

# 物联网感知层 IPv6 6Lowpan 标准化进展

## 摘要

物联网的感知层技术多种多样，没有形成统一的标准，难以大规模互通。IP 协议作为互联网的统一标准，对物联网的发展具有重要的借鉴意义，成为了物联网标准研究和技术应用的一种方向。互联网的诞生地 IETF 制订了 IPv6 低功耗网络的相关标准，并且成为 IPSO 产业联盟、ISA-100 组织的选择，以及 Zigbee 智能电网 Smart Energy(SEP 2.0)标准的发展方向。本文介绍了物联网感知层 IPv6 6Lowpan 协议标准化的进展，介绍了 IPv6 技术在 IETF, IPSO, Zigbee, ISA-100 多个标准化组织的基本原理和工作进展，概括了相关技术标准的主要内容以及应用发展状况。

---

## 1. 物联网与 IPv6

物联网（Internet of Things）的概念最初在 1999 年由美国麻省理工学院的 Auto-ID 实验室提出，其构想是通过 RFID 与无线传感器网络的结合来构建一个追踪货物的全球系统。Internet of Things 这个思路最初是非常具体的，但是其概念本身给人以很大的遐想空间，并且随着集成电路技术、无线传感器网络技术的飞速发展，这个幼小的思想得到了越来越广泛的关注，并且被各方赋予了新的内涵和外延。2005 年，国际电信联盟（ITU）在其年度报告中对物联网的概念、技术、市场、挑战和未来构想方面进行了阐述。与此同时，互联网的诞生地 IETF 自 2006 年开始也从技术层面展开了对物联网的研究，制定了网络层的相关技术标准。2010 年 3 月，IETF 主席 Aaron Falk 在第 77 次会议上发起了 IoT 的兴趣小组，计

划从研究层面推进相关工作。

物联网的架构可以简单地划分为 3 个层次（感知层，网络层和应用层），分别为物联网提供了一些重要的特性，即全面感知、可靠传送、智能处理。物联网的感知层要求能够全面感知物理世界的各种信息，利用多种传感器、传感器网络、RFID、二维码、摄像头、GPS、智能物体等来全面感知现实世界中的各种信息。物联网的感知层节点具有数量多、成本低、计算能力弱等特点，是物联网信息的源头，如何更好地管理维护感知层网络、促进相关应用开展一直是学术界和工业界关注的重要问题之一。

物联网引起全世界的广泛关注以来，终端数量持续上升，逐渐成为上百亿终端的市场，给网络运营提出了两个方面的挑战。首先是码号寻址需求，从国际和国内两个方面看，IPv4 地址不足已经成为不争的事实。一方面，截止到 2010 年 3 月，全球可分配的 A 类 IPv4 地址段只剩下 22 个，预计 2012 年亚洲地址管理分支机构 APNIC 的 IPv4 地址池将耗尽，届时国内公司将无法再申请到 IPv4 地址；另一方面，我国已获得的 IPv4 地址份额只占到全球的 6.3%，势必影响我国巨大潜在市场的发展。由此可见，IPv4 地址尚不能满足互联网和移动互联网的地址需求，对于发展中的物联网，特别是具有数量众多的感知层节点的标识问题，这个问题更为明显。其次，物联网业务发展问题也凸显出现，目前，感知终端上的数据格式多种多样，难以统一管理运营，新型业务难以落地。由于缺乏统一的网络层通信标准，应用程序的开发处于无章可循的状态，且广泛基于 TCP/IP 协议栈开发的互联网应用不容易移植。因此，物联网的发展需要统一标准的协议来支撑网络向大规模泛在化发展，也需要一个标准的网络基础设置来孵化各种新型的业务模式，真正实现“无处不在的网络、无所不能的业务”。

基于这两个方面的需求，物联网和 IPv6 产生了广泛的联系。IETF 从一开始研究物联网相关技术以来，就把 IPv6 作为惟一选择，IETF 相关工作组的工作都是在 IPv6 基础上展开的，相关的产业联盟 IPSO Alliance (IP Smart Object Alliance) 也开始了 IPv6 产品化推广的路线。最初不支持 IP 相关技术的 Zigbee 组织，也在其智能电网(Smart Energy)的最新标准规范中加入了 IPv6 协议的支持。

本文介绍了物联网感知层的 IPv6 协议标准化动态，介绍了 IPv6 技术在 IETF, IPSO, Zigbee, ISA-100 多个标准化组织的基本原理和工作进展。

## 2. IETF 工作进展

IETF 成立了 3 个工作组来进行低功耗 IPv6 网络方面的研究。[6LowPan\(IPv6 over Low-power and Lossy Networks\)](#)工作组主要讨论如何把 IPv6 协议适配到 IEEE 802.15.4 MAC 层和 PHY 层协议栈上的工作。[RoLL\(Routing Over Low Power and Lossy Networks\)](#)主要讨论低功耗网络中的路由协议，制订了各个场景的路由需求以及传感器网络的 RPL(Routing Protocol for LLN)路由协议。[CoRE\(Constrained Restful Environment\)](#)工作组由 6LowApp 兴趣小组发展而来，主要讨论资源受限网络环境下的信息读取操控问题，旨在制订轻量级的应用层协议(Constrained Application Protocol, CoAP)。

### 2.1. 6LowPan 工作组

6LowPan 工作组成立于 2006 年，属于 IETF 互联网领域。该工作组已完成两个 RFC: 《在低功耗网络中运行 IP6 协议的假设、问题和目标》(RFC4919, Informational); 《在 IEEE802.15.4 上传输 IPv6 报文》(RFC4944, Proposed Standard)。

在 IEEE 802.15.4 网络中运行 IPv6 协议的主要挑战来自于两个方面，一方面 802.15.4 物理层支持的最大帧长度是 127 字节，而 IPv6 的报头就占据了 40 字节，再加上 MAC 层报头，安全报头、传输层报头的长度，实际能够给应用层使用报文长度变得非常小。另一方面，IPv6 协议(RFC2460)中规定的 MTU 值最小是 1280 字节，表明 IP 层最小只会把数据包分片到 1280 字节。如果链路层支持的 MTU 小于此值，则链路层需要自己负责分片和重组。所以，6LowPan 工作组为 IEEE 802.15.4 设计了一个适配层，把 IPv6 数据包适配到 IEEE 802.15.4 规定的物理层和链路层之上，支持报文分片和重组，同时 6LowPan 规定了 IPv6 报头的无状态压缩方法，减小 IPv6 协议带来的负荷。6LowPan 工作组的工作在低功耗节点协议栈中的位置如图 1 所示。

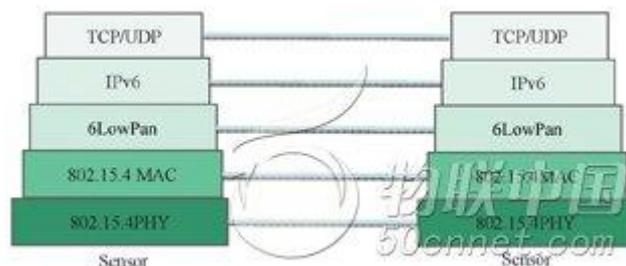


图 1 6LowPan 协议栈模型

报头压缩的主要原理是通过压缩编码省略掉报头中冗余的信息。不包含扩展头的 IPv6 报头一共有 40 个字节,但是在网络感知层,IPv6 报头中的很多信息可以省略或者压缩,IPv6 报头中的各个信息域的压缩方法如下:

- (1)版本号 Version(4 位): 取值为 6, 在运行 IPv6 协议的网络中, 此项可以省略。
- (2)流类型 Traffic Class(8 位): 可以通过压缩编码压缩。
- (3)流标识 Flow label(20 位): 可以通过压缩编码压缩。
- (4)载荷长度 Payload Length(16 位): 可以省略, 因为 IP 头长度可以通过 MAC 头中的载荷长度字段计算出来。
- (5)下一个头 Next Header(8 位): 可以通过压缩编码压缩, 假设下一个头是 UDP, ICMP, TCP 或者扩展头的一种。
- (6)跳极限 Hop Limit(8 位): 惟一不能进行压缩的信息。
- (7)源地址 Source Address(128 位): 可以进行压缩, 省略掉前缀或者 IID。
- (8)目标地址 Destination Address(128 位): 可以进行压缩, 省略掉前缀或者 IID。

为了对 IPv6 报头进行无状态压缩, 6LowPan 工作组制定了两种压缩算法 LOWPAN\_HC1(RFC4944)和 LOWPAN\_IPHC(draft-ietf-6LowPan-hc-06), 其中 HC1 算法用于使用本地链路地址(Link-local Address)的网络, 节点的 IPv6 地址前缀固定(FE80: : /10), IID 可以由 MAC 层的地址计算而来, 但是这种算法不能有效压缩全局的可路由地址和广播地址, 因此不能用于 LOWPAN 网络与互联网互访的应用。LOWPAN\_IPHC 算法的提出主要是为了有效压缩可路由的地址, 目前 LOWPAN\_IPHC 算法正在 IETF 6LowPan 工作组进行最后的修订状态。

LOWPAN\_HC1 算法和 LOWPAN\_IPHC 算法在 MAC 报头之后定义了 8 位的一个选择报头，此选择报头的取值决定了压缩报头的具体格式和算法。详细信息见表 1。例如，如果前 8 位的取值是 0100001，那么表示接下来是 LOWPAN\_HC1 算法对应的压缩报头，如果前 3 位的取值是 011，那么表示接下来的是 LOWPAN\_IPHC 算法对应的压缩报头。

表 1 6LowPan 选择报头的含义

类型	报头类型
00 XXXXX	NALP(非 LowPan 数据帧)
01 00001	IPv6 未压缩的 IPv6 报头
01 00010	LOWPAN_HC1 - LOWPAN_HC1 压缩的 IPv6 报头
.....	保留
01 10000	LOWPAN_BCD - LOWPAN_BCD 广播包
.....	保留
01 XXXXX	LOWPAN_IPHC 算法压缩的 IPv6 报头
01 00000	ESC 表示紧接着有其他选择报头
10 XXXXX	MESH 网状报头
11 00XXX	FRAG1, 分片报头(第一个)
11 00XXX	FRAGN, 分片报头(第 N 个)

在选择报头后紧跟的是压缩编码，压缩编码由一些指示位组成，指示位的不同取值表明了 IPv6 报头压缩的不同方法。具体参见 RFC4944。

除了 IPv6 无状态报头压缩的方法之外，6LowPan 工作组还制定了一系列相关标准，包括支持 Mesh Routing 的方法，简化的 IPv6 Neighbor Discovery 协议，应用场景和路由需求等几个关键的技术规范。6LowPan 工作组是 IETF 物联网感知层工作的发源地，其中的很多研究和探索直接影响了另外几个工作组的成立和方向，下面将分别介绍。

## 2.2. IPv6 路由工作组 RoLL

RoLL(Routing over Lossy and Low-power Networks)工作组于 2008 年 2 月成立，属于 IETF 路由领域的工作组。IETF RoLL 工作组致力于制定低功耗网络中 IPv6 路由协议的规范。ROLL 工作组的思路是从各个应用场景的路由需求开始，目前已经制定了 4 个应用场景的路由需求，包括家庭自动化应用(Home Automation, RFC5826)、工业控制应用(Industrial Control, RFC5673)、城市应用(Urban Environment, RFC5548)和楼宇自动化应用(Building

Automation, draft-ietf-roll-building-routing-reqs)。

为了制订出适合低功耗网络的路由协议，ROLL 工作组首先对现有的传感器网络的路由协议进行了综述分析，工作组文稿 draft-ietf-roll-routing-survey 分析了相关协议的特点以及不足。然后研究了路由协议中路径选择的定量指标。ROLL 工作组文稿 draft-ietf-roll-routing-metrics 包含两个方面的定量指标，一方面是节点选择指标，包括节点状态，节点能量，节点跳数(Hop Count);另一方面是链路指标，包括链路吞吐率、链路延迟、链路可靠性、ETX、链路着色(区分不同流类型)。为了辅助动态路由，节点还可以设计目标函数(Objective Function)来指定如何利用这些定量指标来选择路径。在路由需求、链路选择定量指标等工作的基础上，ROLL 工作组研究制定了 RPL(Routing Protocol for LLN)协议。RPL 协议目前是一个工作组文稿(draft-ietf-roll-rpl)，已经更新到第 8 版本。RPL 协议支持 3 种类型的数据通信模型，即低功耗节点到主控设备的多点到点的通信，主控设备到多个低功耗节点的点到多点通信，以及低功耗节点之间点到点的通信。RPL 协议是一个距离向量路由协议，节点通过交换距离向量构造一个有向无环图(Directed Acyclic Graph, DAG)。DAG 可以有效防止路由环路问题，DAG 的根节点通过广播路由限制条件来过滤掉网络中的一些不满足条件的节点，然后节点通过路由度量来选择最优的路径。

## 2.3. IPv6 应用工作组 CoRE

2010 年 3 月，CoRE(Constrained RESTful Environment)工作组正式成立，属于应用领域(Application Area)。CoRE 起源于 6lowapp 兴趣组(BOF)，主要讨论受限节点上的应用层协议。随着讨论的深入，IETF 技术专家把工作组的内容界定在为受限节点制定相关的 REST 形式的协议上。REST(Representational State Transfer)是指表述性状态转换架构，是互联网资源访问协议的一般性设计风格。REST 提出了一些设计概念和准则：网络上的所有对象都被抽象为资源；每个资源对应一个唯一的资源标识；通过通用的连接器接口；对资源的各种操作不会改变资源标识；对资源的所有操作是无状态的。HTTP 协议就是一个典型的符合

REST 准则的协议。在资源受限的传感器网络中，HTTP 过于复杂，开销过大，因此也需要设计一种符合 REST 准则的协议，这就是 CoRE 工作组正在制订的 CoAP 协议(Constrained Application Protocol)。目前，CoAP 协议还处于讨论状态，暂时没有工作被 IETF 接受为工作组文稿。

应用 CoAP 协议之后，互联网上的服务就能够直接通过 CoAP 协议或者通过 HTTP 与 CoAP 协议之间的网关来进行资源读取、修改、删除等操作。图 2 显示了 CoAP 协议在传感器、网关、互联网服务器上的呈现。图 2(a)显示了 CoAP 通过网关与 HTTP 协议进行转换的方式，图 2(b)显示了传感器节点直接与支持 CoAP 协议的互联网服务器进行信息交互的方式。图中也显示了这两种方式中，节点和网关的协议栈都是建立在 IPv6 和 6LowPan 协议栈之上的。

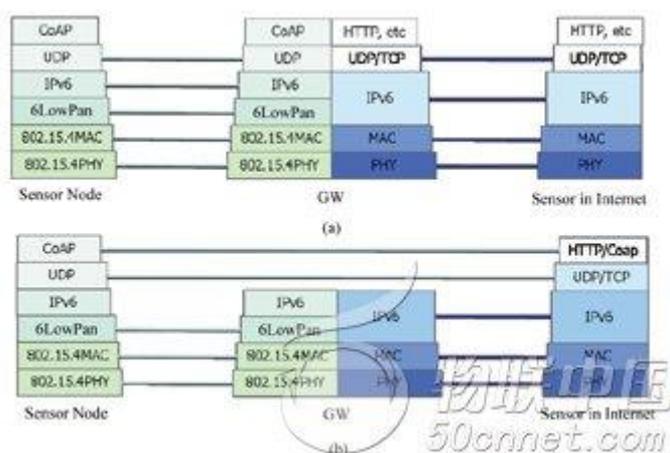


图 2 利用 CoAP 协议进行资源访问的节点、网关和服务器的协议栈

除了 CoAP 协议，资源受限环境中的资源发现、安全、API 等都在工作组的工作范围之内，相关的工作正在积极地展开。

### 3. 物联网感知层 IPv6 协议的相关应用标准

物联网感知层的 IPv6 协议目前在 IETF 组织进行研究和标准化，其他相关标准化组织为了支持 IPv6 也要研究如何采用和应用 IETF 相关标准。目前，支持 IPv6 相关应用的国际标

准化组织有 IPSO, Zigbee, ISA-100 等组织。

### 3.1. IPSO Alliance

IPSO Alliance(IP Smart Object Alliance)即 IP 智能物体产业联盟, 是推动 IETF 所制订的轻量级 IPv6 协议相关应用的产业联盟。IPSO 成立于 2008 年 9 月, 其发起组织包括 CISCO, Ericsson, SUN 等电信和互联网厂商, 也包括一些传统的传感器网络的芯片和器件厂商, 如 Atmel, Freescale, Arch Rock, Sensinode 等。

IPSO 联盟的主要目的是推动智能 IP 解决方案的产业实施和, 实现智能 IP 解决方案的技术优势。IPSO 分析了现有传感器网络系统和控制系统中方案的问题, 特别是这些方案长远来看在大规模系统中难以互通的问题, 指出 IP 技术作为一种成熟和高度互通的方案, 是市场和技术的最佳选择。IPSO 目前的工作包括: 引起产业界对 IP 智能物体解决方案的重视, 利用现有方案并且进行技术开发; 产出一系列帮助厂商开发的指导性研究报告、白皮书和应用场景; 从市场层面辅助 IETF 组织的工作; 连接起全世界支持 IP 智能感知和控制系统的公司; 协调和组织市场推动工作; 组织互通性测试。

目前, IPSO 已经产出 5 份白皮书, 包括:

- (1)IP 协议带来的优势。
- (2)智能物体的轻量级 IPv6 协议栈: 来自 3 个独立互通实现的经验。
- (3)6LowPan 介绍。
- (4)6LowPan 邻居发现协议概览。
- (5)智能物体的网络安全。

IPSO 主要基于 IETF 所制订的技术标准, 以此来推动应用和产业发展, 进行互通性测试, 资质认证等等工作, 是 IETF 物联网技术的主要推动者。

## 3.2. Zigbee Alliance

Zigbee 是 IEEE 802.15.4 组织对应的产业联盟。Zigbee 制订了短距离无线通信标准的网络层和应用层，针对不同的应用制订了相应的应用规范。Zigbee 对应的物理层和链路层是在 IEEE 802.15.4 组织研究制订的。

Zigbee 目前正式发布的规范涵盖了下面几种应用：智能电力，遥控，家庭自动化，医疗，楼宇自动化，电信服务应用，零售服务应用等。Zigbee 组织目前包含 23 个工作组和任务组，涵盖技术相关的工作组：架构评估、核心协议栈、IP 协议栈、低功耗路由器、安全，以及应用相关的工作组：楼宇自动化、家庭自动化、医疗、电信服务、智能电力、远程控制、零售业务，还有与市场、认证相关的一些工作组。

Zigbee 最初是不支持 IP 协议的，目前 Zigbee 已经正式发布的应用规范都没有对 IP 协议的支持。但是随着 IETF, IPSO 相关工作的推进，以及 Zigbee 内部成员单位的推动，Zigbee 的智能电力 Smart Energy 2.0 应用已经开始全面支持 IP 协议。同时，Zigbee 内部成立了 IP-stack 工作组，专门制定 IPv6 协议在 Zigbee 规范中的应用方法。Zigbee Smart Energy2.0 应用也将采用 IETF 6LowPan 制订的适配层，要求 IEEE 802.15.4 设备的网络中使用这种轻载的 IPv6 协议栈，同时把对 6LowPan 的支持作为一种必选。在应用层，新的规范也支持轻量级的 COAP 协议。Zigbee IP-stack 工作组的工作范围可以从图 3 显示出来。

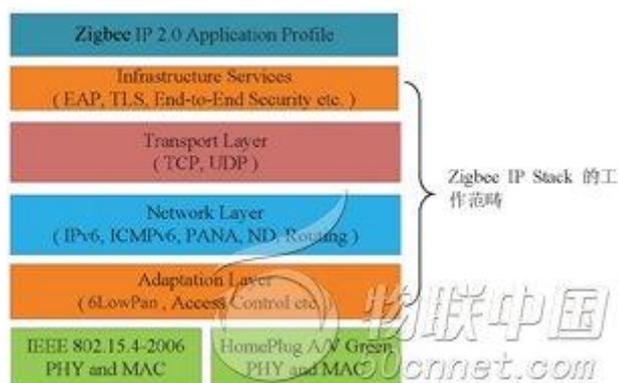


图 3 Zigbee IP Stack 工作组的工作范畴

适配层(Adaption Layer)提供报头压缩和解压缩功能，IP 报文分片重组的能力；网络层提供 IPv6 地址配置、ICMPv6 协议、邻居发现、路由、安全接入的能力；传输层要求提供

多路数据流服务，进行拥塞控制和流量控制；在基础设施服务层，Zigbee IP Stack 工作组正在制订 EAP 认证，TLS，端到端安全的相关架构和技术规范。

### 3.3. ISA-100

ISA(International Society of Automation)是无线传输在工控领域的产业联盟，ISA 专门成立了一个由终端用户和技术提供者组成的 ISA-100 委员会，该委员会的主要任务是制定标准、推荐操作规程、起草技术报告等，用以定义工业环境下的无线系统相关规程和实现技术。ISA-100.11a 工作组主要由 10 个子工作组组成：系统工作组、汇集工作组、PHY/MAC 层工作组、安全工作组、网络/传输层工作组、网络管理工作组、评估工作组、应用层工作组、编辑工作组合网关工作组。其中，在网络/传输层上，ISA-100.11a 组织也要求支持 RFC4944 的网络层协议栈，支持 6LowPan，IPv6 协议和 TCP/UDP。

## 4. 结束语

物联网的感知层技术多种多样，没有形成统一的标准，难以大规模互通。IP 协议作为互联网的统一标准，对物联网的发展具有重要的借鉴意义，成为了物联网标准研究和技术应用的一种方向。互联网的诞生地 IETF 制订了 IPv6 低功耗网络的相关标准，并且成为 IPSO 产业联盟、ISA-100 组织的选择，以及 Zigbee 组织的发展方向。本文介绍了物联网感知层 IPv6 协议标准化的动态，概括了相关技术标准的主要内容以及应用发展状况。物联网感知层的 IPv6 技术正日臻完善，期待着未来会有越来越多的网络应用采用 IPv6 协议，实现真正的端到端的互联互通。

- 参考资料

[1] IPv6 6Lowpan, Contiki, Zigbee, RFID, Mesh, 物联网, 无线传感器网络技术开发

<http://www.iotdev.net>

[2] IETF 6LoWPAN Working Group:

<http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>

[CoRE] IETF CoRE Working Group:

<http://datatracker.ietf.org/wg/core/charter/>

[ROLL] IETF ROLL Working Group:

<http://datatracker.ietf.org/wg/roll/charter/>