

一种基于无线传感器网络的移动切换新方案^①

钟 斌, 杨雪洲, 李思敏

(桂林电子科技大学 电子工程学院, 桂林 541004)

摘 要: 针对快速分级移动 IPv6 协议应用在无线传感器网络当中存在的问题, 提出了一种改进的快速分级移动 IPv6 切换方案, 该方案能够减少切换延时、提高吞吐量。仿真结果表明, 该方案是有效可行的。

关键词: 无线传感器网络; 移动切换; IPv6

A Scheme of Mobile Handover Based on Wireless Sensor Network

ZHONG Bin, YANG Xue-Zhou, LI Si-Min

(College of Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In this paper, aiming at the problems of handover existing in the Fast Hierarchical Mobile IPv6(FHMIPv6) protocol in wireless sensor networks, an Improved Fast Hierarchical Mobile IPv6(I_FHMIPv6) protocol is presented. Performance analysis and simulation experiments presented in this paper show that this proposal outperforms the current schemes on aspect of handover delay and throughput.

Keywords: wireless sensor network; mobile handover; IPv6

现有的移动 IPv6 扩展协议主要有分级移动 IPv6 (Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6)、快速移动 IPv6 (Fast Mobile IPv6, FMIPv6) 和快速分级移动 IPv6 (Fast Hierarchical Mobile IPv6, FHMIPv6) 协议。HMIPv6 可以减少向归属代理 (Home Agent, HA) 和对端节点 (Correspondent Node, CN) 发送绑定更新消息的数量, 能缩短切换时延。FMIPv6 的设计思想是, 当移动节点 (Mobile Node, MN) 检测到新的链路时如何尽可能早地发送数据包, 以及如何在接入路由器 (Access Router, AR) MN 检测到接入点后尽可能早地发送给 MN。由于 FMIPv6 是三层切换技术, 与底层的链路技术无关。同时 FMIPv6 与移动 IPv6 完全兼容, 因此可以极大减少切换导致的延时。FHMIPv6 结合了二者的优点, 因而切换时延最短, 丢包率最低, 吞吐量最大^[1]。但是, 目前研究主要针对传统的自组网。

与传统的自组织网络相比, 无线传感器网络具有体积小, 功耗低的特点。传统的自组网采用的媒质访问协议 (Media Access Protocol, MAC) 类型为 802.11, 没有充分考虑到能耗。IEEE802.15.4^[2] 针对的就是低复杂

度、低功耗、低数据速率的短距离网络。因此, IETF 6LoWPAN 草案标准采用 IEEE802.15.4 作为 IPv6 传感器网络的无线接入协议。为了适应这种网络的技术特点, 需要进一步降低切换延时, 提高吞吐量。

1 方案论证

1.1 FHMIPv6

FHMIPv6 中移动节点发起的切换过程如图 1 所示, 包括以下操作过程:

(1) MN 由于链路层触发进入一个新的子网, 并且在同一个 MAP 域内时, 移动节点便发送一个代理公布路由器请求消息 (Router Solicitation for Proxy Advertisement, RtsolPr) 到 MAP 要求得到新接入路由器 (New Access Router, NAR) 和新的链路转交地址 (New on Link Care of Address, NLCoA) 的相关信息;

(2) MAP 一旦收到 RtsolPr 消息后便返回一个代理路由器公布消息 (Proxy Router Advertisement, PrRtAdv) 到 MN, 于是 MN 获得了一个 NLCoA, 建立先前的链路转交地址 (Previous on Link Care of Address,

^① 基金项目: 广西科学研究与技术开发计划应用基础研究专项项目 (桂科基 0731019); 广西自然科学基金 (桂科自 0447090)

收稿时间: 2010-05-21; 收到修改稿时间: 2010-07-03

PLCoA)和新接入路由器(New Access Router, NAR)的绑定,并发送一个快速绑定更新消息(Fast Binding Update, FBU)到 MAP;

(3) MAP 收到 FBU 后,发送一个到 NAR 的切换发起信息(Handover Initiate, HI),在 AR 间就开始了切换过程;

(4) NAR 收到 HI 后,将通过重复地址检测(Duplicate Address Detection, DAD)验证 NLCOA 的有效性后,发起一个切换确认消息(Handover Acknowledge, Hack)到 MAP,于是就在 NAR 和 MAP 之间建立了一个双向隧道;

(5) MAP 收到 Hack 后,就会传送一个快速绑定确认消息(Fast Binding Acknowledgment, FBAck)到 MN;

(6) MN 到达 NAR 链路后,便发送一个快速邻居公告消息(Fast Neighbor Advertisement, FNA)到 NAR。NAR 收到后,将缓存的数据发送给移动节点的 NLCOA;

(7) 移动节点继续 HMIPv6 的操作过程,发送本地绑定更新(Local Binding Update, LBU)给 MAP。当收到包含 NLCOA 的 LBU 后,给 MAP 清除它与 NAR 之间的分组转发隧道。接着 MAP 发送本地绑定更新确认(Local Binding Acknowledgment, LBAck)给 MN,接下来过程与 HMIPv6 一致^[3]。

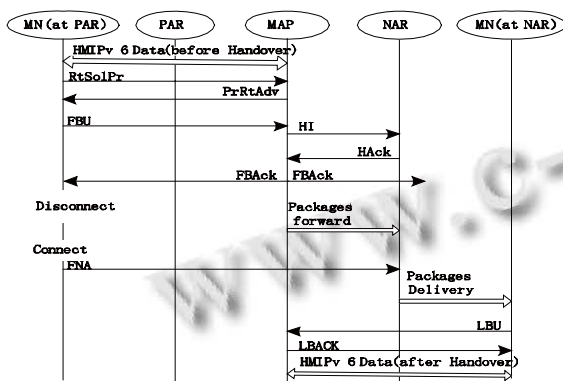


图 1 FHMIPv6 信令交互过程

从图 1 FHMIPv6 的切换流程可知,移动节点 MN 需要先发送 RtSolPr 消息给 MAP,等待 MAP 回复 PrRtAdv 消息,然后 MN 根据 PrRtAdv 消息提供的 NAR 相关信息实现 NLCOA 的配置。NAR 收到 HI 后,将通过 DAD 来验证 NLCOA 的有效性。事实上,这一过程

极大地增加了信令开销,从而造成更大的切换延时。

1.2 I_FHMIPv6

I_FHMIPv6 中移动节点发起的切换过程如图 2 所示,包括以下操作过程:

(1) MN 由于链路层触发进入一个新的子网,并且在同一个 MAP 域内时,建立 PLCoA 和 NAR 的绑定,并发送一个 FBU 到 MAP^[4];

(2) MAP 收到 FBU 后,发送一个到 NAR 的 HI,在 AR 间就开始了切换过程;

(3) NAR 收到 HI 后,发起一个 Hack 到 MAP,于是就在 NAR 和 MAP 之间建立了一个双向隧道,NAR 把地址池里面的 NCoA 发送给 MAP^[5],当地址池的地址耗尽时,采用 RFC4862 提出的无状态地址自动配置协议进行配置 NLCOA^[6];

(4) MAP 收到 Hack 后,就会传送一个带 NLCOA 的 FBAck 到 MN;接下来过程与 FHMIPv6 相同。

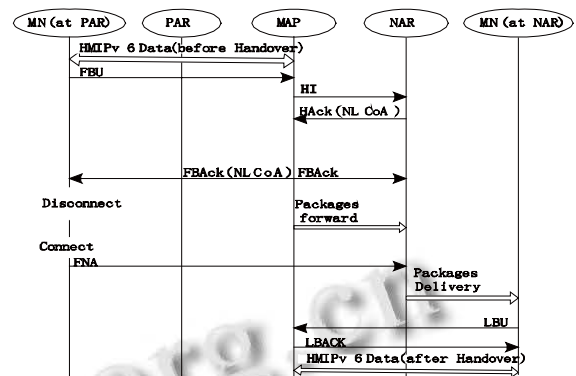


图 2 I_FHMIPv6 信令交互过程

从图 2 看出 I_FHMIPv6 切换流程可知, MN 一旦检测到新无线接入点(Access Point, AP),链路触发后立即发送 FBU 给 MAP 实现绑定更新。NAR 利用自己提前配置的地址池,实现 NLCOA 的配置。NLCOA 通过 FBAck 提供给 MN。这样就不需要发送 RtSolPr 消息和 PrRtAdv 消息,从而极大地减少了信令开销,缩短 NLCOA 的配置时间。

2 性能分析

由图 1 和图 2 对比分析,可以看出 I_FHMIPv6 切换过程的信令交互次数减少。特别是 FHMIPv6 方案必须在 MAP 收到 MN 发送的 FBU 消息才能建立隧道的情况发生了改变。在 MN 对隧道建立的影响减少的同

时,隧道的建立时间也提前了。在 FHMIPv6 的过程中,从 MN 发出请求到隧道建立的时间为^[7]:

$$T_{handoff} = T_{msg_delay}^{FHMIPv6} + T_{DAD} = T_{MN_MAP}^{RtSolPr} + T_{MAP_MN}^{PrRtAdv} + T_{MN_MAP}^{FBU} + T_{MAP_NAR}^{HI} + T_{NAR_MAP}^{HAcK} + T_{DAD}$$

I_FHMIPv6 方案需要进行 DAD 的概率为,则从切换开始到隧道建立的时间为:

$$T_{handoff}^{I_FHMIPv6} = T_{msg_delay}^{I_FHMIPv6} = T_{MN_MAP}^{FBU} + T_{MAP_NAR}^{HI} + T_{NAR_MAP}^{HAcK} + P'T_{DAD}$$

从上可知 I_FHMIPv6 方案隧道建立的时间提前了 $T_{MN_MAP}^{RtSolPr} + T_{MAP_MN}^{PrRtAdv} + (1 - P)T_{DAD}$ 。从而切换时延也就相应减少了。

由于无线传感器网路, MAC 协议类型采用 802.15.4, 利用休眠模式节省耗电量, 延长工作时间。并且, 网络节点通信环境恶劣在通信过程造成消息的丢失, 导致切换的失败。假设在切换过程成功发送消息的概率均为 P。在 FHMIPv6 过程中, 则成功建立隧道的概率为 p^5 。改进后的方案成功建立隧道的概率为 p^3 。显然, 改进后的方案成功切换的概率大。

3 仿真与验证

仿真实验在 Redhat Linux 9.0 上使用 NS-2.31 仿真工具并将 season 提供的 FHMIPv6.1.3(NOAH)模块作为仿真平台。网络拓扑结构如图 3 示。

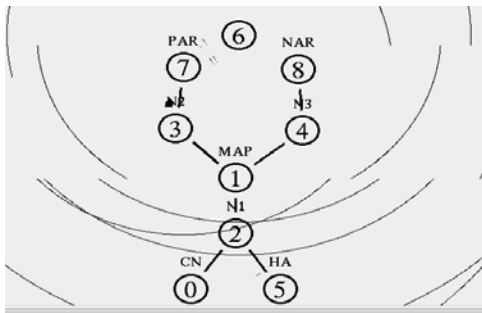


图 3 模拟实验的拓扑

设定仿真场景大小为 100m × 100m, 仿真时间为 80s, MAC 类型设置为 802.15.4, 传感器节点的无线通信半径是 15m。PAR 和 NAR 相距 26m, CN 与 TCP 源代理相连作为 TCP 通信源端, MN 与代理 TCPSink 相连作为接收端, 在 20s 时, 开始传输 TCP 包。对 8 个节点的连接中的链路进行设定, 其中 CN 到节点 N1 以及从 HA 到节点 N1 的链路设定为 10Mb 全双工链

路, 传输时延为 2ms; 从 MAP 到节点 N1 的链路设定为全双工 10Mb, 延时为 50ms; 从 MAP 到节点 N2 以及到节点 N3 的链路设定为 1Mb 全双工链路, 传输时延为 2ms; 最后从 PAR 到节点 N2 以及从 NAR 到节点 N3 的链路设定为 100Kb 全双工链路, 时延为 2ms。TCP 包大小 60Byte。MN 从 0.5s 开始以 1m/s 从 (7.5,60.0)向(33.0,60.0)移动; MN 从 28.0s 开始以 1m/s 从(33.0,60.0)向(63.0,60.0)移动, 将会发生一次从 PAR 到 NAR 的切换。MN 从 50.0s 开始以 0.5m/s 从 (38.0,60.0)向(33.0,60.0)移动, 将会发生一次从 NAR 到 PAR 的切换。从 nam 动画显示可以看出, 两次切换的时间大约是 30s 和 60s。

定义一个衡量切换时延的参数 var(单位: ms)——在切换过程中, 第一个被 CN 重传的包被重传的时刻与切换前这个包被 CN 发送出的时刻之间的差值, 不同的协议方案, var 的值不同^[7]; 图 4 从源发送端(CN)角度描述了 FHMIPv6、I_FHMIPv6 时延比较分析。在 FHMIPv6 方案中, 参数 var 在图 4 中的标识为 FHMIPv6 切换延时, 为其值约为 433ms; 在 I_FHMIPv6 中, var 在图 4 中的标识为 I_FHMIPv6 切换延时, 其值约为 368ms。由于是应用于无线传感器网路中, 数据略大于^[1]相关数据。

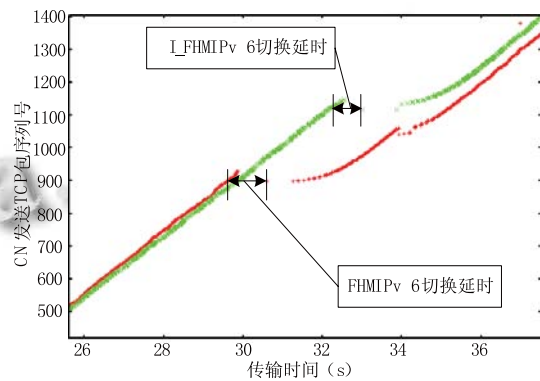


图 4 两种切换方案切换延时对比图

本文中的吞吐量是从发送端定义的, 即单位时间内发送数据的多少; 另外, 引入了平均有效吞吐量 (Average Throughput) 的概念, 它是从接收端来考查切换性能的参数。丢包率的计算按照原理应该取 Throughput 和 Average Throughput 的差值来计算, 但为了便于比较和分析各协议的性能差别, 取 Average Through 和无切换情况下的 Throughput 的差值来计算,

两种切换方案的吞吐量对比如图 5 所示:

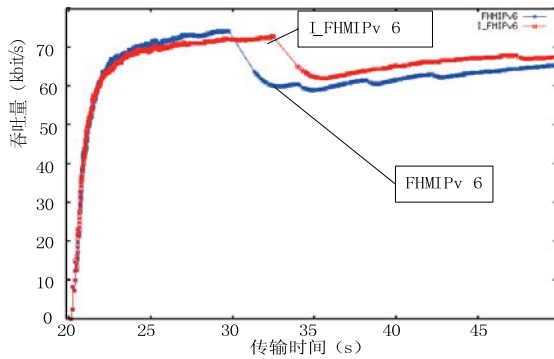


图 5 两种切换方案吞吐量比较图

仿真结果表明,在切换时间内,吞吐量的变化呈振荡上升的趋势。切换开始后 I_FHMIPv6 曲线在 FHMIPv6 之上,且振荡曲线比 FHMIPv6 要平缓,这说明 I-FHMIPv6 比 FHMIPv6 的吞吐量高,性能好。

为了对两种方案的切换性能有进一步的分析,本文采用多次测量取平均值的方法。MN 分别以 0.5m/s、1m/s、1.5m/s、2m/s 的速度移动,进行移动切换。移动切换平均延时如表 1 所示。同时为了计算不同切换方案的丢包率,我们通过取平均的方式计算了不同方案下的平均吞吐量(Throughput)和平均有效吞吐量(Goodput),其表达式如下^[1]:

$$Throughput = \frac{Sum_Send_Packet_Byte \times 8}{(End_Time - Start_Time) \times 1000}$$

$$Packet_loss_rate = \frac{No_Handover_Goodput - Goodput}{No_Handover_Goodput} \times 100\%$$

其中, Sum_Send_Packet_byte: CN 总共发送的 TCP 包字节大小; Sum_Receive_Packet_Byte: MN 总共接收到的 TCP 包字节大小; No_Handover_Goodput: 无切换时的平均有效吞吐量; Start_Time: TCP 包传输的开始时间; End_Time: TCP 包传输的结束时间。移动切换扩展协议性能指标分析如表 1。

从表 1 可以看出, I-FHMIPv6 在减少丢包率和切换延时方面有一定改善。这个延时主要由信令交换、节点间距变化、网络拥塞引起的。对于一个在进行移动切换的无线传感器网路来说,切换延时过大,导致丢包量大,会导致 CN 不能够收到 MN 发送回来的 ACK 信息,它认为发生了网络拥塞情况,于是

相应的启动了拥塞控制策略,导致无线传感器网路的能量损失。减少信令和减少 DAD 次数,合理的网络拥塞控制对于改善无线传感器网路的性能有着重要的意义。

表 1 移动切换扩展协议 TCP 包性能指标分析

移动扩展协议类型	性能指标分析			
	平均吞吐量 (kbit/s)	平均有效吞吐量 (kbit/s)	丢包率 (%)	移动切换平均延时 (s)
FHMIPv6	63.858667	62.112000	7.6886	0.453664
I_FHMIPv6	66.128000	65.048000	3.3251	0.322536
无切换	68.952000	67.285333	0.0000	\

4 结束语

本文分析了 IPv6 移动切换协议在无线传感器网路中应用存在的问题,提出了 I_FHMIPv6 方案。该方案利用 NAR 代替 MN 进行配置 NLCOA,因此能够减少消息数量,提前建立隧道的的时间。在无线传感器网路模型中,采用 TCP 数据流模拟 I_FHMIPv6 方案的性能,并对模拟数据与 FHMIPv6 方案进行对比分析,验证了 I_FHMIPv6 方案的优越性和可行性。下一步工作将研究在连续跨越多个 MAP 域的切换的实现细节。

参考文献

- 1 贾宗璞.移动 IPv6 切换优化技术研究[博士学位论文].长春:吉林大学,2008.
- 2 Montenegro G, Kushalnagar N, Hui J, Culler D. Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks, RFC 4944, September 2007.
- 3 秦冀,姜雪松.移动 IP 技术与 NS-2 模拟.北京:机械工业出版社,2006.301-312.
- 4 Li Y, Chen WT, Jin DP, Zeng LG. Seamless Handoff Scheme for Real-time Application in the Wireless IPv6 Networking. Anti-counterfeiting, Security and Identification, 2008. ASID 2008. 2nd International Conference. 20-23 Aug. 2008. 136-139.
- 5 Cai K, Yang ZM, Chen RY, Li CH. A Handoff Algorithm Based on Care-of Address Pool for Hierarchical Mobile IPv6. Pervasive Computing and Applications, 2008. ICPCA 2008. Third International Conference. 6-8 Oct. 2008.302-306.
- 6 Thomson S, Narten T, Jinmei T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, RFC4862, September 2007.
- 7 邓亚平,刘科.改进的快速层次移动 IPv6 方案.计算机工程与应用,2009,45(26):98-100.