



无线传感器网络与工业无线 测控系统

中国科学院沈阳自动化研究所

于海斌



内容提要

- 无线传感器网络的产生与应用领域
- 无线传感器网络的主要研究进展
- 无线传感器网络对工业自动化领域的影响与未来的工业无线测控系统
- 无线技术在工业现场应用面临的挑战与对策
- 工业现场级无线网络的标准化进程
- 工业无线测控系统的应用前景展望



无线传感器网络

个体:

大量微传感器

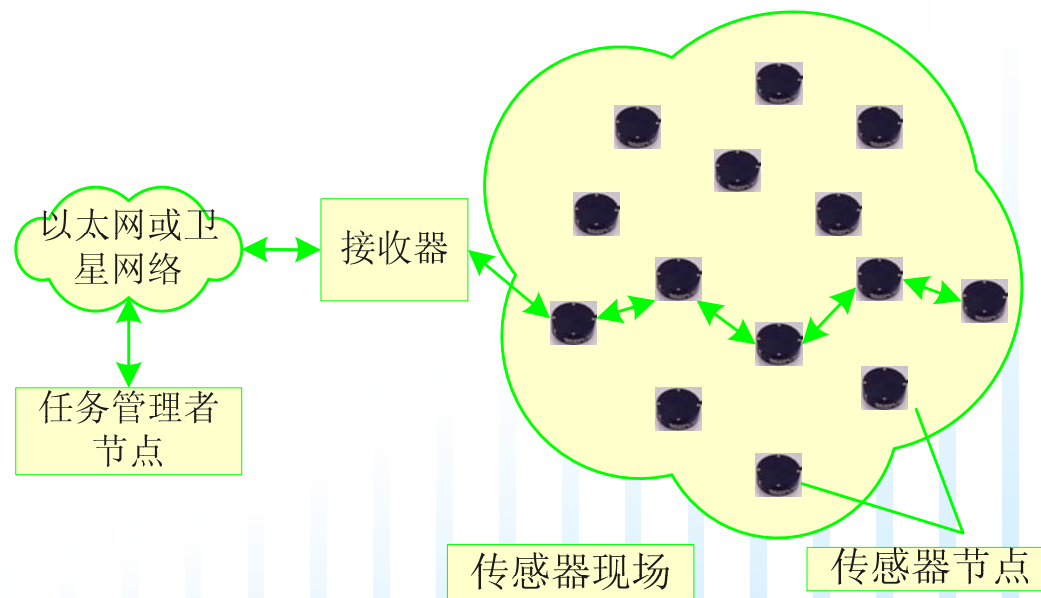
整体:

— 自治网络系统

— “智能”系统

目的:

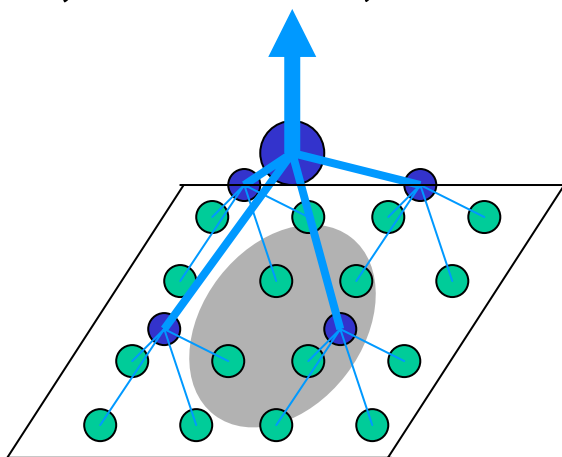
信息获取



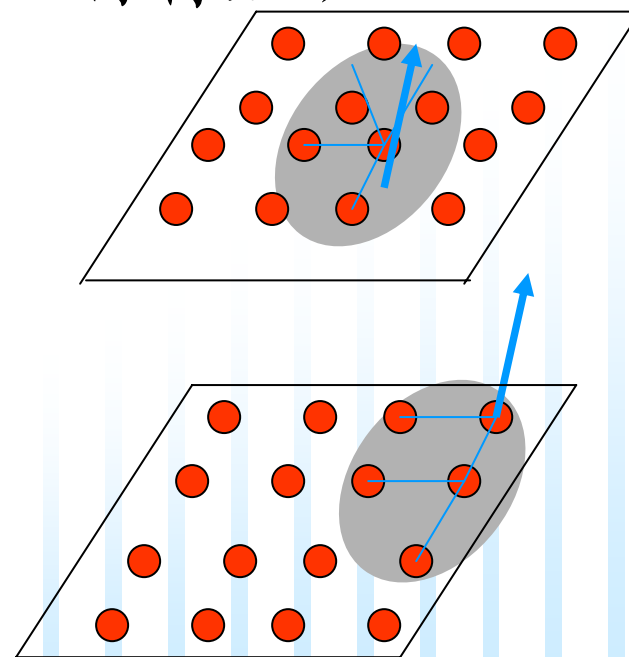


信息获取模式的改变

目前的信息获取系统：具有固定的层次结构

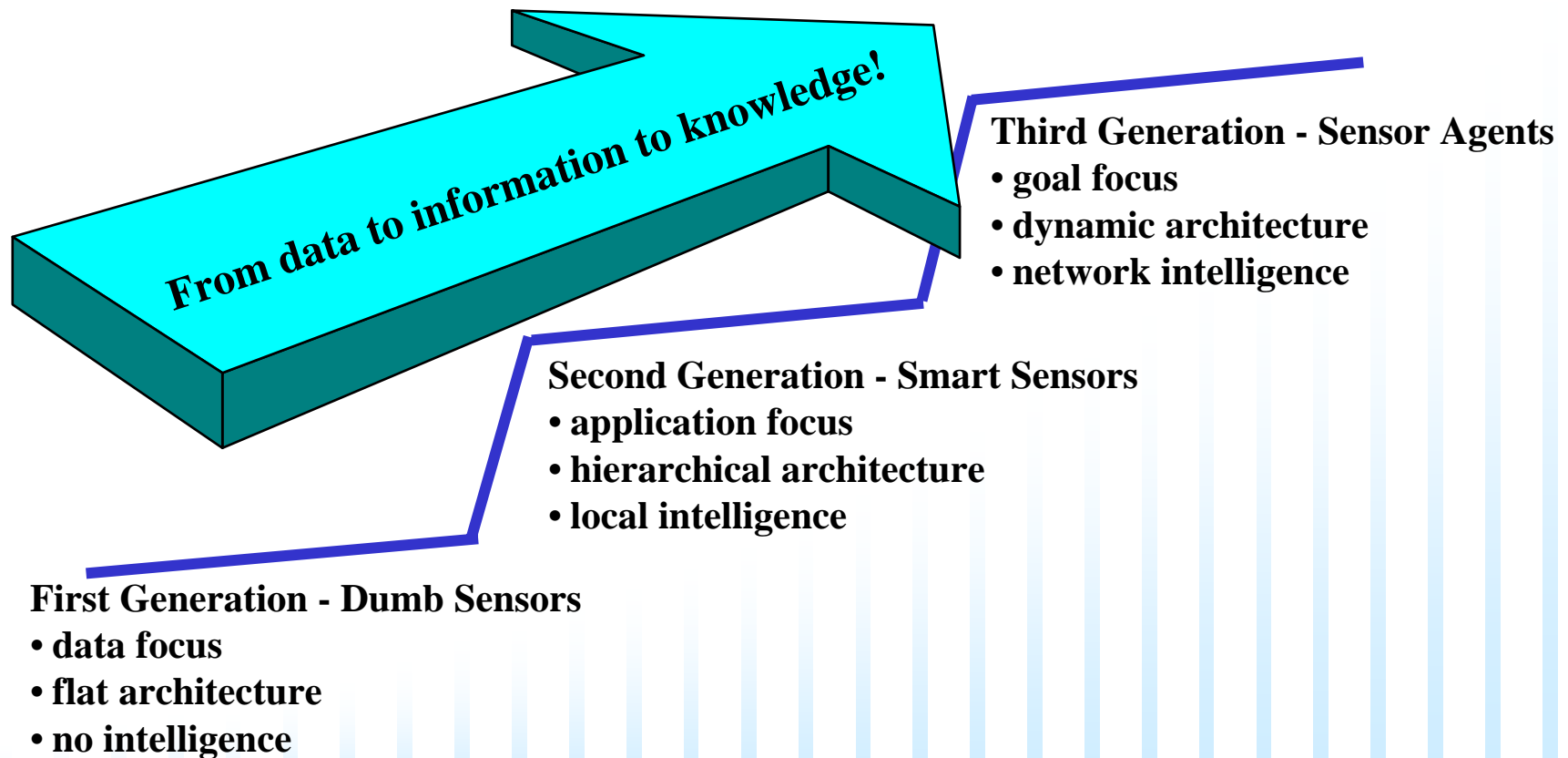


下一代的信息获取系统：根据任务进行自组织





The Sensor IS the Network





新的IT热点技术

- 无线传感器网络 (WSN) 是继因特网之后，将对21世纪人类生活方式产生重大影响的IT热点技术。
 - **因特网**改变了人与人之间交流、沟通的方式
 - **无线传感器网络**将改变人与自然交互的方式



世界范围内的研究热潮

- 99年，美国商业周刊——21世纪最具影响的21项技术之一
- 03年，MIT技术评论——改变世界的10大新技术之一。
- 03年，美国商业周刊——在其“未来技术专版”中指出，全球未来的四大高技术产业之一，将掀起新的产业浪潮。



相关研究计划

- 国外尤其是美国通过NSF、DARPA等多种渠道投入巨资支持无线传感器网络技术的研究
 - WINS: 传感器网络设计的各个方面
 - Smart Dust : 体积不超过 1mm^3 的节点
 - μ AMPS: 节能、自组织、可重构 (LEACH)
 - SensIT: 协作信息处理技术
 - SeaWeb: 水声通信、DADS、Telesonar、Sealan、FRONT、SBIRs、Sublink等

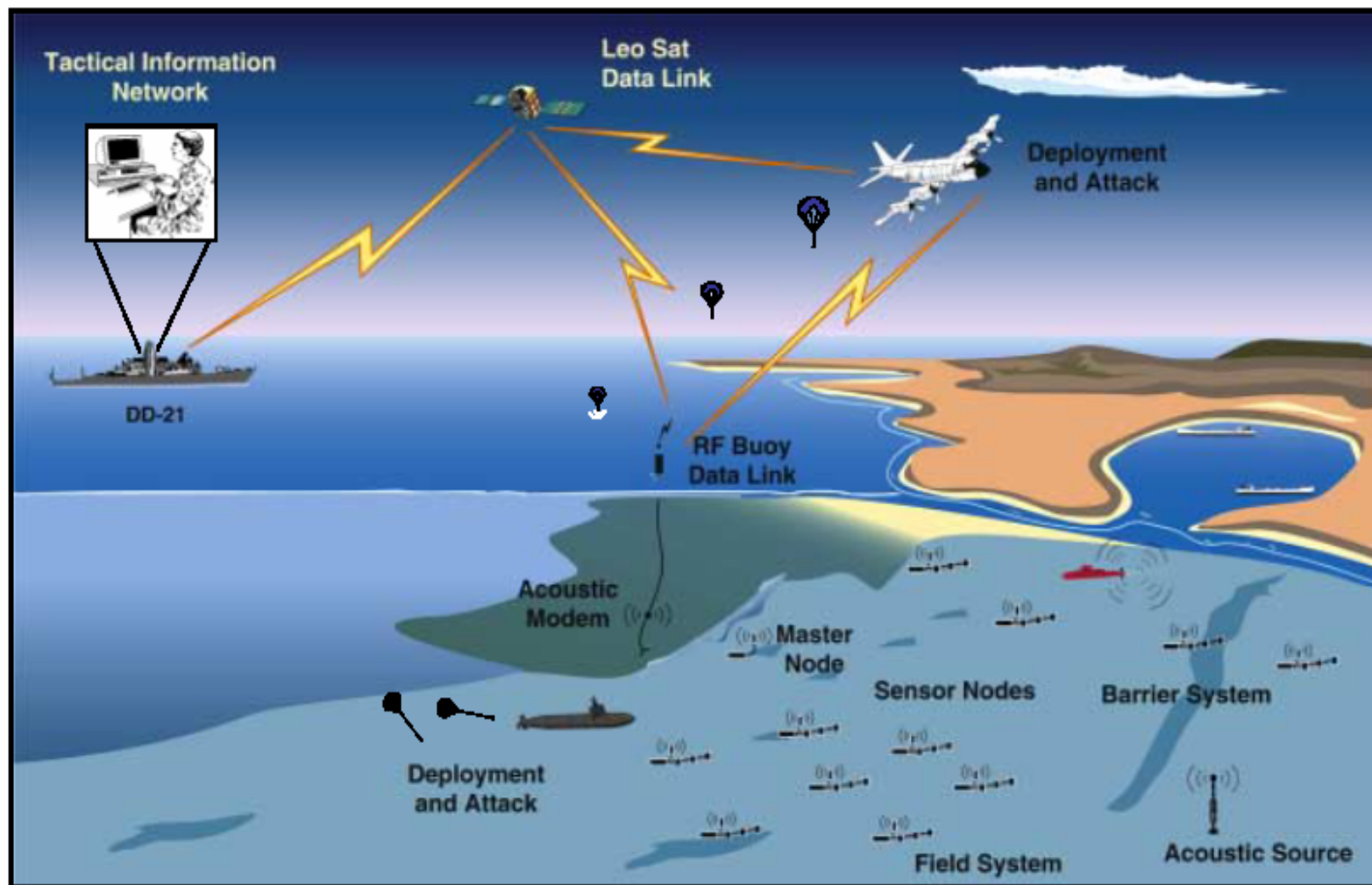


应用领域

领 域	使命任务
军事及反恐防爆	友军兵力、装备、弹药调配监视；战区监控；敌方军力的侦察；目标追踪；战争损伤评估；核、生物和化学攻击的探测与侦察。
环境应用	森林火灾的监测；环境的生物复杂性映射；洪水监测；精密农业。
保健应用	人体生理指标的远程监测；医院内医生和患者的跟踪；药物管理。
家庭应用	家居自动化；居住环境智能化。
其它商务应用	汽车防盗；交互式博物馆；库存管理控制；车辆跟踪与控制



无线传感器网络的军事应用



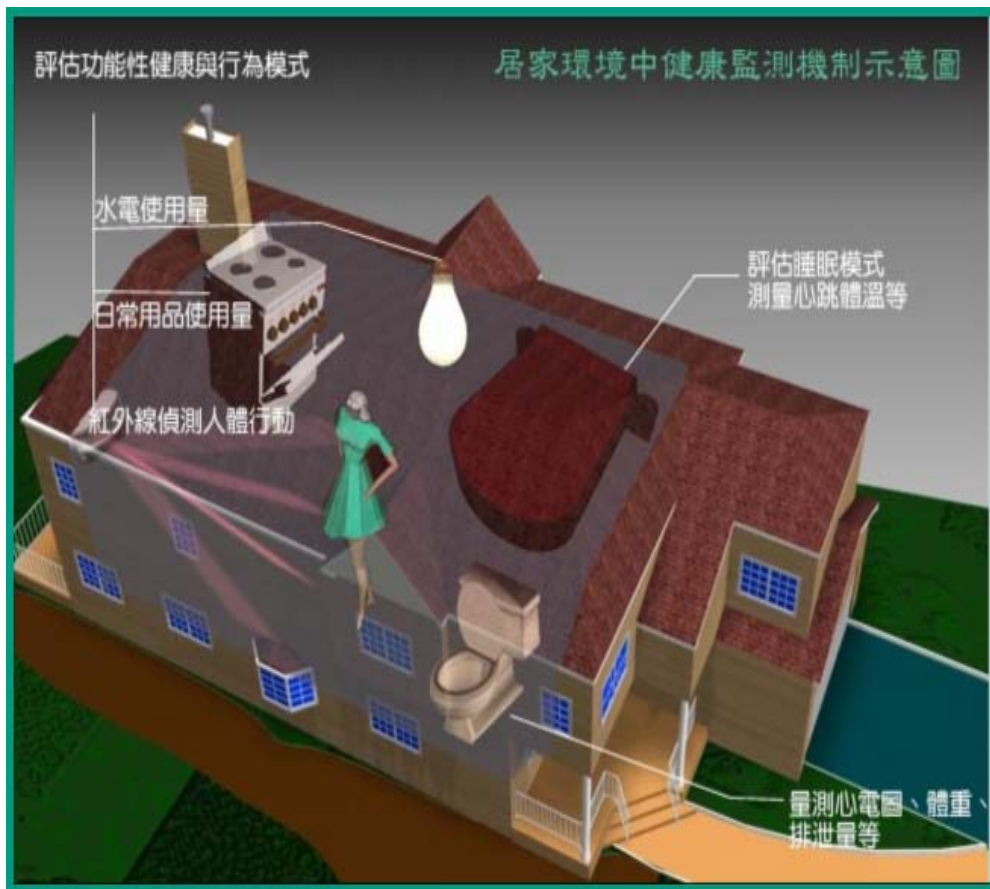


无线传感器网络的环境应用





无线传感器网络的家庭健康 检测应用



- ❖ 实现了以往无法实现的应用！
- ❖ 对领域有重要的推动作用！








无线传感器网络的主要研究 进展

- 平台与开发环境建设
- 基础体系
- 自组网方法
- 分布式信息处理方法
- 应用技术



传感网硬件平台

Mote Type	<i>WeC</i>	<i>René</i>	<i>René 2</i>	<i>Dot</i>	<i>Mica</i>	<i>MicaDot</i>
						

Microcontroller

Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128	
Program memory (KB)	8		16		128	
RAM (KB)	0.5		1		4	

Nonvolatile storage

Chip	24LC256			AT45DB041B		
Connection type	I ² C			SPI		
Size (KB)	32			512		

Default power source

Type	Lithium	Alkaline	Alkaline	Lithium	Alkaline	Lithium
Size	CR2450	2 x AA	2 x AA	CR2032	2 x AA	3B45
Capacity (mAh)	575	2850	2850	225	2850	1000

Communication

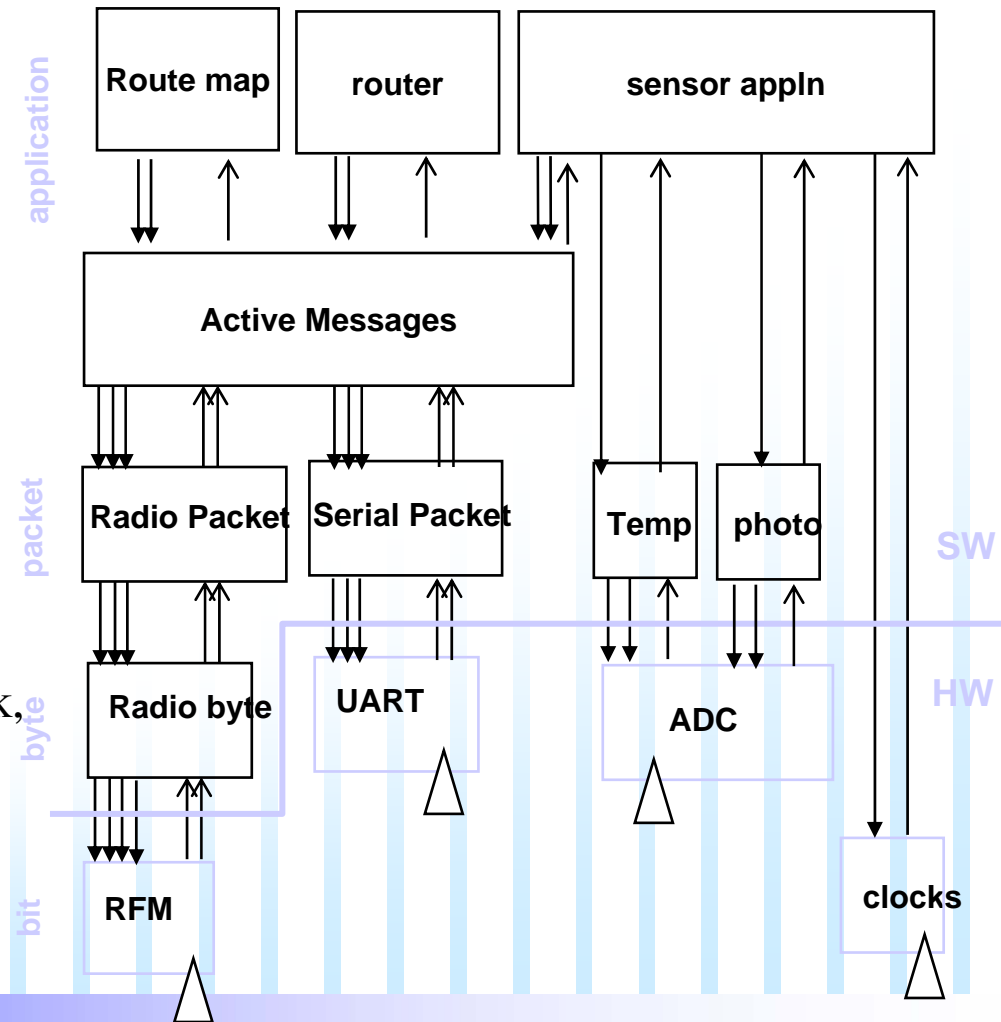
Radio	TR1000					CC1000
Radio speed (kbps)	10	10	10	10	40	38.4
Modulation type	OOK					ASK, FSK



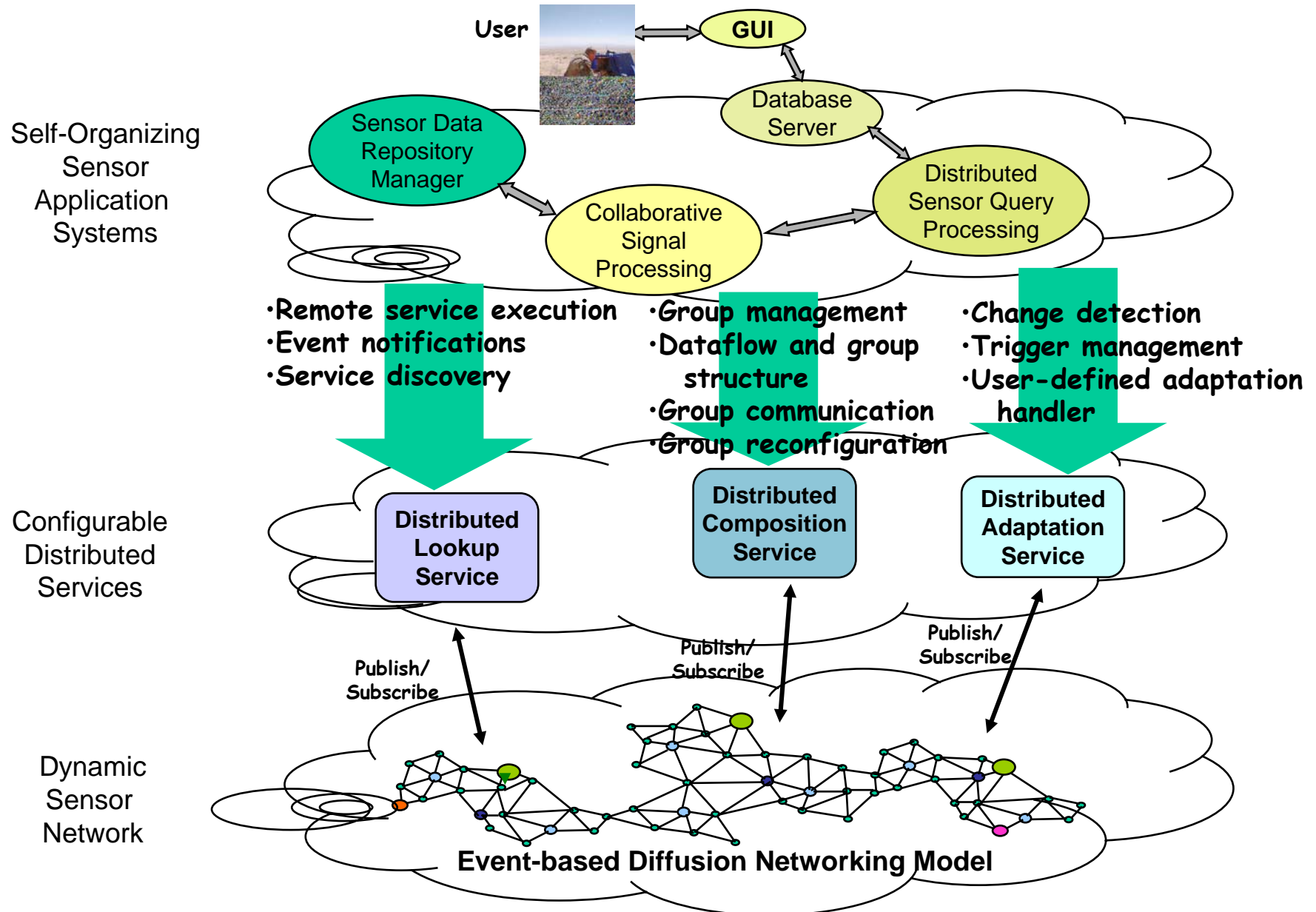
传感网软件平台

Tiny OS

- Scheduler + Graph of Components
 - constrained two-level scheduling model: threads + events
- Component:
 - Commands,
 - Event Handlers
 - Frame (storage)
 - Tasks (concurrency)
- Constrained Storage Model
 - frame per component, shared stack, no heap
- Very lean multithreading
- Efficient Layering



Self-Organizing Distributed Services





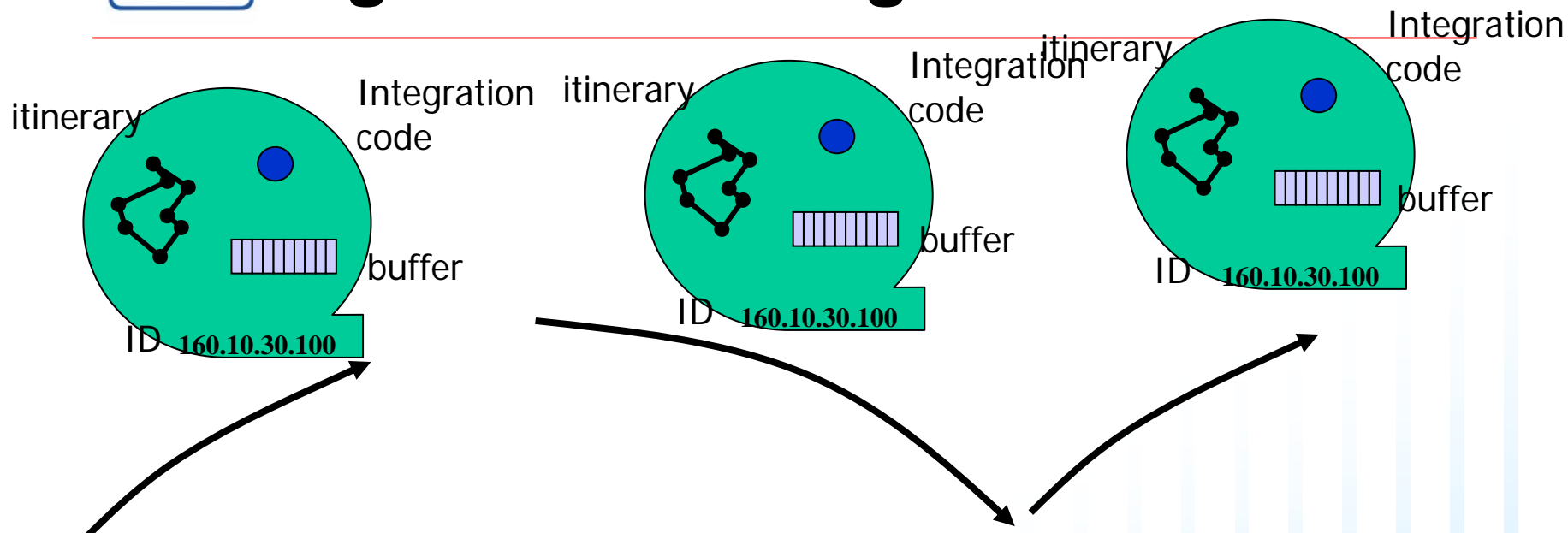
以数据为中心的自组网模式

Directed Diffusion: *data dissemination and coordination paradigm developed for scalable sensor networks*

- Application-specific *in-network processing* (e.g., aggregation, collaborative processing) to support long-lived, scalable, sensor networks
- Data-centric communication primitives
 - organize system based on *named data* (not nodes)
- Supported with distributed algorithms using *localized interactions*
 - *diffuse requests* and responses across network
 - adapt to good path with *gradient-based feedback*
 - naturally supports *in-network aggregation* of redundant/correlated detections



Mobile-Agent-based Collaborative Signal Processing

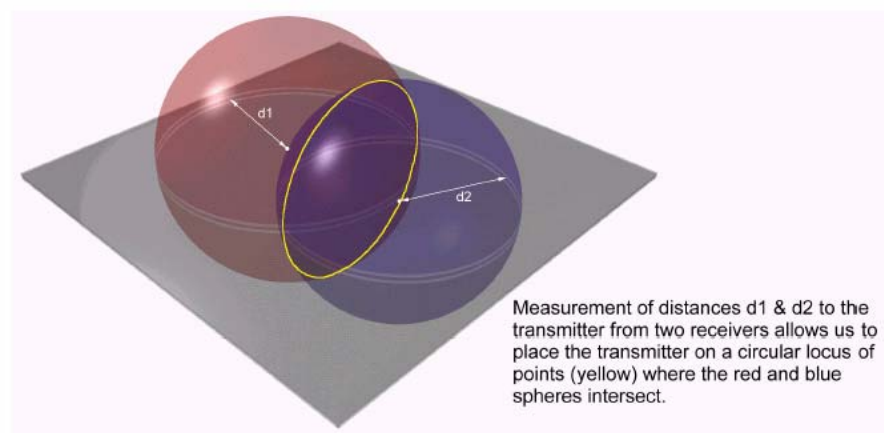
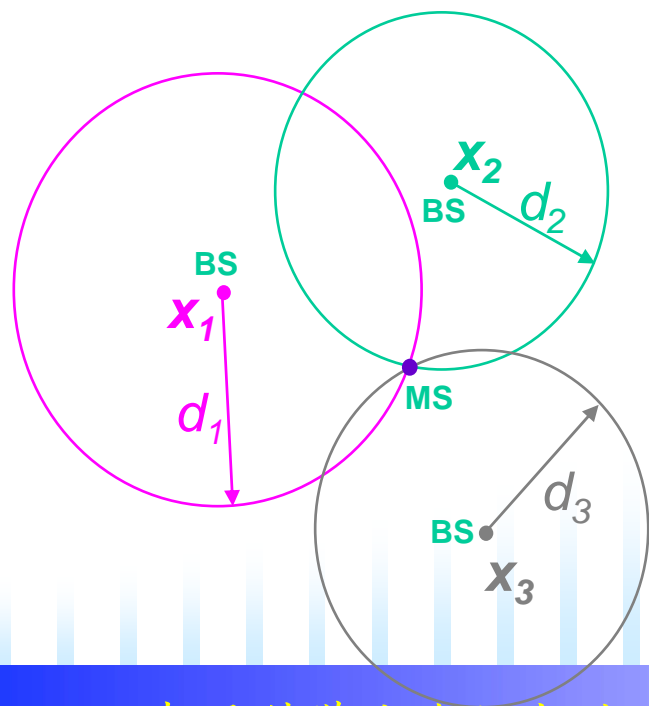




定位

- 通过Radio定位精度已经可以达到厘米级

Radiolocation via ToA and RSSI

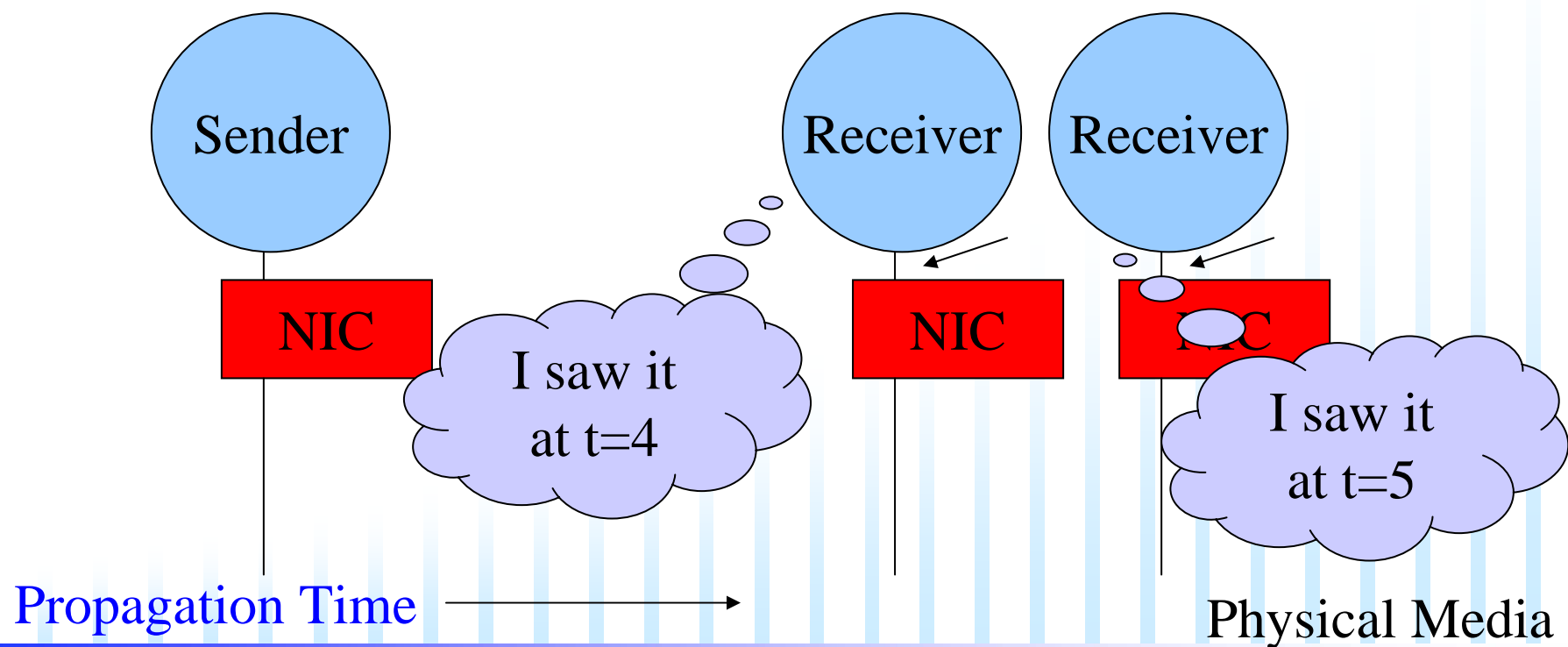




时间同步

Reference Broadcast Sync

Sync 2 receivers *with each other*, NOT sender with receiver



SensIT Experiment - Marine Corps Air Ground Combat Center Twentynine Palms, CA

Autonomous, distributed ground
sensors that track moving vehicles
and transmit processed
information to a base camp display



800 m

600 m

400 m

200 m

Intersection

Gateway/Imager

RF
Ethernet

Total: 70
Nodes

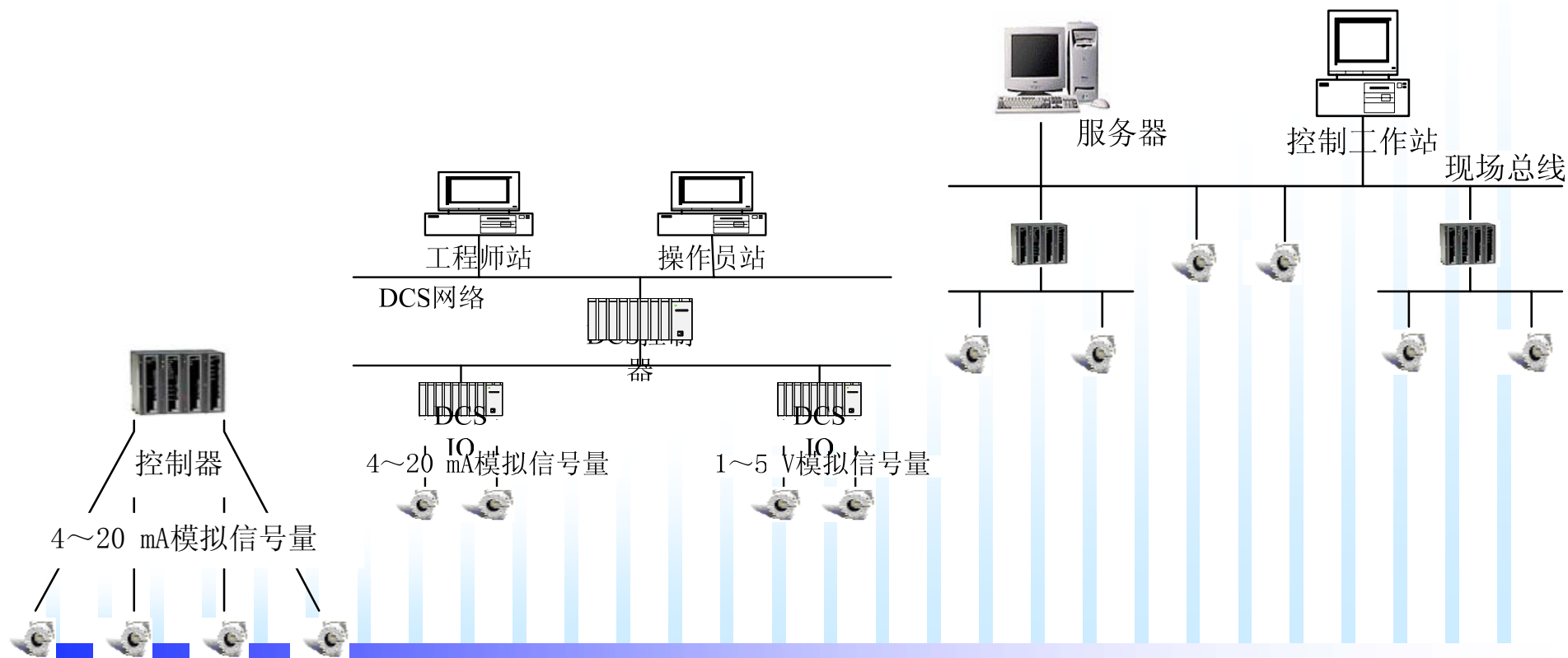
Base Camp

East Training Area
Prospect Intersection



无线传感器网络对工业自 动化领域的影响

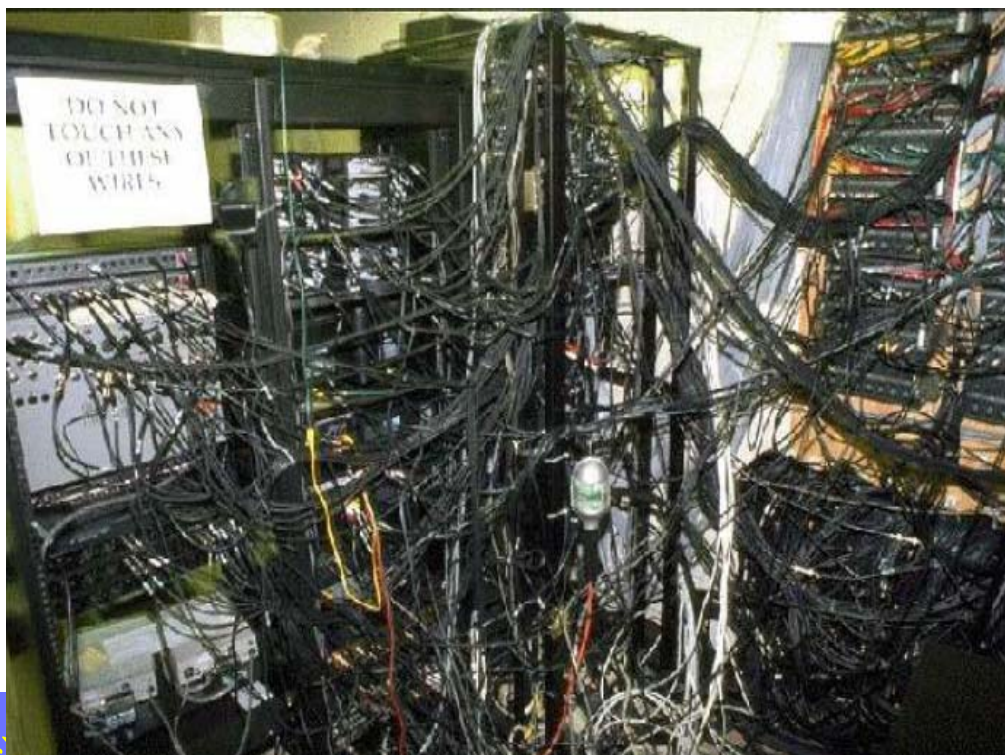
- 工业通信技术的发展趋势是网络化和智能化





布线成本是制约控制系统应用的瓶颈问题

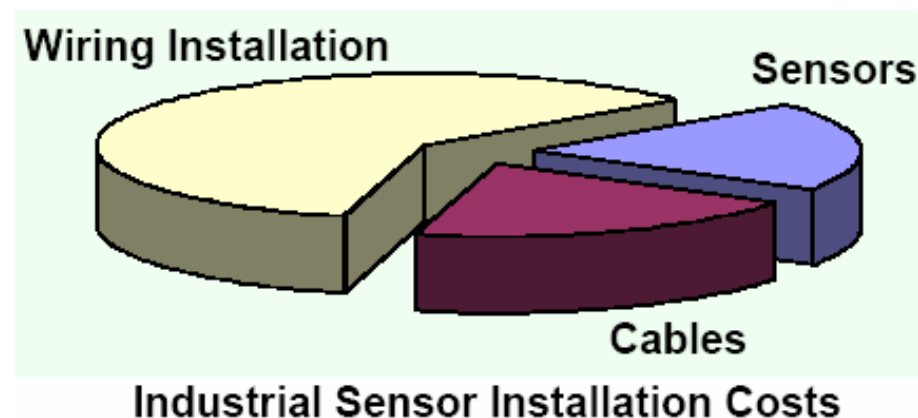
- 投资和使用成本过高，2001年全球工业用传感器的市场份额是110亿美元，而安装和使用成本（主要是布线成本）超过1000亿美元。





无线技术的优势

- 降低投资成本（最高降低90%）；
- 降低使用成本；
- 灵活，易于改造；
- 覆盖有线不可达的区域。





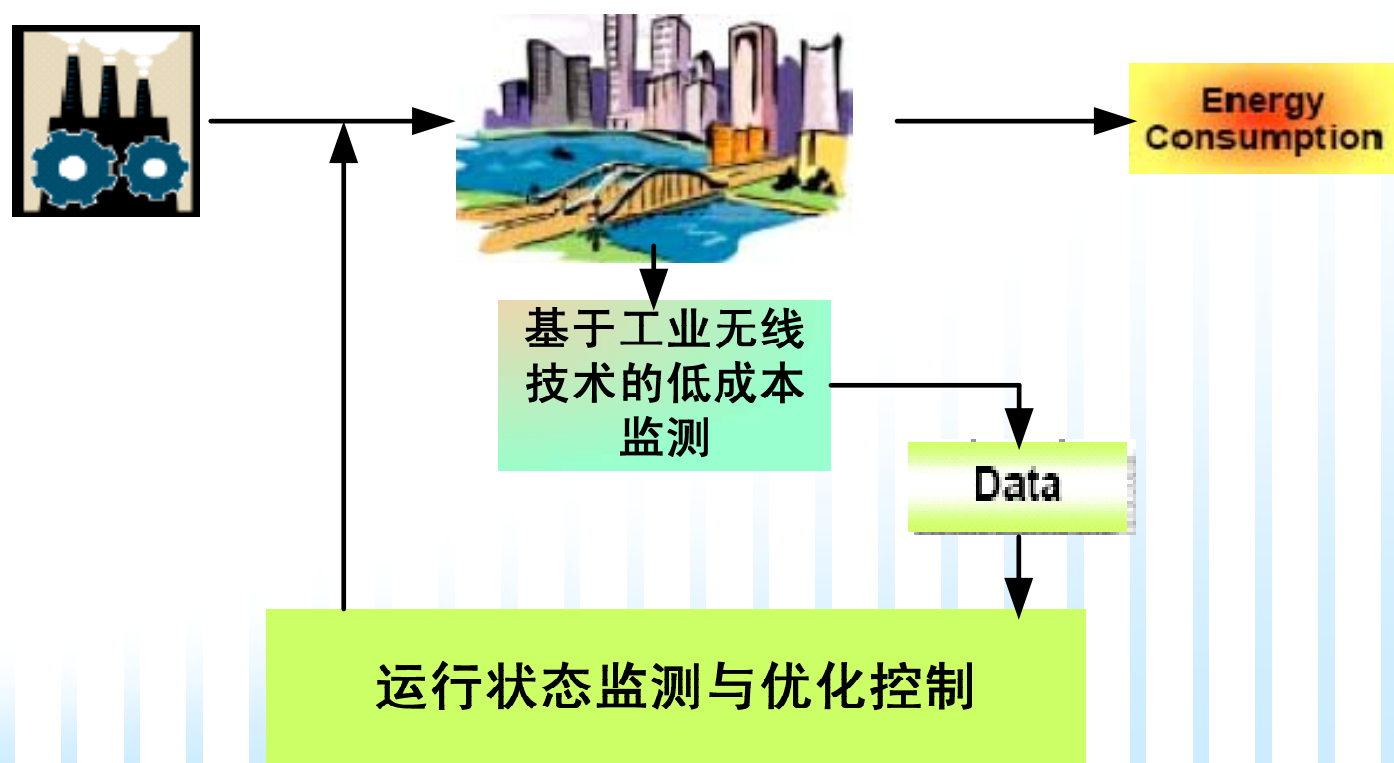
工业无线技术

- 美国能源部（DoE）在2002年发布的“Industrial Wireless Technology for the 21th Century”白皮书中首次提出了工业无线技术的概念。
- 新兴的面向设备间信息交互的无线通信技术，适合在恶劣的工业现场环境使用，具有很强的**抗干扰能力**、**超低能耗**、**实时通信**等技术特征，是一类特殊的传感器网络。



基于工业无线的测控系统

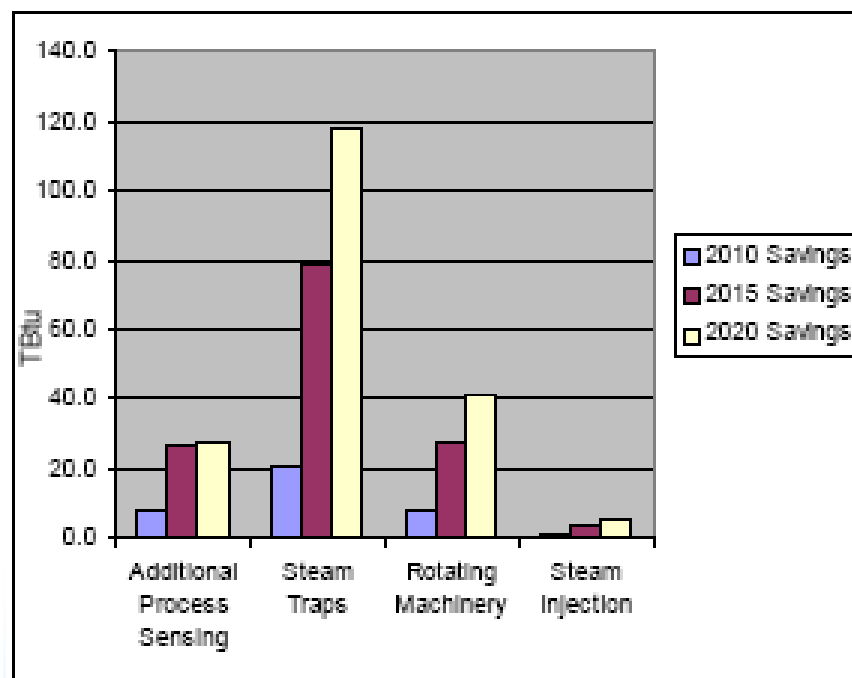
- 基于无线技术，建立新型网络化测控系统，通过对工业全流程的“泛在感知”，实施优化控制，来达到提高产品质量和节能降耗的目标。





节能降耗的重要途径与手段

- 新型网络化测控系统将提高产品质量，提高控制水平；
- 降低工业生产过程中的浪费；
- 实现更加有效的设备状态监控，降低设备运行错误；
- 通过状态监控，提高设备的能源效率。



按年度分领域的节能效果预测



工业无线测控系统将在节能降耗中发挥重要作用

- 美国总统科技顾问委员会在“面向21世纪的联邦能源研究与发展规划”中指出：工业无线技术的应用将使工业生产效率提高10%，并使排放和污染降低25%。
- DoE将工业无线技术列为其以节能降耗为目标的未来工业计划的主要支撑技术之一。



工业无线网络联盟

- 美国能源部在2004年推动成立工业无线网络联盟，致力于解决无线技术在工业控制领域应用的难点问题。
- 超过200家公司和科研机构参与





美国能源部计划

04年设立的10个重点课题中5个与无线工业网络有关

- Advanced Wireless Sensors for the Industries of the Future (Steel, Aluminum, Mining, Glass, Chemicals, Forest Products, Metal Casting, Petroleum Refining); **Prime: ORNL**
- Eaton Wireless Sensor Network for Advanced Energy Management Solutions (Steel, Aluminum, Mining, Glass, Chemicals, Forest Products, Metal Casting, Petroleum Refining); **Prime: Eaton**
- Distributed Wireless Multisensor Technologies -A Novel Approach to Reducing Motor Energy Usage (Steel, Aluminum, Mining, Glass, Chemicals, Forest Products, Metal Casting, Petroleum Refining); **Prime: General Electric Global Research**
- Wireless and Sensing Solutions Advancing Industrial Efficiency (Steel, Aluminum, Chemicals, Petroleum Refining); **Prime: Honeywell International**



欧洲工业无线计划

- 制定了未来10年内无线技术在工业控制和自动化领域的发展应用计划——RUNES计划。
- 25个组织参与。



RUNES Technology Roadmap for Industrial Control and Automation							
Triggers	Wireless networks open up opportunities for higher flexibility, cost advantages for the installation and operation of industrial systems						
Targets	Current levels		→ Reduce installation cost by 50% and running cost by 30%		→ Reduce installation cost by 80% and running cost by 50%		
Issues	2004	2006	2008	2010	2012	2014	
technical	MEMS						Vision Wireless is the default choice in industrial control and automation Interoperability with legacy systems Reconfigurable devices Scavenging power from the environment Unauthorised network access impossible
	Ultra-Wide band						
	IPv6 and Mobile IPv6						
	Middleware						
	RFID						
	IEEE 802.11 (Wi-Fi)						
	IEEE 802.15.14 (ZigBee)						
	Wireless Industrial Ethernet						
	Industrial Ethernet						
	Fieldbus						
organizational	IEEE 802.15.1 (Bluetooth)						
	IrDA						
	IEEE 1451						
	New materials for encapsulation						
social	Conventional batteries						
	Power scavenging						
actions	Retrain employees						
	Culture change						
	Environmental regulations						
	Skills shortage						
Focus on wireless sensing							
RF regulations							
Focus on wireless control							
Collaborative R&D							



无线技术在工业现场应用 面临的挑战

characteristic	802.11 Family	Bluetooth	Zigbee	Industrial Wireless
Data Speed	>50,000,000 bps	720,000 bps	100,000 bps	3000 bps
Battery Life	2 hours	3 days	6 months	5 years
Deterministic Data Timing	No	No	No	Yes
NEMA 4X	No	No	No	Yes
Sensor and Network Diagnostic	No	No	No	Yes
Class I, Division 1	Difficult	Difficult	Possible	Necessary

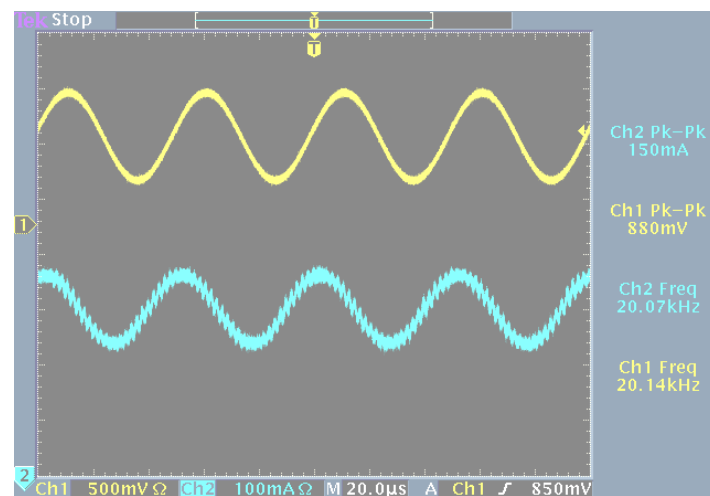


工业环境下的常见干扰

Microwave **OFF**

Baseband TX sent:

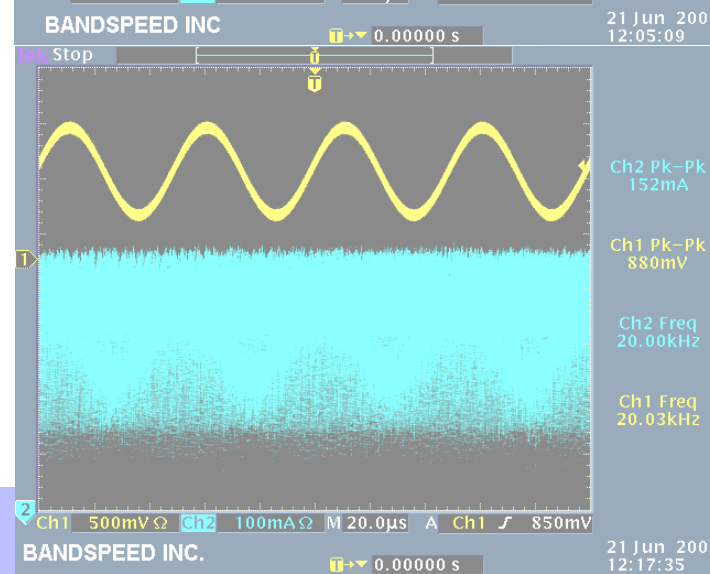
Baseband RX received:



Microwave **ON**

Baseband TX sent:

Baseband RX received:



Channel: 2.45GHz

Modulation: FSK

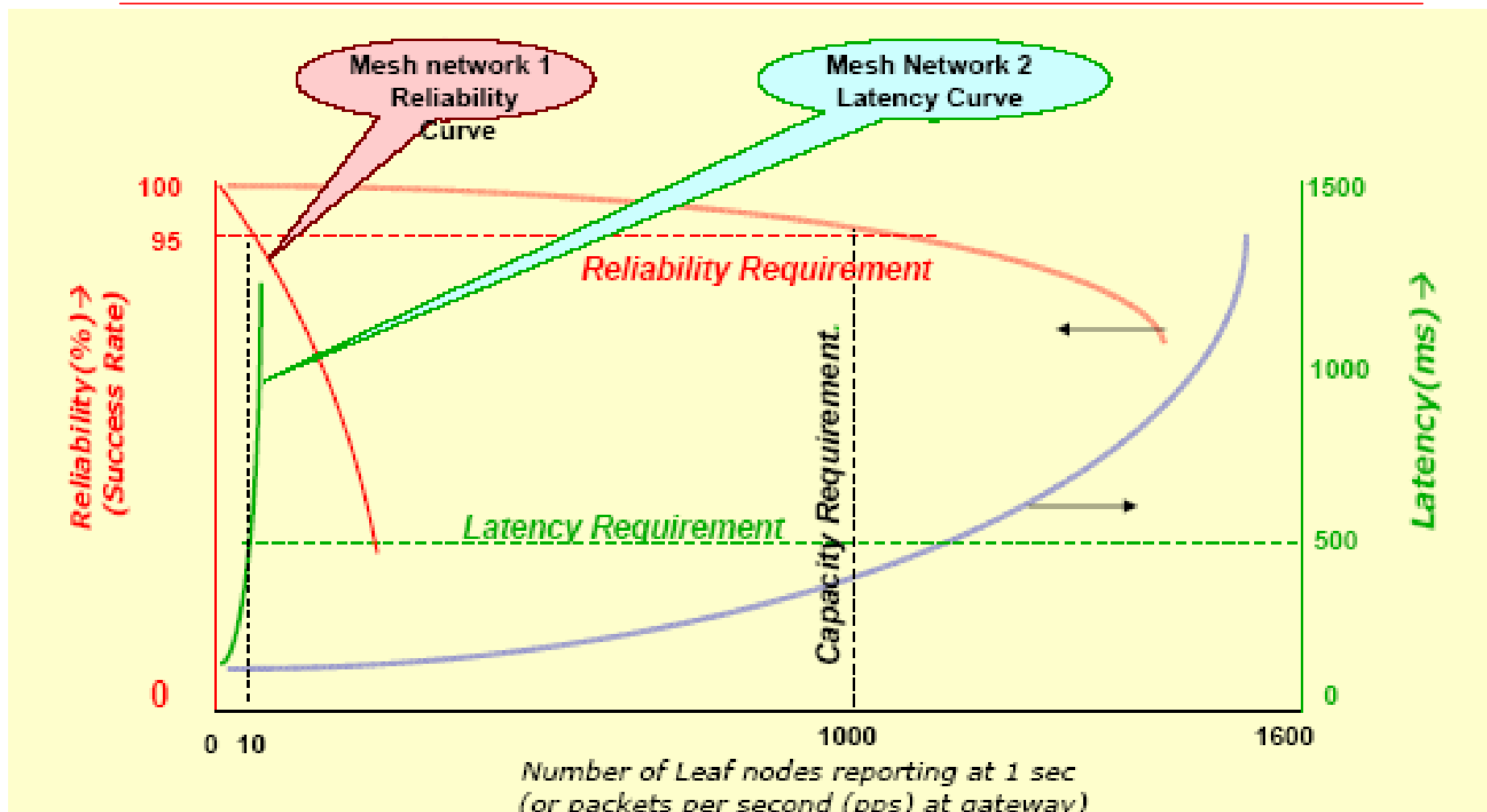
Symbol Rate: 20Kb/s

中国科学院沈阳自动化研究所

ia.ac.cn



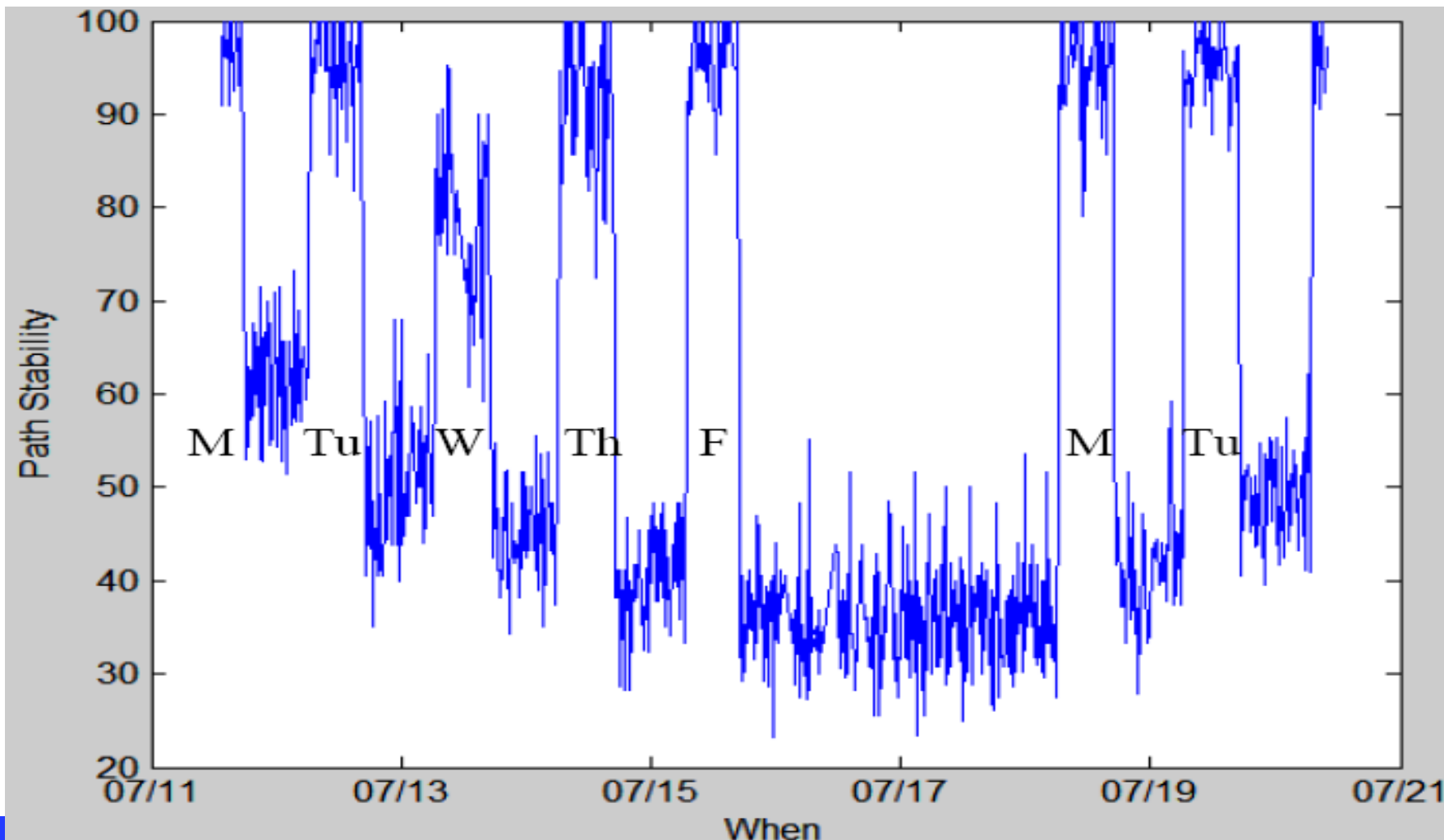
工业环境下多跳无线网络性能测试





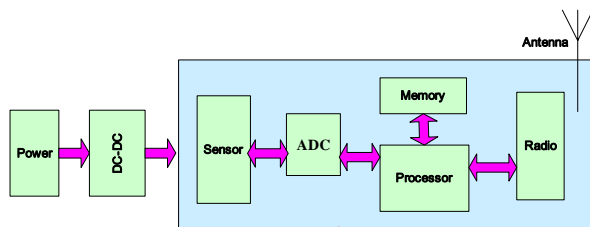
工业环境下的链路状态变化

——造成多跳传输中的链路丢失问题

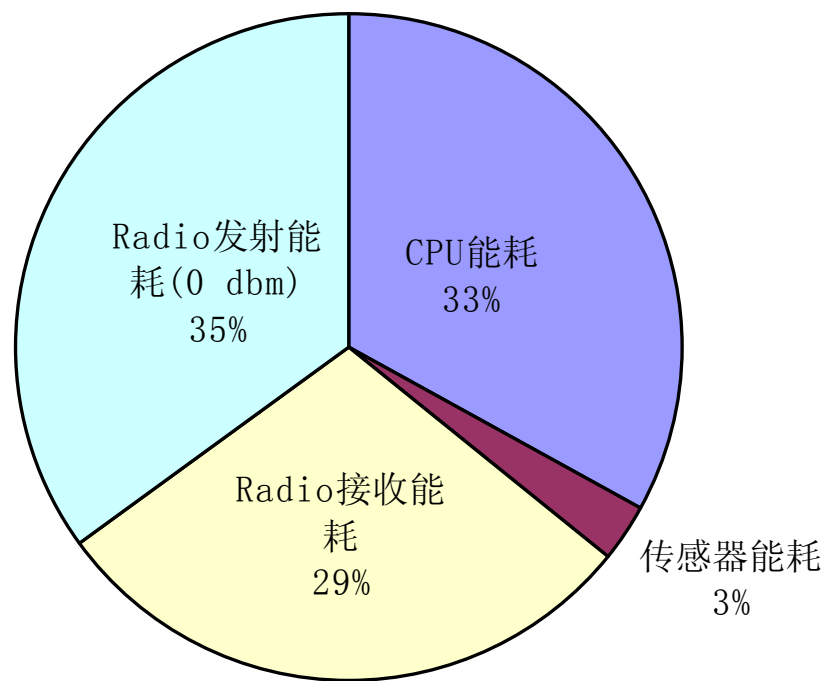
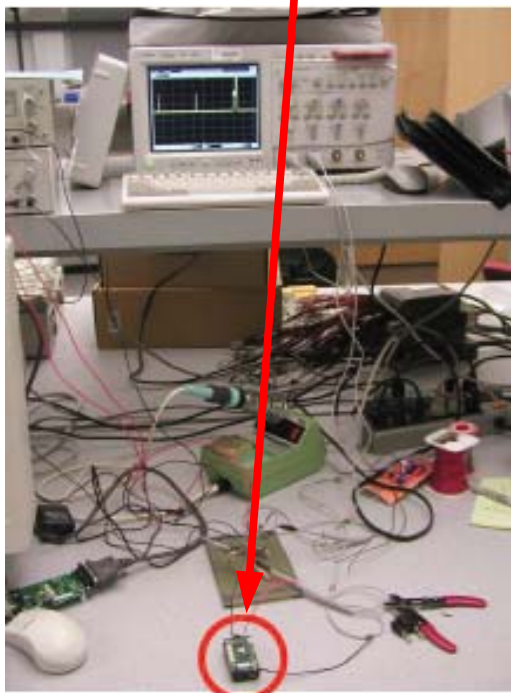




能耗分析



CPU和Radio是最主要的能耗部件





对策分析

- 抗干扰技术
 - DSSS与FHSS相结合
 - Mesh网络
- 实时通信技术
 - TDMA与CSMA相结合
- 节能技术
 - 按需休眠机制



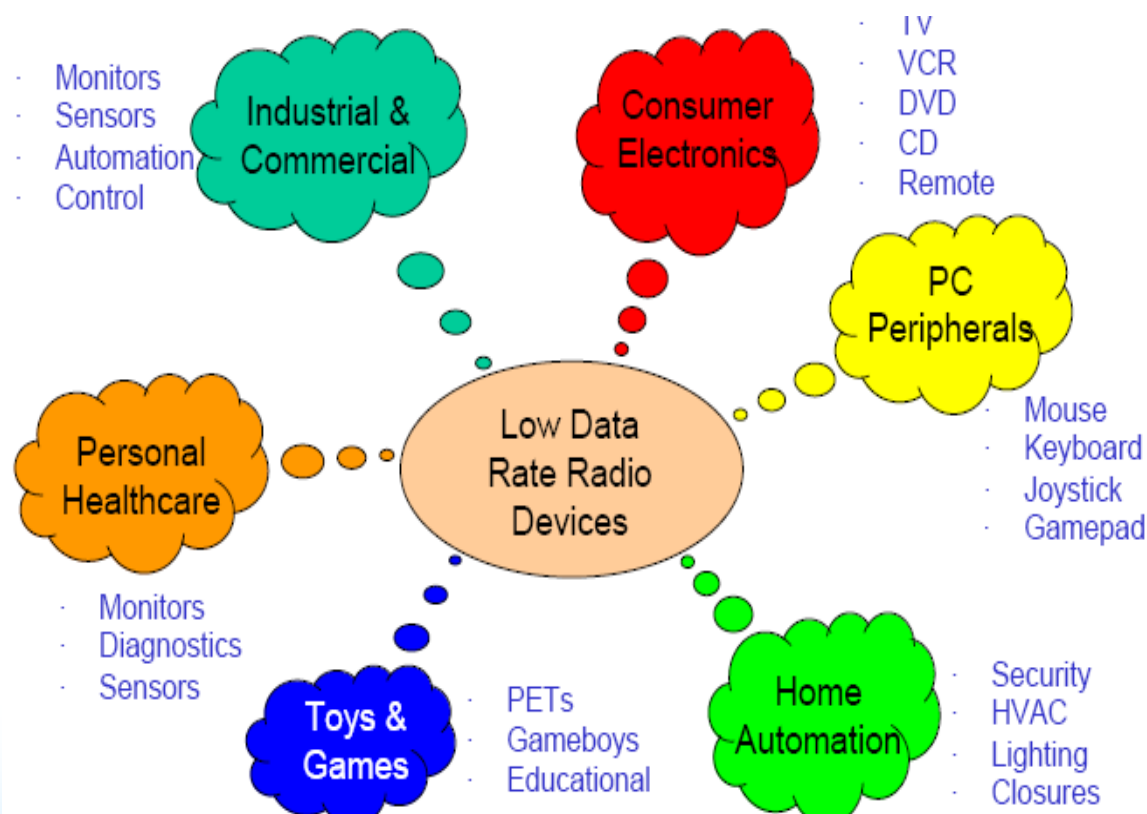
与工业应用相关的无线标准发展

- 通信标准
 - ZigBee
 - SP100
- 互操作标准
 - IEEE 1451.5
- 应用标准
 - Wireless Hart
 - Wireless FF



Zigbee

- 面向低能耗、低速率通信市场
 - 六类应用
- 2004年12月发布标准第一版
- 2006年发布第二版



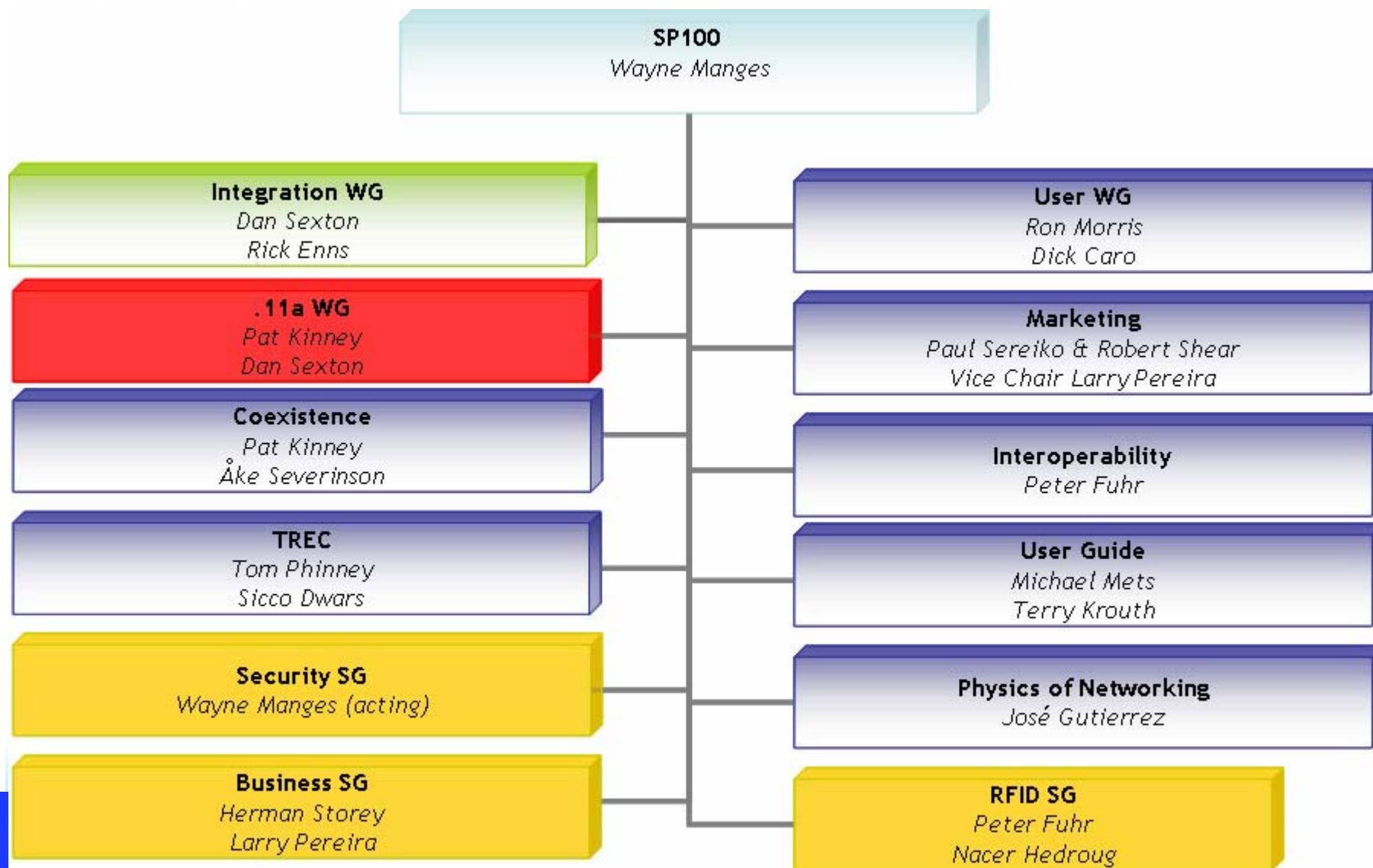


ISA SP100

- SP100是专门面向工业自动化应用的无线技术标准。
 - 预计2007年发布标准第一版，2008年进入IEC。
- 2006年7月，SP100分别针对控制类应用和监测类应用在世界范围内征集技术提案。
- 截止2006年9月，提出提案的公司和科研机构来自：
 - 美国、欧洲、日本、中国

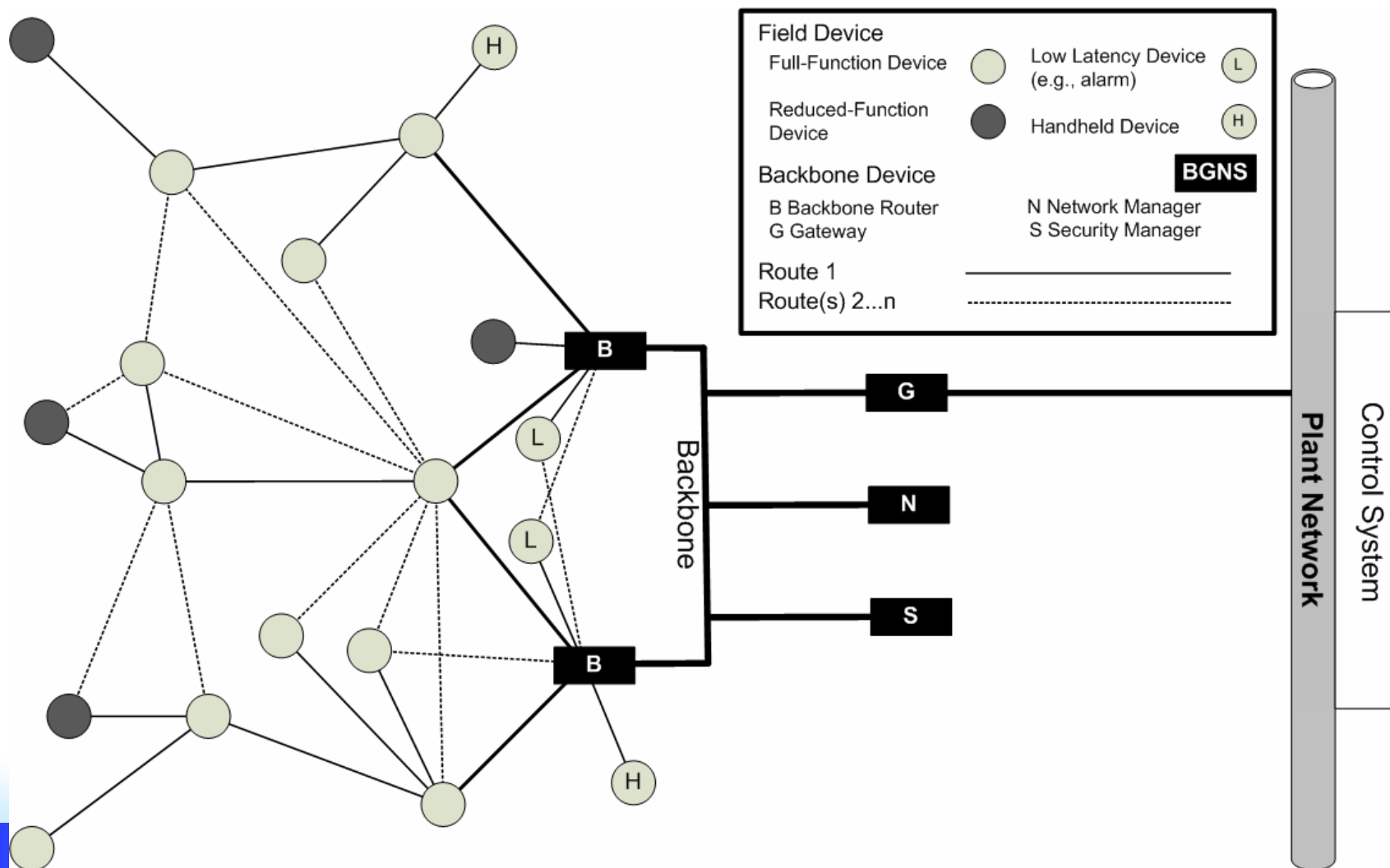


SP100 组织结构



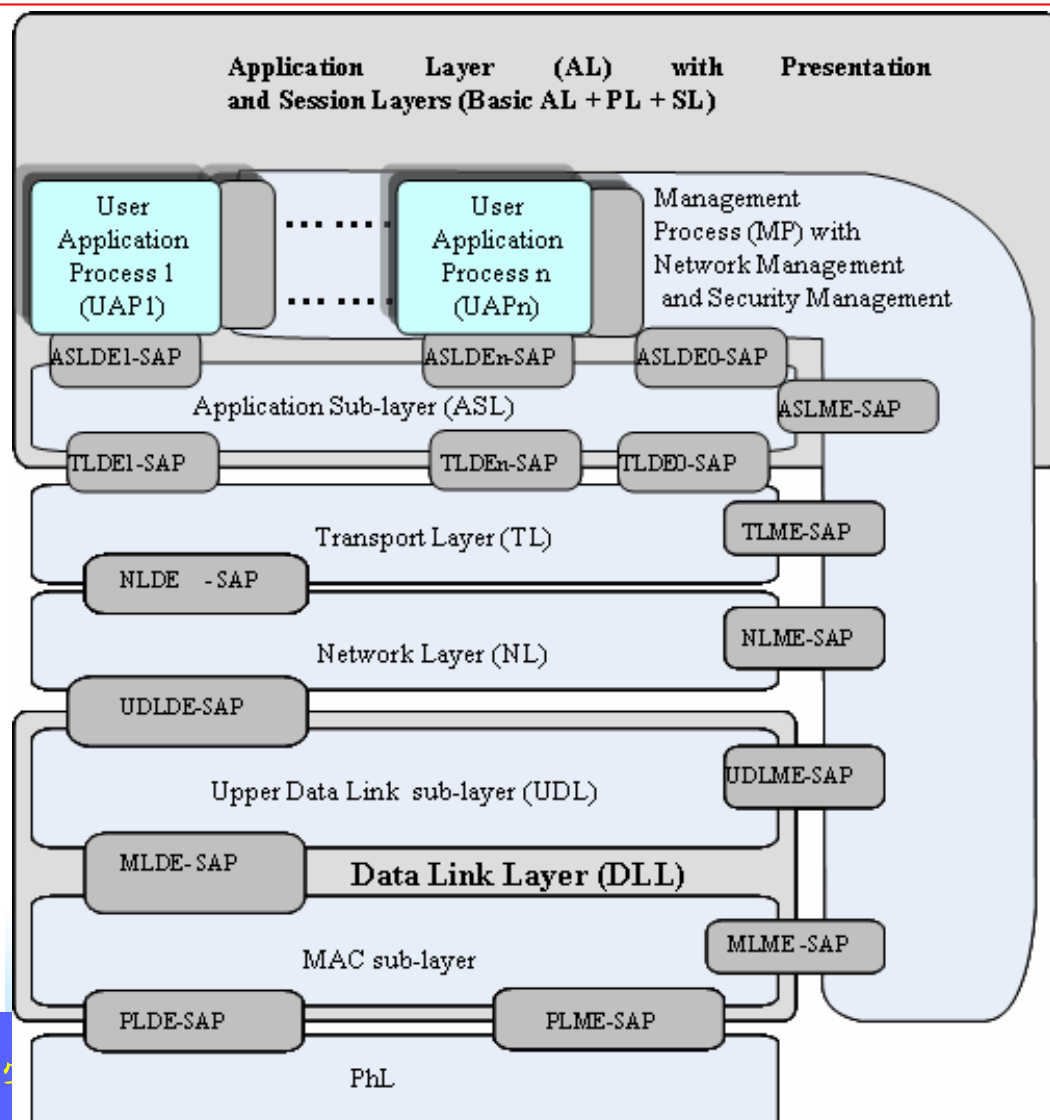


SP100.11a 网络拓扑结构



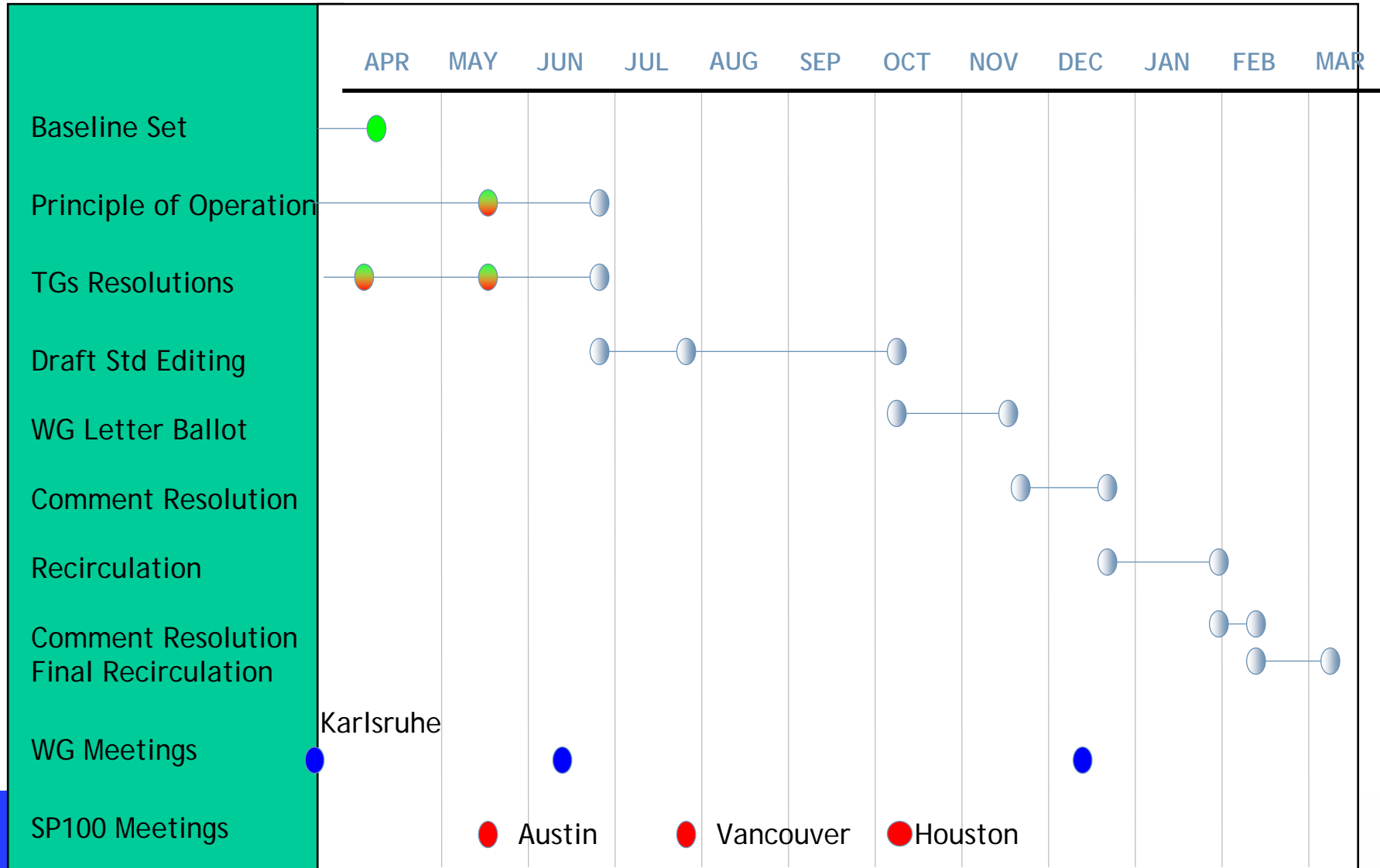


SP100.11a 协议栈结构





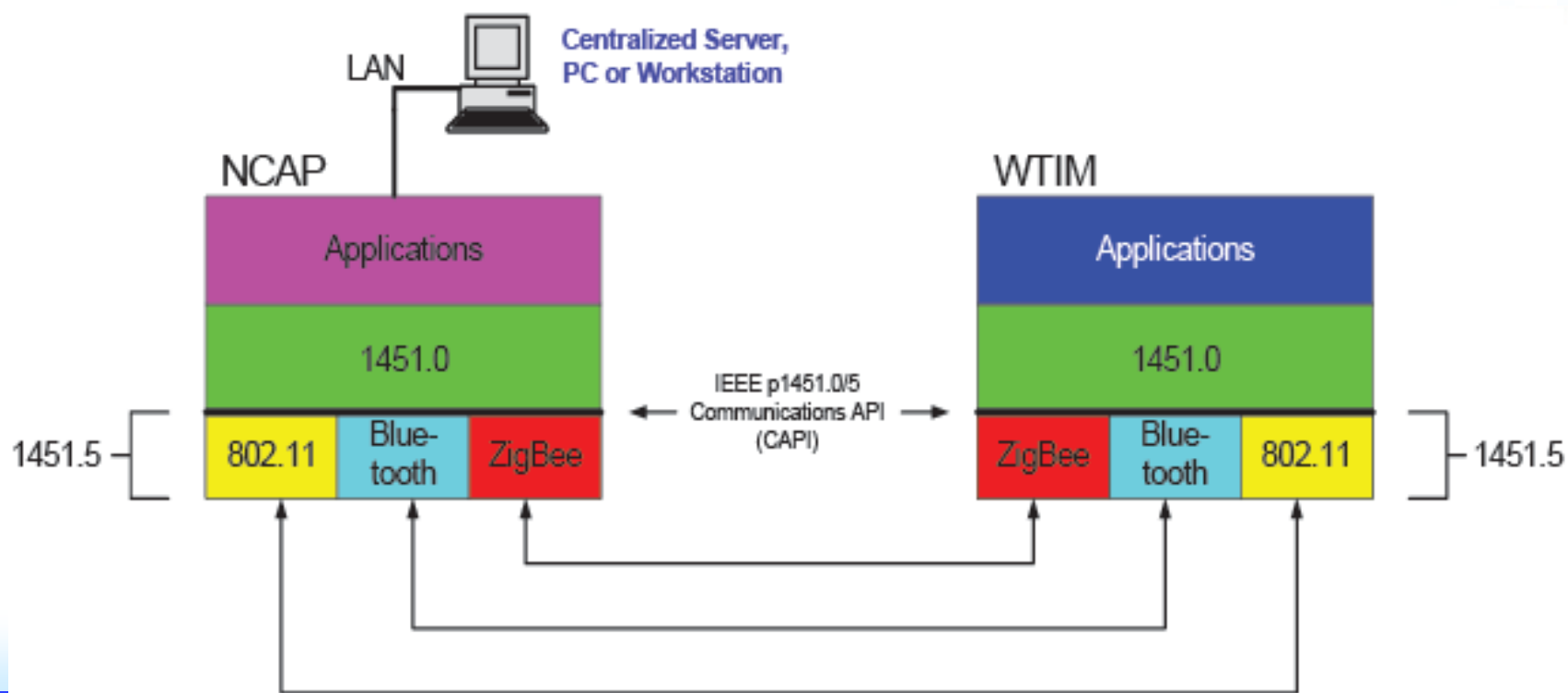
SP100 Schedule





IEEE 1451.5

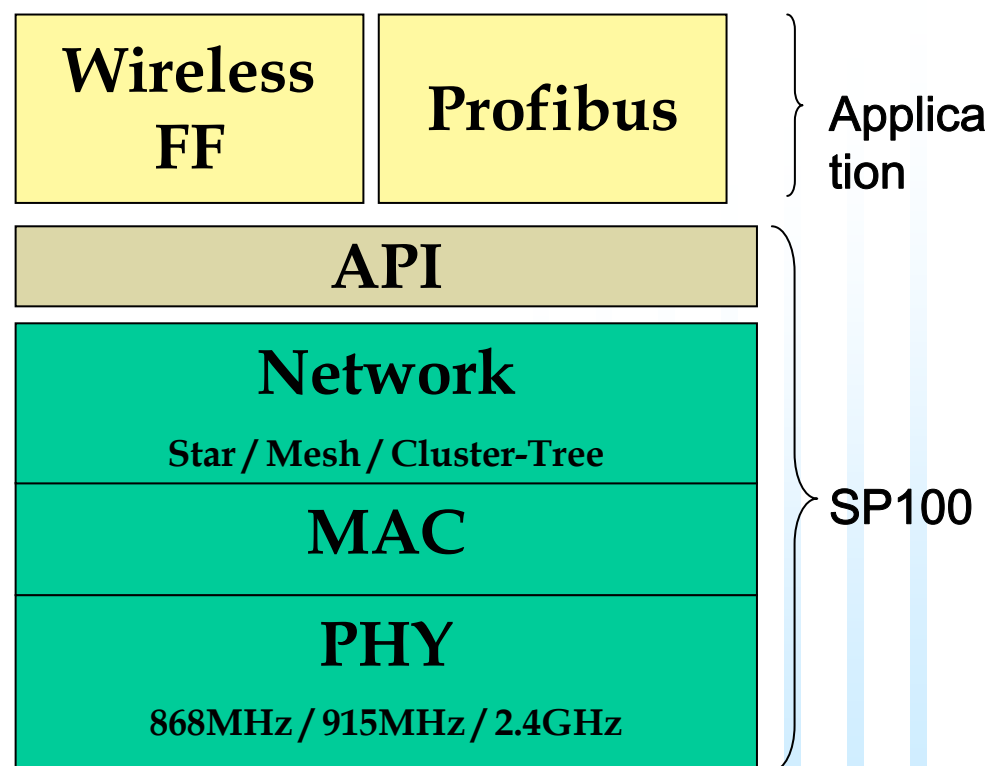
- 互操作标准
 - 实现 IEEE 802.11, Bluetooth, ZigBee间的互操作。





应用标准

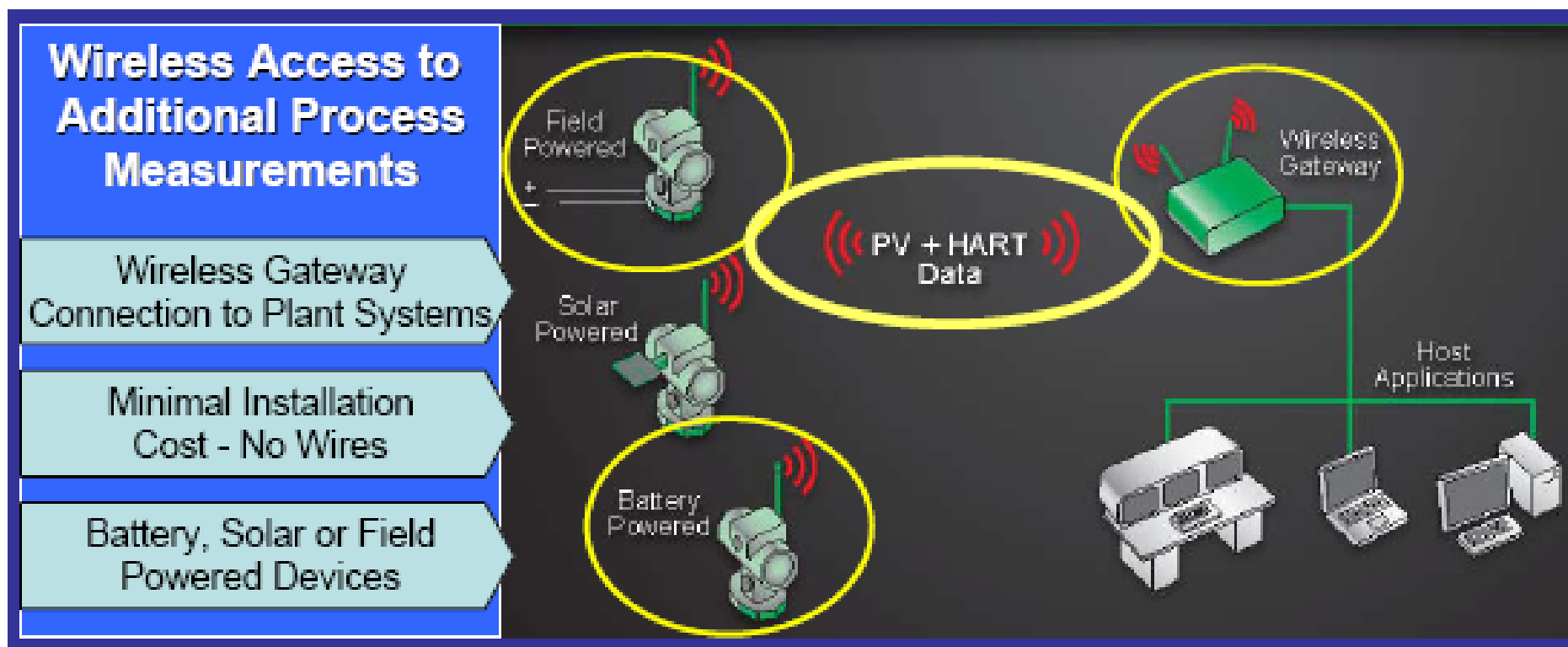
- Wireless FF
 - 将FF的应用规范移植到SP100上





Wireless HART

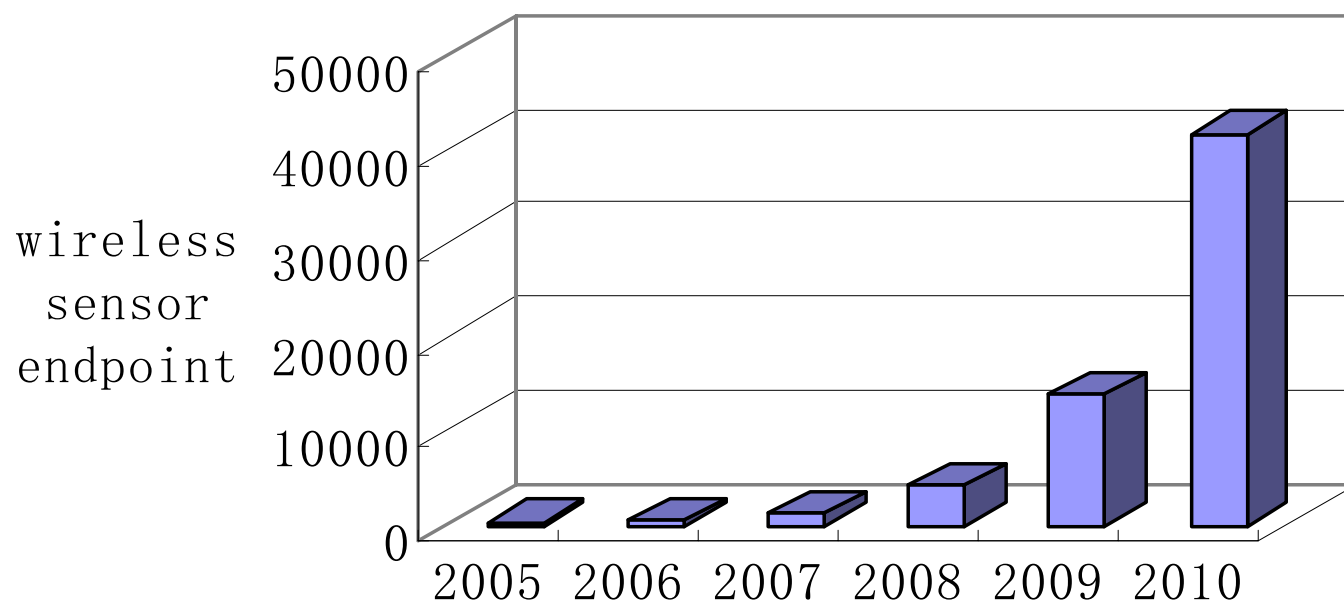
- 2007年4月发布了征求意见稿





无线技术的应用前景

- On World 对未来5年工业无线产品的市场增长的预测





行业应用前景

- On World 预测未来无线技术应用增长最快的行业:

- Oil and gas
- Water/wastewater
- Chemical/petrochemical
- Electric power
- Automotive



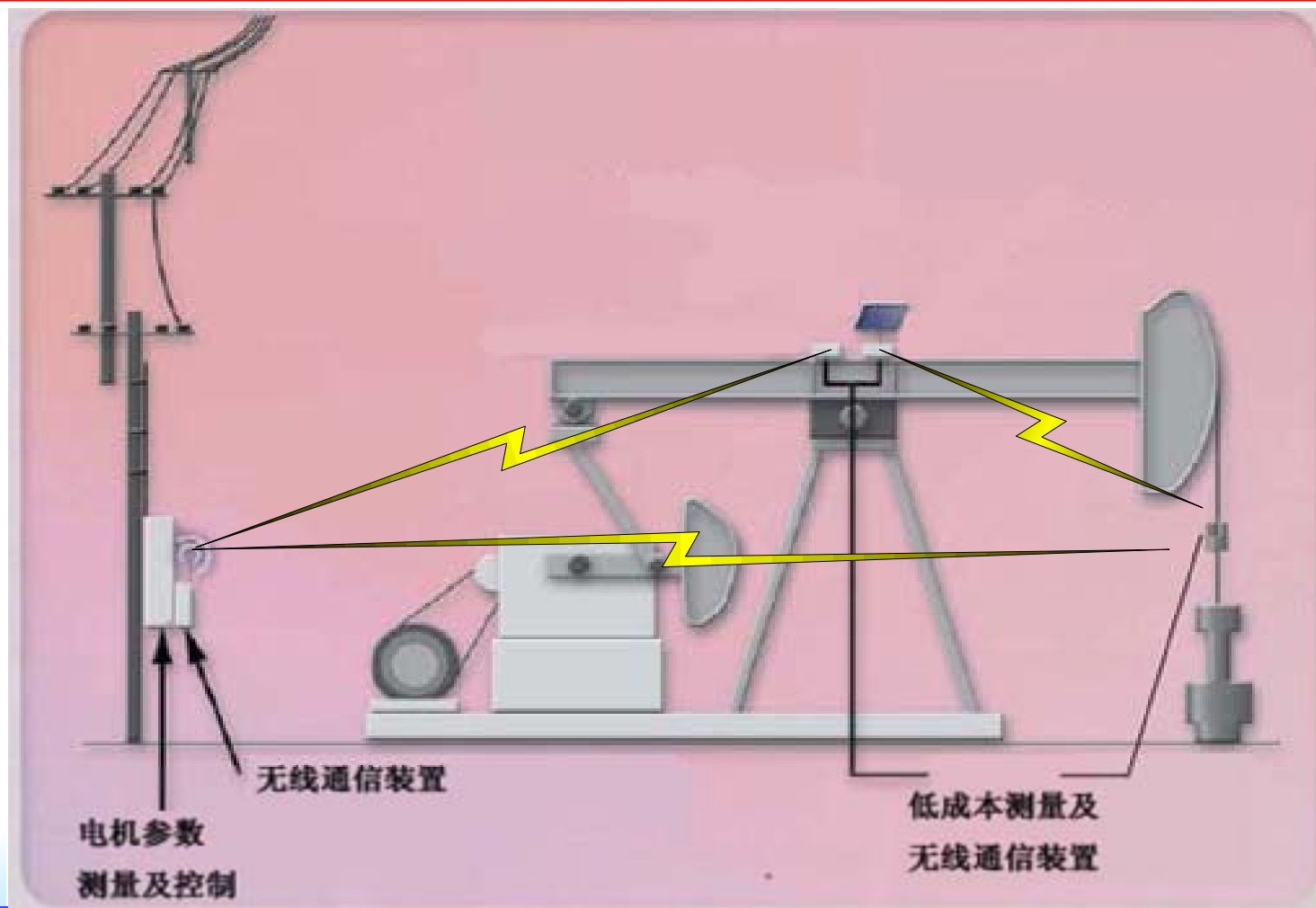


石油与天然气

- 应用需求
 - 油井系统节能
 - 降低维修费用
 - 提高管理水平
 - 电机、油/水泵的状态监控
 - 安全防盗



单油井现场控制





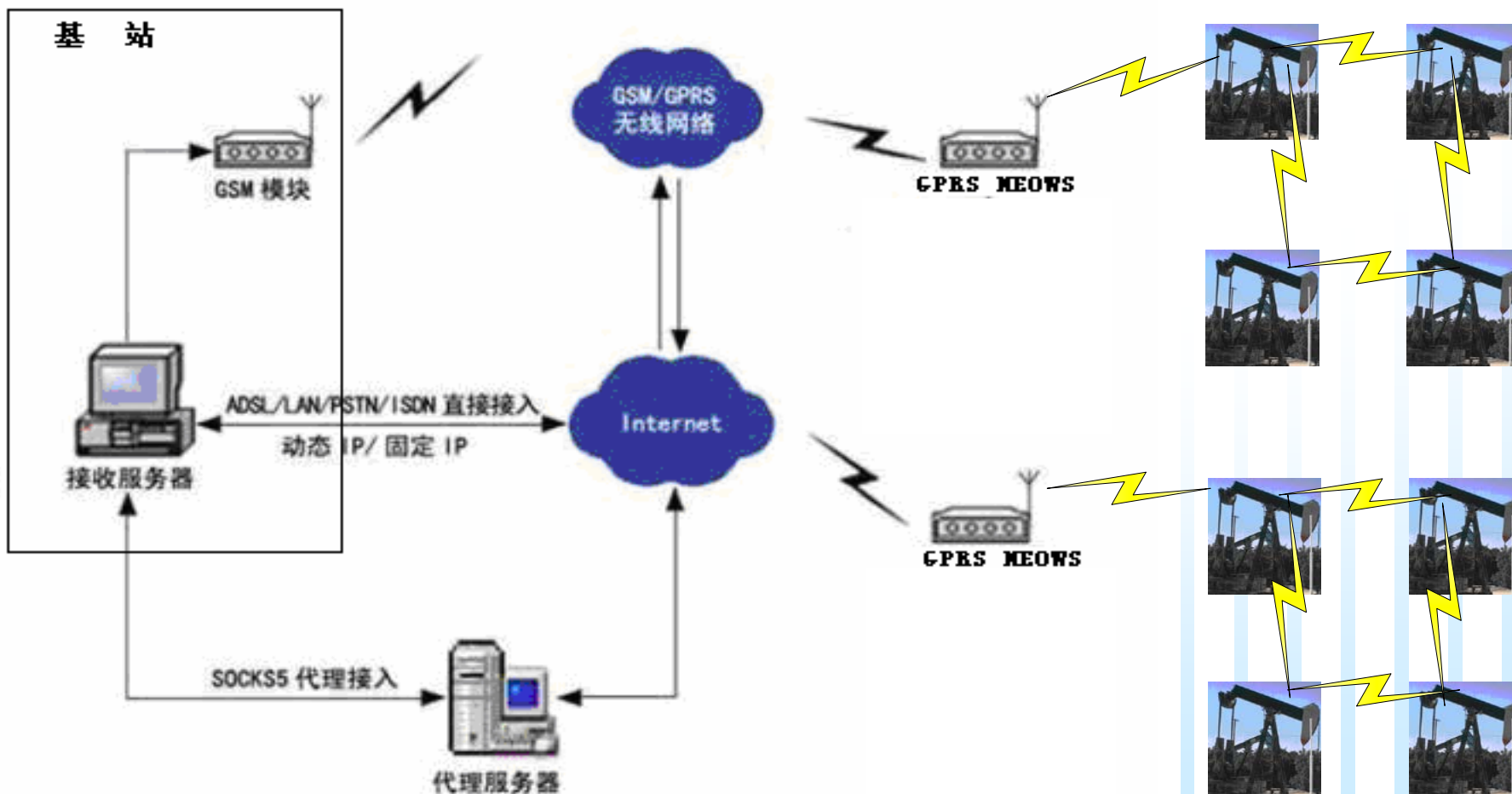
蒸汽注入监测

- 远程
无线
接收器
- 温度
- 压力



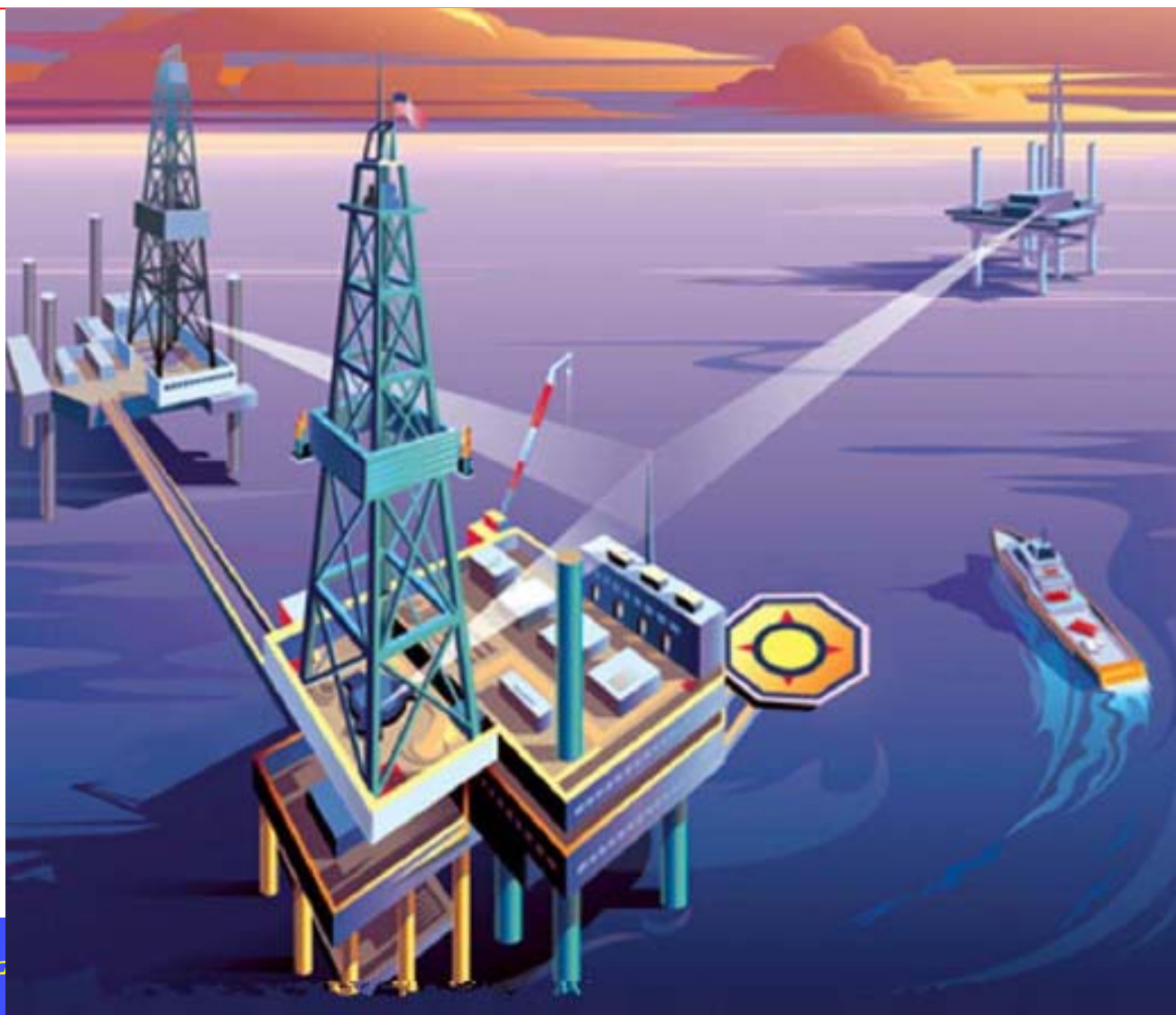


覆盖采油区的无线网络





海上钻井平台监控





石化行业

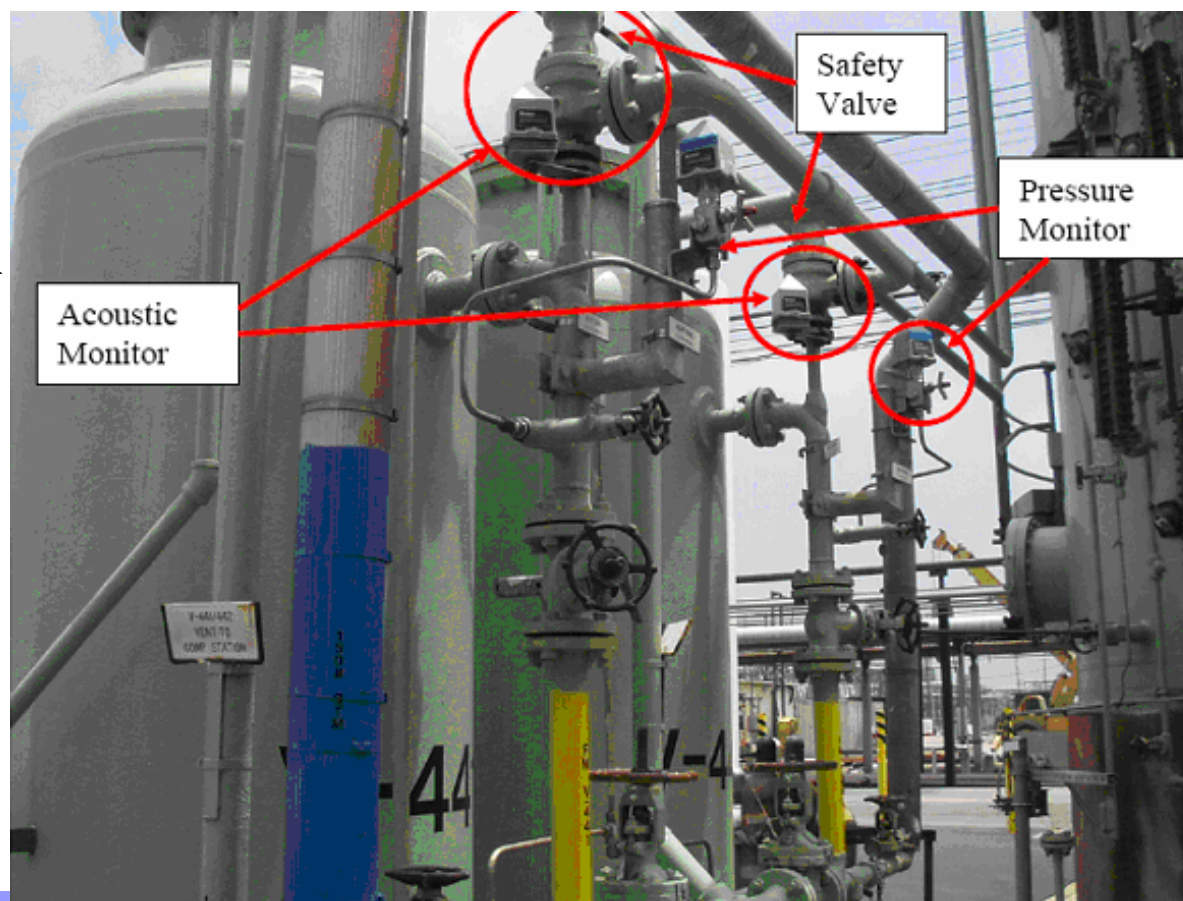
- 检测减压阀及止泻阀的泄漏情况。

- 欧洲主要的石化公司报告

- 投资: \$3800

- 年收益:

- \$1,500,000





蒸汽疏水阀监测

- 疏水阀故障率15%
- 每1000英镑的蒸汽损失\$8
- 投资汇报率 0.7年





储罐报警监测

- 与精炼厂相邻的储罐区有过载的危险
- 安装有线报警系统的成本超过\$500,000
- 无线报警系统的成本低于\$50,000, 每个储罐的安装时间低于1小时





污水处理

- 环境限制，难以布线。
- 利用无线技术实现对远程传感器信息的实时采集。
- The Orange County Water Reclamation, FL.
- 40-acre facility.





旋转设备监测



- 大规模滚筒脱水过程
- 高温热电偶



Precision tumble dryer

- 温度控制对产品质量很关键
- 高精度无线RTD测量精确的干燥温度



钢铁行业

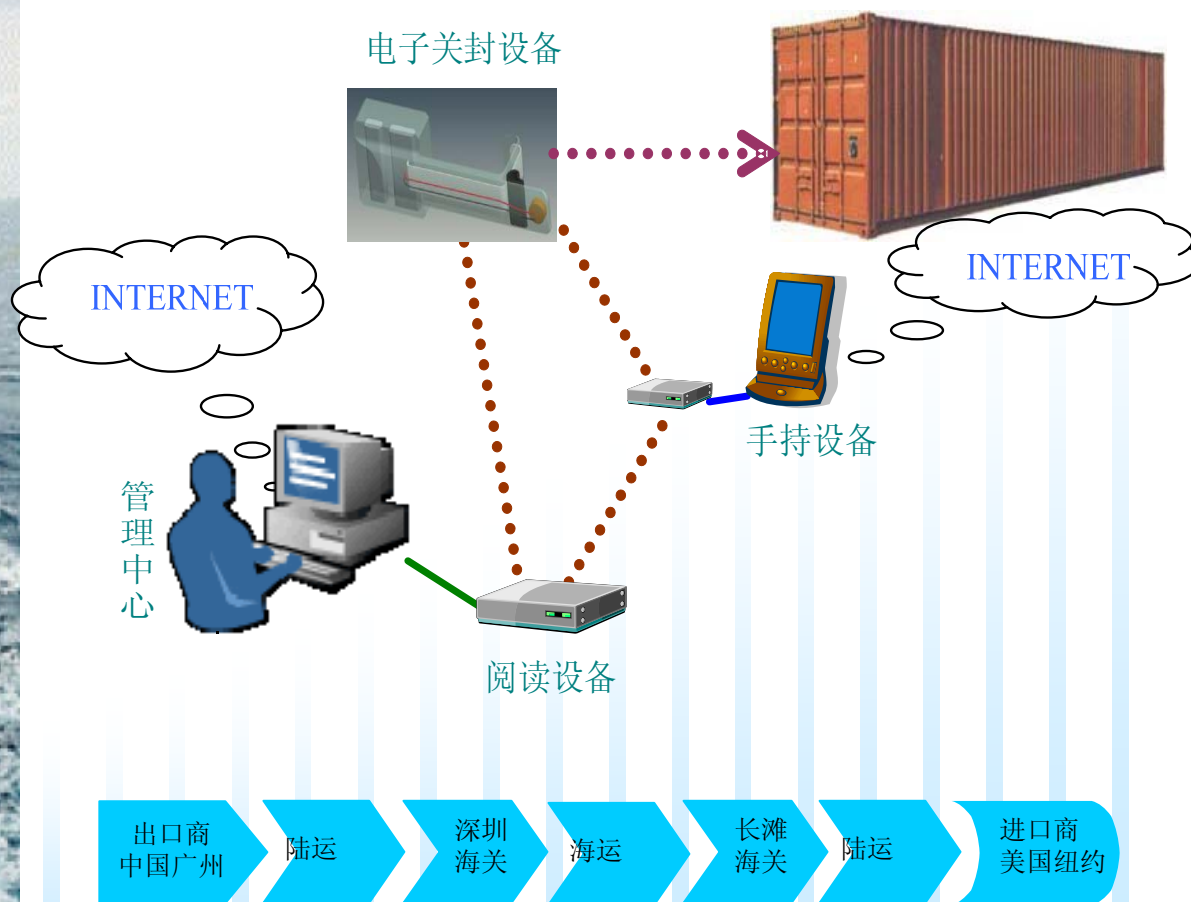
- 恶劣环境下的监测



压力传感器对喷杆的水流进行监测

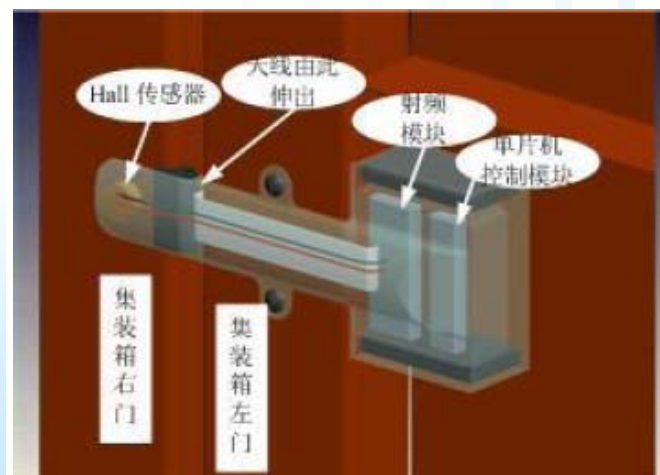
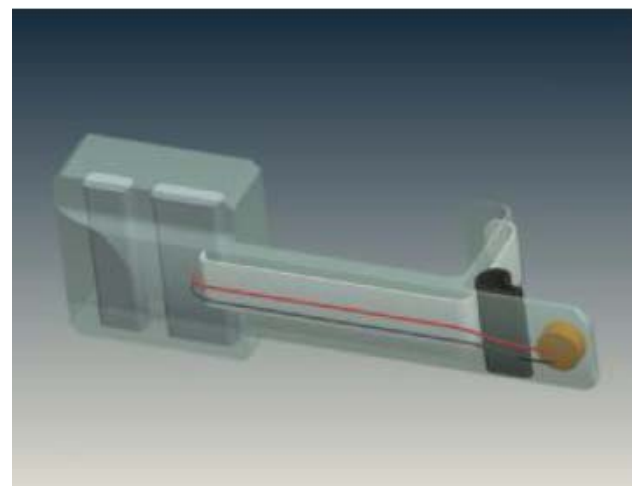
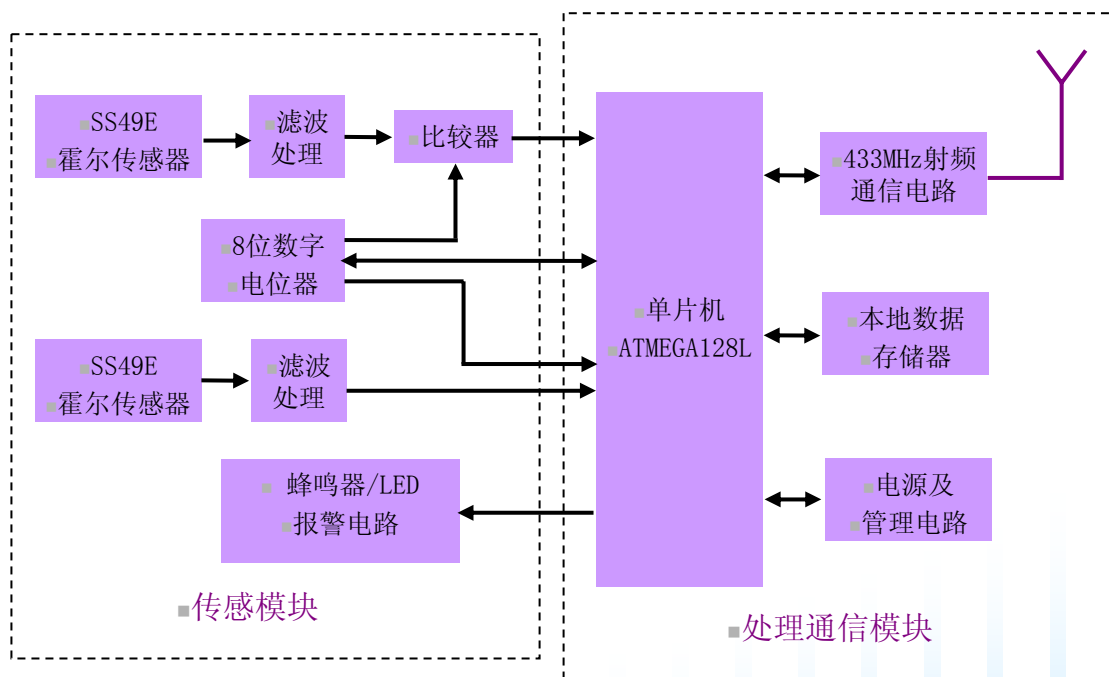


智能集装箱安全网络





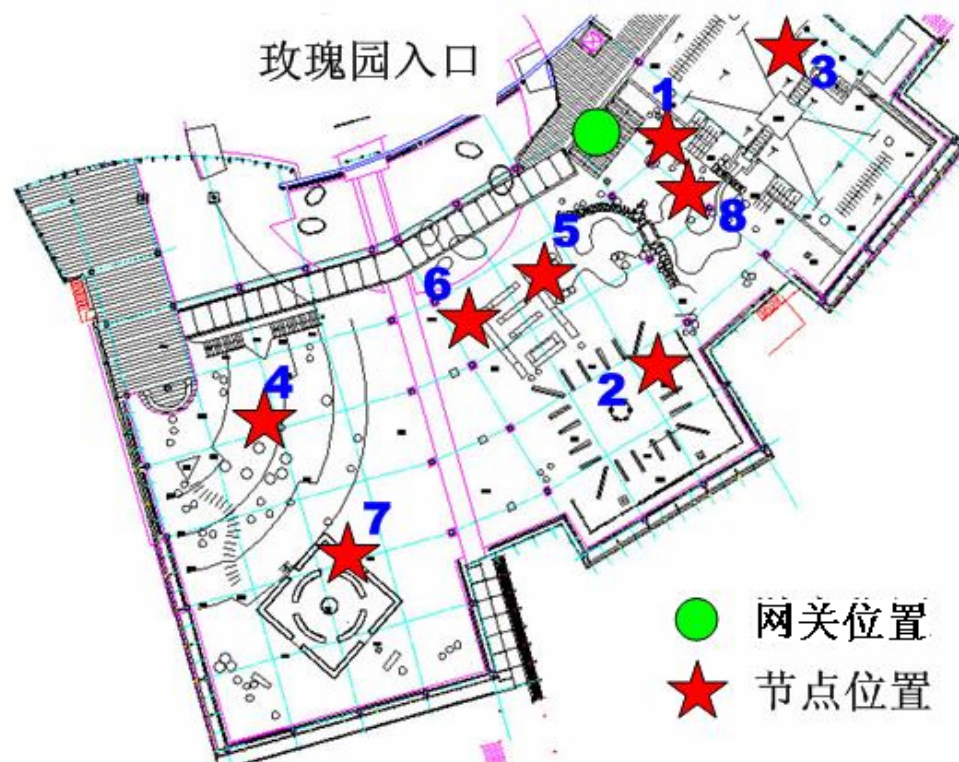
电子关封





温室环境监控

- 由大量可监测空气温度、空气湿度、日照强度等环境参数的微传感器节点通过无线的方式互联构成的网络化系统，对大型温室的环境进行自动监控。





系统特点

- 布设灵活方便，工程成本低。
- 系统的鲁棒性高，单个节点的损坏不会影响系统的正常运行，
- 空间分辨率高，可实现高密度的精细环境参数监测。
- 易于使用和维护，可以长期在无人值守的条件下运行。





结束语

- 无线传输进入工业控制领域的趋势无可置疑。市场预测认为再过四、五年，即2010年前，大多数仪表和自动化产品都将嵌入无线传输的功能。
- 无线传输不适用于高速控制的场合。但是可预见的技术发展表明，对大多数监控和慢速控制场合，它足够可靠，也就是说可以用在将近80%的自动化和过程控制场合。
- 适应工业应用要求的无线通信的标准正在制订过程中，其发展和市场开发值得我们重视。
- 就目前的技术发展趋势，无线通信将在较长的一段时间内与现有有线通信系统配合使用。