

北京航空航天大学

第二十五届“冯如杯”

学生学术科技作品竞赛论文

基于软件无线电的无人机操控者定位系统

2015 年 4 月

摘要：

随着无人机快速普及，对无人机操控者的定位成为了空中交通管理乃至国防安全亟待解决的问题。本系统以软件无线电思想为基础，利用其优异的无线电信号采集和处理功能，综合了 Gnu Radio， MATLAB 两个平台，实现对无人机遥控信号的采集和处理，采用了小波分析有效地去除了电磁波传播过程中产生的多径效应，经过大量数据验证总结了一种算法去除了天线高度、长度等其他因素的干扰，实现精确定位。

关键字： SDR 无源定位 场强法定位 多径效应

Abstract:

With the rapid proliferation of UAVs, the locating of UAV controller becomes air traffic management and even national security problems to be solved. This system is based on the idea of software radio, which has superior radio signal acquisition and processing functions. The combination of Gnu Radio and MATLAB helps to realize the UAV remote control signal acquisition and processing. This system uses an advanced algorithm effectively in addition to multipath propagation effects of electromagnetic waves generated to achieve precise positioning.

Keywords: SDR passive location field method positioning multipath effects

目录

第一章 引言	1
1.1 创意来源	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 无源定位	1
1.2.2 软件无线电	2
第二章 系统组成	4
2.1 硬件	4
2.2 软件	4
第三章 理论基础	5
3.1 采样理论	5
3.2 场强法定位	5
3.3 遗传算法	6
第四章 实验结果	7
4.1 2.4G 稳定信号源	7
4.2 2.4G 无人机遥控器	8
第五章 误差分析	9
5.1 建筑物、树木的遮挡	9
5.2 WiFi 信号的干扰	10
5.3 GPS 精度	10

第六章 难点和创新点	11
6.1 信号的采集	11
6.2 信号的处理	11
结束语	12
【参考文献】	13

第一章 引言

1.1 创意来源

随着科技发展，无人机越来越多地应用于各个领域。军方运用无人机进行地形侦测、间谍活动，Amazon、顺丰、圆通已经率先开始了四旋翼无人机运送货物的实验，个人也开始用无人机进行一些如航拍等娱乐活动。无人机带来快捷和方便的同时，对其监管却成了政府等有关部门头疼的事情。2015年初美国白宫突然落下一架无人机，引起美国政府的恐慌和全世界人民的关注。民用四旋翼无人机体积小，飞行高度低、速度快，用传统的雷达无法探测，管理起来很不方便。而且即便抓住无人机，无法抓住其操控者仍然是徒劳。抓住无人机操控者对于无人机管理方面的立法工作，对于国防信息和个人隐私信息的保护都有极为重要的意义。

因此，本文提出了一种高效实时的车载系统，实现对无人机遥控信号的抓取和处理，从而定位出无人机操控者，保证了对人员的控制和对信息的保护。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 无源定位

1. 单站无源定位技术的原理概念

目前，辐射源定位技术按照辐射源的性质可分为有源定位和无源定位，按照基站个数可分为多基站定位技术和单站定位技术。无源定位技术是电子对抗应用中的一项重要技术，由于其具有作用距离远、隐蔽性好等优点，对提高系统在电子战中的作战能力和生存能力均具有不可替代的作用。根据接收机平台的数量，可以分为多平台测量辐射源定位和单平台测量辐射源定位。

单站无源定位与跟踪系统由于避免了复杂的时间同步和多个观测站之间的数据融合，绕开了多站点定位复杂系统和运算数据庞大的特点，所以在电子侦

察中扮演着越来越重要的角色，并且成为了一个重点研究。单站无源定位技术的具体实现方法诸如:N 向定位法、多普勒频率定位法，到达时间定位法等。

2. 单站无源定位技术的基本原理：

单站无源定位技术是利用单个移动观测平台对测量目标进行无源定位的技术。由于获取的信息量较少，因而单站无源定位实现难度相对较大。定位的具体实现过程通常是:用单个运动的观测站对辐射源进行连续（运动中）的测量，在获得一定量定位信息积累的前提下，进行适当的数据处理从而获取辐射源目标的定位数据。

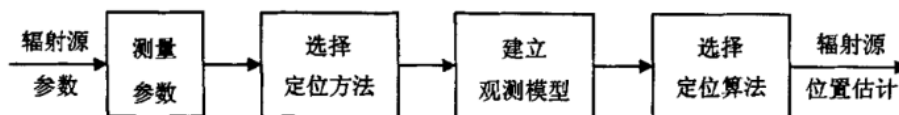


图1 无源定位框图

1.2.2 软件无线电

软件无线电指的是能够实现充分可编程通信，对信息进行有效控制，覆盖多个频段，支持大量波形和应用软件的通信设备。也就是说，一个无线电系统中，天线以后就数字化，对信号的所有的必要的处理都由存放在高速数字信号处理器中的软件来完成。其基本思想就是以通用、标准、模块化的硬件平台为依托，通过软件编程来实现无线电台的各种功能，从基于硬件、面向用途的电台设计方法中解放出来。因此，软件无线电具有重要价值：相比于以往仅仅依靠硬件发展的设备通讯功能，软件无线电实现了多数通信功能由软件来完成，传统的硬件设备仅仅作作为无线通信的基本平台，理论上大大提高通信领域的发展速度。

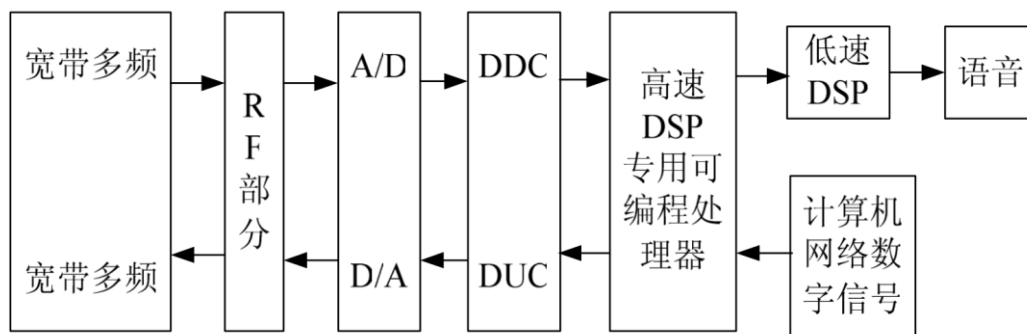
软件无线电的特性：

可重构性。可重构性作为软件无线电根本特性，要求软件无线电必须在软件和硬件都支持系统重构，这样才具有系统功能可以随所运行的软件来定义的功能。

灵活性。灵活性是指在不改变系统的软/硬件结构的条件下，对可重构性的适应能力。

模块化。模块化，是将所定义系统的各个任务分解为几个独立的软件和硬件模块，再把这些模块通过接口，按照逻辑的方式连接，得到期望的系统功能。

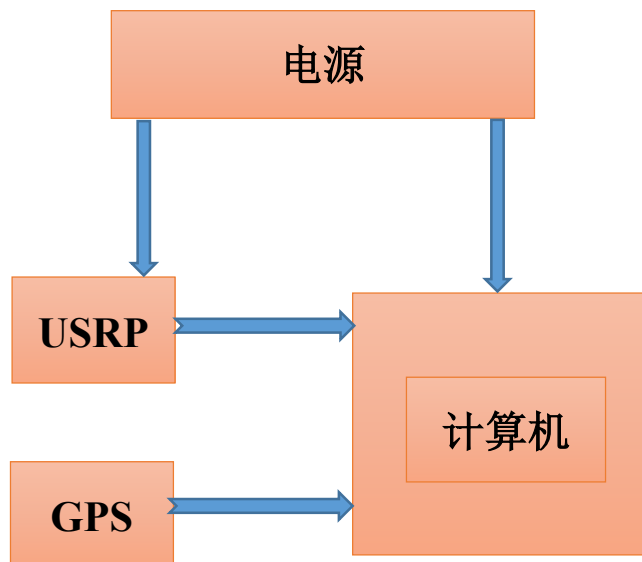
软件无线电的基本平台主要包括：天线、多频段射频转换器、宽带 A/D 和 D/A 转换器和 DSP 处理器几部分。理想的软件无线电系统结构如图所示。



理想的软件无线电系统结构其常用结构基本可以分为射频低通采样数字化结构、射频带通采样数字化结构和宽带中频数字化采样结构。

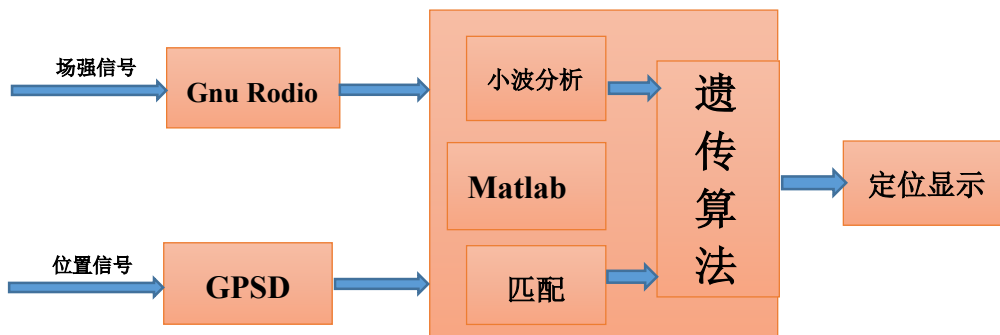
第二章 系统组成

2.1 硬件



本系统中信息采集模块主要由两个：usrp 和 GPS 模块。前者负责对遥控信号源发出的无线电波进行采集，能够实现可变中心频率、采样率和带宽，将采集到的信号传送到计算机内。后者负责接收 GPS 信号，将 GPS 信号传送到计算机内与场强信号进行匹配。计算机是本系统的信息处理模块，他将对应的经纬度和场强值进行匹配并代入算法进行计算，并将计算结果实时显示出来，实现边测量边定位。

2.2 软件



本系统用到的软件主要有 Gnuradio、GPSD 和 MATLAB。Gnuradio 是一款开源的软件无线电软件，里面提供的各种信号处理模块可以将 usrp 采集到的信号进行一定的处理，达到所需要的目的。GPSD 是 Linux 下一块专门处理 GPSD 信号的软件，它自带的图形化界面能够将 GPS 信号解析并实时显示出来。MATLAB 是一款强大的算法软件，其丰富的算法模块和强大的绘图能力为本系统的实现提供了强有力的支持。

第三章 理论基础

3.1 采样理论

奈奎斯特采样定理明确的指出，如果抽样频率 $f_s \geq 2f_H$ ，则可以由抽样序列无失真地重建恢复原始信号 $m(t)$ ，也就是说如果对一个频带有限的时间连续的模拟信号进行抽样，当抽样速率达到一定数值时，那么根据它的抽样值就能重建原信号。如果在抽样时一定要满足一定的条件就可以把样点恢复成原模拟信号。若要传输模拟信号，不一定要传输模拟信号本身，而只需传输按抽样定理得到的抽样值即可。这样在整个无源定位的过程中，只需要由单个站点采取足够的抽样速率，就可以得到原模拟信号所包含的信息。而软件无线电作为一种开放式的体系结构，其覆盖的频率范围一般都要求较宽，对不同的通信标准具有广泛的适应性。现代软件无线电系统处理的频段可从中波段延伸到 S 波段，处理带宽可达 3GHz 这样就可以得到定位时所需要的原始模拟信号的大量数据，从而进一步借助算法完成对原信号的定位追踪，达到目的。

3.2 场强法定位

场强坐标定位法测绘干扰源位置，是依靠测量场强值，由具体参数分析定位坐标的发现目标的方法，只要干扰源在某一特定频率上发射电波，它周围就会产生一个电磁波覆盖区。在该电磁波覆盖区内电波场强以其独有的特性由高场强向低场强、由强到弱的方式传播。场强的这种表现形式为我们搜索干扰源提供了定位的可寻之点。总而言之，场强法定位是一种围绕电波场强由高到低传

播特性,通过对场强的取样,归纳对比,辨别出干扰源所在区域的方法。

由于城市等电子战发生地区地理环境复杂,绕射、反射会产生多径效应,地形阴影慢衰落效应等造成移动平台测得的场强值呈现出快衰落的特征。其中多径效应会引起信号衰落。各条路径的电长度会随时间而不同,故到达接收点的各分量场之间的相位关系也是随时间而变化的。这些分量场的随机干涉就会形成总的接收场的衰落。但是各分量之间的相位关系对不一样的频率是不同的。因此,它们的干涉效果也因频率而各有区别,这种特性称为频率选择性。在宽带信号传输中,频率选择性可能会表现明显,形成交调。与此所对应,由于不同路径有着不同时延,同一时刻发出的信号因分别沿着不同的传播路径而在接收点前后散开,同时窄脉冲信号则前后重叠。因此最终多径会导致信号的衰落和相移。经过验证,场强法定位面临的多径效应和地形慢衰落效应等问题均可通过特殊的采样方式和创新的小波分析算法得到有效的解决。

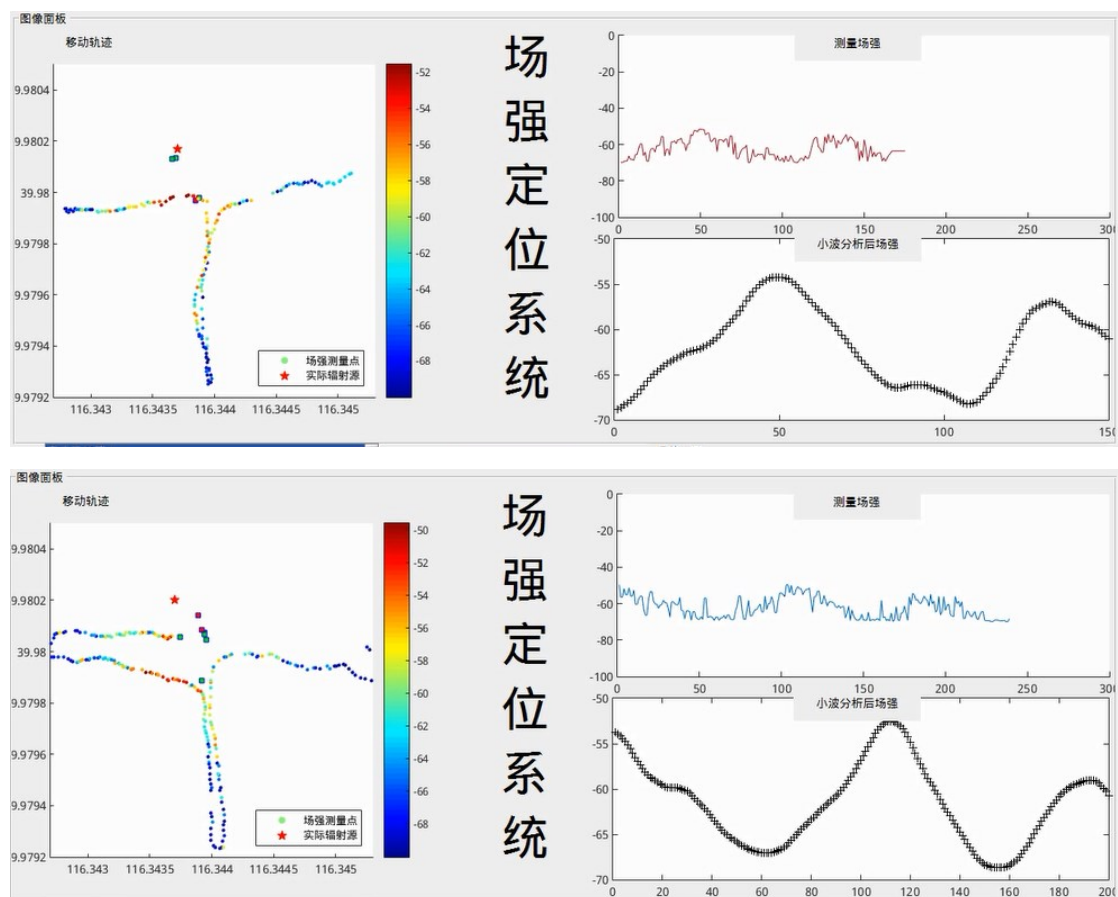
3.3 遗传算法

遗传算法(简称 GA: genetic algorithms)是一种由美国密歇根大学的 John H. Holland 教授等提出并创立的以达尔文生物进化论和孟德尔遗传变异理论为基础,通过模拟自然进化过程搜索最优解的仿生型优化算法。因为遗传算法不会受到多少问题的连续、可微等等动力学信息的影响,使得这种算法的运算结构比较简单,同时兼顾了全局搜索能力、信息处理的隐并行性、鲁棒性和可规模化等优点,在思路突破了以往的最优化方法的框架,因此尤其适用于处理传统搜索方法难以解决的复杂和非线性问题,如今已经被广泛用于组合优化、机器学习、自适应控制、规划设计和人工生命等领域,并且在经济和决策方面也有很好的应用,是 21 世纪有关智能计算中的关键技术之一。

第四章 实验结果

4.1 2.4G 稳定信号源

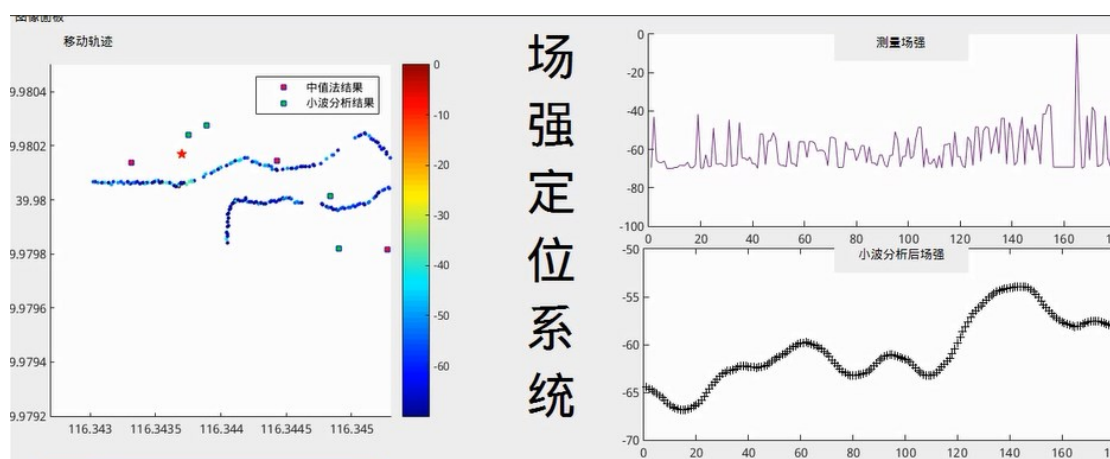
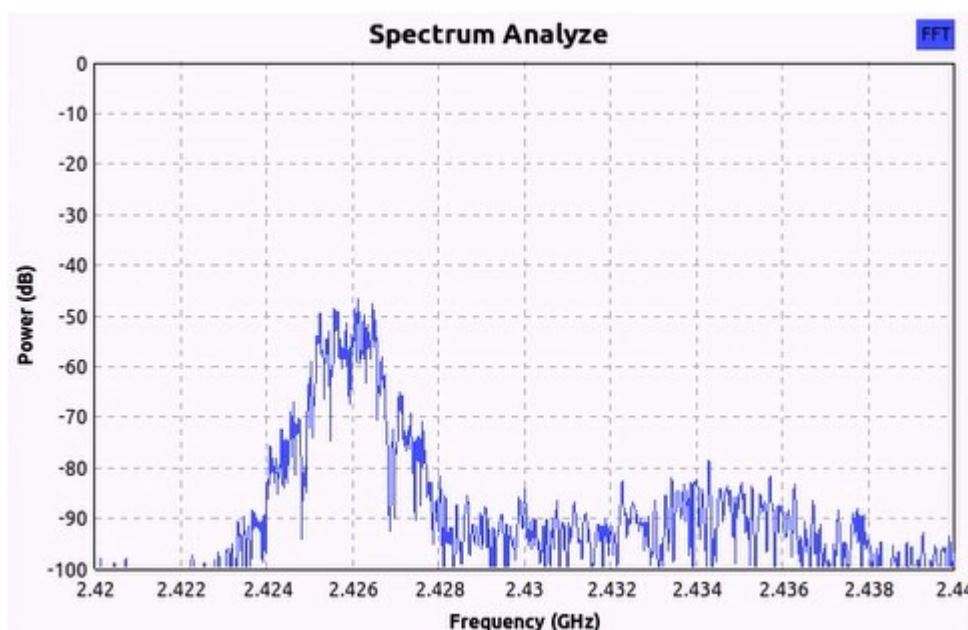
本次试验是在北航逸夫科学馆前的一个丁字路口完成。信号源位于逸夫馆三层的窗口，信号源经纬度为（116.3437，39.9801），信号源的频率为2.472G，幅度为0dB。接收机为北京海曼无限公司的 usrpN210，采样率为4M，带宽为4M，GPS 模块台湾环天原产 BU-353S4，笔记本电脑为华硕 K-45VD。信号处理软件为 Gnuradio3.7.6、MATLAB2014b，以下两幅图是两次实验得到的结果。

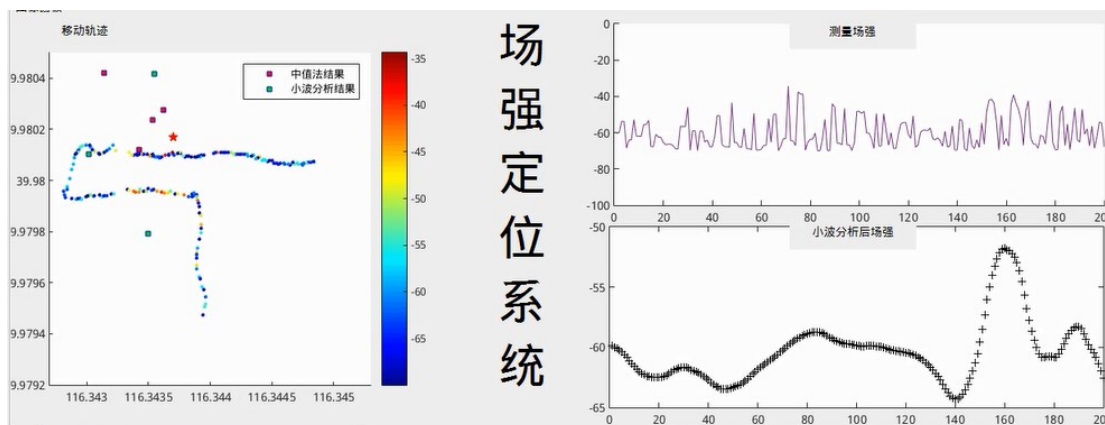


由上图可以看出，信号源在传播过程中，由于受到多径干扰，幅值会产生小范围快速波动，经过小波分析之后，将多径效应产生的噪声干扰有效的去除。途中共有六次定位，随着路径和采样点的增加，定位向正确的源点位置收敛，最后一次定位已经很接近正确的原点位置，定位误差不超过 10 米。

4.2 2.4G 无人机遥控器

本次试验是在北航逸夫科学馆前的丁字路口完成。信号源为某型号四旋翼无人机遥控器发出的 2.4G~2.48G 的跳频信号，信号源经纬度为（116.3437，39.9801）。接收机为北京海曼无限公司的 usrpN210，采样率为 20M，带宽为 20M，中心频率为 2.43G。GPS 模块台湾环天原产 BU-353S4，笔记本电脑为华硕 K-45VD。信号处理软件为 Gnuradio3.7.6、MATLAB2014b，下面第一幅图为跳频信号的一个峰值，后两幅图是两次实验得到的结果。





由上图可以看出，遥控器发出的跳频信号幅值不稳定，上下波动比较大，信号总体比较像一个调制信号。信号的包络可以很好地体现出场强大小与位置距离的关系。经过小波滤波之后，提取出来信号的幅值大致与实际相符。途中共有四次定位，随着路径和采样点的增加，定位向正确的源点位置收敛，最后一次定位已经很接近正确的原点位置，定位误差不超过 15~20 米。在实际情况中，15~20 米已经足以用肉眼观察识别实际无人机操控者，所以这个误差是可以接受的，定位基本成功。

第五章 误差分析

在多次测量的过程中，发现有以下几个方面会对测量结果产生影响，导致定位误差：

5.1 建筑物、树木的遮挡

实际测量过程中发现，树木和建筑物对于无人机信号源有着不同的阻挡效果。公园内和道路两旁一人多高的观赏树木对于无人机遥控信号几乎没有遮挡作用，而建筑物对于遥控信号有着明显的遮挡作用，接收机与遥控信号源必须在可视范围内才能接收到信号，一旦信号源绕过建筑物则无法接收信号。原因在于 2.4G 信号属于高频信号，穿墙能力十分有限，建筑物遮挡会阻挡大部分信号无法到达接收机。而遥控器发出的又是不连续的跳频脉冲信号，导致衰减很大，接收到的信号上下幅度波动很大，导致了测量结果产生误差。

这种误差对于实际情况而言，会产生一定的影响，但并不影响定位系统的实现。因为无人机信号源有这个特点，所以其遥控无人机时必须在无人机的视距范围内，即不可能在室内遥控。所以无人机遥控的信号只要被无人机能够接收到，就肯定能被定位系统接收到。一般而言，定位无人机操控者肯定是在发现空中的无人机之后，所以只要在无人机飞行的范围内进行搜索，就可以实现对无人机操控者的定位。

5.2 WiFi 信号的干扰

由于本定位系统采用的是非合作定位，无人机遥控发射的信号与 WiFi 信号同频，测量环境是校园内，所以校园 WiFi 信号的干扰是一个很大的误差来源。在测量过程中发现，北航如心楼、航空博物馆附近 WiFi 最高可达-60dB，路径中的其他地点最高可达-68dB。这都对最终结果产生了比较大的影响。观察定位结果可以发现，路径中出现的峰值不对的点都是由于 WiFi 信号超过被测信号导致的干扰，这也一定程度上解释了为什么遥控器测量结果不如信号源准确。

实际情况下，城市宽阔的马路上要比社区内部 WiFi 信号弱一些，空旷的郊外要比城市内部 WiFi 信号少很多。要解决这个问题，一是要加一个低噪声放大器，滤除噪声干扰，降低底噪。二是设定合理的门限，将遥控信号和 WiFi 信号区别开。三是尽量选择 WiFi 信号比较弱的路径，避开 WiFi 干扰。

5.3 GPS 精度

现用大多数 GPS 模块的精度为 10m，其定位精度很大程度上决定了我们最终对信号源的定位结果。由于在校园内进行定位，场地有限，无法进行长距离测量，导致 GPS 路径与真实路径会产生一定的偏差。实际情况下，对无人机操控者的定位肯定要经过一个比较长的时间和距离，这就在一定程度上减少了 GPS 定位误差带来的影响，效果会比较好。

第六章 难点和创新点

6.1 信号的采集

由于采用非合作方式定位，对于信号的采集就变得比较困难。本系统利用软件无线电可编程性和灵活性，一次性采集 20M 带宽信号，同时接受 12 个频点的跳频信号，一定程度上解决了信号不连续的难点，使得采集到的信号能够反映信号的实时峰值，从而使不连续的信号场强法定位得以实现。同时，可变的中心频率和采样率也有很好的环境适应性，可以根据不同的环境和不同的噪声而改变其值的大小，从而规避干扰，使信号更稳定准确。

6.2 信号的处理

利用软件无线电优异的信号处理能力，实现了信号的实时处理和绘图，达到了每秒更新一次数据，随着数据的更新将定位结果实时地显示在图上。本系统避开了合作定位解码译码的繁琐过程，直接接受 12 个频点信号的峰值并取其最大，解决了跳频信号不连续、无法接受的难点，保证了场强法的实现。利用 MATLAB 强大的遗传算法模块，将定位效率提高了几倍。MATLAB 优秀的 GUI 编程和绘图也实现了一个友好的人机界面，实现了定位过程的全程监测和数据记录。

结束语

总而言之，本系统目前阶段能够很好地实现对无人机遥控的定位，达到实时，便携，准确的目的。随着以后对信号采集方式和信号处理方式的不断改进，本系统还会进一步稳定可靠，方便准确。

【参考文献】

- 【1】 叶知秋. 基于场强测量的干扰源定位方法研究【D】. 北京：北京航空航天大学，2013
- 【2】 宋徽. 多站无源定位技术的研究【D】. 南京：南京理工大学，2007
- 【3】 邱汇. 单站无源定位技术研究【J】. 电子科技，2014，（1）
- 【4】 陶玉柱，胡建旺，崔佩璋. 软件无线电技术综述【J】. 通信技术，2011，（1）
- 【5】 黄嘉崴，钟晓峰，王京. 基于 GNURadio 和 USRP 的路测仪设计【J】. 通信技术，2011（4）；