**哈尔滨工业大学**

**硕士学位论文开题报告**

**题目：基于超声波的智能机器人室内定位系统的研究**

**院 （系） 计算机科学与技术**

**学 科 计算机科学与技术**

**导 师 王鸿鹏**

**研 究 生 莫维宇**

**学 号 12S051091**

**开题报告日期 2013.10.10**

**研究生院制**

**二〇一三年九月**

目录

[1课题来源及研究的目的和意义 1](#_Toc368007145)

[1.1课题的来源 1](#_Toc368007146)

[1.2课题研究的背景和意义 1](#_Toc368007147)

[2国内外研究现状及分析 2](#_Toc368007148)

[2.1国外研究现状 2](#_Toc368007149)

[2.2国内研究现状 3](#_Toc368007150)

[2.3国内外文献综述的简析 3](#_Toc368007151)

[3主要研究内容 4](#_Toc368007152)

[3.1超声波发射部分 4](#_Toc368007153)

[3.1.1 超声波频率选择 4](#_Toc368007154)

[3.1.2 超声波发射模块 4](#_Toc368007155)

[3.2 无线通信与时间同步选择 6](#_Toc368007156)

[3.3 超声波信号接收 6](#_Toc368007157)

[3.4 精确的时间同步 7](#_Toc368007158)

[3.4.1 基于数字无线通信模块的时间同步 7](#_Toc368007159)

[3.4.2 基于模拟无线模块的时间同步 7](#_Toc368007160)

[3.5 机器人组网 8](#_Toc368007161)

[4研究方案及进度，预期达到的目的 9](#_Toc368007162)

[4.1研究方案 9](#_Toc368007163)

[4.2预期达到的目标和取得的研究成果 9](#_Toc368007164)

[4.3进度安排 9](#_Toc368007165)

[5为完成课题已具备和所需的条件和经费 9](#_Toc368007166)

[6预计研究过程中可能遇到的困难和问题以及解决的措施 10](#_Toc368007167)

[7主要参考文献 10](#_Toc368007168)

# 1课题来源及研究的目的和意义

## 1.1课题的来源

本课题来源于哈尔滨工业大学深圳研究生院移动计算实验室有关“仿人智能机器人”研究课题之一。为机器人的多机协作奠定基础。

## 1.2课题研究的背景和意义

仿人智能机器人是模仿人的形态和行为而设计制造的机器人，一般分别或同时具有仿人的四肢和头部，具有人类的外观，是能够与人相互交互的最理想的机器人。因为它的外形像人，它的思维方式和行为方式也将越来越接近人。仿人智能机器人能够通过与环境的交互不断获得新知识，而且还能用它的设计者根本想象不到的方式去完成各种任务，它会自己适应非结构化的，动态的环境，可以适应人类的生活和工作环境，代替人类完成各种作业，并可以在很多方面扩展人类的能力，在服务，医疗，教育，娱乐等多个领域得到广泛应用。如今的仿人智能机器人集机、电、材料、计算机、传感器、控制技术等多门学科于一体，是一个国家高科技实力和发展水平的重要标志。

而在实际的机器人技术中，一些复杂的任务如果采用单一机器人来处理会使机器人成本过高，甚至对于复杂任务，单一机器人是无法完成的，需要多机器人的配合。因而，基于多智能体概念的多机器人合作问题正受到越来越多学着的关注，多智能体系统（multi agent system）[12]是由多个可计算的智能体组成的集合，它能协调一组自主体的行为 (知识、目标、方法和规划等) , 以协同地动作来完成任务. 多智能体机器人系统(multi agent Robotic System ) 中的每个机器人都被视为一个具有基本行为的自主体, 一般只处理与自身相关的局部目标和本地信息, 进行自主运动, 同时又可充分发挥其智能和自主性来与其他机器人进行合作, 体现创现 (Emergent) 的群体行为. 目前, 多智能体机器人协作完成给定任务是多智能体系统(M A S) 研究的一个热点问题, 其中, 多机器人编队控制是多机器人系统中一种常见的协作问题. 所谓编队控制, 是指多个机器人在到达目标的过程中, 保持某种队形, 同时又要适应环境约束 (例如存在障碍物或者空间的物理限制) 的控制技术. 多机器人编队控制是一个具有典型性和通用性的多机器人协作问题, 是许多多机器人协作问题的基础, 在很多领域有着广泛的应用. 这些领域包括形成固定队形搬运大的物体、形成弧形队形包围捕获入侵者完成空间任务等。[1]

在移动机器人中，精确定位是必须的，只有在解决了精确定位问题，才能解决Durrant Whyte提出的三个问题：我现在何处，我要往何处去，要如何到该处去。三个问题[2]。其中，我现在何处就是解决移动机器人的定位和跟踪问题，而其他两个问题要解决的是移动机器人导航系统中的路径规划问题，是建立在有确定位置的基础上才能实现的。而对于多机器人的协同活动，需要在这个的基础上，还要更高的精度，同时还要能够多机器人同时定位，不光需要自己的位置，还需要获得协同工作的别的机器人的位置。这样才能完成协同工作而不相互干扰。

目前机器人的定位分为室内和室外两种形式。室外一般采用GPS，误差为±2.5m[3],对于小型室内机器人来说，误差太大，而如果采用高精度的差分GPS，则造成成本过高，难度过大的问题。而对于室内，由于房顶的遮挡，室内往往是没有GPS信号的，这就需要GPS以外的定位方式。

基于超声波的定位对于机器人定位以及多机器人协同工作具有重要的意义：

（1）超声波定位部分具有较小的体积，方便安装在小型的机器人身上

（2）超声波定位具有较高的精确度，能够满足机器人协同工作的要求

（3）具有较强稳定性和可靠性

（4）采用无线通信，模块安装简便

（5）具有极低功耗，能够轻松用电池驱动

# 2国内外研究现状及分析

## 2.1国外研究现状

早在600年前郑和下西洋时候，中国人就通过观测星象的方式来定位。

20世纪20-30年代无线电导航系统作为一种导航手段一直沿用至今。

1958年美国军方一个项目提出了GPS，于1994年布设完成，以24颗卫星达到全球98%的覆盖率，民用精度可以达到10米左右。

2004年，Zigbee V1.0由IEEE 802.15工作组提出，实现一组短距离，低功耗无线组网技术。具有近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低数据速率、低成本的特点。为小型室内设备组网提供了一个极佳的解决方案。

1988年6月，NTP version 1提出，用于计算机时间的网络同步。可以使计算机对其服务器或时钟源（如石英钟，GPS等等)做同步化，它可以提供高精准度的时间校正（LAN上与标准间差小于1毫秒，WAN上几十毫秒），且可由加密确认的方式来防止恶毒的协议攻击。并于2010年6月提出NTPv4[13]，具有更高精度、更强的兼容性和多平台的适应性。其精度在局域网内可达0.lms，在Internet上绝大多数的地方其精度可以达到1- 50ms 。

对于室内定位，NOKIA提出了名为HAIP 的室内精确定位解决方案，通过蓝牙三角定位的方式实现定位，精度可以达到亚米级别。

之后APPLE于2012年6月WWDC宣布IOS7重点支持基于蓝牙的IBEACON[14]的无线标签以及室内无线定位方案。

Broadcom 和 Intel提出基于手机惯性导航传感器，陀螺仪，加速度传感器，电子罗盘的室内定位系统，通过多传感器数据的融合获得较为精确的定位。[15]

而最近出现基于屋顶灯光的Bytelight室内定位。屋顶LED灯以不同编码闪烁，通过检测闪烁实现定位，定位精度可达1米。

## 2.2国内研究现状

2011年12月27日起，北斗卫星导航系统开始向中国及周边地区提供连续的导航定位和授时服务。2012年12月27日起，北斗系统在继续保留北斗卫星导航试验系统有源定位、双向授时和短报文通信服务基础上，向亚太大部分地区正式提供连续无源定位、导航、授时等服务。定位精度10米，测速精度0.2米/秒，授时精度10纳秒。近年提出了基于wifi[19]以及基于Zigbee的信号强度的室内定位，但是由于无线信号易被干扰，定位精度不高，仅能作为初定位用。

对于室内定位，在RoboCup机器人足球比赛中出现基于置于机器人足球比赛场地正上方的摄像头实现定位。定位精度较高，单由于摄像头安装高度，广角范围以及像素限制，作用场地大小有限。

## 2.3国内外文献综述的简析

早期的定位主要是针对军事的室外定位。最初使用的是是无线电导航。无线电导航主要有两种方式，一种是根据无线电定向，飞机在不同的地方测量无线电发射站的位置，通过几何的方式解算出飞机当前位置。另一种是通过多个无线基站对飞机发送无线电信号，通过测量无线电信号传输的时延，获得飞机与多个无线电发射站的距离，通过几何方式解算出飞机位置。之后由于需要开始布置GPS系统，GPS上采用了伪随机编码（PRN）[16]为基础传播无线测距信号，当信号密度低于环境噪声的１％时也能将其检测出来。通过至少3个卫星可以确定位置，4个以上卫星可以确定高度。

对于时间同步，2002年，Elson等人提出了Reference Broadcast Synchronization ( RBS) 算法[9]。算法使用接受者-接受者模式的同步算法。利用无线链路层广播信道的特点一个节点发送广播消息,在同一广播域的其它节点同时接收广播消息, 并记录该点的时间戳。之后接收节点通过消息交换它们的时间戳, 通过比较和计算达到时间同步。2003年，Ganeriwal等人提出了Timing sync Protocol for Sensor Networks( TPSN)。算法通过发送者——接受者模式工作，采用层次型网络结构, 并假设双向信息交互的路径是对称的。每个节点和它的上一级节点通过两路消息交换进行时间同步, 最后实现所有节点和根节点的同步。[10]

对于位置的估计，Kalman1960年提出卡尔曼滤波算法。算法建立在线性代数和隐马尔科夫模型。卡尔曼滤波器提供了一种高效可计算的方法来估计过程的状态，并使估计均方误差最小。它能够通过信号过去状态，计算现在状态，并估计将来状态，即使不知道模型的确切性质。卡尔曼滤波对运动轨迹的预测有很好的作用，阿波罗飞船的导航电脑中就曾使用卡尔曼滤波。[11]

# 3主要研究内容

本课题的主要研究目的是设计一个能用在仿人智能机器人上的基于超声波的室内定位系统。该系统，通过安装在屋顶的多个独立的，位置已知的超声波发射器按照一定的组合向下方场地上的机器人发射超声波，机器人上安装超声波接收器，机器人与超声波发射器之间时间同步以后，通过测量超声波的发射与接收的时间差计算超声波的传输距离，从而通过计算定位机器人的位置。超声波发射器与机器人之间无双向通信，可以在场地中放置无限多个机器人并能够精确定位互不影响。同时机器人之间通过无线的方式组网，实现机器人之间以及机器人与主控电脑的通信，从而为多机器人协调工作建立环境。

## 3.1超声波发射部分

### 3.1.1 超声波频率选择

根据研究结果表明，空气对超声波的吸收与超声波频率的平方成正比[4]，然而如果只追求较长的传输距离，超声波频率越低，波长越长，测量的误差就越大，同时频率低接近声波频率以后，容易被外界的自然声音干扰，造成测量错误以及滤波难度太大的问题。如果用频率为20kHz的超声波，在空气中的声吸收大约为1dB/m，然而如果使用40kHz的超声波，吸收量达到4dB/m，在30m的距离上声吸收高达100dB以上，因而很难实现这样远距离的测距，通常测距在10-12米左右[5]。因而可以根据不同的测距要求选择不同的超声波收发器。由于目前找到的超声波收发都是固定频率的，常用于测距的收发器频率为20kHz,以及40kHz，因而只能根据机器人大小安装单接收器或者双接收器。如果之后找到可以变频率的收发器可以考虑跳频的方式工作，将获得很好的精度，覆盖范围以及抗干扰性能。

### 3.1.2 超声波发射模块

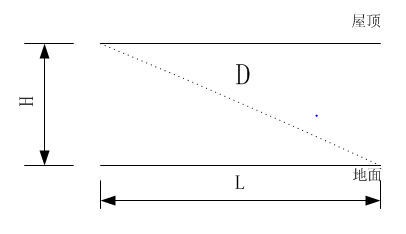
 超声波发射模块为独立无线模块，靠锂电池供电。由一个MCU独立控制，MCU负责超声波的方波发生，时间同步。整个室内环境，超声波发射模块不超过6个。3个超声波模块即可完成基本定位，配合算法，通过超声波发射模块的冗余提高系统的可靠性和精度。无线模块与主控电脑进行时间同步以后，按照自己的编号，从第0号开始发送超声波，每间隔0.05秒切换到下一个编号的发射模块发射，以此每0.3秒循环一次，定位频率可以达到3.3Hz。以上时间是通过以下计算获得：超声波在空气中的传播速度Vu≈334m/s，如图1所示，若屋顶高度H为4m，对于100m2的正方形场地，边长L为10m，则超声波实际传播的距离：

图 1

超声波在空中的传播时间Tu为

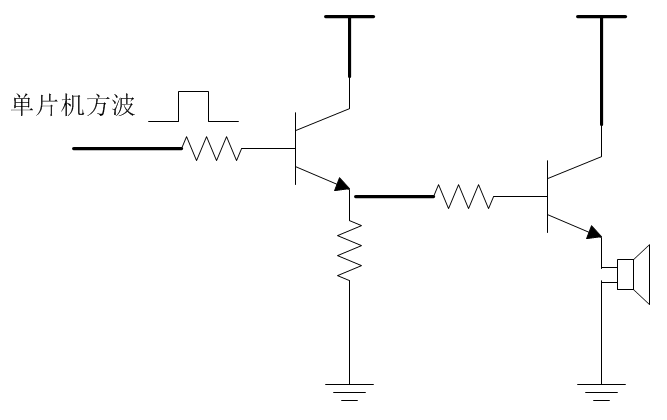


图 2

考虑到声波在环境中会有一定的反射，产生多路径效应（multipath error）[6]，为了避免相互间的干扰以及为场地面积留一定余量，发射间隔定为0.05s。

超声波发射由超声波换能器完成，按照换能器的频率，输入换能器相应频率的方波，即可输出相应频率的超声波。方波由单片机定时器或者PWM模块直接输出，经过放大电路放大以及功率电路驱动超声波换能器发出超声波。电路图如图2所示：

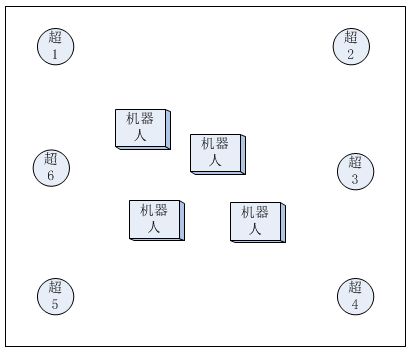
 超声波模块的布置，由于机器人主要在场地的中间放置，因而超声波模块放置在场地的四角落，如果场地是长方形的，则可以在边长较长的边增加一对超声波发射器，从而提高系统可靠性与精度安装示意图如图3：

图 3

## 3.2 无线通信与时间同步选择

目前考虑两种方式，一种是数字通信的方式，采用TI公司的CC2530的Zigbee方案，通过数字通信模块同时完成时间同步以及无线通信。另一种方式是用额外的增加模拟无线通信的方式进行时间同步。

直接采用数字通信系统完成同步时间的方式优点是结构简单，成本低，仅需一个电路就完成了所有通信功能，而且时间同步仅仅发生在机器人进入定位区域需要定位的时候，以及间隔一定的时间，需要进行时间修正的时候使用，没有额外的模块可以降低电路的功耗。然后由于参与数据通信，数字通信部分需要针对时间同步进行配置，需要复杂的时间同步算法，而且由于数据通信系统结构复杂，造成通信延迟不确定，影响时间同步的精度，从而影响定位的精度

而采用额外模拟无线通信电路的方式同步时间，由于模拟电路的超外差接收，锁相环以及声表面滤波电路延迟都比较低，而且延迟时间是稳定的，因而用额外电路通信具有同步时间精度高，同步方式简单的优点。经测试，同步时间误差可以轻松控制在±10us以内。但是额外的模块在电路体积和功耗上都有增加。

具体的选择需要依靠后期的研究与实验来选择。

## 3.3 超声波信号接收

超声波接收器为压电陶瓷结构，收到超声波以后会转化为微弱的交变电信号，需要经过一定的处理，最后把信号转换为有超声波信号为高电平，无超声波信号为低电平的开关信号，从而通过MCU进行处理。这里可以选择SONY公司的CX20106[20]集成红外线/超声波接收器如图4，该芯片集成了放大电路，限幅电路，滤波，检波积分以及整形电路，最终获得MCU可以处理的开关信号

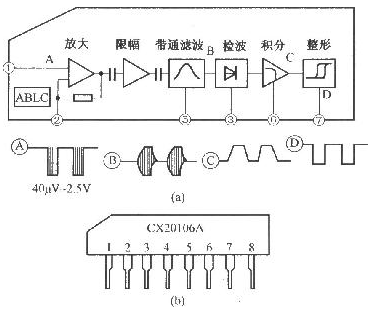


图 4

如果采用双频率超声波进行定位，则需要两个不同频率的超声波接收模块，以及不同频率的滤波，处理电路。则需要考虑用两套独立的电路来处理超声波信号。

如果找到多频率的超声波换能器与接收器，同事需要用MCU动态的调整滤波电路与锁相环电路的中心频率，从而捕获不同频率的超声波信号。

## 3.4 精确的时间同步

### 3.4.1 基于数字无线通信模块的时间同步

由于数字通信的FIFO缓冲区等待时延，数据包生成等各方面的延迟，造成了数字通信延迟过长，如果直接用收到数据时刻的时间进行时间同步而不考虑数据通信的延时，经测试，误差将达到0.1秒左右，这对于超声波定位来说误差太大，完全无法使用。这里考虑按照NTP（Network Time Protocol）[7]协议的方式进行时间同步。主机与每个需要时间同步的节点交换数据包，每一个时间包内包含最近一次的事件的时间信息、包括上次事件的发送与接收时间、传递现在事件的当地时间、及此包的接收时间。在收到上述包后即可计算出时间的偏差量与传递资料的时间延迟，从而获得较精确的时间。使用此方法，预计同步误差可以实现小于200us，这样对于超声波340m/s的速度，计算的时间误差造成的位置误差为0.068m。

### 3.4.2 基于模拟无线模块的时间同步

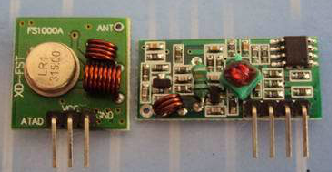
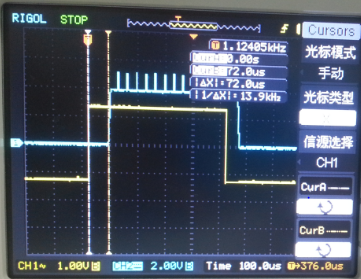
 若采用普通开关量的无线模块进行时间同步，由于模块结构简单，没有复杂的帧结构以及数据同步等步骤，时间延迟将会很低。经过测试，如图5的无线模块，此模块采用433M公共频率，发射器采用声表面稳频，且无编码器，减少了编解码的延迟。接收模块采用超再生接收，作用距离达到500米。经过实测，给发射模块输入1.12K方波，收发部分波形如图6所示，其中黄色为发射信号，蓝色为接收信号，延迟为72us，并且延迟是稳定的72us，经过补偿以后，误差可以减小到10us以下，对于340m/s的超声波，时间误差造成的位置误差可以减小到0.00034m，已经远远超过超声波接收的精度了。

图 6

图 5

## 3.5 机器人组网

多机器人在协同工作时，需要保证机器人之间能相互通信，获得与自己相关的各机器人的数据，因而，机器人的组网是很有必要的。考虑用Zigbee进行组网。组网芯片采用TI的CC2530实现，CC2530为Zigbee的SOC片上系统，系统集成了无线通信电路，以及一个8051MCU实现Zigbee的协议栈。[21]

Zigbee是基于IEEE802.15.4标准的低功耗局域网协议。根据这个协议规定的技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术。具有近距离、低复杂度、自组织、低功耗、低数据速率、低成本的特点。Zigbee能够自组网，并且拥有动态路由功能，非常适合机器人组网。理论速度在2.4G下位250Kbps[18]，能够满足机器人的应用要求。

# 4研究方案及进度，预期达到的目的

## 4.1研究方案

研究按照以下过程进行：

完成系统

时间同步

无线组网

超声波测距

超声波接收

超声波发射

由于市面上的超声波模块都是用于超声波反射测距，因而超声波部分的电路需要自己完成。首先完成超声波发射电路，使其能够正常发射超声波。之后完成超声波接收电路，两者配合能够正确收发超声波信号。之后搭建系统完成超声波测距算法，温度补偿等部分，最终使超声波测距的测量误差在2cm以下。

之后采用CC2530模块进行Zigbee组网，完成网络协议，并能够实现机器人与电脑之间的通信。

在超声波测距以及无线通信完成的基础上，测试时间同步算法，计算同步误差，并根据需要对算法进行调整以适应要求。

最终完善整个系统，并实现系统的应用。

## 4.2预期达到的目标和取得的研究成果

课题完成以后在屋顶布置至少3个超声波发射节点，获得发射器的位置以后通过主控电脑把发射器位置发送给场中的模拟机器人之后，对模拟机器人以及超声波发射器进行时间同步以后，模拟机器人即可获得3.3Hz频率的定位。机器人之间，以及机器人与主机可以进行组网通信。最终完成4个超声波发射几点的制作以及3个机器人，简单的计算机软件能够实时显示模拟机器人的位置。

## 4.3进度安排

2013年9月—2013年11月：查找有课题需要的的论文和资料，包含无线网组网，超声波测距以及时间同步方面你的资料；

2013年11月—2013年12月：完成超声波收发以及超声波独立测距；

2013年12月—2014年2月：完成Zigbee无线组网，实现通信。

2014年2月—2014年4月：完成各模块的时间同步；

2014年4月—2014年6月：完善系统，实现最终功能；

2014年6月—2013年12月：研究总结，完成论文的撰写，并且准备参加毕业答辩。

# 5为完成课题已具备和所需的条件和经费

电路部分需要2个STM32F103核心板，2个STM32F407核心板。超声波收发器至少5对，电子元件若干，电路板制作工具。基于CC2530的Zigbee通信模块。

仪器需要万用表，示波器，逻辑分析仪，信号发生器，电脑一台，频谱分析仪。

# 6预计研究过程中可能遇到的困难和问题以及解决的措施

可能遇到的困难有：

1. 对于20kHz的超声波，若声速为340m/s时波长为0.017m，而对于40kHz的超声波，波长为0.0085m，滤波或者锁相环会存在一定周期的延迟，可能会会影响定位精度。解决办法：目前市面上有0.005m精度的超声波反射测距模块，通过学习好的算法以及方法提高精度
2. Zigbee协议太复杂，完成组网以及精确的时间同步需要太长的时间来研究，从而拖慢整个毕业设计进度。解决办法：找做物联网的同学或者老师帮忙。
3. 系统不稳定，容易受到周围物品或者人的影响，造成反射多路径等问题，造成定位出错，系统可靠性差。解决办法：增加超声波发射节点数量，寻找多频率超声波收发器，实现跳频工作。采用两个频率20kHz和40kHz进行交替工作。

# 7主要参考文献

1. 韩学东, 洪炳熔, 孟伟. 多机器人任意队形分布式控制研究[D]. 哈尔滨: 机器人 2003 ,1:第 1 期，第25卷
2. 欧青立 何克忠 室外智能机器人的发展及其关键技术研究[C]. 机器人 2000 22(6) 520-523
3. Jet Propulsion Laboratory. GPS Sounding of the Atmosphere from Low Earth Orbit:Preliminary Results[R]. 1996
4. 马大猷, 沈xiao. 声学手册[M]. 科学出版社, 2004.
5. 王润田. 双频超声波测距[J]. 声学技术, 1996, 15(3): 116-118.
6. Axelrad P, Comp C J, MacDoran P F. SNR-based multipath error correction for GPS differential phase[J]. Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, 1996, 32(2): 650-660.
7. Mills D L. Internet time synchronization: the network time protocol[J]. Communications, IEEE Transactions on, 1991, 39(10): 1482-1493.
8. Bader M, Brunner H, Hamböck T, et al. Colour Histograms as Background Description: An approach to overcoming the Uniform-Goal Problem within the SPL for the RoboCup WC 2012[C] Proceedings of the Austrian Robotics Workshop (ARW-12). 2012.
9. Poonam Yadav, Nagesh Yadav Shirshu Varma. “ClusterBased Hierarchical Wireless Sensor Networks and Time Synchronization in CHWSN” IEEE 2007. 02 ( 1149 -1153) .
10. 王瑜, 张继荣. 无线传感器网络的时间同步[J]. 西安邮电学院学报, 2010, 15(1): 143-147.
11. Welch G, Bishop G. An introduction to the Kalman filter[J]. 1995.
12. Tornero R, Martinez J, Castello J. Multi-Agent System[C] Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-agent Systems: 10th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. Springer, 2012, 156: 147..
13. Elliott C, Gerstung H, Haberman B. Definitions of Managed Objects for Network Time Protocol Version 4 (NTPv4)[J]. 2010.
14. Singh R. Systems And Methods For A Terrestrial-Based Positioning Beacon Network: U.S. Patent Application 13/334,997[P]. 2011-12-22.
15. Li F, Zhao C, Ding G, et al. A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors[C]//Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing. ACM, 2012: 421-430.
16. Babu B S, srinivasa Rao P, Viswanath P. Effective Transmission And Reception Of Data Using Cdma Technology[J]. 2013..
17. 李文娟, 仲晓光. 跳频通信[J]. 中国新通信, 2012, 14(22): 16-16.
18. Kinne P. Zigbee technology: Wireless control that simply works[C]//Communications design conference. 2003, 2.
19. 肖建飞. WiFi 定位的应用和实现[J]. 计算机光盘软件与应用, 2011 (17): 77-77.
20. 孙培刚, 李春笛, 张艳鹏. 基于 51 单片机超声波测距系统[J]. 民营科技, 2011, 3: 035.
21. 李俊斌, 胡永忠. 基于 CC2530 的 ZigBee 通信网络的应用设计 [J][J]. 电子设计工程, 2011, 19(16): 108-111.