

Ad Hoc 网络中一种基于权值的分簇算法^{*}

杨卫东^{1,2}, 周杰英¹, 张光昭¹

(1 中山大学 电子与通信工程系, 广东 广州 510275)

2 南方医科大学 网络中心, 广东 广州 510515)

摘要: Ad Hoc 网络是一种多跳的自组织网络, 网络是由移动的节点组成。Ad Hoc 网络的许多应用都依赖层次结构的支持, 簇结构是 Ad Hoc 网络中应用最为广泛的层次结构, 而这种层次结构的形成和维护依赖于某种分簇算法。提出了一种新的基于权值的分簇算法 (NWBCA), 该算法考虑了移动节点的最佳连接度和电池能量两个因素, 通过对算法进行分析和仿真测试, 证明了该算法的有效性。

关键词: Ad Hoc 网络; 分簇算法; 簇和簇头; 权值

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 05-0005-05

AD HOC 网络是一种无基础设施的网络结构^[1], 它是由多个移动节点组成的多跳无线网络, 这些移动节点一般处在一个局域区域内, 每个节点都具有路由器的功能, 也就是说这些节点既是终端又是路由器, 并通过存储转发技术帮助其它节点构成信息链路。它与有基础设施网络的最大的区别是不需要预设的基础设施 (如基站 (BS) 或接入点 (AP)), 网络的组织是临时的、按需的和自动的。正是由于它的这种特性, 它特别适用于要求临时、快速组网的情况, 所以经常用于军事领域、灾难救灾、会议等场合^[2]。

目前 AD HOC 网络的拓扑结构主要有平面结构和分层结构, 因采用平面结构会在节点数目增多时加大路由的开销, 且扩展性较差, 目前多采用分级结构。由于分层结构的形成和维护依赖于某种分簇算法, 所以分簇算法的好坏直接影响着 AD HOC 网络的各种性能指标。

1 现有典型的分簇算法的设计策略和优缺点

近几年, 国内外学者提出了多种分簇算法, 有几种算法得到了广泛的认可。

最小 ID 分簇算法采用探测法对网络分簇, 在一群相邻节点之间, 选择具有最小 ID 的节点作为簇头, 其一跳邻居节点成为该簇头所在簇的成员节点, 不再参与簇头的选举过程^[3]。该算法计算简单, 实现方便, 算法收敛较快。主要缺点是倾向于

选择 ID 较小的节点作为簇头, 会使这些节点消耗更多的能量, 因此算法在能源有限的移动自组网络中缺乏公平性, 同时该算法未考虑负载平衡等因素。

基于最大连接度分簇算法也是采用探测法对网络分簇, 该算法借鉴了 Internet 中选择路由节点的方法, 在一群相邻节点之间, 选择连接度高的节点作为簇头, 其一跳邻居节点成为该簇的成员节点, 不再参与簇头的选举过程^[4]。该算法可以减少网络中簇的数目, 使源目的节点对的平均跳数较少, 减少分组投递时延, 且计算简单, 实现方便。但由于簇的数目较少, 信道的空间重用率较低; 同时由于算法对簇内节点数目没有限制, 因而无法适用于某些对节点能力有限制的网络 (如蓝牙协议^[2])。对于其它没有节点限制的协议也有问题, 当节点数目增多时, 节点的吞吐量会降低^[5], 故适用于移动性弱且节点密度较低场合。

利用节点的地理位置信息来进行分簇的算法是根据节点的物理坐标计算出节点之间的距离, 它以距离值作为分簇的依据, 算法不需要节点保持网络的拓扑构造信息, 故网络开销比较小, 并且能够快速适应网络的拓扑变化^[6-7]。由于采用 GPS 来获取节点的位置信息, 应用时具有局限性。

基于权值的分簇算法是依据节点的权重因子进行分簇, 选择邻居节点中权重最大 (或最小) 的节点作为簇头节点^[8-11], 该算法可以提高簇结构的稳定性, 但每种因素在权重中所占的比重不确

* 收稿日期: 2006-11-07

基金项目: 广州市科技攻关计划资助项目 (2007Z3-D0271)

作者简介: 杨卫东 (1968 年生), 男, 副教授; E-mail: ywduar@163.com

定, 且算法中某些参数 (如移动节点的相对移动速度、各节点与其 1 跳邻居节点的距离的总和等) 的获得是以节点间信号的强弱作为准则, 显然具有一定的局限性。同时个别算法中某些因素的取值引用理想值, 存在着缺陷, 影响了算法的应用。

在研究已有分簇算法的基础上, 提出了一种性能新的分簇算法— (NW BCA), 算法考虑了移动节点的最佳连接度和电池能量两个因素, 使簇头的选择更加简单合理。本文介绍了 NW BCA 的思想和特点, 以及对算法的性能仿真和分析, 最后得出相关的结论。

2 基于权值的分簇算法 (NW BCA)

2.1 最佳簇大小的确定

Ad Hoc 的簇大小是受到条件制约的, 簇头节点覆盖太多就会拥塞, 而太少则不能充分利用带宽。为了达到最佳吞吐率, 文献 [12] 给出了一个结论: 若 W_1 , W_2 分别代表簇内、簇间的通信带宽, N 代表节点个数, 当 N 足够大时 (绝大多数 Ad Hoc 网络符合这个条件), 最佳簇个数 $M = \frac{W_1}{W_2}$

$\sqrt{N}$, 则最佳节点度大小 δ 为: $\delta = \frac{W_2}{W_1} \sqrt{N}$ 。

2.2 相关定义

(1) 一跳邻居节点: 系统拓扑 $G = (V, E)$ 是由节点和链路构成的无向图。 V 表示节点的集合, E 表示边的集合。节点 x 和 y 之间存在边 (x, y) , 意味着 x 和 y 是可以互相通信的一跳邻居节点。

(2) 非交叠簇: 一个簇 $C_i \subset V$ 由一组节点构成, 并且对于任何两个节点 $x, y \in C_i$, 满足 $d(x, y) \leq 2$, 其中 $d(x, y)$ 是节点和之间的最小跳数, 同时满足 $V = \bigcup_i C_i$ 且 $C_i \cap C_j = \emptyset, i \neq j$ 则称簇 C_i 和 C_j 簇为非交叠簇。

(3) 节点的度数 d_n : 一个节点的一跳邻居节点的数目称为该节点的度数。

(4) 孤立节点: 若一个节点没有一跳邻居节点就称为孤立节点。

(5) T : 簇头选举周期。

(6) T_n : 某节点充当簇头的累积时间。

2.3 一些假设

簇头的选举是周期性的, 在网络中每个节点的 ID 是唯一的, 通过周期性的消息交换, 每个节点可以获得自己的 1 跳邻居节点的 ID 和权值。若一个周期内某簇头节点的 1 跳邻居节点的个数为 k ,

就认为该簇头节点的电池能量损耗为 $E_n = keT$, 这里 e 为该簇头单位时间内每个连接度所损耗的电池能量, 认为簇头电池能量的损耗是与该簇头的连接度相关的, 且在初始状态时网络中各节点的电池能量是相同的。

2.4 算法的具体描述

文中提出的分簇算法 (NW BCA) 考虑了移动节点的最佳连接度和电池能量两个因素, 使簇头的选择更加简单合理。算法具体过程描述如下:

(1) 每个节点 n 确定各自的直接邻居节点数, 把它作为节点 n 的度数, 简记为 d_n ;

(2) 对每个节点 n 计算其节点连接度与最佳连接度 δ 之差, 记为 $D_n = |d_n - \delta|$;

(3) 计算各个节点的电池能量损耗 E_n , 这里 $E_n = \sum_{k=1}^q d_{nk} T e$ 式中 q 为节点 n 充当簇头的周期, d_{nk} 为节点 n 第 k 次充当节点时的连接度;

(4) 计算各节点充当簇头的累积时间 T_n , 这里 $T_n = \sum_{k=1}^q T$, q 为节点 n 充当簇头的周期;

(5) 计算各节点 n 的组合权重 $W_n = c_1 D_n + c_2 E_n$, 其中 c_1, c_2 为权重因子, 分别表示各参数的重要程度, 若某个参数越重要, 则相应的权重因子就越大, 并满足条件 $c_1 + c_2 = 1$;

(6) 每个节点将自己的权值与直接邻居节点相互比较, 如果发现自己的权值 W_n 最小, 则自动成为簇头节点, 其邻居节点成为簇成员节点; 如果权值相等, 则选择 ID 号 (全局唯一的) 较小的节点作为簇头; 已经属于某簇的普通节点不能再参与簇头的选举;

(7) 若一个节点为孤立节点则自动形成一个簇, 节点本身就是簇头, 它没有一跳邻居节点;

重复 (2) - (7) 直到所有的节点或者成为簇头, 或者属于某个簇。

值得注意的是: 按照 (6) 的分簇策略, 得到的网络结构为互不交叠的簇结构。

2.5 算法的特色

与现有的基于权值分簇算法的策略相比, 该策略有下列特色与优点:

(1) 算法中采用了最佳节点度 δ 这样在簇内既可以充分利用带宽又可以优化网络的吞吐率, 并且可以通过优化簇内的节点数来通过系统吞吐率和优化网络负载。而已有的分簇算法策略中, 有些根本没有考虑该因素, 即使考虑了该因素, 但 δ 的取值却被理想连接度 η 取代, 而 η 如何取值, 现有算法中未有确定。因此应用最佳节点度 δ 比应用理想连接度 η 更加科学与合理;

(2) 节点自身的能量状态因素 E_n : 在分级结构中, 簇内成员之间的通信是通过簇头进行的, 一般来说簇头消耗的能量要远大于普通节点, 所以簇头消耗的能量 E_n 不仅与它充当簇头的时间相关, 而且还与它的连接度相关。而已有的分簇算法策略中, E_n 仅与它充当簇头的时间相关, 只是簇头充当时间与某个给定能量值的乘积而已, 显然是不科学的。因此簇头 E_n 的计算与节点的簇头充当时间和连接度因素一起考虑, 显然更科学更合理。

3 算法的性能仿真及其结果分析

3.1 模拟环境和性能指标

模拟环境如下: 仿真软件为 OPNET 10.5; 节点的移动模型采用的是自组网经常使用的移动模型 Random Waypoint模型^[13], 在这种模式中, 节点朝一个任意目的地运动, 带有周期性的停顿行为, 节点的移动速度可以 ($0 \sim V_{\max}$) 在之间随机选择, 其中 $V_{\max}$ 表示节点移动的最大速度, 单位是 m/s ; 节点的移动区域为一个 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的区域; 模拟时间为 10 000 时间单位。各节点初始时的能量均为 100 单位时间内簇头相对于每个普通节点所消耗的能量 $e=0.000\text{ l}$ 。

到目前为止研究人员已经提出了多种分簇算法, 但有几种分簇算法得到了广泛的认可, 最小 ID 算法和最大连接度算法就是受到广泛认可的分簇算法。为了准确地说明算法的特点, 借助于仿真模拟的方法对这三种算法进行了比较。选取了下列指标: 簇头数 C 、网络的负载平衡因子 (LBF)^[18] 和节点充当簇头时间。
$$LBF = n_c \sum_{i=1}^{n_c} (x_i - u)^2,$$
 式中 n_c 代表簇的数量, x_i 是簇 i 的成员节点数, $u = \frac{N - n_c}{n_c}$ 为簇头的平均邻居节点数量, N 为网络中的节点数。很显然, LBF 越大, 网络的负载平衡就越好。

3.2 模拟结果

在仿真测试中, 节点数 $N=23$ 节点最大的移动速度为 $V_{\max}=5\text{ m/s}$ 节点的传输范围 r 在 $5 \sim 60\text{ m}$ 之间变化 (图 1 中, 节点的传输范围为 25 m), 权重因子: $c_1=c_2=0.5$, W_1, W_2 分别代表簇内、簇间的通信带宽, $W_2=1.2W_1$ 。注: 这里需要说明的是: 权重因子 $c_1、c_2$ 可以根据网络的实际情况进行调整。

图中 LOW ID 表示最小 ID 算法, HCDA 表示最高节点度算法, NWBCA 表示本文提出的基于权值的分簇算法。

从图 1 可以看出 LOW ID 算法中各节点担任簇头的时间差异很大, ID 号小的节点充当簇头的时间非常多 (如节点 1, 基本上是从头到尾都在充当簇头), ID 号大的节点充当簇头的时间则非常少, 因为这种算法本身就是侧重于选择 ID 较小的节点充当簇头, 这会使得 ID 号小的节点负担较重, 易过早地耗尽其电池能量而使它成为网络通信的瓶颈。HCDA 则倾向于选择具有最大连接度的节点作为簇头, 虽有所改善, 但改善不大。NWBCA 算法则改善较大, 图中可以看出各节点充当簇头的时间分布比较均匀。在 NWBCA 算法中, 因簇头的选择考虑了移动节点的最佳连接度和电池能量两个因素, 故使得所有节点充当簇头的机会更均等。

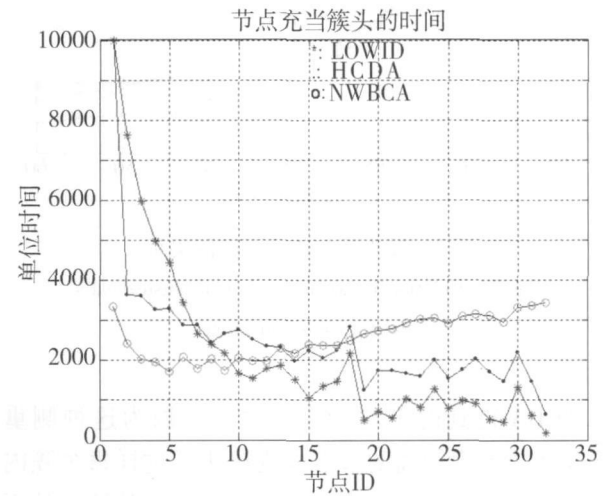


图 1 节点充当簇头的时间
Fig. 1 Time of a node which acts as a clusterhead

表 1 列出了各分簇算法的 LBF 的平均统计值, 这里节点数 $N=32$ 节点最大的移动速度为 $V_{\max}=5\text{ m/s}$ 节点的传输范围 r 分别为 $20、30$ 和 40 m 。模拟结果表明, NWBCA 算法的 LBF 最大, 其次为 LOW ID, 而 HCDA 的 LBF 最小, 说明 NWBCA 的负载平衡特性最好, 而 HCDA 的负载平衡特性最差。这是因为 NWBCA 算法对簇头的节点度进行了优化, 使簇头的分布比较均匀, 故使得簇头的负载平衡特性较好。而 HCDA 侧重于选择节点度较高的

表 1 三种分簇算法 LBF 的统计值 (平均)			
Tab. 1 Statistic value of LBF for three clustering algorithms (average)			
算法	LOW ID	HCDA	NWBCA
20	0.523	0.171	0.882
30	0.233	0.089	0.396
40	0.116	0.062	0.333

节点成为簇头，对簇头的节点度不加以限制，使得各簇中成员节点数的分布很不均匀，故该算法的负载均衡特性最差。

从图 2 中可以看出，簇头数随节点传输范围的增加而减少，当传输范围大于 30 时，簇头数减少的速度逐渐变慢，但最终都收敛到 1。图中可以看

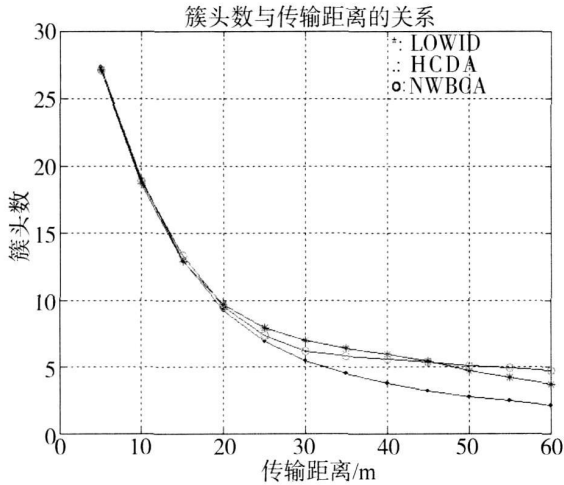


图 2 簇头数与传输距离的关系

Fig. 2 Relation between number of cluster heads and transmission range

出 HCDA 得到的平均簇头数最少，因为这种侧重于选择节点度较高的节点成为簇头，这样每个簇内所包含的节点数就较多，可以产生较少的簇，从而降低分组投递的延迟，但该算法对簇内节点数没有限制，因而无法适应于某些对节点能力有限的网络（如蓝牙协议，其主从结构限制了每个主节点最多只能同时服务七个成员节点）；另外簇中的资源通常由簇内节点按照轮询的方式共享，所以当簇内节点过多时，每个节点的平均吞吐量会急剧下降，且簇头的数目减少了也意味着减少了信道的空间重用率。LOWID 和 NWBCA 的曲线走向相对接近。从图中可以看出，相对于其它两种算法，NWBCA 算法得到的簇头分布较均匀。在仿真实验中，采用 $W_2 = 1.2W_1$ ，根据最佳节点度大小 δ 的计算：

$$\delta = \frac{N}{M} = \frac{W_2}{W_1} \sqrt{N} = 1.2 * \sqrt{32} = 6.788 \approx 7$$

从图 3 可以看出，与 LOWID 和 HCDA 相比，NWBCA 算法中一个簇的平均连接度非常接近最佳节点度，这主要是因为 NWBCA 算法中优化了簇头节点度所致。

4 结 论

文中提出了一种新的基于权值的分簇算法

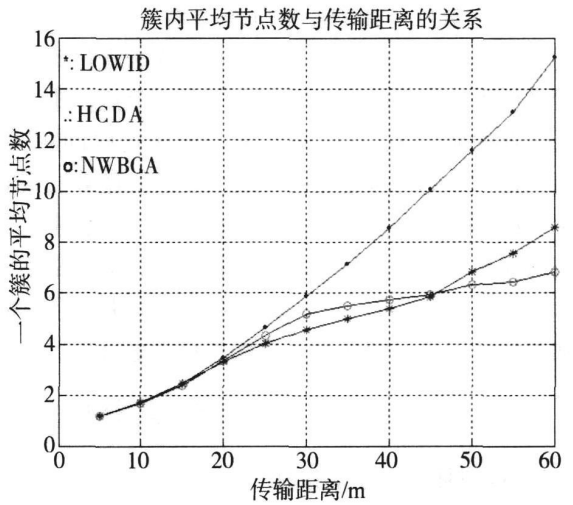


图 3 一个簇的平均节点数与传输距离的关系

Fig. 3 Relation between mean number of node for a cluster and transmission range

(NWBCA)，该算法考虑了移动节点的最佳连接度和电池能量两个因素，使得对簇头的选择更加合理，通过对算法进行分析和仿真测试，证明了该算法的有效性。

参考文献:

[1] NOCETTI F G, GONZALEZ J S, STOMENOVIC I. Connectivity Based K-hop Clustering in Wireless Networks[J]. Telecommunication Systems, 2003, 22(1 - 4): 205 - 220

[2] LJUBICA B, LEVENTE B, SRDJAN G, et al. Self organization in mobile Ad Hoc network: the approach of terminodes [J]. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(6): 166 - 174

[3] LIN C R, GERLA M. Adaptive clustering for mobile wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(7): 1265 - 1275.

[4] PAREKH A K. Selecting routers in ad hoc wireless networks [C]. Proceedings of the SBT/IEEE International Telecommunications Symposium, August 1994.

[5] CUPTA P, KUMAR P. The capacity of wireless networks [J]. IEEE Transaction on Information Theory, 2000, 46 (2): 388 - 404.

[6] JAIN A, PURI R, Sengupta. Geographical routing using partial information for wireless ad hoc networks[J]. IEEE Personal Communication, 2001, 8(1): 48 - 57.

[7] 吴迪, 李晴, 冯永新, 等. 一种基于地理定位信息的 Ad Hoc 分簇算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 14: 138 - 141, 152.

[8] CHATTERJEE M, DAS S K, TURGUT D. WCA: A weighted clustering algorithm for mobile Ad Hoc networks[J]. Journal of Clustering Computing, IEEE,

2002 5(2): 193 – 204

[9] 吴迪, 刘英学, 冯永新, 等. AdHoc网络中一种基于权值的分簇算法[J]. 小型微型计算机系统, 2006 27 (2): 202 – 206

[10] 王钢, 单琦, 徐妍, 等. 一种新型的 AdHoc网络按需加权分簇算法[J]. 无线电工程, 2005 35(12): 23 – 25 49

[11] 王海涛, 田畅, 郑少仁. 一种新型的 AdHoc网络分簇算法及其性能仿真[J]. 系统仿真学报, 2003 15 (2): 193 – 197.

[12] XU Kaixin HONG Xiaoyan GERLA M. An AdHoc network with mobile backbones[C]. IEEE International Conference on Communications, 2002

[13] JOHNSON D MALTZ D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks [C] // MELNSKY T KORTHEDSH. Mobile Computing Netherland Kluwer Academic Publishers, 1996 153 – 181.

A Weight Based Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Network

YANG Wei-dong^{1, 2}, ZHOU Jie-ying¹, ZHANG Guang-zhao¹

(1 Department of Electronic and Communication Engineering SUN Yat sen University, Guangzhou 510275 China 2 Network Center Southern Medical University, Guangzhou 510515 China)

Abstract Ad Hoc network is a kind of multi hop self organizing network. The network is dynamic in nature due to the mobility of nodes. Many mobile ad hoc applications depend on the hierarchical structure and clustering is the most popular method to impose a hierarchical structure in the mobile ad hoc networks. A novel weight based clustering algorithm (NWBCA) is proposed with taking the ideal connectivity degree and battery power of mobile nodes into consideration. Analysis and simulation of the algorithm have been implemented and validity of the algorithm has been proved.

Key words Ad Hoc network; clustering algorithm; cluster and cluster header; weight

(上接第 4 页)

Numerical Analysis of One Dimensional Nonlinear Consolidation of Layered Foundation under Time Dependent Loading

LIU Zuo-qu¹, FU Ming-hui¹, ZHOU Cui-ying^{1, 2}

(1 Dept Applied Mechanics and Engineering Sun Yat sen University Guangzhou 510275 China 2 Research Center of Underground Engineering and Information Technology Sun Yat sen University Guangzhou 510275, China)

Abstract Without any hypothesis on consolidation coefficient for a certain soil layer considering the loads varies, the one dimensional nonlinear consolidation control equation is built up by using hyperbolic stress strain relationship of soil and the relation of permeable coefficient k which goes with the change of void ratio. Furthermore taking four layers from the soft clay foundation as an example and using a simplified weighted implicit difference for matrix numerical results of nonlinear consolidation control equation are calculated. By comparing the calculated results with the data calculated by Terzaghi linear consolidation theory, the results demonstrate that the influence of nonlinear factors on one dimensional consolidation behaviors of soft soil foundation is very complicated and generally the effect of nonlinear factors shouldn't be ignored.

Key words non-linear; layered foundation; one-dimensional consolidation; FDM