

GAINS节点产品白皮书

宁波中科集成电路设计中心（计算所宁波分部）

中国科学院计算技术研究所信息网络室

2005年6月

目 录

§ 1	产品简介	3
§ 2	WSN技术背景	4
2.1	无线传感器网络	4
2.2	国内外研发现状	4
2.3	产品特点及优势	5
§ 3	GAINS节点硬件结构	6
3.1	GAINS节点总体架构	6
3.2	GAINS处理器参数	8
3.3	GAINS硬件平台	8
§ 4	GAINS节点软件结构	9
4.1	总体架构	9
4.2	主要构件	10
4.3	关键技术	12
§ 5	GAINS通信机制	14
5.1	无线通信架构	14
5.2	通讯协议栈设计	15
5.3	关键技术	18
§ 6	产品介绍	19
6.1	WSN节点及开发平台 (GAINS)	19
6.2	WSN分析与管理平台 (SNAMP)	21
6.3	WSN专用处理器芯片 (WO-LPP)	28
6.4	无线传感器网络解决方案	30
§ 7	研发机构简介	31
7.1	中国科学院计算技术研究所	31
7.2	宁波中科集成电路设计中心	31
7.3	计算所信息网络室	32

§ 1 产品简介

中国科学院计算技术研究所是我国第一个从事计算机科学技术研究的综合性研究机构，近五十年来，在计算机体系结构和系统软件研究、高性能计算机研制、高性能芯片设计、测试验证和容错计算等方面，完成了一批获奖成果，并在国防建设、国民经济和信息产业中，得到了应用。在这五十年的风风雨雨中，中科院计算所不仅从事着国家发展战略所要求的尖端技术研究工作，还是我国科研成果产业化的急先锋。迄今为止，计算所直接或间接创办的企业已经逾30家，孕育了联想、神州数码、曙光等国内著名的公司，计算所凭借着强大的科研和商业实力，并不断在一个个新兴领域中扬帆起航。

在这些新兴领域中，最典型的是面向任务的无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等多种领域技术，通过各类微型传感器对目标信息进行实时监测，由嵌入式计算资源对信息进行处理，并通过无线通信网络将信息传送到远程用户。这一技术具有十分广阔的应用前景，在军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和实用价值，已经在国内外引起了广泛的重视。

作为国内较早涉及无线传感器网络领域的几个单位之一，中科院计算所凭借着在芯片设计、系统设计及无线网络等方面的深厚的技术沉淀，迅速掌握了多项关键技术，其中包括面向无线传感器网络的专用处理器芯片、面向行业应用的无线传感器网络节点、多种应用软件及支持平台、无线传感器网络开发芯片及应用开发平台。我们拥有诸多具有自主知识产权的技术产品，主要包括：兼容ATMEL公司AVR指令集的基于事件驱动的专用低功耗处理器芯片（WO-LPP）、完全兼容市场上主流WSN节点软件平台的高可靠的使用便捷的无线传感器网络节点（GAINS）、事件驱动的无线传感器网络操作系统（GOS）及相应软件环境、无线传感器网络分析及管理平台（SNAMP）等。

本着资源共享、联合开发的原则，我们面向国内在无线传感器网络研究及应用开发方面有一定技术背景的高等院校、研究所及公司提供自主开发的软硬件平台，并在全中国寻求无线传感器网络相关的技术和产品代理以及软硬件开发及应用方面的合作，希望我们能够抓住无线传感器网络领域发展契机，共同托起这颗沉甸甸的明日之星。

公司地址：浙江省宁波市科技园区创业大厦6层

联系电话：0574-87910120

传 真：0574-87908484

产品主页：www.wsn.org.cn

产品及技术支持热线：

姜 鹏：0574-87910141

杨 宇：0574-87910156

QQ群：2270403（推荐）

§ 2 WSN技术背景

2.1 无线传感器网络

无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）是由多个节点组成的面向任务的无线网络，它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等多种领域技术，通过各类微型传感器对目标信息进行实时监测，由嵌入式计算资源对信息进行处理，并通过无线通信网络将信息传送至远程用户。这一技术具有十分广阔的应用前景，在军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和实用价值。

无线传感器网络是由多个独立的节点组成，每个节点者具有独立的软硬件系统，可以完成数据采集、处理和发送功能，节点是 WSN 组网的基础，节点的质量直接影响这 WSN 网络的质量，因此，设计功能强大，容错性好，功耗低以及成本低廉的 WSN 节点是无线传感器网络领域发展的必由之路。

2.2 国内外研发现状

无线传感器网络作为信息领域的一个全新的方向，同时也是新兴学科与传统学科进行领域间学术交叉的结果，已经引起了学术界和工业界的广泛关注。国外的许多大学和研究机构纷纷投入了大量的研发力量从事无线传感器网络软硬件系统的研究工作，最具代表性的是 UC/Berkeley 大学和 Intel 联合成立的被称为智能尘埃(Smart Dust)实验室。UCLA 的 WINS(Wireless Integrated Network Sensors)实验室对如何为嵌入式系统提供分布式网络和互联网访问能力进行了大量研究，提供了在同一个系统中综合微型传感器技术、低功耗信号处理、低功耗计算、低功耗低成本无线网络等技术的解决方案。RICE 大学研制的 Gnomes 传感器网络由低成本的定制节点组成。每个节点包含一个德州仪器（TI）的微控制器、传感器、和一个蓝牙通信模块。Gnomes 节点既可以通过普通电池供电，又可以通过太阳能电池供电，并且可以配备 GPS 接收器来进行定位。

无线传感器网络存在着巨大的商业前景，也开始成为商家争相投资的对象，并且涌现出了很多专门从事无线传感器网络及相关产业的公司。在这些公司中应该首推 Crossbow 公司和 DUST 公司，它们都是由 UC/Berkeley 技术发展而来，前者主要针对航空电子、交通运输、无人探测、环境监控、测控测量等具体应用定制相应无线传感器网络节点和应用方案，后者主要提供了可靠的、可管理的和易于安装的 SmartMesh™ 传感器互联方案，该网络方案被 Red Herring 组织评为 2004 年度 TOP100 发明奖。Ember 公司提供了与 IEEE 802.15.4/ZigBee 兼容的射频芯片及相应的软件和开发工具的服务。Luna iMonitoring 公司主要提供关于压力、液位、电量等无线智能监测技术及相应的硬件设备。MicroStrain 公司基于无线传感器网络技术提供了在航空航天、

国防军事、汽车电子、城市工程、生物制造等方面的应用。其它类似的公司还有 Millennial Net、Sensoria Corp.、Xsilogy 等。另外，IBM、Intel 等公司也十分看好无线传感器网络这一新兴领域，也开始进行了与之相关的理论研究和产品开发。

国内在无线传感器网络领域的研究也很快跟进，已经在很多研究所和高校广泛的展开。中科院上海微系统与信息技术研究所已经通过系统集成的方式完成了一些终端节点和基站的研究；中科院电子技术研究所和沈阳自动化所也分别从传感器技术和控制技术两种角度入手，它们专注于传感或控制执行部分；浙江大学现代控制工程研究所成立了“无线传感器网络控制实验室”，联合相关单位专门从事面向传感器网络的分布自治系统关键技术及协调控制理论方面的研究；山东省科学院也看到了无线传感器网络这一极具前景的领域，并且于 2004 年 10 月正式启动了关于无线传感器网络节点操作系统的研究；另外，中科院软件所、中科院自动化所、国防科技大学、清华大学，中国科学技术大学、哈尔滨工业大学、北京邮电大学、山东大学、东南大学等单位在无线传感器网络方面也都有一定的工作。但整体而言，从研究的深度和投入的力量来说，国内的水平相对国外落后，从问题的点上研究较多，缺少对整个系统的创新性研究，具有自主知识产权较少，这和我国无线传感器网络飞速发展的市场需求不相称的。

2.3 产品特点及优势

中科院计算技术研究所信息网络室曾经承担国家 863 项目“软硬件协同的低功耗系统设计”，已经取得了许多创新性成果，在嵌入式系统芯片设计、低功耗系统设计等方面具有较深厚的积累。另外，我们在无线传感器网络所涉及部分关键技术，如支持 IPv6 协议的无线传感器网络协议、嵌入式操作系统及编译技术，高频混合信号系统级集成、大规模集成电路设计及片上系统设计，低功耗系统设计等方面都有专门的团队在进行较深入的工作。

通过我们一年多来的努力，已经研发出了三款具有和市场上主流无线传感器网络节点相兼容的，并且在传输距离、可靠性、功耗等方面均有一定的优势的无线传感器网络节点，构建了 WSN 示范网络 **GAINS——Global Actable Intelligent Networks**，下文将详细介绍 GAINS 可商业化节点的详细信息，同时，我们的研发工作一直在进行之中，新的、功能更完善的节点将不断开发出来，和类似产品相比，我们的 GAINS 节点具有以下技术特点和优势：

- 1、 传输距离。由于阻抗匹配和滤波电路的加入，在相同的电池供电及功率消耗下，GAINS 节点的通信距离是同类产品的数倍，最远可达到 400 米以上，适合大部分无线传感器网络应用要求。
- 2、 硬件可靠性。同类产品套件结构复杂、SINK 节点的数据接收经历了太

- 多的信号转换、接插件脆弱、采用了大量廉价的元器件，这些因素都大大降低了其可靠性，我们的节点克服了这些缺点，适合长期实验及应用。
- 3、软件兼容性。由于我们开发了和 ATMEL 公司的 AVR 指令系统兼容的专用处理器（或 ATMEL128），同类产品中的所有软件、编译及调试环境都是可以使用的；另外我们还增加了处理器内的任务调试机制和更多的功耗管理策略，非常适合无线传感器网络应用需求。
 - 4、使用方便。我们节点每个都有串口和 JTAG 口，都可以对每个节点方便地进行编程，不需要复杂的编程环境；另外每个节点都可以直接接到计算机上，充当 SINK 节点，同样不需要专门定制的接口板，十分方便。
 - 5、软件资源。我们在同类产品提供的一些软件的基础上，完成了很多论文中的一些关键算法，可以进行学习和研究比较，由于开发语言是 C，易于开发与相互共享交流，完全可以成为我们公共的平台。
 - 6、技术支持。国内同类产品在国内的销售仅限于商业代理，并没有令人满意的技术支持，其硬件的不稳定性又加大了科研和应用开发的难度；而我们拥有数十人的稳定而强大的研发团队，可以为用户解决技术支持的后顾之忧。
 - 7、其他方面。我们在无线传感器网络方面的软硬件产品拥有完全的自主知识产权，欢迎大家放心使用；另外，在价格方面我们将会具有强大的优势，欢迎大家联系同类产品相关代理，以便进行分析比较。

§ 3 GAINS节点硬件结构

我们的无线传感器网络系统 GAINS 是基于自主研发的系列低功耗微处理器芯片 WO-LPP，整个系统采用了通用的接口插槽，将传感、处理和通信模块进行分离，可以实现按照不同的应用需求进行不同的扩展，下面将该微处理器的技术及实现参数进行简单介绍：

3.1 GAINS 节点总体架构

图 1 所示是 GAINS 节点的总体架构，它由传感器模块、处理模块、无线通信模块和能量供应模块四个部分组成。传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据转换，在一个节点提供了可扩展不同传感器的接口，所以可能包括多种传感器器件；处理模块负责控制整个传感器节点的处理操作、存储和处理本身采集的数据和其它节点发来的数据，包括了数据安全、路由协议、同步定位、功耗管理、任务管理等等；无线通信模块负责与其它传感器节点进行无线通信，交换控制消息和收发采集数据；电源供应模块为传感器节点提供运行所需的所有电源。

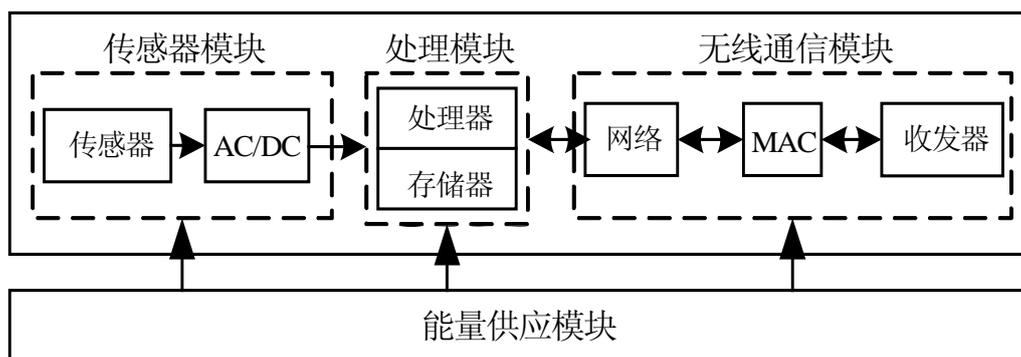


图 1 GAINS节点总体架构

我们开发的节点组成无线传感器网络被称为 GAINS，其拓扑结构如图 2 中所示。星状网拓扑结构是一个单跳（single-hop）系统，网络中所有节点都与基站和网关进行双向通信（图 2 中 A 图）。基站可以是一台 PC、PDA、专用控制设备、嵌入式网络服务器，或其它与高数据率设备通信的网关，网络中各节点基本相同。除了向各节点传输数据和命令外，基站还与互联网等更高层系统之间传输数据。各节点将基站作为一个中间网络点，相互之间并不传输数据或命令。在各种无线传感器网络中，星状网整体功耗最低，但节点与基站间的传输距离有限，通常 ISM 频段的传输距离为 100~300 米或者更低。

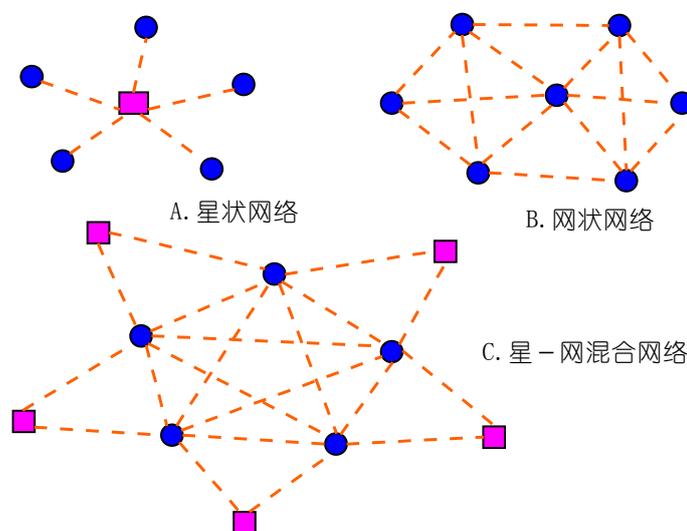


图 2 GAINS的三种拓扑结构

网状拓扑结构是多跳系统，其中所有节点都相同，而且直接互相通信，与基站进行数据传输和命令传输（图 2 中 B 图），网状网的每个节点都有多条路径到达网关或其它节点，因此它的容错能力较强。多跳的无线传感器网络系统比星状网的传输距离远得多，但功耗也更大，因为节点必须一直“监听”网络中某些路径上的信息和变化。混合网力求兼具星状网的简洁和低功耗以及网状网的长传输距离和自愈性等优点（图 2 中 C 图）。在混合网中，路由节点和中继节点组成网状结构，而传感器节点则在它们周围呈星状分

布，中继器扩展了网络传输距离，同时提高了系统的容错能力。由于传感器节点可与多个路由器或中继器通信，当某个中继器发生故障或某条无线链路出现干扰时，网络可在其它路由器周围进行自组。

3.2 GAINS 处理器参数

- a) 兼容AVR RISC指令集
 - ◆ 123条指令，大部分为单周期指令
 - ◆ 32个通用寄存器、64个I/O控制寄存器
 - ◆ 片内128KB程序存储器、4KB数据存储器(可外扩至64KB)
 - ◆ 在线可编程
- b) 提供丰富的外围设备接口
 - ◆ 片内模拟比较器
 - ◆ 可编程UART、I²C、SPI接口
 - ◆ 可编程RTC、看门狗、时钟源及计数器
 - ◆ 8通道10位ADC
 - ◆ 可编程PWM
- c) 先进的低功耗设计技术
 - ◆ 层次化功耗管理
 - ◆ 六种低功耗模式
 - ◆ 软件可配置的多时钟模式
 - ◆ 极低的功耗（正常功能下<5mW、低功耗模式下<10μW）
- d) 工艺：0.18μm

3.3 GAINS 硬件平台

我们在无线传感器网络和低功耗设计方面进行过多年的预研工作，在无线传感器网络节点及开发环境的设计方面已经取得了一定的成果。如图 3 所示，节点原型-1 兼容了国外同类相关无线传感器网络节点的所有功能，并在传输距离和节点的可靠性上都有很大的提高；节点原型-2 在传输距离和体积上有很大改进，并提供了包括光传感节点、温度传感节点、光电传感节点、人体感应节点、加速度传感节点、磁场感应节点、温度感应节点、液位感应节点等多种特定传感节点；节点原型-3 将在体积上进一步缩小到硬币大小、可靠性进一步提高、节点可持续工作 2 年以上、通信距离达到 200 米以上，目前正处于设计阶段。

另外我们还开发出可配置的无线传感器网络节点开发及验证环境，它包括了主控模块、供电模块、通信模块、传感模块、FPGA 支持模块等部分，各个部分从功能上相互独立，共同形成一套完整的软硬件开发环境，为我们后面进行功能更强大的无线传感器网络节点及相应的应用系统的开发提供了有力的保障。



图 3 无线传感器网络节点设计

§ 4 GAINS节点软件结构

4.1 总体架构

GAINS 节点上的软件是由面向 WSN 的嵌入式操作系统（简称 GOS）以及相应的应用程序组成。GOS 的总体架构如图 4 所示，分为嵌入式 OS 内核和 API 两层。嵌入式内核提供了简单高效的调度、中断处理单元，还提供了对 MCU 的功耗管理单元，以及一个自组织网络协议栈(关于通信协议栈请参看下文)，内核底层提供了对节点上所有硬件设备的驱动。节点软件具有以下特点：

- 利用内核提供的 API，可以快速进行上层应用开发，搭建应用于特定场合的无线传感器网络，既适合工程应用，也可以用于学术研究；
- 利用串口通信 API，可以方便地实现节点和 PC 机之间的通信，便于用户调试；
- 利用传感采集 API，可以实现节点对周围环境的监控，得到传感数据；
- 利用射频通信 API，可以实现单跳和多跳通信，形成无线自组织网络；
- 利用硬件驱动，可以得到射频芯片的 RSSI 值，也可以得到节点上的时钟单元，用户可进行定位算法等上层应用研究开发；
- 利用内核的其他单元模块，可以方便地在节点上实现自己的通信协议方案；
- 节点软件代码量小，易于维护和升级。

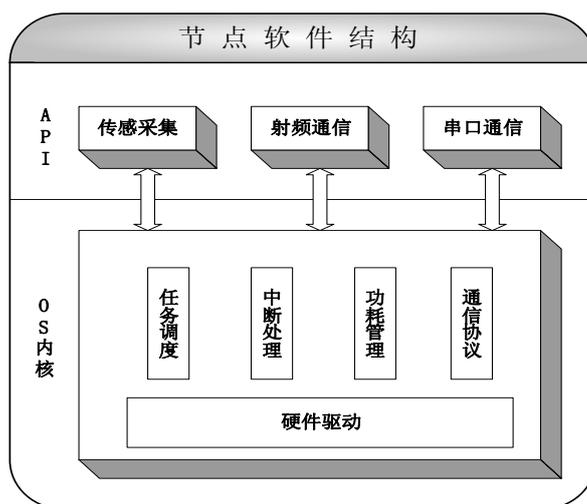


图 4 GOS总体架构

4.2 主要构件

GOS 是 GAINS 系统的基本软件环境，也是许许多多的 WSN 应用软件开发的基础，它的主要模块包括内核、硬件驱动和管理、通讯协议栈、传感数据采集以及 API 接口等。

4.2.1 GOS内核

内核是 GOS 最重要的部分，实现了任务调度、内存管理、中断处理以及任务通讯和同步等重要功能。其结构如图 5 所示，下面分别详细介绍其中的各个主要部分。

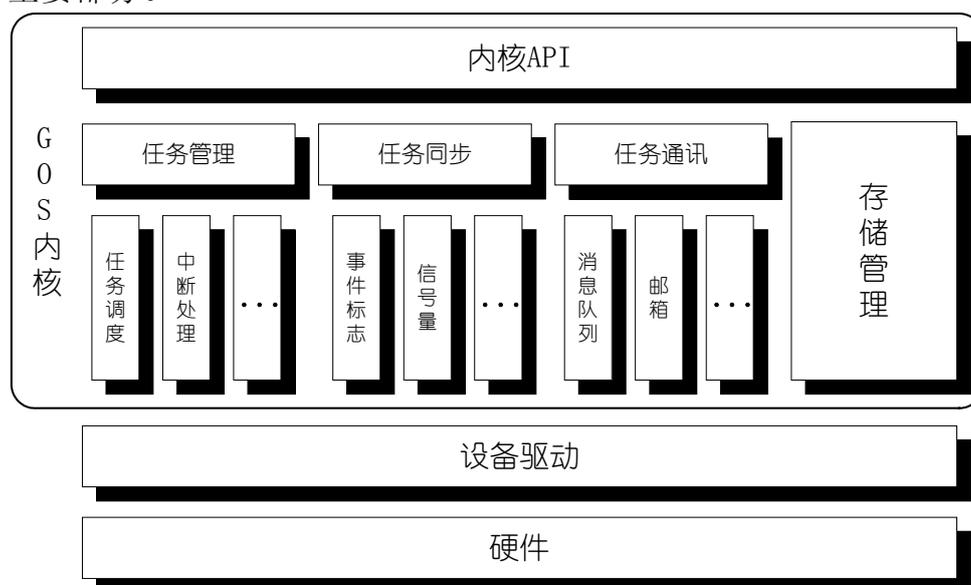


图 5 GOS内核结构

➤ 任务调度

GOS 的调度模型为任务加事件的两级调度机制。调度的方式为任务不抢占；事件要抢占。调度的算法是简单的 FIFO，任务队列是功耗敏感的。GOS 的调度模型具有以下特点：

- 1) 基本任务单线程运行到结束，只分配单个任务栈，这对内存受限的系统很重要。
- 2) FIFO的任务调度策略是功耗敏感的。当任务队列为空，处理器休眠，等待事件发生来触发调度。
- 3) 两级调度结构可以实现优先执行少量同事件相关的处理，同时打断长时间运行的任务。
- 4) 基于事件的调度策略，只需少量空间就可获得并发性，并允许独立的组件共享单个执行上下文。同事件相关的任务集合可以很快被处理，不允许阻塞，具有高度并发性。

在 WSN 中，调度在很大程度上决定了微处理器的功耗，GOS 就是通过使用优化的调度策略来降低功耗的。更为重要的是，GOS 的调度算法也能更好地提高处理器的响应速度，从而提高系统的可靠性。

➤ 内存管理

在存储管理方面，由于无线传感器网络应用需求比较固定，因此一般应用不应使用动态内存管理，因为它可能导致大量内存碎片的产生，不利于系统长时间运行，但对于某些应用，提供可供选择的固定块大小的动态内存分配可以使总的内存需求最小。因此我们采用了动静态相结合的存储器管理策略，获得了较好的存储性能。

➤ 中断处理

对于低功耗的处理而言，需要长时间休眠，可以通过减少中断的开销来降低唤醒处理器所消耗的功耗。目前通过禁用和打开中断源来实现原子操作，这个操作是非常短暂的（几个时钟周期）。

➤ 任务通讯和同步

任务同步是在多任务的环境下进行的。因为无线传感器网络中的多个任务大部分彼此无关，相互之间并不知道有其它任务的存在，如果共享同一种资源就会存在资源竞争的问题。它主要解决原子操作和任务间相互合作的同步机制。GOS 中利用事件标志和信号量等方法实现同步机制，使得提供的原子操作不是关掉所有的中断，从而使得系统的响应不会延迟。同时，在 GOS 中采用管道、消息邮箱和消息队列等方法实现任务间通讯。

4.2.2 硬件驱动和管理

GOS 的硬件驱动和管理实现了对 ADC、RF 部件、存储器以及其他外围设备（电源、I²C、SPI、UART、Watchdog、Counter、Led 以及 Timer/clock

等) 的驱动和管理。

4.2.3 通讯协议栈

无线通信协议的设计目的是为了使具体的无线传感器网络通信机制与上层应用分离, 为传感器节点提供自组织的无线网络通信功能。为了减少网络设计的复杂性, GOS 的通讯协议栈采用分层设计, 参考 OSI 标准模型, 采用这种分层设计可以提高系统的灵活性, 在保持各层协议之间接口不变的情况下, 各层协议可以独立进行开发, 并尝试不同的算法。由于无线传感器网络具有自组织的网络结构和突发型数据业务的特点, 通信协议栈的设计重点是网络层路由算法和数据链路层媒体接入控制(MAC)算法的实现。

4.2.4 传感数据采集

WSN 中, 传感器的数据采集非常重要, 它是有效数据的最初来源, 同时, 基于系统的通用性考虑, 应该支持多种传感器在软硬件上的兼容。在 GOS 中, 我们设计了如图 6 所示的传感器设备驱动统一接口, 这样既能够支持多种传感器, 又使得传感数据的采集非常方便。

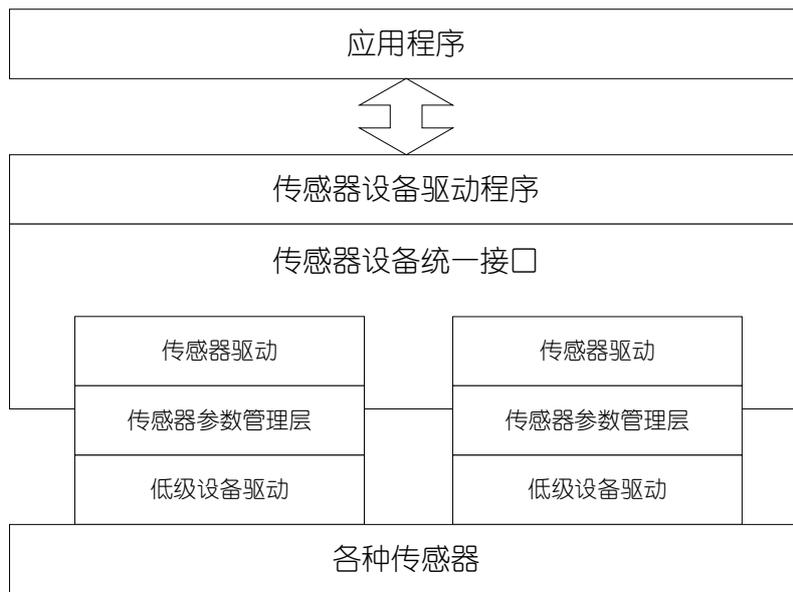


图 6 传感器设备驱动统一接口

4.2.5 用户API

GOS 操作系统最终要为用户提供各种服务, 我们采用 API 的形式来向用户提供各种服务, 这样作既形式简洁, 也利于系统升级。

4.3 关键技术

4.3.1 事件驱动机制

系统响应时间是无线传感器网络节点设计的重要参数, 它体现在很多对

实时性有要求的应用中，在面向事件驱动的微处理器上配备相应的基于事件驱动的嵌入式实时操作系统可以使得整个系统达到很好的实时性，所以我们结合节点的硬件资源及应用背景，在研究了 μ C/OSII、RTLinux、 μ CLinux 等多个操作系统的基础上，借鉴并吸收了它们的优点，开发具有自主知识产权的实嵌入式实时操作系统。该操作系统呈现为各个独立模块的组合，这种模块化的组织方式为基于调用图的全局编译优化提供了有力的保障。我们在任务处理中采用层次状态机机制，每次任务运行时查看有无待处理的事件，如果有，则进行相应的处理，并进入下一个状态。基于状态机的处理使每个任务运行划分为更小的状态处理，极大地改善了事件响应时间，而且使事件处理更规范，不容易出错。

4.3.2 基于调用图的全局编译优化机制

编译优化是嵌入式系统研究的重要内容，也是难点所在，对于无线传感器网络系统也不例外。采用全局分析和优化能够显著提高程序的性能和降低功耗，但由于 C/C++ 的程序开发基于分离的文件编译和链接，编译器的编译单元是单个文件，这就决定并限制了编译器得到全局优化信息。而嵌入式系统实际运行的程序集合是相对固定的，因此对于编译器采用全局分析和优化显得特别有效。传统的编译分析局限于单个过程，对于过程间的分析进行的较少，因此对于过程调用，不能够确定其副作用，往往只能进行最保守估计。这就限制了编译的优化，导致了更大的寄存器分配压力和可能更大的访问内存次数。很多情况下过程的参数是常数，如果采用全局优化，就通过常量传播算法，就使过程代码得到较大的缩减。嵌入式系统存在许多小的过程调用，全局的过程内联能够节省大量的过程调用时间，并且可以使编译器的调度优化区域得到扩大。另外，对于嵌入式系统中存在的许多小的过程调用，全局的过程内联能够节省大量的过程调用时间，并且可以使编译器的调度优化区域得到扩大。基于调用图的全局编译优化技术是基于组件的可配置软件设计的基础，可以使代码获得极大的优化。

4.3.3 软件低功耗设计方案

WSN 系统不仅在微处理器的速度、存储、通讯距离和带宽等方面受限，能源供应更为受限，后者是其最大的瓶颈，所以如何减少功耗成了这种系统否能推广应用的关键技术之一，系统的低功耗设计是通过软硬件协同设计来达到的，软件的低功耗设计是减少 WSN 功耗的重要途径。

软件的低功耗设计技术的主要思想是通过减少激活状态增加休眠时间来实现的，典型的休眠方式是每几分钟只激活几毫秒，这样，系统大部分时间都处于休眠状态，如果休眠的功耗非常的低，而唤醒的功耗非常小，对性能影响不大，将系统将节能和高效。微处理器将从硬件方面提供休眠、激活等模式，以及改善处理器自身功耗；收发模块由于从硬件上降低功耗比较困难，其功耗的降低依赖于软件设计上提供的低功耗的网络协议算法。

功耗优化的通讯协议可以急剧降低能源消耗，我们采用两种典型的降低功耗的监听方式：周期性多跳监听（Periodic Multi-Hop Listening）和低功耗监听（Low Power Listening）。在微观上，可以进行低功耗监听，而在宏观上，可以进行周期性多跳监听，这两种监听方式显著地降低了功耗。

此外，由于收发模块比较耗能，CPU 的处理比收发数据节能，因此我们提供了多种数据发送形式，包括原始采集数据、打包的发送数据、经过过滤的数据、网络集中处理过的数据和压缩数据等，应用程序可以根据功耗的计算，选择在本地处理之后发送还是发送之后再处理，这样也大大降低了系统功耗。

§ 5 GAINS通信机制

5.1 无线通信架构

网络协议是传感器网络实现通信的基础。无线通信协议的设计目的是为了使其具体的通信机制与上层应用分离，为传感器节点提供无线网络通信的功能。为了减少网络设计的复杂性，采用分层设计，参考 OSI 标准模型，将整个网络协议按层次划分如图 7 所示，主要包括：①MAC 层，开发具有服务质量的分布式低功耗的 MAC 协议；②网络层，考虑无线通信质量差和网络拓扑动态变化的特性，开发出自组织的动态传感器网络路由协议；③传输层，基于改进的端对端通信方式，传感器采用 UDP 协议实现与 Internet 集成的方法研究。④拓扑控制协议，根据应用需求，从节省能量的角度考虑，开发高效的网络拓扑控制协议。图 7 给出的是传感器网络的通信协议栈以及主要相关机制，具体内容将在下文详细讨论。

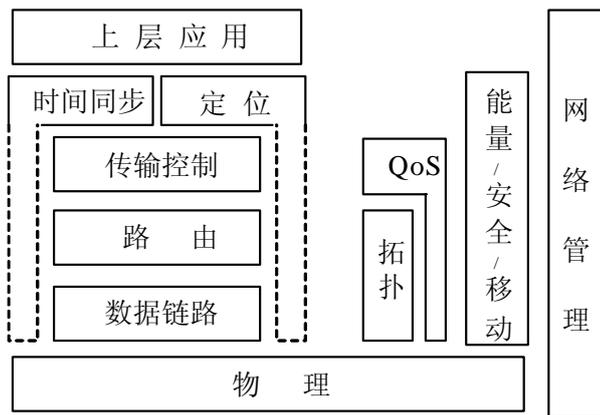


图 7 传感器网络的通信体系结构

针对自主研发的处理器和硬件开发平台实现 IPv6 通信协议软件，进而实现支持 IPv6 协议的传感器网络汇聚节点，并以之为基础，实现实施网络应用的综合管理软件。

5.2 通讯协议栈设计

5.2.1 拓扑结构

我们提出基于分簇的层次型拓扑结构形成机制，这个过程包括三个阶段：

- 1) 信息交换阶段，每个节点对接收数据分组进行丢包率统计，利用数据捎带技术减少周期性专用统计消息，这样，每个节点都得到了对其可达信道的信道质量的估计。随后，相邻节点间交换估计的结果，按照一定的评估算法，最终得到对各个链路的信道质量的客观评估。
- 2) 成簇阶段，以节点的剩余能量和信道质量的选择标准，一组临近节点间组合成为一簇，组内节点选举出一个簇头节点，簇间节点间的通信必须通过簇头节点来进行。
- 3) 拓扑建立阶段，簇头节点间通过洪泛方式建立拓扑。通过这种拓扑结构的形成机制形成了一个层次式的组织结构。此外，为了适应由于簇头节点死亡或由于簇头节点选举的不合理而造成的通信中断，可以通过重新选举簇头节点来适应网络的拓扑结构的变化。

5.2.2 MAC层协议

目前已经有不少针对无线传感器网络的 MAC 协议方案，如 SMAC、TMAC、DMAC、WiseMAC、TRAMA 等等。各个方案都有其优越性，也有不足之处，我们在此基础上提出自己的 MAC 协议方案。我们的 MAC 层提供了三种 MAC 协议方案：CSMA/CA，SMAC 以及我们自主研发的具有极低功耗的 ASMAC 协议。用户可以开发自己的 MAC 协议方案，和现有的方案进行性能上的分析比较。也可以利用已有的 MAC 方案进行上层路由协议和其他应用协议的开发。

由于无线传感器网络自身的限制和特点，使得其对 MAC 层协议要求有别于传统的无线网络。它首先考虑节点的能量的高效使用和网络的可扩展性，其次才是公平性，稳定性和实时性等。目前研究人员专门针对传感器网络的应用特点提出了多种 MAC 协议，如基于竞争信道的 SMAC、TMAC、Sift 协议和基于时分复用 DEANA、DMAC 等协议。各种方法目标都是减少不必要的能量消耗，尽量避免空闲侦听、碰撞、协议开销和串音。而我们的 GAINS 节点 MAC 协议是以 802.11 协议为基础，充分借鉴已有的各 MAC 协议优点，着眼于降低整个传感器网络系统的功耗，而不仅仅是单个传输节点。主要特点如下：

- 采用 802.11 协议中的 DCF 工作方式，用 RTS 和 CTS 两次握手机制来解决隐藏终端带来的碰撞问题，从而减少功耗。同时节点根据收到的帧获得网络上当前信息，然后结合我们的系统全局动态功耗管理(DPM)算法进入相应的睡眠策略。在 DPM 算法中,我们考虑系统的状态转换带来的能量额外损耗，尽量避免系统睡眠和工作状态之间不必要的频繁转换。

- 通过物理层射频芯片 RSSI 和定位机制提供的信息，动态调整节点发射功率，并在不降低系统区域覆盖和连接性情况下适量的关闭一些冗余节点。从而有效的降低整个网络的功耗和延长网络的生命周期。
- 另外在应用于低功耗的通信协议的 802.15.4 协议(即 Zigbee 协议)以及超宽带 UWB 技术很有可能成为未来的无线传感器网络的标准通信协议，我们下一代节点将会提供相应的软硬件支持。

5.2.3 路由协议

我们的节点设计目标是支持 IPv6，IPv6 最初并没有考虑嵌入式应用，所以要想在 WSN 中实现 IPv6，就要在协议栈的裁减方面需要付出努力。在每个传感器节点，网络层以上的高层协议没有实现。采用了 IPv6 格式的数据包和路由表。IPv6 最初不是为了嵌入式应用或者移动应用而设计的，所以 IPv6 中并没有考虑功耗问题。在 WSN 各个节点之间通信时，我们没有采用 IPv6 的路由算法，而采用更适合 WSN 的低功耗路由算法。

对于 WSN 的复杂应用环境，其路由协议的设计是一个复杂的问题。传统 Ad Hoc 网络的两种类型路由协议，一是表驱动型(table-driven)，如 DSDV、WRP 等协议，二是基于需求型(on-demand)，AODV、DSR、TORA 等协议。它们对节点的存储容量及处理能力上要求较高，因为必须做一些简化才能适用于 WSN。

针对 WSN 的特点，路由协议的设计必须满足两方面要求，一是能效性，二是可靠性。目前在能效性方面已设计出几种适用于 WSN 的路由协议，如 Directed Diffusion、LEACH、SPIN 等协议。这些协议在设计上充分考虑了节点能量有限的特点，注重能量使用效率问题，但是这些协议没有考虑节点间的链路特性，因而对于动态的无线网络而言，它们在路由健壮性上有一定缺陷，并不能保证实现可靠的路由。

我们的路由协议，采用选择单一路由路径的方法，即每个节点发送的信息只会通过一条路由路径传到 SINK 节点，其具有以下特点：

➤ 低功耗

整个网络只有两种信息包，第一种为节点周期性广播的路由控制包，其内容包括节点的邻居表信息、其父节点地址，到 Sink 节点的路由开销等内容。网络中节点根据接收到的路由控制包，进行其邻居表更新、父节点选择等操作。第二种为节点发送的数据包，内容包括采集到的数据值、数据类型、父节点地址等内容。网络中节点接收到此类数据包时，只向其父节点转发。因为网络中对信息包并不进行泛洪，从而不存在大量的冗余信息，降低网络的能量消耗。

➤ 高可靠性

路由的选择是建立在对节点间链路估计的基础上的，在循环检测的基础上，每个节点都选择其链路质量最好的节点作为其下一跳节点，即父节点，因此最大限度的保证数据能有效的向 SINK 节点传送。

➤ 自组织

当充当数据转发的网络节点（即父节点）失效时，此节点的子节点能够根据相互间的链路质量重新选择父节点，从而重新建立路由。当有新节点加入到网络中时，新节点也能够被其它邻节点所发现，并选择正确的到达 SINK 节点的路由路径。

➤ 方向性

通过有效的父节点选择机制，能够保证网络拓扑树的根节点为 SINK 节点，使网络中的有效数据包最终都被 SINK 节点所接收。

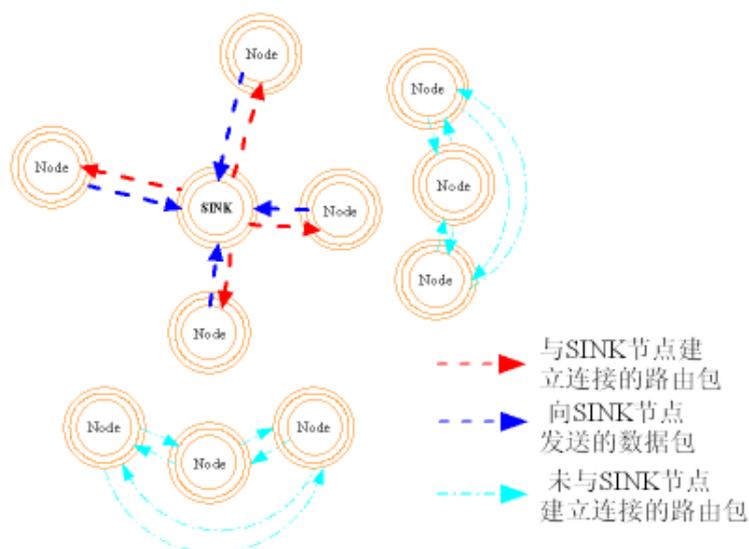


图 8 路由协议示意图一

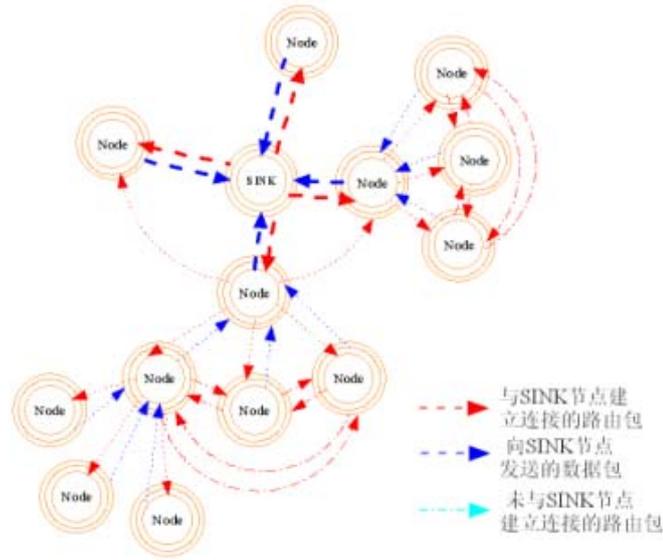


图 9 路由协议示意图二

5.2.4 传输层协议

基于改进的分拆端对端通讯方式，无线传感器网络采用 UDP 协议实现与 Internet 相集成，也可以通过 UDP 协议实现无线传感器网络节点间的相互传输层通信。

无线传感器网络是面向应用的专用网络系统，不同的应用，其应用环境不同，完成的任务不同，其最佳的拓扑控制协议、路由协议也不相同。在研究各种通信算法的同时，我们会针对各种应用设计出特定通信算法，在算法可行性和模型分析后在自主研发的传感器节点上进行实施。

5.3 关键技术

5.3.1 支持IPv6的无线传感器网络通信协议栈

不但需要对 IPv6 协议栈进行有效的裁剪，使之适合无线传感器网络节点的应用需求，同时还需要处理器硬件支持，包括程序及数据存储器空间大小、处理器计算资源及功耗管理能力、射频接口及通信带宽等。

5.3.2 时钟同步机制

无线传感器网络的时间同步指网络系统的各个节点共同保持一个相同的时刻，它被应用于节点定位、分布测量、实时控制、冗余传感信息识别等场合。主要包括两点间的时钟同步和整个网络的时钟同步，同步算法需要配合通信协议进行优化。由于在功耗、计算资源等方面限制，NTP 和 GPS 同步机制不适合无线传感器网络，可以通过获取在一段时间内节点间接收到相同包的时刻之差，来获取这些节点之间的相对时间漂移信息，再根据该时间漂移信息对节点进行时间补偿，从而达到节点之间的时间同步。

5.3.3 低功耗低复杂性的节点定位算法

无线传感器网络中的节点定位一般是通过已知位置节点信息计算出来的，路由的跳数、射频信号的角度、信号的强度等信息可以用来辅助定位算法提高精度。

5.3.4 数据融合

数据融合也称数据聚合，它是由无线传感器网络节点的相同或相似的消息经过一系列的传输路由后在同一网络节点上产生多个拷贝，从而大量占用通信、处理及存储资源，它主要是由广播风暴及数据和节点冗余产生的。一般可以在网络节点对到达的数据包进行一定的数据缓冲，并通过特征提取，再借助于节点地址等信息消除冗余丢弃冗余数据，但这种方法对计算及存储资源消耗较大。在无线传感器网络协议设计中充分考虑到了数据聚合现象，并通过以数据为中心的通信方式加以解决。

5.3.5 保密通信及系统安全性

保密机制包括系统级和用户级两个部分。系统级安全性和隐私性主要包括机密性（Confidentiality）、一致性（Integrity）、和真实性（Authenticity），它们主要体现在通信协议的 IP 及 MAC 层上，最常用的加密算法是 AES 算法，当然也可以使用其他算法，系统级的保密通信虽然增加了一定的硬件开销，但给系统的可靠性及可信性提供了一定的保证。用户级的安全性可以灵活自由，既可以使用简单的校验手段，也可以利用处理器提供的随机数发生器、DES、RSA、指纹产生等硬件资源，实现对称或非对称密钥加密。

§ 6 产品介绍

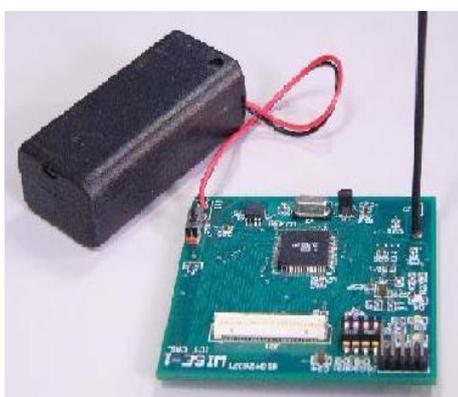
在无线传感器网络领域，我们拥有一系列具有自主知识产权的技术产品，主要包括：兼容 ATMEL 公司 AVR 指令集的基于事件驱动的专用低功耗处理器芯片（WO-LPP）、完全兼容国外同类产品的软件平台的高可靠性使用便捷的无线传感器网络节点（GAINS）、事件驱动的无线传感器网络操作系统（GOS）、无线传感器网络分析及管理平台（SNAMP）等。

6.1 WSN 节点及开发平台（GAINS）

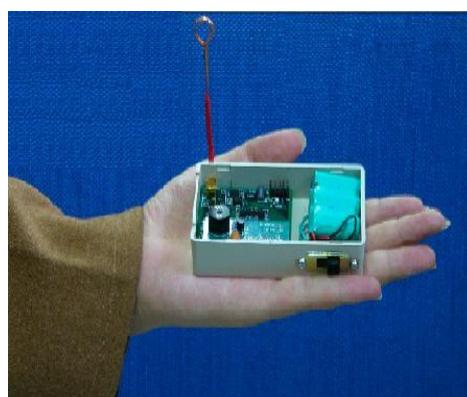
无线传感器网络节点是我们的最主要的产品，它是和国外同类产品完全兼容，在编程及人机接口、可靠性、通信距离等方面有很大提高的可产业化节点，另外基于我们近几年来研究，我们还开发出了无线传感器网络 FPGA 开发平台，可以方便地进行硬件开发。

6.1.1 WSN基本节点（GAINS）

我们在无线传感器网络和低功耗设计方面已经进行过多年的研究及开发工作，在无线传感器网络节点及开发环境的设计方面已经取得了一定的成果，首先是节点的硬件设计。GAINS-1（如下图所示）兼容了同类节点的所有功能，并在传输距离和节点的可靠性上都很大的提高；GAINS-2 在传输距离和体积上有很大改进，并提供了包括光传感节点、温度传感节点、光电传感节点、人体感应节点、加速度传感节点、磁场感应节点、温度感应节点、液位感应节点等多种特定传感节点，实际上由于增加了传感器扩展板，使传感部分与处理、射频通信在物理上相分离，节点可以更换不同的传感器，而无需更换主要硬件电路。该节点使用了充电电池，可以很大程度上节点由于实验所带来的耗材的成本，适合于进行科学研究和需要重复利用的应用环境中。



第一款节点GAINS-1



第二款节点GAINS-2

图 10无线传感器网络节点设计

考虑到研究开发的需要，我们在 GAINS-3 中增加了可以用于编程和调试的 JTAG 接口和用于动态检测数据的直接接到计算机上的串口，这样不可避免地使得单个节点在体积上有所扩大，成本上也有所提高；但明显的是，该节点既可以充当一般的信息采集节点，也可以充当 SINK 节点使用，而不需要再使用类似于价格昂贵的 MIB510 扩展板，另外该节点的可靠性进一步提高、通信距离也进一步扩大，经实验测试，该节点的通信距离已经可以达到 400 米以上。



图 11 GAINS-3节点

6.1.2 WSN硬件开发平台

另外还开发出可配置的无线传感器网络节点开发及验证环境，它包括了主控模块、供电模块、通信模块、传感模块、FPGA 支持模块等部分，各个部分功能相互独立，共同形成一套完整的软硬件开发环境，为下一阶段进行功能更强大的无线传感器网络节点及相应的应用系统的开发提供了有力的保障，可以支持无线传感器网络或其他嵌入式芯片的开发验证环境中，下图给出了我们自己开发的实验平台的实物照片，它已经成功应用于我们的面向无线传感器网络的低功耗微处理器开发中。

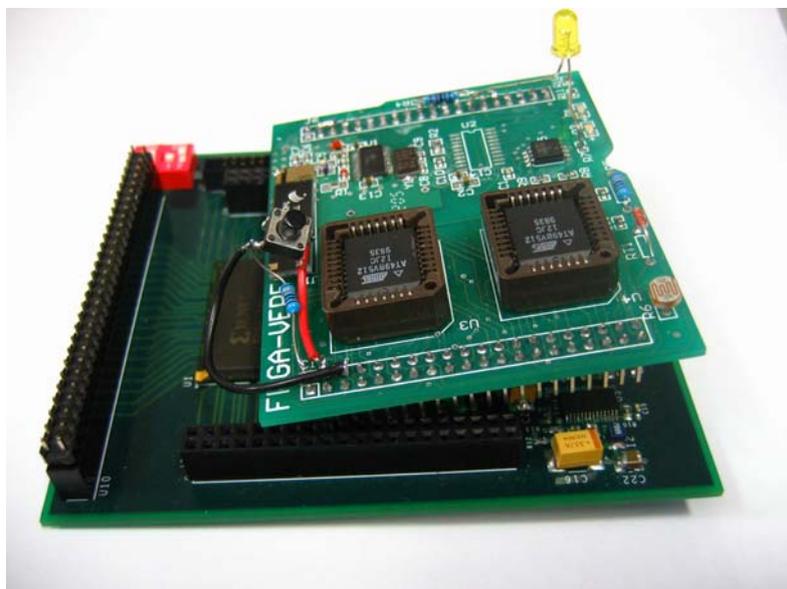


图 12 WSN节点FPGA开发平台

6.2 WSN 分析与管理平台 (SNAMP)

6.2.1 研发背景

目前，针对WSN的研究方兴未艾，研究热点涉及到WSN的协议、功耗和数

据处理等各个方面，显然，这些研究都需要获取关于WSN运行状态和网络性能的宏观和微观的种种信息，在这些信息的基础上，才能对WSN进行定性或者定量的分析研究。

然而，WSN本质上是一种资源极度受限的分布式系统，在WSN中，大量的无线自主节点相互协作分工，完成数据采集、处理和传输的功能。从微观角度看，WSN节点状态的获取难度远远大于普通网络节点，从宏观角度看，WSN网络的运行效率和性能也比一般网络难以度量和分析。因此，WSN的分析与管理是WSN研究和应用中的一个重点和难点，正是出于这种考虑，我们研发了具有自主知识产权的WSN分析与管理平台（Sensor Network Analysis and Management Platform, SNAMP），目前的版本号为1.0。

6.2.2 总体架构

图 13所示为SNAMP的实施方案，网络的各种数据从节点汇聚到基站，然后通过串口送到SNAMP，SNAMP再对收集到的数据集进行可视化和分析。

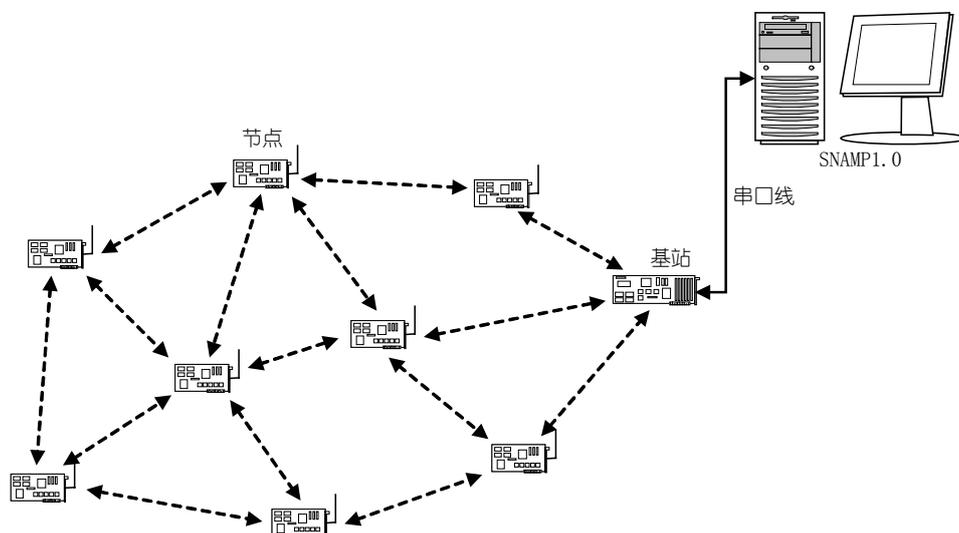


图 13 SNAMP1.0实施方案

基于这种实施方案，我们设计如图 14所示的总体架构。可以看到，SNAMP包括串口监听模块、MAC层分析模块、网络层分析模块，传感数据分析模块，数据库管理模块以及数据处理模块等主要模块。模块化的设计，使得整个系统层次清晰，可扩展性良好。同时，SNAMP提供了多种形式的用户接口，包括拓扑树、节点分布、实时曲线、数据包解析以及节点列表等，满足用户在分析和管理工作时的种种需求。

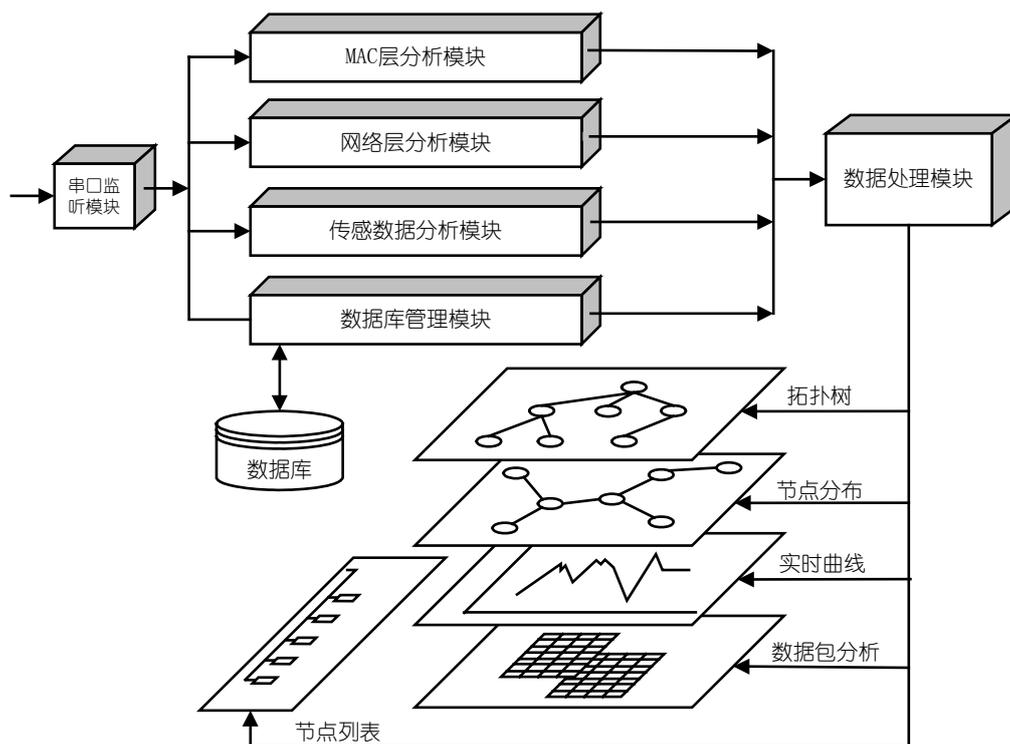


图 14 SNAMP1.0总体架构图

6.2.3 功能简介

- 连接网络

使用SNAMP的第一步就是连接WSN网络，在连接的时刻，可以选择配套使用的节点软件以及所用的串口号，连接功能如图 15所示。

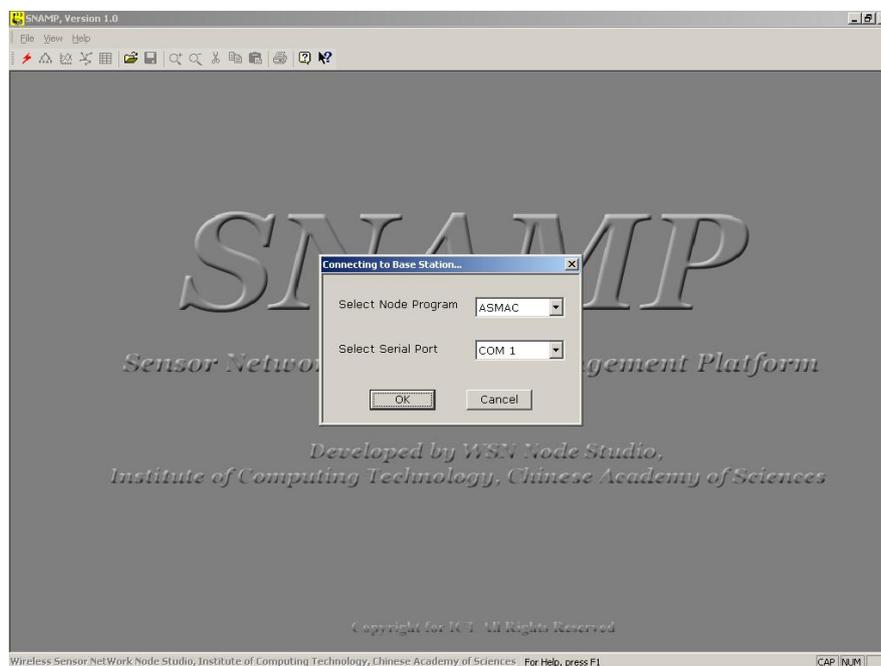


图 15 连接网络

- 拓扑树视图

在SNAMP中可以观察WSN的拓扑树，拓扑树上标记了各个节点的ID号，

在拓扑树上，还实时显示发送数据包的节点和该数据包的路由。拓扑树图形如图 16所示，图中也显示了节点列表和程序状态信息窗。

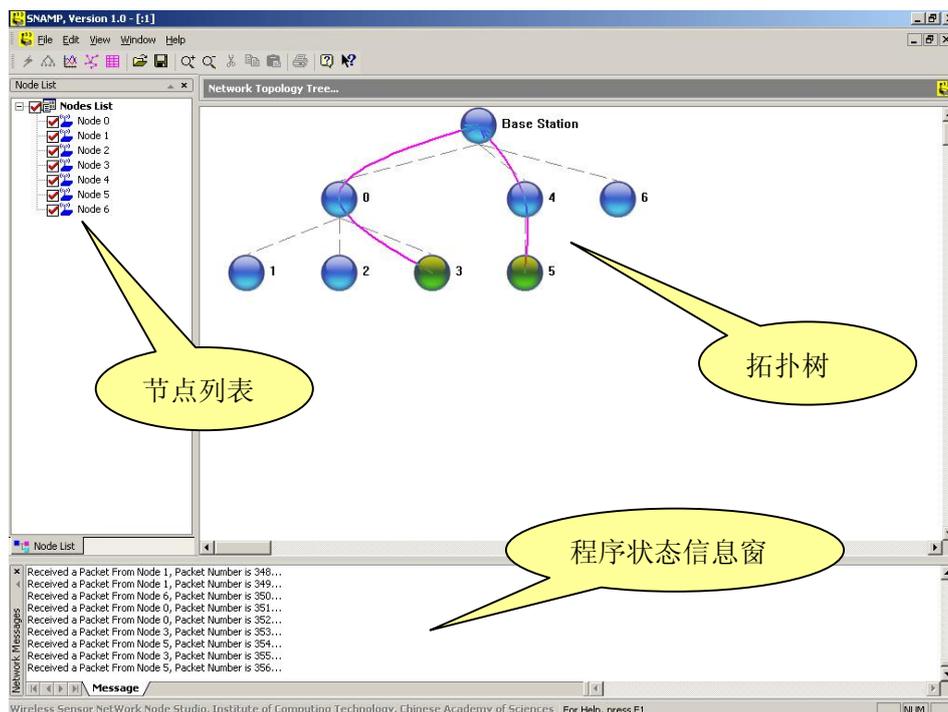


图 16 拓扑树视图

在拓扑树视图中还可以选择某个节点查看其详细信息，包括节点ID号，节点的描述信息，节点当前能量，并可以选择节点的绑定颜色（用在绘制节点实时曲线等方面），还可以观察节点的传感数据曲线，如图 17和图 18所示。

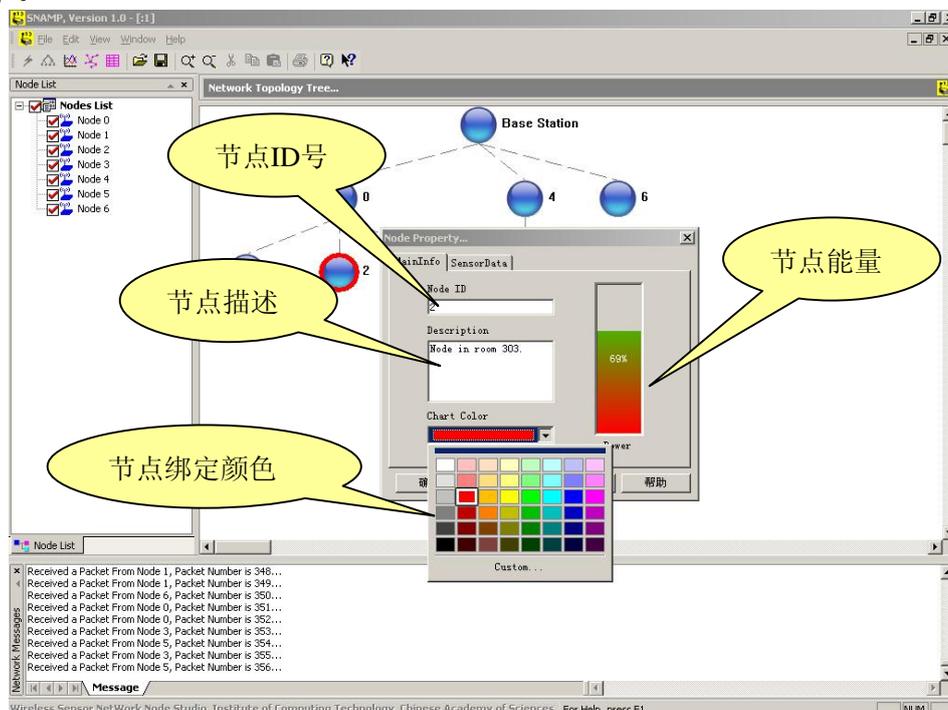


图 17 查看/编辑节点属性

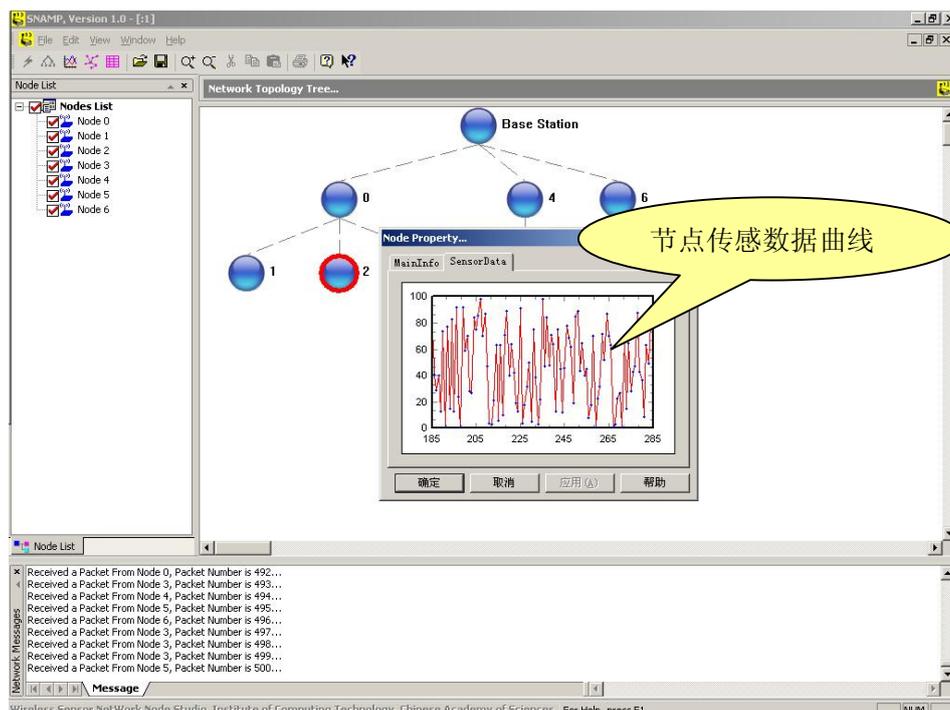


图 18 查看节点传感数据

● 实时传感数据曲线视图

在SNAMP中可以观察由各个节点采集到的传感数据绘制的实时曲线，各条曲线的颜色就是相应节点的绑定颜色，同时，可以在节点列表中选择想观察的节点，如图 19所示。如果节点较多或者传感数据类型不止一种，SNAMP还提供了多坐标轴显示的功能，如图 20所示。

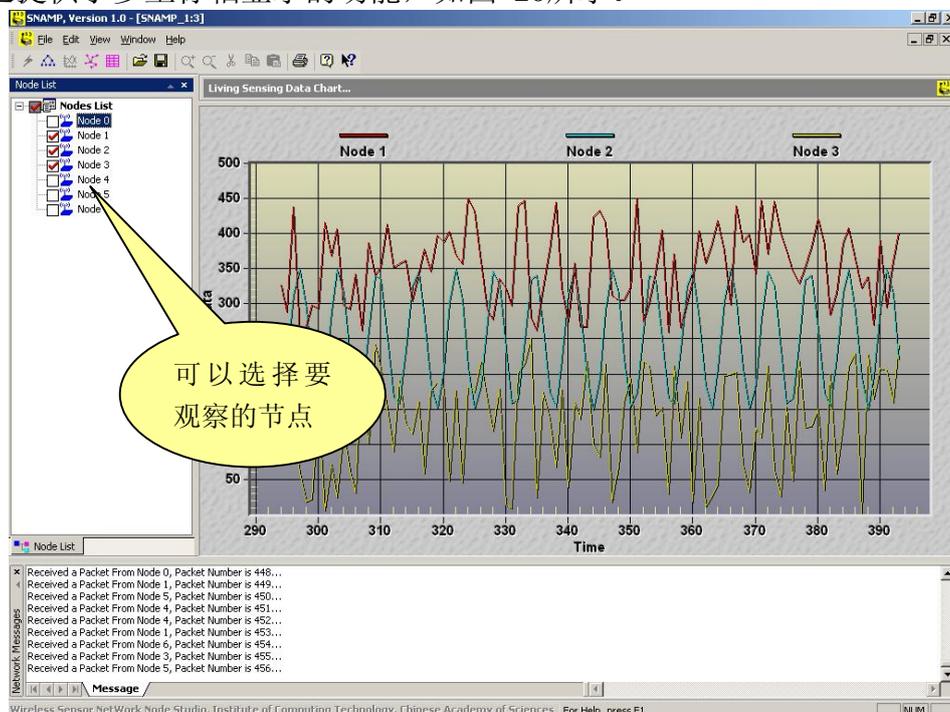


图 19 节点传感数据实时曲线

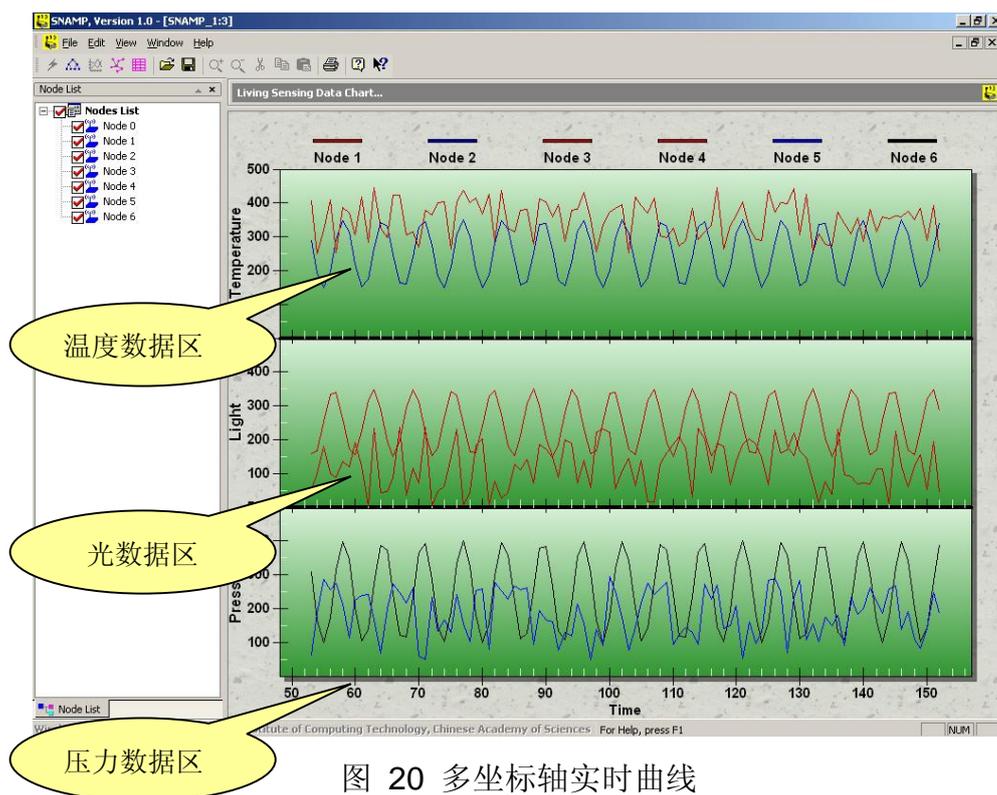


图 20 多坐标轴实时曲线

● 节点分布视图

SNAMP还提供了节点分布视图,方便用户从节点实际分布情况的角度来观测网络的运行状况,如图 21所示。SNAMP将发现的节点显示在左边的节点列表中,用户可以将节点直接拖放(Drag & Drop)到右边的节点分布视图中,在节点分布视图中可以根据需要导入实际环境的位图文件,图 21显示一个在办公室布置的WSN,可以看到,节点分布图中也实时显示数据包的路由情况。

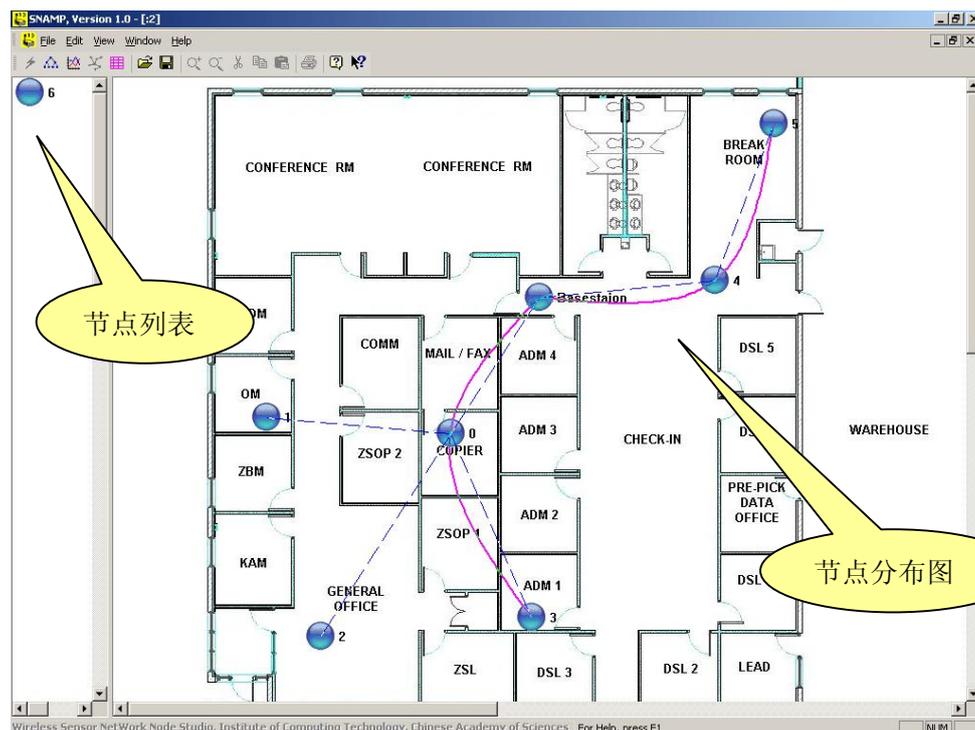


图 21 节点分布视图

● 数据包分析视图

SNAMP还提供了数据包分析视图,在该视图中可以全方位地观察数据包结构。该视图包括三个子视图:数据包列表视图、数据包结构视图以及数据包原始数据视图。数据包列表视图列出了各个数据包的概要信息,数据包结构视图以树形控件的形式分解在数据包列表视图中选中的数据包,而数据包原始数据视图则显示在数据包列表视图中选中的数据包的二进制形式。数据包分析视图如图 22所示。

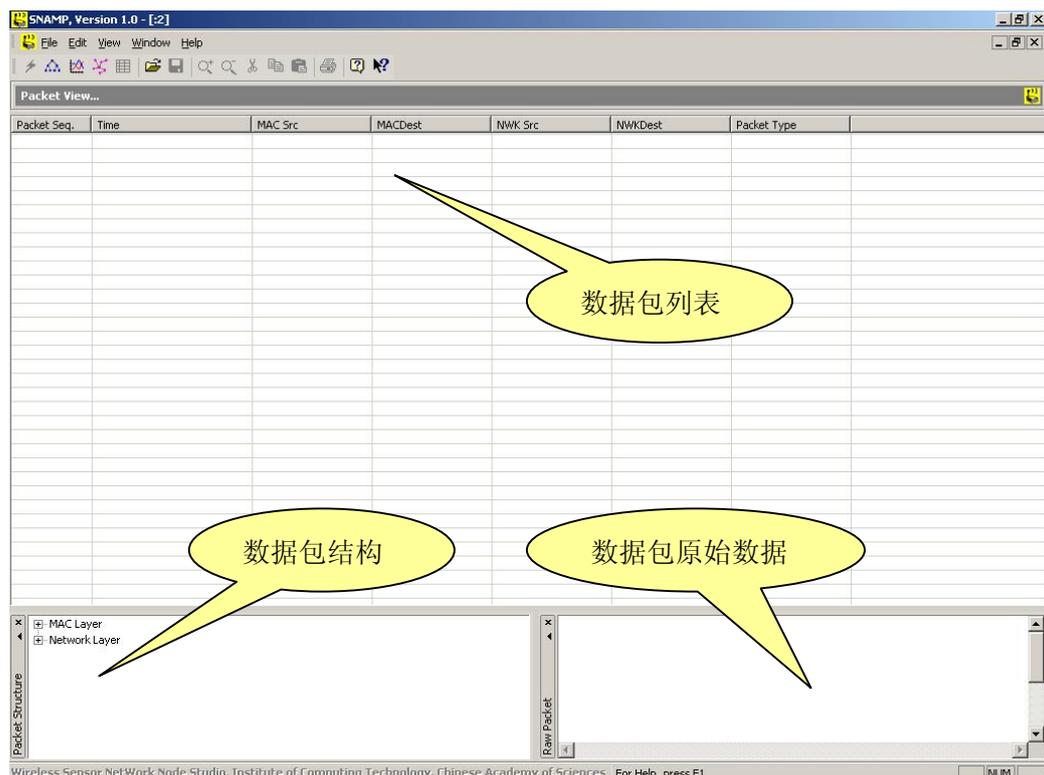


图 22 数据包分析视图

6.3 WSN 专用处理器芯片（WO-LPP）

芯片采用了哈佛总线结构，兼容了AVR指令集，单发射、二级简单流水，并根据无线传感器网络的特殊的应用，设计了结合事件驱动的任务管理机制和资源管理机能的动态功耗管理策略，该处理器中除了算法、逻辑等计算资源外还包括了UART、SPI、I²C等通用接口、硬件加密协处理器、模数转换器、看门狗等外围设备。

6.3.1 基于8位微处理器的节点产品的典型特性

低功耗微处理器	自主研发的8位处理器（AVR指令集）	
程序存储器	128Kbyte	
数据存储器	4Kbyte（可按需求外扩到64K）	
模数转换器	通道数	8
	位数	10
	输入电压	0-3V
最大工作频率	<10MHZ	
通信速率	0.3KHz, 0.6 KHz, 1.2 KHz, 2.4 KHz, 4.8 KHz, 9.6 KHz, 19.2 KHz, 38.4 KHz, 76.8 KHz非连续可调	
通信方式	频移键控	
支持频点	315MHz, 433MHz, 868MHz/916MHz 可编程	
供电电压	直流 2.7—3.3V，最佳工作电压3.0V	
发送功率	-20---+5dbm可调（868MHz/916MHz）	

		-20---+10dbm可调（其它频点）
节点功耗	全速发送模式	<35mA（868MHz/916MHz） <33mA（其它频点）
	全速接收模式	<18mA（868MHz/916MHz） <16mA（其它频点）
	睡眠模式	<16uA
接收敏感度		-98dbm（868MHz/916MHz） -101dbm（其它频点）
最大传输距离		<=300米（868MHz/916MHz） <=500米（其它频点）
支持外部接口		JTAG编程接口 51pin外扩信号输入接口
物理尺寸	体积	<58*32*7（mm）
	重量（含电池）	<18g
环境限制	工作温度/存储温度	-40℃—85℃/-50℃--150℃
	工作湿度/存储湿度	20%--85%/5%--95%
	工作海拔/存储海拔	<4.5Km/<15Km
MTBF		20000小时

6.3.2 基于16位微处理器的节点产品的典型特性

低功耗微处理器		自主研发的16位处理器（扩展AVR指令集）
程序存储器		1Mbyte
数据存储器		12Kbyte（可按需求外扩到64K）
模数转换器	通道数	8
	位数	10
	输入电压	0-3V
最大工作频率		<10MHZ
通信速率		0.3KHz, 0.6 KHz, 1.2 KHz, 2.4 KHz, 4.8 KHz, 9.6 KHz, 19.2 KHz, 38.4 KHz, 76.8 KHz非连续可调
通信方式		频移键控
支持频点		315MHz, 433MHz, 868MHz/916MHz 可编程
供电电压		直流 2.7—3.3V，最佳工作电压3.0V
发送功率		-20---+5dbm可调（868MHz/916MHz） -20---+10dbm可调（其它频点）
节点功耗	全速发送模式	<45mA（868MHz/916MHz） <43mA（其它频点）

	全速接收模式	<28mA (868MHz/916MHz) <26mA (其它频点)
	睡眠模式	<16uA
接收灵敏度		-98dbm (868MHz/916MHz) -101dbm (其它频点)
最大传输距离		<=152米 (868MHz/916MHz) <=304米 (其它频点)
支持外部接口		JTAG编程接口 51pin外扩信号输入接口
物理尺寸	体积	<58*32*7 (mm)
	重量 (含电池)	< 18g
环境限制	工作温度/存储温度	-40℃—85℃/-50℃--150℃
	工作湿度/存储湿度	20%--85%/5%--95%
	工作海拔/存储海拔	< 4.5Km/< 15Km
MTBF		20000小时

6.4 无线传感器网络解决方案

本着资源共享、联合开发的原则，我们面向国内在无线传感器网络研究及应用开发方面有一定技术背景的高等院校、研究所及公司提供自主开发的软硬件平台。

我们的可选硬件主要包括：GAINS节点、编程器、充电器、传感器板，可根据需要进行选择，它们可配套提供给用户使用。硬件功能说明如下表所示，用户可以自由选择或者配置。另，购买20个节点以上的用户，总报价打九折。

6.4.1 硬件功能说明

表 1、硬件功能说明

硬件名称	功能说明
GAINS节点	无线传感器网络的开发平台
编程器	对GAINS节点进行编程及仿真
传感器板	光、热信号采集

6.4.2 软件功能说明

对于购买20个节点以上的用户，可以选购我们自行开发并经过严格测试的嵌入式OSA内核和MAC协议（C语言开发）和后台软件分析软件（VC++开发）。软件功能说明如下表所示。

表 2、软件功能说明

软件名称	功能说明
节点软件	嵌入式OS内核+基本MAC协议
后台软件SNAMP	基本版，包括拓扑树和传感曲线界面

使用我们的软件可以迅速搭建起一个星状单跳的传感采集网络，使用我们的MAC协议接口，可以进一步开发诸如拓扑控制、路由算法和数据融合等高层应用。另外，我们的节点也全面兼容国际主流无线传感器网络节点和开源软件TinyOS，可以方便的在我们的节点上进行TinyOS开发。

§ 7 研发机构简介

GAINS系列产品的的主要开发团队是中国科学院计算技术研究所信息网络室测试与可信系统组，该课题组作为中科院计算所宁波分部（宁波中科集成电路设计中心宁波中科集成电路设计中心）的一个项目组，在技术研发和市场推广上同时开展工作，简单介绍如下。

7.1 中国科学院计算技术研究所

中国科学院计算技术研究所创建于 1956 年，是我国第一个专门从事计算机科学技术综合性研究的学术机构。在计算所，诞生了我国第一台通用数字电子计算机，并形成了我国高性能计算机的研发基地，我国首枚高性能通用 CPU 芯片也诞生在这里。计算所是我国计算机事业的摇篮。从计算所陆续分离出中科院微电子学研究所、中科院计算中心、软件所和网络中心等多个研究机构；从计算所分离出来的企业累计有 30 家以上，诞生了诸如联想、希望、曙光、华建等高新技术企业，中关村的许多 IT 企业都和计算所有着不可分割的血缘关系。

计算所现有六个研究室和一个工程中心，并孵化了若干家高科技公司，形成了科研、产业一条龙的良好态势。现阶段主要研究方向主要有：CPU 和 SoC 设计、高性能计算与网格计算、网络化与数字化技术、知识处理与智能化 Internet 软件等。1998 年，计算所成为中国科学院“知识创新工程”首批试点单位。几年来，计算所坚持江泽民总书记对中科院提出的“基础性、战略性、前瞻性”的三性原则，坚持新时期办院方针，以“着眼国际前沿领域，关注国计民生，推动中国信息产业”为己任，本着“创新、求实”的理念，正逐步建设成为世界一流的科研学术机构。

7.2 宁波中科集成电路设计中心

宁波中科集成电路设计中心宁波中科集成电路设计中心（中科院计算所宁波分部），简称 NBICC。是在中国科学院院地合作总体战略指导下，由宁波市人民政府与中国科学院共同投资组建的非赢利机构。股东单位为宁波市

人民政府信息化办公室、宁波市科技局、宁波市科技园区管委会、中科院计算所。NBICC 的发展宗旨是为宁波及其周边地区营造 IC 设计业发展的软环境，以 IC 设计为龙头推动当地 IC 产业的良性发展，利用高科技手段带动宁波及其周边地区的相关产业升级。NBICC 致力于打造一流的 IC 设计公共服务平台，在提供 IC 设计的专业技术支持、人才培养、企业孵化等服务的同时，也承担着重要科研项目的开发及推广工作。

中心现有员工近 80 人，主要技术骨干由中科院计算所研究人员组成，经营团队具有曙光、联想等大型 IT 企业的从业背景，拥有丰富的高技术产业化经验。NBICC 拥有先进齐全的集成电路软、硬件设计平台，可提供 Cadence、Synopsys、Mentor 等著名的 EDA 设计环境，满足 0.13um、0.18um、0.25um、0.35um 等工艺的全流程设计需求。中心配置有 5 个独立的 EDA 工作站机房，可同时为 20 人以上的研发队伍提供 IC 设计服务。1 个 EDA 培训教室，可满足 30 名培训学员的上机实践需要。在平台管理机制上，中心采用国际上通用的软件许可权方式，企业数据由企业独立保管，在数据安全、商业机密和知识产权的保护上为企业奠定了良好的基础。

7.3 计算所信息网络室

计算所信息网络室面向网络技术开展基础性、前瞻性和战略性研究的宏伟目标，主要研究方向包括：下一代互联网、网络处理器设计与应用、信息网络总体设计、网络测试管理行为分析、可信系统。这是信息网络室结合自身优势和网络技术的发展趋势凝练而成。目前承担着包括国家科技攻关项目、国家 863 计划、国家自然科学基金、中科院重大项目在内的二十多项科研课题的研究工作。

测试与可信计算课题组曾经承担国家 863 项目“软硬件协同的低功耗系统设计”，取得了一定的成果，并在嵌入式系统芯片设计、低功耗系统设计等方面具有较深厚的积累。另外，在无线传感器网络所涉及部分关键技术方面，如支持 IPv6 协议的无线传感器网络协议、嵌入式操作系统及编译技术，高频混合信号系统级集成、大规模集成电路设计及片上系统设计，低功耗系统设计、无线传感器网络等方面都有专门的团队在进行较深入的工作。