

更多 6lowpan 相关 RFC 文档的中文版，请前往：

<https://github.com/tidyjiang8/6lowpan-rfcs-chinese>

<http://iot-fans.xyz/3000/07/12/rfc-doc/6lowpan-rfc-index/>

欢迎拍砖、提意见、贡献代码~

1 简介

低功耗无线个人局域网（LoWPAN）由符合 IEEE 802.15.4—2003 标准 [IEEE802.15.4] 的设备组成。IEEE 802.15.4 设备的特点是短距离、低速率、低功耗和低成本。大多数遵循 IEEE 802.15.4 的设备都受到计算能力、存储能力、电源供应等方面的限制。

本文档对 LoWPAN 做了一个概述，并描述 IP 网络（尤其是 IPv6 网络）给 LoWPAN 带来的好处。本文描述了 LoWPAN 对 IP 层和更上层提出的要求，并做了一些假设。最后，本文描述了在 LoWPAN 网络中使用 IP 通信所面临的相关问题，并为解决这些问题定义了若干目标。当然，本文所列的条款未必全都适合于 IETF 的工作。然而，本文是为了给一个更大的问题做简要阐述。这不仅有助于 IETF 更好地组织内部工作，又有助于与其它外部组织相互合作。

2 概述

LoWPAN 是一个简单、低成本的通信网络，它允许低功耗、低速率的应用也能使用无线通信。LoWPAN 中通常包含若干设备，如无线传感器，这些设备协同作用，将物理环境和现实应用连接起来。LoWPAN 遵循 IEEE 802.15.4—2003 标准 [IEEE802.15.4]。

LoWPAN 的一些特性如下：

1. 报文尺寸小。物理层的最大数据包是 127 字节，MAC 层的最大帧长是 102 字节。链路层安全协议也占用了一定的空间（AES-CCM-128 占用 21 字节，AES-CCM-32 占用 9 字节，AES-CCM-64 占用 13 字节），所以剩下给用户数据的空间可能只有 81 字节。
2. 支持 16 位短地址和 64 位 IEEE 扩展 MAC 地址两种地址模式。
3. 低带宽。对于物理层所定义的三种频段 2.4 GHz、915 MHz、868 MHz，其对应的数据速率分别是 250 kbps，40 kbps 和 20 kbps。
4. 包括星型和 mesh 两种拓扑结构。
5. 低功耗。通常，网络中的部分设备（甚至全部设备）使用电池供电。
6. 低成本。这些设备通常是传感器、开关等。这一特性与其它一些特性相关，比如低处理能力、低存储空间等。因为设备的成本会随时间而变化，所以“低”的具体数值是无法定义的。
7. 设备部署量大。这些设备的数量可能远远超过 PC 机。
8. 由于设备很可能以 ad-hoc 的方式部署，所以设备的位置通常都不能预先确定。此外，设备所处的位置可能不容易进入，设备也可能会被移动到新的位置。
9. LoWPAN 中的设备多是不可靠的，主要是因为：不可靠的无线连接、电池耗尽、设备锁定、物理干扰等。
10. 在很多环境下，连接到 LoWPAN 的设备为了节约电量可能长时间处于休眠状态，而在休眠时期不能进行通信。

后续章节将具体描述 LoWPAN 特别是 6LoWPAN（基于 IPv6 的 LoWPAN 网络）的假设、问题陈述和目标。

3 假设

基于 LoWPAN 报文尺寸小这一特性，本文假定应用程序通常只发送很少量的数据。当然，协议本身并没有限制发送大量数据。

本文所描述的 LoWPAN 基于 IEEE 802.15.4-2003。IEEE 802.15.4 的具体规范在未来可能会发生改变，因此上面提到的一些特性也可能随之改变。

部分假设基于 LoWPAN 网络中设备的处理能力有限这一特性。因此当设备的处理能力变强、消耗的电减少时，上述所提到的一些条件可以适当放松。

LoWPAN 中的设备可以分为两类：资源极其受限的设备（精简功能设备，简称 RFD）；功能稍强的设备（全功能设备，简称 FFD）。全功能设备通常拥有更多的资源，且可能以传输线供电的方式供电。因此，全功能设备可以用来辅助精简功能设备提供一些额外的功能，如网络协调、报文转发、连接其它类型的网络等。

使用 IP 技术主要有以下好处：

1. IP 网络的普遍性使得设备可以利用现有的网络基础设施。
2. 基于 IP 的技术是已经存在的，且是广为人知的、并被证明是可行的。
3. 一个不可否认的非技术性但重要的因素是 IP 网络技术是公开、免费的，这是有好处的，或至少相对于专有的技术方案来说，IP 技术更容易让大众理解。
4. 已经存在很多关于 IP 网络的工具，比如诊断、管理、调试等。
5. 基于 IP 的设备能够很容易的与其他 IP 网络连接，不需要中转设备，如转换网关、代理等。

4 问题

基于第 2 章中提到的特性，本章将阐述 LoWPAN 中关于 IP 的主要问题。

4.1 IP 连接性

LoWPAN 中 IP 连接性的需求受到下列条件的影响：

1. LoWPAN 网络中的许多设备需要网络进行自动配置并保持高度无状态。对于这一点，IPv6 已经有了解决方案。
2. 大量设备需要大量的地址空间。IPv6 能满足这个需求。
3. 由于 LoWPAN 的报文尺寸有限，因此可以根据需要，在 IPv6 地址格式中包含 IEEE 802.15.4 地址。
4. 简化了与其它网络的连通性，比如因特网。

然而，因受报文大小限制，必须尽可能地将 IPv6 和上层报文头进行压缩。

4.2 拓扑结构

LoWPAN 必须支持包括星型和 mesh 在内的各种拓扑结构。

Mesk 拓扑意味着报文需要经过多跳路由才能达到目的地。在这种情形下，中间设备在链路层扮演报文转发的角色（与网络层的路由器类似）。这种中间设备一般都是 **FFD**，因为它们比 **RFD** 具有更好的电源供应和更高的计算能力。路由协议的需求如下：

1. 由于 **LoWPAN** 的报文尺寸小，路由协议必须只占用少量（或者不占用）报文数据，且最好与跳数无关。
2. 路由协议应该只有少量的路由开销（少交换数据），平衡拓扑的变化和电量消耗。
3. 为了满足低成本和低功耗的目标，路由协议对于计算能力和存储的要求尽可能低。因此，存储和维护大路由表是不利的。
4. 支持由电池供电或有线供电的 **FFD** 或 **RFD** 所组成的拓扑网络。这意味着要考虑到对睡眠节点的路由。

与 **mesh** 拓扑一样，星型拓扑也包含一个具有报文转发功能的设备子集。这些设备可能会使用除 **IEEE 802.15.4** 之外的其它网络接口，比如以太网、**IEEE 802.11**，所以我们需要将这些构建在不同技术之上的网络进行无缝集成。当然，这是一开始使用 **IP** 的最主要原因。

4.3 受限的报文大小

应用程序发送的报文要尽可能小，最好能保证应用程序的数据加上各层的头部能在一帧之内传输，这样就能减小不必要的分片和重组。更进一步，在设计或选择协议时，必须保证单个“控制/协议报文”能够填充在一个 **802.15.4** 帧之内。按照这些原则，低端设备在对 **IPv6** 进行子 **IP** 重组（参考第 5 章）时将面临一些挑战，因为这些设备没有足够的内存或者存储空间来存储 1280 个字节的报文。

4.4 受限的配置和管理

如前面所述，**LoWPAN** 网络中部署的设备数量可能是极其庞大的。此外，这些设备一般都只有很弱的显示和输入的功能。而且，有些设备部署的地方是很难进入的。因此，**LoWPAN** 所使用的协议应尽量减少配置项，使设备容易启动，最好是开箱即用。此外，由于设备所固有的不可靠性，网络需要具有自动修复功能。在保证能够控制大量的密集部署的设备的前提下，网络管理的开销要尽量小。

4.5 服务发现

LoWPAN 需要一个简单的服务发现网络协议来发现、控制和维护设备所提供的服务。在某些情况下，特别是密集部署时，可以通过整合几个节点来提供一个服务。为了实现这样的功能，需要设计新的协议。

4.6 安全

尽管 **IEEE 802.15.4** 使用了 **AES** 保证了链路安全，但它在程序启动、密钥管理和上层协议的安全性方面没有作任何具体的规定。当然，**LoWPAN** 设备必须根据应用的需要仔细考虑一个完整的安全性方案。请参考后面安全相关的章节做更具体的讨论和深入的安全需求分析。

5 目标

下面所提到的目标并非限定在 IETF，而是具有一般性的，这不仅仅涉及到 IETF 的相关工作（例如关于传输 IP 的规范、传输 IP 报文最好的配置、相关的上层协议等），它同样指向了跟其它标准更相关的工作（例如与 IEEE 802.15.4 相关的变化描述或配置文件、W3C 等）。当一个目标属于 IETF 的工作范围时，它用来说明 IETF 需要完成什么样的工作（不管是否在一个或多个新的或已存在的工作组里完成）。当一个目标不属于 IETF 的工作范围时，它用来说明其它组织 [LIAISON] 需要完成什么样的工作。

注意，一个共同的目标是减小报文开销、带宽开销、处理器需求、和电量消耗。

下面是按优先级列出的一些 LoWPAN 目标：

1. 分片和重组层：正如概述里提到的一样，协议数据单元可能只有 81 字节，这明显比 IPv6 的最小报文 1280 字节还要小得多。为了符合 IPv6 规范 [RFC2460] 第 5 章的要求，必须在 IP 层下面提供一个分片和重组的适配层。
2. 报头压缩：考虑到在最坏情况下，一个 IEEE 802.15.4 帧可用于传输 IP 报文的大小只有 81 字节，并且 IPv6 报头长度为 40 字节（在没有可选头的情况下），这就只剩下 41 字节给上层协议，如 UDP 和 TCP。UDP 使用 8 字节的报头，TCP 使用 20 字节的报头。别外，如上面所提到的，还需要一个分片和重组层，这还会占据一定的字节，留给数据的字节就更少了。如果要使用这样的协议，数据包长度只有 10 个字节左右，这将会导致大量的分片和重，所以需要进行报头压缩。因为有大量的已发行的和正在制定中的关于报头压缩的标准文件，6LoWPAN 必须考虑使用现有的报头压缩技术，并且，如果有需要的话，制定新的标准。
3. 地址自动配置：[6LoWPAN] 指定了自动配置无状态 IPv6 地址的方法。无状态自动配置（相对于有状态）非常适合于 6LoWPANs，因为它减少了主机上的配置开销。这就需要一种方法来从 IEEE 802.15.4 设备上分配的 EUI-64 [EUI64] 来生成“接口标识符”。
4. Mesh 路由协议：一种支持多跳 mesh 网络的路由协议是必需的。现已有很多发布的点对点多跳路由协议，比如 [RFC3561]、[RFC3626]、[RFC3684]（但是这些都是实验性的）。这些协议都是基于 IP 地址而设计的，具有非常大的开销。例如，按需距离矢量路由协议（AODV）[RFC3561] 的 IPv6 地址路由请求占据 48 字节。由于报文大小的限制，不得不使用分片、重组的方法传输这种报文。为了使路由报文能够填充在一个 IEEE 802.15.4 帧内，在选择现有的路由协议（或设计新的协议）时需要慎重考虑。
5. 网络管理：使用 IPv6 传输报文的一个重要原因是为了尽可能重用现有协议。LoWPAN 的网络管理功能是非常挑剔的。然而，管理方案必须考虑到资源受限这一特性和在 4.4 节提到的最小配置和自动修复功能。在传统的网络中，简单网络管理协议（SNMP）[RFC3410] 被广泛的使用在数据资源和传感器的监控上。SNMP 功能是 LoWPAN 利用现有工具的所带来的好处的具体表现。然而，由于受到存储容量、处理能力和报文大小的限制，还需要进一步研究使用 SNMPv3 是否合适，或者在 SNMPv3 上加一个适配层，或者使用另一个不同的协议。
6. 实施注意事项：如果通过“某种”方式来实现，在 IEEE 802.15.4 上传输 IP 报文是非常有好处的。因此，这里出现了实施注意事项。
7. 应用层和更高层的注意事项：正因报头压缩变得越来越普遍，总体性能会更依赖于应用协议的高效性。基于 XML 的重量级协议如 SOAP[SOAP] 可能不太适合 LoWPAN，所以需要更简洁的编码（或许协议）。本文的目标是指定或建议如何修改现有协议以使它们适合用于 LoWPAN。此外，应用层的互操作性在未来可能是必需的，因此需要考虑到。
8. 安全事项：必须仔细理解和研究各层的安全威胁。考虑到设备的安装位置、有限的显示、高度密集和点对点部署，加入安全网络是需要全面考虑的。

6 安全考虑

基于 IPv6 的 LoWPAN (6LoWPAN) 应用经常需要保密性和完整性保护。安全保护可由应用层、传输层、网络层和/或链路层来提供（也就是说，在 6LoWPAN 的协议集里）。在所有这些情况下，诸多的限制会影响到一个特定协议的选择。一些更相关的限制是代码量小、低电量、低复杂度和小带宽。

考虑到这些限制，首先，为了测试当做出有意义的假设和简单化时对于减轻成本的任何风险，必需为 6LoWPAN 设备开发一个威胁模型。这个模型中的威胁包括中间人攻击、拒绝服务攻击等。

一个单独的安全事项集应用于 6LoWPAN 设备加入网络的过程（例如建立初始密钥）。这通常包含应用层交换或初始密钥建立的带外技术，并可能依赖于特定应用的信任模型；这不在 6LoWPAN 的范围内，所以本文不做更多描述。为了能够选择（或设计）下一项协议，这就需要由初始密钥建立的键控材料成为一个通用模型。

除初始密钥建立之外，后面的密钥管理和数据传输安全协议在 6LoWPAN 考虑范围内。必须先依据 6LoWPAN 的限制来评估，然后再做出选择（TLS, IKE/IPsec 等）。

由于 IEEE 802.15.4 设备已经支持 AES 链路层安全，所以还需要考虑在链路层上是否还需要使用其它安全协议。AES 是一个在固定块长度（128 位）操作的一个块密码。为了加密更长的消息，可使用几种不同的操作模式。最早的模式，如 ECB、CBC、OFB 和 CFB，只提供保密性，并不保证消息的完整性。其它已经设计出的模式可同时保证保密性和完整性，如 CCM* 模式。6LoWPAN 可以使用前面的任一种模式，但最好使用最安全的链路层安全模式（即 CCM*）。

对于网络层安全，有两种可用的模型：端到端安全（例如 IPsec 传输模式）和限制于网络无线部分的安全（例如使用安全网关和 IPsec 隧道模式）。后一种模式的不利之处是报头太大，这对 6LoWPAN 帧的 MTU 是很重要的。为了简化 6LoWPAN 的实施，指定相关的安全模型是有好处的，并要指定一组适合于受限环境的优先密码集。

7 致谢

感谢 Geoff Mulligan、Soohong Daniel Park、Samita Chakrabarti、Brijesh Kumar 和 Miguel Garcia 提出的意见并帮助完成了这份文档。

8 参考文献

8.1 标准参考

[RFC2460]

- Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol, Version6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.

[IEEE802.15.4]

- IEEE Computer Society, "IEEE Std. 802.15.4-2003", October 2003.

8.2 信息性参考

[EUI64]

- "GUIDELINES FOR 64-BIT GLOBAL IDENTIFIER (EUI-64)REGISTRATION AUTHORITY", IEEE, <http://standards.ieee.org/regauth/oui/tutorials/EUI64.html>.

[6LoWPAN]

- Thomson, S., Narten, T., and T. Jinmei, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", Work in Progress, May 2005.

[RFC3411]

- Harrington, D., Presuhn, R., and B. Wijnen, "An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks", STD 62, RFC 3411, December 2002.

[RFC3561]

- Perkins, C., Belding-Royer, E., and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC 3561, July 2003.

[RFC3626]

- Clausen, T. and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC 3626, October 2003.

[RFC3684]

- Ogier, R., Templin, F., and M. Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)", RFC 3684, February 2004.

[SOAP]

- "XML Protocol Working Group", W3C, <http://www.w3c.org/2000/xp/Group/>.

[LIAISON]

- "IETF Liaison Activities", IETF, <http://www.ietf.org/liaisonActivities.html>.