

设计和应用空间

基于 IPv6 的低功耗无线个人局域网（6LoWPANs）

摘要

本文调查了低功耗无线个人局域网（LoWPANs）的潜在应用场景和用例。本文为 LoWPAN 应用提供了多维的设计空间。本文对每个方向提供了一系列的用例和市场领域，这可能会对 6LoWPAN 工作组现已完成的工作有一定的利益和激励作用。本文并不提供一个完整的实际用例列表。

文档说明

本文不是一份因特网标准文档；本文只为提供信息而发行。

本文由因特网工程任务组（IETF）发行。它代表 IETF 社区言论。本文接收了公众的建议并由因特网工程指导委员会（IESG）改进和发行。关于因特网标准的更多信息请参阅 RFC5741 的节 2。

本文档的当前状态，勘误表和如何提供反馈等信息可以从这个网址得到：
<http://www.rfc-editor.org/info/rfc6568>。

版权声明

Copyright (c) 2012, 本文版权归 IETF 组织和文档的指明作者所有。

本文从属于 BCP 78 和 IETF 组织法律相关的 IETF 文档（<http://trustee.ietf.org/license-info>）从本文发布之日起生效。请仔细审查这些文档，它们描述了你对本文的权利和约束。从本文引用的代码必须包含简化 BSD 许可说明，如信托法律规定 4.e 节所描述的那样，本文提供的代码不会给出警告，如简化 BSD 许可里描述的那样。

本文可能包含来自 IETF 文档或 IETF 付费出版物或在 2008 年 11 月 10 日前可出版的文档的部分材料。这些材料的版权所有者可能未授权 IETF 组织在 IETF 标准程序外对这些材料进行修改。在没有得到这些材料的版权所有者的授权下，本文不可以在 IETF 标准程序外进行修改，并不允许在 IETF 标准程序外进行创建与之相关联的文档，除非是用于组织发行 RFC 文档或把它翻译成英语外的其他语言。

1、简介

低功耗和有损耗的网路（LLNs）通常指的是由高度限制节点（有限 CPU、内存、电量）组成的并通过一系列“有损耗的”链路（低功耗射频链路或电力线通信（PLC））进行连接的网路。它们的特点是低速率、低性能、低成本和不稳定的连接。一个 LoWPAN 是 LLN 的一个特殊例子，由服从 IEEE 802.15.4 标准[5]的设备组成。它们的典型特征可以总结如下：

- 有限的处理能力：通常最小的 LoWPAN 节点有一个 8 位处理器，时钟频率大概 10MHz。其他的还有 16 位或 32 位核心（通常是 ARM7），运行频率几十 MHz。
- 很小的存储容量：通常最小的 LoWPAN 节点只有几 K 字节的 RAM 和几十 K 字节的 ROM 或闪存。当节点的存储容量不断的增长（例如，IMote 有 64KB SRAM，512KB 闪存），LoWPAN 节点存储容量小的本质仍是一个挑战。
- 低功耗：LoWPANs 的无线射频通常是用电池供电的。它们的射频（RF）收发器工作电流通常只有 10 到 30mA，取决于使用的传输功耗等级。为了达到室内 30 米室外 100 米的通信距离，传输功耗设置为 0 到 3dBm。根据不同的处理器类型，CPU 本身也会消耗部分电能，通常有几十毫安。然而，CPU 消耗的电能可以减小一千倍如果切换到睡眠模式。
- 短距离：由 IEEE 802.15.4 定义的个人操作空间（POS）指的是 10 米范围内。在实际实施中，LoWPAN 射频通常能达到数 10 米，在空旷环境下能超过 100 米。
- 低速率：IEEE 802.15.4 标准定义的最高无线速率是 250kbit/s，这是当前部署应用最多的。作为选择，还定义了 3 种更低的速率有 20、40 和 100kbit/s。

和其他 LLN 一样，LoWPAN 可能不仅仅包含传感器节点，还可能包含致动器。例如，在一个农业环境，传感器节点用于检测低土壤湿度，然后发送指令来激活洒水系统。

在节 1.1 字义了通用技术和节 2 描述了 LoWPANs 的特征后，本文提供了一系列的用例和市场领域，这可能对 6LoWPAN 工作组现已完成的工作有一定的利益和激励作用。

1.1、技术

读者应该熟悉“IPv6 应用于低功耗无线个人局域网(6LoWPANs)：概述，设想，问题陈述，目标”[2]和“在 IEEE 802.15.4 网路上传送 IPv6 报文”[3]里所述的概念。

读者如果读过 6LoWPAN 邻居发现（ND）[6]，6LoWPAN 报头压缩[7]，和 6LoWPAN 路由需求[8]等 6LoWPAN 的具体信息会对理解本文更有帮助。

本文定义了以下词语：

LC（本地控制器）

一个逻辑功能实体，它的作用是协调和控制子节点的本地数据聚合，本地节点的状态管理等。一个 LoWPAN 里可能有多个本地控制器节点。

LBR（LoWPAN 边界路由）

一个边界路由通常位于 LoWPANs 边界或一个 LoWPAN 和其他 IP 网路之间。在 LoWPAN

边界上可能有一个或多个 LBRs。一个 LBR 负责授权在它服务的 LoWPAN 内进行 IPv6 前缀的传播。一个单独的 LoWPAN 网路也会有一个 LBR；LBR 为单独的网路提供前缀。

1.2、网路配置的前提

IEEE 802.15.4 标准区分了两种类型的节点，简化功能节点（RFDs）和全功能节点（FFDs）。这种区分是基于一些不常用的媒介访问控制（MAC）特征，本文不使用这种区分。

6LoWPANs 可以使用 route-over 或 mesh-under 架构来部署。因为使用 route-over 或 mesh-under 并不会影响本文所描述的用例中 6LoWPAN 技术的适用性，我们使用“6LoWPAN”来表示 route-over 或 mesh-under 网路。

在数据收集和远程控制中，与 LoWPAN 之外的节点进行通信变得越来越重要。中间 LoWPAN 充当链路层的转发节点或 LoWPAN 路由器，并把整个 LoWPAN 连接成一个多跳网路。LBRs 用于连接一个 LoWPAN 和其他网路，或连接其他的 LoWPANs 来形成一个扩展 LoWPAN。在 LoWPAN 节点获得 IPv6 地址和网路配置前，每个 LoWPAN 执行一个链路层配置，可以通过[6]所述的机制或使用一个协调器负责为链路层分配短地址。然而，链路层协调器的功能不在本文的讨论范围内。6LoWPAN ND 分配地址的详细信息在[6]。

一个 LoWPAN 可以配置成 route-over 或 mesh-under（见[6]的技术）。在一个 route-over 的配置里，多跳传输由 LoWPAN 路由器使用 IP 路由进行转发。在一个 mesh-under 的配置里，链路本地的范围达到 LoWPAN 的边界，多跳传输在链路层或 6LoWPAN 适配层进行数据转发。关于 route-over 和 mesh-under 的更多信息见[6]和[8]。

2、设计空间

从[9]得到灵感，本节列出了描述在 6LoWPAN 工作组内容中的无线传感器网路设计空间所使用的规模。设计空间已经由 LoWPAN 特有的性质限制了（如，低功耗、短距离、低速率），如[2]所描述的。本文所用的场景分类可能的规模描述如下：

- 部署：LoWPAN 节点可以随机分散，或可以在一个 LoWPAN 内部署成有组织的形式。部署可以是一次性的，或是一个重复的过程。所选的部署类型对节点的位置和密集度有影响。这个特征影响了如何组织（手动的或自动的）LoWPAN 和如何在网路中分配地址。
- 网路大小：网路大小考虑到节点提供的网路能力。一个 LoWPAN 的节点的数量可能很少（10 个），中等的（几百个），或大的（超过 1000 的）。
- 电源：节点的电源，不管节点是有线供电或电池供电，都会影响网路的设计。电能也同样可以从太阳能电池或其他电源获得能量。当只有一部分网路是有线供电的，可以采用混合供电方式。
- 连接性：当一个 LoWPAN 中的任意两个节点是有连接的，那么可认为这个网路是“常连接”的。然而，由于外部原因（如，极端的环境，移动性）或程序的中断（如，睡眠

模式), 网路连接性可能是“间歇的”(就是说, 经常中断)或“零星的”(就是说, 基本上一直中断)。L2 的循环任务设置的差异可能会对连接性产生额外的影响, 这是因为高度变化的速率。

- **多跳通信:** 多跳通信因素强调的是为了到达网路边界或一个在网内的目标所要转发的跳数。一个单跳可能对单星型拓扑是有效的, 但一个多跳通信体制需要更复杂的拓扑, 例如 meshs 或树型。在之前的由学术和工业上对 LoWPANs 所做的工作中, 产生了很多路由机制, 例如数据中心的、事件驱动的、地址中心的、基于定位的和地理路由等。本文不使用如此细的粒度, 而使用拓扑和单/多跳通信。
- **交通模式:** LoWPANs 中可使用几种交通模式, 点对多点 (P2MP), 多点对点 (MP2P), 和点对点 (P2P), 等等。
- **安全等级:** LoWPANs 可能传输敏感信息, 当信息可用性, 完整性和保密性是重要的就要求更高等级的安全支持。
- **移动性:** 基于 LoWPANs 固有的无线特性, 节点可能会随时移动。移动性是一个固有的因素 (例如, 汽车的传感器), 所以是不可预测的, 或是一个控制特性 (如, 一个供应链里的预先设定的动作)。
- **服务质量 (QoS):** LoWPANs 里的 QoS 问题可能与传统的端到端 QoS 有很大不同, 因为在一个 LoWPAN 应用里一端不是一个简单的传感器节点而是一组传感器节点。QoS 的参数应该考虑共同数据的延迟、报文丢失、数据吞吐量等因素。另外, QoS 需求对于不同的数据传送模式是不同的, 如事件驱动的、请求驱动的、连续实时的、或连续非实时的; 这些传送模式通常在 LoWPAN 应用里共同存在。LoWPANs 里的 QoS 问题通常与一个资源受限的 LoWPANs 应用数据传输需求密切相关。

3、应用场景

本节依据系统设计列出了一个基本的 LoWPAN 应用场景集合。本文不提供完整的实际的用例列表。

3.1、工业监控

LoWPAN 在工业监控上的应用与其他的方法一起可以提高生产力、降低能源消耗和增加安全性, 特别是在工程建设和制造工厂的工业操作上。为了减少在生产停机时的损失, 目前很多公司在使用消耗时间和费用的人工方式来预测故障和安排维护或替换。LoWPANs 可以使用很少费用来安装, 并提供更频繁和可靠的数据。部署 LoWPANs 可以减少设备停机和消除需要耗费大量成本的人工设备监控。另外, 可以在网路上设置数据分析功能, 消除了人工数据传送和分析。

工业监控可以大概分为以下几个应用领域:

- **过程监视和控制:** 这个应用领域结合无线传感器网路的高级能源计量和子计量技术, 用

于最优化工厂操作，减少峰值需求，最大限度减少能量消耗，避免机器停机和增加操作的安全性。

一个工厂的监视范围通常不会覆盖整个设施，仅仅是那些对生产比较重要的区域。无线连接可以容易安装来覆盖这些外围区域和进行测量，这些区域用有线的连接是不可行的或实际上不容易达到的。

- 机器监视：这个应用领域用于保住产品质量和效率和设备操作安全。关键的设备参数如振动，温度，和电气信号用于异常分析，以便及时预测设备故障。
- 供应链管理和资产追踪：零售工业对卖出产品的质量有法律责任，尽早的检测存储环境如温度的异常能减少在运输过程中的费用和风险。实例包含集装箱运输，产品鉴别，货物监控，分配和物流。
- 存储监视：这个应用领域包含传感器系统设计，用于预防管制物质释放到地面积水，表面积水和土壤。这个应用领域可能还包含存储设施或其他设备如管道的盗窃/贿赂预防系统。

3.1.1、一个用例和需求

例子：医院存储室

在一家医院里，存储室的温度控制是非常重要的。红血细胞需要存储在 2 到 6 摄氏度，血小板是 20 到 24 摄氏度，血浆是低于-18 摄氏度。对于抗癌药物，需要控制湿度在 45% 到 55% 之间。存储室每 25-100 米会布置有温度和湿度传感器，依据室内平面和货架的位置而定，因为室内障碍物对射频信号会产生阻挡。在每一个血液包上面，可以安装一个传感器标签用于追踪在运输过程中的温度变化。一个 LoWPAN 节点安装在每一个存放血液包的容器内。在这个例子里，需要管理一个高度密集的网络。

所有节点都是静态部署的，并人工配置成单跳或多跳的连接。不同类型的 LoWPAN 节点依据服务和网路需求进行配置。特别地，LC 用于收集血液包的传感数据。在外部网络上，一个存储室可安装多个 LoWPAN LC。对于一些节点上产生的紧急的事件驱动数据如温度或湿度告警，LC 不会进行累积（产生延迟），而是直接进行转发的。

所有的 LoWPAN 节点不可以移动，除非血液包或血液包容器被移动。节点移动会重新连接到一个新的 LoWPAN 上。当血液包的容器在医院或救护车里被移动时，容器里的 LoWPAN 节点会连接到一个新的 LoWPAN。

这种类型的应用工作在周期性的和事件驱动的通知。周期性数据用于监视存储室的温度和湿度。数据低于或高于预先设定值将会主动上报。血液暴露于错误环境大约 30 分钟将不可再使用。因此，当出现异常情况时产生的事件驱动数据是紧急的，需要进行安全可靠的传输。

LoWPANs 必须是易于安装和管理的，对于血液容器的运输，准确的地理位置追踪是重要的。医院的网路管理员或工作员能够尽早得到警告或可能的链路故障，例如，可以方便地通过访

问在线报表和数据管理系统。

工业监测场景的重要参数：

- 部署：提前计划，人工安装。
- 网路大小：中等的到大规模的，高度密集的节点。
- 电源：多数是基于电池供电。
- 连接性：对于关键进程是常连接。
- 多跳通信：多跳网路。
- 交通模式：P2P（执行器控制），MP2P（数据收集）。
- 安全等级：重要商业。保障安全的传输。
- 移动性：无（除了资产追踪）
- QoS：对时间紧急和事件驱动数据是重要的。
- 其他问题：传感器网路管理，位置追踪，实时告警。

3.1.2、6LoWPAN 适用性

上例子的网路配置由于系统设计可能有很大的不同。如图 1 所示，最简单的形式的在每一个存储室内创建一个星形拓扑。基于存储室的布局 and 大小，LoWPAN 可以配置成另一种形式——mesh 拓扑——如图 2 所示。

每个 LoWPAN 节点可以通过预先定义的路由/转发机制到达 LBR。每个 LoWPAN 节点配置自己的链路本地地址并使用 6LoWPAN ND 程序[6]来从 LBR 获取网路前缀。LoWPAN 节点需要建立一个多跳连接来达到 LC 和 LBR。

在医院场景下，安全数据传输和认证是重要的，这防止个人信息被对手获取。机密信息必须不仅在传输时进行加密，存储在节点上也要加密，因为节点可能被偷盗。

在这个例子中数据量通常不会很大，但对实时性要求比较高。数据收集器可以安装在每一个存储室内，或只用一个数据收集器来收集所有数据。为了减轻通信流量，通常选用 UDP 通信，但必须增加安全传输和安全机制。为了增加安全性，应该使用链路层机制和/或额外的安全机制。

因为一个 LoWPAN 节点的故障可能对血液包的存储产生关键的影响，在这个例子中网路管理是重要的。必须使用一个轻量的网路管理机制来管理网路。

在这个例子中服务质量与高效处理实时性高和重要任务的事件驱动数据密切相关。错误的温度与湿度事件需要尽可能快速并可靠的检测出来。对于这类数据，高效使用资源和减少能源消耗也是重要的。能源敏感的 QoS 支持在无线传感器网路中是一个有挑战的事情[12]。可以考虑使用能源充足的节点来进行数据收集最大程度减小延迟和最大程度提高传送的准确性，或使用中间设备或其他类型的网路设备来帮助传送。

当一个容器移出了存储室并连接到另一个医院系统（如果医院大楼是全部或部分覆盖了 LoWPANs），一个重新连接到新父节点的机制和一个新的 LoWPAN 必须支持。在一个救护车移动的情况下，节点会连接到车上的一个 LBR。这种移动性在 LoWPAN ND 和路由机制是支持的。

LoWPANs 必须是易于安装和管理的，并且是有利于减少库存，和准确的容器和移动设备的位置追踪（如，床在医院的移动，救护车）。

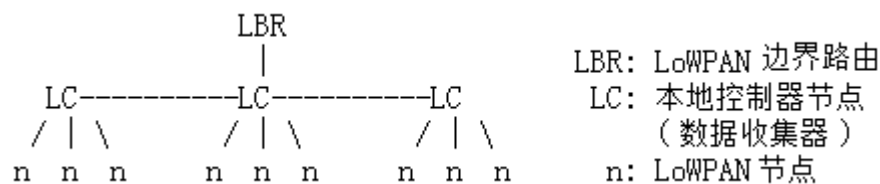


图 1: 存储室的简单星形拓扑

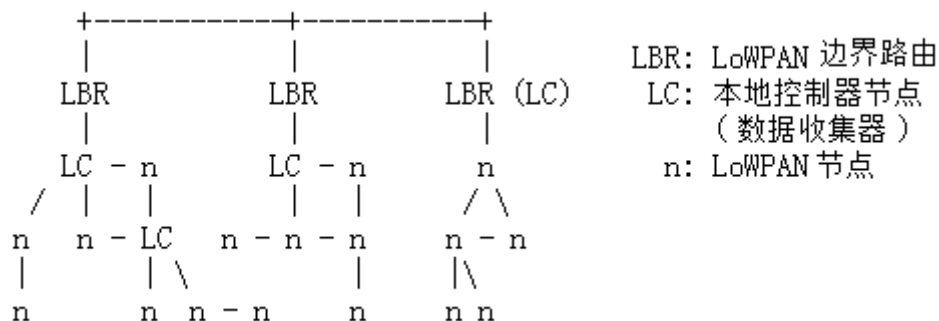


图 2: 存储室的 Mesh 拓扑

3.2、建筑监控

设施管理中的智能监控能提供安全检查和建筑状态的周期性监控可以提高效率。主电源节点可以在建设的设计阶段进行安装，使用电池的节点可以在以后增加。所有的节点都是静态人工部署的。有些数据对于安全性要求不高的（如，周期性的查询通知或普通的房间温度），但是事件驱动的紧急数据（如火警）必须以紧急的形式进行处理。

3.2.1、一个用例和需求

例子：桥梁安全监控

本例描述一座 1000 米长有 10 个柱子的混凝土桥梁。每个柱子和桥身包含有 5 个传感器用于测量水位，和 5 个振动传感器用于监测桥的结构健康状态。LoWPAN 部署节点之间的距离在 100 米的可视范围内。所有节点都是静态安装的，并人工配置成单跳连接到本地协调器。当提供服务时，所有 LoWPAN 节点都是固定的。除了柱子以外，没有其他障碍物衰减节点的信号，但 LoWPAN 节点之间的信号干扰还是需要认真考虑的。

当有节点发生故障时，物理网路拓扑将会发生改变。在每个柱子的顶部，安装一个水槽节点用于收集传感数据。每个柱子的水槽节点成为 LoWPAN 主机的数据聚集点，并充当一个本地协调器。

这个例子可以扩展到中等或大型的传感器网路用于监控一栋大楼或其他例如高速公路和隧道的安全状态。同一类型的更大的网路仍然有相似的特征，例如静态节点安装和人工配置；依据结构的蓝图，Mesh 拓扑会使用主电源中继节点。可以收集周期性的，查询驱动的，和事件驱动的实时数据，紧急的事件驱动数据必须无延迟的传送。

建筑监控应用的重要参数：

- 部署：静态的，有组织的，提前计划的。
- 网路大小：小（几十个节点）到大的。
- 电源：主电源节点混合电池供电节点。（主电源节点用于本地协调和中继。）
- 连接性：常连接，或是间歇性的使用睡眠模式。
- 多跳通信：建议支持多跳的 mesh 网路。
- 交通模式：MP2P（数据收集），P2P（本地化查询）。
- 安全等级：重要的安全性。必须保证安全传输。只有授权用户可以访问和处理数据。
- 移动性：无。
- QoS：紧急通知（火警，振动超标，水位，等。）要求进行优先传送，并保障传输高度可靠。
- 其他事情：准确的传感和可靠的传输是重要的。另外，一个可靠的监控系统应该维护传感器的状态。

3.2.2、6LoWPAN 适用性

本用例的网路配置可以使用简单拓扑；然而，更多扩展的用例会使用更复杂的结构。桥梁监

控用例可能是一个最简单的例子。（一个例子拓扑如图 3 所示。）

当确定最佳的安装位置时就可以安装 LoWPAN 节点。因为 LoWPAN 叶子节点的通信受限于数据聚合节点，16 位和 64 位的地址都可用于 IPv6 链路本地地址[3]。

每个柱子可以有一个 LC 用于收集数据。在叶子节点和它们的 LC 之间应该设置合适的通信计划，在收集不同类型传感数据时提高效率。每一个数据报文可能包含关于它的数据元信息，或传感器的类型可以在地址分配时编码在它的地址中。

这种类型的应用工作于周期性的，查询驱动的，和事件驱动的通知。数据低于或高于预先设定值有必要进行报告。发生异常时的事件驱动数据是时间紧急的，并要求安全和可靠的传输。作为选择，为了节省电源，所有节点可有周期性的和长时间的睡眠模式，但会唤醒于某些事件。为了保证这些紧急的事件驱动数据的可靠性，这些数据会立即传送到电源充足的或主电源节点，这些节点通常是一个 LoWPAN 路由且不会进入睡眠状态。数据聚合实体可以编程实现当某个值达到上限时触发在设施上已安装的执行器。

因为建筑数据的安全性要求较高，所在认证和安全是重要的。只有授权用户可以访问数据。在 LBR 上设置额外的安全机制来防止 LoWPAN 外部的访问。在 LoWPAN 节点中 LBR 负责认证。必须保证安全可靠的数据传输。

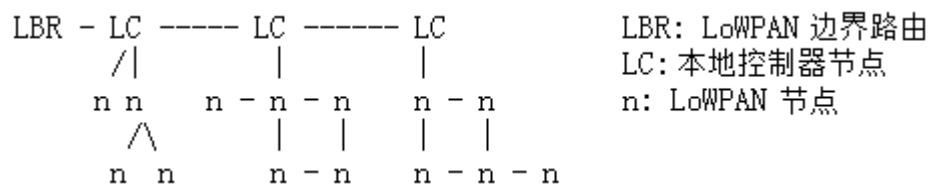


图 3：一个桥梁监控场景

3.3、连接家庭

“连接”家庭或“智慧”家庭无疑是 LoWPANs 可以大显身手的一个领域：

- 家庭安全/安防
- 家庭自动化和控制
- 健康护理（见节 3.4）
- 智能家居和家庭娱乐系统

在家庭娱乐上，LoWPANs 通常包含几十个，可能在不远的未来，几百个不同类型的节点：传感器，执行器，和连接物体。

3.3.1、一个用例和需求

例子：家庭自动化

家庭自动化和控制系统 LoWPAN 提供了很多的服务：通过互联网（通过一个安全的边缘路由）进行本地或远程家庭监控（温度，湿度，激活远程视频监控，门锁状态（锁或开），等），同样可以进行家庭控制（启动空调/加热器，锁门，洒水系统，等）。精密的控制系统可极大的优化电能的使用，这得益于 LoWPAN 中大量的传感器数据--光传感器，动作检测，温度，等。--还可以控制窗帘，冷水机，空气流控制，空调，和加热器。

随着“智能电网”应用的出现，LoWPAN 可以通过因特网与电网本身产生互动，可以报告上流（家庭到电网）的电量，也可以接收动态下流（电网到家庭）信息当有需要时：这个应用同样作为一个请求-响应的应用。另一个服务，需求侧管理（DSM），可以进行用户电量的监控和报告，使用一个电量表（基于单个设备）。用户同样可以接收到其他信息，如电价变化；依据当地的政策，装置可以打开或关闭部分功能，为了减少电费单。

在家庭安全和安防方面，LoWPAN 由动作传感器与声音传感器，门和窗的传感器，视频摄像头组成；还可以增加额外的传感器用于安全监控（煤气，水，CO，氦，烟雾检测）。LoWPAN 通常包含几十个节点，形成一个 ad hoc 网路，具有多跳路由，因为有些节点可能不在直接通信的距离内。值得注意的是设备的数量可能会增加，考虑到家庭应用的增加。在最简单的形式，所有的节点都是静态的，并与一个中心控制模块通信，但更多复杂场景可能会发生设备间的通信。例如，一个动作传感器可以发送一个广播消息到一组灯光控制开灯，或一个视频摄像头被激活并通过网关发送一段视频流到指定手机上。

人类工程学在连接家庭是一个关键，LoWPAN 必须是自管理的，并易于安装。依据适用性，交通模式可能是巨大的；对 LoWPAN 的可靠性和 QoS 等级同样是有很大不同的。湿度传感通常不是很紧急的，并不需要立即产生动作，然而电气或煤气泄露检测是紧急的，要求高度的可靠性。更进一步，虽然有些动作不需要紧急数据，响应时间和网路延迟必须控制在几百毫秒内以提高用户体验（例如，使用遥控器控制灯开关）。有少数节点是可移动的（慢慢移动）。随着能源相关的应用出现，机密数据的处理变得重要。连接家庭 LoWPANs 通常不需要多跳拓扑或 QoS 路由。相当简单的 QoS 机制就足以处理紧急数据；它们可以编程实现通过执行器报警或操作洒水器。

家庭自动化应用的重要参数：

- 部署：多跳拓扑。
- 网路大小：中等数量节点，可能是高度密集的。
- 电源：电池供电与主电源设备混合。
- 连接性：间歇性的（依据使用的睡眠模式）。
- 多跳通信：不要求多跳拓扑或 QoS 路由。

- 交通模式：P2P（内部设备），P2MP，和 MP2P（轮询）。
- 安全等级：要求认证和加密。
- 移动性：一定程度的移动性。
- QoS：支持有限的 QoS 用于紧急数据（报警）。

3.3.2、6LoWPAN 适用性

在家庭自动化的例子中，网路拓扑由电池供电节点和主电源节点组成的混合通信网。一个 LBR 提供与外部的连接用于控制和管理（图 4）。

在家庭网路，安装和管理对用户应该是极为简单的。链路本地 IPv6 地址可以在节点间的内部通信使用，LBR 可以分配可路由地址，用于与其他 LoWPAN 单跳不能到达的节点通信。

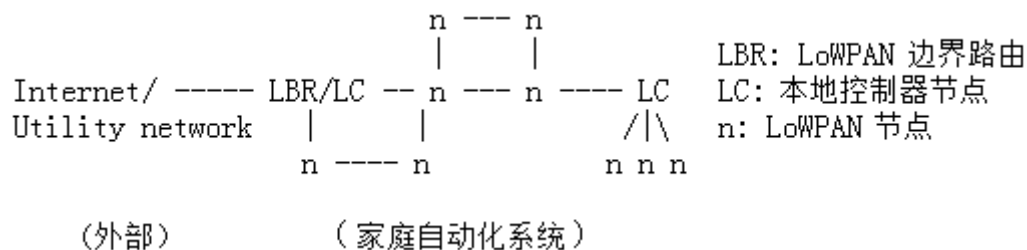


图 4：家庭自动化场景

在某些场景下，数据会发送到一个 LC 进行处理；这个 LC 可以进行决定一些本地动作（开灯...）。对于另外的场景，所有设备会发送数据到 LC，这个 LC 也可以充当 LBR 用于数据处理和把数据转发到 LoWPAN 之外的网路。但这并不意味着所有设备之间的通信都通过 LC 和 LBR。为了进行描述，一些数据处理后可以触发本地动作（例如，关闭一个装置），简单地存储和发送数据当数据累积到一定程度（例如，对于某些装置在过去 6 小时内所消耗的电能），或触发一个报警并马上发送到数据处理中心（例如，煤气泄漏检测）。

虽然大部分情况下节点在一个 LoWPAN 内都可以进行直接通信，但有些节点会到达 LBR/LC 产生 2-3 跳路径（随着一些低功耗媒体的出现，如低功耗 PLC），这时要在家庭中部署 LoWPAN 路由器用于连接不同类型的 IPv6 链路。

家庭 LoWPAN 必须能够提供相当可靠的通信用于一些特殊的应用（例如，火警，煤气泄漏检测，健康监测），其他的应用不是太紧急的（例如，湿度监测）。这些紧急的数据与其他应用中的事件驱动数据有一样重要的 QoS 要求，并能通过预先设定的路径传输到主电源节点，而不需要存储到中间节点如 LC。类似地，某些信息可能要求安全机制上的认证和机密性。

3.4、健康护理

LoWPANs 预计会在健康护理环境下大量使用。它们可以很方便进行部署新的服务，而不用安装大量的线材，这可以简单在医院和家庭（家庭护理）的病人护理。在健康护理环境，信息的延迟或丢失是生死攸关的事情。

LoWPANs 支持不同的系统，从简单的电动辅助设备的可穿戴遥控器或用于监控不同参数的带有可穿戴传感器节点的中等系统，到学习生命动态的更复杂的系统。在后一种类型，可从不同 LoWPAN 节点收集大量数据：动作模式监测，检测药物是否已服用，物体追踪，和更多。一个这种部署的例子见[10]，使用“个人网路”概念。

3.4.1、一个用例和需求

例子：使用电动辅助的家庭健康护理

一个独居的高级市民身上戴了一个到几个 LoWPAN 节点用于测量心跳，脉率，等。几十个 LoWPAN 节点密集地安装在家里用于检测动作。一个家庭 LBR 会把传感数据发送到健康护理中心。同样，带有 LCD 显示的小型工作站可以用于检查数据。设备的不同角色有不同的任务，这会影响到节点管理。

由于家里病人的移动性，多路径干扰可能会经常发生，特别是在有很多墙和障碍物阻挡的环境。即使是在睡眠时间，婴儿的位置变化也会影响到无线射频传播。

数据收集通过周期性的事件驱动两种形式。在这个应用里，事件驱动数据是时间要求高的。因此，必须保障实时和可靠的传输。

在这个例子中隐私保护同样是一个重要的问题，因为传感数据是非常个人的。传感器节点之间可以共享一个小集合的密钥，在程序启动时创建一个安全链接不必使用太多的内存和电量。另外，不同数据会传送到医院系统然后发送给一个病人的家属。基于角色的访问控制需要支持这样的服务；因此，支持授权和认证是重要的。

健康护理应用的重要参数：

- 部署：预先计划。
- 网路大小：小，节点高度密集。
- 电源：混合类型。
- 连接性：常连接。
- 多跳通信：家庭护理设备使用多跳；病人身体网路是星型拓扑。必须考虑到家里墙和障碍物的多路径干扰。
- 交通模式：MP2P/P2MP（数据收集），P2P（本地诊断）。

- 安全等级：必须提供数据隐私和安全保护。需要加密。基于角色访问控制需要一个轻量级的认证机制。
- 移动性：中等的（病人移动性）。
- QoS：支持高度可靠性（生死悠关），基于角色。
- 其他问题：对于非技术用户要求使用即插即用配置。实时收集和分析数据是重要的。需要高效的数据管理，因不同的设备有不同的数据周期，并有基于角色的控制。网络的可靠性和鲁棒性也是重要的。

3.4.2、6LoWPAN 适用性

在这个例子中，本地网路规模是很小的（只有 10 个节点或更少）。家庭护理系统是静态配置为多跳路径的，病人身体网路可以做成星型拓扑。家庭里的 LBR 是病人身体网路的网关节点。这需要一个即插即用的配置。由于系统的通信只限于家庭环境里，16 位和 64 位地址都可以用作 IPv6 链路本地地址[3]。一个例子拓扑如图 5 所示。

病人身体网路可以简单配置成一个星型拓扑，这样可以使用一个 LC 进行数据收集和动态网路连接，特别是病人在家里到处移动的时候。因为病人的移动性，多路径干扰会经常发生，所以在部署 LoWPAN 节点和传输路径时要考虑周到。在家里，一些节点可以安装在有电源充足的状态，这些 LoWPAN 节点可以用作中继点或数据收集点。

传感信息必须依据病人身份进行维护，不管病人去到连接的医院还是在家里。如果病人的 LoWPAN 使用一个全局唯一的 IPv6 地址，这个地址可以用途病人身份验证。然而，这会产生隐私和安全问题所付出的代价。医院的 LoWPAN 在传送病人信息时需要一个额外的验证系统。家庭 LBR 和医院 LBR 之间的连接必须是可靠和安全的，因为数据是注重隐私的。为了达到这个目标，建议在这两个 LoWPANs 之间使用额外的隐私保护机制。

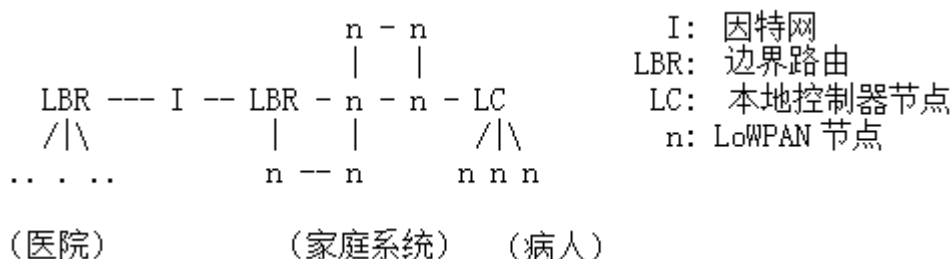


图 5：一个移动健康管理场景

3.5、车载通信技术

LoWPANs 在智能运输系统中起到重要的角色。融合于道路，车辆，和交通信号，对于提高运输系统的安全性起到了重要使用。通过交通或空气质量监控，有助于提高交通流量优化的可能性，和帮助减少道路拥塞。

3.5.1、一个用例和需求

例子：远程信息处理

如图 6 所示，用于动作监测的 LoWPAN 节点在道路建设时被安装在路上。当一辆车经过节点上时，可以对车的轨道（路径）和速率进行追踪，出于安全目的。

安装于道路中的 LoWPAN 节点的生命周期要与道路的生命周期尽量一样长（大约 10 年）。LoWPAN 节点之间支持多跳通信，网路应该可以处理当节点断电时产生的故障。安装在路边的网关节点大多是主电源的；在路中的 LoWPAN 节点是电池供电的。电能节约计划可能会间歇性的中断节点的通信。一个大概的估计是每平方米需要 4 个节点。其他的应用可能包含车对车通信以提高道路安全性。

车载通信技术应用的重要参数：

- 部署：预先计划（道路，车辆）。
- 网路大小：大（道路基础设施），小（车辆）
- 电源：混合。
- 连接性：间歇的。
- 多跳通信：多跳，特别是 ad hoc。
- 交通模式：多数是 MP2P，P2MP。
- 安全等级：处理物理损坏和链路故障。
- 移动性：无（道路基础设施），高（车辆）。

3.5.2、6LoWPAN 适用性

对于这个例子，网路拓扑包含固定的主电源 LBRs 并可连接到高速网路（如，因特网），为了和交通控制中心连接（如图 6）。这些 LBRs 可能在逻辑上与一个 LC 结合成一个数据网关用于收集道路中间的 LoWPAN 节点的传感数据。在道路基础设施，一个 LoWPAN 和一个 LBR 形成一个固定的网路，LoWPAN 节点由人工安装在最优的位置上。

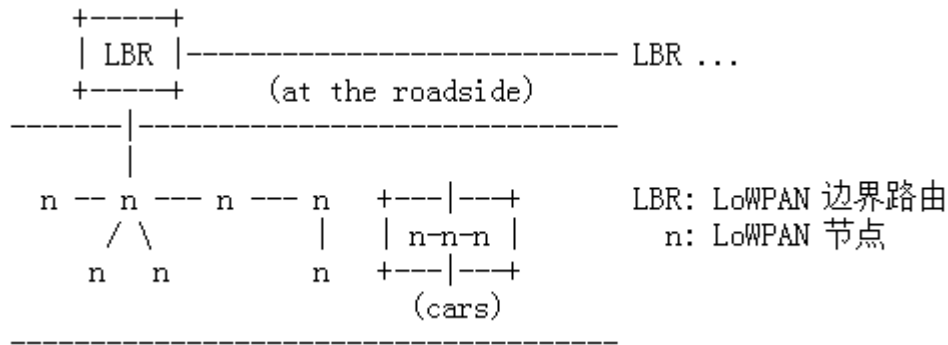


图 6: 远程信息处理场景

考虑到节点是安装于道路中间的，要对手改变传感器是困难的。然而，这个应用必须强壮的以对抗可能的攻击和节点故障。传感数据应该主要用于道路监控，不是用于通知（很可能会误导）交通参与者。

3.6、农业监控

精确的时间和空间的监控可以对农业生产有很大的提高。由于自然的限制，比如农民不可能一整天去检查所有的庄稼，或由于缺少有效的工具，运气通常对于丰收是重要的。使用网路预先安装的传感器，指示器如温度，湿度，和土壤状态就可以自动监控而不用人工去测量土地质量。例如，传感器网路可以提供精确的庄稼实时信息，这就可以减少水，能源，和杀虫剂的使用和提高环境保护。这些传感数据还可以用于分析出植物的最佳生长环境。另外，种植条件的数据可以用传感器标签代替，还可以用于供应链管理。

3.6.1、一个用例和需求

例子：自动化的葡萄园

在一个中等的或大型的葡萄园里，大约 50 到 100 个 LC 节点安装可以使用信号覆盖整个学习区域。另外 100 到 1000 个叶子节点具有（可能是多种的）特殊的传感器（如，湿度，温度，土壤状态，阳光）连接到 LC 形成本地的星型拓扑，定期向关联的 LC 报告数据。例如，在一个 20 英亩的葡萄园，有 8 个小块地，10 个 LoWPAN 节点安装于每一小块地上，用于测量温度和土壤湿度。LoWPAN 节点支持多跳转发/路由机制，可以把数据传送到葡萄园边界上的网关节点。8 块土地中都包含一个数据收集器用于收集传感数据。

对于这类 LoWPAN 来说定位是重要的，节点安装在一个很大的地理区域内，当一个事件发生时指出具体位置，并收集实际位置上的设备的数据。使用人工部署方式，设备地址可以用于确定它们的具体位置。对于随机部署的节点，需要设计一个定位算法。

在一个 LoWPAN 内可能部署了不同类型的传感器设备，每个传感器提供不同的原始数据。因此，需要一个额外的方法来解答传感器的数据。每个数据包可能包含数据的元信息，或传感器类型可以在地址分配时包含在地址里。

农业监控的重要参数:

- 部署: 预先计划

节点安装在室外或温室里, 这会暴露在水, 土壤, 和灰尘, 并在一个动态环境中人员和机器经常移动, 并有庄稼和植物。LoWPAN 节点可以部署于一个预先定义的方式, 以应对恶劣的环境。

- 网路大小: 中等到大的, 低到中等的密集度。
- 电源: 所有节点是电池供电的除了网关节点, 或太阳能的。
- 连接性: 间歇性 (多数睡眠节点)
- 多跳通信: Mesh 拓扑和本地星型连接。
- 交通模式: 主要 MP2P/P2MP。P2P 触发执行器。
- 安全等级: 依赖于商业目的。轻量的安全或使用共享密钥管理, 依赖于商业目的。
- 移动性: 所有节点是静态的。
- 其他问题: 要求传感器之间的时间同步, 但同步间隔不需要很频繁 (如, 30 到 60 分钟一次)

3.6.2、6LoWPAN 适用性

本例子中的网路配置, 在最简单的情况下, 如图 7 所示的配置。这个静态的场景包含一个或多个固定的主电源 LBR, 并有高带宽连接到骨干网, 可用于连接到控制中心或因特网。LBR 按需要设置到了葡萄园每一小块地的边缘上, 用作数据网关。几个 LC 安装在一行植物中间, 周围部署了一些 LoWPAN 节点。

当 LBR 实施 IPv6 邻居发现协议 (RFC 4861 [1]) 连接到 LoWPAN 之外的网路, LoWPAN 节点运行一个更节能的 ND, 如[6]描述的, 只包含基本的启动和地址分配。如果需要, 每个 LBR 可预先定义转发管理信息到一个中央数据收集点。

LoWPAN 节点可以发送事件驱动通知当发生数据越界事件, 如低土壤湿度, 这样可以触发一个当地环境下的洒水器。为了提高能源效率, 所有 LoWPAN 节点都是周期性睡眠的。然而, LC 需要一直运行为了接收叶子节点产生的突发事件。这个睡眠周期应该设置成短的时间间隔。在主节点和叶子节点之间设置通信模式, 并时间同步需要一个真实的时钟。

同样, 数据收集的结果可能激活执行器。应用级的上下文相关的, 节点验证, 和数据收集是需要的。

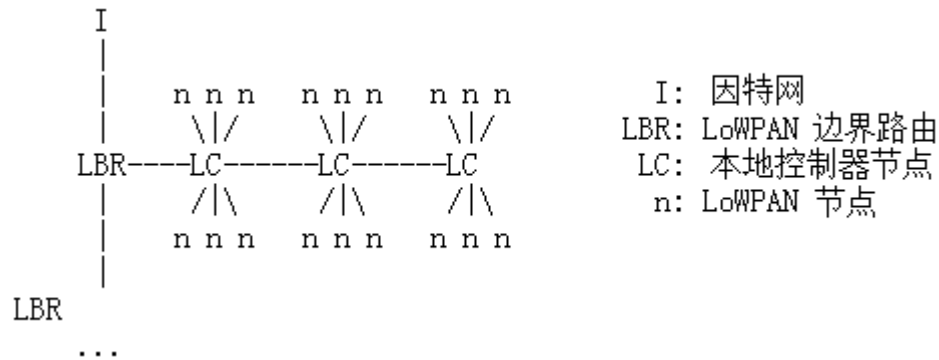


图 7: 自动化葡萄园场景

4、安全事项

相关的安全事项在节 3 的应用场景中列出。RFC 4919[2]和 RFC 4944[3]中的安全事项同样适用。

LoWPAN 节点在物理上的暴露（特别是在室外网路）容易受到对手的抓取，克隆，篡改，或甚至破坏这些设备。考虑到一些用例的安全问题，这些威胁对 LoWPAN 提出了很高的弹性和生存力要求。LoWPAN 的通用无线通道容易受到一些安全威胁。如果没有适当的安全措施，机密信息可能被“中间人”获取。一个攻击者也可能修改或引入数据包到网路中，例如，篡改传感器数据或控制传感器和执行器。本文要求链路层得到有效的保护，不管是从物理的或骨干连接或 MAC 子层加密的 IP 安全的形式。然而，链路层加密和验证可能不足够提供机密性，验证，完整性，和数据信号报文的实时性等要求。

由于节点的低功耗特点，LoWPAN 容易受到拒绝服务（DoS）攻击。DoS 攻击例子包括试图通过大量的查询来耗尽节点的电池，或引入一个高电量干扰信号来使 LoWPAN 节点功能失常。安全方案因此必须是轻量级的和支持节点验证，这样就可以保证数据的完整性并且不正常的节点会被网路拒绝。一个节点在加入 LoWPAN 网路之前必是验证自身的。

考虑到 IEEE 802.15.4 设备的电池有限和处理能力有限，IPsec 是对处理器要求过高的；因特网密钥交换（IKEv2）消息如[4]所描述的那样是不适合用于 LoWPAN 的，因为这种网路的信号数量要求尽可能的少。因此，LoWPAN 可能需要定义它们自己的密钥管理方法，这要求在报文大小和消息交换[11]上最小的开销。IPsec 在端节点之间提供验证和机密性，并贯穿整个多跳 LoWPAN 链路，这可能只有当两个节点要求对所有消息进行安全保护时使用。然而，在多数情况下，安全性要求是在应用层上需要的，其他的消息可以在网路上没有安全保障的传输。[13]的近期工作出示了一些最小化 IKEv2 实施的承诺。

不同的应用可能有不同的安全性要求。例如，工业和建筑监控应用是安全要求高的所以要保障传输的安全性，这样只有授权用户可以访问和处理数据。在家庭护理系统，数据隐私保护是一个重要的问题。这就需要数据加密，对合适的验证进行基于角色的访问控制。在家庭自动化场景，一些重要的应用如门锁开关要求高的安全性和强壮性来对抗入侵。另一方面，一个远程控制的灯开关就不会有重要的安全威胁。

5、致谢

特别感谢 Nicolas Chevrollier 参与本文的初始设计。同样,感谢 David Cypher 在 IEEE 802.15.4 方面提出的重要意见,感谢 Irene Fernandez, Shoichi Sakane, 和 Paul Chilton 对本文提出的意见和建议。

6、参考文献

6.1、标准参考

- [1] Narten, T., Nordmark, E., Simpson, W., and H. Soliman, "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)", RFC 4861, September 2007.
- [2] Kushalnagar, N., Montenegro, G., and C. Schumacher, "IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals", RFC 4919, August 2007.
- [3] Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J., and D. Culler, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks", RFC 4944, September 2007.
- [4] Kaufman, C., Hoffman, P., Nir, Y., and P. Eronen, "Internet Key Exchange Protocol Version 2 (IKEv2)", RFC 5996, September 2010.
- [5] IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks -- Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", IEEE Std. 802.15.4-2011, September 2011.

6.2、信息性参考

- [6] Shelby, Z., Ed., Chakrabarti, S., and E. Nordmark, "Neighbor Discovery Optimization for Low Power and Lossy Networks (6LoWPAN)", Work in Progress, October 2011.
- [7] Hui, J., Ed., and P. Thubert, "Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks", RFC 6282, September 2011.
- [8] Kim, E., Kaspar, D., Gomez, C., and C. Bormann, "Problem Statement and Requirements for 6LoWPAN Routing", Work in Progress, November 2011.
- [9] Roemer, K. and F. Mattern, "The Design Space of Wireless Sensor Networks", IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 6, pp. 54-61, December 2004.
- [10] den Hartog, F., Schmidt, J., and A. de Vries, "On the potential of personal networks for hospitals", International Journal of Medical Informatics, 75, pp. 658-663, May 2006.

- [11] Dutertre, B., Cheung, S., and J. Levy, "Lightweight Key Management in Wireless Sensor Networks by Leveraging Initial Trust", SDL Technical Report SRI-SDL-04-02, April 2004.
- [12] Chen, D. and P.K. Varshney, "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey", Proc. 2004 Int. Conf. Wireless Networks (ICWN 2004), June 2004.
- [13] Kivinen, T., "Minimal IKEv2", Work in Progress, February 2011.

本文由 zucheng10 翻译,

Email:zucheng10@qq.com

<http://blog.csdn.net/zucheng10>

2014 年 9 月 17 日

PS:仅以学习目的翻译此文档，由于水平有限，翻译难免有错漏之处，标准文档请参考英文原文。