

项目编号 S2016798

# 武汉大学大学生创新创业训练计 划项目科研总结

## 室内 UWB/INS 组合动态定位技术 研究

院（系）名 称：测绘学院

专 业 名 称 ： 导航工程

学 生 姓 名 ： 朱茂然 邱晨 赵康 胡增科

指 导 教 师 ： 黄劲松      教授

二〇一七年三月

目 录

摘要..... I

一、 选题背景 ..... 4

二、 项目分工 ..... 4

    (一) 项目成员.....4

    (二) 项目分工.....5

三、 项目特色 ..... 5

    (一) UWB 室内动态定位 .....5

    (二) 惯导与 UWB 组合定位 .....5

四、 项目实施 ..... 6

    (一) 项目进度.....6

    (二) 项目成果.....7

        1、UWB 动态定位 .....7

        2、 UWB/INS 组合定位 .....8

        3、组合导航软件编写.....11

五、 收获体会 ..... 11

## 摘 要

室内 UWB/INS 组合动态定位项目成员有四人,包括项目负责人朱茂然,来自武汉大学测绘学院 13 级导航工程班以及同样来自 13 级导航工程班的邱晨,胡增科和来自 13 级测绘工程卓越班的赵康。该项目的指导老师是测绘学院黄劲松教授。黄老师在室内定位研究领域有着丰富的经验,掌握了该领域最前沿的理论与技术,了解国内外最新相关研究动向,并有着丰富的指导与主持科研项目的经验。

近年来,随着导航与位置服务的发展,室外导航技术的日渐成熟,导航定位的“最后一公里”——室内导航定位,已经引起了越来越多的企业与研究机构的兴趣。而超宽带技术 UWB 因为拥有极宽电磁频谱,在穿透能力、精细分辨、精确测距、抗多径和抗干扰等方面具有独特的优势,其系统实现具有低复杂度、低功耗、低成本的潜力,因此成为室内定位最有前景的技术方案之一。通过超宽带与惯性导航的结合,将两者的优点发挥出来,提高室内定位系统的定位精度,可靠性,稳健性等性能。从而使室内定位技术走向更广的应用领域。

通过项目的实施我们了解了惯导与 UWB 组合的方法,锻炼了我们程序设计的能力,提高了团队合作的意识,增强了解决困难的毅力。无论是对于以后我们的科研学习,还是现实生活都有很大的帮助。

## 一、选题背景

近年来,随着导航与位置服务的发展,室外导航技术的日渐成熟,导航定位的“最后一公里”——室内导航定位,已经引起了越来越多的企业与研究机构的兴趣。当好友之间需要分享具体的室内位置;物流快递企业要掌握其雇员和设备在大厦的实时位置以便就近送达物品;大型建筑物在应急疏散、灾后救援等情况需要确定受害者具体位置时……这些都是室内定位服务的潜在应用场景。有数据显示:人们平均 80%-90%的时间是在室内。因此,研究室内定位技术,对于个人来说,可以大大提高人们的学习、工作、生活质量。

超宽带技术 UWB 因为拥有极宽电磁频谱,在穿透能力、精细分辨、精确测距、抗多径和抗干扰等方面具有独特的优势,其系统实现具有低复杂度、低功耗、低成本的潜力,因此成为室内定位最有前景的技术方案之一。但是,目前针对超宽带与室内定位的结合,还有众多问题亟待研究和完善。而我们这次的研究就是为了解决超宽带室内定位技术所存在的一些问题。通过超宽带与惯性导航的结合,将两者的优点发挥出来,提高室内定位系统的定位精度,可靠性,稳健性等性能。从而使室内定位技术走向更广的应用领域。

我们小组四个成员在该项目上均有一定的知识积累,我们已经学习过室内定位技术,了解室内定位问题的主要解决方案。重点学习过最优估计,惯性导航原理的相关知识,独立编写过纯惯导解算的程序。因此我们小组对于 UWB 和惯导两个设备还是比较熟悉的。另外我们几个都有较好的编程基础,熟悉 C/C++语言的主要语法,有一定的程序设计基础。所以针对我们小组的这些优势,我们选择了该项目。

## 二、项目分工

### (一) 项目成员

本项目有四位成员,他们都各有特长

朱茂然:测绘学院 2013 级导航工程学生,本项目负责人,对于计算机软硬件,有着较为全面的了解,数学建模有着浓厚的兴趣。

邱晨:测绘学院 2013 级导航工程班学生,善于运用 MATLAB 进行仿真运算和数据处理拟合图像,擅长数据处理与分析。

胡增科:测绘学院 2013 级导航工程班学生,有很好的嵌入式硬件基础,对于本科研项目,可以充分发挥在硬件系统集成的优势。

赵康:2013 级测绘工程卓越工程师班学习委员。熟练掌握计算机数据结构与算法。实践创新能力、逻辑思考能力突出,熟练掌握多种编程语言。

## （二）项目分工

具体的项目分工如表 2.1 所示

表 2.1 项目任务分工

姓名	任务分工
朱茂然	作为项目负责人，主要负责项目的总体组织协调； 负责超宽带及惯导的组合定位导航算法的实现
邱晨	负责超宽带定位算法实现，分析及优化； 系统的集成以及技术文档的编写。
胡增科	超宽带误差分析及算法设计； 进行系统测试，数据采集，结果分析，精度评定。
赵康	负责惯性导航辅助定位算法的实现分析，优化； 用户界面的设计与优化；

## 三、项目特色

### （一）UWB 室内动态定位

超宽带技术是近年来发展起来的一种全新的、与传统通信技术有着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级以下的极窄脉冲来传输数据，从而具有 GHz 量级的带宽。这种技术解决了困扰传统无线技术多年的有关传播方面的重大难题，具有千兆赫兹容量和最高空间容量的新无线信道。与其它无线定位技术相比，超宽带技术有很多无可比拟的优越性。首先，由于超宽带具有极宽的带宽，使它具有很强的抗窄带干扰的能力。同时，超宽带还具有很强的穿透性，由于基于测距的定位方法对于定位精度影响最大的就是多径传播，室内的多径传播是由于复杂的室内环境导致的信号的绕射，反射以及折射所造成的。而超宽带系统极宽的带宽使得信号的波长很短，这就提高了时空分辨率，具有很强的抗多径衰减的能力。而且超宽带还具有成本低，功耗低的特点，超宽带的发射功率很小，占用的频谱也很少，从而提高了频带的利用率。极小的发射功率也降低了对人体的辐射伤害。因此可以看出，由于超宽带信号的极窄的脉冲和极宽的带宽使得基于超宽带的室内定位系统有很大的优越性，它能够精确到 30cm 以下的测距信息，非常适用于室内定位系统的应用。

### （二）惯导与 UWB 组合定位

惯性导航是一种完全自主式导航技术，具有自主、实时、连续等优点。惯性导航技术通过惯性测量组件测量载体相对惯性空间的角速率和加速度信息，利用牛顿运动定律自动推算

载体的瞬时速度和位置信息，具有不依赖外界信息、不像外界辐射能量、不受干扰、隐蔽性好的特点，而且惯性导航系统能连续地提供载体的全部导航、制导参数（位置、线速度、角速度、姿态角）。因此惯性导航系统以其独特的优点，在航空、航天和航海等领域得到了广泛的应用。INS 可以给出载体完整的运动状态（比如位置、速度和加速度）同时具备高动态的变化范围，但是该系统在独立运行时其误差会累积而导致测量数据无法使用。UWB 系统更新速度缓慢，变化范围低，无法提供载体的完整运动状态（加速度尤其难以测得），但是该系统所提供的位置信息具有有界误差。通过建立由 INS 辅助 UWB 系统的导航系统，我们将实现运用了两种系统互补特性的信息融合。这个过程中，INS 提供主要的航路解算。当 UWB 系统正常工作时，基于 INS 提供的当前位置估算可得到距离预测值。将距离测量值与预测值的差值作为扩展的卡尔曼滤波的观测值，建立模型来观察 INS 误差随时间的变化以及观测值与距离预测值误差的联系。

四、项目实施

（一）项目进度

在进行项目之前，我们进行了详细的项目进度规划，确保项目如期完成，项目的进度计划如表 4.1

表 4.1 项目进度图

ID	任务名称	开始时间	完成	2016年												2017年		
				01月	02月	03月	04月	05月	06月	07月	08月	09月	10月	11月	12月	01月	02月	03月
1	预研究	2016/1/1	2016/2/26															
2	API文档，串口通信学习	2016/1/1	2016/2/1															
3	UWB独立静态定位人机界面	2016/2/1	2016/2/26															
4	需求可行性分析	2016/3/1	2016/3/25															
5	UWB动态定位算法	2016/4/1	2016/6/1															
6	UWB动态定位编码	2016/6/1	2016/7/29															
7	优化人机界面	2016/6/20	2016/7/29															
8	中期报告	2016/8/1	2016/8/25															
9	惯导辅助定位算法	2016/9/1	2016/10/28															
10	组合导航算法	2016/9/15	2016/11/30															
11	组合导航编码	2016/12/1	2016/12/30															
12	测试优化，精度评定	2016/12/15	2017/2/15															
13	结题报告，论文	2017/2/1	2017/3/30															

首先我们分别研究了 SBG 惯导设备与 UWB 模块的 API 文档，利用自带的软件熟悉 SBG 惯导设备的使用，以及数据采集的方法。然后分别利用 SBG, UWB 的 API，编写代码获得数据。

熟悉了设备之后，我们就开始进行 UWB 动态定位算法的编写，通过查阅资料，我们将算法整理出来，然后通过后处理的方式，检验算法的正确性。最后通过实地的测试，实现实时的动态定位。

接着我们着手 SBG 惯导设备的编程，首先编写代码，实现纯惯导解算，求出物体运动的姿态和速度。测试算法的正确性。最后将两者进行结合，利用松组合的方法，实现 UWB 与 SBG 的组合导航定位。

在上述过程的进行过程中，我们同时编写了简单的界面程序，以利数据采集和调试。

（二）项目成果

1、UWB 动态定位

UWB 动态定位是基于扩展卡尔曼滤波实现的，但是由于实验所采用的设备同一时间只能测到一个锚点的距离，而卡尔曼滤波每次状态更新只要有一个观测量即可，因此很好的解决了时间同步的问题。

实验场地选择在测绘学院 302 实验室进行，实验中我们供布置了四个锚点(坐标已知点)，如图 4.2.1 平面图所示，各个锚点的高度也各不相同，保证了锚点具有较好的几何分布。实验中人手持 UWB 设备在室内以不同的速度加速度行走，采集数据，进行实时地动态定位并将数据存储存储在电脑中。并有 MATLAB 进行绘图处理。

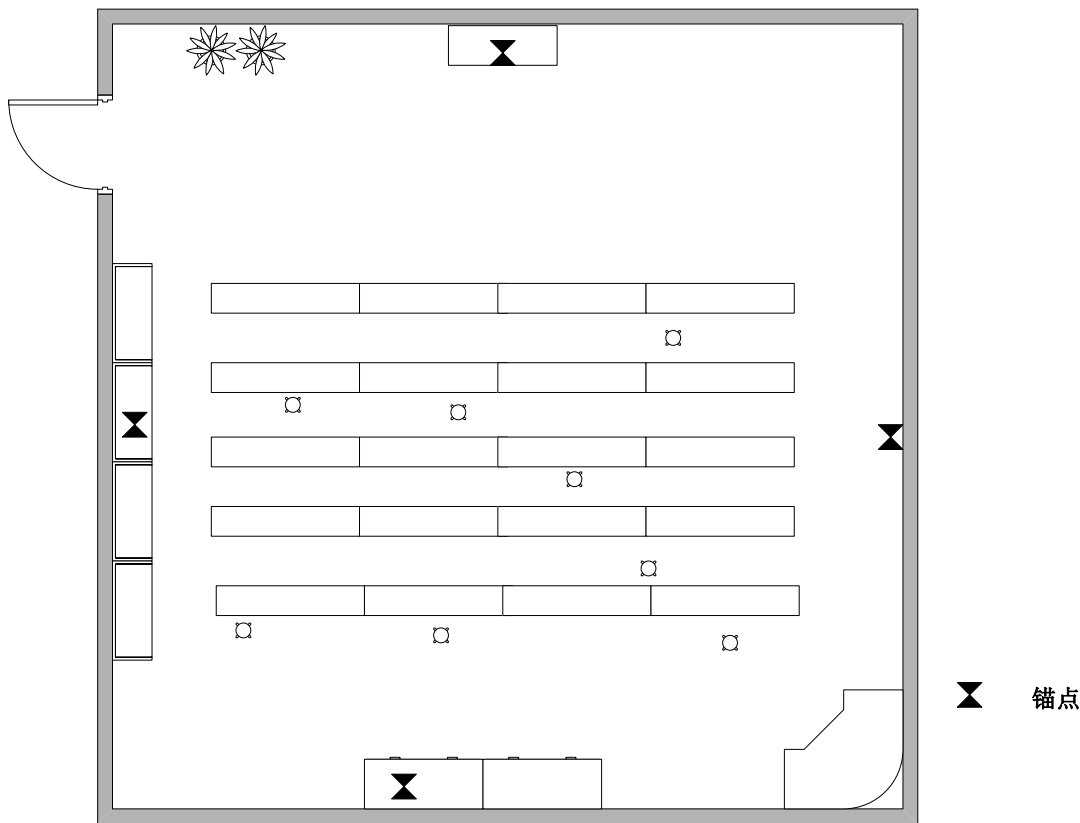


图 4.2.1 室内锚点布置

UWB 独立动态定位的结果如图 4.2.2 所示，可以看出定位的点基本上在实际轨迹周围，误差在半米以内。

表 4.2.1 显示了不同测距时间间隔下 XYZ 轴方向的定位误差，可以看出动态定位的误差





元是否有 GNSS 数据，卫星数量是否达到可定位的个数，GNSS 信号多径效应等问题。因此，INS/UWB 组合的室内定位具有较高的精度。

松组合导航的主函数流程图如图 4.2.3 所示。

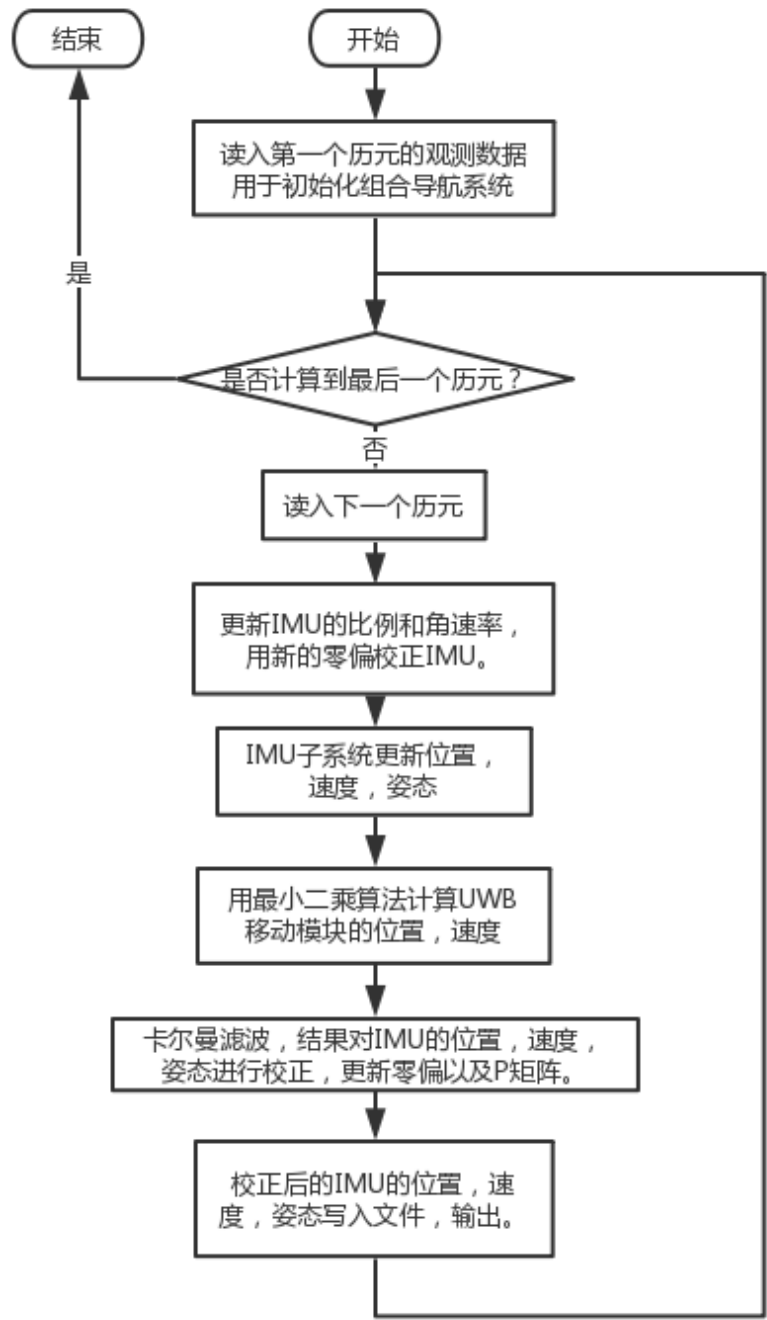


图 4.2.3 算法流程图

在初始化组合导航系统的过程中，初始化顺序及内容如下：

- ① 读入第一个历元的数据
- ② 用最小二乘算法计算位置和速度，用于初始化 IMU 子系统
- ③ 根据准确值叠加用户指定误差，对惯性导航的方向余弦矩阵进行初始化

④ 初始化将结果矩阵以及位置速度姿态误差，卡尔曼滤波误差的协方差矩阵

在主循环中，每一个历元都要及计算当前的准确的比例以及角速率，然后用上一历元更新得到的零偏校正 IMU 传感器。在 IMU 与 UWB 子系统分别单独完成定位后，将结果作为输入值输入到松组合卡尔曼滤波函数中。

在卡尔曼滤波更新的过程中，状态变量由 15 个元素组成。它们分别是姿态、速度和位置误差（相对于室内坐标系的），还有加速度计和陀螺零偏。，矩阵中每个向量有三个垂直分量。状态转移矩阵是。

每个卡尔曼滤波结束后要输出当前的定位结果，并存储 IMU 的零偏供下一个历元进行校正。具体实验结果如图 4.2.4 所示

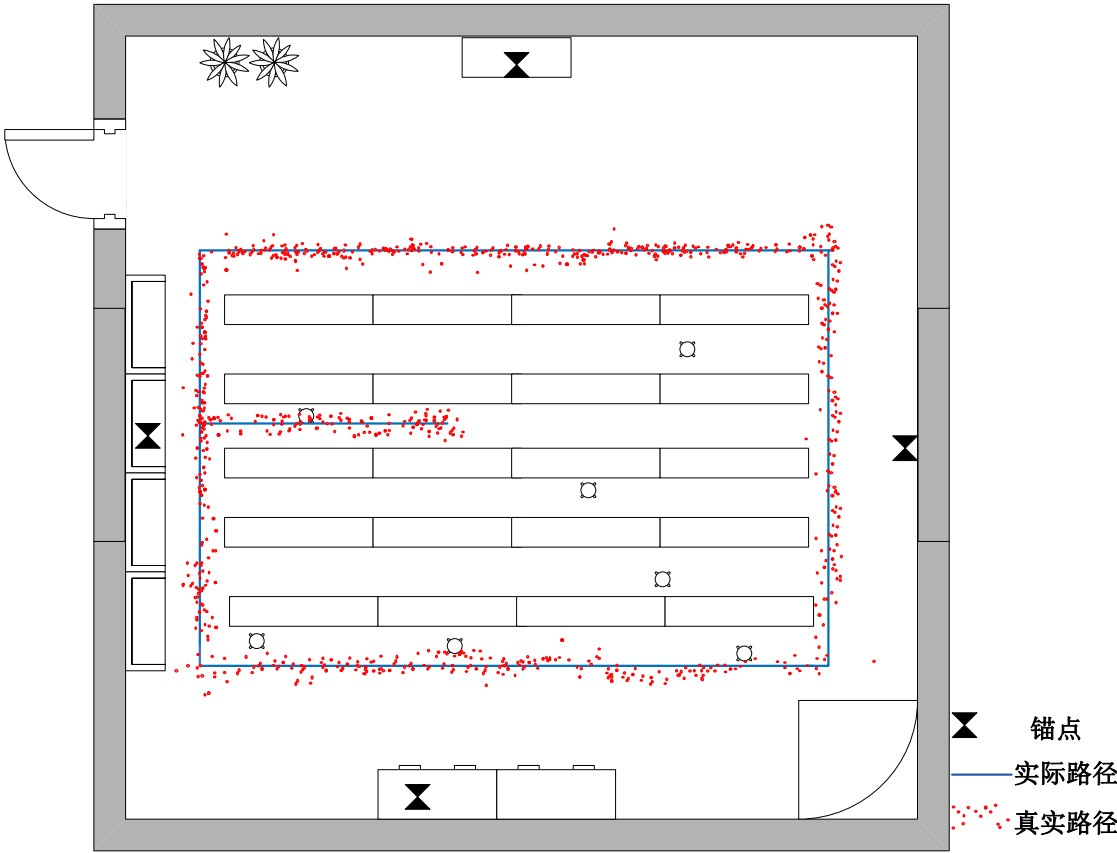


图 4.2.4 组合导航定位结果

表 4.2.2 不同测距间隔定位精度

坐标轴 时间间隔	X	Y	Z
100ms	0.22m	0.15m	0.58m
50ms	0.38m	0.24m	0.82m
20ms	0.15m	0.11m	0.50m

### 3、组合导航软件编写

根据组合导航定位原理和 UWB 的 API 文档编写定位程序，我们采用了 MFC 来进行 UI 设计，定位软件界面如图 4.2.5 所示。可以实现的功能包括 UWB 参数配置，距离的测量，文件的打开与存储，以及组合导航定位以及帮助信息的获取。

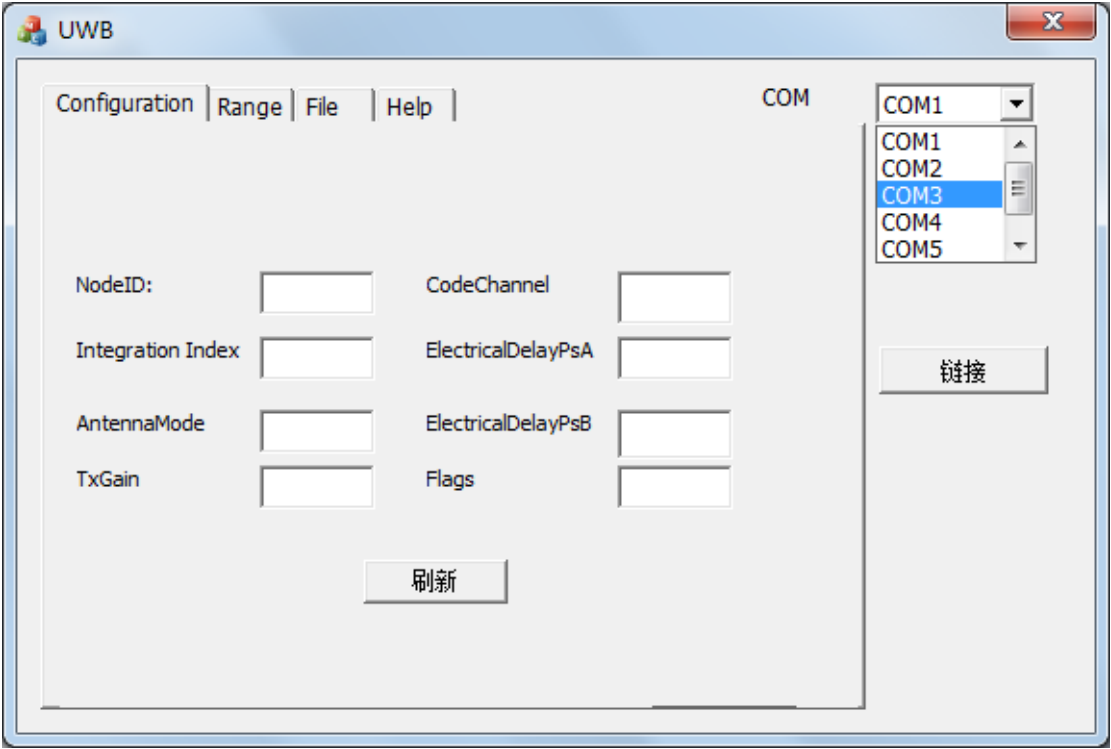


图 4.2.5 UWB 主界面

## 五、收获体会

为期一年的项目就要结束了，通过这次项目，通过这项目实践，我们获益匪浅。  
朱茂然：通过这次大学生科研项目，我获得了很多锻炼。首先，作为这个项目的负责人，我学会了如何安排项目进度，保证项目质量以及如何和项目成员进行充分而有效的沟通让团队高效有序的运作达到我们共同的目标。其次，通过这次科研项目的实施，锻炼了我解决问题的能力。由于项目涉及的某些领域，我并不熟悉，所以项目实施过程中，我们遇到了前所未有的困难。为了解决这些问题，我们查阅了大量的资料，做了一次次尝试才得到了我们想要的结果，这对我以后解决问题提供了思路。本次项目过程中，我们小组得到了黄老师的鼎力相助，他的循循善诱，谆谆教导拨开我们心中的迷雾，给我们指明科研的方向，是我们的项目得以按时完成。虽然这次的科研项目完成的并不是非常完美，还有很多需要改进的地方，但是正是这些需要继续完善的内容，指引了我以后继续努力的方向。

胡增科：虽然这次室内 UWB/INS 组合动态定位技术研究科研实践只有短短一年，但我收获了很多。首先，自己学会了如何将课堂上所学的专业知识活学活用。例如，项目中需要考虑

组合动态定位，这个要用到卡尔曼滤波、组合导航等知识。课堂上我们仅仅学习了理论，在项目实现的过程中，通过应用这些知识，我才感到真正理解了这些知识。

此外，经过这个项目的锻炼，我的科研能力得到了很大的提高，获得了很多经验。以前碰到问题，一时半会解决不了，可能会选择放弃，而现在我学会了通过查阅资料，请教老师等途径解决问题。对于一个事情，以前都是还没完全考虑好，就开始动手做，现在我都会先仔细想想如何去做，做这件事情需要什么，有哪些环节比较重要，哪些环节可能出问题，考虑清楚后才开始做，这样其实更有效率，而且不容易出问题，出现问题也能很快找到那块出了问题。

最后，团队配合、小组成员之间的协调对于科研项目的完成是非常重要的。大家齐心协力，互相帮助，经常交流，才能共同进步，才能使项目顺利的进行下去。

赵康：在参与室内 UWB/INS 组合动态定位技术研究的科研训练项目的过程中，我们提高了自己的科研能力，丰富了自己的科研经验，培养了自己的科研兴趣。具体来说，我们掌握了做一项科研的基本过程，从项目申请、答辩，到项目执行，采集、测试数据，经费报销，再到最后的科技报告、论文撰写，这些都为以后更深入的科研打下了坚实基础。同时，我们学会了如何进行团队合作和互相交流。如何在技术细节上和队友沟通，统一步调协同前进，如何将自己的工作、成果和队友表达清楚，如何与队友做的东西进行有机整合等，这些都是我们在科研实践中所面临的实际问题，一步一步地解决这些问题也让我们成为了更好的团队。更重要的是，我们从参与科研训练项目的过程中，享受到了科学研究的乐趣。从一开始制定目标计划到最后撰写报告总结成果，科学研究的完整过程让我们乐在其中：刚开始对课题的好奇，阅读文献时的探索，执行实验时的认真，处理数据时的严谨……我们的科研兴趣完全被激发，并希望参与更多的科研活动。

邱晨：经过这次的科研项目，我在编程这一方面有了很大的提高。在写组合导航的程序之前，我花了很长时间去看懂 INS/GNSS 组合导航的程序。在自己写的过程中，由于 UWB 和 GNSS 定位的原理相近，比较容易理清思路，但是在卡尔曼滤波更新中，状态转移矩阵的确定比较复杂。在这一过程中，我与队友经常一起讨论，互相指点使得我们都进步得很快。这次科研小组的经验对于我即将到来的研究生阶段有很大的用处。我学会了如何分配任务，怎么高效地和队友讨论问题、解决问题。在遇到瓶颈阶段时，我们不能所有人同时被负能量包围，坚持向目标努力会让我们一起获得新的进展。

在科研项目的最后，我们除了收获了科研经验以外，也收获了宝贵的友谊。我特别感谢我们的组长朱茂然不受时差影响，团结队友。在 8 月份我们需要写中期报告是我还在加拿大，我们有 13 个小时的时差，当时组长很淡定地给所有人分配任务，也把时间控制得恰到好处。另外，也特别感谢队友赵康，即使现在在加拿大也对我们整个小组的工作做出贡献，完成了他的部分。