6LoWPAN 无线传感器网络移动管理方案*

王晓喃¹, 钱焕延²

(1. 常熟理工学院, 江苏 常熟 215500; 2. 南京理工大学, 南京 210094)

摘 要:提出了一种跨层的 6LoWPAN 无线传感器网络移动管理方案。首先提出了 6LoWPAN 网络体系结构, 基于该体系结构,提出了一种跨层的移动切换算法。在此算法中,网络层移动切换与链路层移动切换同时进行, 在三层切换过程中,移动节点无须转交地址配置,也无须参与网络层的移动切换过程,且无须参与移动切换过 程,在二层切换过程中,移动节点无须扫描所有信道,通过获取的信道信息直接进行二层切换,因此降低了切换 延迟、丢包率和切换代价。

关键词: 6LoWPAN 无线传感器网络; 跨层;移动管理;体系结构;地址配置 中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2014)01-0266-03 doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.01.062

Mobility management for 6LoWPAN wireless sensor networks

WANG Xiao-nan¹, QIAN Huan-yan²

(1. Changshu Institute of Technology, Changshu Jiangsu 215500, China; 2. Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: This paper proposed a cross-layer mobility management scheme for 6LoWPAN wireless sensor networks. It created the architecture for 6LoWPAN wireless sensor networks and presented the cross-layer mobility management algorithm based on the architecture. In the algorithm, the handover in the network layer (L3) and the one in the link layer (L2) were performed synchronously. A node needed neither the care-of address configuration nor the participation in the handover process in L3. Moreover, a node could perform the fast handover in L2 without scanning all the channels. Therefore, it reduces the handover delay, packet loss and handover cost.

Key words: 6LoWPAN wireless sensor network; cross-layer; mobility management; architecture; address configuration

6LoWPAN 无线传感器网络极大地扩展了传统 WSN 的应 用空间,广泛应用于现代化农业、环境监测等领域。6LoWPAN 无线传感器网络最主要的特点就是其具有移动性,因此 6LoWPAN 无线传感器网络只有具有良好的移动性才能更好地 发挥其作用。由于 6LoWPAN 无线传感器网络具有资源有限 性,因此 6LoWPAN 移动协议必须具有低延迟、低代价以及低 丢包率等特点。基于此,本文提出了一种 6LoWPAN 无线传感 器网络移动协议,本协议具有如下创新性:

a)提出了 6LoWPAN 网络体系结构,基于此体系结构,提 出了分布式的 IPv6 地址配置算法。该算法中,节点从一跳范 围内的邻居节点获取地址且无须 DAD。

b)在地址配置过程中,路由骨干网同时自动构建而成,节 点通过构建的路由骨干网自动实现路由,无须路由发现和路由 建立过程。

c)基于所提体系结构,提出了一种跨层的移动切换算法, 在此算法中,网络层移动切换与链路层移动切换同时进行,因 此降低了移动切换延迟,从而降低了丢包率。

1 6LoWPAN 网络体系结构

6LoWPAN 无线传感器网络的链路层采用 IEEE802.15.4, 它将节点分为 FFD(full-function device)和 RFD(reduced-function device)。 本方案中, 6LoWPAN 无线传感网络由多个 PAN 组成,每 个 PAN 由一个网关和多个 FFD 传感节点及 RFD 传感节点构 成,其中网关为连接 PAN 与 IPv6 网络中的接入路由器,网关 与 FFD 传感器节点是固定节点,具有路由转发功能,RFD 传感 器节点为移动节点,不具有路由转发功能。在一个 PAN 内,一 个网关和所有 FFD 节点构建成路由骨干网,其拓扑结构为树 状,称为 PAN 树,树根节点为网关。RFD 传感器节点通过路由 骨干网与 IPv6 互联网进行通信。与 RFD 传感器节点直接通 信的路由骨干网中的固定 FFD 节点称做此 RFD 传感器节点的 关联节点,同一时刻,一个 RFD 节点只有一个关联节点。RFD 节点由其家乡地址唯一标志,在移动过程中地址保持不变。

2 地址配置及路由骨干网构建

2.1 IPv6 地址分层结构

根据 WSN 特点,本方案中的网关与传感器节点的 IPv6 地址结构如图1所示。

(128 - i) bit	<i>i</i> bit
PAN ID	Node ID

图 1 IPv6 地址格式

图 1 中,网关与传感器节点的 IPv6 地址由两部分组成:第 一部分是 PAN ID,它是全局路由前缀,一个 PAN 中网关、所有 FFD 节点以及从该 PAN 获取地址的 RFD 的 PAN ID 都相同; 第二部分是 node ID, node ID 唯一标志 PAN 中的一个传感器节 点。网关的 IPv6 地址预先设置且 node ID 为 0,其 IPv6 地址预 先设置。图 1 中,*i* 值根据实际应用中的 6LoWPAN 传感器网 络规模以及传感器节点分布密度来确定。本协议中,*i* 值取 16,即一个 PAN 中最多可包含 2¹⁶个节点。

2.2 RFD 节点地址配置

RFD 节点 Z 加入 6LoWPAN 网络后,扫描所有的信道并接 收邻居网关/FFD 节点广播的 beacon 帧,选择从深度值最小的 网关/FFD 节点 Y 获取地址。RFD 节点 Z 从邻居网关/FFD 节 点 Y 获取 IPv6 地址的过程如下:

a) RFD 节点 Z 向 FFD 节点 Y 发送 Addr-Req 消息。

b)FFD 节点 Y 收到 RFD 节点 Z 发送的 Addr-Req 消息后, 选择最小未分配子节点值对应的记录,向 RFD 节点 Z 返回一 个 Addr-Res 消息,消息负载为对应记录的子节点值 k,同时将 对应记录的子节点分配状态标志为已分配状态。

c) RFD 节点 Z 收到 Addr-Res 消息后,根据式(1)获取 node ID,然后将 node ID 与 FFD 节点 Y 的 PAN ID 相结合获取 自己的地址,并将节点 Y 作为关联节点。

d) RFD 节点 Z 的地址配置过程结束。

3 移动切换过程

FFD 节点获取 IPv6 地址后,扫描所有信道接收邻居 FFD 节点的信标帧,从而获取邻居 FFD 节点的工作信道以及邻居 节点的相对位置。当 RFD 节点与 IPv6 节点进行通信时,数据 包通过 RFD 节点的关联节点所在的 PAN 树首先到达 PAN 的 网关节点,然后由网关节点记录下 RFD 节点与其关联节点的 关联关系,并将数据包按照 IPv6 路由方式路由到目的 IPv6 节点。

如果 RFD 节点 X 的关联节点为 FFD 节点 Y,当 FFD 节点 Y 检测到节点 X 即将离开自己的通信范围时,它选择与节点 X 距离最近的 FFD 节点 Z 作为节点 X 的下一个关联节点。假设 节点 Y 与节点 Z 在同一个 PAN 内且网关节点为 G,那么节点 Y 进行如下移动切换操作:

a) FFD 节点 Y 分别向节点 X 和网关 G 发送 handover 消息,发送给网关 G 的消息负载内容为 RFD 节点 X 的地址,发送给节点 X 的消息负载内容为节点 Z 的工作信道。

b) 节点 G 收到 handover 消息后,将 RFD 节点 X 的关联节 点从 Y 更新为 Z,并向节点 Y 返回 handover_Ack 消息。

c)节点 X 收到节点 Y 的 handover 消息后,直接采用节点 Z 的工作信道实现与节点 Z 的二层切换,并将节点 Z 作为新的关联节点。

d)节点 Y 收到 handover-Ack 消息后,如果它仍然保留有目的地址为节点 X 的消息,那么将这些数据消息路由至节点 Z, 然后节点 Z 再将数据转发给节点 X。

在上述移动切换过程中,由于节点 X 仍然位于节点 Y 的 通信范围内,因此仍然通过节点 Y 接收数据,降低了数据包丢 失率。

4 性能评估

采用 NS-2 作为仿真平台,仿真参数如表1 所示。

表1 仿真参数

衣1 仍具参数				
参数描述	参数值	参数描述	参数值	
simulation area	$500\times500~\mathrm{m^2}$	pause time	10 s	
number of PANs	3	${\rm transmission} \ {\rm range}(r)$	[60 m,100 m]	
MAC protocol	IEEE 802.15.4	number of FFD nodes	50	
$\operatorname{speed}(v)$	[10 m/s, 30 m/s]	number of RFD nodes	250	
speed angle	$[0,2\pi]$			

本方案与现有方案^[1]的性能对比如图 2~4 所示。



图 4 移动转交代价

从图 2~4 可知,本方案性能更好,主要原因分析如下:

a)本方案通过 PAN 树实现路由,无须路由发现和路由建 立过程。而现有方案中,如果源节点没有到达目的节点的路由 信息,则需要建立路由,然后完成移动切换过程,因此延迟和代 价更大。

b)本方案中,网络层移动切换与链路层移动切换并行进 行,且在三层切换过程中,RFD 无须地址配置也无须参与网络 层的移动切换过程。在现有方案中,网络层移动切换和链路层 移动切换串行进行,且 RFD 需要参与网络的移动切换过程,因 此延迟更大、丢包率更大。

c)本方案中,在二层切换过程中,RFD 无须扫描所有信 道,通过获取的信道信息直接进行二层切换。在现有方案中, RFD 需要扫描所有信道来进行二层切换操作,因此延迟和丢 包率更大。

5 结束语

本文提出了一种跨层的 6LoWPAN 无线传感器网络移动 管理方案。首先提出了 6LoWPAN 网络体系结构,基于此体系 结构,提出了一种跨层的移动切换算法。在此算法中,网络层 移动切换与链路层移动切换同时进行,在三层切换过程中,移 动节点无须转交地址配置,也无须参与网络层的移动切换过 程,更无须参与移动切换过程;在二层切换过程中,移动节点无 须扫描所有信道,通过获取的信道信息直接进行二层切换,因 此降低了切换延迟、丢包率和切换代价。

参考文献:

- [1] KOODLI R. RFC 5568, Mobile IPv6 fast handovers [S]. [S. l.]: IETF,2009.
- [2] IEEE Computer Society. IEEE 802.15.4, Part 15.4: wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks(WPANs)[S]. 2007.
- [3] GUNDAVELLI S, LEUNG E K, DEVARAPALLI V, et al. RFC 5213, Proxy mobile IPv6[S]. [S. l.]:IETF, 2008.
- [4] PERKINS C, JOHNSON D, ARKKO J. RFC 6275, Mobility support in IPv6[S]. [S. l.]: IETF, 2011.

- [5] CASTELLUCCIA C, ElMALKI K, Bellier L. RFC 5380, Hierarchical mobile IPv6 (HMIPv6) mobility management [S]. [S. l.]: IETF, 2008.
- [6] KIM M S, LEE S K, GOLMIE N. Enhanced fast handover for proxy mobile IPv6 in vehicular networks [J]. Wireless Network, 2012, 18(4):401-411.
- [7] OLIVEIRA L M L, De SOUSA A F, RODRIGUES J J P C. et al. Routing and mobility approaches in IPv6 over LoWPAN mesh networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2011,224(11):1445-1466.
- [8] SILVA R, SILVA J. An adaptation model for mobile IPv6 support in LoWPANs, draft-silva-6lowpan-mipv6-00[R]. [S. l.]: Internet Engineering Task Force, 2009.
- [9] KIM J, HAW R, CHO E J, et al. A 6LoWPAN sensor node mobility scheme based on proxy mobile IPv6 [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2012,11(12):2060-2072.
- [10] BAG G, RAZA M, KIM K, et al. LoWMob: intra-PAN mobility support schemes for 6LoWPAN[J]. Sensors, 2009,9(7):5844-5877.
- [11] ISLAM M M, HUH E. Sensor proxy mobile IPv6 (SPMIPv6)—a novel scheme for mobility supported IP-WSNs[J]. Sensors, 2011,11 (2):1865-1887.
- [12] WANG Xiao-nan, ZHONG Shan, ZHOU Rong. A mobility support scheme for 6LoWPAN[J]. Computer Communications, 2012,35 (1):392-404.
- [13] DENKO M K, WEI Chen. A multi-gateway-based architecture for integrating Ad hoc networks with the Internet using multiple foreign agents[J]. Internatonal Journal of Ad hoc and Ubiquitous Computing, 2008,3(2):99-109.
- [14] FAN Yan-fei, ZHANG Jing-qiu, SHEN Xue-min. Mobility-aware multi-path forwarding scheme for wireless mesh networks [C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE Press, 2008: 2337-2342.
- [15] KIM H, HONG C, SHON T. A lightweight NEMO protocol to support 6LoWPAN[J]. ETRI Journal, 2008,30(5): 685-695.
- [16] DEVARAPALLI V, WAKIKAWA R, PETRESCU A, et al. RFC

- [10] BRODE A, MITZENMACHER M. Network applications of Bloom filters: a survey[J]. Internet Mathematics, 2005,4(1):485-509.
- [11] FENG Yi-hsuan, HUANG Nen-fu, CHEN China-hsing. An efficient caching mechnaism for network-based URL filtering by multi-level counting Bloom filters[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2011;1-6.
- [12] ZHOU Zhou, SONG Tian, JIA Yun-de. A high-performance URL lookup engine for URL filtering systems [C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2010;1-5.
- [13] YUAN Hao-wei, WUN B, CROWLEY P. Software-based implementations of updateable data structures for high-speed URL matching [C]//Proc of the 6th ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems. 2010.
- [14] ZHAO Xin, LIU Yao-qing, WANG Lan, et al. On the aggregatability of router forwarding tables [C]//Proc of the 29th Conference on Information Communications. Piscataway: IEEE Press, 2010:848-856.
- [15] GHODSI A, SHENKER S, KOPONEN T, et al. Information-centric

3963, Network mobility(NEMO) basic support protocol[S].[S. l.]: IETF, 2005.

- [17] SHIN M K, KIM H J. L3 mobility support in large-scale IP-based sensor networks (6LoWPAN) [C]//Proc of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway: IEEE Press,2009:941-945.
- [18] WANG Xiao-nan, ZHONG Shan. All-IP communication between wireless sensor networks and IPv6 networks based on location information[J]. Computer Standards & Interfaces, 2013, 35 (1):65-77.
- [19] JARA A J, SILVA R M, SILVA J S, et al. Mobile IP-based protocol for wireless personal area networks in critical environments[J]. Wireless Personal Communications, 2011, 61(4):711-737.
- [20] SILVA R, SILVA J S, BOAVIDA F. A proposal for proxy-based mobility in WSNs [J]. Computer Communications, 2012, 35 (10):1200-1216.
- [21] HA M K, KIM D Y, KIM S H, et al. Inter-MARIO: a fast and seamless mobility protocol to support Inter-PAN handover in 6LoWPAN
 [C]//Proc of IEEE GLOBECOM. Piscataway: IEEE Press, 2010:1-6.
- [22] ZHANG Li-qiang, CHENG Qiang, WANG Ying-ge, et al. A novel distributed sensor positioning system using the dual of target tracking
 [J]. IEEE Trans on Computers, 2008, 57(2):246-260.
- [23] PATWARI N, HERO A O, PERKINS M, et al. Relative location estimation in wireless sensor networks [J]. IEEE Trans on Signal Processing: Special Issue on Signal Processing in Networking, 2003, 51(8):2137-2148.
- [24] NICULESCU D, NATH B. Ad hoc positioning system (APS) using AoA[C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2003;1734-1743.
- [25] PATWARI N, ASH J, KYPEROUNTAS S, et al. Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(4): 54-69.
- [26] CAMP T, BOLENG J, DAVIES V. A survey of mobility models for Ad hoc network research[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2002, 2(5): 483-502.

networking: seeing the forest for the trees[C]//Proc of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks. New York: ACM Press, 2011.

- [16] ATLAS A, ZININ A. RFC 5286, Basic specification for IP fast-reroute: loop-free alternates [S]. 2008.
- [17] ARIANFAR S, NIKANDER P, OTT J. On content-centric router design and implications[C]//Proc of Re-Architecting the Internet Workshop. New York: ACM Press, 2010.
- [18] WANG Yi, HE Ke-qiang, DAI Hui-chen, et al. Scalable name lookup in NDN using effective name component encoding[C]//Proc of the 32nd IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. Washington DC: IEEE Computer Society, 2012:688-697.
- [19] CHLEBUS E, BRAZIER J. Nonstationary Poisson modeling of Web browsing session arrivals [J]. Information Processing Letters, 2007, 102(5):187-190.
- [20] GITTER M, CHERITON D R. An architecture for content routing support in the Internet [C]//Proc of the 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems. 2001:37-48.

⁽上接第265页)