

基于层次化网络编码的无线物联网协作切换机制

黄辰^{*①} 张伟^① 李可维^② 黄本雄^③ 戴彬^③

^①(湖北大学物理学与电子技术学院 武汉 430062)

^②(武汉第二船舶设计研究所 武汉 430064)

^③(华中科技大学电信系 武汉 430074)

摘要: 该文针对无线物联网中的多路径、多中继切换场景,提出了一种基于层次化网络编码(HNC)的协作切换机制。HNC机制在传统实用网络编码的基础上,利用中继节点距离网络接入点的跳数差异,引入了多层中继圈的思想,对网络进行分层。通过位于不同网络层次的中继节点的相互协作,建立移动终端与远程网络接入点之间的切换连接。HNC机制使移动终端在移动过程中可以保持可靠的切换连接。

关键词: 网络编码; 物联网; 切换

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2013)01-0147-04

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2012.00468

Hierarchical Network Coding Based Cooperative Handover Mechanism in Wireless Internet of Things

Huang Chen^① Zhang Wei^① Li Ke-wei^② Huang Ben-xiong^③ Dai Bin^③

^①(Faculty of Physical and Electronics, Hubei University, Wuhan 430062, China)

^②(Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

^③(Department of Electronic and Information Engineering,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A cooperative handover mechanism based on a Hierarchical Network Coding (HNC) is proposed for multi-hop, multi-path handover scenario in wireless internet of things in this paper. Based on traditional practical network coding, HNC makes use of the different hop between mobile terminal and network access point, and adopts multi intermediate circle to divide levels in the network. With the cooperation of intermediate nodes in different levels, mobile terminal can establish handover connection with remote access point. HNC keeps reliable handover connections during the terminal is moving.

Key words: Network coding; Internet of things; Handover

1 引言

无线物联网是物联网的高级形态,由多种协议的无线网络所组成。作为无线物联网末端的智能移动终端配置有多种无线网络接口,以便在无线物联网中漫游。移动终端在无线物联网进行漫游切换的效率和可靠性成为物联网研究中的重要课题。

在无线物联网中,网络接入点(咖啡厅、机场、大学校园等区域中的无线接入点)的数量有限,移动终端在无线物联网中漫游切换,需要依赖其他移动终端的协作,才能与网络接入点之间建立切换连接。

现有切换方案有多种分类方法:从是否依赖第

三方协作切换进行分类:(1)不依赖第三方协作,由端到端的移动终端和基站配合完成切换^[1],不需要对于第三方基础设施进行软件升级和硬件改动;(2)依赖第三方协作,克服了端到端切换中对于距离、速度的苛刻要求,但是要对第三方网络设备进行升级改造。

从切换协议所属的网络层次进行分类:(1)链路层切换协议,分为紧耦合和松耦合^[2]。紧耦合方案^[3,4]通常由3G和WLAN两种网络构成,切换方式可以基于3G网络的移动性管理。而松耦合架构,由于异构网络之间相对独立,因此,难以形成一个统一切换解决方案;(2)网络层切换协议,移动IP协议是下一代无线网络的切换解决方案的基础^[5,6]。多篇文献提出了异构无线网络的垂直解决方案^[7-9],但是这些切换方案主要集中在第三方基础设施处于静态状态下;(3)传输层切换协议,其显著优点是支持多径连接,可以获得聚合带宽;(4)应用层切换协议,

2012-04-23 收到, 2012-10-16 改回

国家自然科学基金(60803005), 教育部新世纪人才基金(NCET-06-0642), 湖北省软科学研究专项项目(2011DHA014)和湖北大学自然科学基金(030-098229)资助课题

*通信作者: 黄辰 szo094@qq.com

主要是基于会话初始协议^[10], 对于终端移动性以及业务移动性, 都有较好的支持^[11]。

综上所述, 传统切换机制对于移动性较强的多跳切换的支持能力较差, 切换成功率无法得到保证。本文提出基于层次化网络编码(Hierarchical Network Coding, HNC)的切换机制, 在传统实用网络编码的基础上, 引入多层中继圈的思想, 将所有中继节点划分到具有维度差异的多层中继圈。层次化网络编码对编码数据包的传输方向, 以及各层编码数据包的发送数量都加以限制, 改善传统网络编码冗余度较高, 网络通信开销较大的问题, 在切换可靠性和协议通信开销之间取得均衡。

2 层次化网络编码切换机制

2.1 物理模型

本文研究的是链路有衰减情况下的切换。移动终端与基站之间的链路衰减和移动终端接收到的信号强度 RSS(Received Signal Strength)为

$$L(v_j) = D(v_j)^{-\omega} 10^{\delta(v_j)/10}, \quad \text{RSS}(v_j) = L(v_j)S_E(v_j)$$

其中 ω 是链路衰减指数; $L(v_j)$ 是移动终端与所注册的基站 v_j 之间的信道衰减; $\delta(v_j)$ 是均值为 0, 方差为标准方差的高斯分布式随机变量, 代表信道处于阴影衰减中^[12]; $S_E(v_j)$ 是基站 v_j 的载波发射功率。

2.2 基本思想

移动终端与多个网络接入点之间形成了以移动终端为中心的多层中继圈。为了适应多层中继圈结构, 本文提出了层次化网络编码 HNC。在多中继环境下引入网络编码^[13], 可以有效提高多中继通信连接的可靠性。多中继连接需要中继节点之间的协作, 结合网络编码^[14,15], 可以在不明显增加网络开销的基础上, 大幅度提高协作通信的效率。HNC 与实用网络编码^[16]的最大区别是, HNC 仅允许编码数据包从高纬度中继圈向低纬度中继圈流动, 不能反向流动, 也不能在同一层中继圈流动。

2.3 切换概率分析

(1)移动距离超过设定长度, 并导致切换失败的概率 P_{mo} 。假设移动终端的速度恒定, 移动轨迹基本朝向一个方向, 预测的移动距离与一个设定的距离门限 T_{THR} 进行比较, 一旦超过就认为可以发动切换。

如图 1 所示, 定义移动终端在位置点 P_x 接收到的信号强度为 RSS_{P_x} , 假设此时的信号强度达到了预设门限 RSS_R , 则由式(1)可得以 v_j 为圆心的蜂窝域发射半径 R :

$$R \approx D(v_j) = \left[\frac{S_E(v_j) \cdot 10^{\delta(v_j)/10}}{\text{RSS}_{P_x}} \right]^{1/\omega} \quad (1)$$

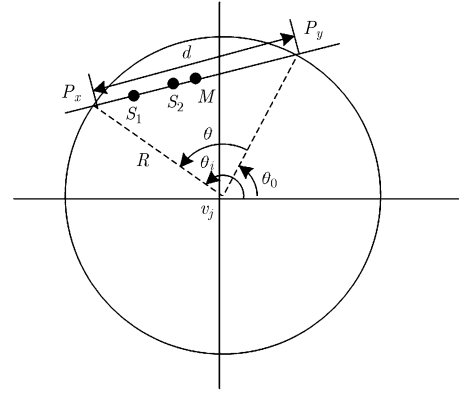


图1 移动终端运动模型

根据 RSS 变化率的定义, 位置点 M 是位置点 P_x 和位置点 P_y 的中点有

$$\begin{aligned} \Delta \text{RSS} &= \left| \frac{\text{RSS}_M - \text{RSS}_{P_x}}{t_M - t_{P_x}} \right| \\ &= \left| \frac{[(R^2 - d^2/4)^{-\omega/2}] \cdot S_E(v_j) \cdot 10^{\delta(v_j)/10}}{d/2v} \right| \quad (2) \end{aligned}$$

其中 t_M 和 t_{P_x} 是移动终端经过位置点 M 和 P_x 的时间, d 是移动终端在网络接入点 v_j 的蜂窝域内部的移动距离, v 是移动终端的速度。在移动终端进入 v_j 的微蜂窝域的发射半径 R 之后, 对两个相距时间极短的时间点 t_{s1} 和 t_{s2} 对移动终端接收到的信号强度取样, 得到 RSS 变化率为

$$\Delta \text{RSS} = \left| \frac{\text{RSS}_{s1} - \text{RSS}_{s2}}{t_{s1} - t_{s2}} \right| \quad (3)$$

将式(3)的结果结合文献[17]提出的微蜂窝系统中的速度估计算法 LCR, 获得移动终端的瞬时速度 v , 以该速度为基础, 结合式(2)和式(3), 预测移动终端在 v_j 的微蜂窝域中的移动距离 d , 如式(4)所示

$$d = \left\{ \left[2v[(R^2 - d^2/4)^{-\omega/2} - R^{-\omega}] \cdot S_E(v_j) \cdot 10^{\delta(v_j)/10} \cdot (t_{s1} - t_{s2}) \right] / (\text{RSS}_{s1} - \text{RSS}_{s2}) \right\} \quad (4)$$

移动终端从位置点 P_x 进入 v_j 的微蜂窝域, 从位置点 P_y 离开, 由于移动终端进出微蜂窝域的位置是完全随机的, 位置点 P_x 和位置点 P_y 关于圆心的夹角满足 $[0, 2\pi]$ 之间的均匀分布, 其相对于圆心 v_j 形成了夹角差 θ , θ 的概率密度函数为

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{\pi} \left(1 - \frac{\theta}{2\pi} \right), \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (5)$$

由图 1 易得 d 与 θ 的关系满足

$$d^2 = 2R^2(1 - \cos \theta) \quad (6)$$

结合式(5)和式(6), 得到概率密度函数为

$$f_D(d) = \frac{2}{\pi \sqrt{4R^2 - d^2}}, \quad 0 \leq d \leq 2R \quad (7)$$

进一步得到 d 的概率分布函数为

$$P(d \leq D) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{D}{2R} \right), & 0 \leq D \leq 2R \\ 1, & D > 2R \end{cases} \quad (8)$$

定义 v_j 的微蜂窝网络切换时延为 $\tau(v_j)$ ，当预测移动距离 d 超过切换发动门限 T_{THR} ，而又低于 $v_j \cdot \tau(v_j)$ ，则认为切换失败，该切换失败概率 P_{mo} 为

$$P_{\text{mo}} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left[\sin^{-1} \left(\frac{v \cdot \tau(v_j)}{2R} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{T_{\text{THR}}}{2R} \right) \right], & 0 \leq T_{\text{THR}} \leq v \cdot \tau(v) \\ 0, & T_{\text{THR}} > v \cdot \tau(v) \end{cases}$$

(2) 进入邻接域切换区间的概率 P_{sw} 当移动终端与 v_i 之间的 RSS，低于与 v_j 之间的 RSS 达到一个设定门限值 T_{area} ，可认为移动终端进入邻接域。定义 P_{sw} 为

$$P_{\text{sw}} = \Pr[\text{RSS}(v_i) - \text{RSS}(v_j) \geq T_{\text{area}}] \quad (9)$$

$\delta(v_j)$ 是均值为 0，方差为标准方差的高斯随机变量，假设 $\delta(v_j)$ 满足标准正态分布，即 $\Pr[\delta(v_j) = \delta_0] \sim N(0, \sigma(v_j)^2)$ ， $\text{RSS}(v_j, v_i)$ 和 $\text{RSS}(v_j)$ 均是关于 $\delta(v_j)$ 的函数，可以将式(9)进一步完善。

(3) 切换发动成功概率 得到移动终端移动距离超过设定的最低长度，但是切换失败的概率 P_{mo} ，以及移动终端进入到邻接域切换区间的概率 P_{sw} ，移动终端成功发动切换的概率 P_{ho} 为

$$P_{\text{ho}} = (1 - P_{\text{mo}}) \cdot P_{\text{sw}}$$

3 分布式中继节点选择算法

HNC 机制中，各层中继圈独立制定与下层中继圈之间的编码数据包发送策略，需要分布式算法的实现支持。分布式算法的目标，是从各层的 N 个中继节点中选择 $(M-1)$ 个最优中继节点，使得切换过程中各层的网络互信息量之和 I_{sum} 最大化，从而保证在层与层之间有一定丢包率 P_L 的情况下，切换过程中网络的整体容量不会明显下降。将上述目标表述为最优化问题： $\max_{R_i \in \mathcal{R}} I_{\text{sum}}$ ，s.t: $R_i \in \mathcal{R}, D_k \in \Delta, N_{\text{sum}} \geq G / (1 - P_L)$ ， $I_{\text{sum}} = I_{D_1} + I_{D_2} + \dots + I_{D_{M-1}}$ ， $N_{\text{sum}} = N_{R_1} + N_{R_2} + \dots + N_{R_L}$ 。其中， \mathcal{R} 是各层中继节点集合， Δ 是上层中继圈与下层中继圈之间的链路集合。分布式算法的伪代码如图 2 所示。

4 仿真结果与分析

在 OMNet ++ 4.0 上模拟无线物联网环境，将 HNC 机制与实用网络编码 PNC 及多中继切换机制

```

Iloc=Local_CSI(node_id);
Loop
    {IN_list=Neighbor_CSI(node_id);}
Isum=SUM(Iloc, IN_list);
Loop
    {
        IMAX=max {∑k=1M-1 (∑j=1M-1 |IN_list|2)}
        If(Isum_MAX<IMAX)
            Return LN_list;
    }
Loop
    {
        TListen = λ / ∑j=1M-1 |IN_list|2
        Node_group = First_TListen(M-1);
    }
    
```

图 2 分布式中继节点选择算法

Takeover^[18]进行比较。

图 3 参照人类的步行移动速度，将移动终端速度设为 2 m/s。仿真结果显示，随着网络环境变差，HNC, PNC, Takeover 的切换成功率都出现了下降。其中 HNC 机制的下降幅度较小。PNC 机制相对 HNC，在切换成功率上略低，这是由于 PNC 机制对移动性支持能力较差，中继节点一旦远离先前的区域，其负责处理的编码数据包就不一定能够向网络接入点的方向发送。HNC 机制依靠多层中继圈，将中继节点进行层次划分，使编码数据包始终向纬度最低的网络接入点的方向流动，保证了传输效率，克服了终端移动的影响。

参照轿车的移动速度，将移动终端速度设为 15 m/s。如图 4 所示，丢包率达到 90% 的时候，PNC

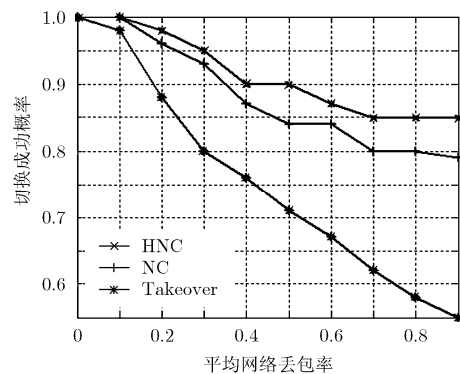


图 3 平均丢包率与切换成功概率的关系($v=2$ m/s)

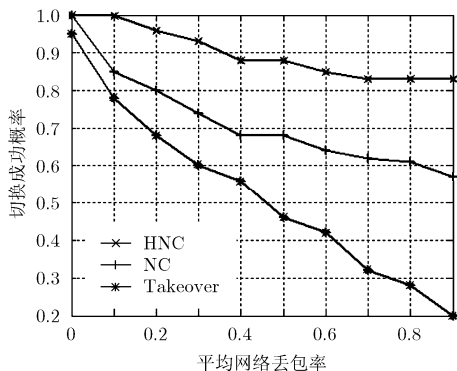


图 4 平均丢包率与切换成功概率的关系($v=15$ m/s)

机制的切换成功率虽然可以保持在 50%以上,但是与 HNC 机制的差距显著拉大。这是因为 PNC 机制没有对中继节点进行层次划分,所有中继节点在网络中的地位相同,中继节点之间的相对移动频繁,编码数据包的传输方向不受控制,传输效率较低。Takeover 机制在丢包率较高的情况下,基本失去了切换能力。

5 结束语

本文提出了一种基于层次化网络编码的协作切换机制 HNC。HNC 机制采用多层中继圈的思想,对网络中的中继节点所处位置进行分层,中继节点以中继圈的形式参与协作。层次化网络编码充分发挥了传统实用网络编码在数据传输上的可靠性优势,且通过划分网络层次的方式,控制编码数据包的传输方向。仿真实验证明 HNC 机制可以取得较好的传输可靠性。

参 考 文 献

- [1] Chung J M, Kim M, Park Y S, *et al.*. Time coordinated V2I communications and handover for WAVE networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(3): 545-558.
 - [2] Zhou T, Sharif H, Hempel M, *et al.*. A cross-layer parallel handover optimization scheme for WiMAX networks[C]. Proceedings of Military Communication, Baltimore, USA, 2011: 699-704.
 - [3] Khan M Q and Andresen S H. The implications of zero scanning time on MIPv6 handover delays by using Media Independent Information Server (MIIS)[C]. 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Sabah, Malaysia, 2011: 324-329.
 - [4] Lee M and Oh S K. Fast handover scheme using handover notification with no acknowledgement[C]. Intelligent Radio for Future Personal Terminals (IMWS-IRFPT), Suwon, South Korea, 2011: 1-3.
 - [5] Lee W and Cho D H. Enhanced group handover scheme in multiaccess networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2011, 60(5): 2389-2395.
 - [6] Wang M, Feng C, and Zhang T. Asymmetrical handover algorithm for broadcast services in broadband wireless multimedia systems[C]. 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), Beijing, China, 2011: 913-917.
 - [7] Lin T, Li J, Huang Y, *et al.*. Seamless dual-link handover scheme in broadband wireless communication systems for high-speed rail[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2012, 30(4): 708-718.
 - [8] Wang Q W. A soft handover algorithm for TD-LTE system in high-speed railway scenario[C]. IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), Xi'an, China, 2011: 1-4.
 - [9] Ham K G, Cho K S, and Choi S G. Seamless handover scheme based on SIP in Wireless LAN[C]. 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Phoenix Park, Ireland, 2011: 847-851.
 - [10] Schulzrinne H. Application-layer mobility using SIP[C]. Service Portability and Virtual Customer Environments, San Francisco, USA, 2000: 29-36.
 - [11] Banerjee N, Acharya A, and Das S K. Seamless SIP-based mobility for multimedia applications[J]. *Network*, 2006, 20(2): 6-13.
 - [12] Zhao Y and Haggman S G. Inter-carrier interference self-cancellation scheme for OFDM mobile communication systems[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2001, 49(7): 1185-1191.
 - [13] Li S Y, Yeung R W, and Cai N. Linear network coding [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2003, 49(2): 371-381.
 - [14] 吉晓东, 郑宝玉. 物理层网络编码机会中继及中断性能分析[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(5): 1186-1192.
 - [15] Ji Xiao-dong and Zheng Bao-yu. Opportunistic relaying and outage analysis for physical-layer network coding[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(5): 1186-1192.
 - [16] 郝琨, 金志刚. 一种最小化编码节点的网络编码优化算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(2): 260-265.
 - [17] Hao Kun and Jin Zhi-gang. An optimization algorithm of network coding for minimizing coding nodes[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(2): 260-265.
 - [18] Li B and Niu D. Random network coding in peer-to-peer networks: from theory to practice[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2011, 99(3): 513-523.
 - [19] Austin M D and Stuber G L. Velocity adaptive handoff algorithms for microcellular systems[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1994, 43(3): 549-561.
 - [20] Choi H H and Cho D H. Takeover: a new vertical handover concept for next-generation heterogeneous networks[C]. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, Stockholm, Sweden, 2005: 2225-2229.
- 黄 辰: 男, 1983 年生, 博士, 讲师, 研究方向为物联网及网络编码。
 张 伟: 男, 1979 年生, 博士, 讲师, 主要研究传感器网络。
 李可维: 男, 1980 年生, 博士, 主要研究军事通信。
 黄本雄: 男, 1966 年生, 教授, 主要研究无线移动网络。
 戴 彬: 男, 1977 年生, 副教授, 主要研究 P2P 网络。