

车载社交网中基于传递概率的路由算法



张皓晨 蔡英 夏红科

北京信息科技大学计算机学院 北京 100101

(zhang_haochen@mail.bistu.edu.cn)

摘要 在车载社交网(Vehicular Social Network, VSN)中,车辆移动速度快且行驶方向难以预测,导致网络拓扑结构不断变化,通信链路时常中断,因此在进行消息传输时丢失率和传输延迟都居高不下。为了解决上述问题,针对 VSN 提出了一种基于传递概率的路由算法(ProSim),利用节点间的机会式相遇来进行消息的传输,根据车辆间的社交关系设计 VSN 路由算法以弥补通信链路中断带来的高丢失率和高延迟;选取了车辆节点的相遇概率和社会相似度这两种社交关系,对其进行量化并计算传递概率。使用真实的道路数据进行仿真,实验结果表明,ProSim 与直接传输算法(Direct Delivery, DD)、Epidemic 算法以及 PRoPHET 算法这 3 种经典路由算法相比,可以在控制传输开销和传输延迟的前提下,有效提高消息的传输率。

关键词: 车载社交网;机会式通信;社交关系;传递概率;路由算法

中图法分类号 TP393

Delivery Probability Based Routing Algorithm for Vehicular Social Network

ZHANG Hao-chen, CAI Ying and XIA Hong-ke

Computer School, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100101, China

Abstract In a Vehicular Social Network(VSN), due to the rapid and random mobility of vehicles, the network topology changes constantly and the communication link breaks frequently. And thus, the loss rate and the transmission delay are high during message transmission. In order to solve these problems, a delivery probability-based routing algorithm named ProSim is proposed. Opportunistic encounters between nodes are used for message transmission, and the social relationship between vehicles is used to design the routing algorithm. Social relationships used in this paper include the encounter probability and the social similarity between vehicles. These social relationships are quantified and used to calculate the delivery probability. By using real road data for simulation, it proves that ProSim can effectively improve the delivery ratio under the premise of controlling overhead and delay, compared with 3 classic routing algorithms including Direct Delivery, Epidemic and PRoPHET.

Keywords Vehicular social network, Opportunistic communication, Social relationship, Delivery probability, Routing algorithm

1 引言

车载社交网^[1-2]是由车载自组网(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)与社交网络的相关概念和特征相结合形成的一种延迟容忍网络。作为 VANET 与社交网络的结合, VSN 继承了二者的特点。车辆高速的移动性导致网络拓扑结构频繁变化,通信传输链路甚至会经常中断,这使得在 VSN 中进行消息转发面临许多挑战。传统的基于端到端的路由算法的基本要求是通信端点之间必须存在完整的端到端路径,但在 VSN 中,这个要求几乎不可能被满足,因此需要研究 VSN 的特征,利用网络中节点的机会式相遇,设计不同于以往的适用于 VSN 的机会式路由算法。

由于移动设备与其用户之间存在不可分割的关系,社交

关系在许多研究领域都得到了应用,车辆作为使用得最广泛的交通工具同样会受到人类的社会行为的影响,进而表现出相应的社会特征,换言之,人们可以利用车辆映射出的社会特征作为转发度量来提高路由效率。目前,针对社会特征的路由算法大多面向的是移动社交网(Mobile Social Network, MSN),但因为 VSN 中的车辆和 MSN 中人类的移动模式有很大区别,所具备的社会特征也不尽相同,所以如果将面向 MSN 的路由算法直接用于 VSN 的环境中会导致信息传输效率低下,甚至会造成信息传输失败。然而,针对车辆环境的路由算法由于没有充分考虑车辆节点的社会特征,因此不适用于 VANET 和社会网络相结合的场景。为了解决这些问题,本文提出了一种基于传递概率的路由算法 ProSim,其中传递概率由车辆节点的相遇概率和社会相似度计算得出。相遇概

到稿日期:2020-02-21 返修日期:2020-05-21 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家自然科学基金(61672106);北京市自然科学基金—海淀原始创新联合基金(L192023)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(61672106) and Natural Science Foundation of Beijing, China(L192023).

通信作者:蔡英(ycai@bistu.edu.cn)

率在节点每次相遇时进行动态更新,并随时间而衰减,另外相遇概率也有一定的传递性。社会相似度由节点的共同邻居数量计算得出。

本文第2节对当前针对车辆环境的路由算法、根据节点社会特征的路由算法和VSN中的路由算法分别进行了介绍;第3节详细描述了本文提出的路由算法ProSim,分别说明了相遇概率、社会相似度和传递概率的计算方法,并以在节点相遇时双方的行为为例对ProSim路由算法进行了描述;第4节将ProSim与其他3种经典路由算法以仿真实验的方式进行了比较;最后总结全文。

2 相关工作

本节分别从针对车辆环境的路由、根据节点社会特征的路由和针对VSN的路由这3类路由对相关工作进行了阐述,并分析了每类路由的不足。

国内外相关研究者提出了很多针对车辆环境的路由算法。在基于洪泛的路由算法(如Epidemic^[3]和Spray and Wait^[4])中,消息被无限或按照一定的限制发送给网络中的所有节点,但网络中的消息副本数量过多,大大浪费了网络资源,导致传输成本过高。基于位置信息的路由算法^[5-8]和基于交通信息的路由算法^[9-12]由于需要不断获取目标节点的地理位置,因此信息维护的成本过高。另外,由于上述算法都没有考虑车辆节点的社会特征,因此不适用于VSN将VANET和社交网络相结合的场景。

根据节点的社会特征进行转发决策的路由算法也较多。BUBBLE RAP^[13]把社区的概念和节点的度数相结合,在社区间利用全局中心度、在社区内部使用本地中心度分别进行转发度量。SimBet^[14]基于节点中介中心度和相似度进行转发决策,并且结合了自我网络的概念,在提取社会特征时只需要考虑节点的局部可用信息。因此,消息被转发到具有较高中介中心度和与目标节点相似度高的节点,从而增加了传输率。针对节点的兴趣,Shi等^[15]提出了一种基于信息中心网络(Information Centric Networking, ICN)范式的MSN缓存感知路由算法。该算法由3部分组成:1)通过挖掘内容名称获取节点间的兴趣度量;2)为了将数据包传输给感兴趣的请求者,设计了基于节点间紧密度度量的数据路由算法;3)为了响应即将到来的请求,设计了一种基于节点间友好度的网络内缓存方案。Incentive-Compatible Routing Protocol (ICRP)^[16]是一种针对节点自私性而提出的具有多副本的两跳延迟容忍网络中的激励兼容路由协议,其采用最优顺序停止规则和VCG(Vickrey-Clarke-Groves)拍卖策略来选择最优中继节点,以确保诚实报告相遇概率和传输成本的节点能够获得最大的回报。Cai等^[17]提出了一种基于兴趣社区的数据传输方案InComT,该方案通过测量移动社交网络中节点的兴趣值来对其进行社区划分,并确定整个社区的兴趣值,然后根据兴趣值选择中继社区和中继节点,以实现消息的传输,从而在低传输开销和低平均延迟的情况下获得较高的传输成功率。但以上路由算法都是针对MSN而设计的,在VSN中,车辆的移动更加快速,网络拓扑结构更加不稳定,车辆的移动性和人类的移动性存在很大区别,因此如果将上述算法直接运用于

VSN中,消息的传输就会十分低效,甚至出现无法兼容的情况。

目前,针对VSN的路由算法的工作还不是很多。Gu等^[18]提出了一种基于模糊逻辑算法的社会感知路由协议,该协议通过改善车辆环境中的数据传传输,来降低端到端时延。在道路场景中,贪心算法选择离目的地最近的节点作为下一跳;在道路交叉口,综合考虑节点的中心性、相似性和活动性来选择下一跳。Xia等^[19]提出了BEEINFO机制,用于在具有社会意识的车辆网络中传播内容。BEEINFO将用户划分为不同的社区,并把这些社区信息记录在移动节点上,然后基于社区密度信息选择下一跳,Stagkopoulou等^[20]提出了一种基于社会的方法,用于在车辆环境中传播数据。该协议根据概率控制的中心性来选择下一跳,其基本思想是选择多个具有高概率控制中心的中继节点,通过这些节点来代表发送方重新广播消息。Bradai等^[21]利用车辆的战略位置信息来实现高质量的视频流,选择最小的转播车辆子集来减小干扰,以实现高视频质量,定义了一个新的度量标准用于度量网络节点数据传播的能力。Cunha等^[22]提出了一种考虑社会关系和移动模式的车辆环境社交感知数据传播协议。该协议利用节点度和聚类系数来识别可靠的中继节点,以实现消息的转发。Su等^[23]提出了一种基于端到端通信(Device-to-Device, D2D)的VSN内容传递机制。在该机制中,移动车辆可以通过直接通信来共享信息,也可以使用D2D通信来代替路边单元(Road Side Unit, RSU)与停放车辆进行通信。

在VSN中,通勤者沿着相似的路线上下班,在这条路线上会遇到其他具有相似移动模式或面临相同交通条件的通勤者,在现实生活中,具有相似社会兴趣和相似流动模式的人往往会频繁地相遇,这些人之间具有一定的社会相似性,车辆在继承这些特征后也会表现出车辆之间的社会相似性。另外,如果节点的相遇具有一定的规律性,那么相遇越频繁的两个节点在未来就有很大的可能会再次相遇^[24]。然而,上述工作虽然使用了不同的社会特征,但没有把节点的相遇历史与社会特征相结合。

3 基于传递概率的路由算法 ProSim

本节将分别从相遇概率、社会相似度效用和传递概率的计算方法以及在节点相遇时进行的转发决策这4个方面来阐述ProSim。首先分别计算车辆节点与目的节点的相遇概率和社会相似度,然后通过这两个社会特征来计算车辆成功把消息传递到目的节点的概率,即传递概率,最后在ProSim中使用传递概率作为转发度量做出相应的转发决策。

3.1 相遇概率

节点的移动性在一定程度上是可以预测的。如果某一个节点在过去的某一时间段内经常与某个节点相遇,那么这两个节点在未来一段时间内有很大可能会再次相遇。为了计算节点之间的相遇概率,本文将Spyropoulos等^[24]提出的节点相遇概率的计算方法运用于VSN网络。

令网络中的每个车辆节点维护一个列表,列表中存储了当前车辆节点与其他车辆节点的相遇概率。定义 $P_{\text{encounter}}(V_m, V_n)$ 表示网络中任意两个节点 V_m 和 V_n 相遇的概率,这

个概率会随着 V_m 和 V_n 的相遇不断更新。

车辆节点在网络中不断地移动,当两个车辆节点进入到彼此的通信范围内时,称为一次有效的相遇,对两个车辆节点的相遇概率进行一次更新。两个车辆节点的历史相遇次数越多,二者在未来再次相遇的概率就会越高。当两个车辆节点相遇时,相遇概率会按照式(1)进行更新:

$$P'_{\text{encounter}}(V_m, V_n) = P_{\text{encounter}}(V_m, V_n) + (1 - P_{\text{encounter}}(V_m, V_n)) \times P_{\text{init}} \quad (1)$$

其中, $P_{\text{encounter}}(V_m, V_n)$ 表示更新之前的相遇概率; $P'_{\text{encounter}}(V_m, V_n)$ 表示更新之后的相遇概率; P_{init} 表示节点 V_m 和 V_n 首次相遇时的概率,以确保两个经常相遇的车辆节点之间的相遇概率会更高。

但是,在真实场景中,两个本来频繁相遇的车辆节点可能在某个时间节点后就不再相遇。在这种情况下,式(1)中计算出的相遇概率就不再有效。为了解决上述问题,使相遇概率随时间不断衰减,从而确保相遇概率的实时性、准确性。

假设当前时间为 t , 车辆节点 V_m 和 V_n 上次相遇的时间为 t_0 , 则两个节点在前一次相遇过一段时间后,二者的相遇概率衰减为:

$$P'_{\text{encounter}}(V_m, V_n) = P_{\text{encounter}}(V_m, V_n) \times \epsilon^{t-t_0} \quad (2)$$

其中, $\epsilon \in (0, 1)$ 为衰减因子,用于表示相遇概率随时间衰减的速度。

在网络中,车辆节点之间的相遇概率具有传递性。一般来说,如果车辆节点 V_m 和 V_n 经常相遇,且 V_n 和 V_o 也经常相遇,那么对于 V_m 来说, V_o 也属于潜在的消息转发节点。相遇概率按照式(3)进行传递:

$$P'_{\text{encounter}}(V_m, V_o) = P_{\text{encounter}}(V_m, V_o) + (1 - P_{\text{encounter}}(V_m, V_o)) \times P_{\text{encounter}}(V_m, V_n) \times P_{\text{encounter}}(V_n, V_o) \times \lambda \quad (3)$$

其中, $P_{\text{encounter}}(V_m, V_o)$ 和 $P_{\text{encounter}}(V_n, V_o)$ 分别为车辆节点 V_m 和 V_n 、 V_m 和 V_o 的相遇概率; $\lambda \in (0, 1)$ 为影响因子,表示传递性对相遇概率影响的强度。

3.2 社会相似度假效用

社交网络表现出了高度的传递性。Newman^[25] 分析了科学合作的时间演变,并观察到使用检测邻居的方法可以帮助预测未来的合作。Newman 从这个分析中得出结论,两个个体合作的可能性随其共同合作者的数量 m 的增加而增加。例如,一对科学家之前有 5 个共同合作者,则其合作的可能性只有 2 个合作者的 2 倍,是没有合作者的 200 倍。此外,Newman 还发现,合作可能性随着之前合作次数的增加而增加,这意味着过去的合作是预测未来合作的可能性的一个很好的指标。同理,在 VSN 中,如果两个车辆节点有共同的邻居,那么它们之间传输消息的概率就会更高,本文使用社会相似度来描述这种车辆节点之间的社交关系。

如果两个节点之间在一段时间内有过联系,则把这两个节点称为邻居。每个车辆节点维护一个邻居列表,该表包含该节点的邻居和其成为邻居的时间,节点在每次与其他节点相遇时都会更新这个列表的内容。为了保证列表的时效性,设定一个时间阈值,当成为邻居的时间超过规定的阈值时,将

该邻居丢弃。定义节点 V_m 和 V_n 的社会相似度假效用 $SocSim$ 为两个节点的共同邻居数量。

为了比较候选节点 V_n 和携带节点 V_m 同目标节点 V_d 的社会相似度假效用,本文提出社会相似度假效用 $SocSimUtil_n$,与携带节点 V_m 相比,节点 V_n 的社会相似度假效用如式(4)所示:

$$SocSimUtil_{V_n}(V_d) = \frac{SocSim_{V_n}(V_d)}{SocSim_{V_m}(V_d) + SocSim_{V_n}(V_d)} \quad (4)$$

其中, $SocSim_{V_n}(V_d)$ 和 $SocSim_{V_m}(V_d)$ 分别是候选节点 V_n 和携带节点 V_m 与目标节点 V_d 的社会相似度假效用。

3.3 传递概率

传递概率是一个介于 0 和 1 之间的值,它由两个部分组成:节点同目标节点的相遇概率和社会相似度假效用。

节点的传递概率 $P_{\text{delivery}}(V_n, V_d)$ 如式(5)所示:

$$P_{\text{delivery}}(V_n, V_d) = \alpha P_{\text{encounter}}(V_n, V_d) + \beta SocSimUtil_{V_n}(V_d) \quad (5)$$

其中, α 和 β 是权值, $\alpha + \beta = 1$, 用于调整两个部分的相对重要性。当两个节点相遇时,可以通过比较二者与目的节点的传递概率来进行转发决策的制定。

3.4 转发决策

算法 1 给出了当节点 V_n 和节点 V_m 相遇时的转发决策。当节点 V_n 和 V_m 相遇时,会向对方发送 Hello 消息。当节点 V_n 收到 V_m 发来的 Hello 消息后,会更新自己的相遇概率列表和邻居列表。在更新完成后, V_n 把所有目标节点是 V_m 的消息发送给节点 V_m , 同时还会发送一个相遇请求。节点 V_m 收到相遇请求后,向 V_n 返回一个摘要向量,该向量包含了它当前携带消息的目标节点列表。针对每个目标节点,节点 V_n 计算节点 V_m 和节点 V_n 的相遇概率和社会相似度假效用,并以此计算节点 V_m 和节点 V_n 的传递概率,如果节点 V_n 的传递概率更高,则把该目标节点添加到请求消息的列表中。在所有计算都完成后,节点 V_n 将消息请求列表发送给节点 V_m 。接收到来自 V_n 的消息请求列表后,节点 V_m 从其队列中删除所有发送给目标节点的消息,并将它们转发到节点 V_n 。接收到来自节点 V_m 的传输消息后,节点 V_n 将该消息添加到消息队列中一直携带并等待下一次相遇。

算法 1 ProSim 路由算法

1. upon reception of Hello message h from node V_m do
2. updateEncounterList()
3. updateNeighbourList()
4. if msgQueue.hasMsgsForDest(V_m) == true
5. deliverMsgs(V_m)
6. requestEncounters(V_m)
7. upon reception of summary vector sv from node V_m do
8. Vector requestMsgs
9. for all destinations \in sv do
10. calculatePEncounter(V_m)
11. calculatePEncounter(V_n)
12. updateSimUtil(V_m)
13. updateSimUtil(V_n)

```

14. calculatePDelivery( $V_m$ )
15. calculatePDelivery( $V_n$ )
16. if  $V_n.PDelivery(V_d) < V_m.PDelivery(V_d)$ 
17.     requestMsgs.add( $V_d$ )
18. sendMsgsRequest( $V_n$ , requestMsgs)
19. upon reception of message request vector mrv from node  $V_m$  do
20.     Vector forwardMsgs
21.     for all messages  $\in$  mrv do
22.         forwardMsgs.add(msgQueue.getMsgs( $V_d$ ))
23.         dropMsgs(msgQueue.getMsgs( $V_d$ ))
24.     sendForwardMsgs( $V_m$ , forwardMsgs)
25. upon reception of forward message fm from node  $V_m$  do
26.     msgQueue.add( $f_m$ )

```

4 仿真实验

为了保证仿真环境与实际环境尽量相符,本文选择了北京市海淀区 $6000\text{m} \times 6000\text{m}$ 大小的一块真实地图,经过处理得到图 1 所示的路线图。在仿真实验中,共计 100 个车辆节点以 $0 \sim 36\text{km/h}$ 的速度在该地图区域行驶,设置通信距离为 200m 。在某一时刻,如果有两辆车之间的距离小于等于 200m ,则视为一次有效相遇。当两辆车相遇时,双方进行相遇概率的更新,并按照 ProSim 算法的具体内容进行信息交换和消息共享。大小为 10kB 的消息以 $25 \sim 35\text{s}$ 的周期随机产生,源和目的节点分别为网络中的车辆节点,车辆的存储空间设定为 5MB 。仿真的持续时间为 24h ,消息的有效期为 4h ,在有效期内到达目的节点的消息被视为成功传输的消息。设置初始相遇概率 $P_{\text{init}} = 0.75$,相遇概率的衰减因子 $\epsilon = 0.05$,影响因子 $\lambda = 0.1$,相遇概率和社会相似度的权值为 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

实验采用机会网络环境 (Opportunistic Network Environment, ONE) 模拟器进行仿真,除了 ProSim 外,还通过以

下算法来进行比较:

(1)直接传输算法^[25]。源节点将消息直接传输给目的节点,不经过其他节点的转发。

(2)Epidemic 算法^[3]。采用无限制洪泛的方法进行消息的传输。只要有机会,携带消息的节点就将消息传递给相遇节点,从而将消息的副本复制到网络中的每一个节点上。

(3)PRoPHET 算法^[24]。根据节点的历史相遇信息计算传输概率,只将消息转发给传递概率更高的节点。

在评估路由算法的性能时,本文考虑了以下几个指标:

(1)传输率,即在路由算法运行期间成功传输的消息数量与总的消息数量的比值。

(2)平均传输延迟,即将所有消息从源头传递到目的地所花费的时间的平均值,但它只适用于成功传输的消息。

(3)平均跳数,即将所有消息从源头发送到目的地所需的节点数量的平均值。

(4)负载率。消息被中继转发但是未被成功传输的个数与总传输个数的比值。

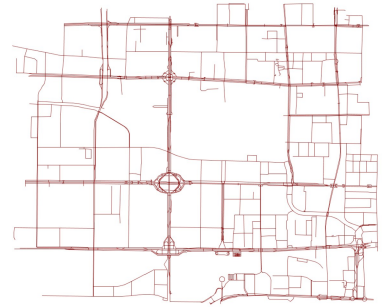
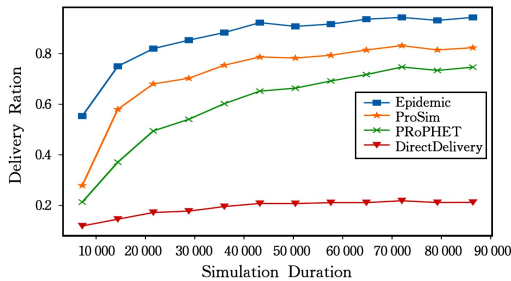


图 1 仿真所使用的路线图

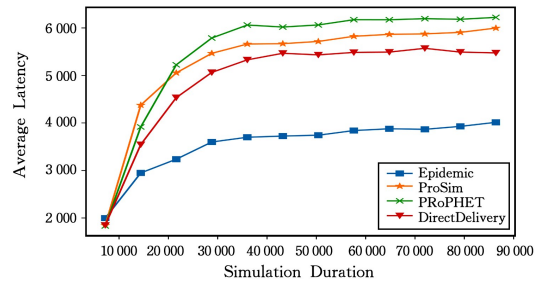
Fig. 1 Roadmap for simulation

4.1 路由性能

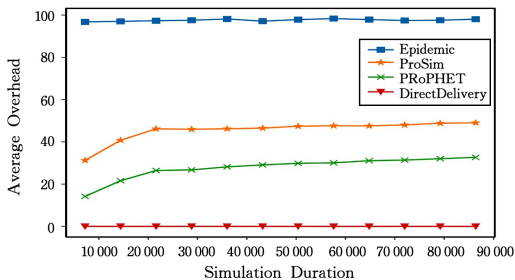
图 2 给出了在不同仿真时间下 4 种路由算法的性能。



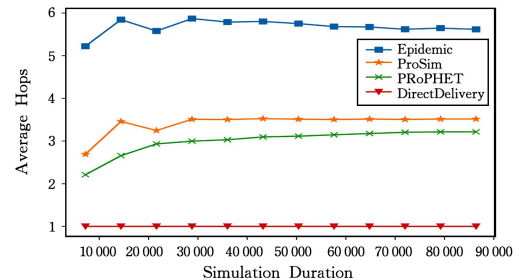
(a) 传输率随仿真时间变化



(b) 平均传输延迟随仿真时间变化



(c) 负载率随仿真时间变化



(d) 平均跳数随仿真时间变化

图 2 路由性能随仿真时间变化

Fig. 2 Routing performance varies with duration

图2中,Epidemic路由的传输率最高,最终达到了94%,且其平均延迟是4种方案中最低的。但其洪泛的路由方式导致消息的平均跳数达到6跳,负载率接近100%,远远高于其他3种方案。虽然直接传输算法依靠单跳直接传输消息,导致传输率很低,只达到21%,但是其不会给网络带来任何多余的负载。ProSim的传输率达到了82%,超过了Prophet的74%,并且其平均延迟也低于Prophet的平均延迟,这说明相似度的引入对于消息传输有着积极的意义。在使用ProSim的仿真实验中,消息的平均跳数为3跳,负载率为49%,远远低于Epidemic的负载率,这说明ProSim可以在控制成本的前提下有效提高消息传输的效率。

4.2 消息生存时间(Time to Live, TTL)对ProSim的影响

消息的TTL为消息能够容忍延迟的程度,消息能容忍越长的延迟,其TTL越大,其过期时间也就越晚。图3给出了ProSim的性能随消息TTL的变化。由图2(a)可以看出,当 $TTL < 400$ min时,消息的传输率随着TTL的增加而提高;当 $TTL > 400$ min时,传输率随着TTL的增加反而大幅度下滑。这说明消息传输率会受到TTL的影响,当TTL过大时,过多消息占用了有限的车辆存储空间,导致了资源的浪费,传输率大大降低。由图2(b)和图2(c)可以看出,平均延迟和平均跳数在 $TTL < 800$ min时不断上涨,但在TTL达到800 mins之后有小幅度的下降。由图2(d)可以看出,负载率在 $TTL < 400$ min时有小幅度上涨,但其增长速度较慢;而在 $TTL > 400$ min时,负载率不仅大幅度上涨,其增长速度也有较大提升。由上面的分析可知,在24h的仿真实验中,将消息的生存时间设定为4h是最合理且效率最高的。

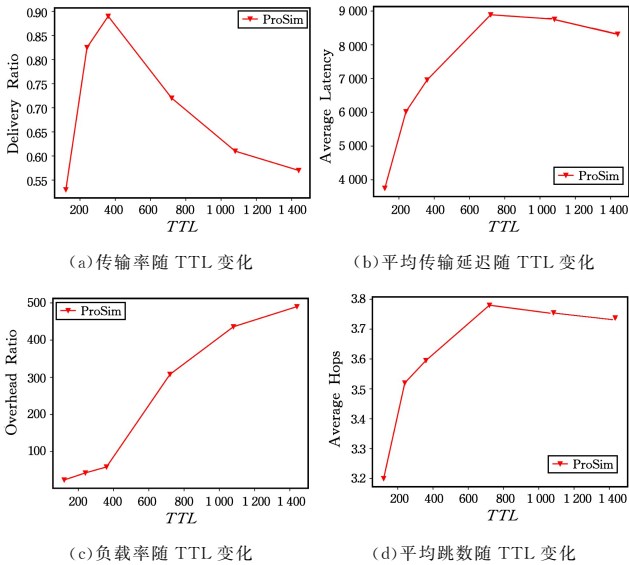


图3 路由性能随TTL的变化

Fig. 3 Routing performance varies with TTL

4.3 权值 α 对ProSim的影响

权值 α 用于调节相遇概率和社会相似度二者的重要性。从图4中可以看出,当 $\alpha \in [0, 1, 0.6]$ 时,消息传输率达到较高水平,同时平均延迟相对较低。而当 α 为0(即只考虑传输概率)和为1(即只考虑社会相似度)时,路由算法的性能大幅降低。这说明只有结合相遇概率和社会相似度而计算出的传递

概率才能够有效提高传输率,降低延迟,从而提高路由性能。

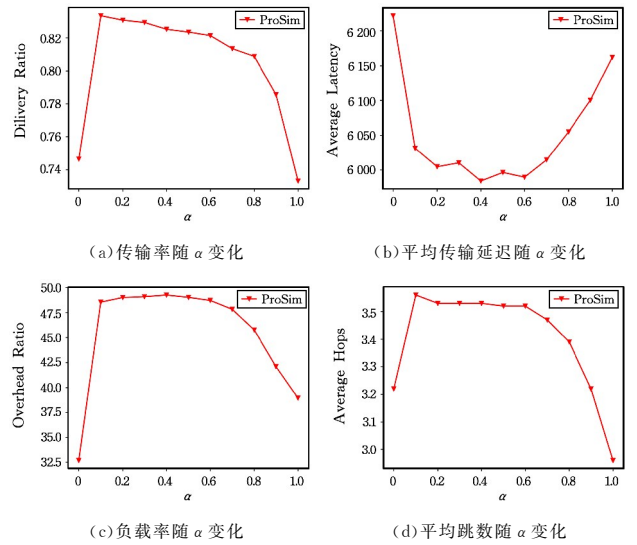


图4 权值 α 对ProSim的影响

Fig. 4 Routing performance varies with α

结束语 本文针对VSN中由节点高速移动、网络拓扑结构动态、网络连接时断时续造成的路由效率低下的问题,提出了一种基于节点传递概率的路由算法ProSim。该算法利用节点的历史相遇情况来动态更新节点与目标节点的相遇概率,利用共同邻居数量来计算节点与目标节点的社会相似度,结合相遇概率和社会相似度来计算节点的传递概率,并把消息转发给传递概率更高的节点。通过在真实道路上进行的仿真模拟可以看出,ProSim可以在控制传输成本和传输延迟的前提下,有效提高消息传输率。在如城市监控数据、气象监测数据、服务器灾备数据等各类延迟容忍数据的传输中,ProSim可以提高延迟容忍数据的传输效率。在下一步的工作中,需要设计车辆存储空间管理方案以应对可能出现的消息过多的情况,另外可以在算法中结合更加稳定的社会特征(如社区等),使用有效的社区检测方法并分别设计社区间和社区内的路由算法,来提高路由算法的性能,加强路由算法的稳定性。

参考文献

- [1] RAHIM A, KONG X, XIA F, et al. Vehicular Social Networks: A survey[J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2018, 43: 96-113.
- [2] SMALDONE S, HAN L, SHANKAR P, et al. RoadSpeak: Enabling Voice Chat on Roadways Using Vehicular Social Networks[C]// *Proceedings of the 1st Workshop on Social Network Systems*. New York: ACM, 2008: 43-48.
- [3] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks[R]. Durham, NC: Duke University, 2000.
- [4] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]// *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking*. New York: ACM, 2005: 252-259.
- [5] DONG B, DENG J, ZHANG D, et al. Technology on data for-

- warding and routing selection for software defined vehicular Ad Hoc network [J]. *Journal of Computer Applications*, 2018, 38(1):26-30.
- [6] BOURAS C, KAPOULAS V, TSANAI E. A GPSR Enhancement Mechanism for Routing in VANETs[C] // *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications*. Berlin: Springer, 2015: 94-107.
- [7] NASCIMENTO H, PEREIRA P R. V-GRADIENT: A Density-Aware Geocast Routing Protocol for Vehicular Delay-Tolerant Networks[C] // *Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems*. Berlin: Springer, 2019: 296-304.
- [8] LI Z, XIE G, LIN J, et al. On the geographic patterns of a large-scale mobile video-on-demand system[C] // *IEEE Conference on Computer Communications*. Piscataway: IEEE, 2014: 397-405.
- [9] SAMARA G. An improved CF-MAC protocol for VANET[J]. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2019, 9(4): 2668-2674.
- [10] BALOUCHZAHAI N M, RAJAEI M. Efficient Traffic Information Dissemination and Vehicle Navigation for Lower Travel Time in Urban Scenario Using Vehicular Networks[J]. *Wireless Personal Communications*, 2019, 106(2): 633-649.
- [11] LUO K, LIU G. Routing optimization considering real-time traffic condition and travel distance[J]. *International Journal of Modern Physics B*, 2019, 33(16): 1950169-1 - 1950169-16.
- [12] ZHANG L, YU B, PAN J. GeoMob: A mobility-aware geocast scheme in metropolitans via taxicabs and buses[C] // *IEEE Conference on Computer Communications*. Piscataway: IEEE, 2014: 1779-1787.
- [13] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, 10(11): 1576-1589.
- [14] DALY E M, HAAHR M. Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-Tolerant MANETs[C] // *Proceedings of the 8th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. New York: ACM, 2007: 32-40.
- [15] SHI J, WANG X, HUANG M. ICN-based cache-aware routing scheme in MSN[J]. *Ad Hoc Networks*, 2018, 75: 106-118.
- [16] CAI Y, FAN Y, WEN D. An Incentive-Compatible Routing Protocol for Two-Hop Delay-Tolerant Networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016, 65(1): 266-277.
- [17] CAI Y, HOU L, FAN Y, et al. Message Transmission Scheme Based on the Detection of Interest Community in Mobile Social Networks[C] // *International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks*. Berlin: Springer, 2017: 70-83.
- [18] GU X, TANG L, HAN J. A social-aware routing protocol based on fuzzy logic in vehicular ad hoc networks[C] // *International Workshop on High Mobility Wireless Communications*. Piscataway: IEEE, 2015: 12-16.
- [19] XIA F, LIU L, LI J, et al. BEEINFO: Interest-Based Forwarding Using Artificial Bee Colony for Socially Aware Networking[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, 64(3): 1188-1200.
- [20] STAGKOPOULOU A, BASARAS P, KATSAROS D. A Social-Based Approach for Message Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks[C] // *Proceedings of the 6th International Conference on Ad Hoc Networks*. Berlin: Springer, 2014: 27-38.
- [21] BRADAI A, AHMED T. ReViV: Selective Rebroadcast Mechanism for Video Streaming over VANET [C] // *2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference*. Piscataway: IEEE, 2015: 1-6.
- [22] CUNHA F D D, MAIA G G, VIANA A C, et al. Socially Inspired Data Dissemination for Vehicular Ad Hoc Networks [C] // *Proceedings of the 17th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. New York: ACM, 2014: 81-85.
- [23] SU Z, HUI Y, GUO S. D2D-based content delivery with parked vehicles in vehicular social networks[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2016, 23(4): 90-95.
- [24] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2003, 7(3): 239-254.
- [25] NEWMAN M E J. Clustering and preferential attachment in growing networks[J]. *Physical Review E*, 2001, 64(2): 025102.
- [26] SPYROPOULOS T, RSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Single-copy Routing in Intermittently Connected Mobile Networks [C] // *2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*. Piscataway: IEEE, 2004: 235-244.



ZHANG Hao-chen, born in 1996, post-graduate. His main research interests include wireless networks and VANETs.



CAI Ying, born in 1966, Ph.D, professor, is a member of China Computer Federation. Her main research interests include vehicular networks and edge computing, cyber security and cryptographic algorithms.