

一种兼顾用户满意度与传输效率的 车联网网络选择策略

刘鑫^{1,2}, 庞继龙^{1,2}, 赵祥模^{1,2}, 侯俊^{1,2}, 马峻岩^{1,2}

(1. 长安大学信息工程学院, 710064, 西安; 2. 长安大学车联网教育部-中国移动联合实验室, 710064, 西安)

摘要: 针对车联网终端的不同业务在异构网络环境下进行优化调度的问题,提出了一种兼顾用户满意度与传输效率的车联网网络选择策略。首先分析了不同的效用函数权值系数、发射功率及体验函数灵敏度因子对各网络满意度效用函数的影响,发现:当权值系数较大时,获得的满意度效用函数值也越大;在有限功率范围内,当发射功率不断增大时,起初满意度效用函数值相应地随之急剧增大,随后增加速率减缓,最终函数值趋于稳定;当体验函数灵敏度因子的值越大时,对应的曲线斜率越大,也即灵敏度越高,函数值随着发射功率的变化而变化得更快。然后,应用凸优化的方法求解各网络满意度效用函数的最大值。最后,选用3种具有代表性网络作为研究对象,进行仿真实验。实验结果表明,与基于发射功率的网络选择策略和基于传输速率的网络选择策略相比,所提策略的效用函数最大值分别是前两者的1.08倍和6.5倍,证明是一种高效可靠的网络选择策略。

关键词: 车联网;凸优化;网络选择;用户满意度;效用函数

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

DOI: 10.7652/xjtuxb202010002 **文章编号:** 0253-987X(2020)10-0009-08



OSID 码

A Selection Strategy for Internet of Vehicle Networks Based on User Satisfaction and Transmission Efficiency

LIU Xinyi^{1,2}, PANG Jilong^{1,2}, ZHAO Xiangmo^{1,2}, HOU Jun^{1,2}, MA Junyan^{1,2}

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. The Joint Laboratory for Internet of Vehicles, Ministry of Education-China Mobile Communications Corporation, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: A network selection strategy for internet of vehicle (IoV) is proposed to solve the optimal scheduling problem of different services of IoV terminals in a heterogeneous network environment, and the strategy takes both user satisfaction and transmission efficiency into account. The strategy firstly analyzes the influence of weight coefficients of different utility functions, transmitting power and sensitivity factor of a experience function on each network satisfaction utility function. It is found that when the weight coefficient is larger, the value of satisfaction utility function is larger; and that in a limited power range, when the transmitting power increases continuously, the value of the satisfaction utility function increases sharply at the beginning, then the increase rate slows down, and finally the value of the function tends to be stable. When the value of the sensitivity factor of the experience function is larger, the slope of the corresponding curve is larger, that is, the sensitivity is higher, and the function value

收稿日期: 2020-03-19。 作者简介: 刘鑫一(1986—),男,副教授,硕士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61803041);中国博士后科学基金资助项目(2017M623089);西安市科技计划资助项目(2019218514GXRC021CG022-GXYD 21.4)。

网络出版时间: 2020-06-05

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20200604.1600.002.html>

changes faster with the change of the transmitting power. Then, a convex optimization method is used to calculate the maximum value of each network satisfaction utility function. Finally, three representative networks are selected as research objects for simulation experiments. Experimental results and comparisons with the network selection strategy based on transmitting power and the network selection strategy based on transmission rate show that the maximum value of the utility function of the proposed strategy is 1.08 times and 6.5 times of those of the two strategies, respectively, which proves that the proposed strategy is an efficient and reliable network selection strategy.

Keywords: internet of vehicle; convex optimization; network selection; user satisfaction; utility function

近年来,车联网(IoV)用户对能够随时随地以高质量接入宽带无线网络的需求日益强烈,兼顾多种不同场景的无线通信技术得到了快速的发展。新兴的互联车辆和自动驾驶车辆技术可以通过基于实时专用短程通信(DSRC)的车对车和车对基础设施通信提高整个网络的运行效率、移动性和交通安全^[1-4]。移动蜂窝网络从全球移动通信系统(GSM)发展到通用移动通信系统(UMTS),继而发展到长期演进(LTE)及 802.11 标准的无线局域网(WLAN),直到如今的 5G 系统^[5-7]。随着用户需求的多元化和多网融合的持续发展,多源异构无线网络(MHWNs)应运而生,MHWNs的架构示意图如图1所示。

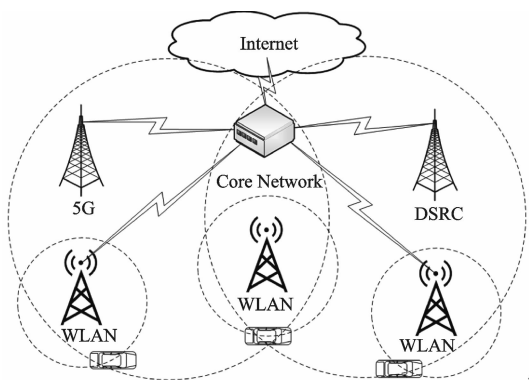


图1 多源异构无线网络的架构示意图

在多源异构车联网中,用户终端(车辆)有多个可用网络,如 WLAN、蜂窝网络和其他无线网络。用户如何选择这些网络作为接入网就显得至关重要。在 MHWNs 中,由于无线网络链路传输质量的差异性、无线网络信号的重叠性、移动终端设备业务的丰富性等因素,因此需要一种高效可靠的网络接入选择算法来解决车辆网用户接入网选择的需求。截至目前,该领域的学者专家在接入选择算法方面做了大量的研究,提出了诸多算法。总体而言,根据判别标准将其区分为基于负载均衡、接收信号强度

和业务服务质量(QoS)的接入选择算法,再根据算法所选用的数学方法又将其划分为基于效用函数、神经网络、博弈论、多属性决策判决等的接入选择算法^[8-12]。

为了应对车联网用户接入网的选择问题,Yang 等人提出了一种具有并行传输能力的无线网络选择方案^[13];Jamshidi-Zanjani 等人利用模糊逻辑和多属性决策提出了一种新的网络选择算法^[14];Singha 提出了选择 WLAN 和 WiMAX 网络的分布式强化学习策略^[15];Priadi 等人使用多种准则构建网络选择算法,即简单加权算法和随机存取选择算法^[16],研究结果表明,这两种算法提供了更好的网络选择能力;Dutta 等人利用 Dempster/Shافر 证据理论(D-S 证据理论),构建了一种网络选择方案,可以从多源融合网络中选择一个最优网络^[17];Chinnappa 和 Balasubramanian 利用层次分析法和模糊逻辑控制器来进行垂直切换,在考虑终端移动速度、网络成本以及负载的情况下,提出一种网络选择策略^[18]。还有作者在之前的研究中也针对多源异构网络的资源分配和网络选择进行了研究,提出一种利用时延因子和预测机制的联合资源分配策略^[19]。

然而,以上这些方法鲜有考虑用户的满意度,而用户满意度作为衡量服务性能的一个重要指标,既可以反映当前网络的网络性能,又可以避免浪费资源(带宽、功率等)。因此,在进行网络选择时,上述方法很可能使当前车联网用户面临低 QoS 保障和浪费通信资源等后果。针对上述不足,本文提出一种新的网络选择策略,综合考虑了传输效率与用户满意度,实验结果表明,本文所提出的策略可以在保障用户满意度的同时,减少通信资源浪费,高效地解决车联网终端不同业务在异构网络环境下的优化调度问题。

1 用户满意度效用函数

随着通信技术的不断发展和用户需求多样性的不断增加,为了满足业务需求,应根据不同业务的不同需求考虑不同指标。首先不仅要考虑传输速率,还需要考虑其所提供的服务性能。用户满意度作为衡量服务性能的一个重要指标,既可以反映当前网络的网络性能,又可以避免资源的浪费。为了有效地评估网络选择的决策因素,本文设计了效用函数,如文献[20]所提到的一样,将不同的决策因素映射到相应的效用指标。不同的车联网用户需要接入资源的量都不同,但并不是越多越好,起初用户需要大量的接入资源以满足需求,但随着接入资源的持续增加,用户需求量在不断减少,直至接入资源过剩。

其次,传输时延问题在车联网中非常关键,车联网通信也应优先满足时延的要求。时延作为一个界限,如果网络所提供的时延过大,超出了用户业务所能容忍的最大时延,即使其提供的传输效率再高,用户也不会考虑。

随着移动通信技术的不断发展,用户的业务需求也越来越多样化。不同的业务,对时延的要求是不一样的。非实时业务(例如数据传输)对时延的要求很低,需要较高的吞吐量以保证数据传输速率;实时业务(例如视频和语音通信)则需要较低的时延以保证通信过程的流畅。车辆控制信息^[21]需要通过极低时延、极高可靠性的网络来传输,此外还有一些业务(例如网页浏览),介于实时性业务和非实时性业务之间,需要更多地考虑用户的满意度。对于满足业务时延需求的网络而言,对时延的极限追求会牺牲用户的其他性能。用户根据业务特性,在满足一定时延要求的情况下,通常会选择效率和满意度高的网络,所以本文在首先满足时延需求的情况下,再考虑满意度和传输效率,然后进行优化,提出一种网络选择策略。

随着网络类型的不断增多及网络融合技术的不断发展,为了适应不同类型用户的需求,融合了多种网络的多源异构无线网络随之产生。之所以要在多种网络之间进行选择,是因为每种网络所提供的服务性能不尽相同,服务提供者通常使用 QoS 参数来度量服务性能。相比之下,用户对服务性能的感知往往更加主观和非技术性,他们希望在合理的响应时间内得到服务,而对这些技术网络参数的值不感兴趣。由此,本文引入车联网用户满意度体验函数的概念,用来表征用户与接入资源之间的需求关

系。用户在接入网络时,其用户满意度体验函数可表示为

$$y(x_i) = \frac{1}{1 + \exp[\gamma(x_0 - x_i)]}, \gamma \geq 2 \quad (1)$$

式中: $y(x_i) \in (0, 1)$; γ 为灵敏度因子; x_0 为阈值; x_i 为当前的接入资源。该函数可以贴切地反映接入资源与车联网用户体验函数之间的关系。用户体验函数与接入资源之间的关系并不是线性的,起初接入资源较少,车联网用户急需资源来满足当前的业务需求,因此,随着接入资源的增加,用户满意度体验函数值急剧增加,但由于接入资源较少,导致函数值较小;随着接入资源的持续增加,函数增加速率慢慢减缓直至十分缓慢,此时函数值已逼近其有限功率范围内的最大值,说明此时接入资源已经可以满足车联网用户当前的业务需求了;再继续增加接入资源,仅会给体验函数带来极其微小的变化,说明此时已经可以满足用户需求,且接入资源已经有所结余,处于过剩状态。

综上,对于用户而言,接入资源并不是越多越好,应使得接入资源处于一个适中的区域,既可以满足车联网用户的需求,又可以避免资源结余,产生浪费。根据效用理论,效用函数需同时满足 3 个条件,即二次可微性、单调性和凹凸性,方能根据设计的效用函数找到最优点。

定理 1 满意度体验函数 $y(x_i)$ 为 S 型函数且具有单调性、二次可微性和凹凸性。

证明 对于函数

$$y(x_i) = \frac{1}{1 + \exp[\gamma(x_0 - x_i)]}, \gamma \geq 2 \quad (2)$$

它的一阶导数可以表示为

$$y'(x_i) = \frac{\gamma \exp[\gamma(x_0 - x_i)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x_i)]\}^2} > 0 \quad (3)$$

因此,根据式(3),可以证明体验函数是单调的。

根据式(3),可得其二阶导数为

$$y''(x_i) = \frac{2\gamma^2 \exp[\gamma(2x_0 - 2x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^3} - \frac{\gamma^2 \exp[\gamma(x_0 - x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^2} \quad (4)$$

由式(4)可知式(2)中的体验函数是二次可微的。

令 $y''(x_i) \leq 0$, 可得到如下不等式

$$\frac{2\gamma^2 \exp[\gamma(2x_0 - 2x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^3} \leq \frac{\gamma^2 \exp[\gamma(x_0 - x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^2} \quad (5)$$

则有 $x \geq x_0$ 。

令 $y''(x_i) \geq 0$, 可得到如下不等式

$$\frac{2\gamma^2 \exp[\gamma(2x_0 - 2x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^3} \geq \frac{\gamma^2 \exp[\gamma(x_0 - x)]}{\{1 + \exp[\gamma(x_0 - x)]\}^2} \quad (6)$$

则有 $x \leq x_0$ 。根据方程(5)(6),可以得出,当 $x \geq x_0$ 时,方程(2)的满意度体验函数是凹函数,但是当 $x \leq x_0$ 时,它是凸的。因此,它是凹凸的。故而选择上述函数作为效用函数的模型。

因此,根据以上讨论,定义车联网用户满意度体验函数如下

$$u_1(p_i) = \frac{1}{1 + \exp[\gamma(p_{i,\text{avg}} - p_i)]}, \quad \gamma \geq 2 \quad (7)$$

式中: p_i 表示网络 i 的发射功率; $p_{i,\text{avg}}$ 表示网络 i 的平均发射功率; γ 为灵敏度因子,用来表征函数值随着自变量变化的快慢程度。本文中,效用函数的灵敏度取 $\gamma \geq 2$, γ 值越大,灵敏度越高,即函数值随着发射功率的变化,变化得更快^[20]。式(7)表明发射功率 p_i 越高,车联网用户满意度体验函数值 $u_1(p_i)$ 越大,网络就越好。因此,本文定义的体验函数 $u_1(p_i)$ 可以有效地用于网络选择中。

随着车联网用户需求的多元化和无线网络的持续发展,车联网用户(终端)的全部业务需求问题,已无法通过某单一的网络来解决,故而在此时代背景的驱使下,多网融合技术成为了解决此类问题的主要手段。假设为了满足某一车联网用户的业务需求,将其部署在一个 5G、WLAN 和 DSRC 网络同时覆盖的区域中,此时车联网用户将综合考虑各个网络的性能,比如时延、满意度等,选择一个最为合适的作为接入网。如果在某一时刻车联网用户接入网络 i 的传输速率可以表示为

$$u_2(p_i) = \beta_i B_i \ln\left(1 + \frac{p_i}{n_0 B_i}\right) \quad (8)$$

式中: β_i 表示系统的频谱效率; B_i 为可用信道带宽; p_i 代表发射功率; n_0 为高斯白噪声,在每个信息传输间隔内保持不变。与此同时,定义传输效率为 $\frac{u_2(p_i)}{u_{2,i}^{\max}}$ 。综上所述,综合考虑网络的传输效率和用户满意度,作归一化处理后得到如下满意度效用函数

$$U(p_i) = \alpha u_1(p_i) + (1 - \alpha) \frac{u_2(p_i)}{u_{2,i}^{\max}} \quad (9)$$

式中: $u_{2,i}^{\max}$ 表示网络 i 的最大数据传输速率; α 为效用函数权值系数,取值范围为 $0 \sim 1$ 。 α 值是用户根据自己业务需求的不同而选择的,在实际过程中,随着业务需求的不同而不断改变,如果用户对于传输效率的需求比较高,则取一个较小的 α ,此时 $1 - \alpha$ 相应地增大,以增大传输效率部分在效用函数中的

占比;如果用户对于发射功率的需求比较高,则取一个较大的 α ,此时 $1 - \alpha$ 相应地减小,以增大发射功率部分在效用函数中的占比。这个依据是根据业务需求的不同而改变的。

传输时延在车联网传输中关键因素,如果接入网络提供的时延大于用户可容忍的最大延迟,则用户不能接入该网络;如果接入网络提供的时延小于等于用户可容忍的最大延迟,则用户可以选择此网络接入,并在可以接入的网络中寻求最优的网络,表达式如下

$$\begin{aligned} \max \quad & U(\tau, p, \dots) \\ \text{s. t.} \quad & \tau \leq \tau_{\max} \\ & p \leq p_{\max} \end{aligned} \quad (10)$$

式中: $U(\tau, p, \dots)$ 表示目标函数; τ 表示时延; $\tau_{\max}$ 表示当前用户可容忍的最大延迟; p 表示发送功率; $p_{\max}$ 表示最大发送功率。本文的研究是在满足一定的时延要求的前提下,对目标函数进行优化。

本文设计的网络选择策略,旨在为满足一定时延要求的业务,在 5G、WLAN、DSRC 这 3 种网络环境下、在有限功率范围内求得 3 种网络相应效用函数的最大值,进而选择在某一功率下所对应的效用函数值最大的那个网络,作为当前用户的接入网。然而,效用函数的最大值可通过先求解其最优功率值获得,故而将其优化问题进行转化,即用户获得最大满意度效用函数值时的优化问题可表示为

$$\begin{aligned} p_i^{\text{opt}} &= \arg \max U(p_i) \\ \text{s. t.} \quad & 0 \leq p_i \leq p_i^{\max} \end{aligned} \quad (11)$$

式中, $p_i^{\max}$ 表示网络 i 的最大发射功率。

定理 2 当 $p_i \geq p_{i,\text{avg}}$ 时, $U(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凹函数。

证明 式(9)中, $u_2(p_i) = \beta_i B_i \ln\left(1 + \frac{p_i}{n_0 B_i}\right)$, 为了证明式(9)中目标函数的凹性,观察下面的一般形式

$$f(x, p) = x \ln\left(1 + \frac{p}{x}\right) \quad (12)$$

其一阶偏导数为

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln\left(1 + \frac{p}{x}\right) - \frac{p}{x+p} \\ \frac{x}{x+p} \end{bmatrix} \quad (13)$$

求其二阶偏导数,得到 Hessian 矩阵

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial p} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial p} & \frac{\partial^2 f}{\partial p^2} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} \frac{p}{x+p}\left(\frac{1}{x+p}-\frac{1}{x}\right) & \frac{p}{(x+p)^2} \\ \frac{1}{x+p}\left(1-\frac{x}{x+p}\right) & \frac{-x}{(x+p)^2} \end{pmatrix} \quad (14)$$

在此基础上,通过消元,得到主矩阵为

$$\mathbf{D}_1 = \begin{pmatrix} \frac{x}{x+p}\left(\frac{1}{x+p}-\frac{1}{x}\right) & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\mathbf{D}_2 = \mathbf{H} \quad (16)$$

上述矩阵的行列式计算如下

$$\det(\mathbf{D}_1) = \frac{p}{x+p}\left(\frac{1}{x+p}-\frac{1}{x}\right) \leq 0 \quad (17)$$

$$\det(\mathbf{D}_2) =$$

$$\begin{aligned} & \frac{xp}{(x+p)^3}\left(\frac{1}{x}-\frac{1}{x+p}\right) - \frac{p}{(x+p)^3}\left(1-\frac{x}{x+p}\right) = \\ & \frac{p}{(x+p)^3}\left(1-\frac{x}{x+p}-1+\frac{x}{x+p}\right) = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

式中: $x \geq 0; p \geq 0$ 。如果行列式 $\det(\mathbf{D}_1)$ 、 $\det(\mathbf{D}_2)$ 满足式(19)且不全为 0,根据文献[22]可得,函数 $f(x, p)$ 是一个凹函数。

$$|\mathbf{D}_1| \leq 0, |\mathbf{D}_2| \geq 0 \quad (19)$$

综上,函数 $f(x, p)$ 是一个关于 p 的凹函数,故而函数 $u_2(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凹函数,其局部拟合最优解即为全局最优解。根据凹函数的性质, $u_2''(p_i) \leq 0$,由定理 1 可知,当 $p_i \geq p_{i, \text{avg}}$ 时, $u_1(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凹函数, $\alpha, u_{2,i}^{\max}$ 均大于零,且与 p_i 无关,视为常数。根据导数的性质, $U''(p_i) \leq 0$,所以 $U(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凹函数。同理,当 $p_i \leq p_{i, \text{avg}}$ 时, $U(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凸函数。

证毕。

综上所述,对于任一接入网络,均可由式(11)获得具有最大满意度效用函数值时的全局最优功率值。

2 基于传输效率和用户满意度的多源异构车联网网络选择策略

本文在满足一定时延要求的情况下,综合考虑用户满意度和传输效率提出一种网络选择策略,通过构建满意度效用函数,在不同网络环境下求效用函数获得的最大值。本文的网络选择策略可以表示为优化问题

$$\begin{aligned} \max U(p_i) &= \alpha u_1(p_i) + (1-\alpha) \frac{u_2(p_i)}{u_{2,i}^{\max}} \\ \text{s. t.} \quad & 0 \leq p_i \leq p_i^{\max} \end{aligned} \quad (20)$$

根据上述定理,可得当 $p_i \geq p_{i, \text{avg}}$ 时, $U(p_i)$ 是一个关于 p_i 的凹函数,故而式(20)表示的优化问题为

凹优化,存在局部最大值,由此给出函数的拉格朗日表达式,来求解式(20)中的优化问题,即

$$\begin{aligned} L(p_i, \lambda_1, \dots, \lambda_N) &= \sum_{i=1}^N \alpha \frac{1}{1 + \exp(p_{i, \text{avg}} - p_i)} + \\ & (1-\alpha) \frac{R_i}{R_i^{\max}} + \sum_{i=1}^N \lambda_i (p_i^{\max} - p_i) \end{aligned} \quad (21)$$

式中: $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 为非负的拉格朗日因子; R_i 表示接入网 i 的传输速率。式(21)具有局部最优解的必要条件,是满足优化理论中的 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件。对参数 p_i 求导数可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(p_i, \lambda_1, \dots, \lambda_N)}{\partial p_i} &= \alpha \frac{\gamma \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}} - p_i)]}{\{1 + \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}} - p_i)]\}^2} + \\ & \frac{1-\alpha}{R_i^{\max}} \frac{\beta_i B_i}{n_0 B_i + p_i} - \lambda_i \leq 0 \end{aligned} \quad (22)$$

并且满足等式

$$\begin{aligned} p_i \left\{ \alpha \frac{\gamma \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}} - p_i)]}{\{1 + \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}} - p_i)]\}^2} + \right. \\ \left. \frac{1-\alpha}{R_i^{\max}} \frac{\beta_i B_i}{n_0 B_i + p_i} - \lambda_i \right\} = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

对 $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ 求导得

$$\frac{\partial L(p_i, \lambda_1, \dots, \lambda_N)}{\partial \lambda_i} = p_i^{\max} - p_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, N \quad (24)$$

并满足等式

$$\lambda_i (p_i^{\max} - p_i) = 0 \quad (25)$$

令函数

$$\begin{aligned} f(p_i^k) &= \alpha \frac{\gamma \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]}{\{1 + \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]\}^2} + \\ & \frac{1-\alpha}{R_i^{\max}} \frac{\beta_i B_i}{n_0 B_i + p_i^k} - \lambda_i^k \\ f'(p_i^k) &= \alpha \left\{ \frac{2\gamma^2 \exp[2\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]}{\{1 + \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]\}^3} - \right. \\ & \left. \frac{\gamma^2 \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]}{\{1 + \exp[\gamma(p_{i, \text{avg}}^k - p_i^k)]\}^2} \right\} - \frac{1-\alpha}{R_i^{\max}} \frac{\beta_i B_i}{(n_0 B_i + p_i^k)^2} \end{aligned} \quad (26)$$

式中:上标 k 表示第 k 次迭代。然后,通过简单的代数运算,可以得到一个更好的近似 $k+1$ 的值为

$$p_i^{k+1} = p_i^k - \frac{f(p_i^k)}{f'(p_i^k)} \quad (28)$$

拉格朗日乘子 λ_i 可通过梯度下降法迭代获得,如下所示

$$\lambda_i^{k+1} = \begin{cases} \lambda_i^k - \phi(p_i^{\max} - p_i), & \lambda_i^k - \phi(p_i^{\max} - p_i) \geq 0 \\ 0, & \lambda_i^k - \phi(p_i^{\max} - p_i) < 0 \end{cases} \quad (29)$$

式中: ϕ 为大于 0 的常量。

综上所述,具体的兼顾传输效率和用户满意度

的多源异构车联网网络选择策略步骤如下。

(1)初始化:根据车联网用户满意度体验函数确定效用函数权值系数 α 、灵敏度因子 γ 和网络发射功率初始值 p_0 ,并设定允许误差 c 。

(2)根据步骤1中所得的参数值,利用香农公式 $R_i = \beta_i B_i \lg\left(1 + \frac{p_i}{n_0 B_i}\right)$ (其中 β_i 表示 i 网络系统的频谱效率),计算出不同网络最大传输速率 $R_i^{\max}$ 。

(3)通过步骤2计算得到最大信息传输速率 $R_i^{\max}$ 之后,通过牛顿迭代法计算 $p_i^{k+1} = p_i^k - \frac{f(p_i^k)}{f'(p_i^k)}$ 。

(4)在步骤3中通过迭代得到 p_i^{k+1} 的值之后进行判断,如果 $|p_i^{k+1} - p_i^k| < c$,则返回理论值 $p_i^{\text{opt}} = p_i^{k+1}$;然后选择具有最大满意度效用函数值的网络作为当前车联网用户接入网。

(5)在步骤3中通过迭代得到 p_i^{k+1} 的值之后进行判断;如果 $|p_i^{k+1} - p_i^k| \geq c$,则 $k = k + 1$,返回步骤3,继续进行迭代算法,直至找到满足 $|p_i^{k+1} - p_i^k| < c$ 时的功率值。

3 仿真实验

3.1 仿真环境

本文中,仿真环境为 Matlab 2016,在满足一定时延要求的情况下进行仿真实验。网络选择主要在5G、WLAN和DSRC 3种网络之间进行,考虑环境为城区。其中,系统频谱效率 β_i 分别为1.5、0.5和0.3^[22];噪声为加性高斯白噪声^[23]。

3.2 仿真结果

图2为不同 γ 值下满意度体验函数与接入资源关系图。由图2可以看出:函数是单调的、凹凸的,与式(2)~式(6)所得结果是一致的;观察3条曲线,总体来说,函数取值范围为(0,1);随着接入资源值的增加,起初满意度体验函数值增加速度很快,因为车联网用户急需接入资源以满足当前业务的需求,但由于接入资源较少,满意度体验函数值也较小;随

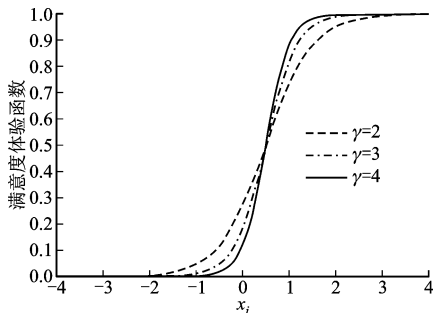


图2 不同 γ 值下满意度体验函数与接入资源关系图

着接入资源值的持续增大,函数增加速率减缓,直至增加速率极其缓慢,此时接入资源值的变化仅会给函数带来极其细微的变化;由3条曲线之间相互比较发现, γ 值越大,函数灵敏度越高,满意度体验函数值也随接入资源变化越快。

为了对比在同一业务需求下,满意度和传输效率在不同占比时对网络性能的影响,通过改变 α 和 γ 的值来进行仿真对比。图3为车联网用户满意度效用函数值与不同发射功率及不同 α 、 γ 值的关系图。首先固定 γ 的值,改变 α 的值,可见, α 的值越大,当前车联网用户获得的满意度效用函数值也越大;其次为了表示当两部分占比一定,而灵敏度不同时,效用函数值如何变化,固定 α 的值,改变 γ 的值,可见,当 γ 的值较大时,效用函数的灵敏度也越高,其效用函数值随功率增加的速率也越快,更快地达到其最大值。

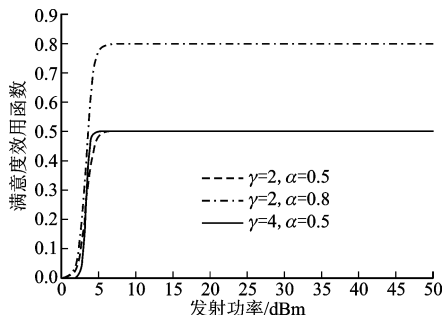


图3 车联网用户满意度效用函数与发射功率及 α 、 γ 值的关系图

在不同网络中,满意度和传输效率这两部分的占比是不同的, α 和 γ 的值是随着业务需求而改变的。首先,在同一业务需求下,为了表示效用函数值随功率的变化关系,此时保证单一变量,即赋予相同的 α 和 γ 值,其中 $\alpha=0.4$, $\gamma=2$ 。图4为不同网络的车联网用户满意度效用函数值与发射功率关系图。由图4可知,在有限功率范围内,满意度效用值随着

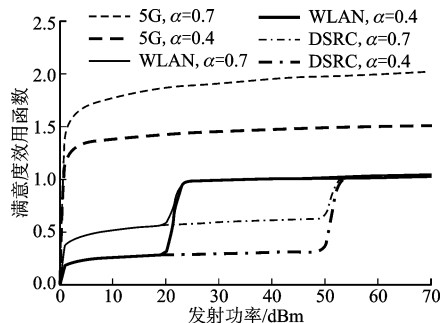


图4 不同网络及参数设置的车联网用户满意度效用函数与功率关系

功率的增大而增大,最终收敛于一最大值,5G 网络比其他两种网络先达到其效用函数的最大值,此时则优先选择 5G 网络作为当前车联网用户的接入网。

其次,为了对比不同业务对满意度和传输效率的需求,于同一种网络而言,分别令 $\alpha = 0.7$ 、 $\alpha = 0.4$,得到两条不同的曲线,当具有较大 α 值时,即对满意度的需求更高,此时满意度在效用函数中占比更大,获得的满意度效用函数值也较大。

令灵敏度因子 $\gamma = 2$,令基于发射功率的网络选择策略、基于传输速率的网络选择策略的权值系数分别为 $\alpha_1 = 0.1$ 、 $\alpha_2 = 0.6$,进行仿真实验。图 5 为不同网络选择策略满意度效用函数对比图。

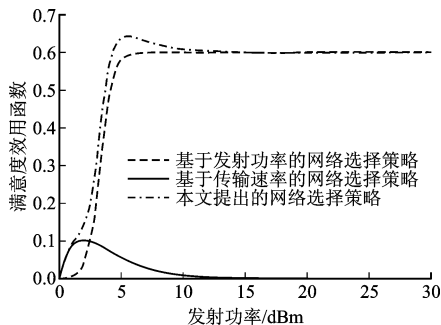


图 5 不同网络选择策略的满意度效用函数对比

将本文所提出的网络选择策略与基于发射功率的网络选择策略和基于传输速率的网络选择策略进行对比。由图 5 可知:在小功率范围内,本文所提出的网络选择策略所获得的效用函数值最大,基于传输速率的网络选择策略所得的次之,基于发射功率的网络选择策略所得的最小,这是由于在小功率范围内,效用函数值受传输效率的影响比受发射功率的大,随着功率范围的增大,本文所提出的网络选择策略所获得的效用函数值依然是最大,基于发射功率的网络选择策略所得的次之,基于传输速率的网络选择策略所得的最小;与基于发射功率的网络选择策略和基于传输速率的网络选择策略相比,本文策略的效用函数最值分别是前两者的 1.08 倍和 6.5 倍,这是由于本文所提出的策略既考虑了发射功率,又考虑了传输效率,并通过函数关系将二者相结合,故可得到较大的效用函数值。这体现了本文所提出策略的优越性。

综上可知,当车联网用户面对不同接入网时,在不同条件下均可得到一个具有最大满意度效用函数值的曲线,选择当前功率下最大满意度效用函数值曲线对应的网络作为当前车联网用户的接入网。该策略能在同时考虑传输效率和用户满意度的情况下

解决网络选择的问题。

4 结 论

为了解决多源异构条件下网络选择的问题,迄今为止已提出了多种选择策略,然而大多数方法都没有考虑多决策因素,而且鲜有考虑用户满意度这一决策因素的。用户满意度作为衡量服务性能的一个重要指标,既可以反映当前网络的网络性能,又可以避免资源的浪费,因此本文针对一些满足一定时延要求的业务,提出一种基于传输效率和用户将满意度的多源异构车联网网络选择策略,通过构造满意度效用函数,然后进行优化,得到最优功率值,进而得出最大满意度效用函数值。仿真结果表明,本文策略可以在综合考虑传输速率和用户满意度的情况下有效地进行网络选择,对网络选择中多决策策略有一定参考价值。后续研究应考虑其他决策因素,如能耗、吞吐量、丢包率等,便于更快更高效地解决多源异构车联网的网络选择问题。

参考文献:

- [1] HAN T, GE X, WANG L, et al. 5G converged cell-less communications in smart cities [J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(3): 44-50.
- [2] DARWISH T S J, BAKAR K A. Fog based intelligent transportation big data analytics in the internet of vehicles environment: motivations, architecture, challenges, and critical issues [J]. IEEE Access, 2018, 6: 15679-15701.
- [3] XU L, HUANG L, CAO C, et al. Outage performance of mobile V2V cooperative networks [J]. Physical Communication, 2019, 34(6): 295-300.
- [4] AROOJ A, FAROOQ M S, UMER T et al. Cognitive internet of vehicles and disaster management: a proposed architecture and future direction [J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2019(7): e3625.
- [5] 王琛, 汤红波, 游伟, 等. 一种 5G 网络低时延资源调度算法 [J]. 西安交通大学学报, 2018, 52(4): 117-124.
- [6] WANG Chen, TANG Hongbo, YOU Wei, et al. A resource scheduling algorithm with low latency for 5G networks based on effective hybrid genetic algorithm and tabu search [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2018, 52(4): 117-124.
- [6] VOON C S, YEAP K H, LAI K C, et al. A compact double-psi-shaped dual band patch antenna for WLAN/

- LTE applications [J]. *Microwave & Optical Technology Letters*, 2018, 60(5): 1271-1275.
- [7] CHETAL S, NAYAK A K, PANIGRAHI R K. Optimization of QoS parameters using scheduling techniques in heterogeneous network [J]. *Personal & Ubiquitous Computing*, 2018, 22(5/6): 943-950.
- [8] 李建东, 郑杰, 刘勤, 等. 异构协作网络中采用令牌漏桶的多接入业务分配算法 [J]. *西安交通大学学报*, 2014, 48(8): 7-11, 35.
LI Jiandong, ZHENG Jie, LIU Qin, et al. A token bucket based traffic allocation algorithm for multi-radio access system in heterogeneous collaboration networks [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2014, 48(8): 7-11, 35.
- [9] 颀孙少帅, 杨俊安, 刘辉, 等. 未知拓扑无线自组网络多节点干扰决策算法 [J]. *西安交通大学学报*, 2018, 52(6): 96-102.
ZHUANSUN Shaoshuai, YANG Jun'an, LIU Hui, et al. An algorithm of multi-nodes jamming decision in blind wireless Ad-hoc networks [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2018, 52(6): 96-102.
- [10] 马礼, 张涛, 马东超, 等. 基于 Markov 模型的接入网络选择算法 [J]. *计算机工程*, 2019, 45(5): 105-109, 115.
MA Li, ZHANG Tao, MA Dongchao, et al. Access network selection algorithm based on Markov model [J]. *Computer Engineering*, 2019, 45(5): 105-109, 115.
- [11] 唐新丰, 李洪, 王星来, 等. 基于模糊逻辑的异型无人机中继网络接入点选择算法 [J]. *遥测遥控*, 2019, 40(2): 13-18.
TANG Xinfeng, LI Hong, WANG Xinglai, et al. Access point selection algorithm for heterogeneous UAV relay network based on fuzzy logic [J]. *Journal of Telemetry, Tracking and Command*, 2019, 40(2): 13-18.
- [12] 宋华伟, 金梁, 王旭. 无线网络物理层安全认证方法 [J]. *西安交通大学学报*, 2018, 52(4): 105-110, 138.
SONG Huawei, JIN Liang, WANG Xu. A security authentication method for wireless network physical layers [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2018, 52(4): 105-110, 138.
- [13] YANG B, WEI P S, MCELCHERAN C E, et al. A platform for 4-channel parallel transmission MRI at 3T: demonstration of reduced radiofrequency heating in a test object containing an implanted wire [J]. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2019(5): 1-10.
- [14] JAMSHIDI-ZANJANI A, REZAEI M. Landfill site selection using combination of fuzzy logic and multi-attribute decision-making approach [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76(13): 448.
- [15] SINGHA N, SINGH Y N. Optimal capacity partitioning in homogeneous P2P network [J]. *IEEE Communications Letters*, 2018, 7(22): 1354-1357.
- [16] PRIADI R, HUDUDILLAH T H. Risk level analysis of lightning strike with simple additive weighting method in Gowa region [J]. *Journal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 2018, 8(1): 17-24.
- [17] DUTTA P. Health risk assessment through incorporation of Dempster-Shafer structure and fuzzy numbers within the same framework [J]. *New Mathematics & Natural Computation*, 2019, 15(3): 231-259.
- [18] CHINNAPPAN A, BALASUBRAMANIAN R. Complexity-consistency trade-off in multi-attribute decision making for vertical handover in heterogeneous wireless networks [J]. *IET Networks*, 2016, 5(1): 13-21.
- [19] 李建东, 姜建, 刘鑫一. 采用时延限制和资源预测的异构无线网络选择策略 [J]. *西安交通大学学报*, 2014, 48(2): 74-79.
LI Jiandong, JIANG Jian, LIU Xinyi. A network selection policy under delay constraint and resource prediction in integrated wireless systems [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2014, 48(2): 74-79.
- [20] JIANG Dingde, HUO Liuwei, LV Zhihan, et al. A joint multi-criteria utility-based network selection approach for vehicle-to-infrastructure networking [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, 19(10): 3305-3319.
- [21] WANG Wenle, WANG Yuan, DAI Jianyan, et al. Dynamic soft real-time scheduling with preemption threshold for streaming media [J]. *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, 2019, 2019: 5284968.
- [22] CHOI Y, KIM H, HAN S W, et al. Joint resource allocation for parallel multi-radio access in heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2010, 9(11): 3324-3329.
- [23] 姜建, 李建东, 刘鑫一. 异构无线网络环境下的联合网络选择策略 [J]. *计算机学报*, 2014, 37(2): 407-413.
JIANG Jian, LI Jiandong, LIU Xinyi. Joint network selection strategy in heterogeneous wireless networks [J]. *Journal of Computer Science*, 2014, 37(2): 407-413.

(编辑 刘杨)