

## 基于6LoWPAN的物联网寻址策略研究

王义君 钱志鸿\* 王雪 孙大洋  
(吉林大学通信工程学院 长春 130012)

**摘要:** 在6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network)的基础上, 该文提出应用于物联网的寻址策略, 实现基于IEEE 802.15.4协议的底层异构网络与互联网的实时通信。寻址策略包括IPv6地址自动配置和报头压缩。采用的分层地址自动配置策略, 首先在底层网络内部允许节点使用16位短地址导出的链路本地地址进行数据分组传输, 该链路本地地址需通过执行基于分簇的重复地址检测机制保证唯一性; 其次, 每个底层网络中的Sink节点通过上层IP路由器获取全球路由前缀, 并与接口标识符相结合, 形成Sink节点的全球地址, 实现底层网络与互联网的数据交换。同时, 通过在报头压缩编码中植入链路本地地址和全球地址控制位, 提出了一种适用于物联网应用的报头压缩方案IIPHC (IoTs IPv6 Header Compression)。如果地址类型为链路本地地址, 则采用简单灵活的IIPHC1方案, 如果地址类型为全球地址, 则采用相对复杂但有效的IIPHC2方案。仿真及测试结果表明, 基于6LoWPAN的物联网寻址策略在网络开销、时延、吞吐量、能耗等性能方面存在一定的优越性。

**关键词:** 物联网; 底层网络; 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network); 地址自动配置; 报头压缩

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)04-0763-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.01368

## Addressing Scheme for Internet of Things Based on IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)

Wang Yi-jun Qian Zhi-hong Wang Xue Sun Da-yang  
(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Addressing scheme for Internet of Things (IoTs) is proposed based on IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN), for the real-time communication between Internet and underlying heterogeneous networks based on IEEE 802.15.4. Addressing scheme includes IPv6 address autoconfiguration and head compression. Hierarchical address autoconfiguration firstly allow nodes use link local address, which is derived by 16-bit short address, for transmitting data packets within WPAN, meanwhile, this link local address needs to ensure the uniqueness of 16-bit short address by performing duplicate address detection based on clustering. Secondly, all the sink nodes in underlying networks form global address by obtaining global address prefix, which combine with interface identifier, and achieve data exchange between Internet and the underlying networks. Simultaneity, IoTs IPv6 Header Compression (IIPHC) is proposed by embedding G/L bit in head compression encoding. For the link local address, simple IIPHC1 program is used. For the global address, IIPHC2 that is relatively complex but effective program is used. The simulation result indicates that addressing scheme have an improvement in networks overhead, latency, throughput and energy consumption.

**Key words:** Internet of Things (IoTs); Underlying heterogeneous networks; IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN); Address autoconfiguration; Head compression

### 1 引言

物联网(Internet of Things, IoT)包含如下两层涵义: (1)互联网是物联网的核心和基础, 物联网必

须在互联网的基础上进行延伸和扩展; (2)终端用户延伸和扩展到了所有物品与物品之间, 可以使它们之间进行信息交换和通信。国际电信联盟将射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)<sup>[1,2]</sup>、传感器技术、纳米技术、智能嵌入式技术列为物联网的关键技术。当前阶段, 物联网所要解决的关键问题之一是底层异构网络与互联网的相互融合<sup>[3]</sup>。IEEE 802.15.4 通信协议是短距离无线通信标准, 相

2011-12-23 收到, 2012-02-01 改回

国家自然科学基金(61071073)和教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20090061110043)资助课题

\*通信作者: 钱志鸿 dr.qzh@163.com

对于蓝牙技术<sup>[4]</sup>而言,更适用于物联网底层异构网络设备间的通信。IPv6 是下一代互联网网络层的主导技术,在地址空间、报文格式、安全性方面具有较大的优势。6LoWPAN(IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Networks)技术通过在网络层和数据链路层之间引入适配层<sup>[5]</sup>,实现基于 IEEE 802.15.4 通信协议的底层网络与基于 IPv6 协议的互联网的相互融合,适配层主要完成接入过程中的以下功能:(1)为了高效传输对 IPv6 数据包进行分片与重组;(2)网络地址自动配置;(3)为了降低 IPv6 开销对 IPv6 分组进行报头压缩;(4)有效路由算法。其中,网络地址自动配置以及 IPv6 报头压缩两类功能,对于识别接入物联网的每个终端节点,使节点间能够相互进行资源共享和信息交换具有最为重要的意义,因此本文围绕以上两个方面,在 6LoWPAN 适配层的基础上,实现了物联网中基于 IEEE 802.15.4 通信协议的底层异构网络与基于 IPv6 协议的互联网的统一寻址,保证了物联网时代网络层向传输层提供灵活简单、无连接、满足 QoS 需求的数据报服务<sup>[6,7]</sup>。

## 2 研究背景

6LoWPAN 协议基本功能是实现基于 IEEE 802.15.4 通信协议的底层网络与基于 IPv6 协议的互联网相互无缝链接<sup>[8]</sup>,从而为物联网大规模应用提供实时可靠的网络协议保证<sup>[9]</sup>,但相关技术存在诸多挑战。

首先,传统的地址自动配置方案不适合于物联网,主要有两方面原因:(1)对于有线网络来说,一个广播消息可以达到链路中的所有节点,而物联网中底层网络通常采用无线传输方式,具有多跳路由的特点,而物联网的底层网络一般不存在带有整个网络信息的中心服务器,因此像 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)这样的配置方案不适用于物联网;(2)物联网的底层网络一般会受到能量的限制,而传统的地址自动配置方案会给整个物联网带来较高的能量和带宽消耗、通信延迟以及存储空间的占用。所以,需要研究适用于物联网的新的地址自动配置方案。文献[10]提出利用三原色坐标和节点位置信息实现 IPv6 地址自动配置(IPv6 lightweight stateless Address Autoconfiguration for 6LoWPAN using Color Coordinators, CCAA)。相对于传统方案而言,该方法的重复地址检测(Duplicate Address Detection, DAD)开销较小,但由于其需要通过协调器节点获取地理位置信息,使其在硬件实现及扩展性上存在一定的限制,与此同

时,当网内传感器节点数量增加时,传递 DAD 消息的范围随之增大,网络开销也会大幅度增加。其次,每一种链路层协议都会规定帧的数据部分的长度上限——最大传送单元 MTU(Maximum Transfer Unit)。IEEE 802.15.4 协议定义的 MTU 为 127 byte,除去必要的帧开销外,留给 MAC 帧载荷的长度约为 81 byte,而 IPv6 分组最少为 1280 byte,因此 IEEE 802.15.4 MAC 帧不能封装完整的 IPv6 分组。而通过报头压缩技术可以提高数据传输效率和网络资源利用率。RFC4944<sup>[11]</sup>中提出的 HC1(Head Compression 1)报头压缩方案对于链路本地单播通信是十分有效的。但是,由于链路本地地址通常适用于局部协议交互,一般不用于应用层数据流,因此 HC1 的实际应用价值非常有限。IPHC<sup>[12]</sup>(IPv6 Head Compression)方案选择性的采用有状态压缩方式,并且利用上下文标识扩展位来增加后续编码的策略,对于物联网的底层网络来说,系统开销和软件复杂度都会大幅度提升。

本文在 6LoWPAN 基础上提出一种适用于物联网应用的寻址方案。寻址策略包括 IPv6 地址自动配置和报头压缩两部分。分层地址自动配置策略,首先在底层网络内部允许节点使用 16 bit 短地址导出的链路本地地址进行数据分组传输,并将该链路本地地址经过基于分簇的重复地址检测保证唯一性;其次,每个底层网络中的 Sink 节点通过上层 IP 路由器获取全球地址路由前缀,并与自身的接口标识符相结合,形成 Sink 节点的全球地址。同时,本文提出一种适用于物联网应用的报头压缩方案 IIPHC(IoTs IPv6 Header Compression),通过在编码中植入链路本地地址和全球地址控制位决定采用报头压缩方案的类型。

本文组织结构如下:本节介绍了在网络寻址方面,基于 6LoWPAN 的底层异构与互联网融合的相关研究背景及技术挑战;第 3 节从地址自动配置和报头压缩两个方面提出了基于 6LoWPAN 的物联网寻址策略;第 4 节对物联网寻址策略进行了仿真及分析;第 5 节对本文的研究作出结论,总结全文。

## 3 物联网寻址策略

### 3.1 地址自动配置

每个 802.15.4 设备都可以通过一个 IEEE EUI-64 长地址或一个可分配的 16 bit 短地址作为该设备的链路层地址完成通信链接。为了使 IPv6 地址在物联网中能够保证唯一性以及降低底层网络的通信开销,本文采用分层地址自动配置策略:首先,在底层网络内部允许节点使用 16 bit 短地址导出的链

路本地地址进行数据分组传输，该链路本地地址需经过基于分簇的 DAD 保证唯一性；其次，每个底层网络中的 Sink 节点通过上层 IP 路由器获取全球单播路由前缀，并与 IEEE EUI-64 地址计算出的接口标识符(ID)相结合，形成 Sink 节点的全球单播地址，实现底层网络与互联网的数据交换。

(1)基于 16 bit 短地址的链路本地地址 通过在物联网底层网络建立逻辑树结构实现 16 bit 短地址分配。当底层网络中的某一节点允许一个有需求的新节点加入网络时，它们之间形成父子关系，每个加入网络的节点都会得到父节点为其分配的用于路由和数据传输的 16 bit 短地址。

Sink 节点首先根据需要规定 3 个参数：每个父节点最多可以连接的子节点个数  $C_m$ ，子节点中最多可以连接的路由节点个数  $R_m$ ，网络的最大深度  $L_m$ ，其中  $C_m \geq R_m$ 。Cskip( $d$ )是网络深度为  $d$  的父节点为其子节点分配的地址之间的偏移量如式(1)所示。

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m(L_m - d - 1), & R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \cdot R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

一个父节点的 Cskip( $d$ )为 0 时，不具备为其子节点分配地址的能力，Cskip( $d$ )大于 0 时，则可以接受其它节点成为它的子节点，并且向子节点分配不同的地址。利用 Cskip( $d$ )作为偏移量，向网内子节点分配网络地址。父节点为第 1 个与它连接的路由节点分配比自己大 1 的地址，后续与之连接的节点的地址之间都相隔偏移量 Cskip( $d$ )，以此类推为所有的节点分配 16 bit 短地址。假设父节点的地址为  $A_{parent}$ ，对于它的第  $n$  个子节点，地址分配公式如式(2)所示：

$$A_n = A_{parent} + Cskip(d) \cdot (n - 1) + 1, \quad 1 \leq n \leq R_m \quad (2)$$

为了避免分配的 16 bit 短地址在网络中的重复使用，需要利用 DAD 确定地址的唯一性。本文通过分簇方式执行 DAD，确定地址的唯一性。在网络建立过程中，以 Sink 节点为根节点建立虚拟逻辑树结构，其深度  $L=0$ 。从根节点开始，已经存在的网络节点作为后续加入节点的父节点建立分簇，使逻辑树结构不断壮大，虚拟逻辑树结构如图 1 所示。通过虚拟逻辑树结构，待分配节点只需与本簇内的节点交换信息，减少了 DAD 过程中信息交换次数及网络通信范围。

当节点获取 16 bit 短地址并确定唯一性后，通过步骤(a)将其转换为 48 bit 的标准 MAC 地址，然后利用该 48 bit 标准 MAC 地址再通过步骤(b)得到自动配置的 IPv6 地址的接口 ID：

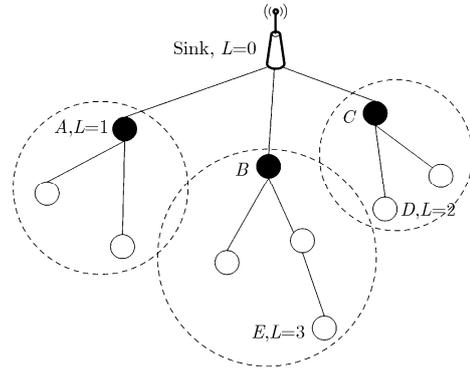


图 1 DAD 虚拟逻辑树结构

(a)首先最左边的 32 bit 利用源节点的 PAN ID 和后加入的 16 bit 零形成，其次该 32 bit 域与源节点的 16 bit 短地址相结合，形成一个 48 bit 的标准 MAC 地址，结构如图 2 所示。

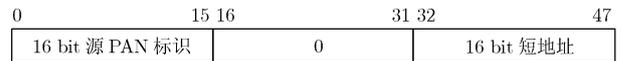


图 2 48 bit 标准 MAC 地址

(b)在上述 48 bit MAC 地址的中间插入一段 16 bit 的编码 FFFE，转换成 IPv6 地址的 64 bit 接口 ID，结构如图 3 所示。

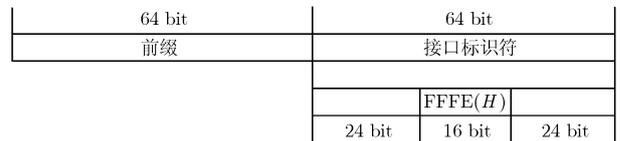


图 3 16 bit 短地址转换格式

当一个新节点需要加入网络时，该节点需要接口标识符以及链路本地地址前缀创建一个链路本地地址。如图 4 所示，假设节点 K 的 16 bit 短地址为 ABCD，PAN 标识为 0014，那么当其与网络节点 H 建立连接后，通过 16 bit 短地址得到标准的 48 bit MAC 地址 0014:0000:ABCD，通过插入编码 FFFE 可得到节点 K 的 EUI-64 地址 0214:00FF:FE00:

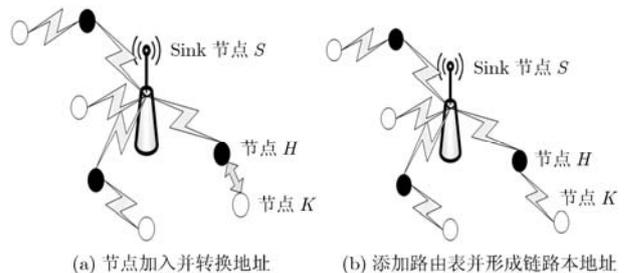


图 4 链路本地地址形成过程

ABCD, 即为该节点的接口标识符。同时, 将节点  $K$  的 16 bit 短地址通过节点  $H$  报告给信标节点  $S$ , 信标节点  $S$  将该 16 bit 短地址加入到路由表中, 然后在接口标识符前加上链路本地地址前缀 FE80::/64, 即得到一个完整的链路本地地址 FE80::0214:00FF:FE00:ABCD。

(2)基于 IEEE EUI-64 地址的全球地址 对于 64 bit 长地址来说, 其 64 bit 的扩展标识符构成了 IPv6 地址的接口标识符。所以定义 64 bit 长地址转换为 IPv6 地址的结构如图 5 所示。下面通过 Sink 节点接收路由通告的全球地址前缀, 结合 IEEE EUI-64 地址转换为接口标识符形成一个全球地址的方式说明整个全球地址自动配置过程。

64 bit 前缀	64 bit 接口标识符		
	<table border="1"> <tr> <td>制造商标识 24 bit</td> <td>扩展标识 40 bit</td> </tr> </table>	制造商标识 24 bit	扩展标识 40 bit
制造商标识 24 bit	扩展标识 40 bit		

图 5 64 bit 长地址转换格式

如图 6 所示, 为了生成全球地址, 必须要获取全球路由前缀。Sink 节点  $S$  为获取全球路由前缀, 需要向与其相邻的 IP 路由节点  $P$  发出路由请求 RS (Router Solicitation), 该 RS 消息的源地址是 Sink 节点  $S$  的链路本地地址, 目的地址是 IP 路由节点  $P$  的组播地址。IP 路由节点  $P$  接收到 RS 消息后, 会向  $S$  返回一个路由通告 RA (Router Advertisement), 该 RA 消息的源地址是 IP 路由节点  $P$  的 IPv6 地址, 目的地址是 Sink 节点  $S$  的链路本地地址, 同时该 RA 消息的选项字段会给出全球路由前缀。Sink 节点  $S$  获取全球路由前缀后, 与接口标识符结合形成全球 IPv6 地址。当 Sink 节点获取全球路由前缀后, 网内节点可以通过上述方式向 Sink 节点发出请求, Sink 节点再将前缀信息传递给网内节点, 使网内节点获取全球地址并接入互联网。至此, 整个物联网底层网络节点的地址自动配置过程全部完成, 本文将之称之为物联网地址自动配置方案(Internet Of Things Address Autoconfiguration, IOTAA)。

### 3.2 报头压缩

由于 HC1 和 IPHC 方案在物联网应用中均存在着不足, 所以本文在上述两种方案的基础上提出一种适用于物联网应用的报头压缩方案 IIPHC。该方案通过在编码中植入链路本地地址和全球地址控制位决定采用报头压缩方案的类型。如果地址类型为链路本地地址, 则采用简单灵活的 IIPHC1 方案, 如果地址类型为全局地址, 则采用相对复杂但有效

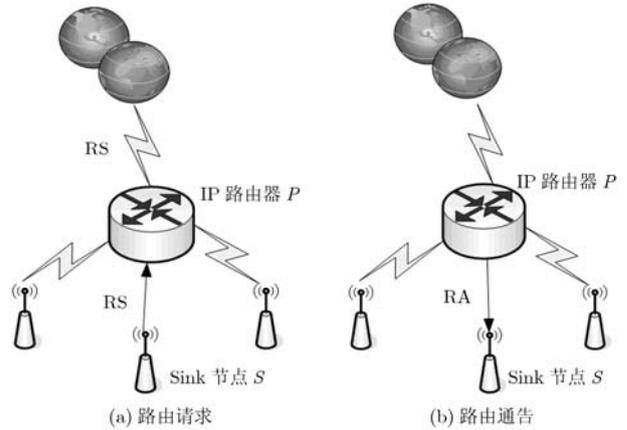


图 6 路由请求及路由通告

的 IIPHC2 方案。IIPHC 压缩方案的基本报头结构如图 7 所示, 标识位和 IIPHC 编码位构成了 IPv6 报头压缩的基本编码格式。

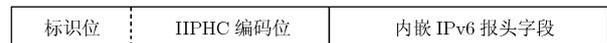


图 7 IIPHC 基本报头结构

(1)IIPHC1 方案 通过在标识位中植入 GL 位对地址类型进行判断, 当地址类型为链路本地地址时, 执行 IIPHC1 压缩方案, 具体编码格式如图 8 所示。

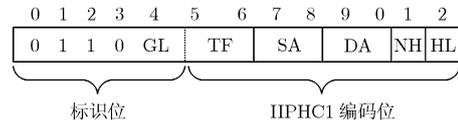


图 8 IIPHC1 编码格式

字段含义如下:

- (a)0110: 表示地址类型为 IPv6 地址, 与 GL 位共同标识需要压缩的地址类型。
- (b)GL(Global/Local): 全球/链路本地地址标识位。本方案中 GL=1, 表示地址类型为链路本地地址。

(c)TF(Traffic Class/Flow Label): 业务流类别及流标签压缩位。由于 8 bit 的 IPv6 业务流类别字段由 2 bit 的 ECN(Explicit Congestion Notification) 字段和 6 bit 的 DSCP(Differentiated Services Code Point)字段组成, 所以将 TF 的编码作如下定义:

- 00: 业务流类别和流标签保持默认值;
- 01: ECN 和流标签保持默认值, DSCP 省略;
- 10: 业务流类别保持默认值, 流标签省略;
- 11: 业务流类别和流标签均省略。

(d)SA(Source Address): 源地址压缩位。

- 00: 地址前缀和接口标识符均不压缩;
- 01: 地址前缀不压缩, 接口标识符压缩;
- 10: 地址前缀压缩, 接口标识符不压缩;
- 11: 地址前缀和接口标识符均压缩。

(e)DA(Destination Addresses): 目的地址压缩位。

- 00: 地址前缀和接口标识符均不压缩;
- 01: 地址前缀不压缩, 接口标识符压缩;
- 10: 地址前缀压缩, 接口标识符不压缩;
- 11: 地址前缀和接口标识符均压缩。

(f)NH(Next Head): 下一报头压缩位。

- 0: 8 bit 下一报头字段不压缩;
- 1: 8 bit 下一报头字段压缩, 并且采用相关的下一报头压缩算法;

(g)HL(Hop Limit): 跳极限压缩位。

- 0: 跳极限字段不压缩;
- 1: 跳极限字段压缩并且跳极限的最大值为64。

(2) IIPHC2 方案 链路本地地址的传播范围具有一定的局限性, 而全球地址需要更大范围的消息转发才能获取全球路由前缀, 因此其报头压缩方案必须更加灵活有效, 这样才能在降低报头开销的同时, 保证地址信息的完备性。基于此, 当地址类型为全局地址时, 本文放弃了 IIPHC 中的有状态压缩模式, 整个压缩过程无论源地址、目的地址还是中继节点的地址都通过无状态压缩的方法进行压缩, 因为这样更符合物联网底层网络的实际应用环境, 降低了报头压缩和地址自动配置的设计复杂性。IIPHC2 具体编码格式如图9所示。

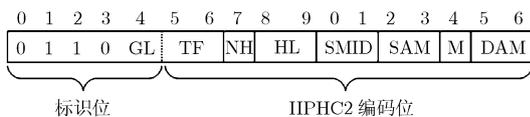


图9 IIPHC2 编码格式

IIPHC2 编码格式的部分字段含义与 IIPHC1 方案中的相同。因此, 现将 IIPHC2 中区别于 IIPHC1 的字段含义描述如下:

(a)GL(Global/Local): 全球/链路本地地址标识位。本方案中 GL=0, 表示地址类型为全局地址。

(b)HL(Hop Limit): 跳极限压缩位。

- 00: 跳极限字段不压缩;
- 01: 跳极限字段压缩并且跳极限的最大值为1;
- 10: 跳极限字段压缩并且跳极限的最大值为64;
- 11: 跳极限字段压缩并且跳极限的最大值为

255。

(c)SMID(Shared Message Identifier): 共享消息标识压缩位。为了可以充分利用物联网中大量的共享消息资源, 在共享消息的帮助下获取相关信息, 压缩冗余报头结构, 本文在 IIPHC2 中引入了 SMID 编码位。

00: 源地址邻居消息共享。在同一个虚拟簇下通过邻居消息获取源地址前缀;

01: 目的地址邻居消息共享。在同一个虚拟簇下通过邻居消息获取目的地址前缀;

10: 源地址路由消息共享。利用链路封装报头获取源地址接口标识符;

11: 目的地址路由消息共享。利用链路封装报头获取目的地址接口标识符。

(d)SAM(Source Address Mode): 源地址模式压缩位。

00: 源地址不压缩, 长度为128 bit;

01: 压缩源地址前缀, 剩余长度为64 bit;

10: 压缩源地址前缀及部分接口标识符, 仅保留16 bit 短地址, 剩余长度为16 bit;

11: 源地址完全省略, 相关地址信息完全由共享消息计算得出, 剩余长度为0 bit。

(e)M(Multicast): 目的地址类型标识位。0: 目的地址是单播地址; 1: 目的地址是组播地址。

(f)DAM(Destination Address Mode): 目的地址模式压缩位。当 M=0 时, DAM 与 SAM 的编码方式相同, 当 M=1 时, 压缩字段含义如下:

00: 目的地址不压缩, 长度为128 bit;

01: 依据组标识符的范围, 目的地址压缩长度为48 bit;

10: 依据组标识符的范围, 目的地址压缩长度为32 bit;

11: 依据组标识符的范围, 目的地址压缩长度为8 bit。

## 4 仿真及测试

通过 C++ 编译 6LoWPAN 模块, 并将其嵌入到 OMNeT++ 仿真软件的 Mobility Framework(MF) 模块中, MF 模块包含 IEEE 802.15.4 协议, 仿真最大数据报大小为 90 byte, 网络范围为 40 m × 40 m, 数据流类型为 CBR, 仿真时间为 30 min。

(1)地址自动配置仿真实验 通过网络开销和时间延迟两个性能指标来验证 IOTAA 方案的有效性。

对于网络开销而言, 在仿真平台上对 IOTAA, CCAA<sup>[10]</sup>和 Strong DAD<sup>[13]</sup>进行仿真实验。本文所采用的网络开销衡量标准并不是执行该方案时系统消

耗了多少能量,而是通过随着节点数的增加,执行该方案所产生的消息包数量来衡量的。图10比较了3种方案的网络开销:Strong DAD方案中,当底层网络节点数量增加时,每个节点随机选取地址发生冲突的概率也随之增加,需要通过更多的消息包转发来缓解地址冲突带来的影响,所以其产生的消息包数量成指数增长;CCAA方案由于利用三原色坐标和节点位置信息实现IPv6地址自动配置,同Strong DAD方案相比取得了很大程度的改进;而IOTAA在60个节点的情况下所产生的消息包数量在200个以内,一方面是因为在IOTAA的重复地址检测过程中采用虚拟的逻辑树结构减少了邻居请求消息的转发范围,另一方面是因为整个网络中并不是所有网络节点都需要获得IPv6全球路由前缀进行数据转发和通信,所以取得了优于Strong DAD和CCAA的良好效果。

对于时间延迟,本文采用随着节点数的增加,不同数量网内节点在仿真平台上执行3次IOTAA

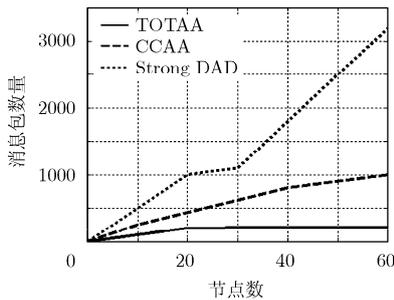


图10 地址自动配置网络开销

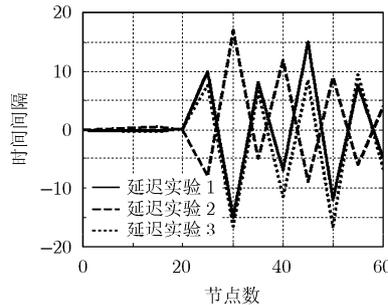


图11 地址自动配置时间延迟

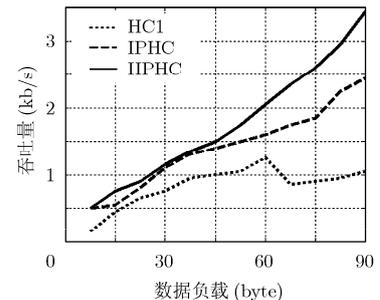


图12 报头压缩吞吐量比较

在RTT方面,通过与HC1和IPHC进行比较,验证了IIPHC方案在往返延迟时间上的有效性。由表1可以看出,IIPHC在平均往返延迟时间和标准偏差方面所用的时间更少。相对于HC1和IPHC来说,执行IIPHC方案需要的RTT分别降低了约50%和25%,这样的仿真结果证明了执行IIPHC方案节省了节点存储空间、降低了系统网络开销,与此同时,反映了吞吐量性能指标提升的正确性。

(3)寻址策略能量消耗仿真实验 通过将本文提出的寻址策略IOTAA+IIPHC与另外两种组合的

表1 RTT对比数据(s)

	最大 RTT	最小 RTT	平均 RTT	标准偏差
HC1	1.19	0.08	0.16	0.07
IPHC	1.07	0.06	0.08	0.06
IIPHC	1.10	0.01	0.06	0.04

方案所需要的平均时间来衡量。如图11所示,纵坐标表示执行该方案所产生的时间间隔(设定1个时间间隔的大小为100ms),执行IOTAA方案最多需要消耗1.8s的时间,最少仅需要几百毫秒,而传统地址自动配置方案至少需要3s以上的时间延迟才能完成,因此,IOTAA方案在时间延迟方面取得了约1s的改进,提高了底层网络的时间同步精度。

(2)报头压缩仿真实验 利用系统吞吐量和RTT(Round-Trip Time)两个性能指标来验证IIPHC方案的有效性。

在系统吞吐量方面,将本文提出的IIPHC方案与HC1方案和IPHC方案进行了对比。图12显示了随着数据负载的增加,3种压缩方案的系统平均吞吐量。由图12可以看出,因为IIPHC方案通过判别压缩地址类型采用混合的报头压缩方案,所以经过IIPHC方案压缩后的数据负载同HC1和IPHC方案相比,在吞吐量方面取得了约30%~60%的改进,这也正是IIPHC压缩方案的重要优势之一。

寻址策略Strong DAD+HC1和CCAA+IPHC进行对比仿真实验,验证了本文提出的寻址策略在节点传输IPv6分组过程中的能量有效性。由图13可以看出,随着数据负载字节数的不断增加,本文提出的寻址策略能量消耗呈线性增长,但是其始终维持在 $10^{-1}$  mJ的量级上,即使传输负载达到最大90 byte,能量消耗依然会保持在1 mJ以内。而

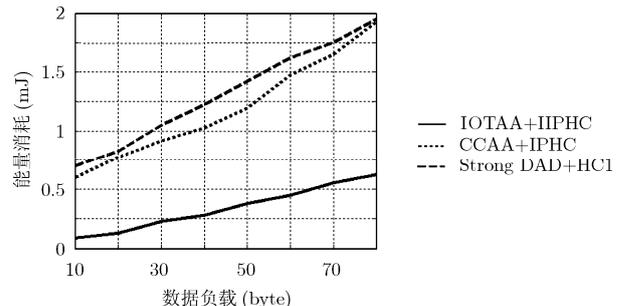


图13 寻址策略能量比较

StrongDAD+HC1 和 CCAA+IPHC 寻址策略随着数据负载的增加, 能量消耗明显高于本文提出的寻址策略, 因此改进的寻址策略降低了网络能量消耗, 为物联网底层网络的大规模应用奠定了能量基础。

## 5 结束语

本文在6LoWPAN的基础上, 分析了IPv6地址应用于未来物联网存在的技术挑战, 提出了适用于底层网络向物联网扩展的寻址策略。物联网寻址最重要的两个方面是实现底层网络节点IPv6地址的自动配置以及地址的报头压缩, 本文针对这两个方面给出了有效的解决方案, 使网络层向上对传输层提供简单灵活、无连接、尽最大努力交付的可靠分组服务, 使MAC层向下不必考虑物理层如何实现位传输的细节。通过仿真实验证明该寻址策略对于未来物联网应用具有有效融合异构网络、降低系统能耗、增加网络吞吐量以及保证系统实时性等特点。但是, 物联网的大规模应用还存在许多不确定因素, 相关技术环节有待突破。在上述工作的基础上, 下一步工作目标主要集中在物联网时间同步以及泛在网络协议研究。

## 参考文献

- [1] Welbourne E, Battle L, Cole G, *et al.*. Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience[J]. *IEEE Internet Computing*, 2009, 13(3): 48-55.
  - [2] 王雪, 钱志鸿, 胡正超, 等. 基于二叉树的RFID防碰撞算法的研究[J]. *通信学报*, 2010, 31(6): 49-57.  
Wang Xue, Qian Zhi-hong, Hu Zheng-chao, *et al.*. Research on RFID anti-collision algorithms based on binary tree[J]. *Journal on Communications*, 2010, 31(6): 49-57.
  - [3] Wu Miao, Lu Ting-jie, Ling Fei-yang, *et al.*. Research on the architecture of Internet of Things[C]. Proceedings of 2010 third International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Chengdu, China, Aug. 20-22, 2010, 5: 484-487.
  - [4] 钱志鸿, 郭雨齐, 侯金凤, 等. 基于信道转换的蓝牙微微网之间同频干扰抑制方法[J]. *电子与信息学报*, 2011, 33(12): 2995-3001.  
Qian Zhi-hong, Guo Yu-qi, Hou Jin-feng, *et al.*. Co-channel interference suppression method based on channel switching for Bluetooth piconets[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(12): 2995-3001.
  - [5] Evdokimov S, Fabian B, Kunz S, *et al.*. Comparison of discovery service architectures for the Internet of Things[C]. SUTC 2010 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, UMC 2010 IEEE International Workshop on Ubiquitous and Mobile Computing, Hyatt Regency Newport Beach, California, USA, June 7, 2010: 237-244.
  - [6] 朱洪波, 杨龙祥, 于全. 物联网的技术思想与应用策略研究[J]. *通信学报*, 2010, 31(6): 2-9.  
Zhu Hong-bo, Yang Long-xiang, and Yu Quan. Investigation of Technical thought and application strategy for the Internet of Things[J]. *Journal on Communications*, 2010, 31(6): 2-9.
  - [7] 张福生. 物联网——开启全新生活的智能时代[M]. 山西: 山西人民出版社, 2010: 119-174.  
Zhang Fu-sheng. Internet of Things.1[M]. Shanxi: Shanxi People's Press, 2010: 119-174.
  - [8] Mazzer Y and Tourancheau B. Comparisons of 6LoWPAN Implementations on Wireless Sensor Networks[C]. 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, Athens/Glyfada, Greece, June 18-23, 2009: 689-692.
  - [9] Jara A J, Zamora M A, and Skarmeta A F G. An architecture based on Internet of Things to support mobility and security in medical environments[C]. 2010 Seventh IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, Nevada, USA, Jan 9-12, 2010: 1-5.
  - [10] Shin H, Tlipov E, and Hojung C. IPv6 lightweight stateless address autoconfiguration for 6LoWPAN using color coordinators[C]. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Washington, USA, 2009: 1-9.
  - [11] Montenegro G, Kushalnagar N, and Hui J. Transmission of IPv6 packets over IEEE802.15.4 networks[S]. IETF RFC 4944, 2007.
  - [12] Hui J and Thubert P. Compression format for IPv6 datagrams over IEEE 802.15.4-based networks[S]. IETF RFC 6282, 2011.
  - [13] Perkins C, Malinen J, Wakikawa R, *et al.*. IP address autoconfiguration for Ad hoc networks[S]. IETF draft, 2001.
- 王义君: 男, 1984年生, 博士生, 研究方向为WSNs时间同步及路由策略、物联网底层网络接入技术。
- 钱志鸿: 男, 1957年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为基于蓝牙、ZigBee等短距离无线通信技术的无线个域网、无线传感器网络、物联网协议构架及关键技术。
- 王雪: 女, 1984年生, 博士生, 研究方向为UWB技术及物联网感知层技术。
- 孙大洋: 男, 1979年生, 讲师, 研究方向为无线网络定位技术。