

文章编号: 2095-2163(2020)04-0103-06

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

基于 uRLLC 技术在车联网的应用

杨磊, 李晓坤, 陈虹旭, 郑永亮, 张乐江

(黑龙江恒讯科技有限公司 国家博士后科研工作站, 哈尔滨 150090)

摘要: 5G 网络的到来, 不仅带来上网速度的提升, 更是推动了新兴物联网行业的大面积覆盖。5G 网络中最主要的三个应用场景, 即用于日常上网、通信的增强型移动宽带; 用于物联网通信的海量物联网通信, 以及用于车联网或工业自动化等的低延时高可靠通信。由于车联网对低延时与高可靠性的要求, 需要将网络延时控制在 10ms 内才能保障车联网业务的稳定运行, 而 uRLLC 技术可以很好地解决车联网中毫秒级别的延时保障、网络安全、硬切换以及路况预判这四大问题。

关键词: uRLLC; 5G; 车联网; 人工智能

The application of the technology of ullc in the Internet of vehicles

YANG Lei, LI Xiaokun, CHEN Hongxu, ZHENG Yongliang, ZHANG Lejiang

(Heilongjiang Hengxun Technology Co., Ltd. Postdoctoral Programme, Harbin 150090, China)

[Abstract] The arrival of 5G network not only brings about the improvement of Internet speed, but also promotes the extensive coverage of the emerging Internet of Things industry. The three main application scenarios in 5G network are enhanced mobile broadband for daily Internet access and communication. Massive Internet of Things communication for Internet of Things communication and low delay and high reliability communication for Internet of vehicles or industrial automation. Due to the requirements of low latency and high reliability of Internet of vehicles, the network latency needs to be controlled within 10ms to ensure the stable operation of Internet of vehicles business. URLLC technology can well solve the four major problems in Internet of vehicles, such as millisecond delay guarantee, network security, hard switch and road condition pre-judgment.

[Key words] uRLLC; 5G; Vehicle interconnection; Artificial intelligence

0 引言

2016 年初, 3GPP 发起了 5G 网络技术标准的制定工作。计划到 2019 年底前完成 R16 版本标准(5G 网络第二阶段标准), 其中包含了 5G uRLLC 技术的标准化。uRLLC 技术在延时以及可靠性方面, 相比之前的 4G 网络等移动通信技术有了很大程度的提高。uRLLC 技术实现了基站与终端之间的通信, 上下行均能达到 0.5 ms 级别的延时^[1]。车联网为了保障通信中的低延时与高可靠性, 在实现车联网业务时, 需要将通信延时控制在 10 ms 之内, 才能保障车联网业务的稳定运行, 而 uRLLC 技术可以很好地解决车联网中毫秒级别的延时保障、网络安全、硬切换以及路况预判等问题。因此, uRLLC 技术与车联网结合是未来车联网走向应用成熟的必然趋势^[2]。

1 uRLLC 技术概述及现状

1.1 uRLLC 技术的基本概念

在不久的将来, 第五代移动通信技术(5G, the fifth generation of mobile communications system)将参与到人们生活的方方面面, 为未来全球信息化建设提供坚实的基础。因此, 有关 5G 的标准化制定以及核心技术的研发成为各方关注的重点。其中, eMBB 和 uRLLC 技术计划在 5G 中期建设完成^[3]。eMBB 技术是 5G 网络的基础业务之一, 其特点是: 数据载量大、传输速率要求高。相比而言 uRLLC 技术的数据包更小, 对网络的延时以及容错率更严格。因此, uRLLC 技术更适合应用在车联网这种对网络精度要求更高的场景^[4]。

2015 年, 国际电信联盟正式规定了 5G 网络的

基金项目: 中小企业创新基金(2017FF1GJ023); 专利优势示范企业基金(2017YBQCZ029); 国家自然科学基金(81273649); 国家自然科学基金(61501132); 中央高校基本科研业务费专项资金(3072019CFT0603); 国家自然科学基金(61672181); 黑龙江省自然科学基金联合引导基金(LH2019F049, LH2019A029); 中国博士后科学基金(2019M650069); 黑龙江省基础科研科技创新基金(KJCX201805); 黑龙江省基础科研青年创新团队基金(RCYJTD201805)。

作者简介: 杨磊(1989-), 男, 学士, 主要研究方向: 虚拟化、云计算、人工智能等; 李晓坤(1979-), 男, 硕士, 研究员级高级工程师, 教授, CCF 高级会员, 主要研究方向: 虚拟化、人工智能、生物特征识别等; 陈虹旭(1986-), 男, 硕士, 工程师, CCF 会员, 主要研究方向: 虚拟化、云计算、人工智能等。

通讯作者: 李晓坤 Email: li.xiaokun@163.com

收稿日期: 2020-03-11

三大应用场景,即 eMBB(enhance mobile broadband)增强型移动宽带、mMTC(massive machine type communication)海量物联网通信以及 uRLLC(ultra reliable&low latency communication)低延时高可靠通信。相对而言,如果网络延时偏高,uRLLC 相关业务的正常运行会受到很大影响,并可能出现不可控的控制误差。因此,第三代合作伙伴计划(3rd generation partnership project, 3GPP)也对 5G 应用的三大场景 eMBB、mMTC、uRLLC 的延时及可靠性标准进行了定义。其中 uRLLC 作为 5G 网络的三大核心应用场景之一,在车联网、增强现实(AR)、虚拟现实(VR)中的应用非常广泛。

1.2 uRLLC 技术现状

uRLLC 及 eMBB 是目前 5G NR(基于 OFDM 的全新空口设计的全球性 5G 标准)最急需的应用场景,其中 eMBB 为最基本业务需求。在 5G 网络发展的初期(2019—2020 年),多以热点地区和城区网络覆盖 eMBB 业务为主,主要为了面对热点高、容量高速度的挑战。当发展到建设中期(2021—2022 年),5G 网络将作为 eMBB 技术的主要承载网络,uRLLC 技术能与 eMBB 技术共存并保证业务的频谱效率。当 5G 网络发展成熟时(2023—2025 年),5G NR 将会大规模承载 uRLLC 业务,并将对新兴的车联网、工业自动化等物联网行业提供解决方案^[5]。

3GPP SA1 在新服务和市场使能技术,对延时性低可靠性高的场景进行了重新整合,同时 TS26.261-g00 也给出了相关的性能指标要求。但 3GPP SA1 并没有严格要求使用 uRLLC(ultra-reliable and low-latency communication),而是沿袭 SA1 一直使用 low-latency and high reliability。除此之外,SA1 还认为 ITU 划分的三个场景采取的维度不同,uRLLC 对应的只是一系列的低延时应用场景。因此,SA1 启用新的立项自动化逆域通信研究。如:在现有规定的延时、抖动、可靠性及速率外进一步加强对网络监控的安全标准,从而更丰富原有 SMARTER 中没有的规定,同时写入到 TS26.261 规范中。

由图 1 中可见,基于 IP 网络的应用其可靠性已上升到电信级的 99.999% 甚至更高,只有少数的几个业务是 99.9% 的保障。因此,对当前网络提出极大的挑战,如何保证可靠性是一大难题。根据 TS26.261-g00 标准,初步统计 uRLLC 业务的时延要求如图 2 所示。

在 TS 23.501-100 标准中^[6],3GPP SA2 将国际电联分区的三种应用场景定义为切片/服务类型,并将 uRLLC 定义为两种类型。

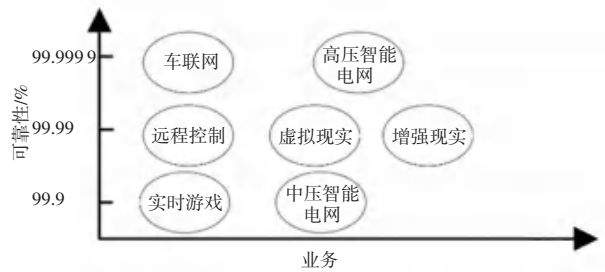


图 1 基于 IP 网络的应用可靠性

Fig. 1 Application reliability based on IP network

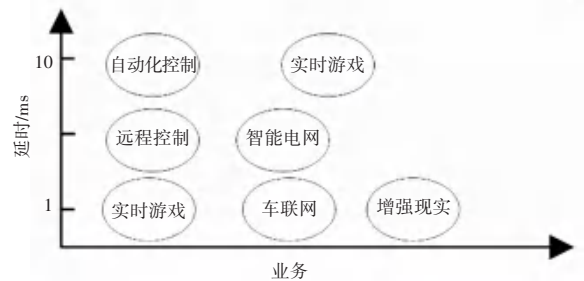


图 2 uRLLC 业务的时延要求

Fig. 2 Delay requirements of uRLLC service

3GPP RAN1 将 uRLLC 标准分为两部分:低延迟和高可靠性。低延迟技术主要涉及物理层的时隙/帧结构、调度和 HARQ 过程。

1.3 uRLLC 技术的基本特点

在移动通信中,为了减少延迟,主要方法有:提高网络传输效率、提高流媒体编解码时间、优化互联网传输协议、减少网络通信节点的数量、优化 5G 网络架构^[7]。

4G/LTE 系统的帧结构是固定的,副载波间隔固定在 15 kHz,对应于 0.5 ms 的固定时隙长度。两个时隙构成基本传输单元子帧,即 1 ms。5G NR 的帧结构、副载波间隔都是可变的。时隙长度随着子载波间距的增加而减小,60 kHz 的副载波间隔对应于 0.125 ms 的时隙长度。时域从 1 ms ~ 0.125 ms,显著缩短了传输时间。对于下行业务,基于调度 4G/LTE,不同的业务资源不能重叠。发送数据接收确认至少需要 4 ms。基于调度 5G NR 下的 uRLLC 服务资源,可与其它服务(eMBB 服务)重叠^[8],通过抢占指令提高用户设备解码成功率,并引入自含时隙结构。数据发送和接收确认可以在一个时隙内完成,即数据发送可以在 0.125 ms(60 kHz 带宽)内完成。对于上行业务,基于调度 4G/LTE 的不同业务资源不能重叠。从启动数据调度到数据接收确认至少需要 10 ms(如果采用半静态调度,可以减少到 4 ms);而 5G NR 不基于调度,为 uRLLC 服务预留资源,数据传输可以在 0.25 ms 内完成^[9]。

由于 uRLLC 需要超高的可靠性保证,若分配给 uRLLC 服务的频谱带宽较窄,小区边缘化会严重影响 uRLLC 用户的性能,链路预算问题将成为吞吐量下降的主要因素。总之,从频域角度分析,系统需为 uRLLC 用户分配足够的调度带宽;从时域角度分析,uRLLC 更适合于小时隙调度模式。低延迟限制了系统在不同参数集配置下可设置的 HARQ 进程最大值。uRLLC 需实现无 HARQ 传输。例如,一个 TTI 以 60 千赫的副载波间隔包含 7 个符号,为了在 1 ms 的用户平面延迟内满足超可靠传输的性能,最多使用 8 个 TTIs 来传输一个 uRLLC。数据分组包括初始传输、HARQ ACK-NACK 反馈和重传。如果 HARQ RTT 太长,系统可能没有时间等待确认 NACK 反馈或重传。uRLLC 服务的重传模式也可以指 eMBB 重传模式。使用基于 CBG 的 HARQ 重传模式时,eMBB 被分成几个 CBG。此外,还可以采用一些特殊的设计。例如,接收方提前反馈几个 CBG 的确认,以确认发送方的接收,从而进一步减少整个 HARQ RTT 时间^[10]。在严格的低延迟限制下,一些物理层技术可以有效地提高 uRLLC 的可靠性。99.999%的可靠性要求 uRLLC PDCCH 解调的成功率不应低于该值。因此,uRLLC 用户可以采用紧凑型 DCI 设计。在物理层,如果使用循环冗余校验的 DCI,开销可减少一半,相应的聚合可以增加一个级别。较高的 AL (16,32) 选择可以降低 PDCCH 编码率和解调误码率。同时,用户可以选择固定的人工智能进行 PDCCH 检测,进一步减少了盲信噪比 PDCCH 检测的次数。开销较小的紧凑 DCI 可以通过以下方法来设计:指示仅配置低调制级别和编码速率 MCS 表;指示 RB 组中的低精度频域资源分配;较少的 HARQ 进程;具有较少多输入、多输出相关性的天线端口模式等^[11]。

5G uRLLC 终端需要快速网络切换(如自动驾驶仪),以确保端到端延迟。在现有 4G 移动通信的安全机制中,基站需要在终端完成网络切换之前计算、发送和接收相关密钥。在未来 5G 移动通信网络中,基站将部署(超)高密度网络(小站将是 5G 的主要高频带,初始阶段将是 4G/LTE 的混合网络)。因此,不同类型的无线接入系统、不同类型的无线接入网络 and 不同基站之间的协作将成为普遍现象,这将进一步增加具有超低延迟的移动终端。为了减少移动网络中 5G uRLLC 终端的切换时延,可以采取一些措施,如针对异构多层访问网络的统一认证机制、高效的安全上下文推断和最小化网络节点之间

的安全上下文传输。根据 RAN NR 的设计要求,uRLLC 业务的上下游用户延迟应小于 0.5 ms,这里定义的用户面延迟是 uRLLC 流量组没有给定大小和可靠性指标的平均目标值。不同的 uRLLC 服务对 uRLLC 延迟有不同的要求,特别是对于自动驾驶仪和增强现实/虚拟现实技术,均需要超低的用户面延迟支持。

2 uRLLC 技术在车联网中的应用

2.1 5G 网络切片

根据 5G 网络标准的定义,通用网络体系结构由终端、基站、核心网络和应用/服务应用服务器组成。除终端和基站属于空口传输之外,其它形式都是光纤汇聚。总之,通过的节点越多,业务流的延迟就越大,返回链路将引入 6~16 ms。毫秒级的传输延迟不包括由服务部署位置(例如电信网络、互联网等的差异引入的延迟)。为满足 uRLLC 服务端到端 1 ms 的延迟(如自动驾驶仪),核心网络和应用服务器必须直接部署在访问端,弃用全部传输链路,将多跳传输简化为一跳传输。因此,网络切片必然会被引入到网络体系结构中^[12]。网络切片本身是一个复杂的问题,其中包括核心网和接入网切片、覆盖切片架构、切片选择、切片漫游等。除了 3GPP 之外,国际电联、MGMN、ETSI 等组织也展开了网络切片的标准研究,但这些组织的研究目前主要停留在较高的架构和需求层面。目前,具体切片的实现主要由 3GPP 制定。实际上,以车载网络为例的 uRLLC 切片无线网络与 eMBB 和 mMTC 并不完全相同。随着业务应用和需求的多样化,5G 基站提出了两种部署模式:CU/DU (CentralRAN 单元/分布式 RAN 单元)分离和 CU/DU 共址^[13]。显然,对于 uRLLC,CU/DU 必须位于同一位置,而对于 eMBB,可以根据需要而定。在核心网上,uRLLC 核心网的用户端也必须下沉,而 eMBB 不是必需的。

2.2 V2X 技术

V2x 技术类似于行业中常用的 B2B 和 B2C,即车辆移动终端与周围环境之间的网络信息交换。通过集成全球定位系统(GPS)导航技术、车对车通信技术、无线通信和遥感技术等,车联网为车辆技术奠定了新的发展方向,实现了手动驾驶和自动驾驶的兼容性。V2x(车辆到 x)是未来智能交通系统的关键技术。它使车辆与车辆之间、车辆与基站之间、基站与基站之间能够进行通信。可以获得诸如实时道路状况、道路信息和行人信息等一系列交通信息,从而提高驾驶安全性,减少了拥堵,提高了交通效率并

提供了车辆娱乐信息。综上所述,通过系统模型,在自动驾驶模式下,通过实时交通信息分析,自动选择最佳驾驶路线,大大缓解了交通拥堵。此外,通过使用车载传感器和摄像头系统,还可以感知周围环境并进行快速调整,以实现“零交通事故”。

2.3 D2D 技术

设备到设备,称为 D2D。它是移动通信行业的一项新技术,允许终端在系统控制下通过重用小区资源来直接彼此通信,在一定程度上解决了无线通信系统频谱资源不足的问题。在 3GPP 提出的 LTE-A 的研究项目中,有必要提供基于 LTE 的新技术,以满足先进 IMT 的要求,提供更高的数据速率和系统容量。Imt-a 系统可以支持蜂窝网络中的 D2D 通信,以提高频谱利用率。此外,它还可减轻蜂窝网络的负担,减少移动终端的电池功耗、提高比特率、提高网络基础设施故障的鲁棒性,以及支持新的小型点对点数据服务。

3 实验结果分析

3.1 移动终端与路边单元

如图 3 所示:探测器探测到道路上车辆异常情况后,通过路边单元向所在区域的移动终端发送应急广播。假如各移动终端都安装了独立天线,路边单元安装了 N_t 根天线。上行通信信道 $h_0 \in \mathbb{C}^{N_t}$ 为探测器到路边单元,下行通信信道 $h_k \in \mathbb{C}^N$ 为从路边单元到各移动终端 t ,静态衰落信道 $k \in K \triangleq \{1, \dots, K\}$,信道分别对应为 $\hat{h}_0 \in \mathbb{C}^{N_t}$ 及 $\hat{h}_k \in \mathbb{C}^N$,信道所对应的误差为: $e_k = h_k - \hat{h}_k, k = 0, 1, \dots, K$,设定满足有界误差,即 $ek \leq \delta k, k = 0, 1, \dots, K$,从探测器到路边单元的上行链路发送的数据包为 N_0 比特,将其打包成长度为 mu 大小的数据。可用 $y_0[n] = p_0 h_0 x_0[n] + z_0[n], n = 1, \dots, mu$ 表示路边单元所接收到的信号,其中 $x_0[n] \sim CN(0, 1)$ 表示发送的数据,并服从基于零均值和单位方差的高斯分布, SN 的发送功率 $p_0 (p_0 \leq P_0), z_0[n] \sim CN(0, 2IN_t)$ 为路边单元端的加性高斯白噪声^[14]。路边单元根据信道状态结果,对 $y_0[n]$ 接收波束打包,如果接收波束向量为 W_0 ,则 $x_0[n]$ 被路边单元所解码后,不理想状态下的信噪比 P_0 可以表示为:

$$P_0 = \min_{\|e_0\| \leq \delta_0} \frac{p_0 E(|w_0^H h_0|)}{N_t \sigma^2 \|w_0\|^2} = \min_{\|e_0\| \leq \delta_0} \frac{p_0 |w_0^H (h_0 + e_0)|^2}{N_t \sigma^2 \|w_0\|^2}. \quad (1)$$

根据有限码长编码理论, N_0, mu, p_0 以及错误率 $\varepsilon_0 \ll 0.5$ 近似服从:

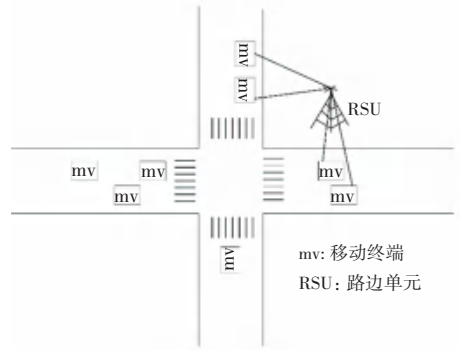


图3 移动终端与路边单元

Fig. 3 Mobile terminal and roadside unit

$$\frac{N_0}{m_u} \approx \log_2(1 + p_0) - \sqrt{\frac{1}{m_u} \frac{\delta_0}{\varepsilon_0} - \frac{1}{(1 + p_0)^2} \frac{\delta_0}{\varepsilon_0}} \quad (2)$$

$$\frac{Q^{-1}(\varepsilon_0)}{\ln 2} \triangleq R(p_0, \varepsilon_0, m_u).$$

其中,高斯函数 Q 的反函数,可表示为 Q^{-1} ,路边单元的错误率表示为 ε_0 。从 $y_0[n]$ 中获取探测器发送来的信息,并进行解码后产生 K 个数据,并将这些数据发送给 K 个终端。假设第 k 个移动终端所接收到的数据包为 N_k 比特,用 $S_k[n], n = 1, \dots, md$ 表示这 N_k 比特的数据包编码长度为 md 个符号单位功率的数据,则路边单元发射的下行信号可表示为

$$\sum_{k=1}^K w_k s_k[n], n = 1, \dots, md.$$

其中, $s_k[n]$ 的发送波束向量为 $w_k \in \mathbb{C}^{N_t}$ 。第 k 个移动终端接收到的信号为:

$$y_k[n] = h_k^H w_k s_k[n] + \sum_{j=1, j \neq k}^K h_k^H w_j s_j[n] + z_k[n], n = 1, \dots, m_d. \quad (3)$$

其中, $z_k[n] \sim CN(0, \sigma^2)$ 为加性高斯白噪声。最小信噪比可以用下行链路的第 k 个移动终端的信噪比在信道误差来表示^[14]。

$$p_k = \min_{\|e_k\| \leq \delta_k} \frac{|h_k^H w_k|^2}{\sum_{j=1, j \neq k}^K |h_k^H w_j|^2 + \sigma^2} = \min_{\|e_k\| \leq \delta_k} \frac{|(h_k + e_k)^H w_k|^2}{\sum_{j=1, j \neq k}^K |(h_k + e_k)^H w_j|^2 + \sigma^2}, \quad (4)$$

其中, $k \in K$ 类似,给定 $PEP \varepsilon_k \in (0, 0.5)$,第 k 个移动终端的下行速率最大值为:

$$\frac{N_k}{m_d} \approx \log_2(1 + p_k) - \sqrt{\frac{1}{m_d} \left(1 - \frac{1}{(1 + p_k)^2}\right)} \quad (5)$$

$$\frac{Q^{-1}(\varepsilon_k)}{\ln 2} \triangleq R(p_k, \varepsilon_k, m_d).$$

3.2 实验系统模型

为了便于系统设计我们假设下行链路的 K 个数据包被编码成码长为 md 的符号, 则探测器到路边单元再到第 k 个移动终端的传输链路为 k , 那么链路端点到端点的空中接口传输稳定性可表示为 $(1 - \varepsilon_0)(1 - \varepsilon_k)$, 本文将这一问题建模为

$$\min_{p_0, \{\varepsilon_k, \omega_k\}} m_u + m_d. \quad (6)$$

$$\text{s.t. } p_0 \leq p_0, \sum_{k=1}^K \|\omega_k\| \leq p_{\max}, \quad (7)$$

$$1 - (1 - \varepsilon_0)(1 - \varepsilon_k) \leq \varepsilon_{\max}, \forall k \in K. \quad (8)$$

$$\frac{N_0}{m_u} = \log_2(1 + p_0) -$$

$$\sqrt{\frac{1}{m_u} \frac{\varepsilon_0}{e} - \frac{1}{(1 + p_0)^2} \frac{\ddot{\circ}}{\varnothing} \frac{Q^{-1} \varepsilon_0}{\ln 2}}, \quad (9)$$

$$\frac{N_k}{m_d} = \log_2(1 + p_k) -$$

$$\sqrt{\frac{1}{m_d} \frac{\varepsilon_k}{e} - \frac{1}{(1 + p_k)^2} \frac{\ddot{\circ}}{\varnothing} \frac{Q^{-1} \varepsilon_k}{\ln 2}}. \quad (10)$$

可以看到 ε_0 和 $\{\rho_k, w_k, \lambda_k\}$ 都是相对独立的, 所以它可以迭代更新 ε_0 与 $\{\rho_k, w_k, \lambda_k\}$, 使得空中系统的传输时延最小。

在确定 ε_0 前我们要先更新 $\{\rho_k, w_k, \lambda_k\}$, 对于任意的 $\varepsilon - 0 \in (0, \varepsilon_{\max})$, 都可以简化表示为

$$\min_{\{\rho_k, \omega_k, \lambda_k\}} \max_{k \in K} m_d \frac{\varepsilon}{e} - \frac{1 - \varepsilon_{\max}}{1 - \varepsilon_0} \frac{\ddot{\circ}}{\varnothing} p_k. \quad (11)$$

在本文计算出最优结果时, 所有用户采用的 md 全部相同, 因此通过二分法计算就可以计算出最匹配结果 $t = md(\varepsilon^{-k}, \rho_k)$ 。对于给定的数值 t , 根据 md 相对于 p_k 的单调性, 我们可以通过二分法计算出对应于 t 的 p_k , 其中, 对于 t 的则要在每次迭代过程中判断下述问题的最小值是否满足路边单元发射功率的最大值^[14]:

$$\min_{(\omega_k, \lambda_k)_{k=1}^K} \sum_{k=1}^K \|\omega_k\|^2, \quad (12)$$

$$\text{s.t. } (\lambda_k I_{N_i} + A_k), \quad (13)$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k.$$

所以如果上面计算结果的最小值不大于 p_{\max} , 则可以进一步降低 t , 反之增大 t 。通过半正定松弛方法可以将该公式近似为一个半正定规划问题, 则相应的问题为

$$\min_{\{w_k, \lambda_k\}_{k=1}^K} \sum_{k=1}^K \text{Tr}(W_k), \quad (14)$$

$$\text{s.t. } (h_k^H A_k h_k^H A_k h_k - \lambda_k \delta_k^2 - \sigma^2) \geq 0, \forall k, \quad (15)$$

$$\lambda_k \geq 0, W_k \geq 0, \forall k. \quad (16)$$

其中, $A_k = \frac{1}{p_k} w_k - \sum_{j=1, j \neq k}^K w_j, \forall k \in K$ 。根据定

理可知公式存在一组最优解 $\{W_k^*\}$ 满足 $\sum_{k=1}^K \text{Rank}^2(W_k^*) \leq k_0$ 。

3.3 实验结果与分析

参考 5G 相关的仿真结果^[15], 系统空中接口部分的平均无线传输速率设置为 30 兆比特/秒。考虑到 uRLLC 和 eMBB 服务的特性, uRLLC 服务的数据包长度定为 32 兆比特, 概率延迟约束为 (1 ms, 10^{-5}), eMBB 服务的数据包长度为 0.5 兆比特, 数据包到达速率为 2 兆比特每秒。uRLLC 服务的概率延迟分布如图 4 所示。由图中可见, 固定 uRLLC 业务数据包到达速率为 100 pkt/s 时, 随着资源预留率的增加, uRLLC 业务的概率延迟保证越好。当资源预留率达到 3.8% 时, 获得 uRLLC 服务数据包延迟超过 1 ms 的概率不超过 10^{-5} , 满足了概率延迟约束。在这种配置下, 系统资源的预留比例应不低于 3.8%。

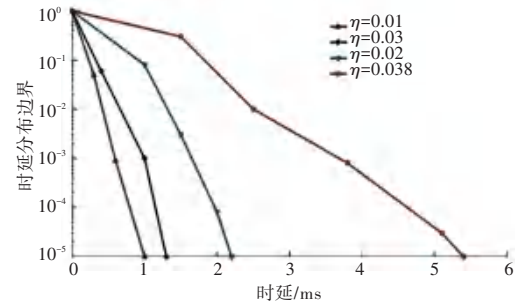


图 4 系统资源的预留比例

Fig. 4 Reservation proportion of system resources

上述条件下不同资源预留率对 eMBB 服务的概率延迟分布的影响如图 5 所示。从图中可见, eMBB 服务的延迟随着资源预留率的增加而增加。由于 eMBB 业务的数据包规模较大, 当资源预留率相对较小时, eMBB 业务的时延恶化并不明显。当 uRLLC 服务到达率增加时, 最小资源预留率也应增加。

随着 uRLLC 服务预留的资源增加, eMBB 服务的可用资源减少, 当为 uRLLC 服务预留的资源量减少时, 延迟性能显著下降。表 1 显示了 uRLLC 服务在不同到达率配置下的资源预留率。表 1 中预留资源比例对应的 eMBB 业务概率延迟分布表明: 当 η_{\min} 值较小时, 延迟恶化不明显; 当 η_{\min} 从 3.3% 增加到 4.9% 和 5.6% 时, 概率延迟分布曲线明显向右移动。

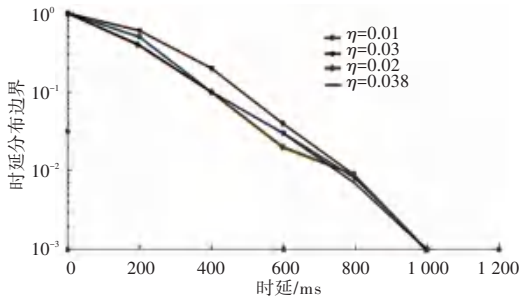


图5 不同资源预留率对eMBB服务的概率延迟分布的影响

Fig. 5 The influence of different resource reservation rates on the probability delay distribution of eMBB services

表1 资源预留下界

Tab. 1 Lower bound of resource reservation

$\lambda_u / (\text{pkt} \cdot \text{s}^{-1})$	$\eta_{\min} / \%$
100	3.3
200	4.9
1 000	5.6
3 000	13.8
11 000	21
22 000	34

4 结束语

从行业应用的角度来看,uRLLC的“超可靠低延迟”对于车辆联网和其他高度延迟敏感服务的广泛应用至关重要。然而,3GPP 5G希望创造一个垂直行业的全面应用,不仅局限于3GPP SA1已经提出的业务需求,还涉及到整个相关行业。uRLLC是移动通信行业无缝进入垂直行业的重大进步。uRLLC与车联网的结合将是人类生活全面信息化的重要体现^[16]。

(上接第102页)

当今社会老年人的养老需求。因此要想解决智慧养老发展模式中的问题,必须要从技术角度进行改革,提高人工智能技术参与度。

(1)打破原有养老产品市场供给单一的局面,建立市场合作机制与智能技术共享机制,强化政府力量,在政府的鼓励下积极整合社会高科技技术资源,引导发展人工智能的企业资源积极进入智慧养老产业。政府应发挥监督作用,降低自身在养老产品供给市场中的主体地位,将更多的供给机会提供给广大的智慧养老产品生产企业。

(2)作为一种新型的养老模式,其产品市场的发展也应进行创新。我国智慧养老产品市场运营模式,应采取“自主经营、优胜劣汰”的方式。政府通过建立公平竞争的市场机制,吸引广大企业进入养老产品市场,根据各类老年人自身需求的特点,为老

参考文献

- [1] 朱红梅,林奕琳,刘洁. 5G URLLC标准、关键技术及网络架构的研究[J]. 移动通信, 2017, 41(17): 28-33.
- [2] 董涛,张志华. 基于电信级5G URLLC短延迟平台的车联网应用研究[J]. 电信技术, 2018(07): 32-34.
- [3] 李进良. 4G改变生活5G改变社会[J]. 移动通信, 2019, 43(4): 52-56.
- [4] 温萍萍. 5G网络中支持URLLC业务的数据复制传输技术[J]. 无线互联科技, 2018, 15(10): 20-22.
- [5] 陈林. 工业自动化中低延迟无线通信的关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2018.
- [6] 3GPP TS 23.501. Procedures for the 5G System; Stage2[S]. 2017.
- [7] 沈霞,刘慧. 5G新空口中的场景技术方案研究[J]. 电信网技术, 2017(12): 30-35.
- [8] 杨士霄,高月红,张欣,等. 5G新空口下eMBB与URLLC业务复用技术的研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(8): 23-28.
- [9] 张晓江. 5G NR基站部署规划研究[J]. 邮电设计技术, 2019(3): 12-15.
- [10] 高月红,李岚,张欣,等. URLLC业务概率时延约束及资源预留的分析与研究[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 41(5): 98-102.
- [11] 李兰兰. 一种面向业务的HARQ重传算法[J]. 信息通信, 2018(7): 19-21.
- [12] 宋凤飞. 5G网络切片的设计与资源分配方案研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2018.
- [13] 陈琳娜. 支持网络切片的无线资源分配算法研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2018.
- [14] 成晶,沈超,夏树强. 上行-下行联合优化的uRLLC传输[J]. 中兴通讯技术, 2019.
- [15] 赵芳菲. 面向5G的低时延高可靠通信关键技术与仿真[D]. 北京:北京邮电大学, 2018.
- [16] 陈虹旭,李菲,李晓坤,等. 基于eMBB、mMTC、uRLLC场景的第五代移动通信方法研究[J]. 智能计算机与应用, 2019.

年人提供最佳的产品服务组合。只有在公平竞争的环境下,企业各方才能端正生产态度,正视自身发展不足、提升产品服务质量的。

(3)人工智能技术的发展是智慧养老模式的“血脉”。政府应积极鼓励社会上的专业人才投身智慧养老模式的发展之中,对积极进行人工智能与智慧养老联合发展的企业进行奖励与激励,鼓励技术性企业创造多层次的智慧养老产品,以此来更好的满足老年人群多样化、个性化的养老需求。

参考文献

- [1] 陆杰华,朱荟. 2011:中国人口学研究的回顾与评述[J]. 人口学刊, 2013(1): 27-35.
- [2] 贾伟,王思惠,刘力然. 我国智慧养老的运行困境与解决对策[J]. 中国信息界, 2014(11): 56-60.
- [3] 陈豪,唐艳昕. 西湖区“智慧养老”应用探索[J]. 杭州科技, 2014(4): 35-37.