

第8章 无线低速网络

物联网导论

Introduction to Internet of Things





更全面的互联互通是物联网的特点之一。**无线低速网络协议**能够适应物联网中智能程度较低设备的特征。

本章将介绍典型的无线低速网络协议及无线传感网的组网技术。



内容回顾

- 第7章介绍了典型的无线宽带技术
 - 无线信道的新特点以及宽带网络的定义
 - Wi-Fi/802.11的架构，物理层，介质访问控制层的特点以及数据链路层数据帧结构。
 - WiMAX/802.16的架构，物理层，介质访问控制层的特点和协议。
- 本章介绍典型的无线低速网络传输协议（蓝牙/红外/802.15.4&ZigBee），并较为详细地讨论了无线传感网组网实现。





本章内容

8.1 低速网络协议需求

8.2 无线低速网络协议

8.3 无线传感网协议实现

8.4 IPv6网际互联

为什么除了高速网络协议，物联网还需要低速网络协议？





Q 为什么需要低速网络协议？

- 物联网背景下连接的物体，既有智能的也有非智能的。
- 适应物联网中那些能力较低的节点
 - ✓ 低速率
 - ✓ 低通信半径
 - ✓ 低计算能力，和低能量的要求
- 需要对物联网中各种各样的物体进行操作的前提就是先将他们连接起来，低速网络协议是实现全面互联互通的前提。



本章内容

8.1 低速网络协议需求

8.2 **无线低速网络协议**

8.3 无线传感网协议实现

8.4 IPv6网际互联

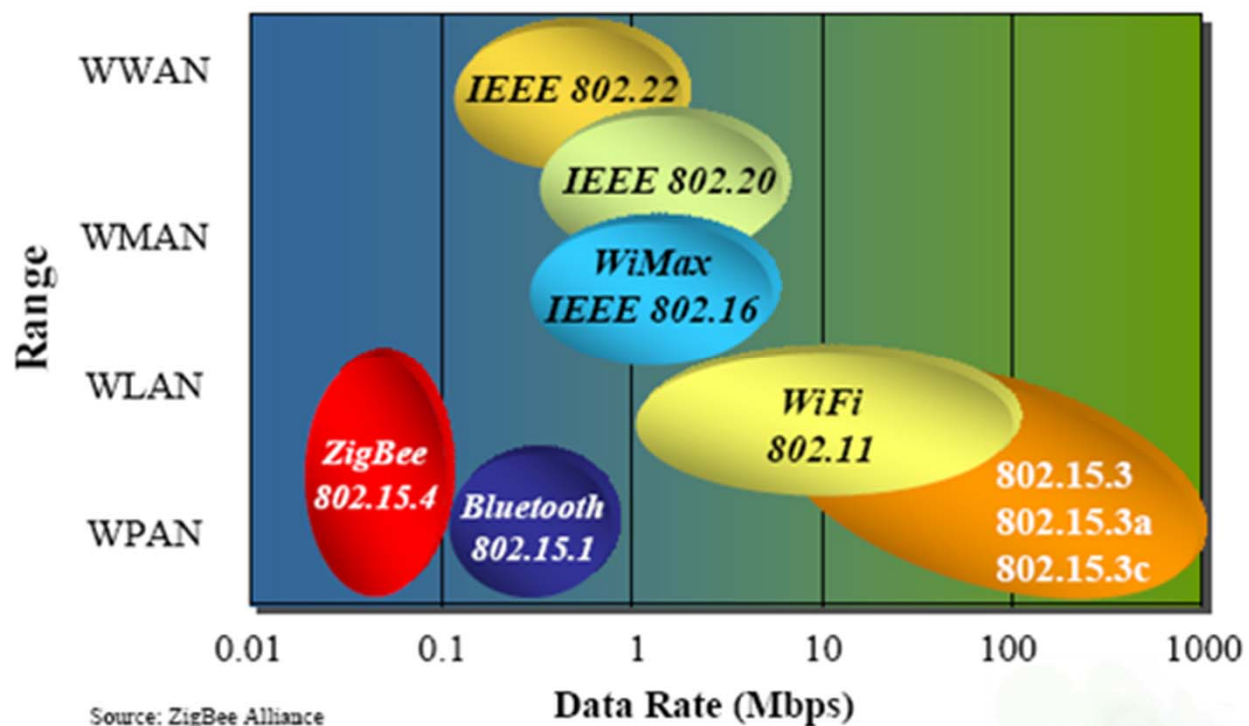
典型的无线低速网络协议有哪些？各有什么特点？





8.2 无线低速网络协议

典型的无线低速网络协议:



Source: ZigBee Alliance

- 蓝牙
- 红外
- 802.15.4/ZigBee



✓ 蓝牙 (Bluetooth)

- **蓝牙技术**是一种短距离低功耗传输协议，最早始于1994年，由瑞典的爱立信公司研发。
- 采用的是调频技术（frequency-hopping spread spectrum），频段范围是2.402GHz-2.480GHz。
- 通信速率一般能达到1Mbps左右，新的蓝牙标准也支持超过20Mbps的速率。
- 通信半径从几米到100米左右不等，常见为几米左右。



典型无线低速网络

蓝牙

红外

802.15.4/ZigBee



☑ 蓝牙和Wi-Fi区别

• **Wi-Fi**的定位目标是为了取代网络应用中的有线设备，能够真正的实现从有线到无线的转变，他可以用来传送各种文件，视频，音频，实现互联网的各种应用。

• **蓝牙**主要是为了替换一些个人用户携带设备的有线，如耳机，键盘等。这些设备对带宽的要求相对较少，或者说不是经常使用，比如手机间的传送小文件，或者说这些设备的资源拥有量（电量，计算资源等等）相对较低。



典型无线低速网络

蓝牙

红外

802.15.4/ZigBee



☑ 红外 (Infrared)

• **红外通信技术**利用红外线传输数据，比蓝牙技术出现更早，是一种较早的无线通信技术。

• 特点

✓ 红外通信采用的是875nm左右波长的光波通信，通信距离一般为1米左右。

✓ 设备体积小、成本低、功耗低、不需要频率申请等优势

• 缺点

✓ 设备之间必须互相可见

✓ 对障碍物的衍射较差



典型无线低速网络

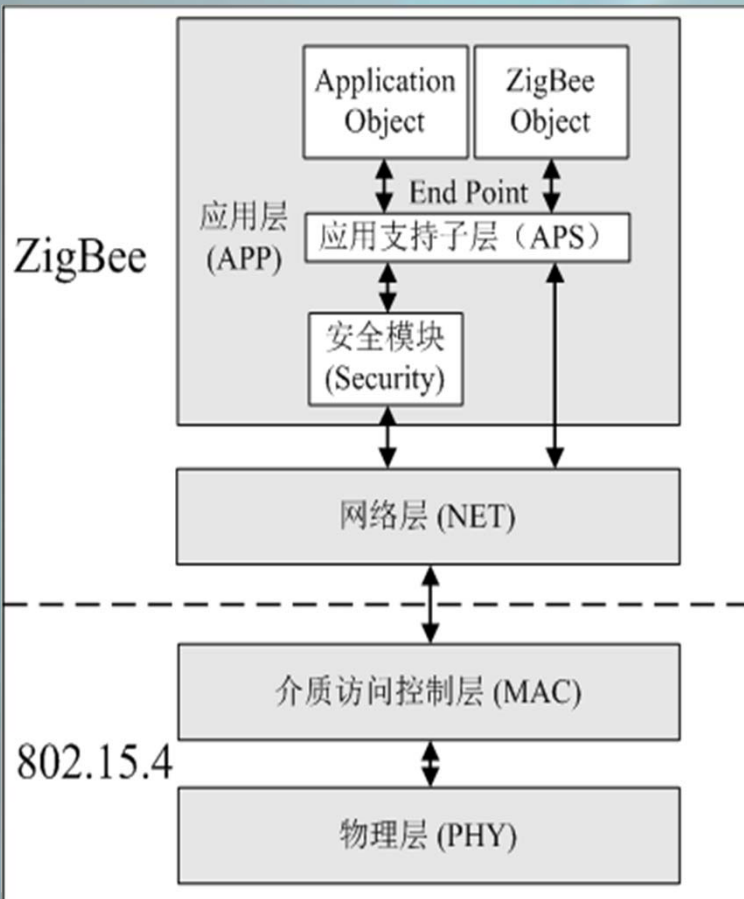
蓝牙

红外

802.15.4/ZigBee



802.15.4/ZigBee



802.15.4/ZigBee

是无线传感网领域最为著名的无线通信协议

• ZigBee主要定义了网络层、传输层以及之上的应用层的规范

• 802.15.4主要定义了短距离通信的物理层以及链路层规范



典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



✓ 802.15.4 物理层

- **频段：** 3个频段，均为国际电信联盟电信标准化组定义的用于科研和医疗的开放频段，包括
 - ✓ 868.0-868.6MHz，主要为欧洲采用，单信道；
 - ✓ 902-928MHz，北美采用，10个信道，支持扩展到30；
 - ✓ 2.4-2.4835GHz世界范围内通用，16个频道。
- **传输技术：** 最早为直接扩频，后来可采用调频、调相等多种技术。



典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



☑ 802.15.4介质访问控制层

- 介质访问控制层（MAC）控制和协调节点使用物理层的信道
- 802.15.4采用载波侦听多路访问方式(CSMA/CA)，与802.11（Wi-Fi）类似。
 - ✓ 传输之前，先侦听介质中是否有使用同一信道的载波存在，若不存在说明信道空闲，将直接进入数据传输状态；
 - ✓ 若系统检测到存在载波，则在随机退避一段时间后重新检测信道，退避的时间长短由具体的协议指定。



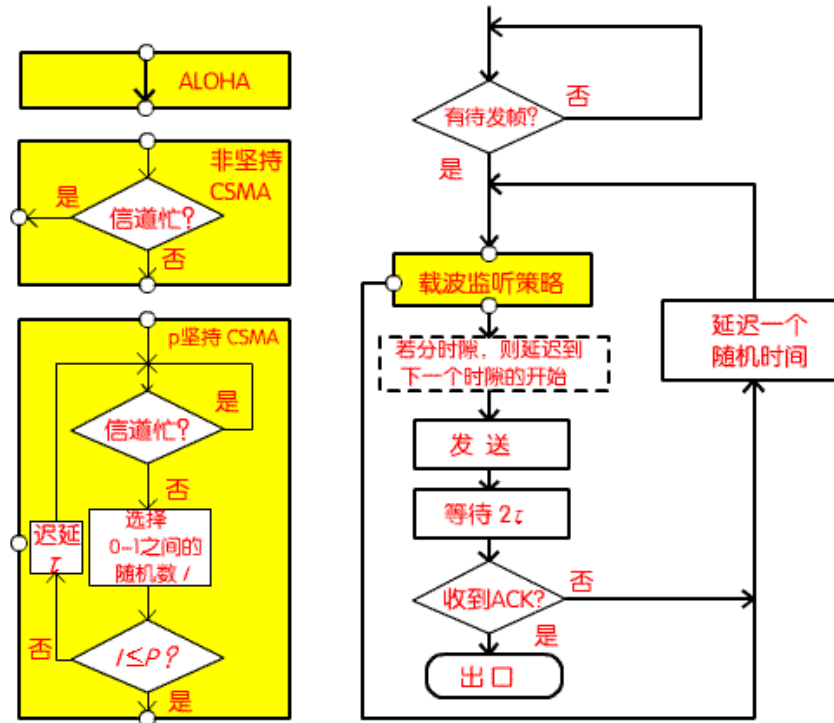
典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



CSMA/CA回顾



CSMA 随机接入过程的流程图



典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



✓ ZigBee 网络层

网络层功能：路由，新节点和路径的发现，决定一个节点属于某一个子网络等。

ZigBee网络层采用距离矢量路由协议（AODV）

- ✓源节点广播一个路由请求给它的所有邻居
- ✓邻居节点在收到消息后，再广播收到的消息给它们的邻居，如此直到消息到达目的节点。
- ✓当目的节点收到路由请求消息以后，目的节点返回一个路由回复给源节点。
- ✓回复不再以广播方式发送到源节点，而是沿着路由请求数据包从源节点到目的节点的路径，这样源节点就可以按照这条路径发送消息到目的节点了。



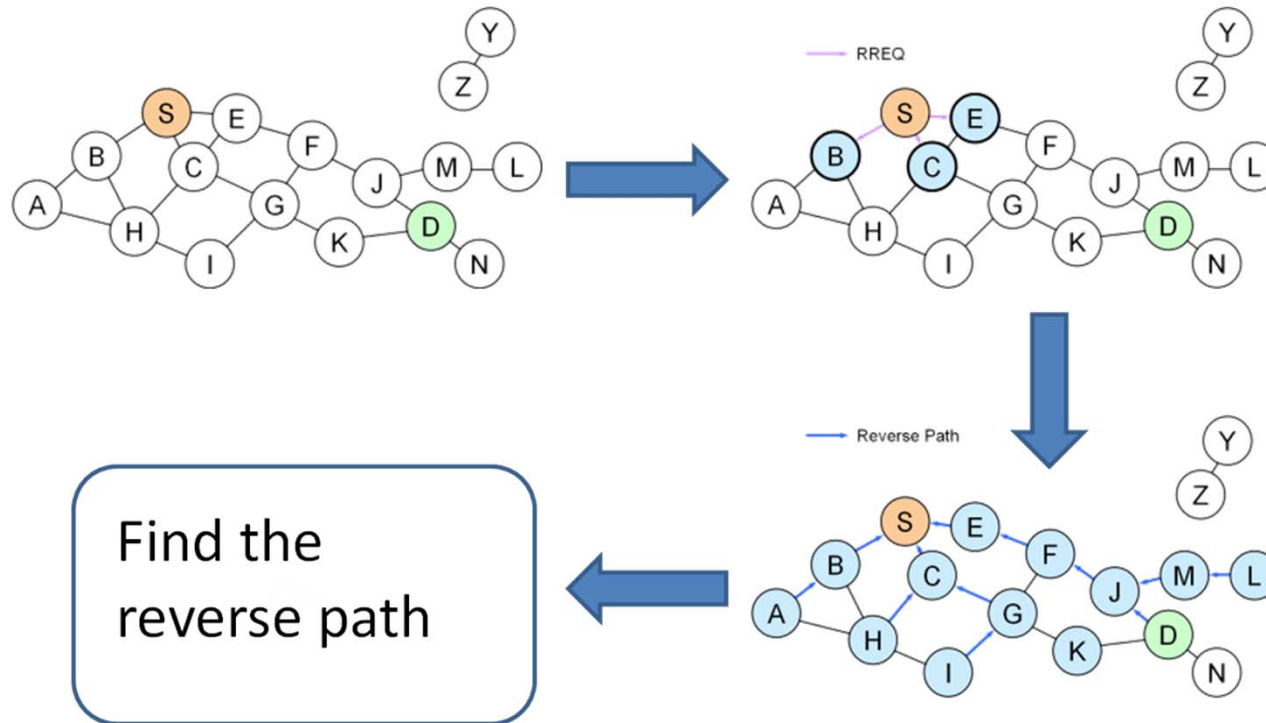
典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



☑ 距离矢量路由协议 (AODV)



典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



☑ ZigBee 网络层以上

网络层以及上提供了向终端用户的接口

与互联网类似，在网络层以上：

- 互联网模型中需要提供不同类型的传输服务（比如TCP协议和UDP协议）
- 在传输协议上还需要提供各种基于不同传输协议的应用（比如FTP， HTTP等等）。



典型无线低速网络

蓝牙

红外

802.15.4/ZigBee



☑ ZigBee与常用协议比较

	ZigBee™ 802.15.4	Bluetooth™ 802.15.1	Wi-Fi™ 802.11b	GPRS/GSM 1XRTT/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, Email	WAN, Voice/Data
System Resource	4KB-32KB	250KB+	1MB+	16MB+
Battery Life(days)	100-1000+	1-7	.1-5	1-7
Nodes Per Network	255/65K+	7	30	1,000
Bandwidth (kbps)	20-250	720	11,000+	64-128
Range(meters)	1-75+	1-10+	1-100	1,000+
Key Attributes	Reliable, Low Power, Cost Effective	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality



典型无线低速网络

蓝牙
红外

802.15.4/ZigBee



本章内容

8.1 低速网络协议需求

8.2 无线低速网络协议

8.3 **无线传感网协议实现**

8.4 IPv6网际互联

无线传感网协议实现需要注意哪些问题?





Introduction to Internet of Things

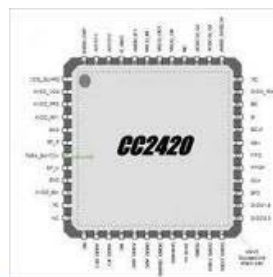
8.3 无线传感网组网：物理层设计

链路特点

- 动态性 (Dynamic)
- 非对称性 (Asymmetric)：两个节点之间一个方向链路质量好，另一个方向质量非常差。
- 空间关联性 (Spatial Correlation)：因为位置相近的节点通常有相似的环境。
- 时间关联性 (Temporal Correlation)

物理层设计应当支持802.15.14模块，如CC2420，同时满足：

- 低能量消耗
- 低通讯半径
- 低通信带宽



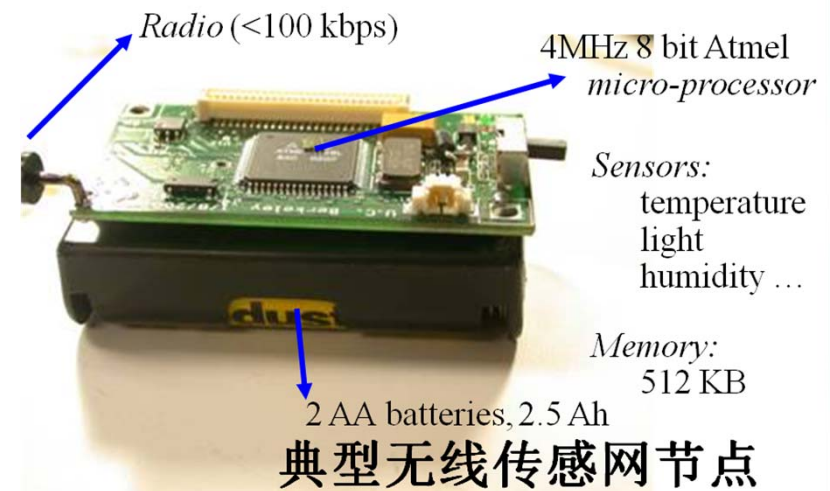


8.3 无线传感网组网：MAC层设计

无线传感网节点特殊性：

- 节点功能小 → 计算不能太复杂
- 节点能量少 → 尽量减少不必要传输
- 节点通信范围小 → 需要多跳网络设计
- 节点内存小 → 不可能保存全部路由表
- 节点工作环境复杂 → 高适应性协议

MAC层：沿用CSMA/CA





8.3 无线传感网组网：MAC层设计

无线收发模块占用大部分电量消耗！

典型无线传感网节点各个模块能量消耗

设备	状态	电流
CPU	工作(active)	1.8mA
	空闲(idle)	54.5 μ A
内置flash	编程(program)	3mA
	擦除(erase)	3mA
无线收发模块	发送数据 (TX,0dBm)	17.4mA
	接受数据和侦听(RX)	19.7mA
	空闲 (idle)	21 μ A



Q MAC层设计：如何降低能量消耗？

无线收发器件（radio transceiver）工作时通常处于三种状态（发送，侦听，空闲状态），发送和侦听状态为工作状态，空闲状态浪费能量。

•低功率侦听协议

- ✓采样侦听
- ✓链路层调度

采样侦听

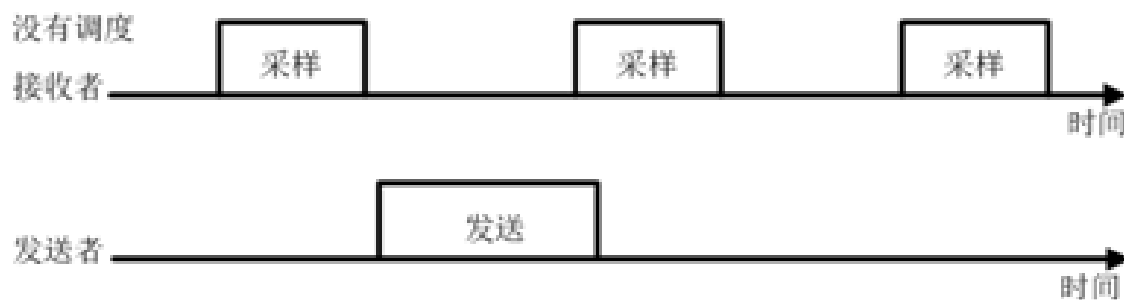
- ✓无线收发模块在没有数据的时候关闭
- ✓定时采样获取信道的信息



Q MAC层设计：采样侦听的问题

•假设采样周期为 T ，发送者在发送数据的时候如何保证接受者能够收到？

- ✓保持发送数据的时间长度不少于 T 的话，接收者就能够采样到发送者发送的数据
- ✓然后接收者调整至接收状态，正常接收数据。

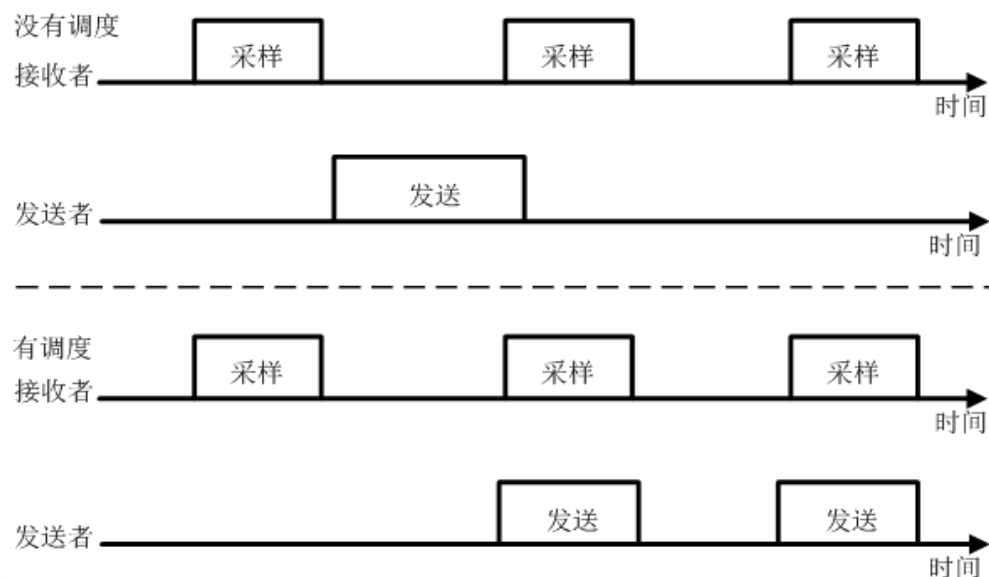




Q MAC层设计：采样侦听的问题（续）

仍然有问题：发送者每次发送最常需要持续一个采样周期的时间，还是会带来不必要的能量损耗。

更好的方法：同步发送者和接收者达到更高效率→调度





8.3 无线传感网组网：网络层设计

主要特点：

- ✓无线传感器网络中的链路是不可靠的
- ✓无线传感器节点的功能和资源极其受限的，使得节点不能进行很复杂的计算，测量以及维护庞大的路由表。

链路质量成为影响路由协议性能的重要指标。许多无线传感器网络路由协议在其路径选择过程中均考虑了链路质量。ETX是广泛使用的路径选择指标，可实现无线传感网典型的链路测量方法。

两类典型的网络层路由协议：



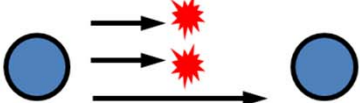
- ✓数据收集协议CTP
- ✓数据分发协议Drip



✔ ETX: 路径选择指标

ETX: (Expected Transmission Count), 传输成功每个包需要的总传输次数, 一条路径的ETX越小代表在这条路径上引起的总传输次数最小。

Link throughput $\approx 1 / \text{Link ETX}$

<u>Delivery Ratio</u>		<u>Link ETX</u>	<u>Throughput</u>
100%		1	100%
50%		2	50%
33%		3	33%



✔ ETX计算

- 假设链路有ACKs和重传

$$P(\text{TX success}) = P(\text{Data success}) \times P(\text{ACK success})$$

$$\begin{aligned} \text{Link ETX} &= 1 / P(\text{TX success}) \\ &= 1 / [P(\text{Data success}) \times P(\text{ACK success})] \end{aligned}$$

- 实际计算ETX

$$P(\text{Data success}) \approx \text{measured fwd delivery ratio } r_{\text{fwd}}$$

$$P(\text{ACK success}) \approx \text{measured rev delivery ratio } r_{\text{rev}}$$

$$\text{Link ETX} \approx 1 / (r_{\text{fwd}} \times r_{\text{rev}})$$

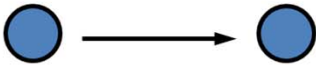
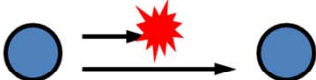


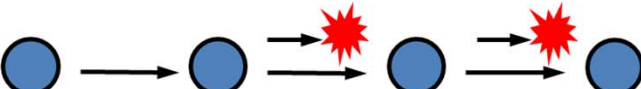


✓ 路径ETX

通过把传输代价最小化，ETX提高了带宽利用率，有效减少了传感网能量消耗。

通过测量双向链路质量，ETX能有效避免非对称链路。

Route ETX = Sum of link ETXs

	<u>Route ETX</u>	<u>Throughput</u>
	1	100%
	2	50%
	2	50%
	3	33%
	5	20%



✔ 数据收集协议：CTP

CTP：（Collection Tree Protocol）是目前广泛使用的数据收集协议之一，可在TinyOS中实现。

基本过程：

- ✔初始化阶段: 网络中每个节点广播自己到汇聚节点的路径的ETX。
- ✔每个节点收到广播包之后，依据邻居节点广播的路径ETX，动态选择父节点，使得自己到汇聚节点的路径ETX尽量小。
- ✔经过不断更新，网络中的每个节点都能够选择到一条到汇聚节点ETX之和最小的路径。



☑ CTP协议基本特点

- **链路质量：** 综合多方面信息。
 - ✓ 主动交换控制包估计+被动侦听数据包动态更新
 - ✓ 考虑网络层队列溢出信息以避免拥塞的节点
- **控制包发送：** 使用Trickle算法自适应控制发包频率，使得网络不变化，发送包数量很少；网络一旦变化，迅速更新整个网络。
 - ✓ 网络稳定时二进制增长发包间隔，以减少发送包的数量。
 - ✓ 发生环路等异常时缩短发包间隔至最小，使网络及时恢复到正常



☑ 数据分发协议：Drip

数据分发协议的作用是将数据包可靠传输到网络中的每个节点。无线传感网中广泛使用的是Drip协议。

基本工作方式：

- 为每个数据项对应一个版本号，版本号越高表示数据越新。
- 每个节点周期性广播数据项的版本信息
- 当一个Drip节点发现邻节点版本信息更高时，则向邻节点发送请求包。
- 收到请求包的节点广播该数据项的数据包。



本章内容

- 8.1 低速网络协议需求
- 8.2 无线低速网络协议
- 8.3 无线传感网协议实现
- 8.4 **IPv6网际互联**

无线低速网络协议如何纳入IPv6框架？





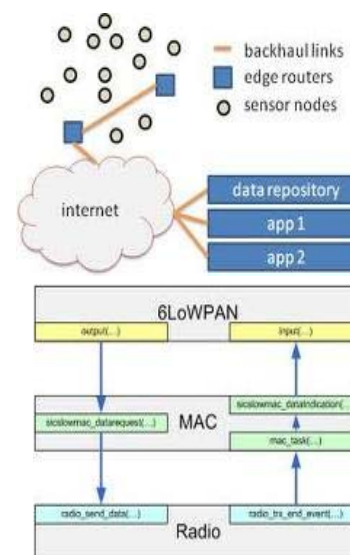
8.4 IPv6网际互联

IPv6已在高速互联网协议中得到广泛使用，正逐步移植到低速网络协议中。

6LoWPAN: 统一框架下的互联协议，连接运行IPv6高速互联网协议的网络和运行低速协议的其他网络。

挑战:

- ✓不同传输能力挑战
- ✓不同设备标记和识别挑战
- ✓不同设计目标挑战
- ✓不同设备管理挑战





本章小结

内容回顾

本章介绍了典型无线低速网络协议，重点讨论了802.15.4/ZigBee协议各网络层次的特点，并就无线传感网协议实现需要注意的问题展开谈论。

重点掌握

- 了解物联网需要低速网络协议的原因。
- 对比Wi-Fi，理解蓝牙和红外技术的适用范围和特点。
- 了解802.15.4对物理层和链路层的规定。
- 理解距离矢量路由协议的原理。



本章小结

重点掌握（续）

- 理解无线传感网物理层和MAC层的链路特点。
- 掌握MAC层为降低功耗采用的低功耗侦听协议（采样侦听和调度）。
- 理解无线传感网网络层设计时链路质量的重要性。
- 掌握链路质量的评价标准ETX的原理和计算。
- 了解无线传感网网络层典型路由协议CTP和Drip。

GreenOrbs
Pervasive Computing
to IoT
of
Introduction
OceanSense
Things

zigBee Web ITU BlueTooth
nesC ETC
PDA IPv6 RFID Database
TinyOS ITS
Smart Planet CDMA SQL Smart Grid CPS



Thank you!



Internet of Things