

高效低时延的 LR-WPAN Mesh 地址分配算法

任 智, 索建伟*, 刘 砚, 雷宏江

(移动通信技术重庆市重点实验室(重庆邮电大学), 重庆 400065)

(*通信作者电子邮箱 sjw13571@126.com)

摘 要: 针对 IEEE 802.15.5 标准中低速率无线个域网(LR-WPAN) Mesh 的地址分配算法在地址分配通信开销和时间方面存在冗余的问题, 提出一种高效低时延的地址分配(HLAA)算法。该算法通过使用入网申请消息替代专门的地址申请消息和删除地址分配消息中的冗余字段, 减少了通信开销并降低了组网时延。仿真结果表明: 与现有的低速率无线个域网地址分配算法相比, HLAA 算法的通信开销减小了 22.15%, 组网时延则降低了 7.68%。

关键词: IEEE 802.15.5 标准; 低速无线个域网; 地址分配算法; 高效; 低时延

中图分类号: TN929.5; TP393 **文献标志码:** A

High-efficiency and low-delay address assignment algorithm for LR-WPAN mesh networks

REN Zhi, SUO Jianwei*, LIU Yan, LEI Hongjiang

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications Technology

(Chongqing University of Posts and Telecommunications), Chongqing 400065, China)

Abstract: To solve the redundancy of control overhead and allocation time consumption in the address assignment algorithm of Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN) mesh, a High-efficiency and Low-delay Address Assignment (HLAA) algorithm for LR-WPAN mesh was proposed. By using the process of network access to realize the function of network access and address assignment, and deleting the redundant fields in the address assignment, HLAA had reduced allocation time as well as control overhead in the premise of realizing the function of address allocation. The simulation results show that compared with the original algorithm, HLAA can decrease the control overhead by 22.15%, and reduce the allocation time by 7.68%.

Key words: IEEE 802.15.5 standard; Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN); address assignment algorithm; high-efficiency; low-delay

0 引言

在低速率无线个域网(Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN)^[1-2]中, 设备的短距离、低功耗、低成本以及需要在网络中大量部署等要求, 使得节点存储路由表 and 采用 64 比特的地址传输不太适合该网络^[3]。因此, 针对低速无线个域网提出一种有效的地址分配算法, 降低能耗和组网时延成为当前研究的热点^[4]。

Mohammed 对 LR-WPAN Mesh 头部存在的冗余信息进行压缩, 减少了组网开销, 但未考虑定时等待的时延问题^[5]。ZigBee 的分布式地址分配 (Distributed Address Assignment Mechanism, DAAM) 算法^[6]和适配层的分层路由算法 (即 HiLow 算法^[7]) 在减小地址域长度的同时, 其相关的路由机制可利用地址特性在无需建立路由表和发送控制开销的情况下计算下一跳地址, 但 DAAM 算法和 HiLow 地址分配算法都需要依靠预设网络拓扑参数才能计算出节点分配的地址, 而预设值在不能完全掌握网络拓扑信息的情况下难以确定, 使得

地址分配过程中节点由于入网申请失败而需要重新发送控制消息, 增加了地址分配的时延和开销。文献[8]提出当父节点地址空间不足时通知网络协调器, 由网络协调器发起地址空间均衡操作。但网络协调器需要掌握各个节点的负载情况, 然后对地址空间进行重新分配使组网开销和时延增加。基于借地址机制的地址分配算法^[8]通过借地址的方式提高地址分配成功率, 但是借地址操作增加了组网的总开销和总时延, 并且打乱了 ZigBee 网络中特有的拓扑结构, 破坏了“地址-位置”的对应关系。Giri 等^[10]针对路由节点作为父节点时地址空间不够的问题提出了一种通过增大深度参数从而使路由节点地址空间增大的方案, 这种“以深度换取宽度”的方法能够改善路由节点地址空间不足的状况, 但网络深度变小, 且地址重配置操作使开销和耗时增加。

IEEE 802.15.5 标准 LR-WPAN Mesh 地址分配算法^[11]主要通过收集网内节点的信息自适应地分配短地址, 提高了地址空间的利用率和入网成功率; 但协调器需要收集网络节点地址申请消息才能进行地址分配, 势必会增加组网时间和通

收稿日期: 2013-07-19; **修回日期:** 2013-09-21。 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60972068); 重庆市自然科学基金资助项目(cstc2012jjA40051); 应急通信重庆市重点实验室开放课题(201201)。

作者简介: 任智(1971-), 男, 四川内江人, 教授, 博士, 主要研究方向: 宽带无线移动通信网络、网络优化; 索建伟(1987-), 男, 河南林州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线网络路由算法; 刘砚(1988-), 男, 重庆人, 硕士, 主要研究方向: 无线网络组网算法; 雷宏江(1976-), 男, 陕西合阳人, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向: 无线网络协议。

信开销。本文在其地址分配算法基础上,结合文献[12]中地址空间分段扩展机制,提出一种高效低时延的 LR-WPAN Mesh 地址分配算法——HLAA (High-efficiency and Low-delay Address Assignment) 算法,以解决原地址分配算法在组网耗时和通信开销上存在的冗余问题。

1 LR-WPAN Mesh 地址分配算法

IEEE 802.15.5 标准 LR-WPAN Mesh 地址分配算法主要是通过分配 16 比特的短地址到网络中的每个节点来代替 64 比特的媒体访问控制 (Media Access Control, MAC) 地址进行通信,减少通信过程中地址域的开销,通过收集网内节点的信息自适应地分配短地址,如图 1 所示。

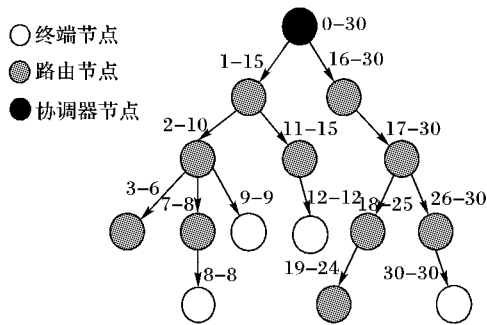


图1 LR-WPAN Mesh 地址分配示意图

1.1 节点类型及功能

LR-WPAN Mesh 地址分配算法中共有三种节点类型,其功能如表 1 所示。

表 1 LR-WPAN Mesh 网络节点类型及功能

节点类型	功能
协调器节点	配置成员地址,维护网络
路由器节点	扩展网络及路由信息,采集数据
终端节点	不具备路由功能,只与父节点主动通信

1.2 LR-WPAN Mesh 地址分配算法操作步骤

第 1 步 协调器节点广播信标帧,通知周围节点,并设置定时器,定时等待周围节点发送入网申请消息。

第 2 步 未加入网络的节点通过主动扫描搜集邻居节点信息,选择深度较小的邻居节点发送加入请求消息(其中包括有自己的设备类型等有用信息)。

第 3 步 协调器或路由节点收到其他节点的加入请求消息后,对申请加入网络的设备类型进行判断,若为路由节点,则进行第 4 步;否则,进行第 5 步。

第 4 步 父节点接受子路由节点的入网申请,子路由节点设置定时器,子路由节点广播信标帧,接受周围节点的入网申请。

第 5 步 若路由节点等待过程中没有其他设备申请加入,则统计本节点的地址申请数,并向父节点发送地址分配申请。

第 6 步 协调器节点收齐子节点的入网申请后,自上而下地进行地址分配操作。

现有的 IEEE 802.15.5 标准 LR-WPAN 部分规定的地址分配方法存在以下 2 个问题:

1) 终端节点要发送专门的地址申请消息,而实际上可以

通过入网申请消息来表示申请地址的含义,因此该地址申请操作是冗余的。

2) 父节点发送给子节点的地址分配消息中的结束地址信息是冗余信息,可由地址申请消息和起始地址计算。

2 HLAA 算法

2.1 HLAA 算法的新机制

2.1.1 取消终端节点的地址分配申请操作

入网申请消息中包含申请加入网络的节点的设备类型,在原 LR-WPAN Mesh 地址分配算法中,路由节点须收齐所有子节点地址申请消息后再向父节点发送地址分配请求,而终端节点由于没有路由功能,所有终端的地址分配请求消息中的请求个数必为 1,即终端节点的地址分配请求消息相同,因此终端节点可以使用同一个消息进行入网申请和地址申请从而减少组网开销。

2.1.2 删除地址分配消息中的结束地址字段

在 LR-WPAN Mesh 地址分配算法中,地址分配消息包含起始地址和结束地址信息。而结束地址可以通过起始地址和地址申请消息中的地址申请数计算得出,因此无需将结束地址信息装入地址分配消息从而减少冗余字段。

2.2 HLAA 算法操作步骤

第 1 步 协调器节点广播信标帧,周围节点收到信标帧后,发送入网申请消息,若子节点中含有路由节点,则进行第 2 步,否则,进行第 6 步。

第 2 步 路由节点设置定时器,等待其他节点的入网申请,并对申请入网的节点类型进行判断:若为路由节点,则进行第 3 步;若为终端节点,则进行第 4 步。

第 3 步 父节点接受子路由节点的入网申请,并为子路由节点设置定时器,子路由节点广播信标帧,接受周围节点的入网申请。

第 4 步 路由节点等待计时器的值清零,并把子节点的地址申请数加 1。

第 5 步 若路由节点等待过程中没有其他设备申请加入,则本节点取消定时器,并向父节点发送地址申请。

第 6 步 协调器节点收齐子节点的入网申请后,自上而下地进行地址分配操作。

2.3 理论分析

2.3.1 取消地址申请操作不会影响地址分配

与 LR-WPAN Mesh 地址分配算法相比,HLAA 算法增加了判断机制,即当路由节点收到设备类型为终端节点的入网申请消息时,路由节点默认为收到了终端节点发送的地址申请消息。本操作仅就终端节点定时等待造成的时延进行优化,不会影响地址分配过程。

两种算法单次地址申请操作的地址分配成功率计算如式(1)所示:

$$P_w = P_{w0} \times P_{w1} \quad (1)$$

$$P_H = P_{H0} \times P_{H1} \quad (2)$$

其中: P_w 表示 LR-WPAN Mesh 算法地址分配申请成功率, P_{w0} 表示入网申请消息投递成功率, P_{w1} 表示地址申请消息投递成功率, P_H 表示 HLAA 算法地址分配成功率, P_{H0} 表示入

网申请消息投递成功率, P_{H1} 表示地址申请消息投递成功率。

终端节点的人网申请消息发送和接收机制在两种算法中完全一致,即 $P_{W0} = P_{H0}$ 。HLAA 算法中默认终端节点同时发送了地址申请消息,故 $P_{H1} = 1$,而 LR-WPAN Mesh 算法中由于受丢包率的影响, $P_{W1} < 1$,故综合知, $P_W < P_H$ 。

综上所述,HLAA 算法不需要发送专门的地址申请消息,取消终端地址申请操作不但不影响地址请求,而且可以有效提高地址分配成功率,减少地址申请消息的丢包重传,减小组网时延。

2.3.2 删除结束地址字段不会影响地址分配

LR-WPAN Mesh 算法和 HLAA 算法均采用协调器节点收齐地址申请后自上而下地进行地址分配的机制,各节点分配到的地址块均具有连续性,如图 1 所示。子节点向父节点发送的地址申请中包含有地址申请数,此申请数即是该节点的地址块区间长度。

父节点向子节点发送的地址分配消息中,仅需起始地址,而子节点地址块中的结束地址可以通过起始地址和地址申请数相加得到,即:结束地址 = 起始地址 + 地址申请数。

3 HLAA 性能分析与仿真

本文将 LR-WPAN Mesh 算法作为 HLAA 算法比较对象,在相同仿真条件下分析比较它们的地址分配成功率、组网耗时和组网开销。

3.1 仿真环境

仿真实验使用 OPNET14.5 作为软件平台,主要仿真参数设置如表 2 所示。

表 2 仿真参数设置

参数	值
仿真场景	400 m
各场景节点个数	{100, 200, 300, 400, 500}
路由节点比例	60%
终端节点比例	40%
通信半径	35 m

3.2 仿真结果及分析

3.2.1 地址分配成功率

地址分配成功率是评价地址分配算法有效性的数据。 S_0 表示地址分配算法的地址分配成功率,有:

$$\begin{cases} S_H = n_H/N \\ S_0 = n_0/N \end{cases} \quad (3)$$

其中: N 为网络节点总数, n_H 、 n_0 分别表示运行 HLAA 算法和 LR-WPAN Mesh 算法后获得地址的节点数。

表 3 为不同仿真场景下,LR-WPAN Mesh 算法与 HLAA 算法地址分配成功率的比较。

表 3 地址分配成功率比较 %

节点数	HLAA 算法	LR-WPAN Mesh 算法
100	84.0	84.0
200	84.5	84.5
300	88.3	88.3
400	91.5	91.5
500	94.6	94.6

两种算法都采用底层节点等待的机制,将关联到网络的节点用地址申请的方式向协调器报告网络中的节点的个数,并根据网络拓扑信息进行地址分配。HLAA 算法没有减小节点入网机会,在地址分配成功率上与原算法相同。

3.2.2 组网耗时

组网耗时表征算法分配地址的速度,仿真统计从协调器初始化开始到地址分配结束的总时间。LR-WPAN Mesh 算法与 HLAA 算法地址分配耗时仿真结果如图 2 所示

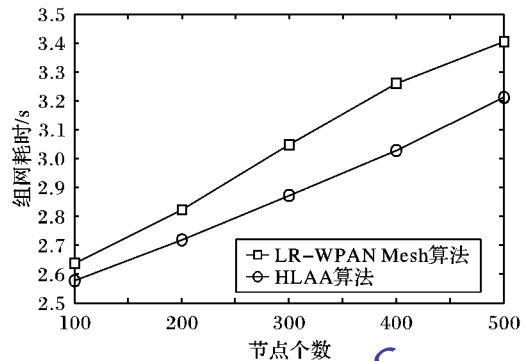


图 2 组网耗时

相比 LR-WPAN Mesh 算法,HLAA 算法简化了终端节点加入网络后的定时等待,减少了等待时延,并且降低了地址申请的丢包重传率,加速了地址分配过程,从而减小组网耗时。在 5 个不同场景中,HLAA 算法的组网时间都少于原地址分配算法。

3.2.3 组网通信开销

组网通信开销统计网络从地址分配算法开始运行到结束的期间内产生的总控制消息比特数。地址分配通信开销包括路由节点广播的信标帧、入网申请消息、地址申请消息,以及地址分配消息产生的开销。图 3 为仿真实验的组网通信开销在两种算法中的对比结果。

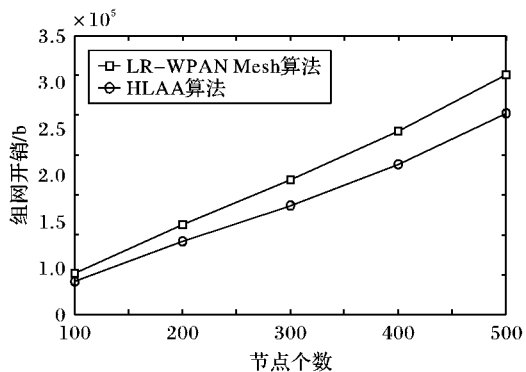


图 3 组网通信开销

由于 HLAA 算法去除了终端节点发送地址申请的操作,删除了地址分配消息中结束地址的冗余字段,并且终端节点默认地址申请操作减少了丢包重传,减小了信标帧、地址申请消息的比特数和地址分配消息比特数,从而在整体上减小了通信开销。

4 结语

IEEE802.15.5 标准 LR-WPAN Mesh 部分的地址分配算

(下转第 17 页)

- [5] TELLAMBURA C. Cooperative OFDM channel estimation in the presence of frequency offsets[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(7):3447–3459.
- [6] PAREDES J L, ARCE G R, WANG Z. Ultra-wideband compressed sensing: channel estimation [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2007, 1(3): 383–395.
- [7] HE X Y, SONG R F, ZHOU K Q. Study of compressive sensing based sparse channel estimation in OFDM system[J]. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommun: Natural Science*, 2010, 30(2): 60–65. (何雪云, 宋荣方, 周克勤. 基于压缩感知的 OFDM 系统稀疏信道估计新方法研究[J]. *南京邮电大学学报: 自然科学版*, 2010, 30(2): 60–65.)
- [8] BERGER C, ZHOU S, PREISIG J. C, *et al.* Sparse channel estimation for multicarrier underwater acoustic communication: from subspace methods to compressed sensing[J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2010, 58(3): 1708–1721.
- [9] BAJWA W U, HAUPT J, RAZ G, *et al.* Compressed channel sensing[C]// *CISS 2008: Proceedings of the 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 5–10.
- [10] BERGER C R, WANG Z, HUANG J. Application of compressive sensing to sparse channel estimation[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2010, 48(11):164–174.
- [11] GUI G, WAN Q, QI S, *et al.* Sparse multipath channel estimation using DS algorithm in wideband communication systems[C]// *Proceedings of the 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 4450–4453.
- [12] GUI G, WAN Q, ADACHI F. Compressed channel estimation of two-way relay networks using mixed-norm sparse constraint[J]. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2012, 4(15): 2279–2282.
- [13] GRAY R M. Toeplitz and circulant matrices: a review[J]. *Communication and Information Theory*, 2006, 2(3): 155–239.
- [14] DONOHO D L. Compressed sensing[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2006, 52(4): 1289–1306.
- [15] CANDES E J. The restricted isometry property and its implications for compressed sensing[J]. *Comptes Rendus Mathematique*, 2008, 346(9/10): 589–592.
- [16] TROPP J A, GILBERT A C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2007, 53(12): 4655–4666.
- [17] NEEDELL D, TROPP J A. CoSaMP: iterative signal recovery from incomplete and inaccurate samples[J]. *Communications of the ACM*, 2010, 53(12): 93–100.
- [18] TIBSHIRANI R. Regression shrinkage and selection via the LASSO [J]. *Journal of Royal statistical Society Series B*, 1996, 58: 267–288.
- [19] ROMBERG J. The Dantzig selector and generalized thresholding [J]. *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 22–25.

(上接第 3 页)

法通过收集网络拓扑信息,让大部分节点入网的同时也增加了一定的时间和开销上的冗余。本文提出的 HLAA 算法通过去除终端节点的等待时延,并去除冗余控制消息以及简化分组中信息,在保证入网成功率的前提下,降低了组网的通信耗时和通信开销。理论分析和仿真结果验证了 HLAA 算法的有效性。

参考文献:

- [1] YAN Y, LIU J. The analysis on WPAN and its interrelated technique[J]. *Modern Science and Technology of Telecommunications*, 2008, 38(11): 2–6. (颜艳华, 刘军. 无线个域网及其相关技术分析[J]. *现代电信科技*, 2008, 38(11): 2–6.)
- [2] IEEE 802.11 Standard Group. IEEE 802.15.5 mesh topology capability in Wireless Personal Area Networks (WPANs) [S]. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009.
- [3] FANG X. Next generation of wireless Internet technology[M]. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 2005: 108–110. (方旭明. 下一代无线因特网技术: 无线 Mesh 网络[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 108–110.)
- [4] DU Z, QIAN D, LIU Y. Addressing protocols for wireless sensor networks[J]. *Journal of Software*, 2009, 20(10): 2787–2798. (杜治高, 钱德沛, 刘轶. 无线传感器网络中的地址分配协议[J]. *软件学报*, 2009, 20(10): 2787–2798.)
- [5] MOHAMMED B. Header compression scheme for IEEE 802.15.5 [C]// *Proceedings of the 8th International Symposium on Wireless Communication Systems*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 407–411.
- [6] LI P. A study on the distributed address assignment algorithms for ZigBee networks[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2012. (李鹏翔. ZigBee 网络分布式地址分配算法研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2012.)
- [7] YU H, HE J. Improved hierarchical routing over 6LoWPAN[C]// *Proceedings of the 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 377–380.
- [8] LI Y R, SHI H B, TANG B Y. Address assignment and routing protocol for large-scale uneven wireless sensor networks [C]// *Proceedings of the 2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 1–4.
- [9] YEN L H, TSAI W T. The room shortage problem of tree-based ZigBee/IEEE802.15.4 wireless networks [J]. *Computer Communications*, 2010, 33(4): 454–462.
- [10] GIRI D, ROY U K. Single level addresses reorganization in wireless personal area network[C]// *CODEC 2009: Proceedings of the 4th International Conference on Computers and Devices for Communication*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 1–4.
- [11] LEE M J, ZHANG R, ZHENG J, *et al.* IEEE 802.15.5 WPAN mesh standard-low rate part: meshing the wireless sensor networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2010, 28(7): 973–983.
- [12] REN Z, LI P X, YAO Y K, *et al.* Segmentation-based on-demand scalable address assignment algorithm in ZigBee networks [J]. *Journal on Communications*, 2012, 33(5): 131–137. (任智, 李鹏翔, 姚玉坤, 等. 基于分段的 ZigBee 网络按需可扩展地址分配算法[J]. *通信学报*, 2012, 33(5): 131–137.)