

基于 ARIMA 模型的 Ad-hoc 网络节点位置预测加权分簇算法

沙 毅¹ 杨 艳¹ 黄 焯² 朱丽春³ 张志伟³

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110819)¹ (上海市人民政府办公信息处理中心 上海 200000)²
(中国科学院国家天文台 北京 100012)³

摘 要 在加权分簇算法(WCA)中引入预测机制,即在算法的路由维护阶段嵌入时间序列模型(ARIMA),用以预测网络节点的地理位置。利用 ARIMA 模型实时预测出节点下一时刻的地理位置,并以此计算出节点的累计保持时间预测值。将通过预测得到的累计保持时间值与时间预警阈值进行比较,在簇结构即将不稳定时,即在链路断开之前,提前启动预修复过程,寻找新的路由,降低网络拓扑动态变化的影响,维护簇结构的稳定。仿真结果表明,相对于 LOWID 以及没有加入预测机制的 RLWCA, ARP-LWCA 算法大幅度提高了网络的分组投递率,降低了网络的归一化开销,并且使得路由中断次数有了明显减少,改善了网络的整体性能。

关键词 Ad-hoc 网络, ARIMA 预测, 分簇算法, CBRP

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

ARIMA-based Weighted Clustering Algorithm for Prediction of Nodes' Location in Ad-hoc Network

SHA Yi¹ YANG Yang¹ HUANG Ye² ZHU Li-chun³ ZHANG Zhi-wei³

(Department of Information Science Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)¹

(Office Information Processing Centre of Shanghai Municipal People's Government, Shanghai 200000, China)²

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China)³

Abstract This paper introduced ARIMA prediction mechanism in weighted clustering algorithm (WCA). During routing maintaining process, the ARIMA is used to predict the network node location. Using the established ARIMA model, the algorithm is able to predict geographical position of the node at next time. In this way, it can calculate aggregate holding time of the nodes. Then, the predicted aggregate holding time is compared with time warning threshold, if cluster structure will be unstable, route recovery process will be activated before the link fails. And it will search new routing in order to avoid frequent link failures. Thus, the influence to the routing protocols brought by the dynamic changes of network topology can be reduced, and the stability of the cluster structure will be maintained. The simulation results show that, compared with LOWID and RLWCA not joined the forecasting mechanism, the proposed ARP-LWCA algorithm can dramatically improve the network packet delivery rate, reduce the network normalized overhead and the number of routing interruptions significantly. So, the network performance is improved.

Keywords Ad-hoc networks, ARIMA prediction, Cluster algorithm, CBRP

1 引言

Ad-hoc 网络^[1]是一种移动通信和计算机网络相结合的特殊无线移动网络,最初的结构是平面式的,每个节点都维持与其他节点的路由信息^[2]。随着网络节点发送数据量的增大,路由维护将给节点带来极大的负担。解决这个问题的最好方法就是采用分级结构,而分级结构常常需要通过分簇^[3]的方法来构造,即将网络节点划分成若干个簇,每个簇通常由一个簇头和多个普通节点组成,并且簇头和网关形成高一级的网络。如何从普通节点中选取簇头,将对网络的稳定性和可靠性产生很大的影响。

目前,国内外许多研究人员对 Ad-hoc 网络的分簇算法^[4]进行了研究。Grela 和 Tsai 提出最小 ID 分簇算法(LOW-ID)^[5],每个节点分配唯一的 ID,相邻节点中具有最小 ID 的节点作为簇头,算法收敛较快。但该算法的缺点在于倾向于选择较小 ID 的节点作为簇头,没有考虑负载均衡等因素。文献^[6]提出一种基于权重的动态分簇算法(WDCA),即在 WCA 的基础上结合多跳分簇的思想,产生基于权重的动态分簇算法,但是在节点移动性较强时,簇结构的稳定性难以保证。文献^[7]中提出了一种基于节点移动机制的加权分簇算法(MPWCA),它综合考虑了节点的度和理想度之差、节点的剩余能量和节点的移动性等因素,并对节点移动性的计算方

到稿日期:2011-04-17 返修日期:2011-06-06 本文受国家自然科学基金(10878017)资助。

沙 毅(1959-),男,副教授,主要研究方向为无线 Ad-hoc 网络路由技术、现代信号处理与预测理论及其应用、智能控制理论与应用技术等, E-mail: shayi@ise.neu.edu.cn; 杨 艳(1981-),女,硕士,主要研究方向为无线 Ad-hoc 网络路由技术等; 黄 焯(1959-),男; 朱丽春(1964-),女,研究员,主要研究方向为天文技术及方法; 张志伟(1980-),男,工程师,主要研究方向为通信与信息系统。

法进行了改进,但其在改进过程中只注意了节点间的相对速度,并且没有消除由于各节点总权值接近时可能产生的簇结构频繁变更的震荡现象。

本文在研究现有分簇算法的基础上,结合基于地理位置的分簇算法和加权分簇算法的思想,提出了一种改进的基于地理位置的加权分簇算法 RLWCA (Restrictive Location-based on-demand Weighted Clustering Algorithm),它综合考虑了节点度的偏差、节点在通信范围内的保持时间和节点的剩余能量因素,使节点在选择簇头时的权值更趋向于合理性,簇结构更稳定。

2 节点运动轨迹预测

ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average)模型^[8]也称为差分自回归移动平均模型,是由统计学家 Box 和 Jenkins 提出的,又称 B-J 模型。该模型系统是一组模型的统称,包括自回归模型 $AR(p)$ 、移动平均模型 $MA(q)$ 、平稳自回归移动平均模型 $ARMA(p, q)$ 、非平稳求和自回归移动平均模型 $ARMA(p, d, q)$ 。

本文使用的模型为 $ARMA(p, d, q)$ 。当时间序列为非平稳序列时,若通过 d 次差分可使序列平稳,其表达式如下:

$$(1-B)^d X_t = \varphi_1 (1-B)^d X_{t-1} + \varphi_2 (1-B)^d X_{t-2} + \dots + \varphi_p (1-B)^d X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

以上模型即为

$$\varphi(B)(1-B)^d X_t = \theta(B)\varepsilon_t \quad (2)$$

对于已经确定的时间序列分析模型,采用最小均方差误差预测法进行分析。由式(2)得

$$X_t = \Psi_1 \varepsilon_{t-1} + \Psi_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \Psi_p \varepsilon_{t-p} + \varepsilon_t = \Psi(B)\varepsilon_t \quad (3)$$

式中, Ψ_1, Ψ_2, \dots 的值由如下等式确定:

$$\Phi(B)(1-B)\Psi(B) = \Theta(B)$$

如果把 $\Phi^*(B)$ 记为广义自相关函数,有

$$\Phi^*(B) = \Phi(B)(1-B)^d = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 + \dots \quad (4)$$

容易验证 Ψ_1, Ψ_2, \dots 的值满足如下递推公式:

$$\begin{cases} \Psi_1 = \phi_1 - \theta_1 \\ \Psi_2 = \phi_1 \Psi_1 + \phi_2 - \theta_2 \\ \dots \\ \Psi_j = \phi_1 \Psi_{j-1} + \dots + \phi_p \Psi_{j-p} - \theta_j \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\Psi_j = \begin{cases} 0, & j < 1 \\ 1, & j = 0, \theta_j = 0, j > q. \end{cases}$

设已知时刻 t 和以前时刻的观察值 $x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots$, 我们将用已知的观察值预测时刻 t 后的观察值 $x_{t+l} (l > 0)$, 记为 $\hat{x}_l(L)$, 称为时间序列 $\{X_t\}$ 的第 l 步预测值。

那么, X_{t+l} 的真实值为

$$X_{t+l} = (\varepsilon_{t+l} + \Psi_1 \varepsilon_{t+l-1} + \dots + \Psi_{l-1} \varepsilon_{t+1}) + (\Psi_l \varepsilon_t + \Psi_{l+1} \varepsilon_{t-1} + \dots) \quad (6)$$

由于 $\varepsilon_{t+l}, \varepsilon_{t+l-1}, \dots, \varepsilon_{t-1}$ 的不可获得性, 因此 X_{t+l} 的估计值只能为

$$\hat{x}_l(L) = \Psi_0^* \varepsilon_t + \Psi_1^* \varepsilon_{t-1} + \Psi_2^* \varepsilon_{t-2} + \dots \quad (7)$$

真实值与预报值之间的均方误差为

$$E[x_{t+l} - \hat{x}_l(L)]^2 = (1 + \Psi_1^2 + \dots + \Psi_{l-1}^2) \sigma^2 + \sum_{j=0}^{\infty} (\Psi_{t+j} - \Psi_j^*)^2 \sigma^2 \quad (8)$$

要使均方误差最小, 当且仅当

$$\Psi_j^* = \Psi_{t+j} \quad (9)$$

所以, 在均方误差最小的原则下, l 期的预报值为

$$\hat{x}_l(L) = \Psi_l \varepsilon_t + \Psi_{l+1} \varepsilon_{t-1} + \Psi_{l+2} \varepsilon_{t-2} + \dots \quad (10)$$

l 期的预报误差值为

$$e_l(L) = \varepsilon_{t+l} + \Psi_1 \varepsilon_{t+l-1} + \dots + \Psi_{l-1} \varepsilon_{t+1} \quad (11)$$

真实值等于预报误差加上预报值:

$$\begin{aligned} X_{t+l} &= (\varepsilon_{t+l} + \Psi_1 \varepsilon_{t+l-1} + \dots + \Psi_{l-1} \varepsilon_{t+1}) + (\Psi_l \varepsilon_t + \Psi_{l+1} \varepsilon_{t-1} + \dots) \\ &= \hat{x}_l(L) + e_l(L) \end{aligned} \quad (12)$$

l 期的预报方差值为

$$\text{Var}[e_l(L)] = (1 + \Psi_1^2 + \dots + \Psi_{l-1}^2) \sigma^2 \quad (13)$$

在仿真环境中以相等时间间隔提取了节点 30 个时刻的地理位置信息, 分别对节点的横纵坐标绘制时间序列图。对此模型进行上述的最小均方差误差预测, 可以得到节点在下一时刻的地理位置信息。将预测值和实际值进行比较, 若它们之间的绝对差异较小, 则表明模型预测的效果较好。

3 基于地理位置的加权分簇算法 RLWCA

传统的 WCA 算法对于节点的移动性预测^[9] 不够, 没有综合考虑节点的位置、速度和移动方向, 簇结构难以稳定。文献[10]提出一种基于移动保持时间的算法。借鉴文献[10]中算法的思想, 将 WCA 算法中节点到邻居节点的距离 S_v 和节点的平均移动性 M_v 相结合, 节点在簇通信范围内的累计保持时间作为衡量簇结构稳定性的主要标准, 提出一种改进的基于地理位置的加权分簇算法(RLWCA)。其组合权重的计算式为

$$\text{Weight} = c_1 \times D_v + c_2 \times P_v - c_3 \times T_v \quad (14)$$

其中, 各项参数的具体含义如下:

- (1) D_v 表示节点度数(邻居节点数目)与理想度数之差。
- (2) P_v 表示节点自身已经消耗的电池能量, 可以从节点能量模型中取得初始能量和当前能量, 它们之间的差就是 P_v 。
- (3) T_v 表示节点移出簇头覆盖范围内的累加时间, 也称为节点的累计保持时间。

计算过程如下:

每个节点 i 在启动时先以额定功率发送广播, 向邻居宣告自己的 ID 和目前速度 (v_{ix}, v_{iy}) , 然后侦听邻居的存在广播, 记录下它们的速度并统计邻居数目, 以自己为圆心监测每个邻居节点 j 相对于自己的位置 (x_j, y_j) 。

设节点的速度为 (v_{x0}, v_{y0}) , 则可计算邻居节点 j 相对于自己的速度:

$$(v_x, v_y) = (v_{xj} - v_{x0}, v_{yj} - v_{y0}) \quad (15)$$

设节点的功率覆盖范围为 R , 当 $v_x \neq 0$ 时, 令 j 运动轨迹的斜率为 $a = \frac{v_y}{v_x}$, 可计算出节点 j 移出其覆盖圆的交点 C

(x_1, y_1) 的坐标:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{a(ax_j - y_j) \pm \sqrt{(2a^2 - 1)(ax_j - y_j)^2 + R^2(1 - a^2)}}{1 + a^2} \\ y_1 = ax_1 - ax_j + y_j \end{cases} \quad (16)$$

式中, 如果 $v_x > 0$, 则 x_1 选择式(16)中较大的值, 否则选择减项。当 $v_x = 0$ 时, j 的移动轨迹为一条竖线, 此时交点 C 的坐

标是

$$\begin{cases} x_1 = x_j \\ y_1 = \pm \sqrt{R^2 - x_j^2} \end{cases} \quad (17)$$

式中,当 $v_y > 0$ 时, y_1 选择正项,否则选择负项。然后计算 j 以相对速度沿运动轨迹从 (x_j, y_j) 移动到交点 C 所需的时间,也就是 j 在通信范围内的保持时间:

$$t_j = \frac{\sqrt{(y_1 - y_j)^2 + (x_1 - x_j)^2}}{|v|} \quad (18)$$

最后根据收集到的邻居节点数据计算每个邻居节点移出本节点通信范围内的累加时间:

$$T_v = \sum_{j=1}^N t_j \quad (19)$$

在 RLWCA 算法中,其组合权重的计算公式主要考虑 3 方面的因素:节点的稳定性、节点的能量状态和节点度的偏差。其中,节点度数与理想度数之差以及节点已消耗的能量两个因素越小,节点成为簇头的可能性越大。而节点移出通信范围的累计时间越长,则说明节点的稳定性越大。因此,通过计算公式可知,应选取 Weight 越小的节点作为簇头。

4 基于 ARIMA 预测模型的加权分簇算法 (ARP-LWCA)

4.1 簇的建立

簇的建立过程,即簇头的选举过程,主要任务是将网络进行分簇。其具体步骤如下:

(1) 系统启动时,每个节点 i 向邻居节点宣告自己的 ID 和目前速度 (v_{xi}, v_{yi}) ,然后侦听邻居节点的存在广播,记录它们的速度并统计邻居节点数目,以自己为圆心检测每个邻居 j 相对于自己的位置 (x_j, y_j) 。

(2) 节点将自己的 ID、当前位置信息以及速度方向等信息加入节点 HELLO 消息包,广播至周围的一跳邻居节点。邻居节点收到该节点的 HELLO 消息包后,查看自己的邻居列表。如果该节点已经存在于邻居列表之中,则更新该节点在邻居列表中的信息,包括节点位置信息、节点移送信息以及节点更新时间等。如果该节点不在邻居列表之中,则将其添加到邻居列表中。在节点发送 HELLO 消息包一段时间后,假设其已经接收到了所有邻居节点的 HELLO 消息报文,即节点的邻居列表在一段时间内没有再增加新的邻居节点。此时,根据式(14)计算节点的权值。考虑到本算法中节点的累计保持时间作为簇结构稳定性的因素比较重要,所以权重的分配值为 $c_3 = 0.6, c_1 = c_2 = 0.2$ 。

(3) 每个节点将组合权值 weight 和节点 ID 放置于节点权重报文中,向周围的一跳邻居节点广播。每个节点在接收到邻居节点权重报文之后,更新自身的邻居列表中信息。在一段时间之内,如果节点没有接收到原邻居列表中节点的权重报文,则将该原邻居列表中的该节点删除。如果节点接收到原邻居列表中节点的权重报文,则将更新该邻居节点的权重。如果节点接收到的不是原邻居列表中节点的信息报文,则将其抛弃。

(4) 节点发送权重报文一段时间后,如果节点的邻居列表中所有的权重信息都得到更新,则节点将判断自身权重是否比所有邻居节点的权重都要小。如果权重相等,则看节点 ID 是否比邻居节点 ID 要小。如果自身权重比所有邻居节点的权重都小,则节点发送一个表明自身成为簇头的消息,否则

等待邻居节点成为簇头的消息。

(5) 对于没有成为簇头的普通节点,如果其接收到邻居节点成为簇头的消息,则将自身状态变为簇成员,并更新自己的簇头表,不再参与簇头选举过程。否则,节点将自身设置为簇头,并发送成为簇头的消息。

(6) 如果还有状态处于初始状态的节点,则继续执行簇头选举过程,直到所有节点的状态都变成簇头或簇成员为止。

4.2 节点累计保持时间的预测和累计保持时间预警阈值

我们通过建立的历史数据表可以获得某个节点前 t 个时刻的地理位置信息。假设已知簇头节点 i 、成员节点 j 前 $n-1$ 个时刻和当前时刻 t 的位置信息,根据最小二乘估计法求得模型的参数之后,利用上文中的最小均方误差预测原理可以计算出节点 i, j 在 $t+1$ 时刻的位置信息 $(\hat{x}_i(t+1), \hat{y}_i(t+1))$ 和 $(\hat{x}_j(t+1), \hat{y}_j(t+1))$ 。

通过式(16)可以计算出成员节点 j 移出簇头节点 i 通信范围的交点 C_j 的预测值 $(\hat{x}_1(t+1), \hat{y}_1(t+1))$ 。通过式(18)则可计算出成员节点 j 移出簇头节点 i 通信范围的时间,即节点 i 在 $t+1$ 时刻的保持时间预测值 \hat{t}_j :

$$\hat{t}_j = \frac{\sqrt{(\hat{y}_1(t+1) - \hat{y}_j(t+1))^2 + (\hat{x}_1(t+1) - \hat{x}_j(t+1))^2}}{|v|} \quad (20)$$

$\hat{T} = \hat{t}_j$ 为节点累计保持时间的预测值。

4.3 ARP-LWCA 的路由发现维护

当分簇结构形成以后,一个节点需要和某个节点通信而又没有到此目的节点的有效路由时,它会启动路由发现过程。源节点首先初始化 RREQ 包,记录本节点当前时刻的地理位置信息,并向其邻居节点广播 RREQ。如果是成员节点收到该数据包,则丢弃。如果是簇头节点收到该数据包,则首先查询路由表,判断自身有没有到达目的节点所在簇头的反向路由。如果有,则建立反向路由;如果没有,则判断该 RREQ 包是否第一次收到。如果是,则丢弃该 RREQ 包;如果不是,则判断目的节点是否在本簇。如果在,则判断自身是否为目的节点。如果是,则回复路由响应报文 RREP;如果不是,则单播给目的节点,回复路由响应报文 RREP。如果目的节点不在本簇,则判断有没有到达目的节点的有效路由。如果有,则回复路由响应报文;如果没有,则将 RREQ 广播邻居簇的簇头节点。收到该分组的簇头节点继续向其邻居簇头转发,直到该分组到达目的节点所属簇的簇头节点,该簇头节点向目的节点单播该 RREQ。

实际的路由建立是在目的节点向源节点发送 RREP 的过程中完成的。RREP 沿着 RREQ 中记录的簇头节点逆向转发时,会将经过的网关节点加入到路由表中。

在路由维护阶段,以节点的累计保持时间预警阈值 T' 为预警依据,当预测出节点的保持时间预测值 $\hat{T} < T'$ 时,向其上游节点发送预警信号,启动预修复过程。当上游节点接收到预警信号后,启动路由发现过程。根据预测的下一时刻的位置信息建立相对稳定的新路由之后,切换路由,实现在不中断数据传输的情况下选择更稳定的链路进行通信。

5 仿真及性能分析

使用 NS2 仿真相同条件下 LOWID、RLWCA 和 ARP-

RLWCA 分簇算法的路由协议。表 1 给出了仿真过程中所使用的环境参数。在整个无线仿真环境中,节点随机地分布在 $800\text{m} \times 800\text{m}$ 的矩形区域内,每个节点使用相同的无线收发设备,无线传输半径为 250m ,采用单一增益的全向天线,信道容量为 2Mbit/s 。为了分析 LOWID、RLWCA 和 ARP-RLWCA 3 种分簇算法在路由协议中的性能,本文从节点密度对分组投递率、路由中断次数和归一化路由控制开销 3 个方面进行分析比较。

表 1 仿真环境参数

参数	值	参数	值
路由协议	CBRP	传播模型	TwoRayGround
信道	WirelessChannel	网络接口	Phy/WirelessPhy
MAC 协议	IEEE802.11	全向天线	OmniAntenna
移动模型	RWP	业务类型	CBR
接口队列	PriQueue	队列长度	50
移动场景	$800\text{m} \times 800\text{m}$	发包速率	1packet/s
仿真时间	600s		

在模拟过程中,网络中节点的个数在 20 到 70 之间变化,节点的运动停留时间为 0s ,节点运动的平均速度为 15m/s 。其他参数设置详见表 1,得到的数据如图 1 至图 3 所示。

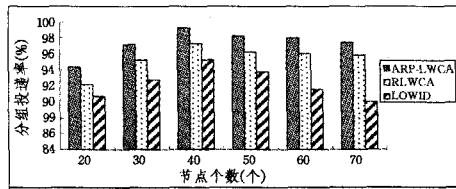


图 1 分组投递率与节点个数

如图 1 所示,随着网络节点个数从 20 变化到 70,ARP-LWCA 和 LWCA 的分组投递率相对于 LOWID 都有不同程度的增加,分别高出 $4\% \sim 7\%$ 和 $2\% \sim 5\%$ 。但当网络节点密度很大时,簇头负担增加,分组投递率也有所降低。

图 2 显示了路由中断次数与网络中节点个数之间的关系。可以看出,RLWCA 较 LOWID 的路由中断次数有所减少,但 ARP-LWCA 的路由中断次数较前两种分簇算法有明显减少,这是因为 ARP-LWCA 和 RLWCA 在选择簇头时,选用了节点累计保持时间最大的节点担当簇头,使得簇结构稳定性高,所以建立的路由相对比较稳定,链路断裂的机会减小,路由中断次数减少。并且 ARP-LWCA 又在 RLWCA 的基础上增加了预测机制来实时预测并保证链路的稳定性,因此路由中断次数明显减少。

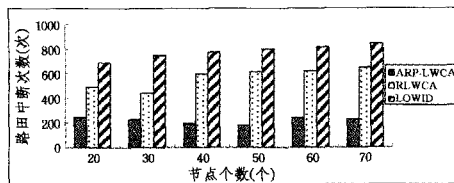


图 2 路由中断次数与节点个数

图 3 显示出归一化网络开销与网络中节点个数之间的关系。从图中的结果可知,由于网络节点个数的增加,导致传递的控制包的数量显著上升,致使网络的路由开销也随着上升。其中,ARP-LWCA 的网络开销大于 RLWCA,因为 ARP-LWCA 中增加了预修复过程,在这个过程中增加了预警控制包,并且路由中断之前就开始新的路由发现,因而路由的切换增多,使路由控制开销增加,但增加的开销并不是很大,对于应

用来说是可以接受的。

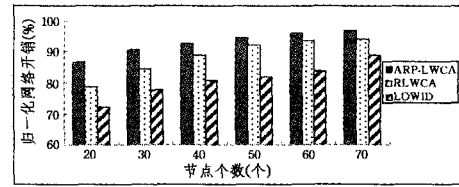


图 3 归一化网络开销与节点个数

结束语 本文提出了基于 ARIMA 预测模型的加权分簇算法 ARP-LWCA。通过 GPS 系统提供的节点地理位置信息,利用建立的 ARIMA 模型实时预测出节点下一时刻的地理位置,并以此计算出节点的累计保持时间预测值。在路由维护阶段利用 ARIMA 模型预测簇头的累计保持时间,将预测的下一时刻的节点累计保持时间与时间预警阈值进行比较。如果预测出链路即将不稳定,则在链路断开之前,提前启动预修复过程,完成簇的重构,以避免网络中链路的频繁断裂,降低网络拓扑动态变化对路由协议的影响,维护簇结构的稳定。仿真结果表明,ARP-LWCA 与 RLWCA 和 LOWID 相比在选择稳定路径方面有很大的改进,路由中断次数明显减少,从而使得分组投递率要明显优于 RLWCA 和 LOWID 两种算法。尤其当节点移动速度加快时,ARP-LWCA 的以上性能优势更加明显。由此证明,增加预测机制的分簇算法 ARP-LWCA 是可行且有效的。

参考文献

- [1] Frodigh M, Johansson P, Larsson P. Wireless ad hoc networking—the art of networking without a network[J]. Ericsson Review, 2000 (4): 248-262
- [2] Costa-Requena J, Vadar T, Kantola R, et al. AODV-OLSR Scalable Ad-hoc Routing Proposal [J]. Wireless Pervasive Computing, 2006, 16(18): 5-11
- [3] Yang Wei-dong. Novel Clustering Algorithm for Mobile Ad-hoc Network and Its Performance Simulations[J]. Journal of System Simulation, 2010(05): 89-95
- [4] Su Xiao, Yu Hong. An average degree clustering algorithm in mobile ad hoc network[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2010 (02): 130-135
- [5] Lin C H R, Gerla M. A distributed architecture for multimedia in dynamic wireless networks[C]// IEEE GLOBECOM. 1995, 2: 1468-1472
- [6] 张卫刚,何庆,陈浩亮,等.一种基于权重的动态分簇算法[J].暨南大学学报:自然科学版,2009(2): 35-39
- [7] 高磊,严悍. MANET 中基于移动预测的按需加权分簇算法[D].南京:南京理工大学,2008
- [8] 王黎明,王连,杨楠.应用时间序列分析[M].上海:复旦大学出版社,2008: 1-85
- [9] Wang Z, Liu L, Zhou M C, et al. A Position-based Clustering Technique for Ad-hoc Intervehicle Communication [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C: Applications Reviews, 2008, 38(2): 201-208
- [10] Huang Wei-hong, Li Ren-fa, Peng Xian-wu. Clustering Algorithms for Wireless Self-organized Networks Based on Mobile Holding Time[J]. Networks and Communication, 2007, 23(3): 95-97