

基于LTE-V城市道路场景的 Improvement of Resource Allocation Algorithm for LTE-V Urban Road Scene 资源分配算法改进

延凯悦(中国联通网络技术研究院,北京 100048)

Yan Kaiyue(China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

现有的LTE-V还存在一些技术瓶颈,如车辆高速移动性支持、业务优先级的保证、任务关键型业务的可靠传输等。主要针对车联网中的典型的通信场景——城市道路通信场景,提出了一种改进的下行无线资源分配算法,以满足关键型数据传输的QoS和业务优先级的要求。

关键词:

LTE-V;资源分配;城市道路通信

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.06.009

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)06-0036-06

Abstract:

There are still some technical bottlenecks in the existing LTE-V vehicular network, such as high speed mobility support for vehicles, services priority guarantee, and reliable transmission of mission-critical services, etc. Aiming at the typical communication scenario in the vehicle network-urban road communication scenario, an optimized downlink resource allocation algorithm is proposed to meet the QoS and service priority requirements of critical data transmission.

Keywords:

LTE-V; Resource allocation; Urban road communication

引用格式:延凯悦. 基于LTE-V城市道路场景的资源分配算法改进[J]. 邮电设计技术, 2019(6): 36-41.

1 概述

车联网是现代智能交通系统的重要基础设施。基于LTE技术实现的车联网方案——LTE-V可以通过传统的LTE网络实现V2V、V2I和V2X通信,保证车辆安全数据的可靠传输,实现整个交通系统高效智能化管理。LTE-V技术由我国提出,2010年开始对其进行研究,2016年9月,3GPP完成了LTE V2V标准核心部分的制定。2017年3月完成了LTE V2X标准的制定。但是,LTE-V技术还面临一些挑战,例如,为了保证行车安全,通常任务安全型数据传输在车载通信中需要得到优先保证。因此,如何对任务安全型数据进行更优化的资源分配,保证此类应用的服务质量,需

要进一步研究,需要针对复杂多变的车辆通信环境,研究更加有效的无线资源调度技术。

城市道路通信场景通常车辆拥挤,用户密度很高,业务需求也大。由于系统容量的限制,有特定QoS要求的关键型数据传输可能无法得到保障。与此同时,在城市道路通信场景中,当物理资源紧张时,资源分配算法有必要考虑业务的优先级问题,使得车联网任务关键型业务优先被分配资源,保证车联网任务关键型数据传输的可靠性。

2 基本原理

2.1 城市道路通信场景

城市道路通信场景的典型特征是车辆密度相对比较大、运行速度相对较低,为简化分析,选择十字路口场景作为典型场景进行分析,如图1所示。

收稿日期:2019-04-02

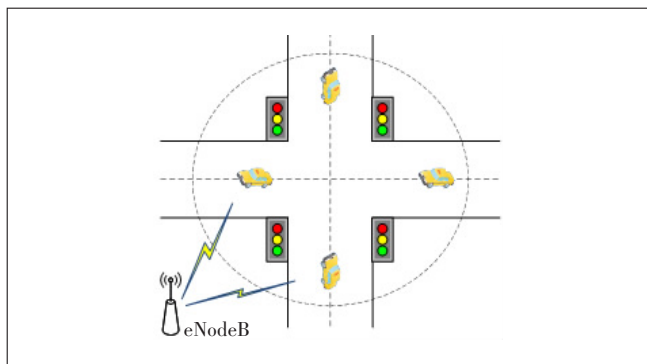


图1 城市道路通信场景

对图1所示的城市道路场景进行建模,提出以下假设。

a) 单个基站小区的覆盖范围是以路口为中心,半径200 m,所有车辆与路侧设施均在其覆盖范围内。车辆与车辆之间、车辆与路侧设施之间都通过基站进行通信。

b) 车辆的行驶速度设置为10~30 km/h。在十字路口处,车辆节点选择前行、左转和右转的概率分别为0.5,0.25,0.25。

c) 车辆到达率服从泊松分布,车辆的到达频率为120 辆/min。设定车辆数目的取值范围为0~100 辆。泊松分布的表达式如式(1)所示。 λ 表示车辆的平均到达率(辆/s), t 表示仿真时间间隔, P_k 表示仿真时间间隔 t 内到达 k 辆车的概率。

$$P_k = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (1)$$

在城市道路环境中,高密度的车载用户会给资源受限条件下的LTE车联网资源分配带来新的问题。具体体现在以下2点。

a) 有限的系统容量无法保证所有用户传输速率的要求。

b) 高密度车联网业务的可靠接入问题和优先级保证。

2.2 下行无线资源分配过程

下行无线资源分配主要涉及物理层和MAC层,物理层进行时频资源块的划分,MAC层资源调度的实现一般由分组调度器和相关的无线资源管理进程完成,基本原理如图2所示。在每个TTI中,车载终端首先会计算并反馈CQI给其相关联的eNodeB。分组调度器根据CQI和QoS等业务信息为UE指定RB资源分配方案,自适应调制编码模块为UE选择最优调制编码策略。eNodeB将终端的资源分配信息如RB、MCS等通

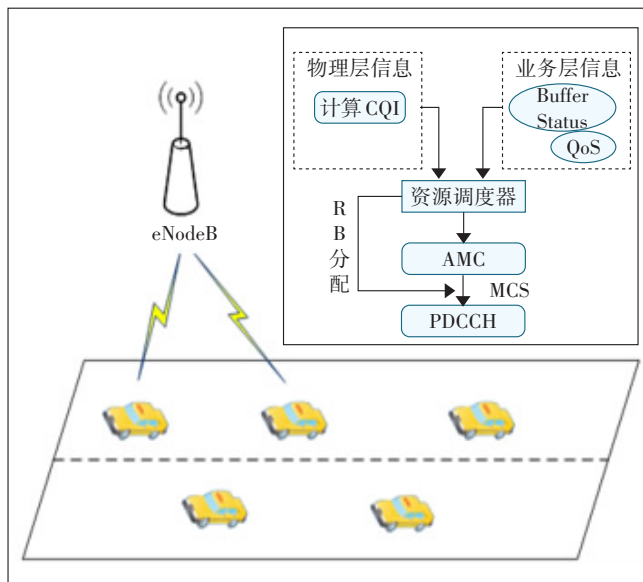


图2 基于LTE车联网的资源分配过程

过PDCCH信道上的DCI信息发送给UE。eNodeB根据下行无线资源分配方案把需要传输的数据分组填充在PDSCH信道上,进行传输。UE获取PDCCH上的DCI信息后,在PDSCH上获得无线资源,开始接收eNodeB发送的数据,完成整个下行资源分配。

2.3 下行无线资源分配算法

现有的下行无线资源分配算法可以总结为3类:信道无感知算法、信道感知/QoS无感知算法、信道感知/QoS感知算法。

a) 信道无感知算法。假定信道质量不发生变化,根据具体计算方法不同可进一步分为轮询算法、盲吞吐量公平算法(BET)。

b) 信道感知算法。需要考虑信道质量的影响,通过合理资源分配使系统获得较大吞吐量,包括最大载干比算法(Max C/I)和比例公平算法(PF)。

c) QoS感知资源分配算法。该类算法同时考虑信道质量变化和QoS参数的要求,以满足关键型数据传输的性能需求。目前比较常用的算法包括修正最大权重时延优先算法(M-LWDF—the Modified Largest Weighted Delay First)和指数比例公平算法(EXP/PF—Exponent Proportional Fair)。前者主要考虑了具有不同传输时延要求业务的优先级;后者主要考虑数据传输缓冲队列时延与业务优先级之间的映射为指数关系,相对传统的线性映射关系,其优越性在于:用户数比较大的情况下,时延敏感类业务能够优先得到保证。

3 传统的EXP/PF 算法

车联网业务对时延比较敏感,信道有感知/QoS有感知类算法既考虑了用户业务的无线信道质量变化,也考虑了用户业务的QoS要求,因此多采用EXP/PF算法。该算法根据无线信道的质量和分组数据缓冲队列的时延对用户进行优先级排序,然后按照优先级顺序为UE分配资源。EXP/PF算法也区分实时类业务和非实时类业务。实时业务度量的大小与缓冲队列时延成指数增长关系,如式(2)和(3)所示。

$$m_{i,k}^{\text{EXP/PF}} = \exp\left(\frac{a_i D_{\text{HOL},i} - x}{\sqrt{1+x}}\right) \times m_{i,k}^{\text{PF}} \quad (2)$$

$$x = \frac{1}{N} \sum_i a_i D_{\text{HOL},i} \quad (3)$$

式中:

a_i ——时延敏感度

$m_{i,k}^{\text{PF}}$ ——用户*i*的信道质量参数

$D_{\text{HOL},i}$ ——缓冲队列的时延

x ——*N*个用户的时延优化参数的平均值

EXP/PF算法的优点是考虑了无线信道的质量变化,并且该算法的实时业务度量的大小与缓冲队列时延成指数增长关系,所以非常适合为时延敏感的实时业务分配资源。缺点是EXP/PF算法中引入了吞吐量公平的公平机制,这种机制将导致用户间的吞吐量近似相等,无法满足不同用户业务对传输速率的QoS要求。车联网业务类型众多,在众多业务并发的情况下,车联网任务关键型业务与其他业务构成竞争关系,基于LTE车联网的物理资源可能比较紧张,关键型业务对QoS的要求严苛,必须保证车联网任务关键型业务优先分配资源,并且兼顾其他车联网业务的调度公平。EXP/PF算法公平对待所有用户业务,没有对业务做进一步的区分,所以EXP/PF算法还存在一定缺陷。

4 下行无线资源分配改进算法

基于EXP/PF算法的缺点,本文提出了一种基于差异化函数的指数比例公平算法(EXP/PF-DF-V2I——Exponent Proportional Fair based on Differentiation Function for Vehicle to Infrastructure)。该算法在EXP/PF算法的基础上,首先根据业务分类函数将业务分为实时业务和非实时业务,并赋予实时业务高的调度优先级,保证实时业务的可靠传输。然后利用差异化函

数对实时业务中的车联网任务关键型业务与非任务关键型业务进行差异化处理,保证实时业务中的车联网任务关键型业务优先被调度,同时满足非任务关键型业务的调度要求。最后对剩下的非实时业务采用PF算法进行资源分配。

EXP/PF-DF-V2I算法具体实现步骤如下:

步骤1:待分配的业务分组进入eNodeB,等待分配下行无线资源。

步骤2:未分类业务分组进入业务分类器,根据QCI指示信息和业务类型对业务进行分类。业务分类器主要是根据业务分组的QCI信息对业务分组进行分类。业务分类器的分类函数表达式如式(4)所示。

$$g(x) = \begin{cases} \{a_n, b_n, c_n\} x_{\text{QCI}} = \alpha \\ \{a_{n+1}, b_{n+1}, c_{n+1}\} x_{\text{QCI}} = \beta \\ \dots \end{cases} \quad (4)$$

式中:

x_{QCI} ——业务分组的QCI参数

α, β ——用户业务QCI参数的可能取值

$\{a_n, b_n, c_n\}$ 和 $\{a_{n+1}, b_{n+1}, c_{n+1}\}$ ——不同业务取得的不同可调参数

业务分类函数根据QCI参数将车联网业务分为车联网任务关键型业务、语音业务、视频业务和网络数据业务。实时业务包括车联网任务关键型业务、语音业务和视频业务;非实时业务包括网络数据业务。

实时类业务分组添加实时差异化函数参数组,进入实时类业务缓冲队列。差异化函数公式如式(5)所示。

$$Q_n(D_{\text{HOL},i}) = \frac{a_n \times D_{\text{HOL},i}}{\log(1 + b_n/D_{\text{HOL},i}) + c_n} \quad (5)$$

式中:

a_n, b_n, c_n ——区分车联网不同业务类型的可调参数

$D_{\text{HOL},i}$ ——缓冲队列时延(HOL:head-of-line)

根据业务的可调参数可以计算其差异化函数值。例如,与车联网关键型业务相关的可调参数可以设置为 $a=1, b=0.5, c=0.1$;与视频相关业务的可调参数可以设置为 $a=1, b=1, c=1$;与语音相关业务的可调参数可以设置为 $a=1, b=10, c=1$ 。这样通过改变差异化函数可调参数组的值,不同的车联网业务可以获得不同的差异化函数值。

步骤3:在实时业务的资源分配过程中,分组调度

器优先将RB分配给实时业务中的车联网任务关键型业务,保证该类业务的可靠传输。实时业务资源分配的具体过程如图3所示。

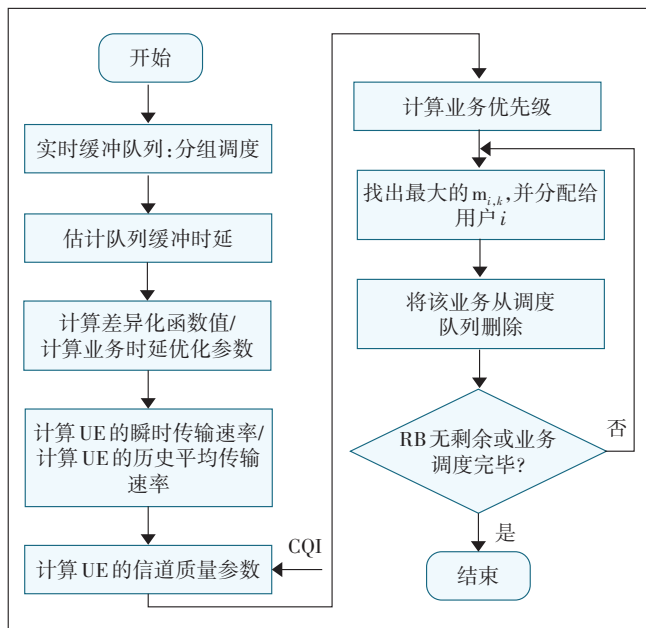


图3 实时业务资源分配流程图

步骤3.1:从实时业务缓冲队列中选择 N 个分组, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ 插入到调度队列 q 中。

步骤3.2:根据式(5)计算不同业务的差异化函数值。

步骤3.3:计算车联网任务关键型业务和非行车安全相关实时业务的时延优化参数:

$$P(D_{\text{HOL},i}) = \exp\left(\frac{a_i D_{\text{HOL},i} - x}{1 + \sqrt{x}}\right) \quad (6)$$

式中:

a_i ——时延敏感度

$D_{\text{HOL},i}$ ——缓冲队列的时延

x —— N 个用户的时延优化参数的平均值

$P(D_{\text{HOL},i})$ ——业务分组在缓冲队列中等待的时间距离时延阈值越近,该业务分组被分配RB的概率就应该越大。该参数可以保证车联网用户实时业务的实时性。

步骤3.4:eNodeB根据用户的信道质量反馈报告,计算每个用户的瞬时传输速率 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_N$ 和历史平均传输速率。根据用户的瞬时传输速率和历史平均传输速率计算车联网任务关键型业务和非行车安全相关实时业务的信道质量参数 $m_{i,k}^{\text{PF}}$ 。

步骤3.5:综合步骤3.2到步骤3.4中的公式得到实

时业务资源分配的度量值如式(7)所示。

$$M_{i,k} = Q(D_{\text{HOL},i}) P(D_{\text{HOL},i}) \cdot m_{i,k}^{\text{PF}} \quad (7)$$

式中:

$M_{i,k}$ ——实时类业务的量化值, i 表示第 i 个用户, k 表示第 k 个RB

步骤3.6:在所有UE中找到最大的RB,将该RB预分配给第 i 个用户。判断已经分配的RB是否能够满足一次调度传输数据量需求,如果满足传输需求,就将该RB分配给UE,并且将调度队列 q 清空,完成实时业务的资源分配。

步骤3.7:如果分配RB后仍无法满足业务的传输数据需求,那么检查RB是否还有剩余。如果存在剩余那么重复步骤3.2到3.6,直至满足车联网任务关键型业务和非行车安全相关实时业务的数据传输需求,结束实时业务的资源分配。若RB无剩余,那么等待下一个时隙,完成下一个轮次的资源分配。

步骤4:若完成实时业务的资源分配之后RB还有剩余,则转入非实时业务资源资源分配;若RB无剩余,则等待下一个时隙。非实时业务资源分配的具体流程如图4所示。

步骤4.1:从非实时类业务缓冲队列中选择 N 个分组, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ 插入到队列 q 中。

步骤4.2:eNodeB根据用户的信道质量反馈报告,

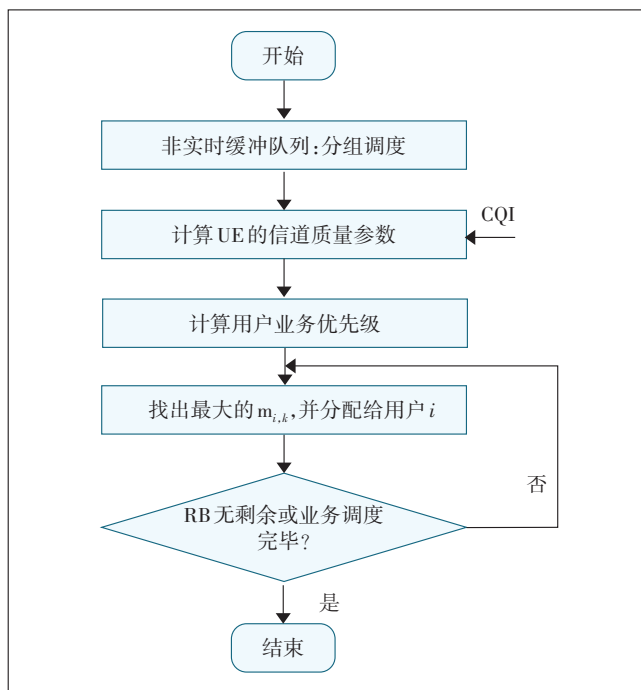


图4 非实时业务资源分配的流程图

计算每个用户的瞬时传输速率 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_N$ 和用户的
历史平均传输速率。根据用户的瞬时传输速率和历史
平均传输速率计算非实时业务的信道质量参数 $m_{i,k}^{PF}$ 。

步骤4.3:综合计算得出资源分配优先级,找出 $m_{i,k}^{PF}$
最大的RB,将该RB预分配给第 i 个UE。判断已经分
配的RB是否能够满足一次调度传输数据量需求,如
果可以满足传输需求,将调度队列 q 清空,完成非实时
业务的无线资源分配。

步骤4.4:如果分配该RB后仍无法满足传输数据
需求,那么检查RB数量是否还有剩余。如果存在剩
余,那么重复步骤4.2到步骤4.3,直至满足队列 q 中
非实时业务的传输数据需求,结束非实时业务的无线
资源分配。如果RB数量无剩余,那么结束该轮次调度,
等待下一个时隙。

5 仿真结果

5.1 车联网任务关键型业务系统性能仿真对比

图5~图7给出了城市道路通信场景下,EXP/PF-
DF-V2I算法、PF算法、EXP/PF算法与M-LWDF算
法的车联网任务关键型业务系统吞吐量曲线、时延、丢
包率的对比曲线。表1给出了以EXP/PF-DF-V2I算
法为基准,不同算法在时延、系统吞吐量和丢包率性
能方面的结果。可以清楚地看到,EXP/PF-DF-V2I算
法对车联网任务关键型业务的调度性能从系统吞吐
量、时延、传输速率和丢包率方面都全面优于EXP/PF
算法、M-LWDF算法和PF算法,因此EXP/PF-DF-V2I
算法更适合为车联网任务关键型业务分配资源。

5.2 其他业务调度性能的仿真对比

视频业务、音频业务和尽力而为业务调度性能仿

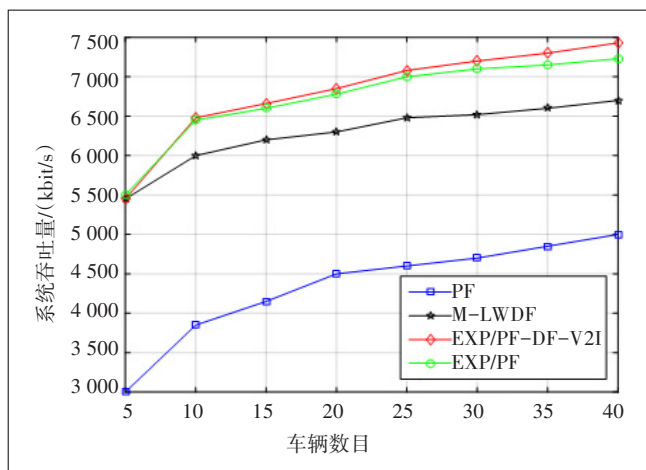


图5 EXP/PF-DF-V2I算法与其他算法的系统吞吐量对比

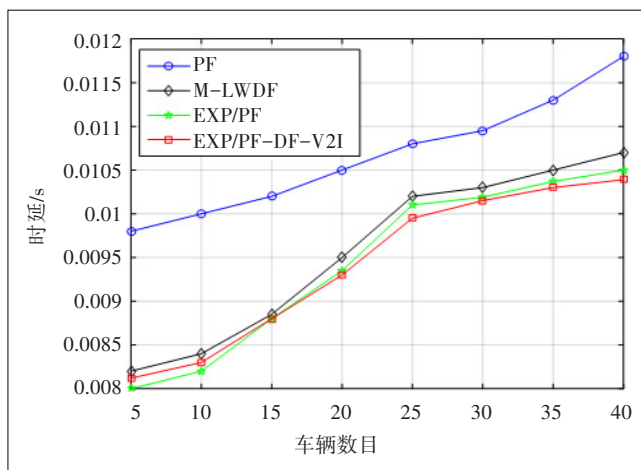


图6 EXP/PF-DF-V2I算法与其他算法的时延对比

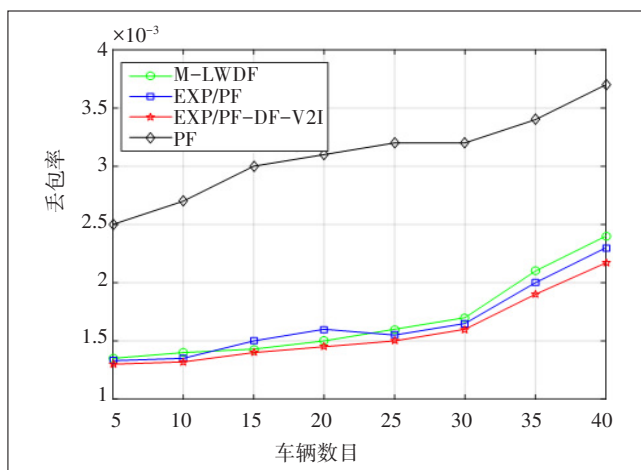


图7 EXP/PF-DF-V2I算法与其他算法的丢包率对比

表1 车联网任务关键型业务调度性能对比

算法名称	时延/ms	系统吞吐量/(kbit/s)	丢包率/%
PF	+1.4	-2 430	+1.53
M-LWDF	+0.3	-730	+0.23
EXP/PF	+0.1	-230	+0.13
EXP/PF-DF-V2I	10.4	7 430	2.17

真结果如表2~表4所示。表2~表4以EXP/PF-DF-
V2I算法为基准,不同算法在时延、系统吞吐量和丢
包率性能方面的结果。

5.3 算法公平性的仿真对比

图8为城市道路交通通信场景下,EXP/PF-DF-
V2I算法与EXP/PF算法的公平指数对比曲线图。
EXP/PF-DF-V2I算法尽管在业务分类中引入了差
异化函数,并制定业务优先级资源分配规则,但是差
异化函数的曲线是凹曲线的特征减轻了业务之间不
公平性。因此,EXP/PF-DF-V2I算法与EXP/PF算法的

表2 视频业务调度性能对比

算法名称	时延/ms	系统吞吐量/(Mbit/s)	丢包率/%
PF	+ 293.5	-0.61	+ 2.06
M-LWDF	+ 0.25	-0.05	+ 0.24
EXP/PF	+ 0.5	-0.03	+ 0.7
EXP/PF-DF-V2I	6.5	3.21	2.8

表3 音频业务调度性能对比

算法名称	时延/ms	系统吞吐量/(Mbit/s)	丢包率/%
PF	+ 35	-0.65	+1.33
M-LWDF	+ 0.2	-0.03	+ 0.87
EXP/PF	+ 0.5	-0.05	+ 0.32
EXP/PF-DF-V2I	7	2.5	4.1

表4 尽力而为业务调度性能对比

算法名称	系统吞吐量/(Mbit/s)	丢包率/%
PF	+0.8	- 0.29
M-LWDF	+0.63	- 0.21
EXP/PF	+0.74	- 0.25
EXP/PF-TR-V2I	5.8	3.05

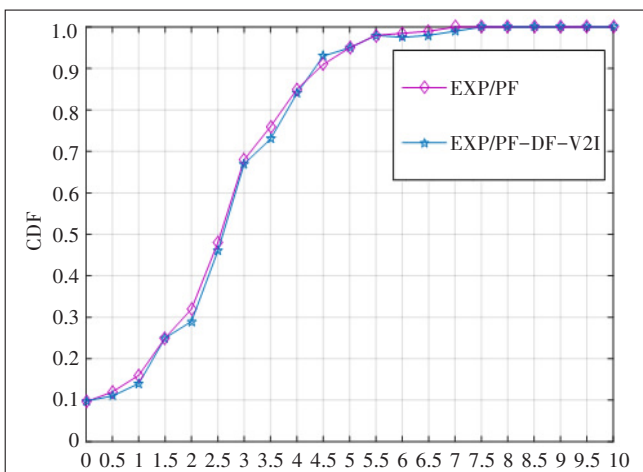


图8 EXP/PF-DF-V2I与EXP/PF算法的公平指数对比曲线图
 公平指数基本一致。

在城市道路通信场景中,EXP/PF-DF-V2I算法对车联网任务关键型业务的调度性能在系统吞吐量、时延和丢包率方面都全面优于EXP/PF算法、M-LWDF算法和PF算法,因此EXP/PF-DF-V2I算法更适合为车联网任务关键型业务分配资源。

EXP/PF-DF-V2I算法对视频业务的调度性能表现与同是QoS保证算法的EXP/PF算法和M-LWDF算法的调度性能基本一致,因此EXP/PF-TR-V2I算法适合为视频业务分配资源。

EXP/PF-DF-V2I算法对音频业务的调度性能表

现低于同是QoS保证算法的EXP/PF算法和M-LWDF算法,但在可以接受的范围之内。因此EXP/PF-DF-V2I算法仍可以保证音频业务数据传输的可靠性。

EXP/PF-DF-V2I算法对尽力而为业务的调度性能表现低于EXP/PF算法、M-LWDF算法和PF算法,因此EXP/PF-TR-V2I算法对尽力而为业务的调度性能表现较差,这是为了保证车联网特定业务QoS要求必须付出的代价。

综上所述,针对城市道路场景提出的EXP/PF-DF-V2I算法在业务密集的城市道路环境下可以保证车联网任务关键型数据的可靠传输。

6 结论

本文提出了一种EXP/PF-DF-V2I的资源分配算法。该算法首先利用业务分类函数将业务分为实时业务和非实时业务,并赋予实时业务高的调度优先级,保证实时业务的可靠传输。然后利用差异化函数对实时业务中的车联网任务关键型业务与非任务关键型业务进行差异化处理,保证实时业务中的车联网任务关键型业务优先被调度,同时满足非任务关键型业务的调度要求。最后对剩下的非实时业务采用PF算法进行资源分配。同样,为了验证EXP/PF-DF-V2I算法的优越性,本文对EXP/PF-DF-V2I算法和典型的资源分配算法进行了仿真对比,分析了EXP/PF-DF-V2I算法在调度性能上的优势,验证了EXP/PF-DF-V2I算法可以在保证系统吞吐量和用户公平的条件,能够满足任务关键型数据的可靠传输。

参考文献:

- [1] IBANEZ J G, ZEADALLY S, CONTRERASCASILLLO J . Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and Internet of things technologies [J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(6) :122-128.
- [2] GERLA M, LEE E K, PAU G, et al. Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds [C]//Internet of Things. IEEE, 2016.

作者简介:

延凯悦,毕业于北京交通大学,工程师,硕士,主要研究方向为MEC、车联网、5G通信等。

