

文章编号: 2095-2163(2019)05-0071-05

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

# VANET 中基于网络传输延迟的改进 AODV 协议

陈芙蓉, 张 剑

(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

**摘 要:** 车载自组织网络具有拓扑变化频繁、链路易断等特性, 针对 AODV 路由协议存在传输延迟长、路由开销大等问题, 本文基于车辆分簇思想对 AODV 路由协议进行改进, 以数据传输延迟为优化目标得出源节点到目的节点间的最小延迟路径。通过对高速公路网络场景的仿真分析, 结果表明, 改进后协议可有效降低数据传输延迟及网络开销, 提高分组投递率。

**关键词:** 车载自组织网络; AODV 路由协议; 最小延迟路径

## The improved AODV protocol based on network transmission delay in VANET

CHEN Furong, ZHANG Jian

(School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**【Abstract】** Vehicle Ad-hoc Network (VANET) has the characteristics of frequent topology changes and fragile links and so on. Considering the problems of long transmission delay and large routing overhead in the AODV routing protocol, this paper improves the AODV routing protocol based on the idea of vehicle clustering, and obtains the minimum delay path between source node and destination node with the data transmission delay as the optimization target. Through the simulation analysis of the highway network scene, the results show that the improved protocol can effectively reduce the data transmission delay and network overhead, and improve the packet delivery rate.

**【Key words】** VANET; AODV routing protocol; the minimum delay path

## 0 引 言

车载自组织网络 (Vehicle Ad-hoc Network, VANET) 是移动自组织网络 (Mobile Ad-Hoc Network, MANET) 在车辆交通中的典型应用, 主要通过车车通信 (V2V)、车辆与基础设施通信 (V2I) 实现道路车辆的数据转发。VANET 中节点高速移动, 设计高效路由协议找出最佳路径是实现数据有效传输的重要方法。

VANET 具有网络拓扑变化快、节点分布不均等特性, 传统 AODV 协议已无法满足实际复杂的交通情况, 有学者在研究传统协议的基础上考虑道路条件、车速等因素对协议进行改进, 有效提高了网络性能。安娜<sup>[1]</sup> 基于链路有效时间评估机制提出 LS-AODV 协议, 选择链路有效时间最长的路由作为数据传输路径。Shen 等人<sup>[2]</sup> 提出 AODV-PNT 协议, 通过预测节点位置选择数据转发的中继节点。陈哲愚等人<sup>[3]</sup> 根据节点速度的不同改变 AODV 广播频率以降低消息碰撞的概率。谭小晴<sup>[4]</sup> 给出一种改

进路由协议 Improved-AODV, 在路由发现阶段采用主路由与备份路由选择机制。夏志谋<sup>[5]</sup> 实现了一种基于节点速度的稳定路径选择算法 RAODV, 有效提高了链路的生存周期。刘荣等人<sup>[6]</sup> 提出一种基于节点位置与速度的 AODV 路由改进策略 AODV-L, 改善了丢包率、路由投递率等性能。

针对 AODV 协议在 VANET 中应用面临的问题, 本文提出一种基于网络传输延迟的改进 AODV 协议—TD\_AODV (Improved AODV Routing Protocol Based on Network Transmission Delay)。首先, 结合分层型路由协议思想在 AODV 协议基础上对车辆进行分簇, 可有效改善由车速过快引发的链路生存周期短等问题; 其次, 针对簇头节点需接收簇内以及邻簇头数据所导致的数据排队现象, 应用排队论模型得出簇头节点间的传输延迟权重; 最后, 结合该权重运用 Dijkstra 算法计算源节点至目的节点间各路径的传输延迟, 选择最短延迟路径转发。实验表明, 改进后的协议在分组投递率、传输延迟、网络开销方面均得到有效改善。

**作者简介:** 陈芙蓉 (1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线通信、车联网; 张 剑 (1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 信息融合与模式识别、智能交通、目标定位识别等。

收稿日期: 2019-07-15

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

## 1 VANET 排队模型建立与时延分析

### 1.1 VANET 排队模型

排队论是运筹学与应用概率的重要分支,目前已广泛应用于通信工程、交通运输等众多领域,典型的排队系统模型包括队长、等待时间等4个重要指标<sup>[7]</sup>。

TD\_AODV 协议针对 VANET 中簇头节点数据传输拥挤现象,应用排队论模型得出节点间时延权重,作为下一步各条路径总时延的计算依据。部分簇头车辆节点中数据排队转移模型如图1所示。图1中, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 为簇头节点, $\lambda$ 为节点数据平均到达率, $\mu$ 为节点平均服务速率, $P$ 为队列转移概率。

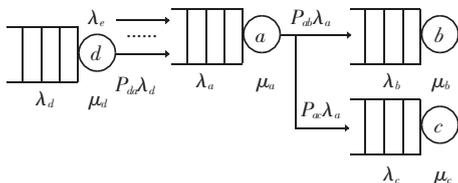


图1 排队系统队列转移模型

Fig. 1 Queue transfer model of queuing system

数据分组到达簇头节点  $a$  的2种情况,对此可阐释分述如下:

(1)独立的外部泊松到达  $\lambda_e$ (收到簇内成员需传输给目标车辆的数据分组)。

(2)从队列  $d$  以概率  $P_{da}$  到达节点  $a$ (由于车辆移动,邻簇头车辆无法正常将数据分组传送给其目标车辆,经节点  $a$  中继传输至目标车辆)。

数据分组离开簇头节点  $a$  时的2种情况,对此可得分析概述如下:

(1)以概率  $P_{ab}$  到达另一簇头节点  $b$ (将数据分组由节点  $a$  传输至邻簇中继簇头节点  $b$ ,由该中继车辆继续转发)。

(2)到达目标车辆所在簇。

### 1.2 节点间时延计算与分析

排队系统中每个簇头节点都可以认为是一个  $M/M/1$  队列,每个节点的队列总时延为排队时延与传输时延之和<sup>[8]</sup>。在  $[0, t]$  时间内到达的数据分组服从参数为  $\lambda t$  的泊松分布,数据分组在簇头节点的传输时延即服务时间服从参数为  $\mu$  的负指数分布,排队系统仅有一个服务台,到达过程与服务过程彼此独立。

当簇头节点的服务强度  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$  时,即排除系统排队无限长的情况,系统达到稳定状态,此时系

统有  $n$  个分组的概率为:

$$P_n = (1 - \rho) \rho^n, n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

簇头节点中正在排队以及进行传输的数据分组平均队长为:

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} n * P_n = (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n * \rho^n = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad (2)$$

簇头节点中正在排队的数据分组平均等待队长为:

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n - 1) * P_n = (1 - \rho) \sum_{n=1}^{\infty} (n - 1) * \rho^n = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}, \quad (3)$$

簇头节点数据分组的平均逗留时间为:

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad (4)$$

由 Little 公式<sup>[9]</sup>可知,各指标之间存在以下关系:

$$L_s = \lambda * W_s; L_q = \lambda * W_q. \quad (5)$$

研究时,已知其中某个指标即可求得其他指标,大大简化了排队时延的计算。

## 2 最短路由选择

现有的路由选择算法大多基于最小费用原则,可将传输延迟、连通性等作为费用指标,如典型的 Dijkstra 算法,TD\_AODV 协议结合已得的簇头节点间延迟权重,利用该算法计算各路径的总传输延时,选择延迟最小路径进行数据转发。

Dijkstra 算法采用标记设置法按长度递增的顺序不断扩展新的节点,更新其与各邻点的距离,使之与最初节点的距离之和最短<sup>[10]</sup>。用  $P(u)$  表示源节点到区域内其它节点  $u$  的距离,  $u_0$  为源节点,  $W(i, j)$  表示节点  $i$  到节点  $j$  之间的距离, Dijkstra 算法的基本过程具体如下:

(1)令  $Q$  为整个区域内的节点集合,任何不属于集合  $Q$  的节点  $u$ , 满足:

$$P(u) = \begin{cases} W(u_0, u), & \text{节点 } u \text{ 与 } u_0 \text{ 直接连通;} \\ \infty, & \text{节点 } u \text{ 与 } u_0 \text{ 不直接连通.} \end{cases} \quad (6)$$

(2)找出一个不属于  $Q$  的节点  $v$ , 使  $P(v)$  取得值最小,将  $v$  转移至  $Q$  中。找出另一节点  $u (u \notin Q)$ , 比较  $P(u)$  与  $P(v) + W(v, u)$  的大小,用其较小值代替原有  $P(u)$  值,即:

$$P(u) = \text{Min}[P(u), P(v) + W(v, u)]. \quad (7)$$

(3)重复(2),直至所有节点均属于  $Q$ 。

### 3 基于 VANET 的 TD\_AODV 协议

#### 3.1 设计思路

(1)簇的建立:选择距离簇中心最近的车辆为簇头。簇中心经纬度坐标为:

$$\begin{cases} O_x = \sum X_i/n; \\ O_y = \sum Y_i/n. \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $n$  表示簇内车辆数,  $(X_i, Y_i)$  为由 GPS 获得的簇内车辆  $i$  的经纬度坐标。簇头节点定期发送 beacon 报文(车速、IP 等)告知成簇信息,节点收到后判断其簇头列表是否有该簇头的 IP,若有或为空则向该簇头发送 hello 报文加入该簇。

(2)簇的维护:簇成员未收到所在簇簇头发送的报文,将状态改为孤立节点且删除簇头列表中该项,重新选取新簇头并更新簇头列表。

(3)基于车辆分簇,结合排队论、Dijkstra 算法得出最短延迟路径  $Road\_MinD$ 。

(4)路由请求:成员节点为源节点且需发送数据分组,其所在簇簇头向邻居簇头发送 RREQ 分组报文。收到报文中继簇头节点查看路由表,判断自身是否处于最短延迟路径中,如不是则丢弃;如是则继续转发直至到达目的节点。

(5)路由回复:收到 RREQ 的中继簇头节点判断自身是否处于  $Road\_MinD$  中,如是则继续判断路由表中是否有到达源节点所在簇的反向路由,如存在则向源节点所在簇的簇头转发 RREP 报文,建立反向路由;如不是则仅建立反向路由。

#### 3.2 报文格式

TD\_AODV 协议的 RREQ、RREP 报文格式如图 2、图 3 所示,扩展加入了最短延迟路径 ( $Road\_MinD$ ),同时加入了节点分簇机制所需的相关条目。

### 4 仿真实现

本文选用 OPNET Modeler 14.5 仿真软件模拟高速公路网络场景,从分组投递率、网络传输延时、路由开销三个方面对 TD\_AODV 协议进行仿真验证<sup>[11]</sup>。

#### 4.1 仿真场景

搭建长 4 Km、宽 11.25 m 的单向三车道高速公路仿真场景,建立由 4 个移动子网构成的车辆无线网络通信模型,每个子网为一个行车簇,各子网内定

义好轨迹的车速为 70 Km/h 的车辆节点<sup>[12]</sup>。设置第 1 个簇内的源节点向第 4 个簇的目的节点发送数据,发包间隔与数据包大小分别服从均值为 1 s、1 024 bits 的指数分布,车辆节点通信范围为 100 m,仿真时间为 250 s。车辆网络拓扑结构如图 4 所示,移动子网内部图如图 5 所示,部分轨迹如图 6 所示。

类型	标志位	备用	中继簇头数
路由请求信息标志 ( $RREQ\_ID$ )			
最短延迟路径 ( $Road\_MinD$ )			
目的节点地址			
源节点地址			
源节点所在簇头地址			
中继簇头成员数		保留字段	
中继簇头簇成员地址			

图 2 TD\_AODV 协议 RREQ 报文

Fig. 2 RREQ message of TD\_AODV protocol

类型	标志位	备用	前缀长度	中继簇头数
最短延迟路径 ( $Road\_MinD$ )				
目的节点地址				
源节点地址				
源节点所在簇头地址				
中继簇头成员数		保留字段		
中继簇头簇成员地址				
时间				

图 3 TD\_AODV 协议 RREP 报文

Fig. 3 RREP message of TD\_AODV protocol



图 4 网络拓扑结构图

Fig. 4 Network topology diagram



图 5 移动子网内部图

Fig. 5 Internal diagram of mobile subnet

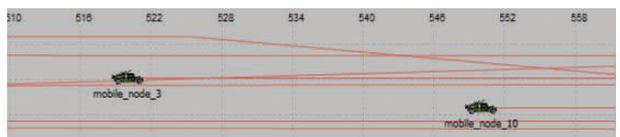


图 6 部分轨迹图

Fig. 6 Partial trajectory diagram

## 4.2 仿真结果分析

车辆节点的多少是影响数据分组传递效果的重要因素,本节在高速车辆中分别应用 AODV、TD\_AODV 路由协议,评估车辆数变化时两种协议的总体性能。针对此部分内容,可得研究详情如下。

### 4.2.1 分组投递率分析

分组投递率反映网络传输的可靠程度,研究将车辆数设置为 24、48、72、96、120、144 时的分组投递率。车辆数与分组投递率关系如图 7 所示。

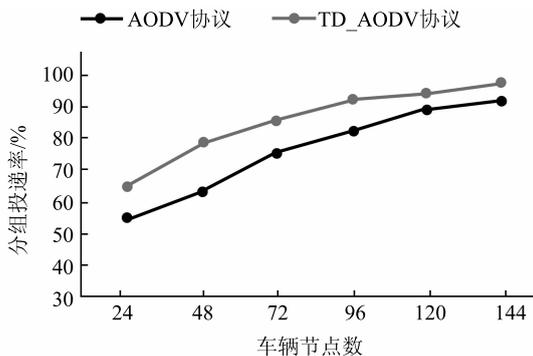


图7 车辆节点数与分组投递率关系图

Fig. 7 The relationship between the number of vehicle nodes and packet delivery rate

由图 7 可得,2 种协议的分组投递率随车辆节点的增多而上升。随着车辆节点增多,节点间链路增多,分组投递率也逐渐提升。此外,TD\_AODV 协议的分组投递性能明显优于 AODV 协议,TD\_AODV 协议结合排队论模型以及 Dijkstra 算法选择最短延迟路径转发的同时,通信链路的质量也得到了改善,提高了数据包到达目的节点的概率,分组投递率也相应提升。

### 4.2.2 数据传输时延分析

时延指分组从源节点抵达目的节点所需时间<sup>[13]</sup>,研究车辆数分别为 24、48、72、96、120、144 时的数据传输时延。车辆数与数据传输时延关系如图 8 所示。

由图 8 可得,随着车辆节点数的增多,2 种协议的网络延时均呈上升趋势。由于车辆节点持续增加,需转发的数据分组也随之增多,分组排队等待时间变长,导致数据传输的时延增大。然而,TD\_AODV 协议利用排队论与 Dijkstra 算法以最小延迟为目标选择数据传输路径,且在车辆分簇的基础上进行,路由建立和维护的时间也更少,因此在延迟时间上显著低于 AODV 协议。

### 4.2.3 路由开销分析

归一化路由开销衡量了路由协议的效率<sup>[14]</sup>。研究车辆数分别为 24、48、72、96、120、144 时的路由开销。车辆数与归一化路由开销关系如图 9 所示。

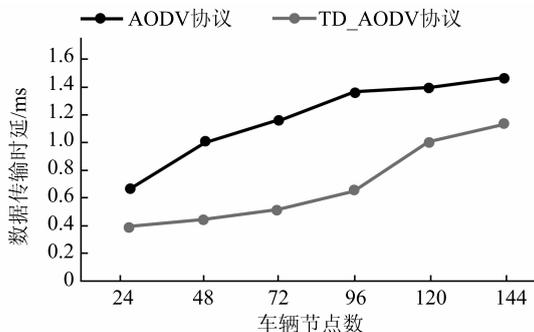


图8 车辆节点数与数据传输时延关系图

Fig. 8 The relationship between the number of vehicle nodes and data transmission delay

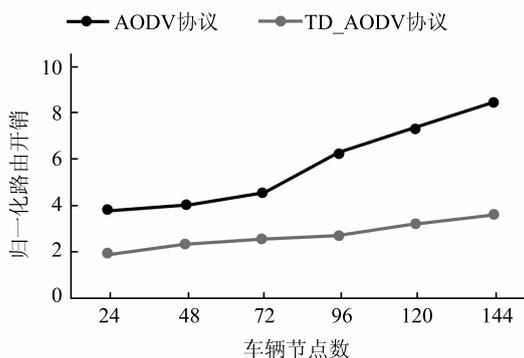


图9 车辆节点数与归一化路由开销关系图

Fig. 9 The relationship between the number of vehicle nodes and normalized routing overhead

由图 9 可得,协议的路由开销随着车辆节点的增多逐渐增大。车辆节点越多,数据转发的跳数也变多,路由开销也相应增加。但相比 AODV 协议,TD\_AODV 协议的转发过程只有簇头节点参与,路由开销变化不大,并且协议将报文限制在最小延迟路径中发送,避免了其它车辆节点参与,在一定程度上也减少了开销。

## 5 结束语

本文针对 VANET 下应用 AODV 协议开销大、时延长等问题,提出一种基于传输延迟改进的 TD\_AODV 协议,在车辆分簇基础上结合排队论、Dijkstra 算法获得最短延迟路径进行数据转发。仿真表明,随着车辆节点数目的增加,TD\_AODV 协议在分组投递率、传输时延、网络开销性能上都要优于 AODV 协议,能够更好地满足高速场景下的通信需求。

(下转第 79 页)