

武汉大学大学生创新创业训练计划 科研总结

基于伪随机噪声码的声波定位技术研究

院（系）名 称：测绘学院

专 业 名 称 ： 导航工程

学 生 姓 名 ： 黄健德 王雅仪 王铨彬

卢永传 孟凡聪

指 导 教 师 ： 黄劲松 副教授

二〇一七年三月

摘要

项目成员一共 5 人，来自测绘学院 2014 级导航班，分别是黄健德、王铨彬、王雅仪、孟凡聪、卢永传。指导老师为黄劲松副教授，专业领域为室内定位、GNSS 精密测量方向。

定位技术在现代已经得到了飞速发展，随着全球定位系统的建立，位于 GPS 定位技术已经发展到了相当完善的地步，然而，在半封闭或者封闭的区域，或者是高楼林立的城市中心地段，无线电信号受到了极大的干扰，甚至被屏蔽，使得高精度的卫星定位无法实现，而人们对导航日益增长的需求，促使人们迫切需要找到一种新的定位技术弥补全球卫星定位技术的局限性。

传统的室外 GPS 定位主要通过伪码测距。随着科学技术的发展，通过各种消除误差的手段，其定位精度已经达到了很高的标准，服务于各个行业领域，给人们生活带来了极大的便利。此外，伪随机码也在另外一些领域得到了应用，例如利用伪随机码的超声波测距，通过将伪随机码调制到高频率的超声波中，接收机收到信号进行解调和解算，降低了单一的超声波测距易衰减的不足，从而提高了超声波测距的精度。室内导航正朝着低成本，高精度，便利性的方向不断发展。所以本项目提出一种新型的定位技术，基于伪随机噪声码的声波定位技术，用声波替代无线电波，用声波来搭载发送定位信息，能够保证用户端方便接收，实现可行性。

在指导老师的带领下，我们从基本的信号设计开始做起，期间遇到了很多困难，也好几次差点放弃，还好我们大家团结一致坚持做了下来。做事情会遇到很多硬骨头，只要咬牙坚持，终能啃破。经过试验，我们顺利达到了预期的目标，在此期间，完成了伪码设计与生成、信号设计、调制与解调设计。并利用 C++ 程序成功实现了这几部分内容。以及完成了技术方案、研究报告等成果。

一、项目选题的背景

声波作为一种机械波，是一种天然的载体，同时其本身也具有很大的优势。首先其传播速度相比其他略慢，因此细小的误差对其造成的影响微乎其微，可以容许室内导航产生的一些误差；其次声波来源广泛，存在于生活的方方面面，成本低廉，硬件设施容易搭建，具有较好的可行性；再者，声波在很多领域已经得到了广泛的应用，在声波接收、抗干扰方法、定位技术、信号处理和传播等方面的研究都有了很大的发展，可以通过借鉴其他方面的应用实例来设计其在室内导航的应用。

由室外的导航系统，尤其是 GPS 星座构成的全球定位系统的启发，能不能通过类比，利用类似的伪随机码测距的技术和原理，将其移植到声波上，从而实现室内定位呢？室内导航中确实存在利用超声波进行定位的实例，但仅仅限于通过测距后进行三角交会从而解算用户位置，这种方法容易受到多路径效应和非视距传播的影响，同时需要大量底层硬件设施，便利性和可行性差，那么如果利用伪随机码，将相关信息调制在声波上，当用户接收后进行解码，进行解算从而实现定位，将会弥补这个不足，同时也可以类比卫星导航误差的消除方法，对室内定位的误差进行修正，从而提高其精度，达到其目的。

二、项目情况

（一）成员情况

黄健德：学习认真，成绩优异（年级前 10%）。院三好学生，有着较宽的知识面。能熟练运用 C/C++ 编程语言编程，对 java 编程语言与超文本网页设计有基本的了解。对科研项目抱有极大热情，同时曾参与网页制作。主要负责活动组织与实践安排，程序编写。

王铨彬：爱好编程，喜欢探究自己喜欢的事物。对待学习、工作认真负责，具有责任心。掌握 c++ 与 java 编程语，编程能力突出。主要负责程序编写，检查纠正。

王雅仪：喜欢创造，喜欢挑战，追求全面发展。在学习方面，踏实勤奋，认真学习专业知识，热爱专业领域，热爱编程，非常渴望通过实践来提升自己的能力，现绩点 3.91，是队伍中发展比较全面的人才。主要负责原理设计，可行性分析，档案整理。

孟凡聪：学习刻苦，成绩优秀。对数学，计算机很感兴趣，具有扎实的专业知识。熟悉 c 语言，接触过 c++，java 等多种编程语言，并参加过学院的编程培训，具有较强的编程能力。

主要负责项目检验，可行性测试。

卢永传：掌握 c,c++,java 编程语言。细心体贴，组织各项活动。学习积极，爱好科研和探索,做事认真，勇于突破。主要负责原理设计，档案整理。

（二）导师指导情况

黄劲松老师认真负责，提供思路引向和负责项目监督，对于学生提出的疑难问题认真分析、细心解答，给予了科研小组成员很大的启发。

黄老师不定时地会组织小组会议，督促小组成员之间互相交流，汇报最近的科研进展情况。

三、项目的创新点与特色

结合声波测距技术、测绘的伪随机噪声测距技术及空间交会定位技术，研究热门的定位技术领域，采取不同于常规 GPS 定位的技术手段实现较高精度定位。声波定位设备简单，限制条件少，可以作为 GPS 定位有效的辅助手段，在日常生活中有着广阔的应用前景。

通过伪码设计与生成、信号设计、信号调制与解调，交汇定位等来实现。

目前随着定位导航需求的增大，定位手段也变得多样化。人们在不断追求高精度，实时性，强稳定，低成本。然而目前为止尚未出现一个能够大规模投放使用的室内定位技术与软件，说明室内定位的可行性还有待提高，尤其是需要找到一种可以替代无线电波的载体，来搭载发送定位信息，并能够保证用户端能够方便接收，实现可行性。声波室内定位也应运而生。声波作为一种机械波，是一种天然的载体，其传播速度相比其他略慢，因此细小的误差对其造成的影响微乎其微，可以容许室内导航产生的一些误差；另外声波来源广泛，存在于生活的方方面面，成本低廉，硬件设施容易搭建，具有较好的可行性；再者，声波在很多领域已经得到了广泛的应用，在声波接收、抗干扰方法、定位技术、信号处理和传播等方面的研究都有了很大的发展，可以通过借鉴其他方面的应用实例来设计其在室内导航的应用。通过设计一套成型的系统，来满足人们对室内定位的需求。

四、项目实施的进展情况及初步取得的创新成果

（一）项目实施的进展情况

1、概述

项目确定后我们对项目过程进行了详细的规划和设计，每个环节都经过仔细考虑，以确保项目可以顺利进行。在项目整体规划中我们大致分为以下环节：1）生成伪随机噪声码以及正弦载波；

2）调制载波；

3）WAV 文件生成；

4）初步检验；

5）模拟验证。

2、具体进展情况

（1）生成伪随机噪声码

生成原理：

我们利用伪随机码生成原理，生成码周期为 511 码片的金码，用作调制载波，和后期解调比对。此阶段实验均利用 Matlab 进行仿真。

生成公式：

$$G_1 = 1 + x^3 + x^9$$

$$G_2 = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9$$

生成代码：

%生成一个 511 位的无平移的 CA 码存储在 c (511,1) 中

%C/A 码两个 9 级寄存器初始化

reg1=ones(1,9);

reg2=ones(1,9);

```

%中间以为寄存器初始化
reg1_t=zeros(1,9);
reg2_t=zeros(1,9);
for i=1:511
%输出第 i 个 C/A 码
%每个时刻输出一个随机码
c(i)=mod(reg1(9)+reg2(1)+reg2(9),2);
%两个 9 级寄存器循环移位
%将第 2 到 9 个寄存器循环移位
for j=0:7
    reg1_t(9-j)=reg1(8-j);
    reg2_t(9-j)=reg2(8-j);
end
%根据 C/A 码产生图，给第 1 个寄存器赋值
reg1_t(1)=mod(reg1(3)+reg1(9),2);
reg2_t(1)=mod(reg2(2)+reg2(3)+reg2(6)+reg2(8)+reg2(9),2);
%将循环移位的结果保存，进行下次随机码产生
reg1=reg1_t;
reg2=reg2_t;
end

```

(2) 生成正弦波
生成原理：

$$x(n) = A \sin(2\pi \frac{f}{F_s} n + \theta)$$

其中：A 表示振幅， f 为载波频率， F_s 为采样频率， n 为离散时间， θ 为初相位。

我们在设计载波的过程中将用于生成载波的各项参数设置如下

频率：1000HZ;

振幅：50

采样频率：48000HZ

在设计好各项参数后，我们就开始在程序上实现载波生成；

3) 程序代码：

```
Xn=128+50*sin(3.1415926535 * 2 * 1000/48000 * i)*128/100;
```

说明：在程序中为了生成可用的音频文件，我们将生成的正弦波进行平移，得到一组正数，但函数特性没有变化。其中 1000 为载波频率，48000 为采样频率，50 为幅值。

(3) 调制载波

调制原理：数字信号中对于载波是以采样点的形式存储的，所以我们在经过计算

$$\frac{\text{采样频率}}{\text{码速率}} = \frac{48000\text{HZ}}{511\text{chips/s}} \approx 93.933 \text{ (个)}$$

得到大约一个码片对应 93.9 个采样点，为了保持整数特性，我们近似成一个码片对应 94 个采样点。所以首先将伪随机码进行扩充，得到与载波周期相同的采样点的个数，然后利用调相的原理，对载波进行调制。其中 C/A 码中的 $0 \rightarrow 1$ ， $1 \rightarrow -1$ ，然后将映射后的伪随机码与载波进行相乘得到调相后的载波。

(4) WAV 文件生成

WAV 格式是微软公司开发的一种声音文件格式，也叫波形声音文件，是最早的数字音频格式。WAV 来源于对声音模拟波形的采样。用不同的采样频率对声音的模拟波形进行采样可以得到一系列离散的采样点，以不同的量化位数（8 位或 16 位）把这些采样点的值转换成二进制数，然后存入磁盘，这就产生了声音的 WAV 文件，即波形文件。该格式记录声音的

波形，故只要采样率高、采样字节长、机器速度快，利用该格式记录的声音文件能够和原声基本一致，质量非常高，但这样做的代价就是文件太大。Wav 文件结构由若干 chunk（块）组成。每一个块由各自的标识码和块大小信息为起始。以下是各个数据块以及标识码的介绍。

1) RIFF

RIFF 是英文 Resource Interchange File Format 的缩写，是 wave 文件所使用的标准格式，作为 wav 文件的开头，紧接其后的是描述文件总大小的四字节 32 位二进制数据。

2) WAVE

标识码 Wave 作为 wav 文件的格式说明。

3) fmt

Fmt 块包含波形文件的大小、采样频率、采样位、声道数、编码格式等重要信息。描述了文件全部的基本参数。

4) Data

Data 块包以标识码 data 开头，后接 4 字节数据表示数据块大小，存储了全部的波形采样数据。其中数据的排列与采样位数、声道数有密切关联。

对于 WAV 文件的操作我们利用 C++ 进行编程，并处理数据。在掌握了 WAV 文件的基本格式以后，我们利用编程实现对 WAV 文件的操作，WAV 文件可以划分为文件头部分和数据部分，文件头部分每个块都有各自的固定大小，所以方便写入，首先算出要写入的数据的总大小，然后得到要写入的数据块的总大小，用于生成 WAV 文件的音频参数是已经设计好的，然后按照 WAV 文件的固定格式依次写入文件中，最后将数据块也就是调制好的载波数据写入文件。这样就得到一个 WAV 文件。

部分数据块定义：

```
int m_WaveFormatSize = 18; //
int m_WaveHeaderSize = 38; // 头文件大小
short wFormatTag = 1; // 编码格式，
short nChannels = 1; // 声道数，单声道为 1，双声道为 2 声道数
int nSamplesPerSec = 48000; // 采样频率
short wBitsPerSample = 8; // 取样位数
short nBlockAlign = nChannels * (wBitsPerSample / 8); // 取样大小
int nAvgBytesPerSec = nSamplesPerSec * nBlockAlign; // 数据流量 (kb/s)
short cbSize = 0; // 文件预留
```

基于已经掌握了 WAV 文件生成的方法，所以对于 WAV 文件的格式已经很清楚，在读取文件时只需按照固定的格式，运用合适的数据类型将 WAV 文件读取即可，最重要的是得到调制伪随机码的载波数据，以便进行数据处理。

（5）初步检验

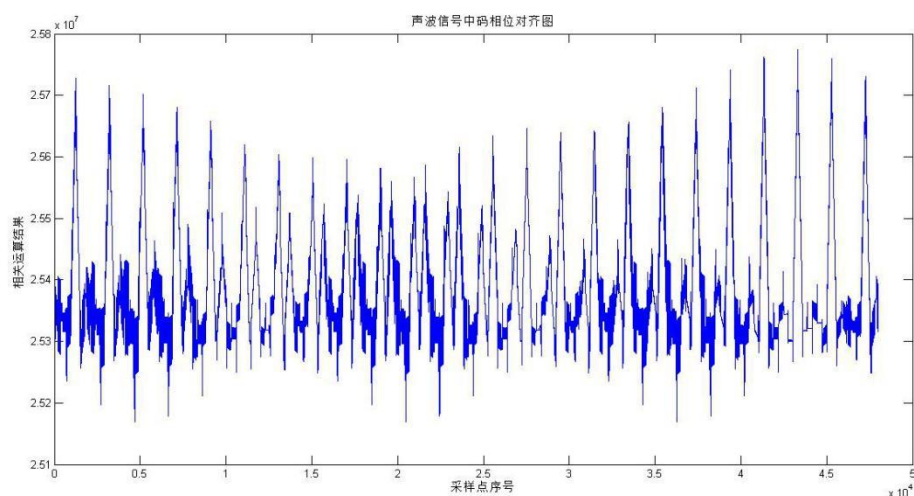
为了获得码相位，我们需要进行搜索，在项目设计中我们采用并行码相位搜索的方法，并行码相位搜索与串行搜索相比可以将平移码片的搜索方式通过一次傅里叶变换完成，是一种基于 FFT 算法的相关技术。

初步检验步骤：

- 1) 将平移确定位数的码序列调制到载波上，获得音频文件。
- 2) 将得到的音频文件读取，并进行并行码相位搜索，通过程序计算得到比对结果，通过寻找最高峰得到相应的码相位。
- 3) 检验比对得到的码相位与本地已知码相位的差异，看结果是否合格。

检验结果：

- 1) 将本地码序列平移 50 个码片，生成 WAV 文件
- 2) 将文件读取进行计算比对
- 3) 将傅里叶反变换结果输出，并用 Matlab 软件绘图
- 4) 结果如下图所示



码相位对齐结果

说明：横轴表示采样点序列号，纵轴表示傅里叶反变换结果的模值平方。经过 Matlab 计算得到的峰值是 43321，由于我们平移码片的时候是向左平移，所以存在对称性，理论上对齐峰值应该是： $48000 - 50 \times 93.933 \approx 43303$

与实际对齐结果相差 18 个采样点，理论上 18 个采样点在理想状态下造成的误差是：

$$\frac{18}{48000 \text{ HZ}} \times 340 \text{ m/s} = 0.1275 \text{ m}。但也存在随机性。$$

（6）定位测试

实施细则

在解决了前面各个环节的问题之后，我们开始进行实际定位测试，我们采用距离交汇的方法进行定位，具体操作流程如下：

准备材料：音频播放器，录音麦克风

实施步骤：

- 1) 先用程序生成双声道音频文件，利用音频播放器播放音频，播放位置坐标已知。
- 2) 然后利用麦克风进行录音，两个麦克风分别放置在不同的位置，相距一定距离，然后分别开启一个声道进行录音。
- 3) 在录音结束后，得到音频文件，分别进行数据处理，得到两个位置相对于声源的码相位偏移量。再将两个位置的码相位相减得到相对时间差
- 4) 得到两个麦克风所在位置的相对时间差后，再将声源放置在其他位置，得到另一组观测值。
- 5) 利用距离交汇的定位方法得到定位结果

(二) 初步取得的创新成果

对于声波定位课题，我们独立完成从设计到实验的过程，利用将伪随机码调制到声波上的方法实现定位，我们可以得到米级的定位精度，其中有很多限制因素，如硬件限制，算法不够完善以及对于噪声的处理都是影响定位精度的原因。但这种定位方法具有实用性和便捷性，如果我们可以优化算法，提升硬件性能，我们就可以实现一定范围内相对定位，在如今的公共场合，大型广场以及室内都可以发挥一定用途。麦克风可以用日常的手机代替，声源也可以用超声波进行播发，减少噪声污染，而且可以达到定位的效果。这种定位技术也可以用于辅助其他定位方法进行定位。

五、项目实施过程中的收获与体会

和很多其他大学生科研项目的经历类似，由于组内成员都是初次接触科研，对一些方法和过程不是很熟悉，导致在不同阶段都出现了一些问题，但通过大家的共同努力和钻研，这些困难都迎刃而解，同时提高了自身发现问题、解决问题的能力，为以后的科研道路打下了坚实的基础。

首先，在项目初期，由于大二下学期较为繁忙的学业，加之专业课的学习不够深入和全面，使得我们没有太多精力去进行前期的准备工作，导致在项目初期的几个月都没有什么实质性进展。好在我们知道编程对于不管是本专业还是科研项目来说都是至关重要的，因此闲暇时，我们会聚到一起做一些编程实习，考虑到对 C 语言的学习不是很深入，尤其是文件的读写与指针的运用，当时并不在课程的学习范围之内，但对于我们的项目来说，掌握这项技能是十分必要的。同时，为了扩展知识，我们一起学习了 C++，学会用面向对象的思想解决问题。尽管从 0 学起，同时会经常遇到一些困难，指导老师给予了我们很大的帮助，找了两个研究生学长带着我们逐步熟悉，这对后期项目的实现起到了很大的帮助。通过自学编程，我们不但找到了编程的乐趣，而且每当亲自解决一个小问题时，都会收获一种满足感，这对大家都是一笔宝贵的财富。这种体会到了大三尤为明显，在经历了一些编程后，不管是读他人写的还是需要独立完成的程序，都不会感到没有方向感，能够通过整体的框架深入到每一条语句，更加深刻的理解代码和其中的算法。

中期阶段，经过了较为紧张的大二和密集考试，暑假是专注于项目的好时机。我们的项目虽然与定位相关，但其中涉及了很多声波的知识，不仅我们对此很陌生，老师之前也未曾从事相关的有关声波的研究，因此这是一个集体学习、交流和进步的过程。为了加快进度，提高效率，我们进行了分工，一部分从事算法的设计，其他人则专注于基于声波处理的编程，

但为了不使两部分相互脱节，每隔几天我们都会聚到一起进行讨论，彼此相互讲解各自领域的某些要点，避免偏离了研究的方向，有选择的学习。实际上，大三的下学期，也就是 17 年 2 月份，我们的一门专门课实习专门提供机会研究定位算法，而在此阶段我们已对其有了一个整体的了解，第二次的研究比较轻松，同时对信号的捕获跟踪又有了一些新的理解，有更多的时间在自己的理解上对源程序进行更多的修改。在此期间，我们对生活中很常见的音波有了很多认知，尤其是计算机的 wav 文件，包括它的格式，存储方式，如何自主生成及对其根据需要改造，如调制信息发送并接受等，整体上，与卫星导航具有相似性，但声音和电磁波的特性是不同的，其中的细微差别以及需要注意的事项是我们特别需要重视的。

在项目的后期阶段，也是试验阶段，经过之前的积累，将成果运用到实际中去理应是相对容易的事，但由于忽略了一些理论与实际的偏差，我们经常被一些小错误困扰，由此拖慢了实验进程。例如时间同步问题，尽管室内定位的距离与卫星相比非常短，但钟的同步仍然是非常重要的一环，由于之前没有考虑这个问题，每次得到的定位结果都与实际有较大出入，经过仔细的检查 and 对比，我们才注意到这个致命的问题。同时，调试程序是这段时间的主旋律，调试对于任何一个程序员来说，都是整个问题从编程到最终实现的最核心也是最复杂的部分，从事相关行业，这一过程是必不可少的，也是最能体现个人水平的。整个实验过程充斥了大量的小 bug，虽然发现并解决的过程是很折磨人的，但解决后，看到自己的努力得到了回报，这一切都是值得的。

总体来说，通过这次科研，从准备到最后实验得出结果并整理为报告，每个组员都加深了对编程的理解，更重要的是，使我们从对科研一无所知，到能够合理的分阶段和规划时间，以及分配任务，这是一个很大的飞跃。同时，相互之间的交流，加强了同学间的联系，有助于我们在今后更好的进行团队合作。这是一个全面的提升，是我们大学生活中浓墨重彩的一笔。