

分层多跳无线网中结合负载均衡的切换管理

田永春 郭 伟 郑相全

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

摘 要: 该文主要研究分层多跳无线网络中的切换管理, 提出一种新的用户切换管理算法和移动基站路由切换策略。在网络动态变化时, 用户切换管理算法可以减少用户的切换次数, 使用户负载分布均匀。移动基站路由切换策略则尽可能地从基站本地找出替代路由, 可以在较小的开销下达到快速和无缝切换的目的。

关键词: 分层多跳无线网, 切换管理, 负载均衡, 无缝切换

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)09-1498-05

Handoff Management Based on Route Optimization in Hierarchically Multi-hop Wireless Networks

Tian Yong-chun Guo Wei Zheng Xiang-quan

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China, Chengdu 610054, China)

Abstract This paper studies on handoff management in hierarchically multi-hop wireless networks and proposes a novel user handoff algorithm and mobile base station route handoff strategy. The user handoff algorithm can reduce the number of handoff and balance the load among mobile base stations in dynamic topology. Meanwhile the mobile base station handoff algorithm always tries to find an alternate route from base station locally, which can achieve fast handoff and seamless handoff with little overhead.

Key words Hierarchically multi-hop wireless networks, Handoff management, Load-balance, Seamless handoff

1 引言

分层多跳无线网是一种特殊的 Ad hoc 网络, 它具有两种节点: 用户和移动基站(也可称为移动交换机), 主要用于需要快速布置的特殊场合进行重要的紧急通信。为实现分布式处理, 获得较高的抗毁性能, 这种网络的管理功能较分散。用户发起和接收通信, 具有一定的计算能力和存储能力, 也分担一些网络管理功能, 以减轻基站的管理负担。移动基站负责管理本地用户及基站之间用户的通信, 同时具有基站、无线路由器的功能。移动基站之间组成自组织网络, 可以根据需要快速布置和运动, 兼有蜂窝通信和 Ad hoc 网的优点。由于用户和基站都在运动, 因而在这种网络中进行多种业务的通信切换是一个很复杂的过程。

目前, 对多跳无线网中的切换管理的研究较少。文献[1]介绍了两级全移动无线通信结构中基站的移动算法和切换策略, 文章主要的目的是通过基站的移动来达到高的移动终端的覆盖和最可能的服务质量。文献[2]介绍了在 Ad hoc 网

络中根据移动性预测的按需多播协议 ODMRP, 利用多播来达到无缝切换。文献[3]介绍了 Ad hoc 网络中对 IPv6 实时业务的支持, 它通过在数据分组中加入链路过期时间来预测路由的过期时间, 从而在事先改变路由。文献[4]介绍 4 种目的基站选择策略: 基于功率的、基于用户数量的、基于带宽的和基于模糊逻辑的。文献[5]介绍了一种 AODV 中路由修复的方法, 它使用邻居表的信息在容易损坏的链路周围寻找替代路由。文献[6]介绍了一种无线网中对流媒体建立多条端到端路径的切换策略。上述研究成果一般都是基于移动预测、多播或者模糊逻辑, 需要较多的资源和处理能力, 因而都有一定的使用限制。

分层多跳无线网的切换管理和普通的蜂窝通信系统或者固定网络中的切换有所不同。由于使用场合的特殊性, 网络中的移动基站和用户是根据某种特定的需要而布置运动, 因而整个分层多跳网络的拓扑结构变化很迅速, 移动基站和用户之间的连接关系变化非常频繁, 这将带来几个特殊的通信情况: 一是当用户自己不动的时候, 由于它连接的移动基

2004-04-05 收到, 2004-08-04 改回

通信抗干扰技术国家级重点实验室基金(51434040103ZS0401)资助课题

站的运动,也有可能发生切换;二是当用户切换时,有可能同时有几个移动基站可以切换过去,这就需要在基站之间进行合理的取舍;三是即使用户和它连接的移动基站的连接关系没改变,中间进行转发的移动基站的运动也可能让该用户的通信路由发生切换。假如用户切换的触发是由用户发起并由用户进行判断的话,那么就可以把基站运动影射为用户运动,把前两个问题合并为一个问题,简化切换的操作。

本文的安排如下:第2节介绍网络拓扑变化时用户切换的处理,主要目的是解决用户侧的切换处理问题,以达到用户通信质量的可靠延续和网络性能的综合提高;第3节介绍由于用户和移动基站连接关系改变时对用户路由的接续策略以及由于基站运动时其承担的通信转发路由的更改策略;第4节是本文算法的仿真结果;最后是本文的结论。

2 用户切换

移动用户切换算法的研究主要集中在基站固定的蜂窝通信系统,这种系统的基站固定而且基站知道网络的拓扑及基站的布置,候选基站一般只有一个,因而用户切换主要由基站完成,主要的判决依据是信号强度。而针对本文所研究的分层多跳无线网而言,当用户需要切换时,可能同时有几个移动基站可供选择,由于基站在运动,所以单纯地选择接收功率最大的基站是不合适的,有可能会造成更多的切换次数。而且基站与基站之间一般是采用无线共享信道,存在隐藏终端和暴露终端的问题,因而选择目标基站不仅要它本身的资源状况,而且要看它邻居的繁忙程度。如果一个移动基站本身的资源很空闲,但是它的邻居很繁忙,那么它也可能因为得不到信道资源而发不出数据分组。因此选择目标基站不仅要看它的运动方式,而且要衡量它的繁忙程度,以满足切换用户的通信要求。

用户切换的目标是在满足用户通信业务要求的前提下,尽可能地减少切换的次数和切换时延,减少切换开销和基站的负担。针对分层多跳无线网中用户的功能较强的特点,本文的用户切换由用户来单独处理,不需要基站的交互;基站负责路由的切换处理,并提供用户切换所需的判决依据。本文通过修改基站对用户的广播信息的内容,使其包含反映基站的业务和资源状况的指标。用户根据基站广播的信号强度来预测它们的相对运动状况,通过广播的信息内容来衡量基站对业务的支持情况。本文提出的用户切换算法思想是:用户根据接收基站功率的大小判断通信距离的远近和基站的运动规律,确定候选目标基站队列;然后用户根据候选目标

基站在基站广播中的指标计算出最优的目标基站,通告给原基站,并进行切换。

基站有两种通信信道,一是与它下面用户进行通信的用户信道,一是移动基站之间进行通信的基站信道,通常它们都是共享竞争信道。本文选取剩余队列和信道空闲率作为基站资源状况的指标^[7]。采用信道空闲率来衡量当前基站及其邻居对信道资源的占有程度,用剩余队列的长度来预测下一时段基站自身的繁忙程度,对应于每一种信道基站计算相应的剩余队列和信道空闲率。信道空闲率定义为

$$U = \frac{\text{空闲时间}}{\text{间隔周期}}$$

而剩余队列用相对的长度来衡量,定义为

$$Q = \frac{\text{剩余队列大小}}{\text{总队列大小}}$$

本文不考虑在切换后通信的源和目的用户在同一个基站这种特殊情况,这样对用户而言,目的基站用户信道与队列的繁忙程度和基站信道与队列的繁忙程度对用户的通信过程的影响是一样的,因而本文选取它们的最小值。为减少广播信息的长度,把它们量化成有限的等级(例如采用一个语音的数据量为一个基本等级),然后加入到基站广播中。用户同时也把自己的业务进行相同的量化,这样就可以根据这些指标来选取满足业务需要的目标基站,以达到对用户通信的可靠延续,使基站用户负载均衡分布并减少切换次数。

用户选取目标基站的过程如下。正在通信的用户监测当前基站信号功率的强弱,当信号强度下降到一个监测门限 TH_d 时,开始对临近的基站的广播信号进行检测,并记录下那些信号强度超过用户最小接收功率一定值 TH_d 的基站的标识和功率值。当用户监测到当前基站的信号功率下降到切换门限 TH_h 时,用户再对临近的基站的信号进行检测,找出那些信号功率高于 TH_d 的基站,并把此时的基站标识和功率与已经存储的基站标识和功率进行比较,选择出候选基站队列。选择顺序如下:首先,用户寻找是否有基站的功率在两次测量中变化很少的(例如 10%),因为该基站的运动规律很可能和用户是一致的,用户在该基站下驻留的时间可能会很长;其次,寻找在两次测量中都存在的基站;如果都没有,则把本次测量的基站按功率由大到小排队。用户在每一步找到候选基站队列后,就去提取相应基站的广播参数,比较基站的剩余资源能否满足目前用户的业务需要,如果找到了满足业务需要的基站,就不进行下一步的选择,直接进行切换。在每一步中如果同时有两个以上的基站满足该条件,用户通

过基站广播中的参数 U 和 Q , 根据自己的业务形式来选择目的基站。如果用户的业务是时延敏感的, 则选择 U 和 Q 之和最大的; 如果业务是带宽敏感的, 则选择 U 最大的; 如果是数据业务, 则选择 Q 最大的。如果经过以上步骤都找不到满足用户业务需要的基站, 则直接选取目前信号功率最大的基站切换过去。这里 $TH_d = TH_k + \delta$, 其中 δ 是一个与网络拓扑及用户运动速度相关的正裕量, 可以在应用中调整。 TH_d 也应取得稍大, 避免不稳定的基站被选中。

就分层多跳网来说, 对信道和队列的精确量化是没有必要的, 而对用户的业务也只能对一些关键指标进行有限保证。本文的算法试图通过对信道资源的合理监测提高整个网络的性能和业务适应能力, 它不能对用户的业务进行精确的保证, 但它可以在切换次数较少的情况下尽可能地达到对业务的满足和均衡。

3 基站路由切换

当网络动态变化时, 用户和基站的连接关系可能会发生变化, 而基站自己的运动也可能引起它所承担的转发路由发生改变, 需要进行路由切换及路由优化。而由于分层网络的动态特性, 任何一条优化的路由都可能不具有持久性, 而且不同的评价角度对路由优化的定义也不同。例如, 跳数最少的路由其链路稳定性可能很差, 而一条全局优化的路由有可能会在某个局部造成拥塞或很大的业务流干扰; 一条精心选择的最优路由在路由尚未完全建立时用户可能已经移动了。因而对一个动态变化的自组织网络而言, 满足各种条件的严格最优的路由是不存在的, 而寻找一条相对优化路由的代价与路由的判决准则、网络的拓扑变化快慢以及通信时间的长短等是密切相关的。路由切换不仅要综合考虑这些因素, 而且要最大限度地满足原路由的业务要求, 降低切换时延和开销, 达到无缝切换的目的。

本文的路由切换并不期望寻找一个最优替代路由, 而是希望提高切换速度来达到无缝切换和满足业务需要的目的。为了减少切换时的开销, 本文的算法总是试图从即将失效的移动基站的周围去寻找合适的替代路由, 并尽可能地从它本身存储的信息去寻找。通过扩展原有移动基站所存储的本地邻居基站表和在基站间广播的基站信标的信息内容, 使每个基站在自己的信标中广播信息时, 同时广播本基站目前那些信号强度超过一定值的邻居基站标识集以及基站信道的剩余队列和信道空闲率等级。通过它们来表征本基站当前链接情况和资源剩余情况。其它基站存储邻居信息, 这样, 在一个基站的邻居基站表中就包含了邻居基站标识、该邻居的邻

居基站集, 通过该表, 基站在移动时可以对它所承担的转发业务选路。

路由优化分成两个部分, 一个是由于用户的移动, 这种移动一般是切换到原基站的临近的另一个基站, 主要是新基站的选择问题和三角形路由的优化问题, 新基站的选择问题

已在前述; 另外一个是由于基站的移动引起它所承担的转发路由的中断的路由重建问题。这两个问题的解决思路略有不同, 因而我们把它们分开来处理。本文假设基站知道每条路由的上一跳和下一跳基站标识。

当用户因为切换而引起它的归属基站的改变时, 在切换前它将向前基站 MBS_p 通报它即将切换到的基站 MBS_k , MBS_p 一方面将 MBS_k 存储在它的转发表中, 以便于转发属于该用户的后续分组; 另一方面, MBS_p 收到用户的切换目标基站后, 立即去查询它的邻居表看 MBS_k 是否在该用户的路由的上一跳基站号的邻居集里。如果在, 则向上一跳基站传递一个路由更改请求, 将该路由的下一跳更改为 MBS_k , 避免三角形路由; 否则直接进行路由延长。为避免多跳环路的出现, 每一个接受了切换用户的基站都去检查它所承担的转发路由的分组, 看是否有分组的目的用户就驻留在本基站下, 如果有说明出现了环路, 它就停止转发并修改路由, 多余的路由通过超时机制自动消除, 不单独通知。

当基站移动时, 它监视邻居基站信标的信号强度和信标的广播内容, 以便发现新的邻居和即将过时的邻居并动态地更新本基站邻居表中的内容。当它发现它的某条路由的上一跳和下一跳是邻居时, 则通知它们更改路由以消除三角形路由。当发现某个基站的信号强度下降到 TH_p 时, 它就检查该基站是否是它所承担的路由的上一跳或下一跳, 如果不是, 则在该基站信号强度下降到 TH_k 时从本基站的邻居表中将该基站所对应的表项删除。否则就启动路由切换操作, 以保持原路由的延续性, 具体流程见图 1 所示。图中选择监测上一跳的目的是为了确认下一跳路由的完好性。在选择目的基站时如果有一个以上的基站满足条件, 那么它就根据基站信道的空闲率和剩余队列选择适合路由业务的目标基站。

这种方式所寻找出的路由可能并不是最优的, 但它的切换速度快, 路由切换在切换的基站就可以寻找出来, 开销较小, 虽然它并不完备, 但是由于基站通信范围的重叠, 寻找到一个或者两个邻居基站来替代原有路由的概率是很大的。

4 仿真分析

为比较算法的性能, 把本文的用户切换算法和一种典型

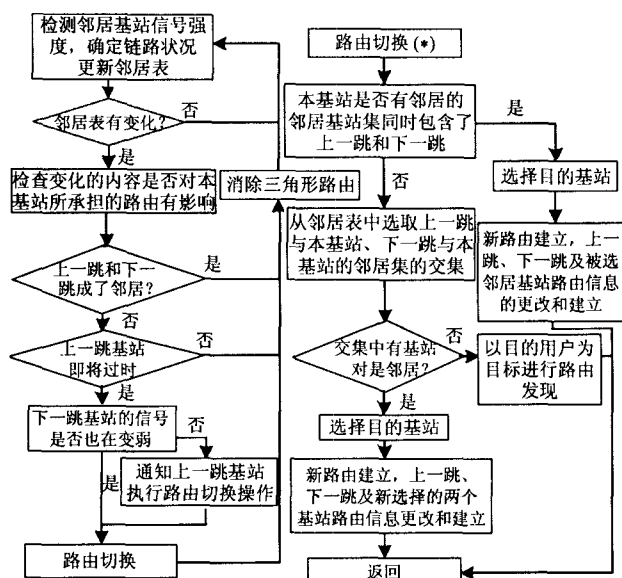


图1 路由切换的算法流程

的用户切换算法进行仿真比较, 这种算法在用户的信号功率下降到一定程度时触发切换, 选择最近的一个基站切换过去, 简称它为最大功率算法, 而把本文提出的算法简称为最小变化率算法, 因为本文算法的目的总是尽量选择功率变化最小的基站并尽量使基站之间的负载均匀。

仿真主要研究切换算法对用户切换的次数和基站负载情况的影响, 对基站和用户数之间的比例关系及通信距离都直接假设。本文的仿真场景设置如下, 仿真区域为 $2000 \times 2000\text{m}$, 区域内随机分布着 20 个移动基站和 50 个移动用户, 用户的通信距离设为基站的一半, 设为 100m 。基站和用户均随机运动, 且用户的移动速度是基站的一倍。这是由这种网络的使用环境决定的, 基站要给大多数的用户提供业务支持, 因而运动速度较慢。 δ 选为用户最大接收功率的 10%。

图 2 是用户的平均切换次数随运动速度的变化关系。平均切换次数是仿真时间内用户切换的总次数与用户数目之比。由仿真结果可以看出, 当用户的移动速度较小时, 两种算法在切换次数上差别并不大, 但当用户移动速度增加时, 最小变化率的切换次数明显减少。在仿真中还发现, 本文的算法选择目标基站的准则的先后顺序对切换次数也有影响。

图 3 是用户切换次数的样本标准差(定义为 $\sqrt{\sum_i (x_i - a)^2 / n}$, 其中 x_i 是样本值即用户切换次数, a 是样本均值, n 是样本总数, 这里是用户数), 用来测量用户切换次数的离散程度。切换要消耗大量的功率, 而分层多跳网的用户一般采用电池供电, 因而用户切换次数的差异会引起用户的不公平。从图 3 可以看出, 在相同的仿真场景和相同的运动规律下, 最小变化率算法用户间切换次数的差异要小一些, 或者说它对用户的能量消耗要均匀些。

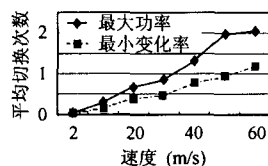


图2 平均切换次数与速度的关系

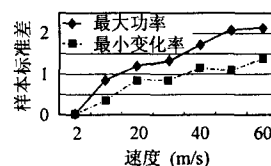


图3 用户切换次数的样本标准差与速度的关系

为比较两种算法在运动后移动基站的负载变化情况, 仿真开始时假设每个基站都承担有一定的负载, 每个用户的业务都设为基本业务等级, 每个基站最大可以承担 10 个用户基本业务。离开基站时该基站的负载减去用户负载而目的基站增加。因而两种算法的基站负载总量是一样的。表 1 是基站负载情况的样本标准差随速度的变化表和拥塞的基站数目表, 可见最小变化率算法能使基站获得更好的负载均衡效果。对分层多跳网来说, 由于其使用的特殊性, 负载的均衡可以减少某些网络中心节点的能量消耗, 减少节点失效的概率, 改善网络的拓扑状况, 增强网络的抗毁性能, 因而可以延长整个网络的生存时间。从表中还可以看出, 由于最小改变率算法总是选择轻负载的基站, 因而基站拥塞的情况较少。

表1 基站负载情况表

速度(m/s)	基站负载样本标准差		拥塞基站数目	
	最大功率	最小变化率	最大功率	最小变化率
1	2.90	2.90	0	0
5	2.63	2.55	0	0
10	3.26	3.06	2	1
15	3.15	2.89	2	1
20	3.45	2.75	3	0
25	3.14	2.88	3	1
30	3.09	2.84	1	0

对于基站的路由切换, 它与用户的业务状况、运动速度、用户的数量和分布、基站的数量和分布以及建立连接时采用的路由协议等密切相关。由于在路由失效前就寻找新的路径, 因而切换引起路由中断的时间很短, 分组也不会由于切换而丢失, 可以实现快速和无缝切换。本文的算法需要通过信标来传递信息, 但基站的信标对多跳无线网来说是必不可少的, 它是网络拓扑维护和用户通信的前提。通过修改信标, 增加一些信息来获得基站路由切换的简化、负载的均衡, 提高对用户业务质量的满足程度, 是具有实用价值的。

5 结束语

本文研究了分层多跳无线网络中的用户切换和基站路由切换的问题。通过对基站的资源状况和用户业务进行监测

的方法,通过修改基站对用户的广播信息和基站间组网的信标内容的方式,以较小的代价来实现有限的资源信息共享,达到满足用户的通信业务需要和网络负载均衡及基站间无缝切换的目的。目前,还需要对基站间的路由切换的模型进行深入的研究和仿真,这是本文的后一步工作。

参 考 文 献

- [1] Gelenbe E, Kammerman P, Lam T. Mobile base station navigation and call handoff in totally mobile wireless[C]. Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control, Tampa, Florida, USA, 16-18 Dec., 1998, vol.1: 1116 – 1122.
 - [2] Lee Sungju, William Su, Gerla M. Ad hoc wireless multicast with mobility prediction[C]. Proceedings. Eighth International Conferences on Computer Communications and Networks, Boston, Massachusetts, USA, Oct. 1999: 4 – 9.
 - [3] William Su, Gerla M. IPv6 flow handoff in ad hoc wireless networks using mobility prediction[C]. Global Telecommunications Conference, Rio de Janeiro, Brazil, 1999, vol.1a: 271 – 275.
 - [4] Dang M S, Prakash A, Anvekar D K, Kapoor D, Shorey R. Fuzzy logic based handoff in wireless network[C]. Vehicular Technology Conference Proceedings. Spring Tokyo. IEEE 51st, 15-18 May, 2000, vol.3: 2375 – 2379.
 - [5] Srinath P, Abhilash P, Sridhar I. Router handoff: A preemptive route repair strategy for AODV[C]. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications. New Delhi, India, 15-17 Dec., 2002: 168 – 171.
 - [6] Yi Pan, Meejeong Lee, *et al.*. An end-to-end multipath smooth handoff scheme for stream media[J]. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2004, 22 (4): 653 – 663.
 - [7] Yunjung Yi, Gerla M, Taek Jin Kwon. The selective intermediate nodes scheme for ad hoc on-demand routing protocols[C]. IEEE International Conference on Communications, New York, USA, 28 April-2 May, 2002, vol.5: 3191 – 3196.
- 田永春: 男, 1974年生, 博士生, 研究方向是Ad hoc网络技术。
郭 伟: 男, 1964 年生, 教授, 从事通信网络技术、信号处理等方面的研究。
郑相全: 男, 1972 年生, 博士生, 研究方向是无线自组织网络技术。