

一种内容中心型车载社交网络路由机制

石峻岭¹ 王兴伟¹ 黄敏²

(东北大学计算机科学与工程学院 沈阳 110169)¹ (东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110819)²

摘要 为满足车载社交网络(Vehicular Social Network, VSN)中用户对视频等多媒体内容的需求,基于内容中心网络(Information-Centric Networking, ICN)架构,提出一种内容中心型 VSN 路由机制(Content-centric routing scheme in VSN, CVSN)。在 CVSN 中,兴趣路由根据车辆节点的相似内容存储选择兴趣包转发节点;数据路由根据车辆节点间的同行率选择数据包转发节点。同时,基于 VSN 用户的兴趣偏好进行内容的网络内缓存管理,在缓存达到上限时,首先丢弃用户兴趣偏好低的内容。基于公交车应用场景对所提出的路由机制进行了仿真实验,通过与现有机制在包交付率、平均延迟、平均跳数和网络开销方面的性能对比表明了文中提出的机制是可行且有效的。

关键词 车载社交网络,内容中心网络,路由机制,网络内缓存

中图分类号 TP311 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.07.007

Content-centric Routing Scheme in Vehicular Social Networks

SHI Jun-ling¹ WANG Xing-wei¹ HUANG Min²

(School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China)¹

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)²

Abstract To satisfy the requirement for multimedia (e. g., video) of Vehicular Social Network (VSN) users, a Content-centric routing scheme in VSN (CVSN) was proposed based on Information-Centric Networking (ICN) architecture. In CVSN, based on the similar content store metrics among vehicle nodes, interest routing selects the forwarding node for an interest packet, while based on the same way probability metrics among vehicle nodes, data routing selects the forwarding node for a data packet. Meanwhile, the in-network caching content is managed according to the interest preference metrics among VSN users. When the caching space is full, the content with low interest preference of user is dropped firstly. Oriented to the bus scenario in cities, by comparing the existed schemes on packet delivery, average hops, average delay and network overhead, simulation experiments show that the proposed scheme is feasible and effective.

Keywords Vehicular social network, Content-centric networking, Routing scheme, In-network caching

1 引言

车辆自组织网络(Vehicular Ad hoc NETWORK, VANET)是一种将无线网络和车辆进行结合、使车辆能够通过移动自组织网络(Mobile Ad hoc NETWORK, MANET)进行通信的技术^[1]。与其他 ad hoc 网络不同, VANET 具有拓扑规模大、变化迅速及网络中的节点密度可变等特点^[2]。目前, VANET 中的车载应用主要为预防交通事故等^[3]。然而,未来车辆能够实现的应用将不仅与安全相关,还能够满足用户多样化的需求,比如用户对内容(包括音乐、视频等)的请求^[4]。因此,需要设计高效的路由机制,以满足 VANET 用户对内容的需求。

由于车辆是由人驾驶的,它的移动受驾驶者社交活动的

影响。比如,具有相同兴趣爱好的驾驶者容易在兴趣相关地点的附近驾车相遇。因此,在 VANET 中节点具有社交属性,这种社交属性促使社交相似(比如兴趣相似)的节点更容易发生相遇。这种考虑车辆间社交属性及社会关系的车载网络即为 VSN^[5]。在 VSN 中,基于车辆驾驶者之间存在的社交关系,不仅能够改善 VANET 中的数据传输效率,而且能够提高对车载网用户内容请求的响应率^[5]。

然而,由于通常情况下持有内容的节点对路由机制而言是未知的(仅已知用户请求的内容是什么,而不知道哪个节点持有该内容),因此大多数的内容请求在被生成时并没有被附加目的节点。为了解决这一问题,本文将内容中心网络(Content Centric Network, CCN)^[6]的概念用于 VSN,提出内容中心型 VSN。在内容中心型 VSN 中,一方面,节点的请求由内

收到日期:2018-06-25 返修日期:2018-09-17 本文受国家杰出青年科学基金资助项目(71325002),国家自然科学基金(61572123)资助。

石峻岭(1989-),女,博士生,主要研究领域为车载网络和移动社交网络路由算法;王兴伟(1968-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为下一代互联网、路由算法设计等;E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn(通信作者);黄敏(1968-),女,教授,博士生导师,主要研究领域为智能算法设计与优化、调度理论与方法等。

容名字构成,根据请求的内容名字对节点的兴趣请求进行路由。这种基于内容名字的路由不需要已知内容提供者(即目的节点),而是通过内容名字查找持有内容的节点。另一方面,内容中心型 VSN 支持节点对内容的缓存,并对缓存内容进行管理。基于用户的兴趣偏好对其未来的兴趣请求进行预测,对未来请求概率较高的内容进行优先缓存,而在缓存空间不足时首先丢弃那些请求概率较低的内容,以提高兴趣检索成功率,进而最大程度地满足节点的请求。

本文的主要贡献如下:基于 ICN 网络架构,提出了一种内容中心型 VSN 中的路由机制;基于节点对于请求内容的相似内容存储设计兴趣路由,将兴趣包发送给具有高概率获得请求内容的节点;根据节点对不同内容的兴趣偏好设计网络内缓存,为缓存的内容计算不同的缓存优先级;利用车辆节点间的路径相似度设计数据路由,通过预测节点与内容请求者之间在未来相遇的概率转发数据包。

本文第2节介绍相关工作;第3节介绍组成模块与工作流程;第4—6节分别介绍兴趣路由、网络内缓存和数据路由;第7节给出仿真与性能评价;最后总结全文。

2 相关工作

关于 VANET 路由已经有很多研究工作。文献[7]提出了一种基于社交兴趣的路由机制,将用户的兴趣与工作移动模型相结合,利用车辆的兴趣差异实现数据交付。文献[8]提出了一种基于聚簇方法的 VANET 路由机制,利用由全球定位系统(Global Position System, GPS)提供的车辆位置和速度信息构建簇,令簇头节点和簇成员之间保持相对稳定的移动。文献[9]通过对大规模车辆轨迹的分析发现车辆具有动态社交性,通过马尔科夫链预测车辆的这种社交性,并使用一种贪婪式启发算法选择最具中心性的车辆节点。文献[10]根据人类日常生活中的社交熟人关系,提出了一种 VSN 中的基于社交熟人的路由机制,在做转发路由时,全面地考虑了节点全局和局部的社区熟人。文献[11]提出一种加强的基于位置的 VANET 路由机制,该机制通过考虑车辆节点的行驶速度和方向,克服了频繁变化的网络拓扑和节点密度。文献[12]基于蚁群算法综合考虑了车辆节点的密度、速度以及信号衰减,实现了从源节点到目的节点的信息交付。

然而,对于节点生成内容请求但未知内容持有者的情况,上述 VANET 路由机制无法有效实现内容查找并满足车载网用户对内容的需求,因此其对于 VSN 无法满足用户内容请求的问题并不适用。

关于 VANET 中面向内容的路由,已经有了一些研究工作。文献[13]提出了一种内容中心型车载网中的路由机制,每一个车辆节点与邻居共享其满足兴趣的历史统计;所有的邻居在本地存储这些信息,以帮助它们选择潜在的兴趣转发节点。文献[14]提出为兴趣包添加跳数计数器的路由机制,内容持有者产生的数据包中包含与兴趣包跳数相对应的生存时间,通过生存时间控制数据包的广播数量。文献[15]在车辆到基础设施(Vehicle-to-Infrastructure)的场景中,基于命名数据网络(Named Data Networking, NDN)最大化用户成功查找请求内容的概率;考虑节点可用存储能力和链路带宽,将网

络节点的最优化内容分布问题建模为整数线性规划模型。文献[16]提出了一种面向内容的路由机制,利用布鲁姆过滤器设计可扩展的内容发现机制,以解决 VANET 中用户对内容的需求。然而,上述路由机制在设计时都没有考虑车辆节点所具有的社交属性。本文基于车辆节点的社交属性进行兴趣包检索、网络内缓存和数据包返回,实现高效的路由性能。

3 组成模块与工作流程

3.1 组成模块

如图1所示,本文提出的内容中心型车载社交网络路由机制(CVSN)包含4个模块,分别为社交模块、网络内缓存模块、负责转发兴趣包的兴趣路由模块,及负责转发数据包的数据路由模块。其中,社交模块中具体包含3个社交度量,分别为相似存储、兴趣偏好,以及同行率。在兴趣路由中,将兴趣包发送给存储同种类内容量大的节点,以成功查找内容提供者。在网络内缓存中,根据缓存节点对缓存内容的兴趣偏好计算缓存优先级,在节点缓存空间不足时删除优先级低的内容。在数据路由中,将数据包发送给与请求者同行率高的节点,以提高数据包的交付概率。

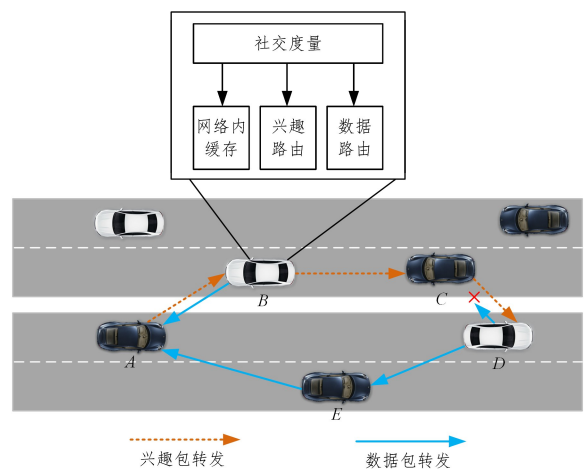


图1 工作流程及场景描述

Fig. 1 Workflow and scenario description

3.2 系统工作流程

根据 CVSN,兴趣请求者请求一个内容时,首先生成一个兴趣包,然后根据兴趣路由模块选择节点进行兴趣包转发。兴趣包的转发节点根据兴趣路由模块继续选择下一跳转发节点并转发兴趣包,直到找到内容提供者(即缓存或者存储有请求内容的节点)。内容提供者收到该兴趣包后,会生成一个以请求者为目的地的数据包,并根据数据路由模块选择节点进行数据包转发。数据包转发节点接收到该数据包后,首先根据网络内缓存模块对该数据包中携带的内容进行缓存,然后依据数据路由模块继续选择下一跳转发节点进行数据包转发,直到找到兴趣请求者,完成兴趣包交付。

如图1所示,内容请求者A产生一个兴趣包时,它将根据兴趣路由将兴趣包发送给节点B。如果B缓存有请求的内容,则它产生数据包并返还给A;否则,B将根据兴趣路由继续把兴趣包发送给C。同样,C再将兴趣包发送至内容提供者D。D收到兴趣包后产生对应的数据包。此时,C由于发

生移动,与 D 的连接断开,因此 D 无法通过 C 进行数据包交付。 D 根据数据路由中的数据包转发功能选择 E 作为转发节点,将数据包发送给 E 。 E 接收到数据包时,将根据网络内缓存规则对数据包中的内容进行缓存。接下来,当 E 遇到 A 时将数据包发送给 A ,从而实现数据包的交付。

4 兴趣路由

4.1 相似存储

节点在本地缓存的内容能够在一定程度上代表其所感兴趣的方面。比如,如果一个车辆 A 的存储空间中缓存有较多关于 NBA 的视频,那么可以判断 A 的乘客(即 VSN 用户)对“篮球”较为感兴趣。当 A 接收到一个关于“NBA 全明星”的请求时,尽管它目前没有缓存该请求内容,但是,相较于其他缓存较少属于“篮球”分类内容的车辆而言, A 更容易获得该请求内容,因为它更容易在体育馆或者篮球场附近与缓存有请求内容的车辆发生相遇。

基于上述现象,假设用户请求的所有内容被分成 n 个分类, c_j 为任意的内容分类, $1 \leq j \leq n$;一个分类中的内容种类为 l_j ,即每个内容分类 c_j 中具体有 l_j 种不同的内容。令 Noc 表示内容种类的总数,则:

$$Noc = \sum_{j=1}^n l_j \quad (1)$$

令 cn_w 代表任意内容的名字, $1 \leq w \leq Noc$ 。设网络内共有 m 个车辆节点, R_i 为其中任意节点, $1 \leq i \leq m$; C_i 为 R_i 的缓存内容集合,存储所有 R_i 缓存的内容的名字。令 sc_i^j 代表 R_i 对于内容分类 c_j 的相似存储,即 R_i 存有属于 c_j 的内容的数量。由于本文的网络内缓存机制使得内容不会被冗余缓存,即节点不会缓存重复的内容,则 sc_i^j 的计算如下:

$$sc_i^j = \sum_{w=1}^{l_j} f_w \quad (2)$$

其中:

$$f_w = \begin{cases} 1, & cn_w \in C_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

假设 c_j 中包含的内容名字有 $\{cn_1, cn_2, cn_3\}$, $C_i = \{cn_2, cn_3, cn_5, cn_6, cn_8\}$, 则 $sc_i^j = 2$ 。

4.2 兴趣包转发算法

设 cn_w 为兴趣包 ip 请求的内容的名字, $cn_w \in c_j$,即 ip 请求的内容属于分类 c_j 。当 R_i 收到 ip 时,如果 R_i 缓存有 ip 请求的内容,即 $cn_w \in C_i$,则 R_i 生成相应的数据包。如果没有,则将 ip 暂时存储在兴趣包的 backlog(为每个节点设置的暂时缓存兴趣包的存储空间)中等待后续转发。

设 E_i 为 R_i 的相遇节点集合(这里的相遇节点指的是当前与 R_i 相互处于彼此无线通信范围内的节点), $\forall R_z \in E_i$, $1 \leq z \leq m, z \neq i$ 。当 R_i 与 R_z 相遇时,首先它们彼此交换各自的内容缓存集合,如果 E_i 中存在节点缓存名字为 cn_w 的内容,即 $\exists R_z \in E_i$ 且 $cn_w \in C_z$,则 R_i 将 ip 发送给 R_z ;否则, R_i 与 R_z 交换彼此对于各内容分类的相似存储度量。设 R_{msc} 为 E_i 中对于 c_j 相似存储最大的节点,即 $sc_i^j \geq sc_z^j$,如果 $sc_i^j \geq sc_z^j$,则 R_i 将 ip 发送给 R_{msc} 。兴趣包转发过程见算法 1。

算法 1 兴趣包转发

输入:兴趣包 ip

输出:转发节点

1. IF $cn_w \in C_i // R_i$ 缓存有 ip 请求的内容
2. 生成相应数据包并执行数据包转发算法;
3. ELSE 将 ip 存储在兴趣包 backlog;
4. END IF
5. UPON 与其他节点相遇
6. 交换彼此的内容缓存集合;
7. IF $\exists R_z \in E_i$ 且 $cn_w \in C_z$
/* 在相遇集合 E_i 中存在 R_z ,其内容缓存集合 C_i 中缓存有请求内容名字 cn_w */
8. 返回 R_z ;
9. ELSE 交换彼此对于各内容分类的相似存储度量;
10. IF $sc_{msc}^j \geq sc_i^j$
// R_{msc} 对请求内容所属分类 c_j 的相似存储度量高于 R_i
11. 返回 R_{msc} ;
12. END IF

5 网络内缓存

5.1 兴趣偏好

VSN 用户对不同兴趣分类呈现差异性偏好。令每个节点维护一个自己的兴趣向量,用于存储它对于不同兴趣分类的兴趣偏好。设 R_i 的兴趣向量为 P_i , P_i 的表达式如下:

$$\vec{P}_i = (p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^n) \quad (4)$$

其中, p_i^j ($1 \leq j \leq n$) 为节点对 c_j 的历史请求次数。

5.2 缓存策略

每个车辆节点对接收到的数据包中的内容进行缓存。由于节点的缓存空间有限,因此为每个缓存的内容计算优先级,在缓存空间达到上限时,优先级较低的内容将被丢弃。基于 5.1 节中对用户兴趣偏好的刻画,取 p_i^k 表示 R_i 对于内容名字为 cn_w 的优先级。

具体的缓存策略如下:当节点接收到一个内容名字为 cn_{new} 的内容时,如果节点已经缓存有相同的内容,则中断缓存操作。否则,如果节点的缓存剩余空间(设为 sp_r)能够存储该内容,则直接进行缓存;否则,按照新内容的尺寸计算需要丢弃的内容数量。设新内容的尺寸为 sz_{new} ,则在缓存中循环累加优先级最低的内容的尺寸,直到累加的尺寸 sz_{del} 大于或等于 sz_{new} ,此时最后进行累加的内容即为需要删除的内容中的优先级最高的内容。令 p_i^{new} 表示新内容的优先级, p_i^{last} 表示需要删除内容中优先级最高的内容的优先级。如果 $p_i^{new} > p_i^{last}$,则进行缓存的删除操作;否则,中断缓存操作。网络内缓存的具体步骤见算法 2。

算法 2 网络内缓存

输入:内容名字为 cn_w 的内容

输出:缓存优先级 p_i^{new}

1. IF $cn_w \in C_i$
2. Break;
3. ELSE IF $sp_r \geq sz_{new}$
//节点的剩余缓存空间大于新内容的尺寸
4. 缓存新内容;
5. ELSE IF $p_i^{new} \leq p_i^{last}$
/* 新内容的缓存优先级低于需要删除的内容中的优先级最高的内

容的优先级 * /

6. Break;
7. ELSE WHILE $sz_{del} < sz_{new}$
//直到删除的总尺寸高于新内容的尺寸
8. DO 删除优先级最低的缓存内容;
9. END IF
10. END IF

6 数据路由

6.1 同行率

车辆之间相似的行驶路径意味着它们彼此之间相遇的概率很高。将数据包发送给与请求者具有相似行驶路径即同行概率的节点,能够提高数据包的交付概率。在请求者生成兴趣包时,它会将其路径(从当前位置到目的地)的坐标集合(通过 GPS 获得)、生成该兴趣包的时刻 t_g 以及平均行驶速度 spd (供后文的坐标估算使用)加入到兴趣包中。其中,坐标间隔的距离是固定值 itv 。令 Cod_i 表示 R_i 的路径坐标集合,则:

$$Cod_i = \{c_1^i, c_2^i, \dots, c_d^i\} \quad (5)$$

其中, c_d^i 是距 R_i 的目的地的物理位置最近的坐标。

两个节点的同行率为它们的路径坐标集合的 Jaccard 距离。令 $sw_{i,j}$ 表示 R_i 和 R_j 的同行率,则:

$$sw_{i,j} = \frac{|Cod_i \cap Cod_j|}{|Cod_i \cup Cod_j|} \quad (6)$$

6.2 数据包转发算法

由于在进行数据包转发时,请求者的路径坐标集已经发生了变化(因为请求者发生了移动),因此要对请求者当前的路径坐标进行更新,即对请求者当前的坐标进行预测。本文采用一种简单的预测方法,在选择数据包转发节点时,删除请求者已经到达过的坐标。

假设进行数据路由的当前时刻为 t_d ,则需要删除的请求者的坐标数量 noc_{del} 为:

$$noc_{del} = \left\lfloor \frac{(t_d - t_g) \cdot spd}{itv} \right\rfloor \quad (7)$$

根据得到的 noc_{del} ,对请求者的路线坐标集合 Cod_r 中的前 noc_{del} 个坐标进行删除,进而得到更新的坐标集合 Cod_r^{up} 。

由于该预测方法仅适用于车辆行驶规律且速度稳定的情况(比如公交车等轨道交通),而在实际应用中车辆节点无法维持稳定的移动速率,本文的仿真实验中同样面向的是公交车的场景,详见 7.1 节。在接下来的工作中,将会对该预测方法进行更深入和更具普适性的研究。

R_i 接收到一个数据包 dp 时,首先执行算法 2,进行内容的网络内缓存操作。如果 R_i 为 dp 的目的节点(设 R_r 为其目的节点,即 $R_i = R_r$),则 dp 得到交付;否则,将 dp 暂时存储在数据包的 backlog 中等待转发。当 R_i 与其他节点相遇时,如果 E_i (节点的相遇节点集合)中存在请求者,即 $R_r \in E_i$,则 R_i 将 dp 发送给 R_r ;否则,节点彼此交换各自的路径坐标集合。 R_i 计算所有 E_i 中节点与兴趣请求者的同行率。设 R_{msw} 为 E_i 中与 R_i 的同行率最大的节点,即 $\exists R_z \in E_i, sw_{msw,r} \geq sw_{z,r}$ 。如果 $sw_{msw,r} \geq sw_{i,r}$,则 R_i 将 dp 发送给 R_z 。数据包转发过程见算法 3。

算法 3 数据包转发

输入:数据包 dp

输出:转发节点

1. UPON 接收到数据包
2. 执行算法 2;
3. UPON 与其他节点相遇
4. IF $R_r \in E_i$
//相遇节点集合中包含兴趣请求者
5. 返回 R_r ;
6. ELSE 交换路径坐标集合并计算所有相遇节点与请求者的同行率
7. IF $sw_{msw,r} \geq sw_{i,r}$
/* 相遇集合中与兴趣请求者同行率最大节点的同行率高于当前节点与请求者的同行率 * /
8. 返回 R_{msw} ;
9. END IF

7 仿真实现与性能评价

7.1 仿真设置

在机会网络环境(Opportunistic Network Environment, ONE)下进行仿真实验^[17]。为了使 ONE 能够仿真基于 ICN 的网络架构,首先,将消息分为两种,即兴趣包和数据包。兴趣包以请求的内容名字进行标识,当节点缓存的内容集合中包含该请求的内容名字时,即得到兴趣包的交付。其次,由于 ONE 中的节点不具备缓存功能,因此为节点增加缓存空间,用来存储缓存的内容名字。采用其中基于地图的移动模型,将沈阳市环路、117 路、152 路、225 路、239 路、244 路、272 路、282 路、K801 路和 K802 路共 10 路公交车的路线融合为仿真地图,利用 Open Jump^[18] 工具将其转化为 ONE 能够识别的地图文件,实现将道路提取作为移动模型的地图(见图 2)。在每条公交线路中设置 10 辆公交车,其他仿真参数如表 1 所列,其中 TTL(Time To Live,生存时间)为在 7.2.1 节中的设置。

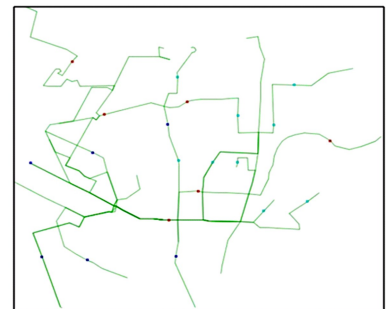


图 2 移动模型的地图

Fig. 2 Map of movement model

表 1 仿真参数设置

Table 1 Simulation parameter settings

参数	设置
仿真区域大小(长×宽)	14.3 km×12.7 km
仿真运行时间/s	43 200
消息大小	兴趣请求:50b;内容块:2 Mb
内容缓存空间/M	50
TTL/min	150
传输速率/Mbps	2
传输范围/m	300
行驶速度/(km/h)	60

仿真评估采用如下4个对比指标:包交付率(Packet Delivery Ratio, PDR)、平均跳数(Average HoP, AHP)、平均延迟(Average DeLay, ADL)和网络开销(Network OverHead, NOH)。其中,PDR为交付的包数量(包括兴趣包和数据包)与生成的总的包数量的比值;AHP为所有交付的包所经历的跳数与交付的包数量的比值;ADL为所有交付的包经历的时长与交付的包数量的比值;NOH为所有生成的包被转发的次数与所有交付包的数量的比值。

将本文提出的CVSN与经典的VSN路由机制MaxPropRouter(MPR)^[19]进行对比。MPR根据节点间的历史相遇次数来选择转发节点,并基于跳数和转发概率对缓存中的消息进行管理。由于MPR不具备网络内缓存的功能,为了公平起见,为其配备先进先出(First In First Out, FIFO)内容缓存策略。此外,由于MPR基于已知目的节点进行路由,因此在兴趣路由时,将源内容提供者提供给MPR。也就是说,MPR的兴趣路由由兴趣包路由至源内容的提供者,而不是基于内容名字的路由。

7.2 性能评价

7.2.1 模块有效性

为了评价CVSN中的3个模块即兴趣路由(Interest Routing, IR)、数据路由(Data Routing, DR)和网络内缓存(in-Network Caching, NC)的有效性,分别在CVSN中将各模块的功能去掉后,与完整的CVSN做性能对比。用CVSN-I, CVSN-D和CVSN-C分别表示去掉各模块后的CVSN。其中,CVSN-I和CVSN-D使用直接交付算法代替ID和DD,即CVSN-I和CVSN-D不进行包的转发,而仅仅在与内容请求者或者提供者相遇时才交付消息。分别计算CVSN-I, CVSN-D和CVSN-C与CVSN的4项指标的比值,对比结果如图3—图5所示。

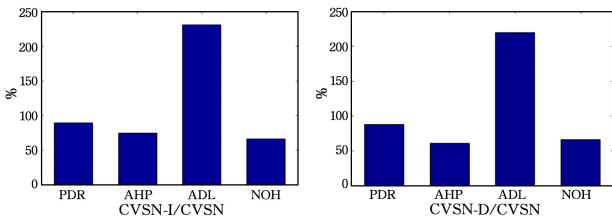


图3 IR的有效性
Fig. 3 Effectiveness of IR

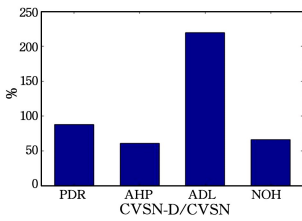


图4 DR的有效性
Fig. 4 Effectiveness of DR

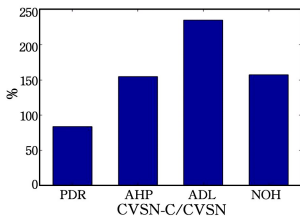


图5 NC的有效性
Fig. 5 Effectiveness of NC

从图3可见,CVSN-I的PDR低于CVSN的PDR,证明ID对PDR都是有效的,即通过兴趣包转发能够有效提高包的交付率。然而,CVSN-I的AHP低于CVSN的AHP。这是因为CVSN-I不进行包转发,而仅进行包的直接交付,减少

了包的跳数。此外,CVSN-I的ADL低于CVSN的ADL,证明ID对ADL是有效的。然而,与AHP类似,包的直接交付导致CVSN-I的NOH低于CVSN的NOH。

从图4可见,CVSN-D的PDR和ADL均低于CVSN的,证明DD对PDR和ADL都是有效的。然而,与ID相类似,CVSN-D的AHP和NOH均低于CVSN的。从图5可见,CVSN-C的PDR和ADL均低于CVSN的,而且AHP和NOH均高于CVSN的,证明IC对各项对比指标都是有效的,即通过对内容的网络内缓存,能够有效提高包的交付率并减少包的交付延迟及转发次数。

7.2.2 性能对比与评价

CVSN和MPR在不同的包生存时间下的PDR, AHP, ADL和NOH如图6—图9所示。

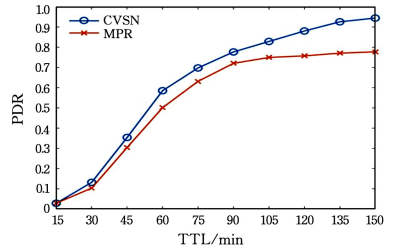


图6 包交付率
Fig. 6 PDR

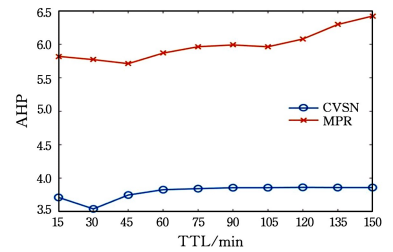


图7 平均跳数
Fig. 7 AHP

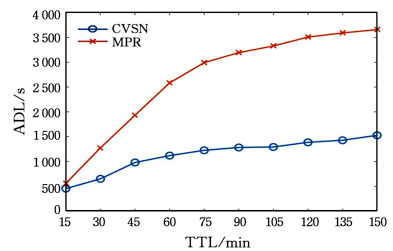


图8 平均延迟
Fig. 8 ADL

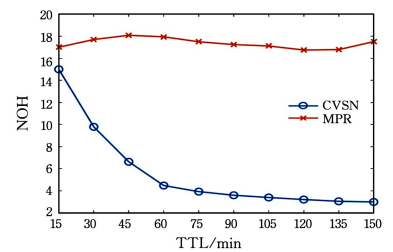


图9 网络开销
Fig. 9 NOH

对比可知, CVSN 具有更高的 PDR, 更低的 AHP, ADL 和 NOH。造成这种结果的原因如下:

首先, CVSN 采用基于用户兴趣偏好的网络内缓存机制对数据包携带的内容进行单独缓存, 能够对未来请求概率较高的内容优先缓存, 首先丢弃未来请求概率较低的内容, 因此能够提高兴趣包的响应概率即兴趣包的交付率; 同时, 有效的网络内缓存能够减少兴趣包的交付跳数和网络开销, 即兴趣包不需要从内容源处获得请求内容, 而可以从缓存有内容副本的节点处获得。正是因为这种原因, 兴趣包的平均延迟亦能够减小。对比而言, MPR 采用的网络内缓存策略是 FIFO。这种缓存策略不会对缓存内容进行优先级的区分, 即所有缓存内容的缓存概率都是相同的。然而, VSN 中的用户是具有兴趣差异属性的, 他们对于不同的兴趣具有差异性的偏好, 即对不同内容的请求概率是存在差异的。因此, 为所有缓存内容设置相同的缓存概率是不合理的。其次, 在进行数据包转发时, CVSN 根据车辆节点未来的相似路线进行路由, 将数据包发送给与目的节点路径相似度高的节点, 实现数据包的转发。对比而言, MPR 是基于节点的历史相遇次数进行包转发的。然而, 在 VSN 中节点的密度相对较低, 很多车辆的相遇并没有历史相遇作为基础。因此, 基于路径相似度量的数据包转发更适用于车载网的应用场景。

最后, 在兴趣路由中, CVSN 基于节点的内容相似存储转发兴趣包, 将兴趣请求发送给具有较高概率获得请求内容的节点, 因此提高了兴趣包的路由性能。虽然在 MPR 中的内容源提供者是已知的(详见 7.1 节), 但是缓存在 MPR 中的内容却是未知的, 因此大多数的兴趣包只有在被路由至源内容提供者时才能实现交付。这也能够体现在满足用户内容需求时, 采用 ICN 架构中基于名字的路由方式的优势。

结束语 在车载社交网络中, 本文基于信息中心网络架构提出了一种路由机制: 选择有与请求内容相似存储的节点进行兴趣包转发, 以实现兴趣查找; 根据节点的兴趣偏好判断其对不同内容的请求概率, 为每个内容计算不同的优先级; 通过把数据包转发给与请求者具有相似路径的节点来实现数据包交付。实验结果表明, 在包交付率、平均跳数、平均延迟和网络开销方面, 本文提出的机制均优于对比机制。在实际网络背景下进行实验, 以进一步验证和提高本文机制的实用性, 是未来研究工作的重点。

参 考 文 献

- [1] SHAREF B T, ALSAQOUR R A, ISMAIL M. Vehicular Communication Ad hoc Routing Protocols: A Survey [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 40(2): 363-396.
- [2] BENAMAR N, SINGH K D, BENAMAR M, et al. Routing Protocols in Vehicular Delay Tolerant Networks: A Comprehensive Survey [J]. *Computer Communications*, 2014, 48(8): 141-158.
- [3] ALSULTAN S, ALDOORI M M, ALBAYATTI A H, et al. A Comprehensive Survey on Vehicular Ad hoc Network [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 37(1): 380-392.
- [4] LEE J, LEE H. Developing and Validating ACitizen-centric Typology for Smart City Services [J]. *Government Information Quarterly*, 2014, 31: S93-S105.
- [5] VEGNI A M, LOSCRI V. A Survey on Vehicular Social Networks [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, 17(4): 2397-2419.
- [6] AHLGREN B, DANNEWITZ C, IMBRENDA C, et al. A Survey of Information-centric Networking [J]. *Communications Magazine IEEE*, 2011, 50(7): 26-36.
- [7] QIN J, ZHU H, ZHU Y, et al. POST: Exploiting Dynamic Sociality for Mobile Advertising in Vehicular Networks [J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2016, 27(6): 1761-1769.
- [8] MEHRA R, BALI R S, KAUR P. Efficient Clustering based OLSR Routing Protocol for VANET [C]// *Proceedings of Colossal Data Analysis and Networking*. Indore: IEEE Press, 2016: 1.
- [9] JOHARI R, GUPTA N, ANEJA S. CONCOR: Context-aware Community-oriented Routing for Intermittently Connected Network [J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2015, 148: 1-13.
- [10] RAHIM A, QIU T, NING Z, et al. Social Acquaintance based Routing in Vehicular Social Networks [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2017, 93: 751-760.
- [11] HUANG D, YAN Y A. Contention-based Routing Protocol for VANET [J]. *TELKOMNIKA*, 2016, 14(1): 319-325.
- [12] RAJESH K M, ROUSTRAY S K. Ant Colony based Dynamic Source Routing for VANET [C]// *Proceedings of International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology*. Bangalore: IEEE Press, 2017: 279-282.
- [13] AHMED S H, BOUK S H, KIM D. RUF: Robust Forwarder Selection in Vehicular Content-centric Networks [J]. *IEEE Communications Letters*, 2015, 19(9): 1616-1619.
- [14] AHMED S H, BOUK S H, YAQUB M A, et al. CONET: Controlled Data Packets Propagation in Vehicular Named Data Networks [C]// *Proceedings of IEEE Consumer Communications & Networking Conference*. Las Vegas: IEEE Press, 2016: 620-625.
- [15] MAURI G, GERLA M, BRUNO F, et al. Optimal Content Prefetching in NDN Vehicle-to-Infrastructure Scenario [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2017, 66(3): 2513-2525.
- [16] YU Y T, LI X, GERLA M, et al. Scalable VANET Content Routing Using Hierarchical Bloom Filters [C]// *Proceedings of Wireless Communications and Mobile Computing Conference*. Sardinia: IEEE Press, 2013: 1001-1014.
- [17] KERANEN A, OTT J, KARKKAINEN T. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation [C]// *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. Rome: ACM Press, 2009: 1-10.
- [18] <http://www.openjump.org>.
- [19] BURGESS J, GALLAGHER B, JENSEN D, et al. MaxProp: Routing for Vehicle-based Disruption-Tolerant Networks [C]// *Proceedings of INFOCOM*. Barcelona: IEEE Press, 2006: 1-11.