

大规模移动自组织网络分层优化策略研究

杨 娟^{1,3} 李 颖³ 刘鸿飞^{2,3}

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)¹ (重庆大学自动化学院 重庆 400044)²

(中国人民解放军重庆通信学院三系 重庆 400035)³

摘 要 大规模移动自组织网络(MANET)有效的分层协议可以增强网络逻辑拓扑结构的稳定性,减小通信中继花费。提出利用动态节点多特征融合与 GRF-MAP 结合的方法构建大规模 MANET 分层结构,以提高网络层次结构的稳定性。仿真数据表明,算法在分层结构的稳定性方面明显优于其他算法。

关键词 大规模 MANET, 分层协议, 稳定性, 多特征融合, 吉布斯随机场—最大后验概率

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Hierarchical Optimization Strategy for Large-scale Mobile Ad Hoc Networks

YANG Juan^{1,3} LING Ying³ LIU Hong-fei^{2,3}

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)¹

(Automation Academy, Chongqing University, Chongqing 400044, China)²

(PLA Chongqing Communication College, Chongqing 400035, China)³

Abstract For large-scale mobile ad hoc networks, hierarchical protocol can enhance the stability of network topological structure and reduce communication relay. This paper proposed a hybrid method to construct a large-scale MANET hierarchical structure, so as to enhance the stability of network topological structure. This method combines dynamic node's Multi-feature fusion with Gibbs Random Field—Maximum a Posterior. Simulation experiments show that our algorithm performs better in the stability of hierarchical structure than the existing algorithms.

Keywords Large-scale mobile ad hoc networks, Hierarchical protocol, Stability, Multi-feature fusion, Gibbs random field—maximum a posterior

1 引言

随着无线设备小型化的深入以及分布式移动网络应用范围的不断扩大,规模化是 MANET 未来发展的必然趋势^[1]。

但由于 MANET 是典型的分布式系统,拓扑大规模动态变化,大量分布式节点在共享有限信道资源时导致竞争加剧,网络性能急剧下降,因此在分布式网络模式下如何进行拓扑稳定性控制,实现资源的优化和分配,提高 MANET 业务承载能力,成为 MANETs 能否大规模应用的关键。

一个有效的解决办法是构建层次化的 MANETs 拓扑结构。对 MANET 分层,是将集中控制思想引入分布式管理中,把网络的重构限制在局部范围内,以利于网络的扩展和管理。在分层的 MANET 中,存在高层节点和低层节点。高层节点作为骨干节点负责较低层节点结构的稳定和重组,通过骨干节点组成骨干网,实现跨层通信。网络以分簇形式工作,簇首由骨干节点担任,簇成员由低层节点组成。基于分层算法的 MANET 拓扑结构可以有效解决 MANET 网络可扩展问题,网络资源能被有效地分配和利用,从而优化网络资源、

提高信道利用率、减少路由维护代价以及提高应用的可扩展性、鲁棒性,以便在很大程度上提高 MANET 的性能和实用性。

本文根据 MANET 中决定节点稳定性的关键特征以及移动自组网络中多种网络分层策略的优缺点,提出基于多特征融合及吉布斯随机场—最大后验概率(Gibbs Random Field—Maximum a Posterior)的稳定度感知分布式分层算法,以保证网络在具有良好负载均衡度基础上,增强分层网络拓扑的稳定性。

我们的主要贡献包括:1)提出节点稳定度多特征融合度量方法;2)将 MANET 分层转化为对节点标号的问题;3)引入一种分布式动态评估节点稳定性的算法,使本文的分层算法优于其它算法。

2 相关工作

MANET 中,分层问题可归结为基于分簇算法的网络分级问题。而分簇问题可以归结为寻找一个最大独立集问题,寻找一个最大独立集是著名的 NP-hard 问题^[2],因此,大多数

到稿日期:2010-04-14 返修日期:2010-07-21 本文受重庆市自然科学基金项目(CSCT2008BB2148)和重庆通信学院自然科学基金项目(20090012)资助。

杨 娟(1971—),女,博士生,主要研究方向为无线网络分布式计算、软件工程及可靠性、信息安全等;李 颖(1971—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为移动自组织网络、数据链等。

移动自组网络簇生成算法都采用了启发式算法进行簇划分。根据簇首选择原则的不同,可分为最小标识优先^[4]、最大连接度优先^[3]以及最大权值优先算法等^[5]。在最小标识优先算法中,ID较小的节点成为簇首的可能性远高于其他节点,因此算法在性能有限的移动自组网络中缺乏公平性,而最大连接度优先算法仅以连接度作为启发选择簇首节点,因此负载均衡度较差,没有综合考虑网络在稳定性、扩展性等方面的需求。基于权重的分簇算法综合考虑了系统的节点度、移动性等多种增强簇结构稳定性的因素,可以保证网络具有更可靠的性能,是较理想的分簇策略,但权重的选取具有极大的主观性,从而降低了算法的实用性。MobDHop 算法^[6]采用节点接收信号功率作为节点移动度量值来代替节点权重,但仅选取了节点的一个动态特征作为选择簇首的标准;RWC 算法^[7]采用了节点的 5 个特征作为选择簇首的标准,但该算法是集中式算法,须知道系统全局信息,不适用于大规模 MANET,实用性不强。LDSO 算法^[8]虽提出分布式分簇算法,但该算法是针对具有群移动特征的 MANET 提出的,适用性不广。文献^[9]提出基于 CDMA/TDMA 机制的主动学习分簇算法,该算法分簇效果较好,但由于分为三部分,实现较繁琐。同时,上述算法均没有利用 MANET 的分布式多维动态特征,使得 MANET 的分簇对网络状态和移动节点状态不具有自适应性,簇首容易成为网络瓶颈。

MANET 的自组织能力依赖于所选择的节点的决策能力,但在高动态的分布式 MANET 中,这是一个极大的挑战。Linda E. Doyle 等人将 MANET 系统中的分布式决策问题归结为 MRF-MAP 问题^[10]。高动态 MANET 作为自组织系统,为满足空-时变化的通信要求,适应动态网络条件,其节点特征并非完全相互独立,具有很强的空-时间相关性,从而表现出很强的马尔科夫性。在马尔科夫随机场(Markov Random Field)中,刻画节点一系列状态的条件概率仅依赖于该节点的邻居节点,可通过局部依赖性对系统的长期依赖性建立模型。同时,图像处理领域的吉布斯随机场(GRF)成功地解决了目标空间相关性问题的支持节点的同步和异步信息更新。

笔者借鉴上述思想,根据网络状态和节点状态,综合考虑影响移动节点稳定度的多个特征,采用多特征融合和 GRF-MAP 方法感知分布式动态网络拓扑结构,实现了 MANET 的动态自适应分层,同时利用骨干节点最大负载数控制簇内节点数、优化簇大小,实现网际流量适应性均衡。

3 基于多特征融合及 GRF-MAP 的分层优化模型

问题描述:系统拓扑 $G(S, E)$,是由节点和链路构成的图,其中 S 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) ,意味着节点 x 和 y 是可以互相通信的 1 跳邻居节点。两节点间的距离 $d(x, y)$ 是指节点 x 和 y 之间的最小跳数。目标是在 S 中选出一个可以覆盖整个网络的簇首节点集合,与它们的一跳邻居节点构成簇结构。分簇算法运行完成后,每个节点($1 \leq i \leq n$)或者成为簇首,或者成为某个簇的成员节点。

3.1 节点稳定度

多特征融合(multi-feature fusion)是把不同来源的信息加以综合以提高算法的鲁棒性,通常并行地计算多个模块的

结论信息并加以融合。这种方法的一个关键问题是如何对不同的特征作一个合理的融合。

为描述 MANET 中节点的稳定度,我们选择愿充当骨干节点的节点的兴趣度、节点电池剩余能量、节点可用内存、运动速度^[7]及关键节点度等特征进行融合,作为描述节点稳定度的度量。其原因如下:

1)节点充当骨干节点兴趣度(I):在很多分簇算法^[3,5,6]中,权重最高的节点被强制定为簇首,但事实上,该节点并不情愿充当簇首。如果不考虑节点兴趣度因素,不愿充当骨干节点的节点不能履行骨干节点职责,将导致网络性能下降。因此,应当将节点兴趣度考虑进节点稳定度范畴。

2)节点剩余电池能量(P):由于要担负额外的责任,骨干节点所消耗的电池能量远比普通节点要多,故剩余电池能量较多的节点应优先考虑为骨干节点。

3)节点可用内存(M):由于骨干节点需要维护其所辖成员的通信以及簇内成员与簇外成员的通信,具有较高内存的节点更适合作为骨干节点。

4)节点运动速度(V):为避免骨干节点的频繁更替而导致网络的稳定性下降,应选择运动速度较低的节点作为骨干节点。

5)关键节点度(D):大规模 MANET 中更易出现一些独自连通网络两片或多片区域的割点,这些节点具有更高的能量消耗,并且它们一旦失效将直接导致网络拓扑分割,造成通信中断。故我们把邻节点度 N_i 以及基本回路度 M_i 满足关系 $N_i - M_i \geq 2$ ^[11]的节点定义为关键节点,将关键节点度大于等于 2 的设为骨干节点。

在 3.4.2 节中,我们将利用上述 5 个特征建立节点多特征融合模型。

3.2 相关定义

MRF-MAP 理论应用于图像处理领域^[12]已经很成熟,本文不再赘述,只讨论新的基于 MANET 系统的定义。

定义 1(节点稳定度) 随机矢量 $X_i = (I_i, P_i, M_i, V_i, D_i)$ 称为节点 i 的稳定度,其中 I_i 表示节点 i 成为骨干节点的兴趣度, P_i 表示节点 i 的剩余电池能量, M_i 表示节点 i 的可用内存, V_i 表示节点 i 的运动速度, D_i 表示节点 i 的关键节点度。 X_i 的各分量均为随机变量。

定义 2(随机场) 设 MANET 定义在有限点集 S 上, $S = \{i, 1 \leq i \leq n\}$, S 上的每一个点的稳定状态由稳定度矢量 $X_i (i = 1, 2, \dots, L)$ 表示。则这 n 个随机矢量构成一离散随机场 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$,记 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为随机场 X 的一个实现,所有可能的实现构成组态空间 Ω 。

普通点集中的元素往往是无序的,但是时间和空间上相邻的点具有一定的相关性。在 MRF 中,节点之间一般是通过与自身相邻节点的集合相联系的。因此定义 MRF 之前,首先需要引入邻域系概念。

定义 3(邻域系, Neighborhood System) 定义 MANET 节点集 S 中的一个子集 $\eta = \{\eta_i: i \in S, \eta_i \subseteq S\}$ 是 S 上的一个邻域系统,当且仅当节点 i 的邻域 η_i 为:

- ① $i \notin \eta_i$,即任何一个节点都不属于自己的邻域;
- ② 如果 $j \in \eta_i$,则 $i \in \eta_j$,即邻域关系是对称的。

邻域系由一系列不同阶次的近邻组成,即 $\{\eta^1, \eta^2, \dots, \eta^m\}$,其中 m 表示近邻的阶。一阶邻域系 $\eta^1 = \{\eta_i^1\}$ 由与 i 节点

可以互相通信的1跳邻居节点组成,如图1所示。

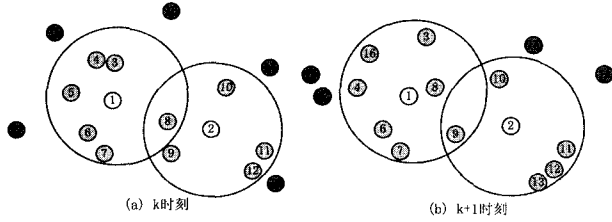


图1 MANET邻域系统

在图1中,节点1在 k 时刻的邻域系统由节点3,4,5,6,7,8构成,而在 $k+1$ 时刻,其邻域系统变为由节点3,4,6,7,8,9,16构成。

定义4(基团, Clique) 设 η 是定义在 S 上的邻域系,在 S 上由单个节点与其它相邻节点组成的子集 C 称为 (S, η) 对应的基团。 C 是 S 的一个子集,且满足下列条件之一:

- ① C 由单个节点组成;
- ② 如果节点 $i \in C, j \in C$,且 $i \neq j$,则 i 是 j 的近邻,即 $i \in \eta_j$ 。

基团的概念表示了节点位置之间的相互作用关系。根据中心节点所包含的邻域节点的可达跳数不同,分别有一阶基团 C_1 、二阶基团 C_2 、三阶基团 C_3 等。

图2示出节点 i 的一阶基团和二阶基团。

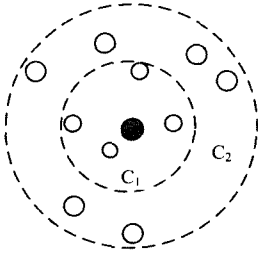


图2 MANET的一阶和二阶基团

定义5(簇) 若节点 i 为骨干节点,则 $N_i = \{i' \in S | d(i', i) \leq 1, i' \neq i\}$ 称为以节点 i 为簇首的簇成员组成的点集,即 N_i 是一个簇,其中 $d(i', i)$ 表示节点 i 与 i' 间的跳数。

3.3 随机场模型的建立

对MANET分层可以看作是对系统中每一节点进行分类(标号为0或1)。为此,在网络环境中,我们假设节点 i 被标号为 $f(X_i) = 0$ 或1,所有节点标号集合为 $F = [f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_n)]$,使用Bayesian推理^[13]允许节点依据观测到的节点的先验信度进行合并,从而做出决策。

根据Bayesian定理,令 $X_i = \{I_i, P_i, M_i, V_i, D_i\}$ 表示观测到的节点数据(观测场), $f = (f_{X_1}, f_{X_2}, \dots, f_{X_n})$ 为节点的标记数据(标记场),其中 f_{X_i} 的取值为标记的类别。令 $p(f)$, $p(X)$ 分别为标记场 f 和观测场 X 的概率,则在给定观测场 X 的条件下,标记场 f 的概率为:

$$P(f/X) \propto P(X/f)P(f) \quad (1)$$

$p(f)$ 作为标记场的先验分布,可以用Gibbs分布来表示^[10]。 $p(X/f)$ 为给定标记场 f 时得到观测节点的条件概率。检测的目的就是在已知观测数据的基础上,求得使 $p(f/X)$ 最大的标号,即:

$$\hat{f}_{MAP} = \underset{f \in \Omega}{\operatorname{argmax}} \{P(f/X)\} \propto \underset{f \in \Omega}{\operatorname{argmax}} \{P(X/f)P(f)\} \quad (2)$$

用式(2)对 n 个节点进行计算,即完成了对MANET系统中节点的最优标号过程。

由Gibbs随机场和MRF之间的等价关系(Hammersley-

Clifford定理)^[12]可知,一个MRF可以与一个Gibbs随机场相对应。因此,如果定义了Gibbs随机场的能量函数,就可以确定MRF,即GRF(吉布斯随机场),便可通过优化能量函数的方法来解决式(3)的求解问题。

3.4 GRF-MAP 能量函数的构造

定义6^[12] 设 η 是定义在有限点集 S 上的邻域系统,当且仅当 S 上的随机场变量 $X = \{X_i\}$ 的联合概率分布为:

$$P(X=x) = \frac{1}{Z} e^{-\frac{U(x)}{T}} \quad (3)$$

我们称随机场分布 X 为有限点集 S 上的一个Gibbs随机场,或称 X 的分布属于Gibbs分布。

式(3)中, $U(x)$ 叫做能量函数。从Gibbs分布的概率表达式可以看出,若系统处于组态 x 时所具有的能量函数 $U(x)$ 越小,则这种分布的出现概率越大,因此,求随机场 X 的最优解问题就转化为求解能量函数的最小值问题。

通过指定与基团有关的势函数和根据系统的行为选取合适的能量函数来得到概率分布 $P(X=x)$,这样此概率分布就包含了先验知识和标记之间的相互关系。

根据Hammersley-Clifford定理,在定义了能量函数后,就可以确定GRF。根据贝叶斯决策和最大后验概率估计原则,就可以把节点标记问题转化为最大后验概率的估计问题。可表述为:

$$\hat{f}_{MAP} = \underset{f \in \Omega}{\operatorname{argmin}} \{U(f/X)\} \quad (4)$$

式中, f 是节点的标记场, X 是节点的观测场, $p(f)$ 是标记场的先验概率, $p(X/f)$ 是约束条件下观测场 X 出现的概率。相应的能量函数可表示为:

$$U(f/X) = U(f) + U(X/f) \quad (5)$$

式中, $U(f)$ 是先验能量函数, $U(X/f)$ 是似然能量函数,这样运动节点检测的标记问题就归结为一个能量函数的构造和优化问题。

为实现节点标记,必须首先定义能量函数,即构造出式(5)中的先验能量函数 $U(f)$ 和似然能量函数 $U(X/f)$ 。我们将综合考虑检测得到的节点稳定度多维特征,并只考虑以一阶基团的势能来定义能量函数。

3.4.1 先验能量函数的构造

先验基团势函数的确定:根据初始标记场的检测结果,将MANET中的每个节点分为骨干节点和普通节点,得到的二值化的检测结果记为 $\hat{f}_k(\cdot)$,即:

$$\hat{f}_k(\cdot) = \begin{cases} 0, & \text{节点 } i \text{ 被标记为骨干节点} \\ 1, & \text{节点 } i \text{ 被标记为普通节点} \end{cases} \quad (6)$$

式(5)中的先验能量函数 $U(f)$ 是初始标记场对应的能量部分。设所求标记场为 $f(\cdot)$ 。将第 k 时刻的检测结果 $\hat{f}_k(\cdot)$ 作为初始标记场。

势能函数 $V_c(f)$ 的实质,是反映中心节点与各邻域子团的依赖程度。若中心节点的状态与邻域子团越相符,则势能 $V_c(f)$ 越低。故我们构造节点 i 的先验势能函数如下:

$$V_c(f_k(i)) = \frac{f(i) \neq f_k(j)}{\#C_i} \quad (7)$$

式中, $\#C_i$ 表示节点 i 所在基团的节点数目。因为每个中心节点的邻域系统中邻居个数并不相同,故我们必须把 $\#C_i$ 作为归一化因子考虑到先验势能函数中来。 $f_k(\cdot)$ 是邻域系统中的一个标号, j 为 C_i 中与 i 一跳可达的邻居, $f_k(j)$ 为第 k 时刻节点 j 的标号。

根据能量函数定义^[10],定义第 k 时刻所求标记场中节点 i 的先验能量函数为:

$$U(f) = \sum_{f_k \in L} V_i(f_k(i)) \quad (8)$$

式中, L 表示节点 i 所在邻域系中的标号集。当 f 与邻域中其它所有节点或大部分节点一致时, $U(f)$ 就越低, 这将有效地使系统达到一致性。且由于引入了归一化因子 $\#C_i$, 将使有较少邻居的节点获得较高的权重, 从而达成系统的一致性。 $U(f)$ 是由初始标记导致的数据驱动项, 反映了先验标记与所求标记的一致性。当所求标记与先验标记一致时, 该项能量下降, 反之能量上升。

3.4.2 似然能量函数的构造

式(5)中的似然能量函数是约束条件下所求标记场节点之间相关性对应的能量函数, 我们将多特征检测得到的信息分别作为约束条件, 将约束节点稳定性的关键特征转换为各种特征的发生概率。由于节点稳定性关键特征各样本的抽取是独立的, 故它们条件独立^[13], 即有似然函数为:

$$P(X \setminus f) = P(x_l, x_p, x_m, x_v, x_d \setminus f) = \prod_{j=1}^5 P(x_j \setminus f) \quad (9)$$

由 3.1 节的分析可知, 要使节点稳度极大化, 则需要 x_v , x_d 极小化, 故我们将式(10)改写为:

$$\max P(X \setminus f) = \max \frac{P(x_l \setminus f) P(x_p \setminus f) P(x_m \setminus f)}{P(x_v \setminus f) P(x_d \setminus f)} \quad (10)$$

对式(10)取负对数, 得:

$$\min[-\ln P(X \setminus f)] = \min[-\ln P(x_l \setminus f) - \ln P(x_p \setminus f) - \ln P(x_m \setminus f) + \ln P(x_v \setminus f) + \ln P(x_d \setminus f)] \quad (11)$$

故定义的似然能量函数具有如下形式:

$$U(X/f) = U^l + U^p + U^m + U^v + U^d \quad (12)$$

式中, $U^l = -\ln P(x_l \setminus f)$, $U^p = -\ln P(x_p \setminus f)$, $U^m = -\ln P(x_m \setminus f)$, $U^v = \ln P(x_v \setminus f)$, $U^d = \ln P(x_d \setminus f)$ 。

本文算法所提到的“多维特征融合”主要含义为: 1) 在建立 GRF 模型时采用多维吉布斯随机场模型; 2) 在构造能量函数时, 综合考虑在多维特征检测中得到的先验信息, 将其作为约束条件。故式(12)也叫做多特征融合模型。

将式(8)和式(12)代入式(4), 即得目标函数 f_{MAP} 。

3.5 稳定度矢量各分量概率密度的确定

根据 Lindeberg-Levy 定理^[14] 及大量文献的实验结果^[10,15,16], 我们将节点运动速度、节点度数和节点可用内存设定为高斯分布: 即 $x_v \sim N(u_v, \sigma_v^2)$, $x_d \sim N(u_d, \sigma_d^2)$, $x_m \sim N(u_m, \sigma_m^2)$, 并假定 $x_l \sim U[0, a]$, x_p 服从概率密度为 $p(p_i) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda p_i}, & p_i > 0 \\ 0, & p_i < 0 \end{cases}$ 的指数分布。

3.6 在 GRF 组态空间中搜索目标函数最优解——FGM 分簇建立

在建立了随机场模型并定义了后验能量函数后, 就可以使用优化算法, 通过对后验能量函数最小化得到运动检测结果, 即 FGM 分簇建立。

在本算法中, 网络中每个节点维持一张表 C_{table} (C_{ID} , C_{energy} , CH_{ID}), 包括节点 ID、稳定度能量和所在簇的簇 ID, 表中内容通过 Hello 消息及其它控制消息建立和更新。簇头节点的表为 CH_{table} (C_{ID} , $C_{stability}$, CH_{ID} , $Counter$), 簇头节点始终维持一个计数器 Counter, 限制簇内节点数目不超过预定义的簇头最大负载数 C , 以保证网络具有良好负载均衡度, 在重新

建立分簇结构时, 将计数器值转发给新任簇头。

FGM 分簇建立算法描述如下:

步骤 1 在系统初始状态下, 任意节点 i 广播 Hello 信息 (能量采用节点运动速度指标^[1]), 确定节点 i 的邻域系, 在该邻域系中将速度最小的节点标号为 0, 其余标号为 1, 直至系统内所有节点均有标号;

步骤 2 每个节点广播 Hello 包, 向邻居节点广播本节点的标号, 用式(4)在本节点构成的邻域系中计算稳定度能量, 若自己是邻域系中能量最小的则成为簇首, 标号为 0;

步骤 3 标号为 0 的节点再次广播 Hello 包, 将 Hello 包一跳可达的节点纳为本簇成员, 构成簇;

步骤 4 收到不止一个 0 标号节点的 Hello 包的 1 标号节点, 成为网关节点;

步骤 5 若存在没有收到 Hello 包的标号为 1 的节点, 则改变其标号为 0;

步骤 6 将所有 0 标号节点组成骨干网层, 1 标号节点组成子网层。

分簇结束。

3.7 分簇维护

簇的维护主要包括节点的加入或者离开, 以及簇的分离和合并, 为保持骨干节点生存时间尽可能长, 给出了如下的规则:

规则 1 当标号为 1 的节点移入另一个簇 j 时, 两个簇首均不改变;

规则 2 当一个标号为 1 的节点移出当前簇, 没有进入任何已存在的簇时, 将其标号为 0, 形成一个新簇;

规则 3 当一个标号为 0 的节点从簇 i 移到簇 j , 则 $CH(i)$ 与 $CH(j)$ 竞争当前簇首: 比较两个簇首的能量函数, 能量较小者当选为新簇首。

3.8 FGM 算法优点

1) 本算法计算量小, 仅为加减及乘除运算;

2) 本算法为分布式算法, 只需要知道各节点邻域系内的节点信息, 而无须知道系统的全局信息, 实用性强;

3) 在稳定度矢量定义处将分量指标改变为其他相应指标, 则本算法可用于 MANET 中其他分布式决策, 如路由选择、协议选择等。

4 算法性能仿真

本节利用网络仿真软件 NS2 相应底层代码实现对算法的支持, 采用与文献[8]相同的仿真环境, 主要研究 FGM 算法的平均簇头数、单位时间内簇头更新数等指标性能, 并且与 RWC^[8] 的相应指标进行全面比较, 见图 3、图 4 (本算法中取簇头最大负载数 $C=10$)。

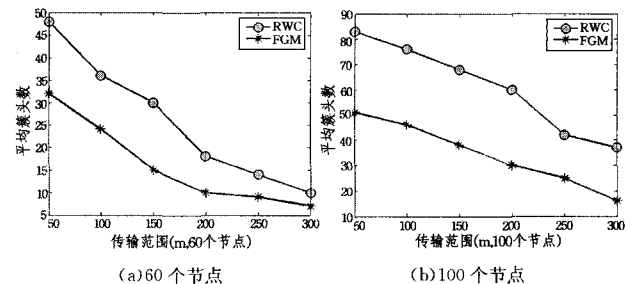


图 3 平均簇数 (最大速度 20m/s)

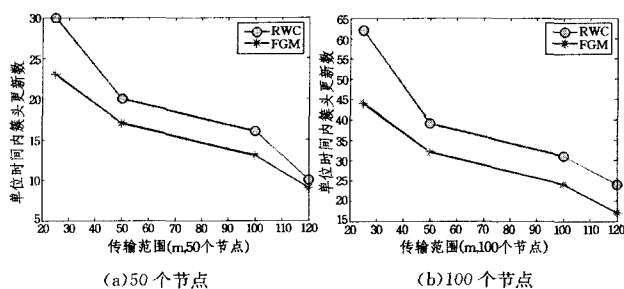


图4 单位时间内簇头更新数(最大速度 20m/s)

由图3和图4可以看出,本文提出的FGM算法较RWC算法在MANET分层稳定性方面有较大改善,是一种稳定性较高、鲁棒性强的MANET分层算法。

结束语 基于分簇算法的分层式结构有利于提高大规模MANET的性能。提出了基于多特征融合及GRF-MAP的节点稳定度分布式簇生成算法,给节点赋予不同的稳定度并自动成簇。该算法在参数选择及分簇维护方面比RWC算法考虑得更为合理和全面,限制了分簇的成员节点数,达到了负载均衡的目的,同时降低了簇依附关系改变的机率,减少了簇重构带来的开销。仿真结果表明,FGM算法得到了比RWC算法性能更优、鲁棒性更强的网络结构。

参考文献

- [1] Xu Yi. Topology Stability Analysis and Its Application in Hierarchical Mobile Ad Hoc Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(3): 1546-1560
- [2] 刘鸿飞,黄席樾,李丽君,等. 车用自组织网络分层优化策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 12(7): 119-124
- [3] Er I I, Seah W K G. Performance analysis of mobility-based d-hop (MobDHop) clustering algorithm for mobile ad hoc networks [J]. Elsevier Computer Networks, 2006, 50: 3375-3399
- [4] Basu P, Khan N, Little T D C. Mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks [C]//Proceedings of 21st International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS' 01). Phoenix, AZ: IEEE Computer Society, 2001: 413-418

- [5] Chatterjee M, Das S K, Turgut D. WCA: A Weighted Clustering Algorithm(WCA) for mobile ad hoc networks[J]. Cluster Computing, 2002, 5: 193-204
- [6] Er I I, Seah W K G. Mobility-based d-Hop Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks [J]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2004, 4: 2359-2364
- [7] Francis S A J, Rajsingh E B. Relative Weight Based Clustering in Mobile Ad Hoc Networks[C]//11th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE Computer Society, 2009: 526-531
- [8] Zhang Yan, Ng J M, Low C P. A distributed group mobility adaptive clustering algorithm for mobile ad hoc networks[J]. Computer Communications, 2009(32): 189-202
- [9] Torkestani J A, Meybodi M R. An efficient cluster-based CDMA/TDMA scheme for wireless mobile ad-hoc networks: A learning automata approach[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2010(33): 477-490
- [10] Doyle L E, Kokaram A C, Doyle S J, et al. Ad Hoc Networking, Markov Random Fields, and Decision Making--The challenges involved[J]. IEEE Signal Processing Magazine, September, 2006, 23(5): 63-73
- [11] West D B. 图论导引[M]. 李建中, 骆吉州, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [12] Li S Z. Markov Random Field Modeling in Image Analysis (Third Edition)[M]. Springer-Verlag London Limited, 2009
- [13] 孙即祥, 等. 现代模式识别[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002: 53-59
- [14] 魏宗舒, 等. 概率论与数理统计教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 209-211
- [15] Dsa M, Manjunath D. On the connectivity in finite ad hoc networks[J]. IEEE Communication Letter, 2002: 437-439
- [16] Yousefi S, Altmaiv E, El-Azouzi R, et al. Connectivity in vehicular ad hoc networks in presence wireless mobile base-stations [C]//7th International Conference on ITS Telecommunication. 2007: 4548-4552

(上接第96页)

的大小。此外,协作通信对于网络连通性能有提高作用。存在节点周期性休眠的无线网络的连通问题将作为进一步的研究内容。

参考文献

- [1] Gupta P, Kumar P R. Critical power for asymptotic connectivity in wireless networks [J]. Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications, 1998: 547-566
- [2] Xue F, Kumar P R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks [J]. Wireless Networks, 2004, 10(2): 169-181
- [3] 周一鹿, 钟剑, 刘林森. 自组织网中节点分布对网络连通度的影响分析[J]. 计算机科学, 2006, 33(12): 49-51
- [4] Zuniga M, Krishnamachari B. Analyzing the transitional region in low-power wireless links [C] //Proc. of IEEE SECON 2005. Santa Clara: IEEE Communication Society, 2005: 517-526
- [5] Bettstetter C, Hartmann C. Connectivity of wireless multihop networks in a shadow fading environment [J]. Wireless Net-

- works, 2005, 11(5): 571-579
- [6] Hekmat R, Van Mieghem P. Connectivity in wireless ad-hoc networks with a log-normal radio model [J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11: 351-360
- [7] Miorandi D, Altman E, Alfano G. The impact of channel randomness on coverage and connectivity of ad hoc and sensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(3): 1062-1072
- [8] Theodore S. Rappaport. Wireless communications: principles and practice(second edition) [M]. Prentice Hall, 2002
- [9] 刘丰威. 无线 ad hoc 网络的连通性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007
- [10] Ingmar G, Wolfram K, Rudolf S. Continuum percolation of wireless ad hoc communication networks [J]. Statistical Mechanics and its Applications, 2003, 325(3/4): 577-600
- [11] Bollobás B. Random graphs [M]. Cambridge Press, 2001
- [12] Wang L, Liu B, Goechel D, et al. Connectivity in cooperative wireless ad hoc networks [C]//Proc. of ACM MobiHoc 2008. Hong Kong: ACM, 2008