

文章编号:1001-9081(2009)07-1871-03

基于组移动性的战术 Ad Hoc 网络分群算法

郭 虹, 刘洛琨

(信息工程大学 信息工程学院, 郑州 450002)

(guo_hong@163.com)

摘要: 如何合理地保障分群是战术 Ad Hoc 网络实现分层网络并进行分群路由的前提和核心环节。针对这个核心问题, 引入组移动特征, 结合本地移动性参数和节点的能量, 面向战术 Ad Hoc 网络, 提出了一种基于组移动性的分群算法, 并仿真分析了该算法的分群性能。

关键词: 分群算法; Ad Hoc 网络; 组移动; 群首; 群稳定性

中图分类号: TP393.01 **文献标志码:** A

Clustering algorithm based on group mobility for tactical Ad Hoc networks

GUO Hong, LIU Luo-kun

(College of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: How to reasonably keep clustering is the key work of tactical Ad Hoc network. It can help Ad hoc network to realize hierarchical network structure and clustering algorithm in military domain. According to the core work, the character of group mobility was introduced. Considering node's local mobility and energy consumption, this paper proposed a clustering algorithm based on group mobility for Tactical Ad Hoc networks and its clustering performance was verified through simulation analysis.

Key words: clustering algorithm; Ad Hoc network; group mobility; cluster-head; cluster stability

0 引言

无线移动自组织网络(又称 Ad Hoc 网络)是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性的自治系统, 每个移动终端兼具路由器和主机两重功能。网络的建立无需任何预先架设的网络基础设施, 可广泛应用于军用战场通信、民用紧急救助以及其他需要临时建立网络的场合。战术 Ad Hoc 网络是 MANET(Mobile Ad Hoc Network, MANET)网络在军事领域的典型应用, 随着网络规模的增大和节点数目的增多, 战术 Ad Hoc 网络需要采用分层分布式的网络体系结构。分层结构通常需要分群算法给予支撑, 即网络将被划分为若干个群, 每个群由一个群首和多个群成员组成, 群内能够和其他群的节点通信的群成员被设置为网关节点。

分群算法需要根据网络特点和系统需求按照某种规则将网络划分为可以连通并覆盖全网的多个群。在移动 Ad Hoc 网络中, 节点的移动将会导致网络拓扑不断地变化, 分群算法所产生的群必须要能够很好地适应拓扑的变化, 从而避免由于群重组所引发的网络开销。在实际 Ad Hoc 网络应用中, 节点的移动常常具有一定的规律性, 以战术 Ad Hoc 网络为例, 由于使命和编制的约束, 节点的移动常常呈现“组移动”的特征, 即多个节点以相似的速度向同一个方向运动。因此可以通过引入一个参数来刻画节点的组运动特征, 并利用其对网络进行分群, 从而形成一个相对比较稳定的群结构。

另外, 在实际的 Ad Hoc 网络中, 节点大多数以电池供电, 能量有限。在群内, 群首负担相对较大, 尤其是基于分群的路由协议, 群首负责群间路由的发现和数据包的转发, 能量消耗较大, 所以要避免由一个节点长时间担任群首。本文通过记

录节点所担任群首的时间和记录节点收发次数来近似估计节点的剩余能量, 并将其作为选择群首的一个重要参数, 从而延长群首节点的寿命。

本文首先给出了一种估计节点相对移动特征的方法, 并在此基础上结合节点的剩余能量提出了一种适用于战术 Ad Hoc 网络的基于组移动性的分群算法。

1 典型的分群算法

目前, 国内外提出了很多面向 Ad Hoc 网络的分群算法, 其中比较典型的有最小 ID 分群算法、最大链接度分群算法、基于移动性权值的分群算法 MOBIC、基于权值的分群算法等。不同的分群算法生成的群具有不同的特征, 算法的设计直接影响到群的稳定性、群的大小, 以及网络中不同节点担任群首的时间长度。从而影响到生成群和维护群所需要的开销和网络中节点的能量消耗等。

最小 ID 分群算法^[1] 是一种较早提出的经典的分群算法, 实现比较简单。在此算法中, 网络中的节点都分配有唯一的 ID 号, 例如节点的 IP 地址、MAC 地址或其他的标识号。节点与其一跳邻居节点通过 Hello 包交换各自的 ID 号, 从而每个节点获得其所有邻居节点的 ID 号。最小 ID 分群算法规定: 1) ID 小于所有邻居节点的节点成为群首。2) 当某个节点收到其邻居节点的群首声明信息后, 该节点加入群, 成为该群首的群成员, 并且不再参与群首的选举。3) 所有未加入任何群的相邻节点中, ID 最小的节点声明为群首。该算法产生的群数量较多, 群内节点的数量不统一。ID 最小的节点无论其运动状态如何, 都将被选为群首。若其运动速度较大并且无规则, 则会不断地造成和其他群首之间的冲突, 从而引起其他

收稿日期: 2009-01-07; 修回日期: 2009-02-26。 基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA01Z2a1)。

作者简介: 郭虹(1975-), 女, 云南玉溪人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 无线移动自组织网络、网络与通信; 刘洛琨(1963-), 男, 河南洛阳人, 教授, 博士, 主要研究方向: 无线移动自组织网络、通信中的信号处理。

群的重组,增加了网络的开销和群的不稳定性。另外具有最小 ID 的节点始终为群首,其负担过重,较早地耗尽其能量,将造成该节点的失效。

最大链接度分群算法^[2]的目标是尽量减少群的数量。节点之间通过交互控制信息知道其一跳邻居节点的数目,即链接度,然后将自己的链接度广播给其一跳邻居节点,该节点和其邻居节点中具有最大链接度的节点被选为群首。当链接度相同时选择 ID 最小的节点作为群首。群首的一跳邻居节点成为该群的普通成员节点,反复进行以上过程直到所有的节点都加入某个群。该算法的优点在于群的数目较少,从而减少了分组的投递时延。但是当网络中节点的移动性较强时,节点的链接度也在不断地变化,从而导致了群的不稳定。该算法适用于移动性较弱并且节点密度较低的场合。

基于移动性权值的分群算法 MOBIC^[3-4]是通过比较连续收到的来自邻居节点的信号的强度来估计它们之间的相对移动性,计算节点的移动性权值,选择具有最小移动性权值的节点为群首,其分群过程类似于最小 ID 分群算法,只是用移动性权值代替 ID 号进行分群。该算法没有考虑节点的能量因素。

2 基于组移动性的分群算法

分群算法一方面要求所产生的群能够很好地适应网络拓扑的动态变化,另一方面应充分考虑节点的能量。在战术 Ad Hoc 网络应用中,节点的移动通常呈现“组移动”的特征^[5],例如特种侦察部分队的行动。本文通过引入“本地移动性”参数来描述节点与其邻居节点的相对移动特征,利用该参数提出一种基于组移动的分群算法 (Group Mobility Based Clustering algorithm, GMBC) 尽可能地使具有相同移动特征的节点分到一个群,并且在选择群首时充分考虑到节点的能量消耗因素,有效避免了一个节点由于长时间担当群首所造成的节点失效。GMBC 算法产生的群是 1 跳群,即群成员节点与群首之间只有 1 跳,算法分为两个阶段:群的生成和群的维护。

为设计 GMBC 算法,首先对战术 Ad Hoc 网络做以下几点合理的假设:

- 1) 网络中节点呈现“组移动”特征。
- 2) 网络初始化阶段节点具有相同的能量,且所有节点使用相同的发射功率。
- 3) 网络中节点具有相同的功能,即都是同质节点。

2.1 节点本地移动性参数

分群算法中,群首的选择至关重要。在考虑节点的移动性时,不能仅仅认为移动速度慢的节点就更适合选为群首,而应该考虑节点与其邻居节点间的相对移动^[6]。因此,GMBC 算法引入“本地移动性参数”定性地描述节点间的相对移动特征,该参数越小,说明该节点相对于其邻居节点越稳定,越适合被选为群首。

为计算节点的“本地移动性参数”,需要估计相邻两节点间(一跳范围)的距离。在没有 GPS 等定位设备支持的情况下,节点间距离的估计方法很多。为实现简单,本文通过接收信号的强度来粗略地估计节点的距离。节点的估计距离与实际距离可能存在较大偏差,但是由于该参数关注的是节点间距离的变化程度,所以没有必要获得精确的距离估计值。在实际应用中,可以根据具体的信道传输模型进行距离估计。

定义 1 在一定的时间周期 T (n 个 Hello 包周期) 内,根

据距离估计公式对节点 1 和节点 2 之间的距离进行 n 次估计,估计值分别为 $\{d_{12}^1, d_{12}^2, \dots, d_{12}^n\}$ 。则节点 1 和节点 2 之间的统计相对移动性参数定义为:

$$Sm_{12} = \sigma^2(d_{12}^1, d_{12}^2, \dots, d_{12}^n) = 1/(n-1) \sum_{i=1}^n (d_{12}^i - \bar{d})^2$$

其中 $\sigma^2(\cdot)$ 表示样本方差。

定义 2 在一定的时间周期 T 内,节点 1 获得了与其所有一跳邻居节点的统计相对移动性参数 $\{Sm_{1n_1}, Sm_{1n_2}, \dots, Sm_{1n_p}\}$, 其中 n_1, n_2, \dots, n_p 为节点 1 的邻居节点。则节点 1 相对于其所有一跳邻居节点的本地移动性参数定义为:

$$W_1 = \mu(Sm_{1n_1}, Sm_{1n_2}, \dots, Sm_{1n_p})$$

其中 $\mu(\cdot)$ 表示样本均值。

通过上述定义可以看出,节点的“本地移动性参数” W_n 的计算需要 n 个 Hello 包周期才能得到。所以 W_n 的更新周期也设为 n 个 Hello 包周期。

2.2 节点的剩余能量

在已经提出的众多分群算法中,群首的选择均没有考虑节点的能量。节点长时间担任群首,将过早地消耗完能量,致其失效^[7-9]。因此,本文通过记录节点担任群首的时间,并将其作为选择群首的一项重要参数。GMBC 算法设定一个门限值 T_{thr} , 当一个节点担任群首的时间超过该门限值时,将不再担任群首并且不参与群首的竞争,从而有效地避免了一个节点长时间担任群首的可能。如果网络中绝大多数节点退出群首竞争,网络中将无法选择群首,必须终止战术 Ad Hoc 网络的运行。需要指出的是利用节点担任群首的时间近似估计节点的剩余能量,有可能与实际情况不符。例如某节点在担任群首的时间段内,恰逢该群内节点处于战术通信静默,那此时该群首的能量并未消耗很多。为更精确地描述节点的剩余能量,考虑将节点收发信机的收发次数和每次收发信机能量消耗引入节点担任群首的时间模型。

此外,节点在可能被选作群首之时,已经有部分能量消耗,例如处于群间的网关节点能量消耗过多却可能从未被选作过群首。因此考虑节点剩余能量的群首选择模型很必要结合收发信机的收发次数和每次收发信机的能量消耗估计已经耗掉的能量。

2.3 群的生成

在战术 Ad Hoc 网络初始化阶段,所有节点都处于未决定状态。在执行完 GMBC 分群算法以后,节点的状态为群首或者群成员。每个节点周期性地向其一跳邻居节点广播 Hello 信息,其中包括节点的 ID,节点的状态 S(取值为 cluster undecided、cluster_head、cluster_member),节点的本地移动性参数值 W_n ,节点担任群首的时间长度 T_{ch} 。S 的初始值为 cluster undecided。 W_n 的初始值为无穷大, T_{ch} 的初始值为 0。每个节点需要维护一张邻居节点表,记录邻居节点的 ID、状态及 T_{ch} 值。

- 1) 通过 n 次 Hello 信息交互,节点计算并更新本地移动性参数 W_n 。
- 2) 在第 n 个 Hello 周期时,节点广播更新后的 W_n 值。
- 3) 在第 $n+1$ 个 Hello 周期时,节点执行群首的选择过程。节点首先判断自己的 T_{ch} 值是否大于 T_{thr} , 如果大于则不再参与群首的选择,否则比较 W_n 值。如果节点发现自己的 W_n 比参与群首选择的所有一跳邻居节点的 W_n 都要小,则其将成为群首。如果 W_n 相同,则具有较小 ID 值的节点成为群首。群首节点设置自己的状态为 cluster_head,并开始计算担任群

首的时间 T_{ch} 。

4) 在第 $n+2$ 个 Hello 周期时, 第一次收到群首 Hello 包的邻居节点成为该群首所在群的成员节点, 并将自己的状态位设置为 cluster_member, 且不再参与分群。如果一个节点能够收到两个以上群首节点的信息, 该节点可能成为连接多个群的网关节点。

5) 所有尚未加入任何群的节点重复执行步骤 3) 和 4)。

经过 $n+4$ 个 Hello 周期后所有的节点都已经加入某个群。GMBC 算法的执行过程类似于最小 ID 分群算法, 所以其完备性和准确性与最小 ID 算法相同。

2.4 群的维护

在分群结构形成之后, 随着节点的移动, 网络拓扑不断变化, 分群算法需要对生成的群进行维护。就 GMBC 算法而言, 当某个节点被选为群首后, 只有以下两种情况时群首才会改变自己的状态。1) 群首冲突。由于节点的移动, 群首发现在其一跳传输范围内存在另一个群首, 即发生了群首冲突。此时, 两个群首比较其本地稳定性参数 W_n 值, 其中 W_n 值小的群首不改变自己的群首状态, W_n 值大的群首将自己的状态改变为群成员, 并加入新群。2) 群首发现。自己担任群首的时间超过门限值 T_{thr} , 则其放弃群首位置, 将自己的状态设置为未决定状态, 执行群的生成过程。

当群成员节点发现连续两个周期收不到来自群首的 Hello 包时, 或者发现群首节点的状态不再为 cluster_head 时, 此时节点也将自己的状态设置为未决定状态, 执行群的生成过程。

3 仿真分析

为评估分群算法的性能, 利用 NS2 网络仿真软件对最小 ID 分群算法、最大链接度分群算法及 GMBC 算法进行仿真。仿真环境为 $1500 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ 的狭长区域, 创建 100 个节点, 仿真时间长度设为 500 s, 节点的最大移动速度为 10 m/s, 节点的移动模型采用参考点组移动模型 (RPGM), 无线传播模型采用 Two-ray ground reflection 模型。GMBC 算法中设定节点担任群首的最大时间门限 $T_{thr} = 200 \text{ s}$, 节点广播 Hello 包的周期为 2 s。节点在前 30 s 内估计节点间的距离, 计算各自的本地移动性参数 W_n 。

评估参数^[9]:

1) 网络中群(首)的个数 CN , 它直接反映了分群网络的结构和特性。分群网络的群首数不宜过多, 也不能太少。群首数目太多会增加群间数据转发的跳数, 增加群首的负担; 对固定节点数目的网络而言, 群首数目太少则一个群内节点数目就相对较多, 群间通信也易在群首处形成网络瓶颈。

2) 单位时间内群首改变的次数 HCN , 该指标能反应生成群的稳定性。当网络中节点的状态从群首改变为成员节点或从成员节点改变为群首时, HCN 值增加。

3) 节点充当群首的公平性指数 HFI , 该指标用于反映各个节点充当群首的公平性程度。 HFI 定义为节点充当群首的时间偏差, 即:

$$HFI = E\{|[t_i - E(t_i)]|\}$$

其中, t_i 表示节点 i 充当群首的时间, $E(t_i)$ 表示节点担任群首的平均时间, HFI 表示节点 i 充当群首的时间偏离节点担任群首的平均时间的程度。因此 HFI 越小, 说明节点充当群首的公平性越好。由于群首的能量消耗较大, HFI 越小, 也意味着能量消耗越均匀地分配到各个节点上, 从而延长网络的寿命。

所有图中 LOWID 表示最小 ID 分群算法, HIGHD 表示最大链接度算法。

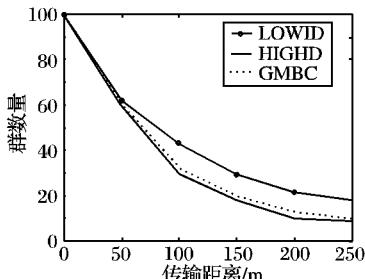


图 1 不同传输距离下的群首的数量 CN

图 1 给出了节点在不同传输距离下网络产生的群首的数量 CN 。从图中可以看出随着节点传输距离的增大, 网络中群首的数量逐渐减小。因为节点的传输距离越大, 群首的覆盖范围就越大, 群首的数量就越少。GMBC 根据节点的移动性进行分群, 群的数目比较适中。

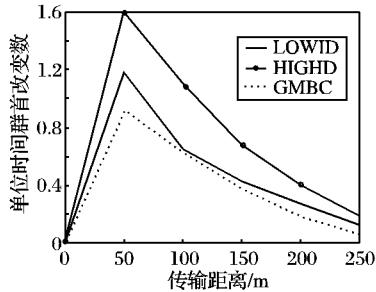


图 2 单位时间内群首的改变数 HCN

图 2 给出了节点在不同传输距离下单位时间内群首改变的数量 HCN 。群首改变数量越少, 算法产生的群结构越稳定。随着传输距离的增加, 群的数目较少, 群首间相隔距离较远, 从而不容易造成群首间的冲突, HCN 也就越小。从图中可以看出最小 ID 分群算法和最大链接度算法的 HCN 值相对于 GMBC 较大, 群结构相对不稳定。这是因为 GMBC 考虑了节点的移动性, 群内的节点脱离该群的概率大大降低, 从而减少了群首间的冲突, 避免了群首的改变。

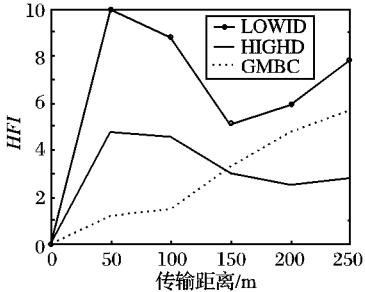


图 3 各分群算法的 HFI 值

图 3 给出了三种分群算法在不同传输距离下 HFI 的变化。从图中可以看出各种算法的 HFI 差别很大, 其中 GMBC 算法的 HFI 较小。这是因为 GMBC 中根据节点的本地性移动参数选择群首, 该参数随着节点的移动不断变化, 另外算法也对节点充当群首的时间进行了限制, 所以该算法的 HFI 较小。

4 结语

战术 Ad Hoc 网络中节点数目较多, 通常采用分层分布式的网络结构, 分层结构需要分群算法进行支撑。基于组移动性的分群 GMBC 算法通过引入“本地移动性参数”将具有相

(下转第 1886 页)

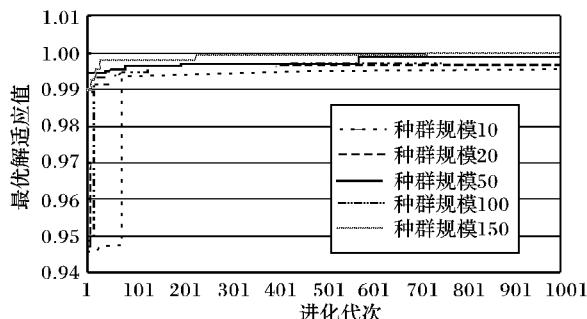


图 2 进化代次与最优试卷适应度关系

种群规模为 50 时,进化代次与最优试卷各项指标误差关系如图 3。

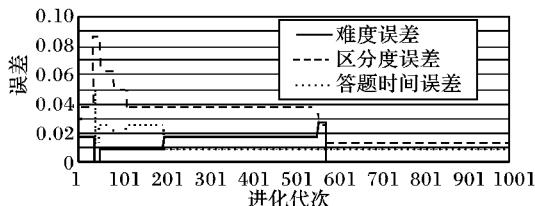


图 3 进化代次与最优试卷各项指标误差关系

不同种群规模下的初始化时间、相关代次进化时间如图 4。

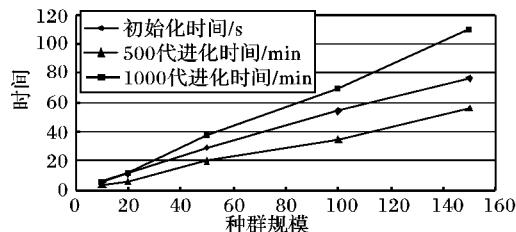


图 4 种群规模和初始化时间、进化时间关系

实验结果证明:相对于原始遗传算法存在收敛速度慢,容易陷入局部收敛,很难产生满足多种指标要求的试卷的问题,改进后的遗传算法具有以下优点:1) 相同种群规模下,进化代次和时间存在近似线性关系;2) 相同进化代次下,进化时间和种群规模存在近似线性关系;3) 在进化代次达到 500 代时,可以组成令人满意的符合多种设定指标的试卷。

4 结语

本文利用一种改进的遗传算法来解决智能组卷问题。给

出了一种基于矩阵编码的组卷模型。改进了编码方式,使每个试卷多维矩阵个体能够记忆其各个属性值和适应值,避免了对个体适应值的重复计算。改进了产生初始群体的方法,通过预有控制地产生较好的初始群体,保证了进化的起点比较高。在进化过程中,利用基于适应值排序的选择方法进行复制,保证父代中的优良个体进入子代。改进了杂交算子,实行分段单点杂交,实现试卷在杂交前后都能够满足题型要求。改进了变异算子,采用双点变异策略,避免了变异产生的试题知识点冲突。同时利用较大的杂交概率和变异概率不断补充新个体,保持群体的多样性,从而避免了搜索空间的迅速缩小,提高了全局寻优性能,加快了整个算法向全局最优值的逼近速度。可以同时生成多份符合需要的试卷,并可以根据需要扩展试卷的指标项。所设计的组卷方法具有收敛速度快、性能好、效率高等特点。

参考文献:

- [1] 吴美娟. 网络考试系统的组卷算法及安全策略研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [2] 魏平, 于海光, 熊伟清. 基于进化稳定策略的单亲遗传算法求解组卷问题[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(1): 105 - 109.
- [3] 戴亚非, 李晓明, 唐溯飞. 计算机自动组卷演算法分析[J]. 小型微型计算机系统, 1995, 16(9): 51 - 55.
- [4] 胡维华, 梁荣华, 江虹. 多目标选题策略研究与应用[J]. 杭州电子工业学院学报, 1999, 19(2): 37 - 41.
- [5] 杨路明, 陈大鑫. 改进遗传算法在试题自动组卷中的应用研究[J]. 计算机与数字工程, 2004, 32(5): 76 - 79.
- [6] GEN MITSUO, CHENG RUNWEI. 遗传算法与工程优化[M]. 于歆杰, 周根贵, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004: 83 - 86.
- [7] 路景. 基于改进遗传算法的智能组卷研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [8] 朱黎明. 基于单亲遗传算法的试题生成及其应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2005.
- [9] ZADEH L. Optimality and non-scalar-valued performance criteria[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1963, 8(1): 59 - 60.
- [10] 李晋宏, 陈峰, 程楠楠, 等. 基于遗传算法的智能组卷研究与应用[J]. 科技信息, 2007(12): 37 - 38.
- [11] REEVES C. Diversity and diversification in genetic algorithms: Some connections with tabu search [C]// Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. New York: Springer-Verlag, 1993: 344 - 351.
- [12] 张文修, 梁怡. 遗传算法的数学基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.

(上接第 1873 页)

似移动特征的节点分到一个群,从而提高了群的稳定性,并通过限制节点充当群首的时间长度,避免其过早地消耗完能量。仿真实验表明,在节点呈“组移动”特征的网络中,GMBC 算法产生的群数目适中,群首改变次数较少,节点充当群首的公平性程度合理。是一种具有实用价值的分群算法。

参考文献:

- [1] CHUNGUNG R, GERLA M. Adaptive clustering for mobile wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(7): 1265 - 1275.
- [2] BASAGNI S. Distributed clustering for Ad Hoc networks[C]// Proceedings of the 1999 International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks. Washington DC: IEEE Computer Society, 1999: 310 - 315.
- [3] 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.
- [4] MAINAK C, SAJAL K. An on-demand weighted clustering algo-
- rithm (WCA) for Ad Hoc networks[C]// IEEE Global Telecommunications Conference. New York: ACM, 2000: 1697 - 1701.
- [5] HONG X, GERLA M, PEI G, et al. A group mobility model for Ad Hoc wireless networks [C]// Proceedings of ACM/IEEE MSWWIM'99. New York: ACM, 1999: 53 - 60.
- [6] 董超, 杨盘龙, 田畅. 一种 Ad Hoc 网络组移动模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1879 - 1883.
- [7] MICHELLE X, SCOTT F. A self-Organized clustering algorithm for UWB Ad Hoc networks[C]// WCNC 2004/IEEE Communications Society. New York: IEEE, 2004: 1860 - 1811.
- [8] INN E R, WONSTON K. Mobility-based d-Hop clustering algorithm for mobile Ad Hoc networks[C]// WCNC 2004/IEEE Communications Society. Piscataway NJ: IEEE, 2004: 2359 - 2364.
- [9] PRITHWISH B, NAVED K. A mobility based metric for clustering in mobile Ad Hoc networks[C]// IEEE Distributed Computing Systems Workshop 21 International Conference. Washington DC: IEEE Computer Society, 2001: 413 - 418.
- [10] 王海涛, 田畅, 郑少仁. 一种新型的 Ad Hoc 网络分簇算法及其性能仿真[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(2): 193 - 197.