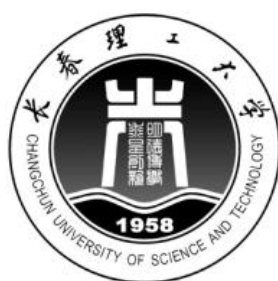

编号_____



长春理工大学
Changchun University of Science and Technology

本科生毕业设计

基于 CDMA 室内超声波三维定位系统设计

CDMA-based indoor ultrasonic three-dimensional positioning system design

摘要

本系统结合射频通信低成本、低功耗的特点和超声波定位精度高的特点，而避开它们的缺点，如单独的射频识别定位精度不高、超声波测距的覆盖范围有限。提出了一种基于 CDMA 室内超声波三维定位系统，能达到较高的定位实时性和厘米级的定位精度。本系统具有快速定位和定位精度高等优点，并且能实现多个移动目标节点的定位，使多目标同时定位或导航的应用成为可能，特别适用于多目标的室内协同工作，如井下人员的精确定位、医疗监护、运动捕获以及室内无人机和机器人的航迹规划等。

关键词：CDMA 三维动态定位 射频同步 超声波

ABSTRACT

The system combines the advantages of the radio frequency communications such as low-cost, low power consumption and high precision of the ultrasonic positioning while avoiding their disadvantages, such as separate radio frequency identification accuracy is not high, the limited coverage of ultrasonic ranging. We proposed a three-dimensional indoor ultrasonic positioning system that base on CDMA technology. It can achieve high localization and real-time centimeter-level positioning accuracy. The system is fast positioning and high precision positioning. The system can achieve the positioning of multiple mobile target nodes, so that multi-objective positioning navigation applications also become possible, especially for the multi-objective work in the room, such as the precise location of the underground personnel, medical care to capture the remote object, indoor positioning and maintaining the path of the robot and so on.

Key words: CDMA ; Three-dimensional dynamic RF synchronization

Ultrasonic

目录

摘要	II
ABSTRACT	II
目录	III
第 1 章 绪论	1
1.1 课题研究目的和意义	1
1.2 国内外研究现状和前景分析	1
1.2.1 国内现状	1
1.2.2 国外现状	2
1.2.3 前景分析	3
1.3 本文主要研究内容	3
第 2 章 超声波定位原理	4
2.1 超声波定位系统实现方式及比较	4
2.1.1 超声波技术	4
2.1.2 超声波定位系统实现方式	5
2.2 超声波测距及定位算法	5
2.2.1 TOA (到达时间) 测距	5
2.2.2 AOA (到达角度) 测距	6
2.2.3 TDOA (到达时间差) 测距	6
2.2.4 三边定位算法	7
2.3 超声波定位系统组成及工作原理	9
第 3 章 软件仿真	12
3.1 CDMA (码分多址) 技术	12
3.2 伪随机序列的产生	12
3.3 m 序列与超声载波的调制	14
3.3.1 数字信号调制及其分类	14
3.3.2 二进制振幅键控 (2ASK)	14
3.3.3 2ASK 仿真结果	15
3.4 接收端载波解调	16
3.4.1 2ASK 解调器	17
3.4.2 仿真结果	17
第 4 章 硬件设计	20
4.1 中心站	20
4.2 信标	20
4.3 目标节点	22
第 5 章 实验结果分析	24
5.1 实验数据分析	24
5.2 误差分析	25
第 6 章 总结与展望	27
6.1 全文总结	27
6.2 展望	27
致谢	28
参考文献	29

第 1 章 绪论

1.1 课题研究目的和意义

现今的“位置服务”领域非常的火热，但其大部分都是服务于户外移动用户。例如，在开阔的室外环境中，全球定位系统（GPS）目前已能提供非常精确的定位信息。但是，在工农业生产、军事国防中，经常需要在室内环境下对目标定位物进行定位和监测。例如，在工业控制现场、机器人和移动车、安全防护、矿井作业环境等都需要准确的室内定位信息来实现空间上的高效控制。与室外环境相比，室内环境要复杂的多，建筑物的结构、内部布局情况，还有许多人人为限制因素等都会对室内定位的准确性产生影响。在很多实际场合，GPS 信号也可能无法穿透房间的建筑材料而难以用于室内环境。

生活中，大型商场、医院、大型地下停车场等室内或地下环境当中。GPS 等室外定位技术往往会不能正常工作，甚至彻底失效，然而在这些场所当中确实存在着位置感知需求。很多人都有过这样的感受，当到达一个陌生的地方不得不进入一个大型的地下商场或者停车场时会完全失去方位感，从而在其中迷路。如果是大型商场还可以向其他人问路，如果是地下停车场这样的无人值守设施的，一旦迷路只能到处乱找，看着周围几乎一模一样的设施以及不知所云的路标，心情一定很焦急。如果这个时候有一套室内定位导航系统能够告知你的位置，指引你到你想要去的地方你一定会感到舒服多了。

本课题针对室内超声波定位系统具有定位精度高，成本相低廉，终端运算量较小等的优点，提出了基于 CDMA 室内超声波三维定位系统技术。

1.2 国内外研究现状和前景分析

1.2.1 国内现状

华南理工大学(广州)的个人位置跟踪系统是射频识别系统(RFID)在个人定位上的应用，基本原理是通过定时发射基站发射同步时钟信号，手持台接收到该信号后，按照一定的次序同接收基站进行数据交换^[7]。

解放军电子工程学院，复旦大学，上海交通大学南开大学等研究机构都曾对基于接收信号强度指示(RSSI)的室内定位技术进行过研究。

吉林大学，上海交通大学等研究机构曾经对红外-超声定位技术进行过研究。

南京邮电大，复旦大学等研究机构曾经对 UWB ^[10]位技术进行过研究，UWB 定位技术有定位精度高，不易受到干扰，实时性好等优点，但是应用范围受到无

线电管理相关法律的限制，目前美国 FCC 允许在一定条件下使用 UWB 。

1.2. 国外现状

1、Active Badge^[9]: 采用了扩散红外线技术。每个用户需要携带一个小的红外线标记设备。Active Badge 定位系统是根据近似法来估计用户的位置。由于采用的是红外线技术，当环境中存在荧光灯或直射阳光时，会产生假的红外线散射，这使得 Active Badge 在定位时会有一些困难。此外红外线只有几米的有效范围，这就限制了定位环境是小型或中型的房间，在大房间内则需要安装多个红外线信标机。

2、Active Bat^[10]: 采用超声的传输时间延迟技术。控制器发送射频请求包，同时利用有线网络向设置在屋顶的传感器发送一个同步复位信号。定位目标携带有 Active Bat 标签。Bat 标签收到控制器发送的射频请求包后，发射超声脉冲到屋顶放置的传感器。屋顶的每个传感器测量出从复位到超声到达的时间间隔，并计算出 Bat 标签到它的距离。本地控制器向中心控制器提交距离测量值，中心控制器再进行延迟计算。从 Bat 标签到传感器，如果超声脉冲是经过反射，而不是沿直线路径传输，将产生错误的传感器测量值，而用统计修正可以减少这种误差。Active Bat 提供了比 Active Badge 系统更高的定位精度。

3、RADAR ^[21]定位系统: RADAR 是基于 IEEE802.11 无线局域网技术的室内跟踪定位系统。根据基站测量无线设备发射的信号场强和信噪比，系统计算出建筑物内定位目标的二维位置。该系统优点是:需要的基站不仅少，而且实现了建筑物内的无线上网、位置感知等多种功能。两大缺点是:第一，跟踪定位的物体必须支持无线局域网，这对于低功率的小型设备来讲是不切实际的;第二，它只是二维定位，并不适用于多层建筑内的定位，或者建筑内的三维定位。

4、Cricke^[22]系统依靠遍布于墙壁和天花板上的信标通过无线电信道向外发布信息。每当信标发送 RF 消息的同时还并行传出一个超声脉冲。被定位物体或移动用户携带的监听器一旦收到 RF 消息的前几位，便继续监听随后的超声脉冲。当脉冲到达时，根据无线信号和超声波信号传播速度的差异计算出信号从信标到该监听器之间的距离。它实现了几何测量和近似法两种定位技术，当接收到多个信标的信号时利用几何测量计算位置;如果只有一个信标的信号，就采用近似法。Cricke 里的信标和监听器是非常相似的硬件设备，可以相互变换，完全通过软件来控制。由于 Cricke 的位置计算过程是在用户端运行，所以能够较好地保护隐私信息。不足之处在于缺乏集中的管理或监控，对于移动接收端还有计算负担和能耗的负担。

5、SpotON ^[23]是一个利用 RFID 的点对点定位系统。它通过无线电信号强度的衰减来测量信号经过的距离。设计者将点对点的网络通信与定位的思想结合在

一起，每个用户或物体上附有一个 RFID 标签，通过估计各个 RFID 标签间的距离给出用户间的相对位置。因此，SpotON 既可以提供用户的绝对位置，也可以提供相对位置。这使得系统还可以利用越来越多加入进来的参与者来提高定位的准确度。虽然已经设计出一些硬件，但完整的系统到目前还没有建成。

1.2.3 前景分析

尽管国内外对室内定位技术的研究已经进行了很多年，取得了长足的进展，但总的来说这项技术并不成熟，成功的商业应用并不多见。并且以上几个系统都存在的不足，使得它们尚处在研究阶段，仍然有很多可以改进的地方。同时，生活生产对室内定位系统的迫切需求，例如军事上的城市反恐，工业上的设备监测和故障诊断，以及商业导航和医疗监护等。因此，研究针对室内特定环境的定位和系统迫切需要开辟新的途径和方法。

1.3 本文主要研究内容

室内定位技术多种多样，各具优缺点。由于不同的定位技术所采用的介质和技术各不相同。比如采用距离或角度测定，干扰和冲突的避免，根据距离/角度得到坐标的算法等方面有很多相似之处，本文通过对各种室内定位技术的比较，提出一种定位精度高，保密性好，功耗小的定位系统——基于 CDMA 室内超声波三维定位系统。本文主要章节及内容如下：

第一章介绍了室内定位系统的发展现状，讲述了课题的研究内容和研究意义。第二章主要介绍了超声波定位的原理，以及超声波测距及其定位算法，并阐述了本系统的工作原理。第三章首先介绍 CDMA 技术，其次重点介绍了本系统调制与解调的过程。通过软件仿真进一步证明本方案的可行性。第四章是硬件设计，主要介绍本系统的各部分硬件电路组成。第五章通过对实验数据分析指出系统中可能产生误差的原因，通过对实验结果的总结，并提出改进方案。第六章对本系统设计过程进行总结并且对后续工作展望。

第 2 章 超声波定位原理

2.1 超声波定位系统实现方式及比较

2.1.1 超声波技术

所谓超声，是相对于人耳的听域范围而言的。正常人所能听到的声音频率在 20Hz—20kHz 范围内，频率低于 20Hz 或高于 20kHz 人耳都听不到。人们将频率高于 20kHz 的波称为超声波。超声波属于机械波，超声波在空气中传播几乎不受光线、粉尘、烟雾、电磁干扰和有毒气体的影响。

现代超声应用中，超声波一般由超声换能器产生和接收。超声波换能器实质上是一类机电能量转换装置。按其工作原理可分为压电式、电磁式和磁致伸缩式等三种。目前，常见的超声波换能器一般都是压电式的。它是利用压电材料的正逆压电效应来工作的。

超声波传感器分为发射换能器和接受换能器，既能发射超声波又能接受发射出去的超声波的回波。超声换能器的种类很多，按照其结构可分为直探头(纵波)、斜探头(横波)、表面波探头、双探头(一个发射，一个接受)、聚焦探头(将声波聚集成一束)、水浸探头(可浸在液体中)以及其它专用探头。在本系统中采用双探头超声波传感器，如图示。



图 2-1 超声测距传感器实物

2.1. 2超声波定位系统实现方式

根据信号传递方向不同，超声定位系统可以分为如下三类：

1、倒 GPS 超声定位系统^[25]：在 GPS 导航定位系统中，定位物体只接收信号，不发送信号，信号只由卫星进行广播。与 GPS 定位系统的信号传递方向相反，在常规超声局部定位系统中，定位物体只发送信号，不接收信号，信号由定位物体发送，基站只进行接收信号。所以，可将常规超声局部定位系统称为‘倒 GPS’定位系统。

2、应答超声波定位系统^[25]：包括上行应答和下行应答。上行应答是指一个基站发出呼叫信号，定位物体应答，所有基站接收应答信号。与上行应答相反，下行应答方式又称二次雷达方式，它首先由定位物体发出呼叫信号，所有基站应答，定位物体接收应答信号并估计与基站之间的距离。应答式定位方法在水声定位系统中广泛采用，例如：如海洋油气开发、深海矿藏资源调查、海底光缆管线调查与维护等，需要声学定位系统（Acoustic Positioning system）水下拖体进行导航定位，如水下遥控机器人 ROV（Remotely Operated vehicle）水下无人机器人 UUV（Unmanned Underwater Vehicles）等。

3、类 GPS 超声波定位系统^[25]：在类 GPS 超声波定位系统中，用超声波取代电磁波，用在固定位置处配置的超声波发射传感器（基站）取代 GPS 中的空间卫星星座。定位物体只接收信号，不发送信号，信号只由基站进行广播，定位物体根据接收信号估计与各个基站之间的距离。

本系统设计采用类 GPS 超声波定位方式，信号只由基站发射，定位物体接收并处理信号从而得到当前的状态参数，通过计算得到定位物体坐标。

2.2 超声波测距及定位算法

2.2.1 TOA（到达时间）测距

TOA (Time of Arrival) 测距是根据已知的信号传播速度和测量的信号传播时间，实现定位。TOA 定位，就是测量出两个或多个参考点与目标点之间的信号传播时间，从而分别得出目标点与各参考点之间的估计距离，以各参考点位置为圆心，相应的与目标点间的距离为半径画圆，可以得到两个或多个圆，这些圆的交点从理论上讲就应该是目标点在二维平面上的位置。几何原理如图 2-1 所示，图中 B1, B2, B3 分别代表参考节点 1, 2, 3。r1, r2, r3 分别表示参考点到目标点间的估计距离，交点 X 就代表目标节点的估计位置。

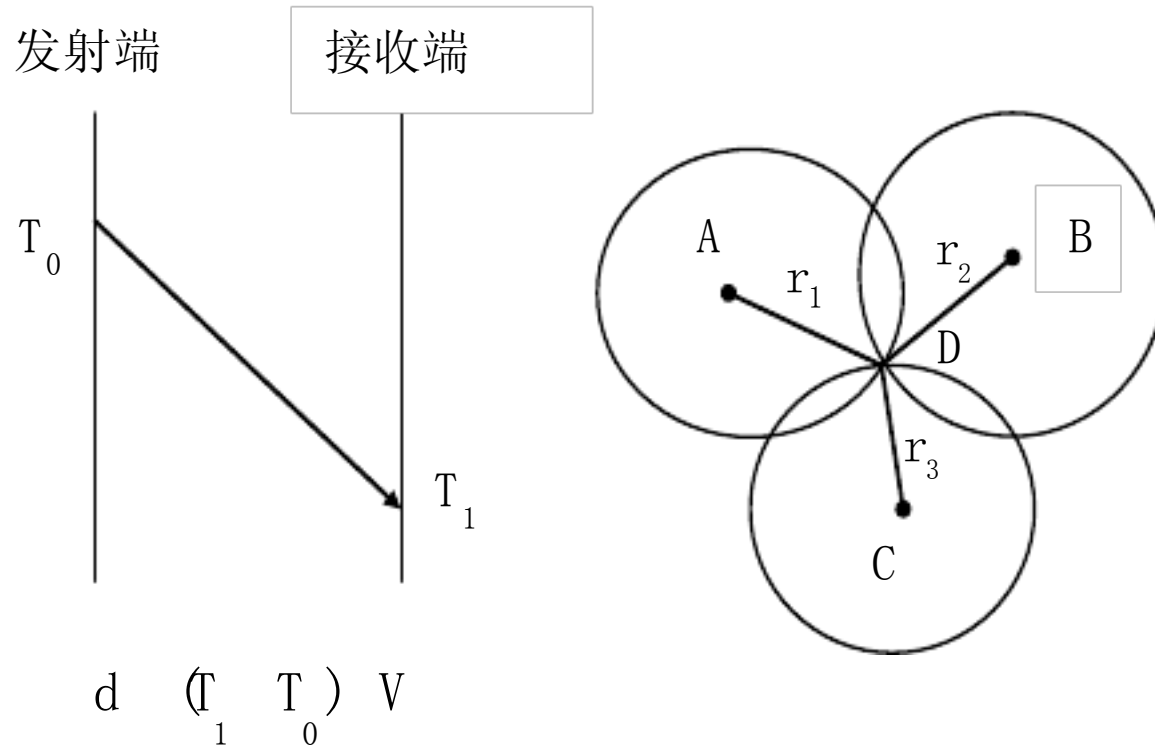


图 2-2 TOA 原理图

2.2.2 AOA (到达角度) 测距

AOA [26] (Angles of Arrival) 测距是通过参考点接收器天线阵列测出目标点发射的 AOA，形成一根从参考点到目标点的径向连线，即方向线。由 2 个参考点得到的 2 根方向线的交点就是目标点的位置，如图 2-3 所示。因此，AOA 算法只需要 2 个参考点就可以确定位置，而 2 条直线只有一个交点，不会出现轨迹有多个交点的现象。

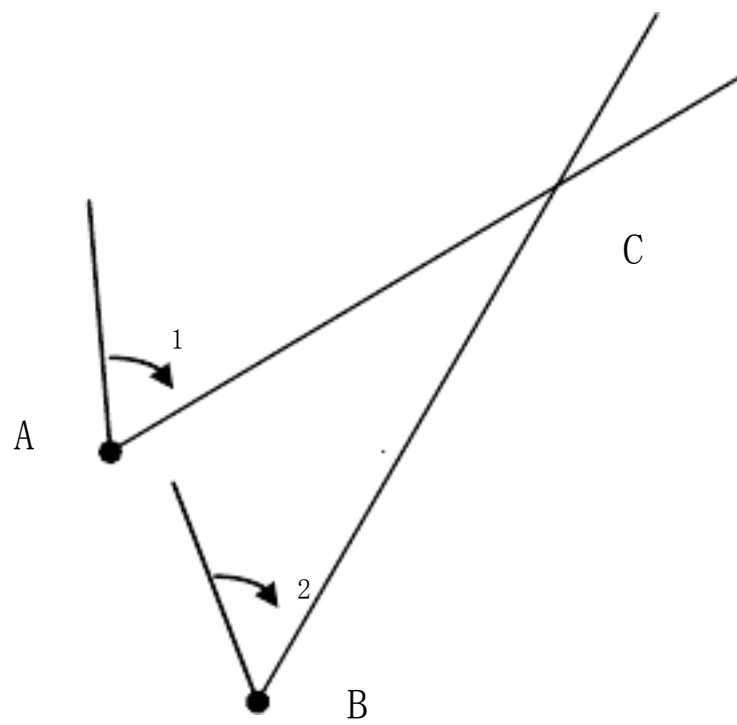


图 2-3 AOA 原理图

2.2.3 TDOA (到达时间差) 测距

基于 TDOA 测距原理是发射节点同时发射两种不同传播速度的无线信号，接

收节点根据两种信号到达的时间差以及已知这两种信号的传播速度，计算两个节点之间的距离，再通过已有基本的定位算法计算出节点的位置。具体算法如图 2-4 所示。设无线信号的传播速度为 c_1 ，超声波传播速度为 c_2 ，则它们的速度差为 S ，可由 (1) 式计算得到。则接收端到发射端的距离 d 可由 (2) 式得到。

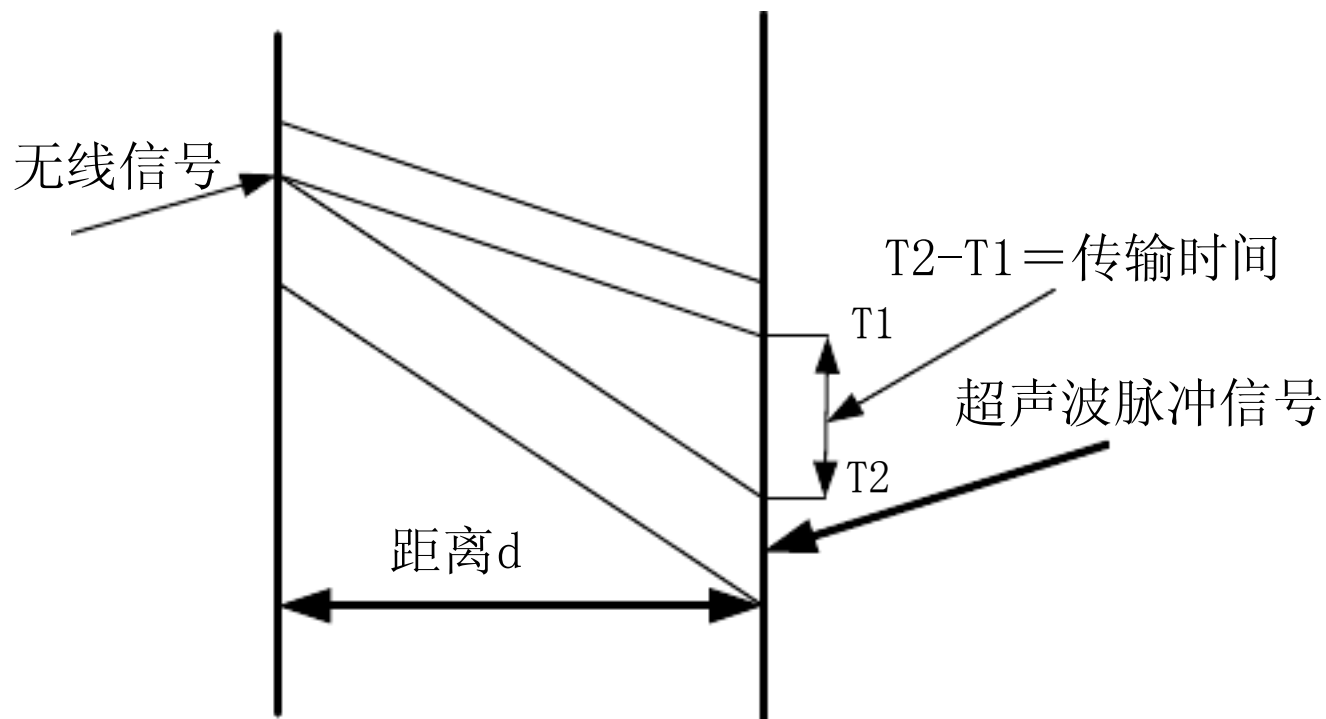


图 2-4 TDOA 的原理图

$$S = \frac{c_1 c_2}{c_1 - c_2} \quad (1)$$

$$d = (T_2 - T_1) S \quad (2)$$

基于测距的定位算法有很多种，如 RSSI（接收信号强度）、TOA（到达时间）、AOA（到达角度）、TDOA（到达时间差）等，从多方面考虑，TDOA 定位技术更适合本系统。TDOA 定位原理发射节点同时发射两种不同传播速度的无线信号，接收节点根据两种信号到达的时间差以及已知这两种信号的传播速度，计算两个节点之间的距离，再通过已有基本的定位算法计算出节点的位置。

由于本系统中无线信号采用射频信号，其传播速度（大约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ）接近光速，远大于超声波的传播速度（常温下，大约为 340m/s ）。工作过程中，已知参考节点同时发射超声波和射频信号，经过一段时间，待定位节点首先接收到射频信号并开始计时，再经过一段时间，再接收到超声波信号时计时结束。超声波传播的时间则是两个时间的和。射频信号的传输时间可以忽略不计，而只取后一段时间，因此测量距离就等于测出超声波传播速度和两种信号到达接收端的间隔的乘积，即到达时间差法（TDOA - Time Difference of Arrival）最后接收端到发射端之间的距离 d 就简化成 (3) 式

$$d = T_2 c_2 \quad (3)$$

2.2.4 三边定位算法

在测得距离的前提下，设计了以下定位方法。首先在室内空间建立坐标系，

选定三个参考点 1、2、3，设待定位的目标点为 M，它们的空间坐标如图 2-4 所示，其中参考点坐标已知，目标点坐标未知。三个参考点选在同一参考平面上，可选室内地板作为此参考平面。其中点 1 定为整个室内空间坐标系的原点，分别与点 2、点 3 构成 X 轴、Y 轴。确定需要定位的目标点后，使用系统硬件手段和软件程序测出目标点和三个参考点的距离 l、m、n，算出目标点的坐标值。式中变量如图 2-5 所示。

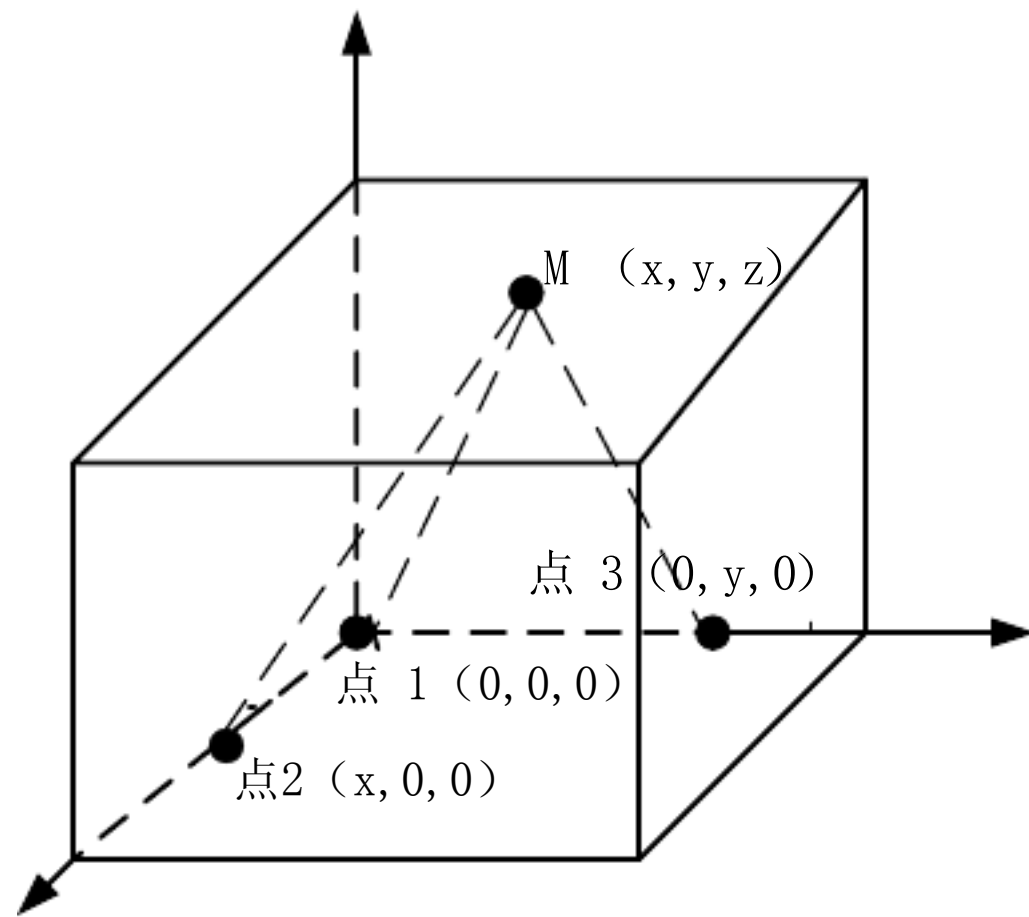


图 2-5 定位原理图

空间中任意一点 M(X, Y, Z) 到三个确定点 1 (0, 0, 0)、2 (x, 0, 0)、3 (0, y, 0) 的距离分别 l、m、n，则有：

$$\begin{aligned} X^2 + Y^2 + Z^2 &= l^2 \\ (X - x)^2 + Y^2 + Z^2 &= m^2 \\ X^2 + (Y - y)^2 + Z^2 &= n^2 \end{aligned} \tag{4}$$

由 (4) 式推导后可以得到点的坐标为

$$\begin{aligned} X &= \frac{x^2 + l^2 - m^2}{2x} \\ Y &= \frac{y^2 + l^2 - n^2}{2y} \\ Z &= \sqrt{l^2 - X^2 - Y^2} \end{aligned} \tag{5}$$

因此，可知测出 l、m、n 即可得到点 M(X, Y, Z)。通过三边定位可以得到空间任一点的坐标，从而完成三维定位。

2.3 超声波定位系统组成及工作原理

本系统由中心站、信标和目标节点组成。整个系统的工作过程是：①中心站通过射频模块周期性的发送同步控制指令（包含各个信标的位置信息）；②各个信标收到该指令后，立刻向目标节点发送扩频超声波信号；③目标节点收到该同步指令后，立刻启动定时器，同时采集超声波信号，并把指令中的有用信息（各个信标的位置信息）存储起来，方便后续定位使用；④超声波信号到达目标节点时，取出定时器的计数值，得到时间 T ，由 $d=C*T$ （ C 为常温下超声波的传播速度）得到信标到目标节点的距离，当收到多于三个信标的信号时，便可做定位算法运算。对采集到的超声波信号进行相关处理，确定是几号基站发过来的超声波信号，从而确定目标节点的三维坐标。本系统的示意图如图 2-6 所示。本系统工作流程图如图 2-7 所示。

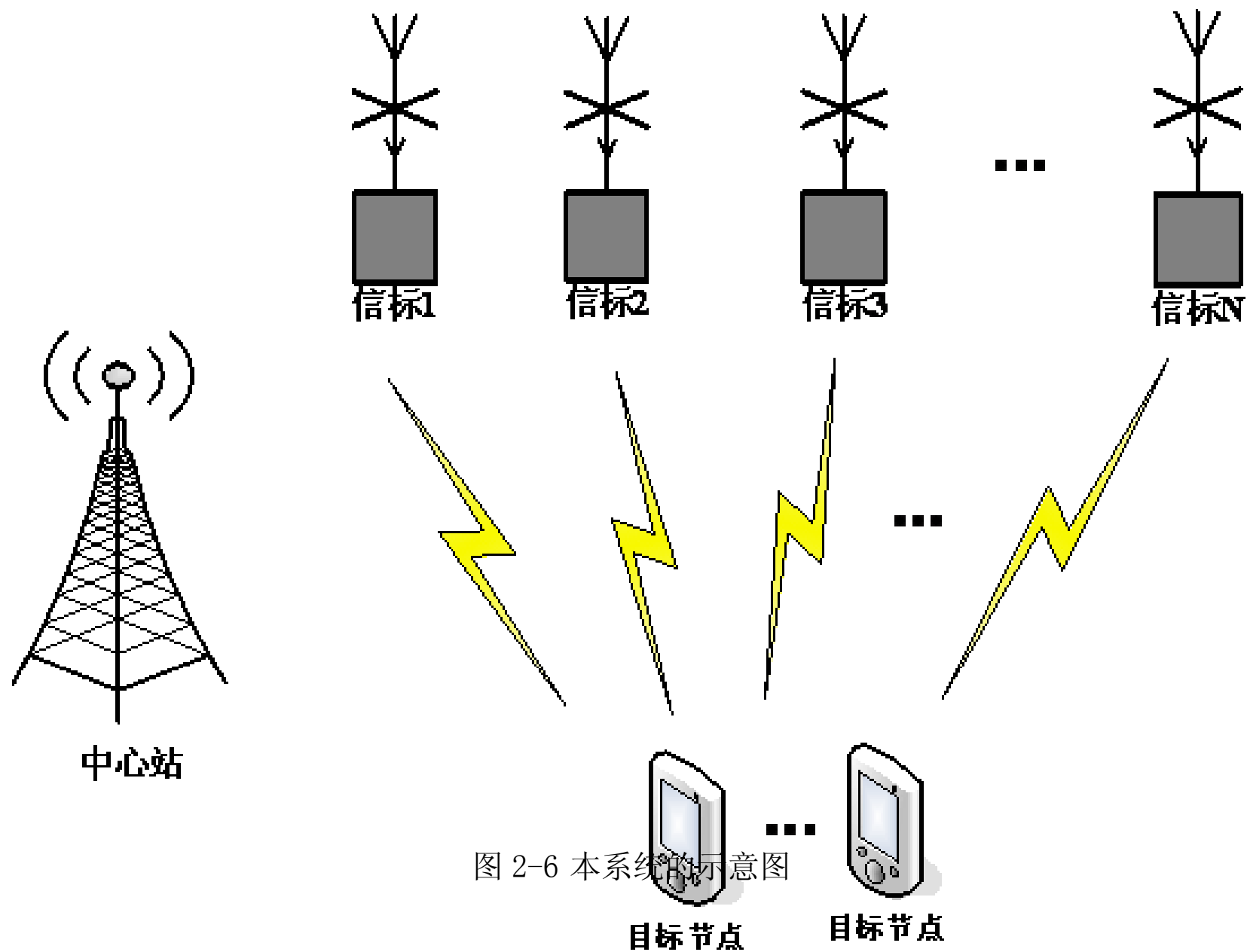


图 2-6 本系统的示意图

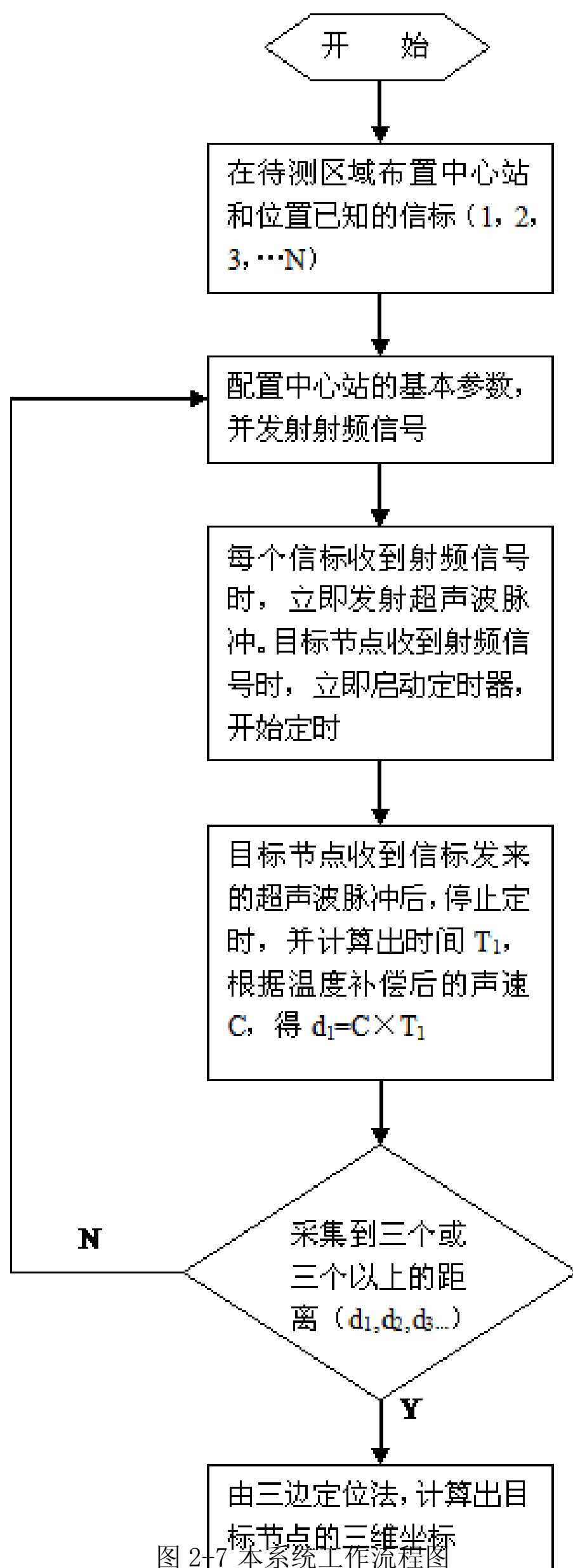


图 2-7 本系统工作流程图

本系统为实现空间三维定位采用了多个信标，如果用传统的单脉冲超声测距方法定位物体就无法区分各个基站发送过来的信号。如果采用码分多址技术，给每个基站分配一个单独的伪随机码，将伪随机码与超声载波进行二进制幅移键控

调制(伪随机二进制序列为高电 1 时, 发送超声脉冲; 为低电平 0 时, 不发送超声脉冲), 用已调信号驱动超声发送器, 由于具有不同结构的伪随机码几乎不相关, 据此定位物体可以区分各个基站发送过来的信号, 进而估计出与定位基站的距离。然后通过解算非线性定位方程组得到定位物体的当前位置。本文将在下一章介绍 CDMA 技术。

第 3 章 软件仿真

3.1 CDMA(码分多址)技术

CDMA 是以码分多址接入技术为基础的数字蜂窝移动通信系统。码分多址是以扩频技术为基础的，所谓扩频是把信息的频谱扩展到宽带中进行传输的技术，将扩频技术应用于通信系统中，可以加强系统的抗干扰、抗多径、隐蔽、保密和多址能力。

适用于码分多址蜂窝通信系统的扩频技术是直接序列扩频(DS)简称直扩。它的产生包括调制和扩频两个步骤。比如，先用要传送的信息对载波进行调制，再用伪随机序列(PN 序列)扩展信号的频谱；也可以先用伪随机序列与信息相乘(把信息的频谱扩展)，再对载波进行调制，二者是等效的。在 CDMA 系统中，不同用户传输的信息是靠各自不同的编码序列来区分的。虽然信号在时间域和频率域是重叠的，但用户信号可以依靠各自不同的编码序列来区分的。

本系统中的 CDMA 技术是通过 m 序列(伪随机码)和超声波载波以 BASK 调制形成扩频信号。在本系统中基站发射的信号是伪随机码和超声载波以 BASK 调制后的扩频脉冲信号。

3.2 伪随机序列的产生

本系统采用 CDMA 技术，给每个基站分配一个单独的伪随机码，将伪随机码与超声载波进行二进制幅移键控调制(伪随机二进制序列为高电 1 时，发送超声脉冲；为低电平 0 时，不发送超声脉冲)，从而区分不同基站发来的超声波信号。

伪随机序列又称伪随机码，它是具有类似于随机序列基本特性的确定序列。M 序列是最常用的一种伪随机序列，它是由线性反馈移位寄存器产生的周期最长的序列。

在本文中基站所使用的测距码是伪随机码，的区别在于：随机码是不可预测的，它在将来时刻的取值只能从统计意义上描述；伪随机序列实质上不是随机的，而是收发双方都知道的确定性信号。之所以称其为伪随机(伪噪声)序列，是因为它表现出白噪声采样序列的统计特性，在不知其生成方法的侦听者来说像真的伪随机序列。m 序列可以由线性移位寄存器(LSR)产生，图 3-1 是一个 4 级反馈移位寄存器的示意图，其中包括 4 级移位寄存器，模 2 相加反馈电路及脉冲发生器。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/887046150036010004>