

责任编辑: 王莹

Sensor Technology

技术专题

Special Report

## 用无线传感器组成无线传感器网络

Placing wireless sensors anywhere - delivering low power & reliable wireless sensor networks over long distances

■ Lance Doherty系统工程师 Jonathan Simon系统工程总监 Thomas Watteyne系统工程师  
Ross Yu产品市场经理 凌力尔特公司Dust Networks 产品部

**摘要:** 物联网的愿景之一是能够测量以前从未测量过的变量。无论应用是监视基础设施老化(例如桥梁、隧道或电力传输线的老化),还是实时提供停车及交通信息,都需要无线传感器网络(WSN)提供与有线网络类似性能,而且适合实际部署。传感器网络要能够扩展至包含大量无线节点,而且在很多情况下,需要跨越很长的距离。本文网络版地址: <http://www.eepw.com.cn/article/263361.htm>

**关键词:** 无线传感器; 长距离; 低功耗; 无线传感器网络

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2014.9.005

### 促进无线传感器网络广泛采用的

#### 关键因素

无线传感器网络要想得到广泛采用,必须适合实际部署,并能够可靠地运行很多年(通常超过10年)。为了实现这样的目标,无线传感器网络必须满足一些关键要求:

- 在任何地方都能够放置传感器

一测量点必须置于最适合检测的地方,但这种地方未必最适合通信。因此,放置传感器节点的地方常常未必便于通信连接或便于连接电力基础设施,而是常常处于富挑战性的RF环境中(例如,靠近大地、在隧道中、在汽车底下或深入机器内部)。

- 很少需要维护—无线传感器网

络必须能够在绝大部分情况下进行自我维护,而且任何物理维护(例如更换电池)都必须在无需“上门服务”或没有技术人员到场的情况下完成。例如,在智能停车应用中,嵌入到街道下面的电池供电传感器仅在满足如下条件时才允许使用:其更换周期与道路定期维修周期相同,而道路定期维修通常为5至7年才进行一次。在其他应用中,无线传感器网络要能够连续使用10年以上。

- 通信可靠性—必须能够可靠地与所有传感器通信,尽管这些传感器可能位于非常严苛的RF环境中。

- 可扩展性—无线传感器网络必须满足各种类似但又不完全相同的部署要求,例如适合各种网络规模(无线传感器节点数量及覆盖的地域范围)、深度(即节点与数据出口点之间的无线跳转次数)及大小不同的数据流量等。

### 在不可预测的介质上建立可预测的网络

如果不做出折中,低功率难以实现—有很多无线传感器联网方法是针对低功耗运行情况而设计的。有些无线网络(例如ZigBee)仅在网络边缘处的检测设备上实现低功率,但任何传送节点都需要线路功率。其他一些网



图1 路径和频率多样性—如果在“绿色”箭头方向上的通信失败,那么节点D就会尝试使用“紫色”箭头所示的另一条通道

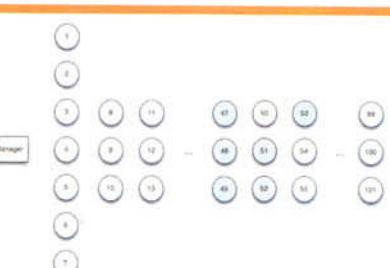


图2 深跳网络—灰色的节点在第50号节点覆盖范围内

表1 深跳网络的数据可靠性

|                |                |
|----------------|----------------|
| 节点数            | 100            |
| 数据包产生速率        | 每个节点每30秒约1个数据包 |
| 跳转深度           | 32跳            |
| 所发送的数据包数量      | 52天1700万个      |
| 原始单独传输(包括重试)次数 | 超过4亿次          |
| 丢包数            | 0(数据可靠性高达100%) |

络则引入了基本的占空比方法,称为“信标”,采用这种方法时,整个网络在很长的时段内停机,处于低功率休眠模式,但是这种方法牺牲了网络可用性和网络总体容量。然而,针对物联网的应用,无线传感器网络必须能够满足规模非常大的网络需求,并按照均匀的时间间隔发布数据。因此挑战是,在不牺牲可靠性或网络可用性的前提下实现低功率。

RF环境是不可预测—RF是一种不可预测的通信介质。在有线通信环境中,通信信号通过电缆系统屏蔽,与外界隔离,与此不同,RF露天传播,需要与周围环境互动。但是RF传输源有可能引起有源干扰。较常见的是多径衰落的影响,即RF信号遇到周围表面后,反射回来的异相信号可能衰减RF信号本身。手机用户每天都会遭遇多径衰落问题,例如手机可能在一个地点信号强度不佳,但是只需移动几厘米,信号强度就可得到改善。此外,多径衰落影响随时间变化而改变,因为附近的反射表面(例如人、车、门等)一般会移动。最终结果是,随着时间变化,任何RF通道都会遭遇信号质量显著变化的问题。不过,既然多径衰落对每个RF通道的影响是不同的,那么用通道跳频实现频率多样性,可以最大限度地减小多径衰落的负面影响。因此无线传感器网络面临的挑战就变成,能否在大型网

络上采用可多次跳转的跳频方法。

### 时间同步通道跳频网状网络

采用凌力尔特公司的时间同步通道跳频(Time Synchronized Channel Hopping, 简称TSCH)网状网络,可以实现可靠的低功率无线传感器网络,而且这种网络在某些最严苛的环境中已经得到证实。TSCH已经成为WirelessHART(IEC62591)等现有工业无线标准的基本构件,也是实现新兴和基于IP协议的无线传感器网络标准的有利部分。

在TSCH网络中,每个节点都有一个共同的时间标准,整个网络的准确度在几十微妙内。网络通信安排在各个时隙中,以实现低功率数据包交换、配对的通道跳频和全面的路径多样性。

低功率数据包交换—采用TSCH允许节点在预定的通信操作之间处于超低功耗的休眠状态。每个设备仅在发送数据包或检测相邻设备是否发送数据包时才处于工作状态。更重要的是,因为每个节点都知道自己的设定唤醒时间,所以每个节点都始终可用于转发相邻设备的信息。因此,TSCH网络常常达到<1%的占空比,同时保持网络完全可用。此外,因为每个数据包的收发时间都是设定好的,所以在TSCH网络中不存在网络

内数据包碰撞问题。网络可以很密集和增加规模,而不会产生逐渐衰减的RF自干扰。

配对的通道跳频—时间同步允许在每对发送器接收器上进行通道跳频,实现频率多样性。在TSCH网络中,每个数据包交换通道都会跳频,以避开不可避免的RF干扰和衰落。此外,不同成对设备之间的多通道传输可能同时在不同的通道上发生,从而扩大了网络带宽。

全面的路径和频率多样性—每个设备都有冗余路径,以克服由干扰、物理障碍或多径衰落引起的通信中断问题。如果一条路径上的数据包传输失败,那么节点将自动尝试下一条可用路径和不同的RF通道。与其他网状网络技术不同,TSCH网络不需要由电源供电的路由器和耗时的路径再发现。

基于TSCH的网络已经成功用于多种应用,例如智能停车应用<sup>[1]</sup>,在数据中心中监视能效<sup>[2]</sup>,用于工厂<sup>[3]</sup>中。诸如管道监视、桥梁及隧道的结构监视以及电力传输线监视等很多应用都要求无线传感器网络跨越很长的距离。然而,跨越这么长的距离建立无线网络并成功保持可靠性和低功率,需要一种更加富有挑战性的拓扑。按照定义,深跳网络意味着,来自最远节点的信息需要经过很多次跳转,才能到达目的地。尽管这么做能够使单一网络覆盖很大的地理范围,而且收发器的功率相对较低,但是这种方法有时会产生一个问题,即一个覆盖面积很大的网络是否能够成功保持所有无线节点都有均匀的数据流

责任编辑: 王莹

Sensor Technology

技术专题

Special Report

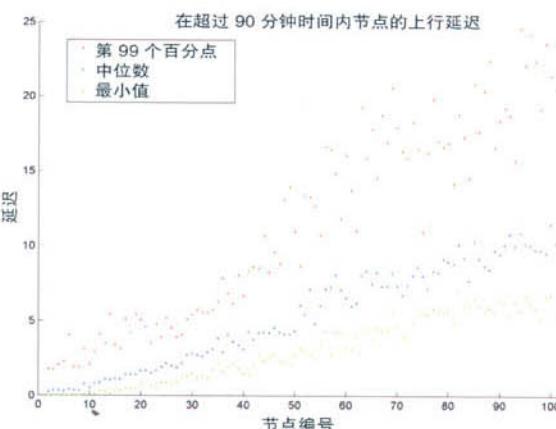


图3 数据包延迟 — 深跳网络中的数据包在预定的30秒延迟时间内可靠地传送

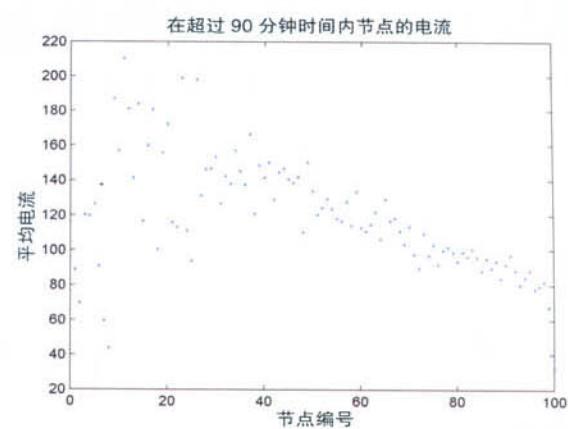


图4 节点平均电流 — 在这个深跳网络中，即使负载最重的路由器也仅消耗几百微安电流

量，以及是否能够以可接受的延迟和电流消耗，保持这样的数据流量。

### 案例分析—深跳网状网络

为了描述这类网络的特征，我们用Dust Networks的SmartMesh IP网络构建了一个100个节点、32跳的深跳网络，并对其进行测量。100个节点中的每一个都是每隔30秒产生并发送一个数据包，预计每个数据包的接收都在30秒的延迟时间内完成（即在同一节点产生下一个数据包之前完成）。

该深跳网络是由真实的无线设备构成的，其中7款设备（以编号1~7表示）直接与管理器通信。设备8~10通过上述7个节点通信，其余设备（设备11~101）在编号位于其前后3个设备的覆盖范围之内。例如，设备50在设备47、48、49、51、52和53的覆盖范围之内。在这种拓扑中，到达设备101的最小传输（跳转）次数为32，尽管实际上大多数数据包需要更多跳转次数。

截至本文截稿时，这个网络已经

连续运行52天。总共接收了1700万个数据包，由于跳转深度和重试，所以进行了总数超过4亿次的单独传输。在所发送的1700万个数据包中，一个都没丢，因此数据传输可靠性达到了100%。在这些数据包中，约针对2.5万个提交了“健康报告”，即节点周期性发送的诊断信息。

### 对延迟和电流消耗的分析

每个数据包在传感器节点上产生时以及在管理器上接收时，都有时间截，因此每个数据包的延迟都可以监视。图3所示是这个网络在一个超过90分钟的时段内的数据分布情况。正如所预期的那样，编号较大的那些节点，即处于网络较深处的节点，延迟时间较长，每个数据包的变化也较大，因为路径选择随深度加大而成指数上升。尽管这样，来自最远节点（编号101）的数据包全部在不到30秒的预定延迟时间内到达了目的地。

所有节点内部都保持一份所消耗

电池电量的数据，并周期性地向管理器报告这一信息。从这一信息中，可以画出整个网络的平均电流曲线，如图4所示。编号较小的节点之电流消耗最大，因为这些节点需要传输来自较远节点的数据流量。如图4所示，在这个32跳的深跳网络中，即使负载最重的路由器，平均电流消耗也仅为几百微安。既然电流消耗这么低，那么路由节点就可以用一对D-cell锂电池供电，可持续工作超过15年。

### 结论

在富有挑战性的应用中，基于时间同步通道跳频的SmartMesh IP网络通常提供>99.999%的数据可靠性，功耗也非常低。因为用相当小的锂电池可工作10至15年，所以无线传感器实际上可以放置在任何地方，从而可实现真正城市级的物联网应用。■

### 参考文献：

- [1]Streetline[R/OL].www.linear.com/docs/41387
- [2]Vigilent[R/OL].www.linear.com/docs/41384
- [3]Emerson Process[R/OL].www.linear.com/docs/41383