

基于节点稳定度预测机制的 Ad hoc 网络中 关键节点探测算法研究

沙 毅 李 娜 吴 斌

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110819)

摘 要 为了更好地适应 Ad hoc 网络拓扑结构的动态特性,提出一种基于灰色预测模型的具有节点稳定度预测功能的 NS-PMRC(Node Stability Prediction algorithm of Midpoint Range Circle)算法。该算法结合 GPS 系统提供的节点地理位置信息,在路由维护阶段利用等维递补灰色预测模型实时预测出节点下一时刻的地理位置,并计算下一时刻节点间的距离和节点稳定度。通过比较下一时刻节点间稳定度来判断关键节点的存在条件。该算法相对于 PMRC 算法提高了探测准确度,并明显提高了网络整体性能。

关键词 Ad hoc 网络,关键节点,节点稳定度,灰色模型,预测

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Critical Nodes Detection Algorithm Based on Node Stability Prediction in Ad hoc Network

SHA Yi LI Na WU Bin

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

Abstract In order to better adapt to the dynamic characteristics of Ad hoc network topology structure, a NS-PMRC algorithm with node stability prediction was proposed based on grey prediction model. Combined with node location information provided by the GPS system, using established equidimensional filling vacancies grey prediction model, the next moment geographical position of the nodes can be predicted, and the distance between the nodes can be computed and the node stability at the next moment can be predicted in the routing maintenance stages. Comparing the next moment stability between nodes can determine the conditions of existence of critical nodes. Compared with PMRC, NS-PMRC improved the accuracy of detection, then the network performance is improved significantly.

Keywords Ad hoc networks, Critical nodes, Node stability, Grey model, Prediction

1 引言

无线 Ad hoc 网络^[1]是当今最具有活力和灵活性的网络之一。Ad hoc 网络一个明显的特征^[2]是由于节点的移动性而使其在连通时快速变化。节点的移动性等因素会导致网络拓扑快速变化,断链、分割频繁发生。若进行通信的源节点与目的节点恰在不同的分割块中,通信将无法进行,因此确保动态环境下网络拓扑的连通性是 Ad hoc 网络应用中的一个根本问题。Ad hoc 网络中存在一些“关键节点”,该节点的失效或与之相连的某条链路的失效将导致网络成为分割的部分,关键节点会极大地影响网络的连通性,因此,及时、准确地探测到关键节点,是进行网络分割预测的前提。目前,已有一些检测移动 Ad hoc 网络关键节点的研究。文献[3]在探测出关键链路的前提下,通过改变构成关键链路节点的轨迹或搬移其他节点这两种方法来延迟或者避免网络出现分割;文献[4]提出一种分布式的预测网络拓扑分割的算法,该算法基于网络中每个节点能够感知自己的位置信息及其一跳邻居节点的

运动速度,计算节点与其邻居节点分割的概率,该算法要求节点能够感知邻居节点的运动速度,这实现起来比较困难,并且预测准确度不高;文献[5]采用目前已经存在的组移动模型,利用节点规律运动的特点来预测网络可能出现的分割,该算法要求节点必须具有组移动特征,其条件比较苛刻。文献[6]采用 H 跳本地信息来检测关键节点,通过管理关键节点来保持网络连通性。检测出关键节点的准确度与 H 有关, H 越大,准确度越高,但是额外的通信开销也会越大。文献[7]针对网络中极易导致网络分割的关键节点,从本质上揭示了关键节点 i 与两个决定性因素即邻居节点度 N_i 和基本回路度 M_i 的关系,指出 $N_i - M_i \geq 2$ 是关键节点 i 存在的充要条件,并在此基础上提出了 DPDP 算法。该算法在判断关键节点时具有准确度高、开销小等特点,但是 DPDP 算法只适应于平面化的网络拓扑。

针对上述问题,本文在基于中点覆盖圆关键节点探测算法 PMRC(Prediction algorithm based on Midpoint Range Circle)的基础上,研究设计了基于节点稳定度预测机制的关键

到稿日期:2011-10-17 返修日期:2011-12-30 本文受国家自然科学基金资助项目(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@mail.neu.edu.cn; 李 娜(1986—),女,硕士,主要研究方向为无线 Ad hoc 网络路由技术; 吴 斌(1981—),男,硕士,主要研究方向为智能控制理论与应用技术。

节点探测算法 NS-PMRC(Node Stability Prediction algorithm of Midpoint Range Circle)。NS-PMRC 是一个高效拓扑自适应、快速准确探测关键节点、高效缩减探测费用的分布式算法。

本文第 2 节介绍灰色预测模型和 NS-PMRC 算法的基本思想及其系统模型,给出节点稳定度的计算方法,并利用改进的灰色模型进行预测,最后阐述 NS-PMRC 算法的实现步骤;第 3 节对 NS-PMRC 算法进行仿真,并与 PMRC 算法进行对比分析,验证该算法的可行性和有效性;最后针对算法的论述和仿真结果进行总结。

2 节点稳定度关键节点探测算法(NS-PMRC)

采用基于节点间距离的判定标准来判定节点稳定度。该标准通过自由空间传播模型将信号强度转化为节点间的距离。利用改进的灰色预测模型,预测出下一时刻节点的地理位置,进而计算出节点间的距离和稳定度,选择一条稳定的路径进行路由选择,以避免频繁的重路由操作,降低网络拓扑动态变化对路由协议性能的影响。

2.1 灰色预测模型

灰色系统^[8]分析方法通过鉴别系统因素之间发展趋势的相似或相异程度进行关联度分析,通过对原始数据的生成处理来寻求系统变动的规律。生成数据序列有较强的规律性,可以用它来建立相应的微分方程模型,从而预测事物未来的发展趋势或未来状态。灰色预测使用灰色模型 GM(1,1)进行定量分析。该模型是一个近似的差分微分方程模型,具有微分、差分、指数兼容的性质,将系统看成一个随时间变化的函数,在建模^[9]时,不需要大量数据的支持,也不需要数据服从典型的概率分布,即可取得较好的预测效果,达到较高的拟合和预测精度。本文采用该预测模型。

按照原始数据建立的 GM(1,1)模型其检验精度不高或检验不合格,为此本文对灰色预测模型进行改进,采用残差修正模型与等维递补灰色预测模型相结合的方法对节点的运动轨迹进行预测,其基本思想如下:对原始数据进行等维递补处理后,再进行残差修正预测。该模型融合了残差修正模型与等维递补灰色预测模型的优点,具有比单一预测模型更高的预测精度。组合预测就是综合利用各种单个预测模型所提供的信息,以适当的加权平均形式得出组合预测模型,它比单个预测模型更系统、全面、科学,并能有效地减弱一些环境因素的影响。采用残差灰色预测模型和等维递补预测模型进行组合建模。

设 $x_1^{(0)}(k)$ 和 $x_2^{(0)}(k)$ 分别为残差灰色预测模型和等维递补模型对原始序列的预测值, $x^{(0)}(k)$ 是两种方法对原始序列的最优组合预测值,预测误差分别为 e_1 、 e_2 和 e 。则组合预测模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k) = w_1 \hat{x}_1^{(0)}(k) + w_2 \hat{x}_2^{(0)}(k) \quad (1)$$

式中, w_i 为第 i 种预测方法的组合权重系数, $0 < w_i < 1$, 且 $w_1 + w_2 = 1$ 。

预测误差为

$$e = w_1 e_1 + w_2 e_2 \quad (2)$$

方差为

$$\text{var}(e) = w_1^2 \text{var}(e_1) + w_2^2 \text{var}(e_2) + 2w_1 w_2 \text{cov}(e_1, e_2) \quad (3)$$

式中, $\text{cov}(e_1, e_2)$ 为协方差,将 w_1 对 $\text{var}(e)$ 求极小值,可得

$$w_1 = \frac{\text{var}(e_2) - \text{cov}(e_1, e_2)}{\text{var}(e_1) + \text{var}(e_2) - 2\text{cov}(e_1, e_2)} \quad (4)$$

在许多实际情况中,不同预测方法之间不相关,即 e_1 、 e_2 互相独立,可取 $\text{cov}(e_1, e_2) = 0$,则组合预测权重系数分别为

$$w_1 = \frac{\text{var}(e_2)}{\text{var}(e_1) + \text{var}(e_2)}, w_2 = 1 - w_1 \quad (5)$$

即可建立组合灰色预测模型。

在仿真环境中,以相等时间间隔提取 30 个地理位置信息,利用灰色组合预测模型分别对节点的横、纵坐标进行预测,并对其结果进行精度分析。实验结果表明,维数为 4 的预测模型精度最高,因此本文选择 4 维等维递补 GM(1,1)模型对节点的地理位置信息进行预测。

2.2 基于节点稳定度关键节点探测算法的基本思想

本文将网络中的节点定义为以下 3 种类型。

(1)全局关键节点:如果某个节点失效后,网络被分成了两个或更多的部分,就认为该节点是全局关键节点。它是从整个网络范围内寻找出的关键节点,如图 1 所示的节点 L。本文中的全局关键节点一般称为“关键节点”。

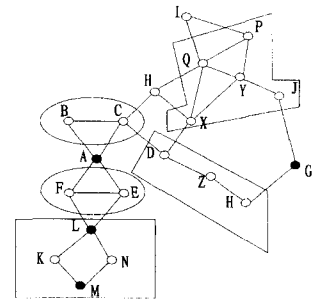


图 1 网络中的节点分类示意图

(2) k 跳局部关键节点:如果两个节点间的最短距离不超过 k 跳,就称它们互为 k 跳邻节点。对于任何一个节点的 k 跳邻节点构成的子图,如果去掉该节点及与其相关联的链路后,该子图仍为连通的,则认为该节点不是关键节点;反之,认为它是 k 跳局部关键节点。

如图 1 所示,节点 G 的两跳邻节点包括节点 H、J、Z、Y,这些节点如果没有节点 G 就不可能连通,因此,节点 G 就是一个两跳局部关键节点。考虑节点 G 的三跳情况,节点 H、J、Z、Y、D、X、Q、P 是节点 G 的三跳邻节点,在不存在节点 G 及链路 HG、GJ 的情况下,这些节点仍可以保证连通,因为链路 DX 的存在可以将这些节点连接起来,所以节点 G 不是一个三跳局部关键节点,因而也不是一个全局关键节点。

显然, k 值越大,子图就可以获得越多的拓扑信息,因此,这样查找出来的局部关键节点称为全局关键节点的概率就会更大。但是这又会增加一定的网络开销,因此应该在网络开销和 k 值间寻找一个较好的折中,这一点是和网络规模紧密相关的。

(3)普通节点:网络中既不是全局关键节点,也不是局部关键节点的其它所有节点,它们的失效不会对网络拓扑造成大的影响。

根据上述定义,可以得到这样的结论:全局关键节点一定

是一个局部关键节点,而局部关键节点不一定是全局关键节点。或者说,如果一个节点不是局部关键节点,那么它也不是全局关键节点。

2.3 NS-PMRC 算法的系统模型

网络以图 $G=(V,E)$ 为模型, V 在网络中代表顶点集, E 代表边集, 当且仅当节点 $u,v \in V$ 在彼此的通信范围之内时, 存在边 $e=(u,v) \in E$, 反之亦然。 G 图中所有的连接都是双向的, 也就是说, 如果 u 在 v 的传输范围之内, 那么 v 也在 u 的传输范围之内。所以, 如果 $(u,v) \in E$, 则称节点 u 和 v 互为邻节点。假设各节点的传输距离是 r 。定义 d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的距离。如果 $(i,j) \notin E$, 则 $d_{ij} = \infty$ 。

在网络 G 中讨论任意一个节点 n 和它的邻节点(这些邻节点为 K)构造 G 的一个子图 $G^*=(V^*, E^*)$, 其中 $V^* \subset V$, $E^* \subset E$, 在 G^* 中的节点既是邻节点也是两跳节点, 因为如果一对节点在 G^* 中不是邻节点, 它们可以通过节点 n 通信。假设 G 中所有节点有相同的传输半径 r , 且节点 i 和 j 是两跳节点。

基于全局关键节点与局部关键节点的关系, 本文先在局部范围内探测 k 跳拓扑关键节点, 再针对出现的 k 跳拓扑关键节点发起泛洪, 在全局范围内检测该节点是否为全局关键节点。这里选取 $k=2$, 因为 k 值过大, 将导致局部探测时间过长, 而使得算法无法跟踪快速变化的网络拓扑; k 值过小, 又不能有效地减少需进行全局检测的节点数目, 也就使得泛洪开销过大。由实验获知 70% 以上的 2 跳拓扑关键节点是全局关键节点, 因此折衷后取 $k=2$ 。该算法是分布式的, 每个节点可独立启动算法, 根据收集到的其它节点给予的各种反馈信息做出自我判断。假设数据包的传送是完全可靠的。

2.4 节点稳定度的计算

无线传播模型揭示了无线电波发送功率、接收功率和传播距离间的关系。当两个无线节点在非常近的位置时, 福利斯自由空间模型 Friis 比较接近于实际情况; 而当两个无线节点距离比较远时, Two-Ray 模型比较适用。考虑无线信号传播模型采用双向地面反射 (Two-Ray) 模型的情况, 接收信号功率 p_{rx} 可由下式计算得出

$$p_{rx} = \frac{p_{tx} h_t^2 h_r^2 G_t G_r}{d^4} \quad (6)$$

式中, p_{tx} 表示信号的发射功率, G_t 表示发送节点的天线增益, G_r 表示接收节点的天线增益, h_t 表示发送节点的天线高度, h_r 表示接收节点的天线高度, d 为发送节点和接收节点之间的距离。已设 P_t 是一个常数, 另外假设节点使用定向天线, 则 $h_t^2 h_r^2 G_t G_r$ 是一个常数, 以 k 表示。则式(6)可变换为

$$p_{rx} = k \frac{p_{tx}}{d^4} \quad (7)$$

设节点最低接收功率为 p_{min} , 对应距离即节点的有效通信范围为 d_0 , 则由式(7)可得

$$k p_{tx} = p_{min} d_0^4 \quad (8)$$

信号绝对强度为 $\bar{P} = \frac{p_{tx}}{p_{min}}$, 则由式(8)可得

$$\bar{P} = \frac{p_{rx}}{p_{min}} = \frac{k p_{tx}}{d^4 p_{min}} = \frac{p_{min} d_0^4}{d^4 p_{min}} = \frac{d_0^4}{d^4} \quad (9)$$

假定节点采用同一类型, 则其发送功率相同, 这样也决定

了其有效通信范围(设为 d_0)相同。设节点 m 与节点 n 间的稳定度^[10]用 S_{mn} 表示, 定义如下

$$S_{mn} = \frac{\bar{P}}{d^2} \quad (10)$$

由式(9)和式(10)可得

$$S_{mn} = \frac{\bar{P}}{d^2} = \frac{d_0^4}{d^6} \quad (11)$$

由此看出, 节点的稳定度与节点有效通信范围、节点间的相互距离有关。

2.5 节点稳定度的预测

节点稳定度是本算法中非常重要的一部分, 由于本算法增加了预测机制, 需要对节点未来时刻的稳定度提前进行预测。借助于 GPS, 源节点定期地获得目的节点的位置信息, 根据这些信息预测目的节点下一时间段内的位置, 从而在路由发现阶段方向性地发送寻路报文到达目的节点, 以此减小路由控制报文的开销, 提高网络性能。

本文通过 GPS 系统获取节点的地理位置信息, 然后利用灰色预测模型, 可以预测出节点下一时刻的地理位置信息^[11]。假设已知节点 m, n 在前 $k-1$ 个时刻和当前时刻 t 的地理位置信息, 利用这些信息来建立灰色预测模型, 根据最小二乘法求得灰色预测模型的参数之后, 预测出节点 m 在下一时刻 $t+1$ 的节点 m' 的地理位置为 $x_m(t+1), y_m(t+1)$, 则两个时刻节点 m, n 和 m', n 间的距离分别为

$$d_{mn} = \sqrt{(x_m(t) - x_n(t))^2 + (y_m(t) - y_n(t))^2} \quad (12)$$

$$d_{m'n} = \sqrt{(x_m(t+1) - x_n(t))^2 + (y_m(t+1) - y_n(t))^2} \quad (13)$$

将式(12)、式(13)代入式(11)中, 可得在 t 时刻节点 m, n 之间及 $t+1$ 时刻节点 m', n 之间的稳定度分别为

$$S_{mn} = \frac{d_0^4}{[(x_m(t) - x_n(t))^2 + (y_m(t) - y_n(t))^2]^3} \quad (14)$$

$$S_{m'n} = \frac{d_0^4}{[(x_m(t+1) - x_n(t))^2 + (y_m(t+1) - y_n(t))^2]^3} \quad (15)$$

因此, 比较节点 m 及 m' 的稳定度, 即可比较节点 m, n 间稳定度与节点 m', n 间的稳定度大小。

2.6 基于灰色预测节点稳定度的 NS-PMRC 算法的实现

基于中点覆盖圆的关键节点探测算法 PMRC 使用 MRC^[12]来检测在子图 G^* 中的关键节点, 即只包括本地节点 n 和它的邻节点。若该节点由 MRC 判断是一个关键节点, 则启动一个全局性的探测。很明显, 如果当前时刻一个节点在 G^* 中不是关键节点, 那么它在 G 中也不是关键节点。在 PMRC 算法具体实现时, 如果在 MRC 中首次判断含有其它节点, 则通过 MRC 判断在 G^* 中节点的 n 不是关键节点, 那么它在 G 中也不是一个全局性关键节点, 这样会导致探测关键节点的准确度不高, 因为如果当前时刻有其它节点 m 在 MCC 中, 而下一时刻此节点 m 运动的位置远离节点 n 及 MRC, 则实际上节点 n 仍然是关键节点的概率很大。本文提出的基于灰色预测机制的节点稳定度的 NS-PMRC 算法, 针对 MRC 中除了节点 n 还有另外节点的情况判断关键节点是否存在, 因此, NS-PMRC 算法相对于 PMRC 算法有效地提高了探测节点的准确度, 并改善了网络的性能。

NS-PMRC 的步骤如下:

(1)通过 MRC 在 G^* 中判断节点 n 是否为关键节点。如果是则进行步骤(2),否则进行步骤(3)。

(2)在 G^* 中选择一个两跳节点对 (i, j) 。在 G 中借助 RREP 和 RREQ 找出被检测节点对的所有邻节点对之间的全部路径,只要有一对邻节点之间的所有路径上都包括被检测节点,那么进行步骤(5),否则在 G^* 中选择另一对节点作为节点对 (i, j) ,并且不断地进行步骤(2);如果对通过 G^* 中的唯一节点 n 来通信的所有两跳节点对都挑选了一遍,那么进行步骤(6)。

(3)假设除了节点 n 外还有节点 m 在 MRC 内,将计算出当前时刻节点 m 的稳定度 S_{nm} 与通过灰色模型预测出的节点 m 运动到下一时刻的节点 m' 的稳定度 $S_{m'n}$ 相比较,如果

① $d_{m'n} < d_{nm} < 0.196r$, 则 $S_{nm} < S_{m'n}$, 说明 m' 比 m 稳定, m 在下一时刻的位置仍然在 n 附近,此时 m, n 都在 MRC 中,则 m, n 都不是关键节点,进行步骤(4)。

② $d_{m'n} > d_{nm}$, $d_{m'n} \leq 0.196r$, 则 $S_{nm} > S_{m'n}$, 虽然 m 比 m' 稳定,但是 m 在下一时刻 $t+1$ 的位置仍在 MRC 中,所以 m, n 都不是关键节点,进行步骤(4)。

③ $d_{m'n} > d_{nm}$, $d_{m'n} > 0.196r$, 则 $S_{nm} > S_{m'n}$, 说明 m 比 m' 稳定,而且 m 在下一时刻 $t+1$ 的位置 m' 远离 MRC, n 在 MRC 中,这时再进一步判断 n 是否为关键节点,并按照上述步骤进行步骤(2)。

(4)通过 MRC 判断在 G^* 中的节点 m/n 不是一个关键节点,那么 m/n 在 G 中就不是一个全局性的关键节点,转到步骤(6)。

(5)节点 n 在 G 中是一个全局性的关键节点,到步骤(6)。

(6)NS-PMRC 算法结束。

3 仿真及结果分析

为了能够全面地分析 NS-PMRC 算法的性能,本文将该算法与 PMRC 算法从节点探测准确度和节点探测开销两个性能度量标准进行仿真对比分析。在整个无线仿真环境中,节点随机地分布在 $1000m \times 1000m$ 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,节点最大移动速度为 $20m/s$ 。表 1 给出了仿真过程中所使用的环境参数。

表 1 仿真环境参数

参数	值	参数	值
节点个数	200 个	仿真时间	500s
路由协议	AODV	传播模型	TwoRayGround
信道	WirelessChannel	传输数据类型	CBR
MAC 协议	IEEE802.11	数据载荷	512byte
移动模型	Random Waypoint	传输数据类型	CBR

节点探测准确度,即通过算法探测出正确结果的节点数目与网络中节点数目之比;节点探测开销,即执行一次关键节点探测算法,网络中所有节点发送包的总和。以下分别从节点数目 n 和节点密度 ρ 对网络性能的影响进行分析。

(1)节点数目对网络性能的影响

在模拟过程中,固定节点密度 ρ 为 8(节点密度适中),节点的运动停留时间为 0s,节点运动的平均速度为 $10m/s$ 时,

得到的数据如图 2 和图 3 所示。

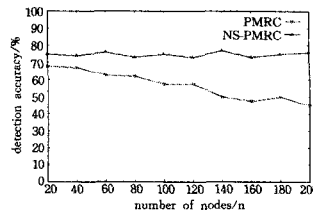


图 2 探测准确度-节点数目

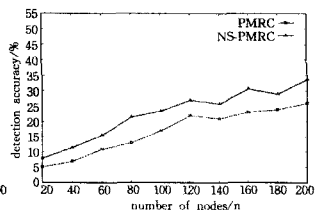


图 3 探测开销-节点数目

图 2 为在不同规模的网络中(节点密度 $\rho=8$, 密度适中),探测节点数为 20 至 200, PMRC 算法和 NS-PMRC 算法探测关键节点的准确度比较。显然,在该种情况下, NS-PMRC 算法探测得到的结果的准确度要优于 PMRC 算法。具体表现为:随着网络规模的增大, NS-PMRC 算法的探测准确度仍能保持较高数值,准确度可达 70% 以上,这说明 NS-PMRC 算法能够满足规模比较大的 Ad hoc 网络中关键节点的探测。

图 3 给出了不同网络规模下,两种算法探测开销的变化曲线。网络规模越大,算法所需的探测分组数目就越多。NS-PMRC 算法增加了基于节点稳定度机制的预测,通过遍历面的方法仅在网络局部区域内转发探测分组,因此算法开销的增长随网络规模的扩大变化比较大。所以, NS-PMRC 算法的探测开销要高于 PMRC 算法。但增加的探测开销不是很大,对于实际应用是可以接受的。

(2)节点密度对网络性能的影响

在模拟过程中,网络中节点的密度在 2 到 12 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 $10m/s$ 时,得到的数据结果如图 4 和图 5 所示。

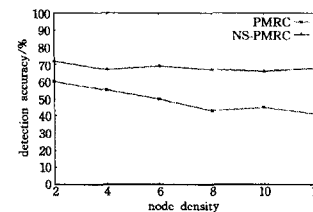


图 4 探测准确度-节点密度

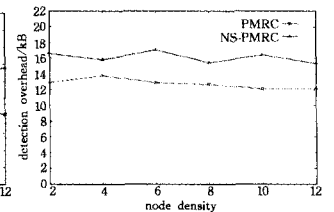


图 5 探测开销-节点密度

图 4 比较了在相同网络规模、不同节点密度情况下两种算法探测的准确度。显然,各种运动场景下 NS-PMRC 算法的性能要优于 PMRC 算法。在节点密度低的环境下, NS-PMRC 算法对节点密度的变化并不十分敏感,其准确度始终在 70% 以上。但随着节点密度的增加,算法探测的准确度有较为明显的下降。这是由于节点密度增大、拓扑相对变化频繁导致。

图 5 比较了节点在不同密度情况下两种算法探测节点的探测开销。如上所述, NS-PMRC 算法的探测开销要略高于 PMRC 算法。

结束语 本文在 PMRC 算法的基础上,提出了一种基于灰色预测模型预测节点稳定度的关键节点探测算法 NS-PMRC。该算法除了在路由发现阶段考虑了节点稳定度、建立相对稳定的路由之外,更重要的是在路由维护阶段增加了预测机制,以预测出节点在下一时刻是否稳定,并由此判断其是否为关键节点。仿真结果可表明, NS-PMRC 算法在改善探测准确度的性能方面较基于中点覆盖圆的 PMRC 算法有明显

的提高,因此 NS-PMRC 算法具有良好的性能,是可行且有效的。但是使用 GPS 系统提取节点的地理位置信息,增加的无线节点能量消耗问题,是今后工作中需要考虑的问题。

参考文献

- [1] 郑少仁,王海涛. Ad hoc 网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005:8-9
- [2] 陈林星,曾曦,曹毅. 移动 Ad hoc 网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2006:2-11
- [3] Asu P, Redi J. Movement control algorithms for realization of fault-tolerant Ad hoc robot networks[J]. IEEE Network, 2004, 18(1):36-44
- [4] Ratislav M, Nikola M, Mirosław M. Prediction of portioning in location-aware mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences. 2005:306-312
- [5] Nouredine H, Ni Qiang, Min Geyong, et al. A New Link Lifetime Prediction Method for Greedy and Contention-based Routing in Mobile Ad hoc Networks[C]//Computer and Information Technology (CIT). 2010:2662-2667

(上接第 54 页)

了建立与维护同步路由的延时。

选取节点 7、17、26、35、44 作为事件区域,以节点 7 作为时间基准点,与 TPSN 协议进行比较,比较结果如图 5 所示。

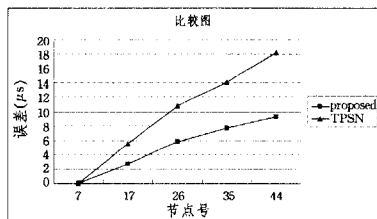


图 5 事件区域同步误差比较

由图 5 可知,本文设计的协议在事件区域将节点间的同步误差减少了 50% 左右。

根据仿真可以看出,虽然本文提出的协议对于全网时间同步没有明显改善,但对于事件区域的同步精度有明显的提升,将进一步进行事件区域的融合等操作提供同步时间的保证。

结束语 本文采用触发式局部同步算法,解决了邻居节点同步的问题。但在同步阶段增加了同步路由表的维护,对于监测静止对象兴趣节点较少时,对降低网络能耗是明显的;但不适合监测移动对象兴趣节点较多的网络。

同步路由可以限制同步算法的规模,但还有很多问题需要进一步讨论:1)如何将同步路由与网络路由相结合;2)能否利用同步路由进行局部数据融合操作、局部融合的可行性;3)跨层调度机制如何实现。

参考文献

- [1] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-sync Protocol for Sensor Networks[C]//Proceedings of the 1st ACM Confe-

- [6] Kim T-H, Tipper D, Krisnamurthy P, et al. Improving the topological resilience of mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 7th International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks. 2009:191-198
- [7] 李建东,田野,盛敏,等. 大规模 Ad hoc 网络拓扑分割探测研究[J]. 通信学报, 2008(9):54-61
- [8] Lin Kuo-huang, Liu Bin-da. A gray system modeling approach to the prediction of calibration intervals[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2005, 54(1):297-304
- [9] Hong Liang, Wu Chen, Zhang Guo-qing. Link reliability assessment based on grey relational analysis for wireless ad Hoc networks[C]//Control Conference (CCC). 2010:4236-4240
- [10] Vijayakumar H, Ravichandran M. Efficient location management of mobile node in wireless mobile ad-Hoc network[C]//Innovations in Emerging Technology (NCOIET). 2011:77-84
- [11] 林彦汝,周继鹏. 基于地理位置的 Ad hoc 路由协议[J]. 计算机应用, 2011(1):225-228
- [12] Sheng M, Li J D, Shi Y. Critical nodes detection in mobile Ad hoc network[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. 2006:1-5

rence on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles, California, 2003:87-89

- [2] Maroti M, Kusy B, Simon G, et al. The Flooding Time Synchronization Protocol[R]. Nashville Tennessee: Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University, 2004
- [3] Elson J, Girod L, Estrin D. Fine-grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcasts[C]// Proceedings of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation. Boston, MA, 2002:147-163
- [4] 任丰原,董思颖,何滔,等. 基于锁相环的时间同步机制与算法[J]. 软件学报, 2007, 18(2):372-380
- [5] Greunen V, Rabaey J. Lightweight time synchronization for sensor networks[C]// The 2nd ACM Intl Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. San Diego, 2003
- [6] Dai H, Han R. TSynC: A lightweight bidirectional time synchronization service for wireless sensor networks[J]. ACM Mobile Computing and Communications Review, 2004, 8(1):125-139
- [7] Li Q, Rus D. Global clock synchronization in sensor networks[J]. IEEE Trans. on Computers, 2006, 55(2):214-226
- [8] 皇甫伟,周新运,陈灿峰. 基于多层抽样反馈的传感器网络时间同步算法[J]. 通信学报, 2009, 30(3):59-65
- [9] Tao Li-qiang, Yu Feng-q. A Distributed Slot Assignment Algorithm with Minimum Jitter and Delay Guarantee for Real-time Applications in Wireless Sensor Networks[C]// 12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC). 2010
- [10] 陈乔,张毅坤,杨凯峰,等. 无线传感器网络中同步补偿机制的研究与应用[J]. 计算机应用, 2010, 30(4):892-894, 901
- [11] 魏诺,郭强,李春杰,等. 基于频率校正的触发型传感器网络同步算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(7):57-59