], 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [19] J. Caffery, H. Stuber, Overview of Radio Location in CDMA Cellular Systems[J], IEEE Communications Magazine, 36(4), pp. 38-45, 2002.
- [20] A. Molisch, Status of Models for UWB Propagation Channels[C], IEEE 802 Interim Meeting, 2004.
- [21] J. Kunisch, J. Pamp, Measurement Results and Modeling Aspects for the UWB Radio Channel[C], IEEE Conf. on UWB Systems and Technologies, pp. 19-23, 2002.
- [22] H. Krim, M. Viberg, Two Decades of Array Signal Processing Research: The Parametric approach[J], IEEE Signal Processing Magazine, 13(4), pp. 67-94, 1996.

- [23] S. W. Ellingston, Design and Evaluation of a Novel Antenna Array for Azimuthal Angle-of-Arrival Measurement[J], IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 49(6), pp. 971-978, 1999.
- [24] B. W. Parkinson, J. J. Spilker, J. Collins, Global Positioning System: Theory and Practice[M], NY: Springer-Verlag, 1996
- [25] K. Pahlavan, X. Li, M. Ylianttila, An Overview of Wireless Indoor Geolocation Techniques and Systems[J], Springer Lecture Notes, Computer Science, 46(7), pp. 1-13, 2000.
- [26] L. Lazos, R. Poovebdran, Power Proximity Based Key Management for Secure Multicast in Ad hoc Networks[J], Wireless Networks, 13(1), pp. 127-148, 2007.
- [27] P. Bahl, V. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System[C], Proc. IEEE INFOCOM, 2000.
- [28] R. Want, A. Hooper, V. Falcao, et al, The Active Badge Location System[J], Transactions on Information Systems (TOIS), 10(1), pp.91-102, 1992.
- [29] G. Gezici, Z. Tian, G. B. Giannakis, Localization via Ultra-Wideband Radio: Look at Positioning Aspects of Future Sensor Networks[J], IEEE Communication, Signal Processing Magazine, 45, pp. 70-84, 2005.
- [30] 干国强, 邱致和, 导航与定位-现代战争的北斗星[M], 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [31] J. C. Adams, W. Gregorwich and L. Capots, Ultra-wideband for Navigation and Communications[C], IEEE Aerospace Conf. Big Sky, pp.785-792, 2001.
- [32] 曹福成, 超宽带无线定位算法及其在月球车上的应用[D], 吉林大学博士学位论文, 2008.
- [33] J. Caffery, Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems[D], Kluwer Academic Publishers, 2001.

- [34] P. Deng and P. Z. Fan, An AOA Assisted TOA Positioning SYSTEM[J], 2000 Int. Conf. on Communication Technology, 35, pp. 1501 -1504, 2000.
- [35] J. Caffery and G. stuber, Parameter Estimation and Tracking in CDMA Cellular Systems[J], IEEE Communication Magazine, 36(4), pp. 38-45, 1998.
- [36] P. Deng, P. Z. Fan, An Efficient Position-Based Dynamic Location Algorithm [J], Workshop on Autonomous Decentralized System, 19, pp. 36-39, 2000.
- [37] 邓平, 蜂窝网络移动台定位技术研究[D], 西南交通大学博士学位论文, 2002.
- [38] J. Caffery and G. stuber, Parameter Estimation and Tracking in CDMA Systems, in First International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)[J], Yokosuka, Japan, 26(1), pp. 292-297, 1998.
- [39] G. C. Carter, Coherence and Time Delay Estimation[J], Proc. IEEE, 75(3), pp. 236-255, 1987.
- [40] G. C. Carter, Time Delay Estimation for Passive Sonar Signal Processing[J], IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 29(3), pp. 463 -470, 1981.
- [41] Y. Chan, R. Hattin and J. Plant, The Least Squares Estimation of Time Delay and Its Use in Signal Detection [J], IEEE Trans.on Acoustics, Speech and Signal Processing, 26, pp. 217-222, 1978.
- [42] J. S. Abel, A Divide and Conquer Approach to Least-Squares Estimation[J], IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 26(3), pp. 423-427, 1990.
- [43] L. Cong, et al, Non-Line-of Sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location[J], Proc. IEEE Globecom 2001, San Antonio, pp. 680-684, 2001.
- [44] J. S. Abel and J. O. Smith, Source Range and Depth Estimation from Multipath Range Difference Measurements[J], IEEE Trans, Signal Pro- cessing, 37, pp.

1157-1165, 1989.

- [45] J. M. Delosme, M. Morf and B. Friedlander, A Linear Equation Approach to Locating Sources from Time-difference-of-arrival Measurements[J], Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, 13, pp. 818-824, 1980.
- [46] N. Marchand, Error Distributions of Best Estimate of Position from Multiple Time Difference Hyperbolic Networks[J], IEEE Transactions on Aerospace and Navigational Electronics, 11, pp. 96-100, 1964.
- [47] M. McGuire, et.al., Location of Mobile Terminals Using Time Measurements and Survey Points[J], PACRIM 2001, 17, pp. 635-638, 2001.
- [48] J. S. Abel and J. O. Smith, The Spherical Interpolation Method for Closed-Form Passive Localization Using Range Difference Measurements[J], Proc. ICASSP, 87, pp. 471-474, 1987.
- [49] W. H. Foy, Position Location Solutions by Taylor Series Estimation[J], IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 12(2), pp. 187-194, 1976.
- [50] B. Friedlander, A Passive Localization Algorithm and Its Accuracy Analysis[J], IEEE Journal of Oceanic engineering, 12(1), pp. 234-244, 1987.
- [51] B. T. Fang, Simple Solutions for Hyperbolic and Related Fixes[J], IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 26(5), pp. 748-753, 1990.
- [52] Y. T. Chan and K. C. Ho, A simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location[J], IEEE Trans. on Signal Processing, 42(8), pp. 1905-1915, 1994.
- [53] L. J. Greenstein, et.al., A new Path-Gain / Delay-Spread Propagation Model for Digital Cellular Channels[J], IEEE Trans. on VT, 46, pp.477-484, 1997.
- [54] G. L. Stuber and J. J. Caffery, Jr. CDMA Radiolocation: Motivation, Performance and Major Impairments[J]. First International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (invited keynote presentation), 11, pp. 1-10, 1998.

- [55] J. Khodjaev, Y. Park, Survey of NLOS Identification and Error Mitigation Problems in UWB-based Positioning Algorithms for Dense Environments[J], *Annals of Telecommunications*, 65(5), pp. 301-311, 2001.
- [56] J. Caffery, *Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems*[D], Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [57] M. P. Wylie and J. Holtzman, The Non-Line-of-Sight Problems in Mobile Location Estimation[J], *WINLAB TR-121*, 7, 1996.
- [58] M. McGuire, et.al., Robust Estimation of Mobile Terminal Position[J], *IEEE Electronics Letters*, 9, pp. 1426-1428, 2000.
- [59] M. McGuire, et.al., Location of Mobile Terminals Using Time Measurements and Survey Points[J], *PACRIM 2001*, 3, pp. 635-638, 2001.
- [60] Z. Sahinoglu, S. Gezici, Ranging in The IEEE 802.15.4a Standard[J], *Wireless and Microwave Technology Conference*, 34, pp. 1-5, 2006.
- [61] A. F. Molisch, IEEE 802.15.4a channel model- final report[C], Tech. Document IEEE 802.1504-0062-02-004a , 2005.
- [62] S. S. Ghassemzadeh, R. Jana, C. W. Rice, Measurement and Modeling of An Ultra-wide Bandwidth Indoor Channel[J], *IEEE Transaction on Communication*, 52(10), pp. 1786-1796, 2004.
- [63] U. Hammes, E. Wolsztynski, A. Zoubir: Robust Tracking and Geolocation for Wireless Networks in NLOS Environments[J], *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 3(5), pp. 889-901, 2009.
- [64] C. D. Wann, C. S. Hsueh, Non-line of Sight Error Mitigation in Ultra-wideband Ranging Systems Using Biased Kalman Filtering[J], *Journal of Signal Processing Systems*, 10(6), pp.1-12, 2010.

致 谢

在国家 973 重点基础研究项目(2009cb320600) , 国家杰出青年科学基金项目(60825304) 以及山东省泰山学者基金的资助下, 本文才得以顺利完成, 在此作者表示衷心的感谢!

在本论文完成并即将结束三年研究生学习生活之时, 我谨向所有曾经给予我帮助的人们表达诚挚的谢意:

首先, 特别感谢我的导师张焕水教授, 他在论文选题、实验过程中倾注了大量心血。三年的学习中, 张老师不仅给我提供了良好的科研、学习环境, 并且在学术上自始至终给予我悉心教导, 不断督促我努力上进。在此, 向导师致以衷心的感谢和崇高的敬意!

感谢同研究小组姜向远、王宏霞、魏丽等博士生在实验研究中给予的无私帮助和鼎力支持; 感谢冯树林、马灵芝等在课题研究过程中对我的帮助, 他们为我提出了很多宝贵的意见和建议; 感谢王伟老师、博士姜向远在理论研究及论文撰写方面给予的建议和帮助。感谢好友王璐、马灵芝、杨菲菲对我三年来学习和生活上的热情帮助和支持!

感谢父母和家人的理解、支持和为此所做的牺牲与奉献, 他们给了我前进的动力和勇气, 使我得以顺利完成学业!

感谢在山东大学求学期间所有老师对我的帮助和指导!

感谢审批论文的各位老师, 感谢你们为此付出的宝贵时间和辛勤劳动!

最后, 向所有给予我关心、帮助与支持的而在此无法一一提及的师长、同学和朋友们致以诚挚的谢意!

攻读硕士学位期间参加的科研项目情况

参与了和论文密切相关的研究项目：

国家“973”重点基础研究项目（2009cb320600）：无线传感器网络目标跟踪定位。

国家杰出青年科学基金项目（60825304）：复杂结构系统鲁棒最优估计与控制的研究及应用。

泰山学者建设经费（无线传感器网络系统控制理论及其应用）。

学位论文评阅及答辩情况表

论文评阅人	姓 名		专业技术 职 务	是否博导 (硕导)	所 在 单 位		总体评价 ※
	王起功		研究员	是	山东省科学院		A
	杜晓通		副教授	是	山东大学		B
答辩委员会成员	姓 名		专业技术 职 务	是否博导 (硕导)	所 在 单 位		
	主席	王起功	研究员	是	山东省科学院		
	委 员	张承进	教授	是	山东大学		
		刘允刚	教授	是	山东大学		
		杜晓通	副教授	是	山东大学		
答辩委员会对论文的 总体评价※		B	答辩秘书	王伟	答辩日期	2012年5月20日	
备注							

※优秀为“A”；良好为“B”；合格为“C”；不合格为“D”。