

ZigBee

技术实践教程

——基于CC2430/31的无线传感器网络解决方案

主 编 高守玮 吴灿阳
副主编 杨 超 赵洪钢 陈庆阳



北京航空航天大学出版社



ZigBee 技术实践教程

——基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案

主 编 高守玮 吴灿阳
副主编 杨 超 赵洪钢 陈庆阳

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 ZigBee 无线传感网络技术为主要对象,以基于 CC2430/31 芯片(TI/Chipcon 公司)的 HFZ-CC2430/31ZDK 开发套件为硬件平台,深入剖析了 TI 的 Z-Stack 协议栈架构和编程接口,并详细讲述了如何在此基础上开发自己的 ZigBee 项目。本书分为 5 个篇章:理论篇、准备篇、入门篇、进阶篇和提高篇。理论篇简要介绍了无线传感器网络和 ZigBee 协议规范的基础知识,为读者进行 ZigBee 项目开发提供理论指导,以便开发时参考;准备篇讲述了 ZigBee 硬件开发平台、软件开发环境的组成和安装,以及通过 17 个 CC2430/31 片内外设的操作例程来阐述 CC2430/31 片上系统的开发和使用;入门篇以一个通俗易懂的例子讲述了轮转查询式操作系统的基本原理,并介绍了这种操作系统在 TI Z-Stack 中的应用以及 TI Z-Stack 的用户编程接口;进阶篇通过几个例子演示如何建立简单的 ZigBee 无线传感网络系统,并详细阐述了 ZigBee 协议规范的几个重要概念在 TI Z-Stack 的代码实现;提高篇通过智能家居系统、无线数据透明传输系统、工业无线传感网络系统、无线定位系统等典型的 ZigBee 技术解决方案,详细介绍了如何开发实际的 ZigBee 项目。

本书可作为工程技术人员进行单片机、无线传感器网络应用、ZigBee 技术等项目开发的学习、参考用书,也可作为高等院校高年级本科生或研究生计算机、电子、自动化、无线通信等课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

ZigBee 技术实践教程:基于 CC2430/31 的无线传感器
网络解决方案/高守玮,吴灿阳主编. —北京:北京航空航
天大学出版社,2009.6

ISBN 978-7-81124-512-7

I. Z… II. 高… III. 无线电通信—通信网 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 198306 号

ZigBee 技术实践教程——基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案

主 编 高守玮 吴灿阳

副主编 杨 超 赵洪钢 陈庆阳

责任编辑 黄 勍

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:27.75 字数:622 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-512-7

定价:58.00 元

前 言

无线传感器网络是集传感器、无线通信和网络三大技术于一体的信息获取与处理技术。传统的无线网络关心的是如何在保证通信质量的情况下实现最大的数据吞吐率,而无线传感器网络主要用于实现不同环境下各种缓慢变化参数的检测,通信速率并不是其主要考虑的因素,它最关心的是在体积小、布局方便以及能量有限的情况下尽可能地延续其生命周期。

ZigBee 是一种网络容量大、节点体积小、架构简单、低速率、低功耗的无线通信技术。由于其节点体积小,且能自动组网,所以布局十分方便;又因其强调由大量的节点进行群体协作,网络具有很强的自愈能力,任何一个节点的失效都不会对整体任务的完成造成致命性影响,所以特别适合用来组建无线传感器网络。

用 ZigBee 技术来实现无线传感器网络,主要需要考虑通信节点的硬件设计,以及实现相应功能所必需的软件开发。TI(德州仪器公司)的 CC2430/31 芯片具备了实现 ZigBee 技术的各种底层硬件需求,是真正的一体化解决方案,完全符合 ZigBee 技术对节点“体积小”的要求,另外,TI 还提供了 Z-Stack 协议栈,尽可能地减轻了软件开发的工作量。

编写本书的主要目的是利用 CC2430/31 SoC,基于 Z-Stack 协议栈,为读者解析用 ZigBee 技术开发无线传感器网络的各个要点,由浅入深地讲述如何开发具体的无线传感器网络系统。

本书分为五篇:理论篇、准备篇、入门篇、进阶篇和提高篇。

理论篇(第 1、2 章):第 1 章概述了无线传感器网络,第 2 章则主要介绍了 ZigBee 协议规范基础理论知识,使读者对这两个概念有整体上的认识。

准备篇(第 3、4 章):本篇的主要目的是为基于 ZigBee 技术开发无线传感器网络产品做一些准备工作。第 3 章讲述了开发具体项目所基于的软硬件平台;第 4 章则基于核心芯片 CC2430/31 设计了几个实验,使读者先能熟悉核心芯片内部的各个具体硬件模块。

入门篇(第 5、6 章):在准备篇把开发具体产品所需要的基础讲解清楚以后,从本篇开始深入介绍 TI Z-Stack 协议栈,使读者掌握 ZigBee 协议是如何用软件代码实现的。第 5 章用一个通俗易懂的例子讲述了轮转查询式操作系统的工作原理,随后介绍了这种操作系统在 TI Z-Stack 中的应用;第 6 章讲述了使用 Z-Stack 所必须了解的一些基本概念。

进阶篇(第 7、8 章):本篇通过 Z-Stack 中自带的两个例子给读者演示如何建立简单的 ZigBee 无线传感网络系统,并详细阐述了 ZigBee 协议规范的几个重要概念在 Z-Stack 中的代码实现。

提高篇(第 9~12 章):本篇是在进阶篇的基础上的进一步提高,分别以智能家居系统(第

9 章)、无线数据透明传输系统(第 10 章)、工业无线传感网络系统(第 11 章)和无线定位系统(第 12 章)这四个典型的 ZigBee 技术解决方案,详细介绍了如何开发实际的 ZigBee 项目。

由上可以看出,本书层次鲜明、思路清晰、结构紧凑,并且有基础知识全面、重点突出、解决方案实用、可操作性强、开发过程详细等特点,能帮助读者快速开发出自己的 ZigBee 产品。

参加本书编写的主要人员有高守玮、吴灿阳、杨超、赵洪钢和陈庆阳等。由高守玮和吴灿阳负责全书的规划、内容安排、定稿与修改。

由于作者水平有限,书中若有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

高守玮 于 上 海 大 学

吴灿阳 于西安交通大学

2008 年 10 月

目 录

理 论 篇

第 1 章 无线传感器网络概述

1.1 无线传感器网络的发展历程	3
1.2 无线传感器网络的研究现状和前景	5
1.2.1 无线传感器网络的研究现状	5
1.2.2 无线传感器网络的研究前景	7
1.3 无线传感器网络的特点	8
1.4 无线传感器网络体系结构	10
1.4.1 传感器节点体系结构	11
1.4.2 无线传感器网络协议	11
1.4.3 无线传感器网络拓扑结构	13
1.5 无线传感器网络的关键技术	14
1.6 无线传感器网络的应用	17
1.7 典型短距离无线通信技术	19
1.7.1 几种近距离无线通信技术	20
1.7.2 短距离无线通信协议的比较	22

第 2 章 IEEE 802.15.4/ZigBee 无线传感器网络通信标准

2.1 IEEE 802.15.4 标准	27
2.1.1 IEEE 802.15.4 主要特点	28
2.1.2 物理层(PHY)规范	30
2.1.3 媒体介质访问层(MAC)规范	34
2.1.4 分层协议标准的关键术语介绍	41
2.2 ZigBee 技术概述	42
2.2.1 网络层(NWK)规范	43
2.2.2 应用层(APL)规范	45
2.2.3 ZigBee 协议栈各层帧结构之间的关系	48
2.2.4 ZigBee 网络配置	48

2.2.5 ZigBee 协议术语	50
2.2.6 数据传输机制	52

准 备 篇

第 3 章 ZigBee 开发平台

3.1 ZigBee 硬件平台介绍	58
3.1.1 ZigBee 无线传感器网络技术开发套件	58
3.1.2 HFZ-SmartRF04EB 母板	61
3.1.3 HFZ-CC2430/31EM 模块	70
3.1.4 HFZ-SoC_BB(电池板)	73
3.2 ZigBee 开发软件介绍	75
3.2.1 IAR EW8051 集成开发环境及其使用说明	75
3.2.2 ZigBee2006 协议栈	96
3.2.3 SmartRF Flash Programmer 软件	100
3.2.4 ZigBee 协议分析仪软件 Packet Sniffer	101
3.2.5 ZigBee 无线定位系统图形监视软件	102

第 4 章 CC2430 基础实验

4.1 CC2430 芯片概述	109
4.1.1 主要特性	110
4.1.2 CC2430/31 芯片引脚的功能	111
4.1.3 增强型 8051 内核	113
4.2 通用数字 I/O 接口	129
4.2.1 实验目的	129
4.2.2 实验原理及代码	129
4.2.3 实验演示	133
4.3 点阵式 LCD 驱动	134
4.3.1 实验目的	134
4.3.2 实验原理及代码	134
4.3.3 实验演示	136
4.4 时钟模式	136
4.4.1 实验目的	136
4.4.2 实验原理及代码	137
4.4.3 实验演示	141

4.5	外部中断实验	141
4.5.1	实验目的	141
4.5.2	实验原理及代码	141
4.5.3	实验演示	145
4.6	定时器中断	145
4.6.1	实验目的	145
4.6.2	实验原理及代码	145
4.6.3	实验演示	152
4.7	秒 表	153
4.7.1	实验目的	153
4.7.2	实验原理及代码	153
4.7.3	实验演示	156
4.8	ADC 单次采样实验	156
4.8.1	实验目的	156
4.8.2	实验原理及代码	157
4.8.3	实验演示	163
4.9	Temp Sensor 实验	163
4.9.1	实验目的	163
4.9.2	实验原理及代码	163
4.9.3	实验演示	165
4.10	Joystick 实验	165
4.10.1	实验目的	165
4.10.2	实验原理及代码	166
4.10.3	实验演示	170
4.11	UART 实验	170
4.11.1	实验目的	170
4.11.2	实验原理及代码	170
4.11.3	实验演示	176
4.12	DMA 传输	177
4.12.1	实验目的	177
4.12.2	实验原理及代码	177
4.12.3	实验演示	181
4.13	ADC 连续采样实验	181
4.13.1	实验目的	181
4.13.2	实验原理及代码	181

4.13.3 实验演示	182
4.14 Flash 读写操作	183
4.14.1 实验目的	183
4.14.2 实验原理及代码	183
4.14.3 实验演示	186
4.15 随机序列发生器	186
4.15.1 实验目的	186
4.15.2 实验原理及代码	186
4.15.3 实验演示	189
4.16 AES-128 安全协处理器	190
4.16.1 实验目的	190
4.16.2 实验原理及代码	190
4.16.3 实验演示	200
4.17 射频通信实验	200
4.17.1 实验目的	200
4.17.2 实验原理及代码	201
4.17.3 实验演示	210
4.18 功耗模式	211
4.18.1 实验目的	211
4.18.2 实验原理	211
4.18.3 实验演示	217

入 门 篇

第 5 章 TI Z-Stack 软件架构

5.1 最简单的操作系统	221
5.2 轮转查询式操作系统的应用	222
5.3 Z-Stack 软件架构	225
5.3.1 系统初始化	225
5.3.2 操作系统的执行	225
5.3.3 在项目中组织 Z-Stack 文件	229

第 6 章 TI Z-Stack 开发基础

6.1 基本概念	233
6.2 应用层	235

6.3 网络层	237
6.3.1 寻 址	237
6.3.2 路 由	239
6.4 安 全	241
6.5 其他(非易失性存储器)	242

进 阶 篇

第 7 章 ZigBee 基础实验 (SimpleApp)

7.1 与 Z-Stack 相关的 IAR 工程选项设置	247
7.2 工程程序架构	249
7.2.1 任务初始化函数	249
7.2.2 任务事件处理函数	252
7.3 温度传感器实验	259
7.3.1 功能描述	259
7.3.2 实验原理及代码	260
7.3.3 实验演示	270
7.3.4 Z-Tool 工具使用	271
7.3.5 Packet Sniffer 工具使用	275
7.4 灯开关实验	282
7.4.1 功能描述	282
7.4.2 实验原理及代码	282
7.4.3 实验演示	288
7.4.4 SmartRF Flash Programmer 工具使用	288

第 8 章 ZigBee 基础实验 (HomeAutomation)

8.1 绑 定	290
8.1.1 绑定表格	290
8.1.2 绑定建立	292
8.1.3 绑定解除	297
8.2 命 令	298
8.3 簇	300
8.4 Profile	300
8.4.1 ZCL	300
8.4.2 Profile	302

8.5	Home Automation 实验	303
8.5.1	Home Automation Profile 简介	303
8.5.2	实验原理及代码	308
8.5.3	实验演示	317

提 高 篇

第 9 章 智能家居演示系统

9.1	系统介绍	323
9.2	系统实现	324
9.2.1	系统总体设计	324
9.2.2	创建工程	327
9.2.3	任务与事件	332
9.2.4	设备信息配置	334
9.2.5	建网与入网	336
9.2.6	数据通信	339
9.2.7	人机交互	341
9.2.8	生成 HEX 文件	349
9.3	系统演示	350

第 10 章 无线数据透明传输系统

10.1	系统介绍	354
10.2	系统实现	355
10.2.1	系统总体设计	355
10.2.2	创建工程	356
10.2.3	任务与事件	357
10.2.4	信道和 PANID	358
10.2.5	设备信息配置	359
10.2.6	建网与入网	361
10.2.7	串口设置	361
10.2.8	数据通信	363
10.2.9	地址模式	364
10.3	系统演示	368

第 11 章 工业气体检测系统

11.1 系统介绍	370
11.2 系统实现	371
11.2.1 系统总体设计	371
11.2.2 创建路由器工程	373
11.2.3 任务与事件	378
11.2.4 设备信息配置	381
11.2.5 建网与入网	384
11.2.6 获取设备信息	386
11.2.7 数据通信	387
11.2.8 NV 存储	388
11.3 系统演示	389

第 12 章 ZigBee 无线定位系统

12.1 系统介绍	391
12.1.1 无线传感器网络的定位机制	391
12.1.2 ZigBee 无线定位系统	393
12.2 系统实现	395
12.2.1 系统总体设计	395
12.2.2 ZigBee 网关	401
12.2.3 参考节点	405
12.2.4 盲节点	408
12.3 系统演示	413
12.3.1 对节点编程	413
12.3.2 组建 ZigBee 网络	417
12.3.3 用 Z-Location Engine 软件实时监控 ZigBee 无线定位系统	418

附 录

附录 A ZigBee 协议栈中常用的 API	423
附录 B 网络层信息库属性	426
附录 C 光盘目录	427

参考文献

理 论 篇

开发 ZigBee 无线传感器网络解决方案,首先要对无线传感器网络技术和 ZigBee 技术有个概念上的认识和理解,这样对实际的项目研发和资料查询会有很大的帮助。理论知识是指导实践操作的有力工具,因此,对无线传感器网络技术的理论知识进行一定程度的掌握是很有必要的。本篇系统而简要地阐述了无线传感器网络技术和 IEEE 802.15.4/ZigBee 无线通信标准的基础理论。

第 1 章,通过回顾无线传感器网络的发展历程和分析其研究现状及前景,归纳无线传感器网络技术的特点,从网络体系结构和关键技术两个角度简要介绍了无线传感器网络的内容,并指出无线传感器网络技术的应用场合及前景,最后列举了几种典型的实现无线传感器网络功能的近距离无线通信技术,以及它们的比较,得出 ZigBee 技术应用在无线传感器网络方面的优势。

第 2 章,参照 IEEE 802.15.4—2003 标准和 ZigBee—2006 规范,将 IEEE 802.15.4 标准的特点和其定义的物理层(PHY)、媒体访问控制层(MAC),以及 ZigBee 技术的特点、关键概念和其定义的网络层(NWK)、应用层(APP)的规范,进行了简要地介绍。

通过学习本篇内容,读者可清晰地掌握 ZigBee 协议的体系结构及其技术要点,对 ZigBee 技术的概念理解和实际的项目研发都将有很大的帮助。

第 1 章

无线传感器网络概述

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是当前在国际上备受关注的、涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。它综合了传感器、嵌入式计算、现代网络及无线通信和分布式信息处理等技术,能够通过各类集成化的微型传感器协同完成对各种环境或监测对象的信息的实时监测、感知和采集,这些信息通过无线方式被发送,并以自组多跳的网络方式传送到用户终端,从而实现物理世界、计算世界以及人类社会这三元世界的连通。

1.1 无线传感器网络的发展历程

信息的获取是信息技术产业链和应用环节的第一步,没有它就没有信息的传输、处理和应用,也就没有信息化。传感器技术是信息获取的最重要、最基本的技术。从目前的发展看,所有现存的事物、状态、过程和演进都可以用物理量来描述,这个量就含有信息,都可以用传感器来获得。传感器信息获取技术从单一的数据采集向集成化、微型化、智能化、网络化方向发展,并且出现了传感器网络技术和相关应用。计算机的运算速度突飞猛进,使数据处理和计算能力迅速提高;存储器的容量无限增长,使海量存储终于得以实现;网络的带宽一再提升,传输数据已变得轻而易举。这时候人们却发现,与这些技术的发展不协调的是信息的采集和获取手段已大大落后了。于是,融合了传感器技术、信息处理技术和网络通信技术的无线传感器网络技术应运而生。无线传感器网络是由大量传感器节点通过无线通信技术自组织构成的网络。

当前,传感器网络正朝着开发无线传感器网络的方向发展。对无线传感器网络的研究与开发是目前信息领域的一个热点,学术界和产业界对它的学术价值和应用前景非常看好。国际上许多著名的大学和公司纷纷从不同的层次、不同的角度对传感器网络进行了研究和开发。近年来,我国的一些著名高校也展开了这一领域的研究工作,进行了前沿性的探索研究,内容包括无线传感器节点的硬件设计、操作系统设计以及无线传感器网络的路由技术、节能技术和覆盖控制技术等。

第一代传感器网络出现在20世纪70年代,使用具有简单信息信号获取能力的传统传感器,采用点对点传输、连接传感控制器构成传感器网络;第二代传感器网络,具有获取多种信息信号的综合能力,采用串/并接口(如RS-232、RS-485)与传感控制器相连,构成有综合多种信息的传感器网络;第三代传感器网络出现在20世纪90年代后期和21世纪初,用具有智能获取多种信息信号的传感器,采用现场总线连接传感控制器,构成局域网络,成为智能化传感器网络;第四代传感器网络正在研究开发,用大量的具有多功能、多信息信号获取能力的传感器,采用自组织无线接入网络,与传感器网络控制器连接,构成无线传感器网络。无线传感器网络是新兴的下一代传感器网络,最早的代表性论述出现在1999年,题为《传感器走向无线时代》。随后在美国的移动计算和网络国际会议上,提出了无线传感器网络是下一个世纪面临的发展机遇。2003年,美国《技术评论》杂志论述未来新兴十大技术时,无线传感器网络被列为第一项未来新兴技术。同年,美国《商业周刊》未来技术专版,论述四大新技术时,无线传感器网络也列入其中。美国《今日防务》杂志更认为无线传感器网络的应用和发展,将引起一场划时代的军事技术革命和未来战争的变革。2004年《IEEE Spectrum》杂志发表一期专集《传感器的国度》,论述无线传感器网络的发展和可能的广泛应用。可以预计,无线传感器网络的发展和广泛应用,将对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响并产生巨大的推动。

为了满足类似于温度传感器这样小型、低成本设备无线联网的要求,在2000年12月,电气和电子工程师协会(institute of electrical and electronics engineers, IEEE)成立了IEEE 802.15.4工作组。这个工作组致力于定义一种供廉价的固定、便携或移动设备使用的极低复杂度、成本和功耗的低速率无线连接技术。ZigBee正是这种技术的商业化命名,这个名字来源于蜂群使用的赖以生存和发展的通信方式,蜜蜂通过ZigBee形状的舞蹈来分享新发现的食物源的位置、距离和方向等信息。在标准化方面,IEEE 802.15.4工作组主要负责制定物理层和MAC层的协议,其余协议主要参照和采用现有的标准。高层应用、测试和市场推广等方面的工作由ZigBee联盟负责。ZigBee联盟成立于2002年8月,由英国Inversys公司、日本三菱电气公司、美国摩托罗拉公司以及荷兰飞利浦半导体公司组成,如今已经吸引了上百家芯片公司、无线设备公司和开发商的加入。同时,IEEE 802.15.4协议也吸引了其他标准化组织的注意力,比如IEEE1451工作组就在考虑怎样在IEEE 802.15.4标准基础上实现传感器网络。

正式的IEEE 802.15.4标准在2003年上半年发布,芯片和产品已经面世。ZigBee联盟在IEEE 802.15.4—2003标准的基础上,于2005年6月27日公布了第一份ZigBee规范“ZigBee Specification v1.0”,并于2006年12月1日公布了改进版本的ZigBee Specification—2006版本,再次掀起了全球范围内研究ZigBee技术的热潮。据市场研究机构预测,低功耗、低成本的ZigBee技术将在未来的两年内得到快速增长,2005年全球ZigBee器件的出货量已达到100万件,2006年底超过8000万,2008年将超过1.5亿,2009~2010年将达到10亿件。这一预言正在从ZigBee联盟及其成员近期的一系列活动和进展中得到验证。在标准林立的短距离无线通信领域,ZigBee的快速发展可以说是始料不及的,从2004年底标准确立到2005年

底相关芯片及终端设备总共卖出 1500 亿美元,应该说比被业界“炒”了多年的蓝牙、Wi-Fi 进展要快。

基于 ZigBee 技术的无线传感器网络应用在 ZigBee 联盟和 IEEE 802.15.4 组织的推动下,结合其他无线技术可以实现无所不在的网络。它不仅在工业、农业、军事、环境、医疗等传统领域具有极高的应用价值,而且在未来其应用更将扩展到涉及人类日常生活和社会生产活动的所有领域。

1.2 无线传感器网络的研究现状和前景

无线传感器网络技术是典型的具有交叉学科性质的军民两用高科技技术、可以广泛应用于军事、国家安全、交通管理、灾害预测、医疗卫生、制造业和城市信息化建设等领域。无线传感器网络由许许多多功能相同或不同的无线传感器节点组成,每一个传感器节点又由数据采集模块(传感器、A/D 转换器)、数据处理和控制模块(微处理器、存储器)、通信模块(无线收发器)和供电模块(电池、DC/AC 能量转换器)等组成。近期微机电系统(MEMS)技术的发展为传感器的微型化提供了可能,微处理技术的发展促进了传感器的智能化,通过 MEMS 技术和射频(RF)通信技术的融合促进了无线传感器及其网络的诞生。传统的传感器正逐步实现微型化、智能化、信息化、网络化,正经历着一个从传统传感器(dumb sensor)到智能传感器(smart sensor)再到嵌入式 Web 传感器(embedded web sensor)的内涵不断丰富的发展过程。

1.2.1 无线传感器网络的研究现状

无线传感器网络是新一代的传感器网络,具有非常广泛的应用前景,其发展和应用。将会给人们的生活和生产的各个领域带来深远的影响。各国都非常重视无线传感器网络的发展,IEEE 正在努力推进无线传感器网络的应用和发展,波士顿大学(Boston University)还于最近创办了传感器网络协会(sensor network consortium),期望能促进传感器联网技术开发。除了波士顿大学,该协会还包括 BP、霍尼韦尔(Honeywell)、Inetco Systems、Invensys、L3Communications、Millennial Net、Radianse、Sensicast Systems 及 Tetrax Systems。美国《技术评论》杂志在论述未来新兴十大技术时,更是将无线传感器网络也列入其中。在“中国未来 20 年技术预见研究”中总共 157 个技术课题,其中有 7 项是直接论述传感网络的。2006 年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为信息技术确定了三个前沿方向,其中两个与无线传感器网络的研究直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术。可以预计,无线传感器网络的广泛应用是一种必然趋势,它的出现将会给人类社会带来极大的变革。

国际上比较有代表性和影响力的无线传感器网络实用和研发项目有遥控战场传感器系