

doi:10.14132/j.cnki.1673-5439.2017.03.009

# 基于转发效率预测的车载网路由协议

贲挹坤<sup>1,2</sup>,朱琦<sup>1,2</sup>

(1. 南京邮电大学 江苏省无线通信重点实验室,江苏南京 210003  
 2. 南京邮电大学 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室,江苏南京 210003)

**摘要:**由于车辆的高移动性,网络拓扑结构频繁变化,路由协议对于信息发送效率有着很大的影响。结合已有的 MAC 层多信道接入协议,考虑信道衰落产生的传输失败概率,设计了一种基于转发效率预测的跨层路由协议 GSPR-EP( Greedy Perimeter Stateless Routing Based on Efficiency Prediction )。GSPR-EP 通过对下一跳的所有可选节点的转发效率进行预测,以单位时间传输距离最优化为策略进行路由选择,有效提高信道利用率。仿真结果表明,与 GSPR 相比,GSPR-EP 在高速场景中能有效提高网络传输效率。

**关键词:**车载自组织网络;路由协议;GSPR;VeMAC;多跳转发

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1673-5439(2017)03-0073-05

## VANET routing protocol based on efficiency prediction

BEN Yikun<sup>1,2</sup>, ZHU Qi<sup>1,2</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China  
 2. Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology, Ministry of Education,  
 Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Due to the high mobility of vehicles, the network topology changes frequently, such that the routing protocol has a great impact on the efficiency of information transmission. A novel cross-layer routing protocol greedy perimeter stateless routing based on efficiency prediction ( GSPR-EP ) is proposed. The transmission failure probability caused by channel fading is considered. The forwarding efficiency of each node in the next hop is predicted, and the optimization of transmission distance in the unit time is used as the strategy to improve the channel utilization. Simulation results show that, compared with GSPR, GSPR-EP has an obvious improvement on the transmission success rate and the transmission delay.

**Keywords:** vehicular ad hoc network ( VANET ); routing protocol; greedy perimeter stateless routing ( GSPR ); VeMAC; multihop transmission

车载自组织网络( Vehicular Ad Hoc Network, VANET)<sup>[1]</sup>作为移动自组织网络( MANET )的一个研究方向,在智能交通系统( ITS )中有着重要的应用。VANET 将车辆节点与道路基础设施作为网络节点,主要实现车辆间通信( Vehicle-to-Vehicle Communication, V2V )和车辆与路边设施之间的通信( Vehicle-to-Infrastructure Communication, V2I ),构成

了实时通信的移动网络,提高了交通的安全性和管理效率,同时也为车辆驾驶提供了更多的服务。由于车辆的高移动性,VANET 具有网络拓扑频繁变化的特性,一般的 MANET 协议在 VANET 场景下,容易产生网络中断、高时延、高丢包率等问题,无法满足 VANET 的需求。所以 VANET 的协议设计成为解决这些问题的研究热点。

由于 VANET 没有功率限制又具有全球定位系统( Global Positioning System, GPS )的外部辅助信息支持,因此,基于地理位置的路由协议是一种合适的选择。GSPR<sup>[2]</sup>( Greedy Perimeter Stateless Routing )作为经典的地理位置路由协议,也适用于 MANET 场景。GSPR 每一跳都基于邻点的信息做出贪婪决策,选择出下一跳节点,当无法使用贪婪决策时,在一定区域内按右手准则进行路由修复。

但是由于 VANET 节点的高移动性和网络拓扑的频繁变化,GSPR 在 VANET 有着较差的性能指标,如高丢包率、高传输时延等。为了解决这些问题,人们在 VANET 下对 GSPR 进行了一些改进。文献[ 3 ]提出了一种基于路径宽度的地理位置路由协议 GeoSFR,用于解决 GSPR 中的本地最小化问题。文献[ 4 ]将地理信息与网络拓扑结构相结合,提出一种城市场景下对于 GSPR 的优化协议 TO-GO。GSPR-MV<sup>[5]</sup>是一种基于移动向量的改进 GSPR,对持续发送的链路进行优化。这些研究一般考虑单信道场景,而 VANET 为多信道场景,实际场景下性能会受到影响。

本文提出一种基于转发效率预测的车载网路协议 GSPR-EP( Greedy Perimeter Stateless Routing Based on Efficiency Prediction )。结合 VANET 多信道 DSRC( Dedicated Short Range Communication )模型,在 MAC 层使用 VeMAC 协议接入,针对车辆高速移动的场景,根据控制信道的时隙分配和节点业务队列的情况,对每一跳的单位时间传输距离进行预测,按照预测结果进行路由选择。

## 1 系统模型

### 1.1 车辆模型

本文考虑的是  $N$  辆车在高速公路上的车载网络场景,车辆的移动速度较快,每一个车辆作为一个节点拥有自己独有的 ID(  $ID \in \{0, 1, \dots, N-1\}$  )。车辆初始随机分布在道路上,以恒定的速度运动,运动速度服从均匀分布。所有车辆均拥有 GPS,使用该系统获取车辆的坐标、运行速度和方向,同时也使用 GPS 实现信号同步。所有车辆持续移动并且相互通信,构成了一个拓扑网络。车辆之间存在着点对点的传输业务,通过多跳通信的方式实现。

### 1.2 信道模型

根据 DSRC 模型<sup>[6]</sup>,车载网具有多个信道,分为一个控制信道和多个业务信道。控制信道用于传输控制信息和高优先级的安全信息,业务信道用于传

输其余的应用信息。两个相邻信号的间隔定义为一帧,每一帧包含  $L$  个时隙,一帧中每个时隙拥有自己的序号( 0 到  $L-1$  )。每辆车接入控制信道上每一帧中特定的一个时隙,用于广播安全信息,组织与相邻节点在业务信道上的通信,实现分布式的时隙分配。

系统设定所有车辆的传输距离为  $r$ ,即当且仅当两车距离小于  $r$  时,车辆间可以直接通信。对于每一个车辆,其余的节点根据与它的相对距离和传输距离  $r$  分为了三个集合:一跳邻点、两跳邻点和其余节点。其中一跳邻点和两跳邻点分别被定义为相对距离小于传输距离  $r$  的点集和相对距离大于  $r$  小于  $2r$  的点集,相对距离大于  $2r$  的节点定义为其余节点。一跳邻点可以直接通信,两跳邻点和其余节点不能直接通信,需要通过多跳传输进行业务转发。节点可以与其余节点同时占用某个信道,但不能与一跳邻点和两跳邻点同时占用某个信道。图 1 为节点集合示意图,其中 A 点和 B 点为 X 点的一跳邻点,C 点为 X 的其余节点,当 C 点运动到 C' 点位置时,C' 点为 X 点的两跳邻点。

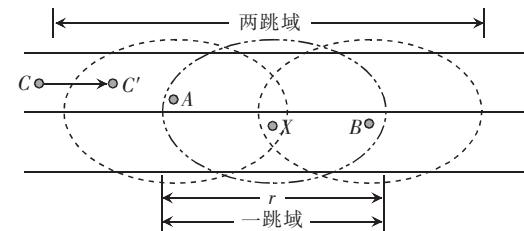


图 1 节点集合示意图

### 1.3 业务模型

节点业务的到达服从泊松分布。每个节点  $x$  拥有一定的存储能力,将需要发送的数据包存储为一个业务队列, $q(x)$  表达节点  $x$  业务队列中剩余的数据包数。所有节点拥有相同的业务处理能力,一次占用信道可以处理业务队列中前  $b$  个包,新的需要发送的包从队尾加入队列。

对于每个节点,其在业务信道上需要发送的包基于一种先到先发原则。假设节点  $x$  需要向节点  $y$  在业务信道上发送一个包。当  $x$  第一次接入控制信道时,他选择一个可用的业务信道,并将该信道的序号通过控制信道告知  $y$ 。在告知之后, $x$  和  $y$  在选择的业务信道上进行数据传输。每次声明只可以占用一个业务信道,一次可以发送最多  $b$  个数据包。数据包的发送具有一定的成功率, $P_r(d)$  为瑞利衰落模型下距离为  $d$  时点对点传输的成功概率。

## 2 GPSR-EP

优化 VANET 路由算法的关键问题是减少无效的转发次数,提高有限网络资源的利用率。在设计符合 VANET 的基于地理位置的路由算法时,如何选择下一跳的节点是主要研究对象。GPSR 算法在选择下一跳节点时,选择与目标节点最近的点进行转发。这种策略一方面没有考虑到实际传输中的传输成功率(传输距离越远传输成功率越低),另一方面没有考虑到选择节点的业务处理能力。

本文为了解决这两个问题,提出了一种最优转发期望的路由机制。在选择下一跳节点时首先判断是否能直接发送给目标节点,如果可以发送到目标点则直接向其发送;如果不能,则在可选转发点的集合中选择此次转发的期望最优的节点进行转发。为此需要所有节点在多信道场景下有效地接入控制信道,并在控制信道上广播控制信息,进行信道预约和节点信息交换。同时 VANET 考虑多信道的接入情况,在 MAC 层使用 VeMAC 协议<sup>[7]</sup>接入,设计出一种跨层多信道 VANET 路由协议。协议分为信息广播和路由选择两个部分。

### 2.1 信息广播

GPSR-EP 协议中,节点通过 VeMAC 的接入机制接入控制信道,每个节点占有控制信道上一帧中的一个时隙。节点在控制信道上属于自己的时隙广播控制数据包,用于相互交换信息、道路安全消息广播和业务信道预约。交换的信息包括车辆通过 GPS 获得的坐标和速度、周围一跳内节点的信道占用情况、自己业务队列状况。节点通过这些信息进行无冲突的信道接入。

本文定义  $N(x)$  为节点  $x$  一跳内的邻点组成的集合,  $T(x)$  为节点  $x$  两跳内的邻点组成的集合,  $C(x)$  为节点  $x$  两跳内业务信道的占用情况。

对于一个接入控制信道的节点  $x$ ,节点  $y \in N(x)$ ,在控制信道上  $y$  的时隙上,  $x$  从  $y$  接收  $y$  一跳内节点的位置信息、 $y$  一跳内业务信道的占用情况、 $y$  业务队列的情况  $q(y)$  用于更新  $T(x)$  和  $C(x)$ ,并存储  $N(x)$  的业务队列长度和位置信息。

在控制信道  $x$  占有的时隙上,如果  $q(x) > 0$ ,则  $x$  有业务需要发送,需要对业务信道进行占用。 $x$  根据  $C(x)$  选择可用信道,根据  $N(x)$  中节点的位置、业务队列长度、目标节点的位置进行路由选择,并将信道和转发节点的选择结果在控制信道上进行广播预约,并发送自己的相关信息,用于一跳内的其他节点

$\forall y \in N(x)$  更新  $T(x)$  和  $C(x)$ 。然后在选用的业务信道上向选择好的下一跳节点发送数据包。

### 2.2 路由选择

假设当前节点  $x$  的业务队列不为空,队头的数据包发送给目标节点  $z$ ,则  $x$  点可以获得  $z$  点的地理位置和 ID,并以此为依据进行下一跳的路由选择。

首先  $x$  在  $N(x)$  中查找是否存在  $z$  点,如果  $z \in N(x)$ ,则  $x$  选择直接向  $z$  点发送数据。否则,  $x$  在  $N(x)$  中选择一个点  $y$ ,将数据包发送给  $y$ ,再由  $y$  继续转发。 $y$  点的选择是路由算法的核心。

GPSR 算法中,选择  $N(x)$  中欧氏距离到  $z$  最近的点进行转发,即:

$$\min(d(y, z)), y \in N(x) \quad (1)$$

或

$$\max(d(x, z) - d(y, z)), y \in N(x) \quad (2)$$

其中,  $d(a, b)$  表示  $a, b$  两点之间的欧氏距离。

这种策略能使得数据包以最短的距离传送给目标点  $z$ ,换句话说,这种策略使得每跳与目标之间的距离缩短最多;但是没有考虑到路径损耗导致的传输成功率下降,因为传输距离越远,数据包传输的成功率越低。 $P_r(d)$  表示距离为  $d$  的两节点之间相互发送数据包的成功概率。从  $x$  点向  $y$  点发送数据包实际能获得的与  $z$  之间的距离缩短量,即:

$$P_r(d(x, y))(d(x, z) - d(y, z)) \quad (3)$$

所以考虑到传输成功率的情况,策略可以改进为:

$$\max(P_r(d(x, y))(d(x, z) - d(y, z))), y \in N(x) \quad (4)$$

这种策略可以使得每一跳传输的距离缩短最大,但是在多跳转发过程中,还要考虑因为节点占用时隙分布和节点有限处理能力产生的转发等待。在此,我们定义转发效率  $E(x, y)$  为节点  $x$  向节点  $y$  发送数据在单位时间内能够获得的距离缩短量。

假设  $x$  向  $y$  发送数据包成功,该次发送的数据包加入  $y$  的业务处理队列尾,每一帧内  $y$  可以处理的数据包数为  $b$ ,那么根据  $q(y)$  可以计算出这个数据包在再次发送前需要等待的帧数为  $q(y)/b$ 。

设  $K_s(x)$  表示节点  $x$  在控制信道上占用的时隙编号,控制信道一帧有  $L$  个时隙,则  $x$  到  $y$  的时隙间隔为:

$$(K_s(y) + L - K_s(x)) \bmod L \quad (5)$$

所以数据包在  $x$  向  $y$  点发送数据包成功后,再次转发之前需要等待的时隙数  $T_w(x, y)$  为:

$$T_w(x, y) = (K_s(y) + L - K_s(x)) \bmod L + q(y)/b * L \quad (6)$$

则实际上经过  $T_w(x, y)$  时间后, 因为车辆的运动  $d(y, z)$  变为了  $d(y', z')$ , 可以通过当前  $y$  和  $z$  的速度  $v_y$  和  $v_z$  估计出  $d(y', z')$ :

$$d(y', z') = d(y, z) + (v_y - v_z) * T_w(x, y) \quad (7)$$

那么  $x$  选择向  $y$  发送数据, 单位时间可以使得距离缩短, 即转发效率  $E(x, y)$  为:

$$E(x, y) = \frac{P_r(d(x, y)) (d(x, z) - d(y', z'))}{(K_s(y) + L - K_s(x)) \bmod L + q(y)/b * L} \quad (8)$$

所以优化后转发策略为:

$$\begin{cases} z, & z \in N(x) \\ \max(E(x, y)), & z \notin N(x), y \in N(x) \end{cases} \quad (9)$$

从  $x$  点向  $z$  点发送数据包,  $x$  点的路由选择如图 2 所示。

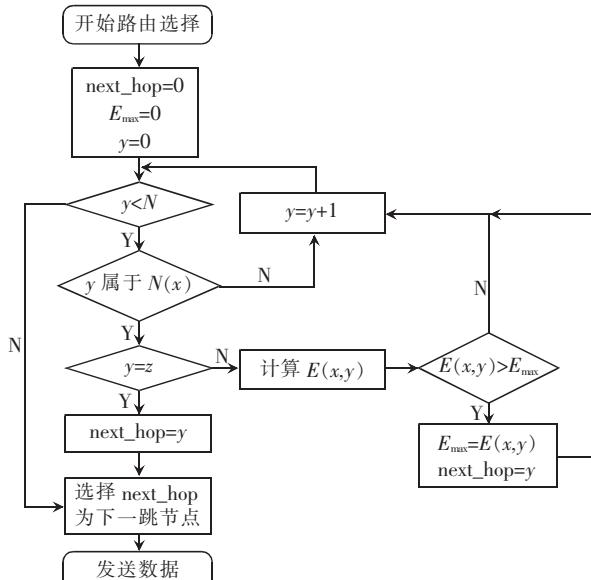


图 2 路由选择算法流程图

算法步骤如下:

(1)  $x$  在前  $N-1$  个时隙中接收其他节点信息, 数据初始化, 最优值赋值为 0, 如果  $z$  属于  $N(x)$ ,  $z$  标记为下一跳, 转步骤(6), 否则转步骤(2);

(2) 从  $N(x)$  中随机选择一个节点  $y$ , 计算  $E(x, y)$ , 如果没有可选点转步骤(5), 否则转步骤(3);

(3) 标记  $y$  不再被选中, 如果  $E(x, y)$  大于当前最优值, 转步骤(4), 否则转步骤(2);

(4) 将  $y$  标记为下一跳, 最优值变为  $E(x, y)$ , 转步骤(2);

(5) 如果最优值大于 0, 转步骤(6), 否则转步骤(7);

(6) 向当前选择下一跳发送数据包, 转步骤(8);

(7) 当前数据包加入队尾, 转步骤(8);

(8) 进行下一个数据包的路由选择。

### 3 仿真分析

本文仿真的信道衰落为  $P_r(d) = \exp\left(-\frac{P_{\text{rxth}}}{P_{\text{ref}}}d^2\right)^{[8]}$ ,

业务信道数为 6, 其中  $P_{\text{rxth}}$  表示接收功率阈值,  $P_{\text{ref}}$  表示在只考虑大尺度衰落下距离目标点 1 m 处可接收到的功率。在高速公路场景中, 车辆均以固定的速度运动在双向 4 车道上, 车辆的运行速度服从正态分布。系统内总业务到达服从泊松分布, 到达率为  $\lambda$ , 区域内业务会均匀分配给所有车辆。仿真参数如表 1 所示。

表 1 公路场景仿真参数

参数	数值
车道长度/km	1
车行方向数	2
车道数	4
车道宽度/m	5
速度均值/(km·h <sup>-1</sup> )	100
速度标准差/(km·h <sup>-1</sup> )	20
GPS 时间间隔/s	0.1
通信距离 r/m	150
一帧内的时隙数	120
车辆数 N	40~100
系统业务到达率 $\lambda$ /(packet·s <sup>-1</sup> )	40~120

图 3、图 4 分别给出了当车辆数  $N=40$  时, 平均时延和丢包率随  $\lambda$  的变化。当  $\lambda$  较小时, 单位时间需要发送的数据包数较少, 空闲的节点较多, 数据包转发较快, 所以时延较低, 丢包率也较低。随着业务量的增加, 节点的业务队列变长, 空闲的节点变少, 数据包无法快速转发, 系统出现拥塞, 时延逐渐增加, 丢包率上升。GSPR-EP 因为在路由选择时, 每一跳都使得单位时间内数据包的有效传输距离最大。相比 GSPR<sup>[2]</sup> 和 GSPR-MV<sup>[5]</sup> 以每跳传输距离最大为路由策略, GSPR-EP 考虑了节点业务队列的情况, 更加有效地利用了空闲节点, 所以平均时延和丢包率得到了改善。

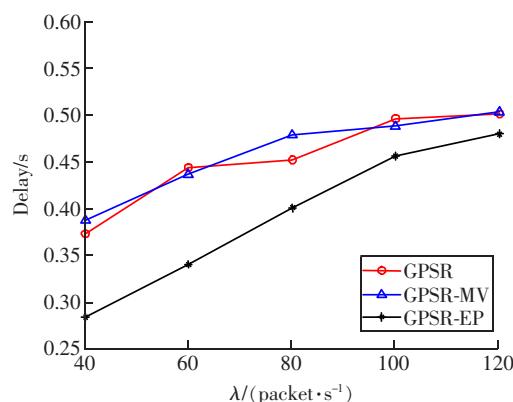


图 3  $N=40$  平均时延随  $\lambda$  的变化

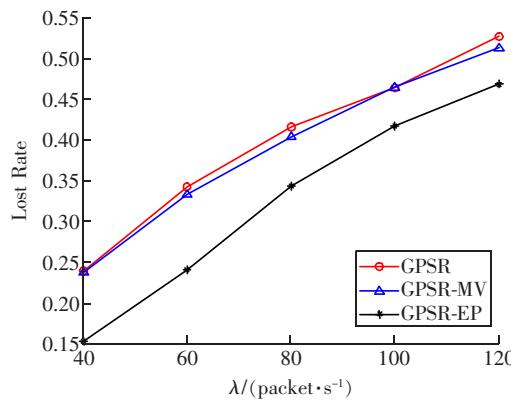
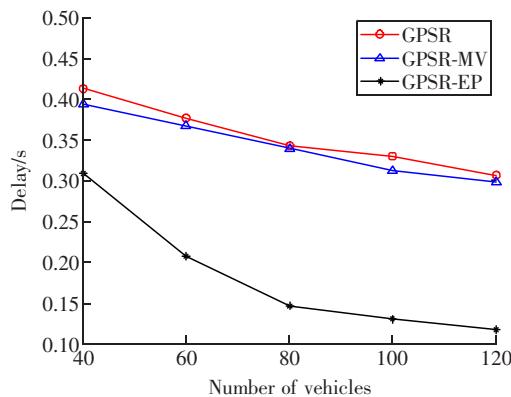
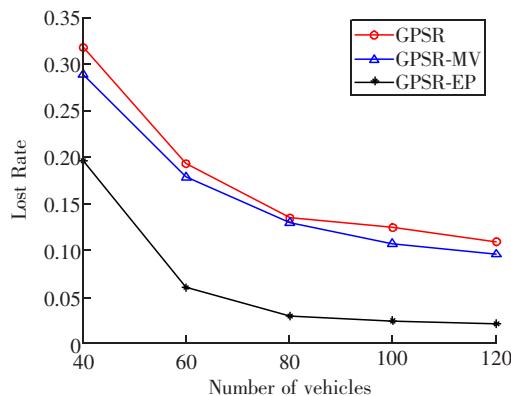
图4  $N=40$  丢包率随 $\lambda$ 的变化

图5、图6给出了当 $\lambda = 50$ 时,时延和丢包率随系统内车辆密度的变化情况。可以看出随着车辆密度的增大,可选择的转发节点增多,时延下降,丢包率减少。GPSR-EP因为综合考虑节点间距离和业务队列情况,当可选择节点较多时,能将转发业务更加平均地分配给系统内的节点,与GPSR和GPSR-MV相比显著减少了平均业务时延,降低了丢包率。

图5  $\lambda=50$  平均时延随车辆密度的变化图6  $\lambda=50$  丢包率随车辆密度的变化

从图3至图6可以看出, GPSR-EP比GPSR和GPSR-MV有着更好的性能指标,而且当车辆密度较高,可选择转发节点较多时,GPSR-EP性能优势更加突出。

## 4 结束语

本文提出了一种基于转发效率预测的车载网路由协议GPSR-EP。针对高速公路场景下车辆移动速度较快的情况,考虑了多信道接入下的时隙分配和实际的信道衰落,以贪婪策略最优选择下一跳节点,使得每一跳的单位时间传输距离期望最大。对平均端到端时延和业务到达率进行了仿真,仿真结果表明,相比于GPSR,GPSR-EP在平均端到端时延和丢包率等性能上都有着显著的提升。

## 参考文献:

- [1] WANG J, YAN W. RBM:a role based mobility model for VANET[ C ]//International Conference on Communications and Mobile Computing. 2009,2:437 – 443.
- [2] KARP B,KUNG H T. Greedy perimeter stateless routing for wireless networks[ C ]// Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. 2000:243 – 254.
- [3] LIU Zheng, XIANG Yong, SUN Weizhen. GeoSVR:a geographic stateless VANET routing[ C ]// IEEE Conference Anthology. 2013;1 – 7.
- [4] LEE K C,LEE U,GERLA M. Geo-opportunistic routing for vehicular network[ J ]. IEEE Communications Magazine, 2010,48( 5 ):164 – 170.
- [5] TU Hongyu, PENG Lei, LI Huiyun. GSPR-MV : a routing protocol based on motion vector for VANET[ C ]//12th International Conference on Signal Processing ( ICSP ). 2014: 2354 – 2359.
- [6] JIANG D, TALIWAL V, MEIER A. Design of 5. 9 GHz DSRC based vehicular safety communication[ J ]. IEEE Wireless Communication, 2006,13( 5 ):36 – 43.
- [7] OMAR H A,ZHUANG W,LI L. VeMAC:a TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs[ J ]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2013,12( 9 ):1724 – 1736.
- [8] LI Ming, LOU Wenjing, ZENG Kai. OppCast:opportunistic broadcast of warning messages in VANETs with unreliable links[ C ]// IEEE 6th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. 2009:534 – 543.

## 作者简介:



贲振坤( 1991 – ),男,江苏南京人。南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室硕士研究生。主要研究方向为车载网络接入技术、车载网络路由技术。