

基于位置信息的自适应 Ad Hoc 路由协议^{*}

张棋飞 刘 威 杨宗凯 袁林锋

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘 要 传统的基于位置信息的路由算法往往采用分布式预测机制,可靠性不高,特别当源节点不知道目的节点位置时只能采用洪泛策略,增大了通信开销。本文提出一种基于位置信息的自适应路由机制 LAAR (Location-based Adaptive Ad hoc Routing)。LAAR 采用分层的体系结构获得全网一致的拓扑视图,消除分布式预测带来的不确定性,通过路由前的位置查询避免洪泛。LAAR 综合利用多种位置更新机制,在限制网络开销的同时保障位置信息的准确性。LAAR 的自适应调节机制将节点的运动状态与路由发现过程结合,实现对目的节点的动态跟踪,提高路由性能。仿真结果表明,随着节点移动速度的增加,LAAR 能够获得比 LAR 更小的控制开销;同时在节点密度较大情况下,LAAR 能获得更高的分组投递率。

关键词 自组织网络,路由算法,基于位置信息,运动状态指标

Location-based Adaptive Ad Hoc Routing (LAAR)

ZHANG Qi-Fei LIU Wei YANG Zong-Kai YUAN Lin-Feng

(Dept. of Electronics & Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The distributed prediction adopted in traditional location-based algorithms is not credible. Moreover, once source node is ignorant of destination position, flooding scheme is used instead, which increases control overhead. This paper proposes a novel routing scheme referred as Location-based Adaptive Ad hoc Routing (LAAR). LAAR adopts hierarchical architecture to achieve a network-wide consistent topology view to eliminate inaccuracy that may be introduced by distributed prediction and avoids flooding by location query before routing. LAAR integrated several location updating schemes to restrict overhead while ensuring position accuracy. LAAR implements destination mobility tracking through adaptive adjustment mechanism by associating node movement with route discovery to enhance the possibility of finding a feasible route. Simulation results show that LAAR not only achieves smaller control overhead compared to LAR with increasing velocity but also outperforms LAR over a large density of nodes on delivery rate.

Keywords Ad Hoc networks, Routing algorithm, Location-based information, Movement state index

1 引言

移动自组织网络(Mobile Ad hoc Networks, MANET)是由能够自由移动的节点组成的临时性自治网络,每个节点兼有路由器和终端两种功能,具有布置灵活、鲁棒性好、抗毁性高等特点,应用前景广阔。由于单个节点的通信覆盖范围有限,自组网节点之间采用多跳转发策略进行通信。频繁的拓扑变化使得 Ad hoc 网络中的路由问题备受关注^[1~4]。近年来,节点的位置信息作为一种辅助手段引入 Ad hoc 网络,以提高路由性能^[5]。

已经提出了许多基于节点位置信息的路由协议^[6~9]。LAR(Location-aided Routing)^[6]是一个基于预测节点当前位置的路由协议,利用节点的位置信息减少转发路由请求的节点数目,降低网络资源消耗。LAR 利用源节点和目的节点的位置坐标以及速度大小确定期望区域和请求区域。期望区域是一段时间后目的节点可能的位置范围,请求区域用于限制转发节点的数目。按照请求区域划定方式的不同,LAR 又可分为 LAR1 和 LAR2。LAR1 是在源节点和目的节点之间的一个矩形区域,位于区域内的节点才能参与路由;LAR2 则采用中间节点与目的节点的距离进行比较,比上一跳节点距离

目的节点更近的节点才有资格转发分组。倘若在请求区域内没有找到合适的转发节点,LAR 在全网范围内洪泛路由请求。PAR(Position-aided on Demand Routing)^[7]对 LAR 作了改进,在第一次寻路失败后并不直接进行洪泛,而是增大请求区域再次查找。DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)^[8]的思路和 LAR 大体相同,使用位置信息控制分组的洪泛方向。它通过给控制信息设置不同的 TTL(Time to Live)值来实现所谓的“距离效应”,即两个节点相距越远,它们的相对运动似乎越慢,从而减少控制信息。Su^[9]在自组网中利用节点的位置信息,预测相邻节点间链路的有效性 LET(Link Expiration Time),从而选择一条最稳定的路由。

上述路由机制都是基于预测的,即从过去已有信息出发,估计节点的当前状态。预测往往是分布式的,难以得到一个全网一致的拓扑视图,预测结果的偏差会对路由造成影响。一旦在预测范围内找不到路由,就会扩大范围重新查找,势必造成更大的时延开销。特别在大型网络中,那些假定目的节点位置信息是可靠的路由算法无法处理节点位置偏差的情况^[10]。在初始阶段,源节点往往不知道目的节点的位置,只能采取洪泛策略,于是更加恶化网络性能。

基于此,本文提出了一个基于位置信息的自适应 Ad hoc

^{*}国家自然科学基金资助项目(60572049)。张棋飞 博士生,研究方向为无线自组织网络;刘 威 副教授,博士,研究方向为无线自组织网络和传感器网络;杨宗凯 教授,博士生导师,中国电子学会高级会员,通信学会会员,研究方向为下一代互联网和无线网络;袁林锋 博士生,研究方向为传感器网络。

路由机制 (Location-based Adaptive Ad hoc Routing, LAAR)。LAAR 采用了分层的体系结构获得全网一致的拓扑视图,消除分布式预测带来的不一致性;通过路由前的位置查询,获得节点最新的位置信息,避免洪泛。同时,综合采用多种位置更新机制,在限制网络开销的同时保障位置信息的准确性。LAAR 采用自适应调节机制,将节点的运动状态与路由发现过程结合起来,实现对目的节点的动态跟踪,提高路由性能。本文第 2 节详细描述了 LAAR 算法,第 3 节进行性能评估,分析仿真结果。最后是总结,指出进一步的研究方向。

2 LAAR 算法

2.1 体系结构

LAAR 采用分层的体系结构。节点被分成两类:簇头节点(Cluster Header, CH)和成员节点(Member Node, MN)。成员节点和簇头直接通信,簇头之间通过多跳方式通信。

簇头和成员节点的分工为:

■簇头

- 接收以及维护成员节点的位置信息;
- 与其他簇头通信,维护全网拓扑信息;
- 响应成员节点的位置查询请求;

■成员节点

- 向簇头报告位置信息;
- 同其他成员节点进行通信。

成员节点无需在本地维护任何位置信息,而是将工作全部集中于簇头节点上,由簇头负责全网节点位置信息的管理和维护。实际上,簇头扮演着域名服务器(Domain Name Server, DNS)的角色,它对网络中的位置请求分组作出响应。

2.2 路由机制

基于 DSR(Dynamic Source Routing)^[2]路由协议,实现我们的位置辅助自适应路由机制。假定每个节点都能通过 GPS^[11]或类似手段得到自身准确的位置信息。在每个簇头上维护一个 Node_State_Base 数据结构,用来记录网内节点的位置及其运动状态指标 MSI。

2.2.1 节点运动状态指标 MSI

我们定义节点运动状态指标 MSI(Movement State Index)来反映节点运动状态改变的剧烈程度。当节点的运动速度发生变化时,我们称节点的运动状态发生了改变。考虑到节点移动速度很快但移动距离并不大的情况(比如围绕某一点作高速旋转),我们采用节点的移动距离作为衡量指标并定义一个阈值 DVT(Distance Violation Threshold)。由于在 Ad hoc 网络中,链路的连接状况与相邻节点间的距离有关,只有在节点间距超过它们的传输范围时才认为发生了断链,因此此处采用移动距离作为运动状态指标可以反映链路的连接状况。

用 Dis 表示节点移动距离, (x_t, y_t) 代表时刻 t 节点的位置坐标,可以得到

$$Dis = \sqrt{(x_{t2} - x_{t1})^2 + (y_{t2} - y_{t1})^2}$$

在单位时间内,只要节点发现其移动距离 Dis 满足

$$Dis \geq DVT$$

说明节点的运动状态发生了改变,于是通知簇头进行位置更新。簇头相应更新 Node_State_Base,将该节点对应的 MSI 值加 1。可见,MSI 值记录了单位时间内节点运动状态改变的次数,反映了节点状态变化的剧烈程度。MSI 值越大,说明

单位时间内节点的运动状态改变次数越多,节点的运动状态越不稳定,位置信息的持续有效时间也就越短。

2.2.2 位置信息更新机制

在 Ad hoc 路由算法中引入位置信息的优势在于可以利用节点的地理位置信息指导路由,最大程度地减小寻路开销,保障路由的稳定性。因此,设计高效的节点位置更新机制,以保障节点位置信息的准确性,显得尤为重要^[10]。

LAAR 综合采用以下几种更新机制:

• 成员节点主动更新

初始化阶段,成员节点发送位置广播分组 LBRC(Location Broadcast),通知簇头自己当前的位置。分组中含有时间戳,指示位置信息的获取时间。通过对比时间戳信息,可以验证位置信息的有效性。

• 成员节点触发式更新

当成员节点的移动距离超过 DVT 时,我们认为节点的运动状态有了较大改变,需要对其位置信息做及时更新,于是节点广播一个位置更新分组 LUPD(Location Update)给簇头,报告自己当前的最新位置。

• 成员节点定期更新

由于存在累积效应,以上两种位置信息更新机制并不能完全保证节点位置信息的准确性。

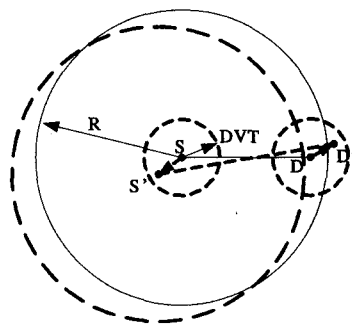


图1 累积效应示意图

图1是累积效应示意图。图中的实心圆圈代表节点S的传输范围,大虚线圆圈表示节点运动到S'后的传输范围,小虚线圆圈代表移动距离的阈值DVT。由于开始时节点间距 $Dis(S, D) < R$, R 表示节点传输半径,因此链路 $l(S, D)$ 是连通的。倘若S移动到S',D移动到D',尽管移动距离分别满足 $Dis(S, S') < DVT$, $Dis(D, D') < DVT$,不足以触发节点的位置更新,说明节点的运动状态没有大的变化。但是由于存在累积效应,致使新的节点间距 $Dis(S', D') > R$,超过了节点的通信范围。也就是说,链路 $l(S, D)$ 的连接状况发生了变化。考虑到这种情况,我们加入节点周期性位置更新机制来保证位置信息的有效性。

• 簇头更新机制

一旦收到成员节点发来的位置分组,包括 LBRC 和 LUPD,并且分组中的时间比本地要新,簇头相应更新 Node_State_Base 数据结构,同时向其他簇头报告新增信息。一旦簇头间的信息交换收敛,就可以得到一个全网范围内一致的拓扑视图。

2.2.3 路由发现机制

当源节点S希望发起到目的地D的通信,而在本地又找不到通往节点D的路由信息时,S发起路由发现进程,如图2所示。

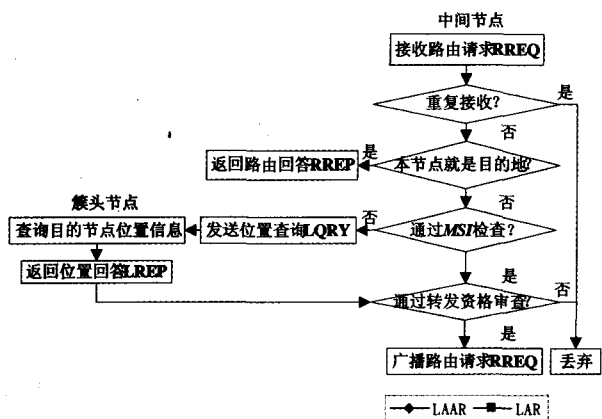


图2 LAAR路由发现流程

1) 位置查询。源节点 S 首先广播一个位置查询请求 LQRY (Location Query), 要求簇头返回目的节点 D 的当前位置。

2) 查询响应。收到该查询请求后, 簇头在本地数据库 Node-State-Base 中查询节点 D 的位置信息。

a) 查询成功, 则将 D 的位置坐标随同其 MSI 值一起放入位置回答分组 LREP (Location Reply) 中返回;

b) 查询失败, 簇头返回一个位置错误分组 LERR (Location Error)。

3) 源节点 S 根据收到的不同的响应执行不同的进程。

a) 返回的是位置错误分组 LERR, 表明目的节点当前并不存在, 寻路进程出错返回;

b) 返回的是位置回答分组 LREP, S 从中提取出节点的位置信息和 MSI 值, 生成路由请求分组 RREQ (Route Request) 广播出去。在 RREQ 中, 包含有三元组 $\langle DstPos, PrePos, MSI \rangle$ 。其中, $DstPos$ 是指目的节点的当前位置, $PrePos$ 表示前驱节点的位置。当前的前驱节点是源节点, $PrePos$ 的值会随着路由进程的进行随时更新。

4) 中间节点 i 收到路由请求分组 RREQ 后, 首先检查是否重复接收。若为重复接收, 则丢弃; 否则, 进行 MSI 检查。

5) MSI 检查。通过 MSI 检查判定分组中携带的目的节点的位置信息是否仍然有效。

a) 如果失效, 节点 i 发送 LQRY 分组向本地簇头查询目的节点当前最新的位置信息, 同时将路由请求放入等待队列中, 直到查询结果返回, 执行转发资格审查。

b) 如果位置信息仍然有效, 直接进行转发资格审查。

6) 转发资格审查。采用和 LAR2 类似的审查机制, 选择合适的转发节点。中间节点 i 将自己到目的地 D 的距离和前驱节点 Pre 到目的地的距离进行比较。倘若满足

$$Dis(i, D) \leq \epsilon \cdot Dis(Pre, D) + \delta$$

则节点可以转发路由请求。其中 ϵ 是影响因子, δ 代表修正值。否则, 节点不能转发, RREQ 分组被丢弃。

7) 通过转发资格审查的节点用本地位置信息更新 RREQ 分组中的 $PrePos$ 字段, 将自身 ID 加入到源路由中, 然后转发分组。通过这种方式, RREQ 在节点间传递直至目的地 D 。

8) 目的节点 D 收到 RREQ 后, 若没有重复接收, 则回送一个路由回答分组 RREP (Route Reply), RREP 沿源路由记录的路径返回直到源节点。

9) 源节点 S 收到 RREP, 得知路由已经建立, 可以进行

数据传输。

至此, LAAR 寻路过程结束。

2.2.4 MSI 检查机制

我们利用 MSI 检查机制动态调整路由发现进程, 实现对目的节点的动态跟踪。当簇头收到成员节点发来的位置查询请求时, 将节点的位置信息连同 MSI 值一起返回给查询节点。由于 MSI 值能够反映节点位置信息的有效性, 因此通过 MSI 检查机制, 节点就能知道当前获得的目的节点位置信息是否仍然有效, 从而决定是否继续使用该信息进行路由查找。

为了量化节点位置信息的有效性, 定义一个映射函数, 将 MSI 值转化为路由跳数:

$$EH = \begin{cases} 1, & MSI \geq a \\ 2, & b \leq MSI < a \quad (\dots < c < b < a) \\ 3, & c \leq MSI < b \\ \dots & \dots \end{cases}$$

其中 a, b, c, d 表示 MSI 的阶段性阈值, EH (Effective Hop, EH) 为有效跳数, 即认为位置信息在该跳数内持续有效。一旦跳数超过 EH , 说明位置信息已经失效。该映射函数还可以根据网络规模进行扩充。

MSI 检查机制通过对比源路由中记录的节点跳数和 EH 值就能判断节点位置信息是否已经失效。一旦失效, 它便在本地上发起一个位置查询以获得目的节点当前最新的位置信息, 从而对路由查找过程进行修正, 提高路由效率。

3 性能评估

基于 ns-2^[12] 仿真平台, 通过改变节点数目以及运动速度对协议性能进行评估。为了消除差异性, 我们只与 LAR2 协议进行比较。

3.1 仿真模型

节点数分别设为 50, 60, 70, 80 和 90, 随机分布在 $1000m \times 1000m$ 区域内。节点随机选择移动方向并作连续移动, 最大移动速度从 5m/s 逐步递增到 50m/s, 步长为 5m/s。随机选择源节点和目的节点, 链路带宽是 10kbps, 节点的传输半径是 250m。考虑到节点移动速度的差别, 我们根据不同的场景调整节点的位置更新周期。当最大移动速度小于 25m/s 时, 更新周期为 2s; 其余设为 1s。DVT 设为 100m, 最大有效跳数为 3, ϵ 和 δ 分别设为 1 和 0。每次仿真运行 300s。

3.2 评估指标

我们采用以下两个性能指标来进行对比实验。

3.2.1 分组投递率 (Delivery Rate)

分组投递率是指网络内所有目的节点成功接收到的数据分组总和与所有源节点发送出的数据分组总和的比值。

3.2.2 控制开销 (Control Overhead)

LAAR 机制的控制分组包括位置控制分组 (LQRY, LUDP, LREP 以及 LERR 等) 以及路由控制分组 (RREQ, RREP, RERR 等)。LAR 的控制分组仅仅包含路由控制分组。基于此, 我们定义控制开销为网络内所有节点发出的控制分组总和与目的节点收到的全部数据分组的比值。

3.3 结果分析

路由算法的主要目的就是传输分组, 最大可能地保证分组投递率^[10]。图 3 描述了在不同场景下分组投递率随移动速度变化的规律。随着移动速度的增加, 节点的位置变化加剧, 节点间的连接变得更加脆弱, 由此导致分组投递率的下降。从图中我们可以看出, 当节点分布密度较大时, LAAR

机制的分组投递率优于 LAR。这是由于在 LAR 机制中,缺乏有效的目的节点位置更新机制,无法根据节点运动状况对寻路过程作出自适应调整,只能利用原始的节点位置信息指导路由,由此降低了寻路的成功率,影响了投递率。然而,LAAR 机制把路由的发现过程和节点的运动状况联系起来,同时利用簇头间的信息交互获得全网一致的拓扑视图,把节点位置信息不准确性的影响降到最低,因此路由稳定性高,从而获得高分组投递率。

图 4 示出了控制开销与节点运动速度的关系。从图中可以看出,随着节点移动速度的增加,LAAR 机制的控制开销

逐渐小于 LAR。当节点移动速度较小时,位置较稳定,LAAR 机制的控制分组数目较 LAR 机制多,从而影响了其控制开销。但是随着节点运动速度的增大,一方面节点运动状态变化加剧,产生更多的位置控制分组;另一方面,位置控制分组的增加保证了节点位置的准确性,从而提高了路由的稳定性,保障了分组投递率。在这种综合作用下,LAAR 机制的控制开销增长趋于平缓。由于 LAR 没有采取有效的位置跟踪机制,使得节点位置的不确定性随着速度的增大而增大,降低了路由成功率。特别地,在路由失败后,LAR 采用洪泛策略发送路由请求,进一步增大了控制开销。

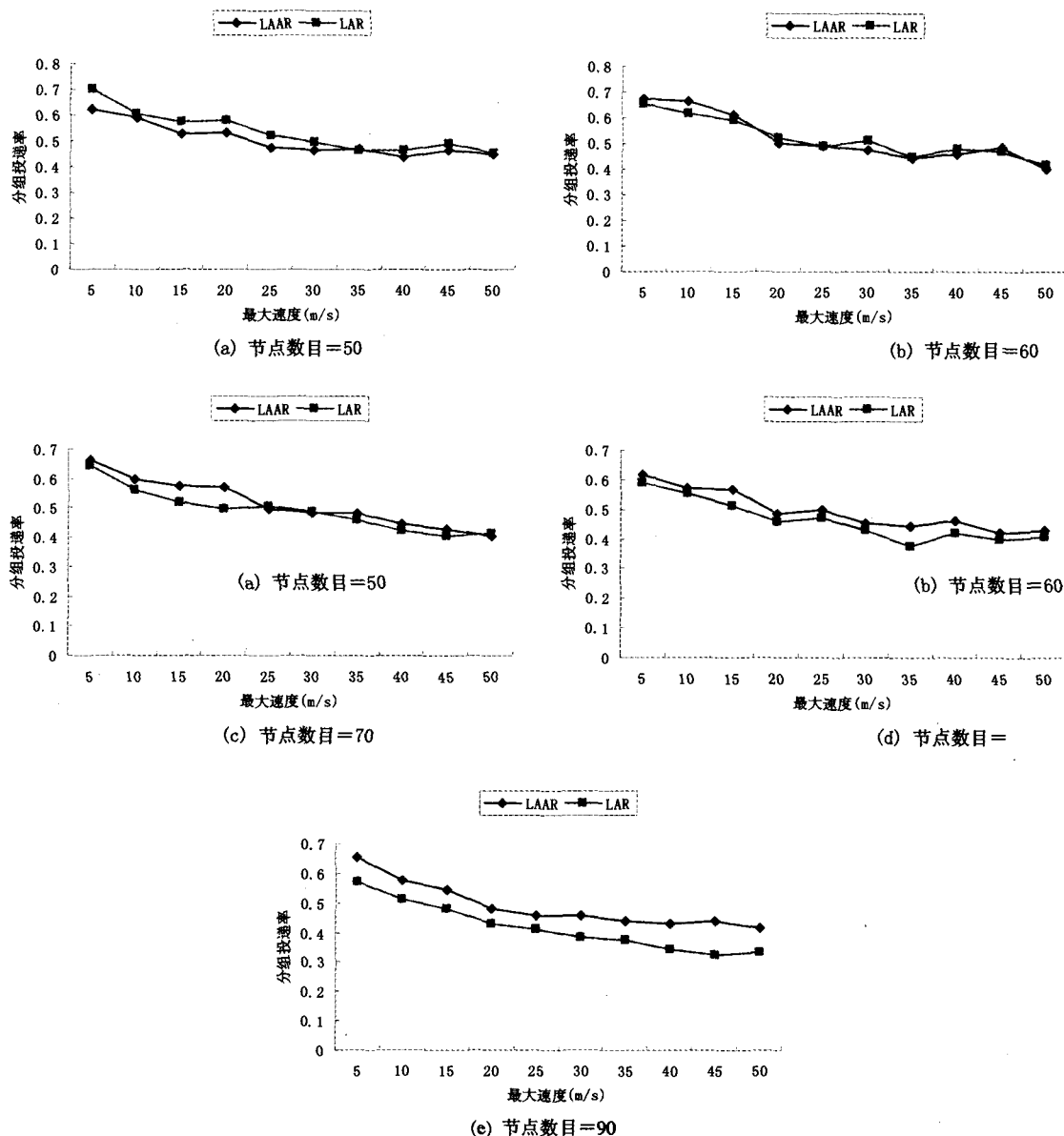


图 3 分组投递率随节点运动速度变化示意图

结论 在 Ad hoc 网络中引入节点位置信息来辅助路由是提高网络路由性能的有效策略。本文提出了一个新的基于节点位置信息的路由机制—LAAR。它采用分层的体系结构,获得一个全网范围内一致的拓扑视图,以此消除由于分布式节点位置预测所带来的不准确性。LAAR 综合采用多种节点位置更新机制,在减小网络开销的同时保证节点位置信息的有效性;运用 MSI 机制将节点的运动状态与寻路过程结合起来,实现对目的节点的动态跟踪,自适应调整路由由发现进

程,提高路由成功率。仿真结果表明,一方面,随着节点移动速度的增加,LAAR 能够获得比 LAR 更小的控制开销;另一方面,当节点分布密度较大时,LAAR 可以获得更高的分组传输率。

本文目前仅仅考虑了路由的发现过程。实际上,节点的移动会导致网络拓扑不断变化。在这种情况下,路由的维护就显得特别重要。如何利用位置信息更好地实施路由维护策略将是我们的下一个研究目标。

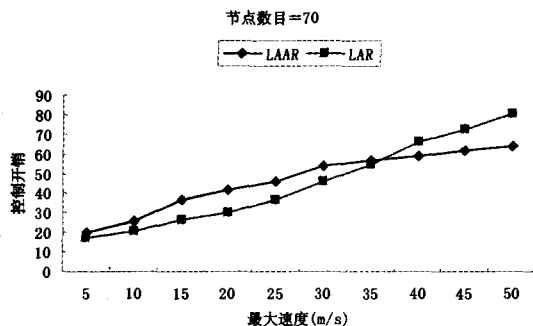


图4 控制开销随节点运动速度变化示意图

参考文献

- 1 史美林. 自组网路由协议综述. 通信学报, 2001
- 2 Johnson M D. Dynamic Source Routing in Ad hoc Wireless Networks. Mobile Computing, 1996
- 3 Charles B P, Perkins E. Highly Dynamic Destination Sequenced

Distance Vector Routing for Mobile Computer. In: SIGCOMM, 1994

- 4 Charles R E M, Perkins E. Ad hoc on Demand Distance Vector Routing. In: IEEE WMCSA, 1999
- 5 Ivan Stojmenovic R J. Position-based Routing in Ad hoc Networks. IEEE Communications Magazine, 2002, 40
- 6 Ko Y-B N H V. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. In: Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 1998
- 7 Zhang B. Position-aided on Demand Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Networks. In: ICC, 2004
- 8 Basagni S, Chlamtac I, Syrotiuk V R, et al. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM). In: MOBICOM, 1998
- 9 Su S J L W, Gerla M. Mobility Prediction in Wireless Networks. 2000
- 10 Blazevic S G I S L. Position Based Routing Algorithm for Ad Hoc Networks; a Taxonomy. 2004
- 11 K E. Understanding GPS. Artech House, 1996
- 12 Fall K V K. ns notes and documentation. UC Berkeley, LBL, USC/ISI and Xerox PARC, 1997

(上接第7页)

参考文献

- 1 McIlraith S, Narayanan S, Paolucci I, et al. OWL-S: Semantic Markup for Web Services. <http://www.daml.org/services/owl-s/1.1/overview/>
- 2 刘必欣, 王玉峰, 贾焰, 等. 一种基于角色的分布式动态服务组合方法. 软件学报, 2005, 16(11): 1659~1687
- 3 Christensen E, Curbera F, et al. Web Services Description Language (WSDL) 1.1. <http://www.w3.org/TR/wsdl>, 2001
- 4 Martin D, Burstein M, Lassila O, et al. OWL-S: Semantic Markup for Web Services. <http://www.daml.org/services/owl-s/1.1/overview/>
- 5 Roman D, Keller U, Lausen H, et al. Web Service Modeling Ontology (WSMO). <http://www.wsmo.org/2004/d2/v1.0/20040920/>, 2004
- 6 Rao Jinghai, SU Xiaomeng. A Survey of Automated Web Service Composition Methods. In: Semantic Web Services and Web Process Composition-First International Workshop, SWSWPC, 2004. 43~54
- 7 韩永国, 孙世新. 动态服务组合构造与最优组合服务算法研究. 计算机科学, 2005, 32(12): 104~105, 139
- 8 Aggarwal R, Verma K, et al. Dynamic Web Service Composition in METEOR-S [EB/OL]. <http://lsdis.cs.uga.edu/lib/download/ieee-scc-2004.pdf>, 2004
- 9 Haiyan S, Wang Xiaodong, Zhou Bin, et al. Research and Implementation of Dynamic Web Services Composition. In: APPT 2003, LNCS 2834, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 457~466
- 10 Agarwal V, Dasgupta K, et al. A Service Creation Environment Based on End to End Composition of Web Services. In: WWW2005, 2005. 128~137
- 11 Wohed P, van der Aalst W M P, Dumas M, et al. Analysis of Web Services Composition Languages: The Case of BP4LWS [EB/OL]. <http://is.tm.tue.nl/research/patterns/download/bpel-er.pdf>, 2004
- 12 Wang S, Shen W, Hao Q. Agent based workflow ontology for dynamic business process composition. Computer Supported Cooperative Work in Design. In: 2005. Proceedings of the Ninth International Conference on, Volume 1, 2005. 452~457
- 13 McDermott D. Estimated-regression planning for interactions with web services. In: Proceedings of the 6th International Conference on Artificial Intelligence Planning and Scheduling. AAAI Press, 2002
- 14 Srivastava B. Automatic Web services composition using planning. In: Proceedings of 3rd International Conference on Knowl-

edge-based Computer Systems, 2002. 467~477

- 15 Sirin E, Parsia B, Wu Dan, et al. HTN Planning for Web Service Composition Using SHOP2. In: Proceedings of 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003), Sanibel Island, Florida, USA, 2003. 20~23
- 16 Sirin E. Automated Composition of Web Services Using AI Planning Techniques. <http://www.cs.umd.edu/Grad/scholarlypapers/papers/aiplanning.pdf> [EB/OL], 2004
- 17 Russell S, Norvig P. Artificial Intelligence-A Modern Approach. Second Edition [M]. Pearson, 2004. 1~46
- 18 Sirin E, Parsia B, Wu Dan, et al. HTN Planning for Web Service Composition Using SHOP2. In: Proceedings of 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003), Sanibel Island, Florida, USA, 2003. 20~23
- 19 Kuter U, Sirin E, Parsia B, et al. Information gathering during planning for Web Service composition. In: Web Semantic, Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2005. 183~205
- 20 Wu D, Parsia B, Sirin E, et al. Automating DAML-S Web services composition using SHOP2. In: Proceedings of 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003), Sanibel Island, Florida, October 2003
- 21 Sirin E, Hendler B J, et al. HTN planning for Web service composition using SHOP2. Web Semantic, Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2004. 337~379
- 22 Narayanan S, McIlraith S A. Simulation, verification and automated composition of Web services. In: Proc. of the 11th Int'l World Wide Web Conf WWW2002. Honolulu, ACM, 2002. 77~88
- 23 Sun Haiyan, Wang Xiaodong, Zhou B, et al. Research and Implementation of Dynamic Web Services Composition. In: APPT 2003, LNCS 2834, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 457~466
- 24 Medjahed B, Bouguettaya A, Elmagarmid A K. Composing Web Services on the Semantic Web. The VLDB Journal The International Journal on Very Large Data Bases, 2003, 12(4): 333~351
- 25 Liu Jiamao, Fan Chenhui, Gu Ning. Web services automatic composition with minimal execution price Web Services, 2005 (ICWS2005). In: IEEE International Conference, 2005. 302~309
- 26 郑永清, 梁伟. 一种基于匹配策略的 Web 服务组合法. 计算机科学, 2005, 32(9): 127~130
- 27 李景山, 廖华明, 侯紫峰, 等. 普及计算中基于接口语义描述的动态服务组合法. 计算机研究与发展, 2004, 41(7): 1124~1134
- 28 Rao Jinghai, Kungas P, Matskin M. Composition of semantic Web services using linear logic theorem proving. Information System, 2006(31): 340~360