

6LoWPAN无线传感器网络无缝移动切换方案

王晓喃¹, 钱焕延²

(1. 常熟理工学院计算机科学与工程学院 江苏 常熟 215500; 2. 南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

【摘要】提出了6LoWPAN无线传感器网络无缝移动切换(SMH)方案, 移动切换控制信息在一跳范围内交互, 并通过IPv6接入节点树网络结构自动实现路由, 降低了移动切换代价, 缩短了移动切换延迟。该方案提出了无线传感器节点的IPv6地址的分层结构, 有效地缩短了地址长度, 降低了传输功耗; 移动传感器节点无须转交地址, 即无须进行移动传感器节点家乡地址与转交地址的绑定操作, 降低了移动切换代价, 缩短了移动切换延迟。从理论和仿真两个角度对MIPv6、Inter-MARIO及SMH的移动切换代价和移动切换延迟等性能参数进行了分析比较。分析结果表明, SMH的移动切换代价更小, 移动切换延迟更短。

关键词 配置; IPv6地址; 移动切换; 路由; 无线传感器网络

中图分类号 TP393.3

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.01.019

Seamless Mobility Handover for 6LoWPAN Wireless Sensor Network

WANG Xiao-nan¹ and QIAN Huan-yan²

(1. School of Computer & Engineering, Changshu Institute of Technology Changshu Jiangsu 215500;

2. School of Computer & Technology, Nanjing University of Science & Technology Nanjing Jiangsu 210094)

Abstract The paper proposes a seamless mobility handover scheme, SMH, for 6LoWPAN wireless sensor networks. In SMH, the control information for mobility handover is interacted within one hop scope, and the routing of the control information is automatically performed through the IPv6-ingress-node-tree network architecture, which reduces the mobility handover cost and shortens the mobility handover delay. SMH proposes the hierarchical structure of the IPv6 address for sensor nodes and effectively shortens the length of an IPv6 address, which reduces the transmission cost. In SMH, a mobile sensor node does not need a care-of address during the mobility handover process, that is, SMH does not need to perform the binding operation between a mobile sensor node's home address and its care-of address, so the mobility handover cost is reduced and the mobility handover delay is shortened. From both the theoretical perspective and the simulative perspective, the paper analyzes the performance parameters of MIPv6, Inter-Mario and SMH, including the mobility handover cost and the mobility handover delay. The analytical results show that the mobility handover cost of SMH is less and the mobility handover delay is shorter.

Key words configuration; IPv6 address; mobility handover; routing; wireless sensor network

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)通过各类集成化的微型传感器节点以协作方式实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息, 并以自组多跳的网络方式将信息传送到网络用户终端, 从而实现物理世界、计算机网络以及人类社会三元世界的互通互联。随着无线传感器网络应用空间的急剧增长以及各种新应用的不断涌现, 迫切需要一种扩展性强、稳定性高的通信机制以支持无线传感器网络与互联网之间的点到点通信。

因此, IETF(internet engineering task force)组织

于2004年11月正式成立6LoWPAN(IPv6 over low power wireless personal area networks)工作组, 提出了6LoWPAN无线传感器网络的通信模式。

与传统无线传感器网络相比, 6LoWPAN无线传感器网络的应用空间更广泛, 功能更强大, 在农业现代化等诸多领域都将发挥重要的作用, 如农业劳动者不受地理位置限制, 通过IPv6网络可随时实现与农业环境中传感器节点的点到点通信, 实现对农业环境的实时监控。6LoWPAN无线传感器网络不仅极大地扩展了无线传感器网络的应用空间, 同时也

为物联网的研究与实现提供了重要的理论依据和全新的技术手段。

随着无线传感器网络应用空间的急剧增长以及IPv6网络的成熟和发展,6LoWPAN无线传感器网络已成为未来发展的必然趋势^[1]。随着用户对移动业务需求的不断增长以及各种新应用的不断涌现,6LoWPAN无线传感器网络只有提供良好的移动性支持才能获得更广泛的应用空间^[2]。

目前,IPv6中典型的移动管理协议包含HMIPv6(hierarchical mobile IPv6)^[3]及MIPv6^[4](mobile IPv6)。这些典型的移动管理协议应用到6LoWPAN网络中还存在一些问题,主要原因由于IPv6网络体系结构与6LoWPAN无线传感器网络体系结构不同^[5]且典型的IPv6移动协议在网络层实现^[6]。文献[7-8]提出了基于路由的移动解决方案,移动节点需要定期发送Path-setup消息和Path-refresh消息实现移动管理,同样消耗了大量的传感器节点资源和能量,因此也不适用于6LoWPAN无线传感器网络。文献[9]提出采用移动路由器实现无线传感器网络的移动支持,但是在实际应用中,移动路由器很难部署到无线传感器网络中。文献[10]提出采用本地移动锚点(local mobility anchor)和移动接入网关(mobile access gateway)交互控制信息来跟踪移动节点的移动轨迹,并负责建立到达移动节点的路由路径,以确保与移动节点的通信连续性。该方案有效地降低了移动节点功耗,只讨论了移动节点与移动接入网关在一跳范围内的情况,对于多跳范围内的移动节点并没有讨论;此外,本地移动锚点与移动接入网关的信息交互基于网络层实现,而且还需要在本地移动锚点与移动接入网关之间建立一个额外隧道进行信息通信,增加了WSN功耗。文献[11-12]提出基于NEMO(network mobility)技术^[13]的可移动6LoWPAN网络方案,通过移动路由器实现WSN网络移动。但是,文献[11-12]通过修改6LoWPAN的Dispatch增加IPv6负载类型(mobility header),并不符合IPv6协议分层设计原则。文献[14]提出6LoWPAN移动支持方案,降低了节点移动切换代价以及建立隧道的代价。但是该方案采用6LoWPAN中Dispatch类型,确定数据包的源和目的节点,数据包所经过的中间节点必须能够根据Dispatch的不同类型,将数据包路由到下一跳节点,增加了中间节点开销及路由延迟时间,也导致6LoWPAN网络无法扩展;此外,该方案在适配层和IP层之间增加了头部结构,增加了传感器节点数据传输功耗。文献[15]提出一种基于预配置的

6LoWPAN移动方案,每个移动节点配有一个伙伴节点(partner node),并假设伙伴节点能够感知邻居PAN(personal area network)的PAN协调者的信息,这样伙伴节点可以根据邻居PAN的PAN协调者的信息对移动节点的切换过程进行预配置,从而节省移动切换的时间,但是当移动节点移动速度过快或者移动方向突然改变时,上述预配置过程将无法进行。

上述研究方案为6LoWPAN无线传感器网络的移动切换研究奠定了良好的基础,但是并没有考虑传感器网络的固有特点,因此6LoWPAN无线传感器网络移动切换所面临的主要挑战是简化移动切换过程,缩短移动切换延迟,减少控制信息传输量,降低无线传感器网络数据传输功耗。

基于此,本文提出了6LoWPAN无线传感器网络移动切换SMH方案,SMH的创新性包括以下3方面:

- 1) 移动切换控制信息控制在一跳范围内,因此传输代价小,传输延迟短;
- 2) 传感器节点的IPv6地址采用分层结构,有利于地址压缩,减少了传输功耗;
- 3) 提出了地址分层结构,SMH提出了基于IPv6接入节点树的路由方案,移动切换控制信息无需路由发现过程,即可自动路由到目的节点,降低了移动切换功耗,缩短了移动切换延迟。

本文讨论了6LoWPAN无线传感器网络体系结构以及6LoWPAN无线传感器网络移动管理方案,分析了移动管理方案的性能。

1 6LoWPAN无线传感器网络体系结构

6LoWPAN无线传感器网络包括IPv6接入节点、固定传感器节点及移动传感器节点共3类节点,其中IPv6接入节点连接6LoWPAN无线传感器网络与IPv6网络中的接入路由器,IPv6接入节点与固定传感器节点具有路由转发功能,移动传感器节点不具有路由转发功能。一个IPv6接入节点与多个固定传感器节点构建成一个树状结构,称为IPv6接入节点树,其根节点为IPv6接入节点,中间节点及叶子节点为固定传感器节点。在SMH中,多个IPv6接入节点树构建成路由骨干网,移动传感器节点通过路由骨干网与IPv6网络节点进行通信,与移动传感器节点直接通信的IPv6接入节点树中的固定节点称为该移动传感器节点的关联节点。同一时刻,一个移动传感器节点只有一个关联节点。一个PAN由一个IPv6接入节点树中的固定节点以及与树中节点关联的移动传感器节点构成。IPv6接入节点树网络体系

结构如图1所示。

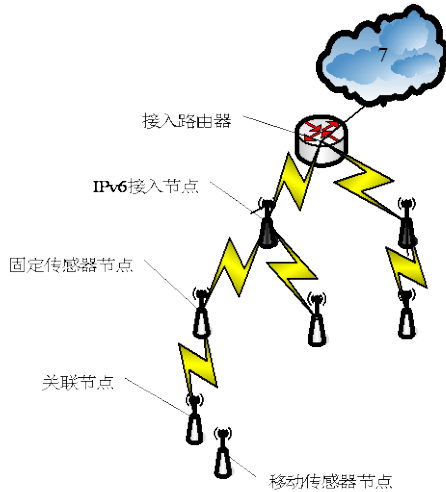


图1 IPv6接入节点树

2 移动切换方案SMH

2.1 IPv6地址分层结构

根据WSN特点, SMH中的IPv6接入节点与传感器节点的IPv6地址分层结构, 如表1所示。

表1 IPv6地址格式

64 bits	i bits	$(64-i)$ bits
全局路由前缀	PAN ID	传感器节点ID

在表1中, IPv6接入节点与传感器节点的IPv6地址由3个部分组成: 1) 全局路由前缀。一个6LoWPAN无线传感器网络中所有节点的IPv6地址的全局路由前缀都相同。2) PAN ID。其唯一标识6LoWPAN网络中的一个PAN(或一个IPv6接入节点树), 一个PAN中所有固定传感器节点IPv6地址的PAN ID都相同, 其值等于相同PAN中IPv6接入节点的PAN ID。3) 传感器节点ID。其唯一标识6LoWPAN无线传感器网络中的一个传感器节点。IPv6接入节点与传感器节点的IPv6地址的PAN ID与传感器节点ID构成在6LoWPAN无线传感器网络内部使用。在SMH中, IPv6接入节点的IPv6地址的传感器节点ID为0。

2.2 传感器节点获取IPv6地址

在SMH中, IPv6接入节点的IPv6地址为预先设置。IPv6接入节点树中的节点定期广播beacon消息以示自己的存在, 并通过接收其一跳范围内的相邻节点发送的beacon消息将相邻节点的地址保存在其邻居节点列表里。

2.2.1 固定传感器节点获取IPv6地址

SMH中, 固定传感器节点通过加入IPv6接入节

点树获取IPv6地址, 即固定传感器节点X获取IPv6地址的过程也为其加入IPv6接入节点树的过程, 具体流程描述如下:

1) 固定传感器节点X广播请求IPv6地址的Req_F控制消息。

2) 在Req_F控制消息覆盖范围内且已获取IPv6地址的IPv6接入节点, 或固定传感器节点T收到Req_F控制消息后, 如果节点T有剩余地址资源可供分配, 则向节点X返回一个Res_F控制消息, Res_F控制消息的负载为将要分配的IPv6地址。

3) 如果节点X在规定时间内收到多个Res_F控制消息, 则根据Res_F控制消息返回的IPv6地址, 计算返回Res_F控制消息的节点的深度值, 然后选择深度值最小的节点作为父节点, 并向父节点返回一个Ack_F确认消息, 同时记录下父节点分配的IPv6地址。

4) 父节点收到节点X返回的Ack_F确认消息后, 它将分配给X的IPv6地址标记为已分配状态。

5) 固定传感器节点X成功加入IPv6接入节点树并获取IPv6地址。

2.2.2 移动传感器节点获取IPv6地址

在SMH中, 接入路由器或IPv6接入节点树中的节点保存一个移动节点-关联节点对照表, 用以记录移动传感器节点与其关联节点的对应关系, 对照表包括移动节点和关联节点两个域, 移动节点域记录移动节点的IPv6地址, 关联节点域记录移动节点的关联节点的IPv6地址。

移动传感器节点Y获取家乡IPv6地址以及关联节点的过程如下:

1) 移动传感器节点Y广播请求IPv6地址的Req_M控制消息。

2) 在Req_M控制消息覆盖范围内且已获取IPv6地址的IPv6接入节点、固定传感器节点或移动传感器节点T收到控制消息后, 如果节点T有剩余地址资源可供分配, 则向节点Y返回一个Res_M控制消息, 该消息负载为将要分配的IPv6地址。

3) 如果节点Y在规定时间内收到多个Res_M控制消息, 则查看Res_M控制消息中IPv6地址的传感器节点ID, 选择传感器节点ID有效位最小的IPv6地址作为自己的IPv6地址, 并向返回相应Res_M控制消息的节点F返回一个Ack_M确认消息, 其负载内容为分配的IPv6地址。如果节点F为固定节点, 节点Y则将节点F作为关联节点; 否则它判断返回的Res_M

消息, 向返回信号最强的固定节点A发送一个Associate_Mi请求消息。

4) 节点F收到节点Y返回的Ack_M确认消息后, 它将分配给节点Y的IPv6地址标记为已分配状态。如果节点F为固定节点, 则在移动节点-关联节点记录表中增加一条表项, 移动节点域为节点Y的IPv6地址, 关联节点域为节点F的IPv6地址; 否则节点A收到节点Y的Associate_Mi请求消息, 则在移动节点-关联节点记录表中增加一条表项, 移动节点域为节点Y的IPv6地址, 关联节点域为节点A的IPv6地址, 同时向节点Y返回一个Response_M响应消息, 节点Y收到节点A的Response_M响应消息后, 将节点A设置为自己的关联节点。

5) 移动传感器节点Y获取IPv6地址以及其关联节点。

2.3 移动切换过程

移动传感器节点通过测量收到的beacon消息的信号强度, 计算出与发送beacon消息的节点之间的距离^[16]。当移动节点M检测到与其关联节点S₁的距离大于阈值时, 则选择当前与它距离最近的固定节点S₂作为关联节点, 并进行如下移动切换操作。

1) 移动节点M向节点S₂发送Associate_M请求消息, 其负载内容为其当前关联节点S₁的IPv6地址, 节点S₂收到请求消息后, 在移动节点-关联节点记录表中增加一条表项, 移动节点域为节点M的IPv6地址, 关联节点域为节点S₂的IPv6地址, 并向节点M返回一个Response_M响应消息。同时, 节点S₂向节点S₁以及节点S₂与S₁的共同祖先节点A分别发送一条Update命令消息, 消息负载内容为节点M的IPv6地址, Update命令消息根据IPv6接入节点树进行路由, 首先到达节点S₂的父节点。

2) 节点M收到节点S₂的Response_M响应消息后, 将关联节点设置为节点S₂。

3) 父节点收到Update命令消息后, 首先判断它是否为S₂与S₁的共同祖先节点A; 如果不是共同祖先节点A, 它则查看移动节点-关联节点记录表, 如果包含节点M的表项, 则将其删除, 然后将Update命令消息继续发送给其父节点并进行步骤3), 这样共同祖先节点A最终收到Update命令消息。

4) 共同祖先节点A查看移动节点-关联节点记录表, 如果包含节点M的表项, 则将其关联节点域更新为节点S₂的IPv6地址, 否则增加一个表项, 移动节点域为节点M的IPv6地址, 关联节点为S₂的IPv6

地址, 然后共同祖先节点A再按照IPv6接入节点树向节点S₁返回Update_res命令消息。

5) 节点S₁收到Update命令消息后, 从移动节点-关联节点对照表中删除节点M的对应表项, 同时查看S₂是否在其邻居列表中, 如果在, 则将目的地址为节点M的数据消息直接发送给节点S₂; 否则将目的地址为节点M的数据消息通过IPv6接入节点树发送给节点S₂, 同时向节点S₂返回Update_res命令消息。

6) 节点S₂收到节点S₁和共同祖先节点A的Update_res命令消息后, 将目的地址为节点M的数据消息转发给节点M, 至此, 移动切换过程结束, 如图2所示。

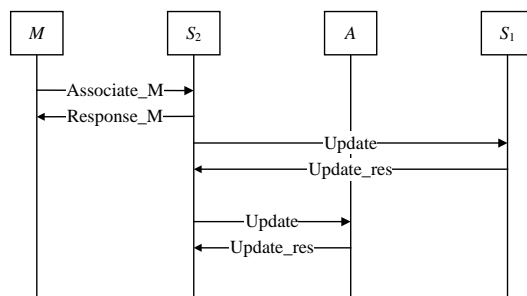


图2 移动切换信息交互过程

3 性能分析

本文使用的仿真软件为Qualnet4.5, 仿真区域为100 m×100 m。初始状态下, 仿真区域包括2个IPv6接入节点、10个固定传感器节点, 100个移动传感器节点, 传感器节点随机分布在仿真区域内。链路层协议采用IEEE 802.15.4, 移动传感器节点采用随机移动模型^[17]进行移动, 移动速度区间为[0 m/s, 20 m/s], 移动角度区间为[0, 2π]^[18-19]。传感器节点的通信传输范围为[10 m, 100 m]^[20-21]。由于Inter-MARIO和SMH的移动切换性能优于MIPv6, 因此只比较SMH和Inter-MARIO的移动切换代价和移动切换延迟, 其中, SMH的算法如本文2.3节所示, Inter-MARIO的算法如参考文献[15]所示, 可得到图3和图4的仿真结果。

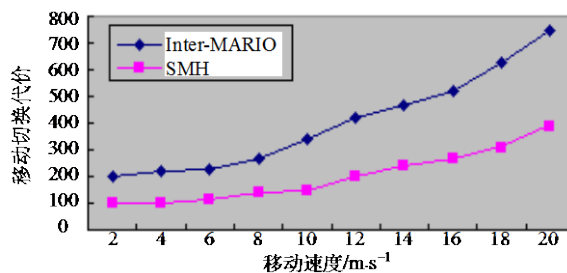


图3 移动切换代价仿真图

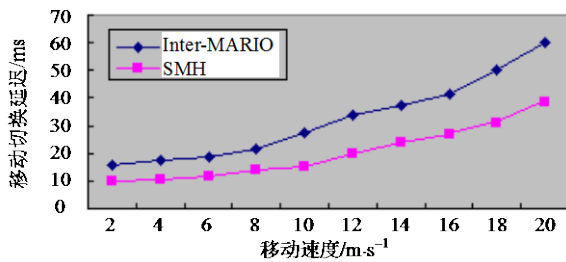


图4 移动切换延迟仿真图

4 结束语

本文提出了6LoWPAN无线传感器网络移动切换方案, 从理论和仿真两个角度对SMH的移动切换代价及移动切换延迟等性能参数进行了比较分析。结果验证了SMH的移动切换代价更小, 移动切换延迟更短。

参考文献

- [1] KUSHALNAGAR N, MONTENEGRO G, SCHUMACHER C. 6LoWPAN: Overview, assumptions, problem statement, and goals[EB/OL]. [2002-11-11]. <http://tools.ietf.org/rfc/rfc4919.txt>.
- [2] SHIN M, CAMILO T, SILVA J, et al. Mobility support in 6LoWPAN[EB/OL]. [2010-11-20]. <http://tools.ietf.org/html/draft-shin-6lowpan-mobility-01>.
- [3] SOLIMAN H, CASTELLUCCIA C, MALKI K L, et al. Hierarchical MIPv6 mobility management[EB/OL]. [2009-08-11]. <http://xml2rfc.tools.ietf.org/rfc/rfc4140.txt>.
- [4] JOHNSON D B, PERKINS C E, ARKKO J. Mobility support in IPv6[EB/OL]. [2007-06-15]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt>.
- [5] HUI J, CULLER D, CHAKRABARTI S. 6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15.4 into the IP architecture [EB/OL]. [2009-01-20]. <http://www.cs.berkeley.edu/~jwhui/6lowpan.html>.
- [6] AKYILDIZ I, XIE J, MOHANTY S. A survey of mobility management in next-generation all-IP based wireless systems[J]. IEEE Wirel Commun, 2004(11): 16-28.
- [7] SAHA D, MUKHERJEE A, MISRA I, et al. Mobility support in IP: A survey of related protocols[J]. IEEE Network, 2004(18): 34-40.
- [8] RAMJEE R, LAPORTA T, THUEL S, et al. HAWAII: a domain based approach for supporting mobility in wide area wireless area networks[C]//Seventh International Conference on Network Protocols. Toronto, Canada: [s.n.], 1999.
- [9] SHIN Myung-Ki, KIM Hyoung-Jun. L3 mobility support in large-scale IP-based sensor networks (6LoWPAN)[C]//11th International Conference on Advanced Communication Technology. New York, USA: IEEE, 2009.
- [10] GUNDAVEVELLI S, LEUNG K, DEVRAPALLI V, et al. Proxy mobile IPv6[EB/OL]. [2008-08-27]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5213.txt>.
- [11] KIM H, HONG C. A routing scheme for supporting network mobility of sensor network based on 6LoWPAN[C]//Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium 2007. Berlin: Springer, 2007.
- [12] KIM H, HONG C, SHON T. A lightweight NEMO protocol to support 6LoWPAN[J]. ETRI Journal, 2008, 30(5): 685-695.
- [13] DEVARAPALLI V, WAKIKAWA R, PETRESCU A, et al. Network mobility(NEMO) basic support protocol[EB/OL]. [2005-03-16]. <http://tools.ietf.org/html/rfc3963>.
- [14] BAG G, RAZA M, KIM K, et al. LoWMob DLoWMob: Intra-PAN mobility support schemes for 6LoWPAN[J]. Sensors, 2009(9): 5844-5877.
- [15] MMINKEUN H, DAEYOUNG K, SEONGHOON K, et al. Inter-MARIO: A fast and seamless mobility protocol to support inter-PAN handover in 6LoWPAN[C]//IEEE Communications Society Subject Matter Experts for Publication in the IEEE Globecom 2010 Proceedings. New York, USA: IEEE, 2010.
- [16] ZHANG L, CHENG Q, WANG Y, et al. A novel distributed sensor positioning system using the dual of target tracking[J]. IEEE Trans Comput, 2008(57): 246-260.
- [17] CAMP T, BOLENG J, DAVIES V. A survey of mobility models for Ad hoc network research[J]. Wireless Commun and Mobile Computing, 2002, 2(5): 483-502.
- [18] PACK S, NAM M, CHOI Y. A study on optimal hierarchy in multi-level hierarchical mobile IPv6 networks[C]//Proc of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 2004. Dallas, USA: IEEE, 2004.
- [19] REAZ A S, CHOWDHURY P K. Mohammed atiqzaman, and william ivancic, signalling cost analysis of SINEMO: Seamless endtoend network mobility[C]//Proc of the first ACM/IEEE International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture (MobiArch 2006). San Francisco, USA: IEEE, 2006.
- [20] KWON T T, GERLA M, DAS S, et al. Mobility management for VoIP service: mobile IP vs SIP[J]. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(2): 66-75.
- [21] LO Shou-Chih, LEE Guan-ling, CHEN Wen-Tsuen, et al. Architecture for mobility and QoS support in all-IP wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(4): 691-705.

编辑 黄 莘