

无线网络中快速协同切换技术的设计与实现

封 坤^{1,2}, 慕福奇^{2,3}, 董 晋³

(1 中国科学院 物联网研究发展中心, 江苏 无锡 214135;

2 中国科学院大学 微电子学院, 北京 100049;

3 江苏中科羿链通信技术有限公司, 江苏 无锡 214135)

摘 要: 在无线自组织网络中, 移动节点在无线多跳网络链状拓扑或树状拓扑中漫游时, 会从一个固定节点切换到下一个固定节点来完成通信业务, 通常情况下该切换带来的延迟很高, 影响了移动节点通信质量. 本文提出的快速协同切换技术, 使用 RSSI 作为切换门限, 并使得整个网络中与其相关的基站协同合作, 从而让移动节点到达快速无缝切换的目的.

关键词: 无线多跳网络; 链状拓扑; 树状拓扑; RSSI

中图分类号: TN913.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)11-0033-05

Implementation and Design of Fast Cooperative Handover Technology in Wireless Communication Networks

FENG Kun^{1,2}, MU Fu-qi^{2,3}, DONG Jin³

(1 CAS R&D Center for Internet of Things, Chinese Academy of Sciences, Wuxi 214135, China;

2 School of Microelectronics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Jiangsu Zhongke Yilian Communication Technology Co., Ltd., Wuxi 214135, China)

Abstract: In wireless ad hoc networks. When a mobile station roams in a wireless multi-hop network chain topology or a tree topology, the mobile station switches from one base to the next base to keep the communication. Generally, the delay caused by the handover is very long, which affects the movement station's communication quality. The rapid cooperative handover technology proposed in this paper uses RSSI as the handover threshold, and makes the base cooperating with it in the whole network cooperate so that the mobile stations can reach the goal of fast and seamless handover.

Key words: multi-hop network; chain topology; tree topology; RSSI

1 引言

无线网络使人们的通信手段更加便捷, 摆脱了有线线缆的束缚. 无线网络多数情况下的基本构成为一个基站和多个移动节点, 一个基站可以覆盖一定范围内的节点, 使节点与主干网络进行业务收发^[1]. 但是所有的基站都是只能覆盖一定的范围, 所以为了覆盖更广的范围, 就需要多个基站来完成. 切换的出现的场景, 即当移动节点从一个基站的覆

盖范围内前往边缘时, 移动节点需要在极短的时间内判断出下一个连接的基站并完成连接^[2]. 该过程耗时较长^[3], 若移动节点在小区间高速通过, 实时性业务的传输时延很难得到保障, 要做到业务数据的无缝切换也会给有限的片上资源带来较大的负载^[4]. 典型的应用场景为呈带状覆盖的链状或树状无线多跳拓扑网络. 移动节点在小区间需要频繁进行切换, 这给实时宽带业务及其数据的完整性带来了巨大压力^[5]. 本论文提出了一套基于无线多跳网

络的快速协同切换系统可以使得移动节点在固定节点间快速移动时,无缝的在小区间切换,以达到实时性业务不间断传输的目的.

2 总体架构

快速协同切换系统主要应用于无线多跳通信场景中,在该系统中,移动终端设备对其被覆盖小区进行实时测量,可结合多种判决模式发起切换申请,基站收到切换请求后需根据其与该移动终端的测距信息、其维护的邻居拓扑关系、与目标基站的交互信息等信息综合判决移动终端欲接入的扇区及基站,将该信息通知移动终端并断开与其中的链路.该过程省去了移动终端的扫描过程及切换触发时其等待基站与目标基站的协商时间,大大缩短了小区间切换时间.

为了更直观的了解该系统的基本架构,首先来看图 1 网络拓扑,该拓扑中含有固定基站与移动节点.接下来就对网络拓扑中的元素和行为进行定义,由于链或者树一般以树根为起点,拓扑图中的根节点为与控制单元相连基站,并可作为异构网络的接入网关.本文定义远离树根的方向为前向,反之为后向.每个无线节点有两个扇区,规定图中远离根节点的扇区为前向扇区,靠近根节点的扇区为后向扇区.同理定义,拓扑中的两个相连节点,靠近根节点的定义为父节点,远离根节点的定义为子节点.当移动节点在两个固定节点之间移动时,若设备的切换发生在子节点的后向扇区,父节点的前向扇区,由于当前节点和切换后的频点相同,我们则认为该切换为同频切换.若设备的切换发生在子节点的前向扇区和父节点的前向扇区之间,或发生在子节点的前向扇区与其反向扇区之间时,由于当前频点和切换后频点不同,我们则认为该切换为异频切换.图 1 中的拓扑结构为树状网络,但该系统同样适用于无线链状多跳网络.

3 系统组成

系统主要的功能模块如图 2 有以下四个:拓扑模块,测距模块,判决模块,切换模块.

拓扑模块:主要维护邻居拓扑关系,一跳网络容量以及邻居节点的接入等工作.当移动节点在链状网络中移动时,基站拓扑模块向前向扇区和后向扇区的邻居节点发送拓扑建立请求广播包^[6],邻居节点则是单跳通信范围内所有能收到拓扑建立请求的节点,当邻居节点收到建立请求后会主动回复自

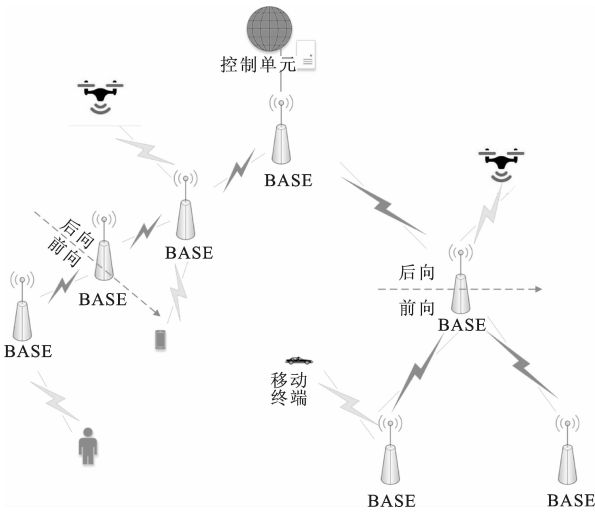


图 1 网络拓扑

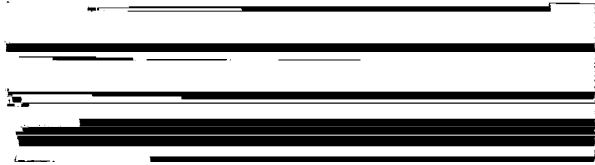


图 2 功能模块示意图

身的频点以及可接入终端数和现接入终端数等信息给基站,节点根据链路信息及节点 ID 信息建立其父节点、子节点等邻居关系^[7].

测距模块:该模块主要负责基站和移动节点相对位置的确定.测距是根据发送节点测量原理为节点 1 发送一个数据包,节点 2 收到数据包后发送一个确认数据包 ACK 返回给节点 1.在此期间,节点 1 从发出信号第一个帧到接收信号第一个帧之间的时间为 T_1 ,同样的节点 2 的处理时间为 T_2 ,信号实际飞行时间 T 为 $(T_1 + T_2)/2$,再使光速乘以 T 即可得到移动节点与基站的大概距离.

判决模块:该部分内容分为两个模块:切换时刻判决模块、切换目标判决模块.切换时刻判决模块是指移动终端设备本地周期性测量空口信道的 RSSI,并记录不同源节点的 RSSI 值,生成 RSSI 列表.当本地基站发送的数据信息 RSSI 值低于门限值是触发切换.切换目标判决模块是指基站根据移动终端上送的切换请求结合邻居关系信息作出的切换目的地判决工作.

切换模块:该模块主要负责移动节点在小区间进行切换时的协议交互工作.该模块收到从基站发来的最优选择基站频点信息,加上移动节点的测距模块传来与最优选择基站的 RSSI 做决策,当 RSSI

高于 RSSI 接入门限值时,即使移动节点把下一帧的数据切换到最优选择基站的频点上发送,最优选择基站由于接收到了原基站的准备通知信息,故可直接接收移动节点发送的数据帧.从而完成移动节点的基站无缝切换.

4 系统运行流程

移动节点在无线网络中漫游时,为了保证实时性业务的流畅运行,就需要快速无缝的切换接入基站.但是无线网络的拓扑结构有很多,下文会以无线网络中链状网络、树状网络,这两个典型的无线多跳网络结构来说明,移动节点在不同的拓扑架构中切换的具体流程.

4.1 链状网络

在链状网络时设备的运行流程如图 3 所示.

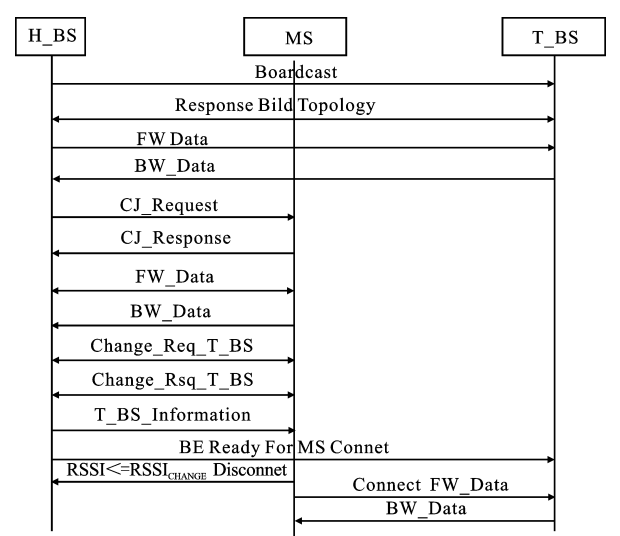


图 3 链状网络流程图

当 MS(移动节点)在通信网络中移动时,H_BS(家乡基站)首先通过拓扑模块发送 Boardcast(包含拓扑关系建立请求)给邻居节点(T_BS 目标节点包含在其中),邻居节点的拓扑模块收到请求后会主动回复 Response Build Topology(包含自身频点、现接入终端数、可接入终端数等信息)给 H_BS,从而建立拓扑邻居关系,以完成通信网络基本建立.在此基础上 H_BS 有业务发生时,会发送 FW_Data(前向数据业务包)给 T_BS,T_BS 有业务发生时也会发送 BW_Data(后向数据业务包)给 H_BS.为了完成对 MS 移动方向的判断,H_BS 的测距模块在不影响正常业务通信的情况下会间歇性的发送 CJ_Request(测距请求)给 MS,MS 的测距模块收到测距请求后会即时的回复 CJ_Response 给 H_BS,从

而完成一次的距离测量.对比多次测量结果后就可以得出 MS 的前进方向是远离 H_BS 还是接近 H_BS,该信息后续会提供给判决模块.判决模块的动作发生在 H_BS、T_BS 和 MS,根据实际情况会有两种不同的切换场景出现,具体过程在下文中说明,现在先简略的说明下判决模块作用时的通信流程. MS 和 H_BS 在通信过程中随着 MS 的移动,RSSI 会逐渐变小,当 RSSI 小于一定的门限值时 MS 的判决模块会即时发送 Change_Req_T_BS(切换请求)给对方,当对方收到切换请求的时候会响应回复 Change_Rsp_T_BS(切换应答).判决模块中的切换目标部分在 H_BS 中进行,根据测距模块提供的 MS 前进方向和 MS 提供的 RSSI 信号强度列表,以及拓扑模块提供的邻居节点的可接入终端信息来选择 MS 要切换的 T_BS,当 T_BS 确定后 H_BS 的判决模块会发送 T_BS_Information(邻居节点频点信息)给 MS,并发送 BE Ready For MS Connet(移动节点接入准备)给 T_BS 让其做好接入准备. MS 与 H_BS 的 RSSI 中小于 $RSSI_{CHANGE}$ 时 MS 即会与 H_BS 断开链接,并与已经做好准备的 T_BS 及时完成链接,建立通信链路发送 FW_Data 给 T_BS^[7].当 T_BS 收到 MS 发来的信息后会发送 BW_Data 给 MS 从而完成整体的快速无缝切换.

MS 从 H_BS(家乡基站)的后向扇区往 T_BS(目标基站)方向前进,参照图 4,根据移动过程中的基站的覆盖范围和车辆位置,会产生以下两种情况.

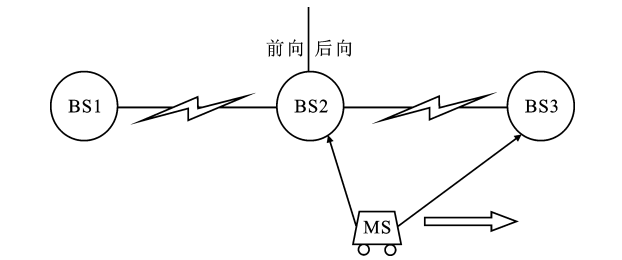


图 4 链状拓扑

情况一:移动节点的当前接入基站和目标基站处于同一频点上,在某一个时刻,MS 测得 BS1 的 RSSI 小于门限值时. MS 此时向 BS1 发出切换请求,BS1 回应终端的请求并把将 BS2 的频点和 ID 值发送给 MS. 终端收到 BS2 频点和 ID 值后,使用 2 号节点的频点与其通信. 此过程中频点并没有发生切换,故该切换属于同频链状切换.

情况二:移动节点的当前接入基站和下一基站处于不同频点上,MS 向 BS1 发出切换请求,BS1 的判决模块判断出 MS 已无法接入 BS2 的前向频点,

即回应 MS 的请求并把 BS2 的 ID 和后向频点及 BS3 的频点和 ID 值发送给 MS. MS 收到 BS2 的 ID 和后向频点以及 BS3 的频点和 ID 后, 分别与这些节点通信, 若测得 BS2 的后向扇区可以接入, 则可以切换到 BS2 的后向频点下; 若测得与 BS2 后向频点的通信失败, 而 BS3 可以正常通信, 则切换 BS3 频点; 若测得终端与 BS2 和 BS3 都能通信, 则优先选取通信信道质量好的 BS 进行切换. 此过程中 MS 的频点发生了切换, 故该切换属于异频链状切换.

4.2 树状网络

在树状网络时设备的运行流程如图 5 所示, 因为设备可能切换到 BS_A 或 BS_B, 故途中虚线部分为设备可能发生的行为.

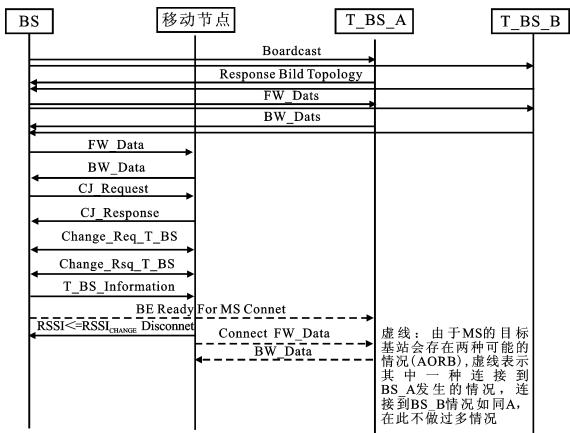


图 5 树状网络流程图

当 MS(移动节点)在通信网络中移动时, H_BS(家乡基站)首先通过拓扑模块发送 Boardcast(包含拓扑关系建立请求)给邻居节点(T_BS_A 或 T_BS_B 目标节点包含在其中), 邻居节点的拓扑模块收到请求后会主动回复 Response Build Topology(包含自身频点、现接入终端数、可接入终端数等信息)给 H_BS, 从而建立拓扑邻居关系, 以完成通信网络基本建立. 在此基础上 H_BS 有业务发生时, 会发送 FW_Data(前向数据业务包)给 T_BS_A 或 T_BS_B, T_BS_A 或 T_BS_B 有业务发生时也会发送 BW_Data(后向数据业务包)给 H_BS. 为了完成对 MS 移动方向的判断, H_BS 的测距模块在不影响正常业务通信的情况下会间歇性的发送 CJ_Request(测距请求)给 MS, MS 的测距模块收到测距请求后会即时的回复 CJ_Response 给 H_BS, 从而完成一次的距离测量. 对比多次测量结果后就可以得出 MS 的前进方向是远离 H_BS 还是接近 H_BS, 该信息后续会提供给判决模块. 判决模块的动作发生在 H

_BS、T_BS_A 或 T_BS_B 和 MS, 根据实际情况会有两种不同的切换场景出现, 具体过程在下文中说明, 现在先简略的说明下判决模块作用时的通信流程. MS 和 H_BS 在通信过程中随着 MS 的移动, RSSI 会逐渐变小, 当 RSSI 小于一定的门限值时 MS 的判决模块会即时发送 Change_Req_T_BS(A OR B)(切换请求)给对方, 当对方收到切换请求的时候会响应回复 Change_Rsp_T_BS(A OR B)(切换应答). 判决模块中的切换目标部分在 H_BS 中进行, 根据测距模块提供的 MS 前进方向和 MS 提供的 RSSI 信号强度列表, 以及拓扑模块提供的邻居节点的可接入终端信息来选择 MS 要切换的 T_BS_A 或 T_BS_B, 当前假设切换的目标基站为 T_BS_A, 当 T_BS_A 确定后 H_BS 的判决模块会发送 T_BS_Information(A OR B)(邻居节点频点信息)给 MS, 并发送 BE Ready For MS Connet(移动节点接入准备)给 T_BS_A 让其做好接入准备. MS 与 H_BS 的 RSSI 中小于 $RSSI_{CHANGE}$ 时 MS 即会与 H_BS 断开链接, 并与已经做好准备的 T_BS_A 及时完成链接, 建立通信链路发送 FW_Data 给 T_BS_A. 当 T_BS_A 收到 MS 发来的信息后会发送 BW_Data 给 MS 从而完成整体的快速无缝切换.

在能确定设备运行轨迹的情况下, 根据移动节点切换时的频点选择, 我们可以把树状网络如图 6, 分成以下两种情况来分析.

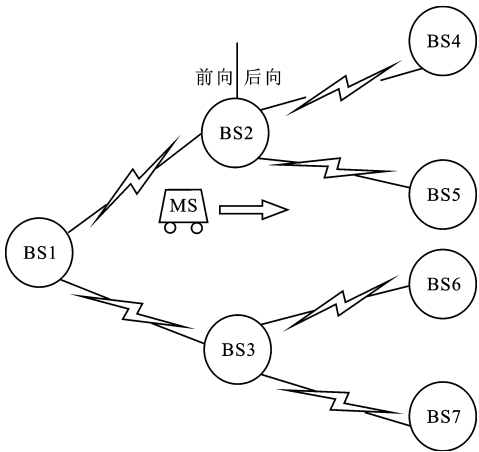


图 6 树状拓扑

情况一: MS 的当前接入基站和下一基站处于同一频点上. 例如 BS1→BS2, 当 MS 在 BS1 的后向扇区中移动时, MS 保持与 BS1 实时通信. 当 MS 收到的 RSSI 小于门限值时, MS 向 BS1 发出切换请求, BS1 的测距模块判断出 MS 的前进方向. 假设此时方向为 BS2, BS1 则与 BS2 通信查询 BS2 的频点

及可接入节点数量. BS1 得到 BS2 的反馈信息后,会让 BS2 做好接入 MS 准备,并发送 BS2 的频点信息给 MS. MS 收到切换信息后,会探测 BS2 与自己的 RSSI 是满足通信需求,若无问题,则进行快速切换. 同理当设备从 BS1→BS3 时,也可应用上述策略进行快速切换,该切换属于同频树状切换.

情况二:移动节点的当前接入基站和下一基站处于不同频点上. 例如 BS1→BS5,当设备处于 BS1 的后向扇区且为 BS2 的前向扇区时,可以判断出 MS 前进方向偏向于右上. 当 MS 进入 BS2 后向扇区时,若此时 MS 仍未发生切换,MS 的频点上只有 BS1 的 RSSI 可以收到,并能得出 MS 前进方向为 BS2 的后向扇区. 当 MS 与 BS1 的 RSSI 小于门限值的时候,BS1 就会发送 BS2 后向频点、ID 和 BS4 前向频点\ID 信息给 MS. 终端收到 BS2 的 ID 和后向频点以及 BS4 的频点和 ID 后,分别与这些节点通信,若测得 BS2 的后向扇区可以接入,则可以切换到 BS2 的后向频点下;若测得与 BS2 后向频点的通信失败,而 BS4 可以正常通信,则切换 BS4 频点;若测得终端与 BS2 和 BS4 都能通信,则优先选取通信信道质量好的 BS 进行切换. 此过程中 MS 的频点发生了切换,故该切换属于异频树状切换.

5 实验测量

实验平台: TM4C129X MCU、CC3100 WIFI 模组.

测试方法:在代码中添加打点函数进行计时. 移动节点切换判决为 true 时打一个开始的时间戳,收到基站发送的切换应答时打一个结束的时间戳. 使两个时间戳做差即可得出移动节点的切换时延^[8].

测试流程:

(1)搭建一条无线多跳网络,分成链状、树状两种拓扑结构;

(2)移动节点连接一个接入点,打开 PC 机串口工具与基站端 MCU 相连;

(3)移动节点进行不间断的实时性业务通信,并使移动节点从当前接入点向邻居节点移动;

(4)在节点切换过程发生时,记录原基站最后一帧的时间戳 A,记录目标基站的第一帧时间戳 B,时间戳 A、B 相减,得出单次切换时延. 以同频链状、同频树状、异频链状、异频树状四种情况进行测试,各种情况测试 10 次得平均值

测试结果如表 1 所示.

表 1 切换时延测试结果

同频链状	异频链状	同频树状	异频树状
1. 17 ms	4. 58 ms	1. 41 ms	4. 98 ms

6 结束语

目前,快速协同切换技术已应用于多条边防网络,该技术使得移动节点能在巡查过程中,稳定无缝切换. 文中给出了快速协同切换技术的设计思想及功能实现,该方案适用于多种无线网络,实现了移动节点巡游过程中,在固定节点之间的转换,并实现了同频、异频的自动识别,充分体现了该技术的稳定性与可靠性.

参考文献:

[1] 纪双星, 钱水春. 无线自组织网络[J]. 军事通信技术, 2003, 24(3):37-41.

[2] 孙杰, 李卓, 陆桑璐, 等. 基于 802. 11 协议的无线局域网快速切换研究[J]. 微电子学与计算机, 2008, 35(10):140-143.

[3] 李珺, 陈义, 李娟, 等. 邻居图在无线局域网快速切换中的应用[J]. 微计算机信息, 2005, 23(26):127-128.

[4] 李春时, 王光兴. 无线自组织网络中的 IEEE802. 11 MAC 协议的研究[J]. 计算机科学, 2007, 34(1): 26-28.

[5] 李云, 陈前斌, 隆克平, 等. 无线自组织网络中 TCP 稳定性的分析及改进[J]. 软件学报, 2003, 14(6): 1178-1186.

[6] 李政, 李德英. 无线自组织网络中能量有效的广播与组播[J]. 软件学报, 2010, 21(8):2023-2036.

[7] 朱金华, 于宁宁. 无线自组织网络 AODV 路由协议研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(18):122-124.

[8] Debiao He, Ding Wang, Qi Xie, et al. Anonymous handover authentication protocol for mobile wireless networks with conditional privacy preservation[J]. Science China (Information Sciences), 2017, 60(5): 113-129.

作者简介:

封坤 男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为物联网通信技术. E-mail: fengkun@ciotc. org.

慕福奇 男, (1957-), 博士生导师, 研究员. 研究方向为无线通信.

董晋 女, (1979-), 硕士. 研究方向为无线宽带通信.