



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114979013 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 30

(21) 申请号 202210534895.1

(22) 申请日 2022.05.17

(71) 申请人 南京邮电大学

地址 210003 江苏省南京市栖霞区文苑路9号

(72) 发明人 周亮 索云飞 魏昕 宋杰

(74) 专利代理机构 南京禹为知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 32272

专利代理师 王晓东

(51) Int. Cl.

H04L 47/24 (2022.01)

H04L 47/2441 (2022.01)

H04L 47/2425 (2022.01)

H04L 47/80 (2022.01)

H04L 47/83 (2022.01)

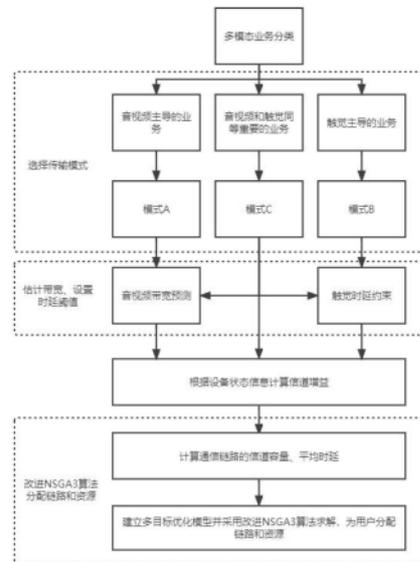
权利要求书3页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法

(57) 摘要

本发明公开了一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,属于无线通信领域,包括将多模态业务分类,根据用户对的多模态业务种类选择对应的传输模式;根据传输模式估计音视频流需要的带宽和/或设置触觉信号的端到端时延阈值;根据设备的状态信息计算信道增益,根据数据包的平均到达率和设备的服务速率估计队列状态;通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源。本发明所述方法基于不同的多模态业务设计了3种传输模式,通过模式选择和资源分配为每一对用户灵活地选择适当的链路来传输异构信号,以解决多模态信号需求差异大的问题,并且能够实现更高的带宽满足率和更低的平均端到端时延。



1. 一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其特征在于:包括,
 将多模态业务分类,根据用户对的多模态业务种类选择对应的传输模式;
 根据传输模式估计音视频流需要的带宽和/或设置触觉信号的端到端时延阈值;
 根据设备的状态信息计算信道增益;
 通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源。

2. 如权利要求1所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其特征在于:
 将所述多模态业务分为音视频主导业务、触觉主导业务和音视频、触觉同等重要业务;所述
 传输模式包括与所述音视频主导业务相对应的模式A、与所述触觉主导业务相对应的模式
 B,以及与所述音视频、触觉同等重要业务相对应的模式C。

3. 如权利要求2所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其特征在于:
 估计需要的音视频带宽步骤如下,

假设在0-t时间段,音视频的到达流量符合分型布朗运动,则到达流量表示为:

$$A_j(t) = m_j t + \sqrt{a_j m_j} Z_{jt}$$

式中, $A_j(t)$ 表示用户对j的音视频到达流量,t表示当前时刻, m_j 表示用户对j音视频到
 达流量的平均值, a_j 表示用户对j的音视频到达流量的方差系数, H_{uj} 表示用户对j音视频流
 的Hurst参数,该参数用来刻画音视频到达流量的长记忆性, Z_{jt} 表示均值为0、Hurst参数在0
 和1之间、方差为 $t^{2H_{uj}}$ 的标准分型布朗运动;

用户对j的音视频流缓冲区的队列长度为:

$$X_j(t) = \sup_{s \leq t} (A_j(t) - A_j(s) - R_{\text{video}}(j)(t-s))$$

式中,s表示小于等于t的任意时刻, $A_j(t)$ 表示用户对j在0-t时刻的音视频到达流量, A_j
 (s)表示用户对j在0-s时刻的音视频到达流量, $R_{\text{video}}(j)$ 表示用户对j的音视频流传输带宽;
 用户对j的音视频流缓冲区队列长度 $X_j(t)$ 大于服务区缓冲长度 x_j 的概率为:

$$P\{X_j(t) > x_j\} = e^{-\left(\frac{(R_{\text{video}}(j) - m_j)^{H_{uj}} x_j^{2-2H_{uj}}}{2a_j H_{uj}^{H_{uj}} (1-H_{uj})^{(1-H_{uj})} (H_{uj})^2 m_j} \right)}$$

令丢包率 $\varepsilon_j = P\{X_j(t) > x_j\}$ 等同于用户对j音视频流缓冲队列的溢出概率,则预测的用
 户对j的音视频传输带宽为:

$$R_{\text{video}}(j) = m_j + [H_{uj}^{2H_{uj}} (1 - H_{uj})^{2(1-H_{uj})} \sqrt{-2 \ln \varepsilon_j}]^{1-H_{uj}} a_j^{\frac{1}{2H_{uj}}} x_j^{\frac{H_{uj}-1}{H_{uj}}} m_j^{\frac{1}{2H_{uj}}}$$

式中, $R_{\text{video}}(j)$ 表示最终预测的用户对j的音视频带宽。

4. 如权利要求3所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其特征在于:
 当用户对j选择模式A时,音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$;

当用户对j选择模式B时,触觉流时延不大于端到端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$;

当用户对j选择模式C时,音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$,并且触
 觉流时延不大于端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$ 。

5. 如权利要求4所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其特征在于:
 根据设备的状态信息计算信道增益包括如下步骤,

收集通信系统内设备的距离信息,并计算信道增益;

设备间的路径损耗的表达式为：

$$\omega_{dB}(d) = [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{BS})] \log_{10}(d) + 31.46 + 5.83 \log_{10}(h_{BS}) \\ + 23 \log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right)$$

式中， ω_{dB} 表示设备间的路径损耗， h_{BS} 表示基站高度， d 表示设备之间的距离， f_c 表示载频；

设备间的总路径损耗的表达式为：

$$PL_{dB} = \omega_{dB}(d) + 10 \log(X_u) - \alpha_{dB}$$

式中， PL_{dB} 表示设备间的总路径损耗， X_u 表示对数正态阴影衰落标准差， α_{dB} 表示天线增益；

设备间的信道增益表达式为：

$$G = 10^{-PL_{dB}/10}$$

式中， G 表示设备间的信道增益。

6. 如权利要求5所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法，其特征在于：通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源包括如下步骤，

计算通信链路的信道容量；

计算通信链路的端到端时延；

将用户对的链路选择、路径寻优及资源分配问题建模为一个带约束的多目标优化问题，分别以上述业务模式A和模式C的音视频链路总速率、模式B和模式C的触觉平均时延、系统总吞吐量和系统能量利用率为目标，以音视频带宽和触觉时延为约束建立模型；

选择与用户对发送端距离最远、未被其他用户作为复用对象、且与基站通信的用户作为复用对象，通过NSGA3算法求解模型，在经过一定轮次的迭代后，当链路不满足约束时，将该约束和对应链路从计算中清除，最后得到系统多模态业务用户的传输策略与资源分配结果；若算法得到的结果中存在传输音视频的链路信道容量仍小于预测带宽的情况，则分配更多资源块；优选的，对于一些对触觉流时延要求非常苛刻的业务来说，若算法得到的结果中存在传输触觉信号的链路时延仍高于时延阈值的情况，通过动态规划算法计算出时延最小的路径作为新的触觉传输路径。

7. 如权利要求6所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法，其特征在于：所述通信链路的信道容量包括蜂窝链路下的信道容量、直连链路下的信道容量、复用链路下的信道容量以及中继链路下的信道容量。

8. 如权利要求7所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法，其特征在于：用户对 j 在蜂窝链路下传输的信道容量采用如下公式计算，

$$R_{Cellular}(j) = \min\left\{B(j) \log_2\left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{TB}(j)}{n_0 B(j)}\right), B(j) \log_2\left(1 + \frac{P_B G_j^{BR}(j)}{n_0 B(j)}\right)\right\}$$

$R_{Cellular}(j)$ 表示用户对 j 蜂窝链路下的信道容量， $B(j)$ 表示信道带宽， $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率， P_B 表示基站的发射功率， $G_j^{TB}(j)$ 表示发射端到基站的信道增益， $G_j^{BR}(j)$ 表示基

站到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声;

用户对j在直连链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$R_{\text{direct}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TR}}(j)}{n_0 B(j)} \right)$$

$R_{\text{direct}}(j)$ 表示用户对j直连链路下传输的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声;

用户对j在复用链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$R_{\text{reuse}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TR}}(j)}{P_c(j)G_{jk}^i + n_0 B(j)} \right)$$

$R_{\text{reuse}}(j)$ 表示用户对j复用链路下的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, $P_c(j)$ 表示被用户对j复用的用户的发射功率, G_{jk}^i 表示复用用户的干扰损耗, n_0 表示加性高斯白噪声;

用户对j在中继链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$R_{\text{relay}}(j) = \min \{ R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j) \}$$

$R_{\text{relay}}(j)$ 表示用户对j中继链路下的信道容量, hop 表示触觉流传输路径的跳数, $R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j)$ 分别表示链路中每一跳的信道容量, 每一跳采用直连链路信道容量公式来计算。

9. 如权利要求8所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法, 其特征在于: 用户对j的端到端时延通过如下公式计算,

$$T(j) = T_{\text{sendout}}(j) + T_{\text{queueing}}(j)$$

式中, $T_{\text{sendout}}(j), T_{\text{queueing}}(j)$ 分别代表发送时延和排队时延。

10. 如权利要求6、7和9任一所述的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法, 其特征在于: 系统总吞吐量通过如下公式计算,

$$\begin{aligned} \text{throughout} = & \sum_j^{N1} [\beta_1(j)R_{V_direct}^1(j) + \beta_2(j)R_{V_cellular}^1(j) + R_{H_reuse}^1(j)] + \\ & \sum_j^{N2} [R_{V_reuse}^2(j) + \beta_3(j)R_{H_direct}^2(j) + \beta_4(j)R_{H_relay}^2(j)] + \\ & \sum_j^{N3} [\beta_5(j)R_{V_direct}^3(j) + \beta_6(j)R_{V_cellular}^3(j) + \beta_7(j)R_{H_direct}^3(j) + \\ & \beta_8(j)R_{H_relay}^3(j)] \end{aligned}$$

式中, throughout 表示系统总吞吐量, β 为选择参数, $\beta=1$ 时选择该链路, $\beta=0$ 时不选择, $N1, N2, N3$ 表示三种业务的用户对数, R 代表信道容量, 上标1、2、3分别表示音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务, direct 表示直连链路, cellular 代表蜂窝链路, reuse 代表复用链路, relay 代表中继链路, V 表示音视频流、 H 表示触觉流。

一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及音视触信号传输技术领域,特别是一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法。

背景技术

[0002] 现有的音视频多媒体服务基本可以满足用户的视听需求,因此越来越多的用户希望获得视听以外的感观体验,比如触觉。一些研究开始在流媒体通信业务中加入触觉通信,这种新型业务称为多模态业务。

[0003] 多模态业务主要依托于无线网络,需要在用户对之间传输音频、视频和触觉数据,传统无线蜂窝网络的传输方法难以同时满足多模态业务中音视频对大吞吐量和触觉流对低时延高可靠性的要求,音视频,尤其是视频中包含大量图片,图片又由海量的像素点构成,因此其传输需要较高的信道容量。图像数据常常会占用排队队列的大部分资源,导致触觉信号在队列中等待的时间长,排队时延显著升高;而触觉流也会占用设备的一部分带宽,从而降低音视频的传输速率。

发明内容

[0004] 本部分的目的在于概述本发明的实施例的一些方面以及简要介绍一些较佳实施例。在本部分以及本申请的说明书摘要和发明名称中可能会做些简化或省略以避免使本部分、说明书摘要和发明名称的目的模糊,而这种简化或省略不能用于限制本发明的范围。

[0005] 鉴于上述和/或现有的面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法中存在的问题,提出了本发明。

[0006] 因此,本发明所要解决的问题在于如何提供一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明提供如下技术方案:一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,其包括,将多模态业务分类,根据用户对的多模态业务种类选择对应的传输模式;根据传输模式估计音视频流需要的带宽和/或设置触觉信号的端到端时延阈值;根据设备的状态信息计算信道增益;通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源。

[0008] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案,其中:将所述多模态业务分为音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务;所述传输模式包括与所述音视频主导业务相对应的模式A、与所述触觉主导业务相对应的模式B,以及与所述同等重要业务相对应的模式C。

[0009] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案,其中:估计需要的音视频带宽步骤如下,

[0010] 假设在0-t时间段,音视频的到达流量符合分型布朗运动,

[0011]
$$A_j(t) = m_j t + \sqrt{a_j m_j} Z_{jt}$$

[0012] 式中, $A_j(t)$ 表示用户对 j 的音视频到达流量, t 表示当前时刻, m_j 表示用户对 j 音视频到达流量的平均值, a_j 表示用户对 j 的音视频到达流量的方差系数, Hu_j 表示用户对 j 音视频流的Hurst参数, 该参数用来刻画音视频到达流量的长记忆性, Z_{jt} 表示均值为0、Hurst参数在0和1之间、方差为 t^{2Hu_j} 的标准分型布朗运动; 用户对 j 的缓冲区的队列长度为:

$$[0013] \quad X_j(t) = \sup_{s \leq t} (A_j(t) - A_j(s) - R_j(t-s))$$

[0014] 式中, s 表示小于等于 t 的任意时刻, $A_j(t)$ 表示用户对 j 在 $0-t$ 时刻的音视频到达流量, $A_j(s)$ 表示用户对 j 在 $0-s$ 时刻的音视频到达流量, R_j 表示用户对 j 的音视频流传输带宽;

[0015] 用户对 j 的缓冲区队列长度 $X_j(t)$ 大于服务区缓冲长度 x_j 的概率为:

$$[0016] \quad P\{X_j(t) > x_j\} = e^{-\left(\frac{(R_j - m_j)^{Hu_j} x_j^{2-2Hu_j}}{2a_j Hu_j^{Hu_j} (1-Hu_j)^{(1-Hu_j)} (Hu_j)^2 m_j}\right)}$$

[0017] 令丢包率 $\varepsilon_j = P\{X_j(t) > x_j\}$ 等同于用户对 j 音视频流缓冲队列的溢出概率, 此时用户对 j 音视频流的传输带宽为:

$$[0018] \quad R_{\text{video}}(j) = m_j + [Hu_j^{2Hu_j} (1 - Hu_j)^{2(1-Hu_j)} \sqrt{-2 \ln \varepsilon_j}]^{1-Hu_j} a_j^{\frac{1}{2Hu_j}} x_j^{\frac{Hu_j-1}{Hu_j}} m_j^{\frac{1}{2Hu_j}}$$

[0019] 式中, $R_{\text{video}}(j)$ 表示最终预测的用户对 j 的音视频带宽。

[0020] 设置触觉信号需要的时延阈值步骤如下,

[0021] 为触觉信号设置满足流畅感知的时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$, 触觉信号从发射端到接收端的时延应该不大于该阈值。

[0022] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案, 其中: 当用户对 j 选择模式A时, 音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$; 当用户对 j 选择模式B时, 触觉流时延不大于端到端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$; 当用户对 j 选择模式C时, 音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$, 并且触觉流时延不大于端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$ 。

[0023] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案, 其中: 根据设备的状态信息计算信道增益包括如下步骤,

[0024] 收集系统内设备的距离信息, 并计算信道增益;

[0025] 设备间的路径损耗的表达式为:

$$\omega_{\text{dB}}(d) = [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{\text{BS}})] \log_{10}(d) + 31.46 + 5.83 \log_{10}(h_{\text{BS}})$$

[0026]

$$+ 23 \log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right)$$

[0027] 式中, ω_{dB} 表示设备间的路径损耗, h_{BS} 表示基站高度, d 表示设备之间的距离, f_c 表示载频;

[0028] 设备间的总路径损耗的表达式为:

$$[0029] \quad PL_{\text{dB}} = \omega_{\text{dB}}(d) + \log(X_u) - \alpha_{\text{dB}}$$

[0030] 式中, PL_{dB} 表示设备间的总路径损耗, X_u 表示对数正态阴影衰落标准差, α_{dB} 表示天线增益;

[0031] 设备间的信道增益表达式为：

$$[0032] \quad G = 10^{-PL_{dB}/10}$$

[0033] 式中,G表示设备间的信道增益；

[0034] 下文中用到的信道增益均通过该公式计算。

[0035] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案,其中:通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源包括如下步骤,

[0036] 计算通信链路的信道容量；

[0037] 计算通信链路的端到端时延；

[0038] 将用户对链路选择、路径寻优及资源分配问题建模为一个带约束的多目标优化问题,分别以上述业务模式A和模式C的音视频链路总速率、模式B和模式C的触觉平均时延、系统总吞吐量和系统能量利用率为目标,以音视频带宽和触觉时延阈值为约束建立模型；

[0039] 选择与用户对发送端距离最远、未被其他用户作为复用对象、且与基站通信的用户作为复用对象,通过NSGA3算法求解模型,在经过一定轮次的迭代后,当链路不满足约束时,将该约束和对应链路从计算中清除,最后得到系统多模态业务用户的传输策略与资源分配结果;若算法得到的结果中存在传输音视频的链路信道容量仍小于预测带宽的情况,则分配更多资源块;优选的,对于一些对触觉流时延要求非常苛刻的业务来说,若算法得到的结果中存在传输触觉信号的链路时延仍高于时延阈值的情况,通过动态规划算法计算出时延最小的路径作为新的触觉传输路径。

[0040] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案,其中:所述通信链路的信道容量包括音视频流在蜂窝链路下传输的信道容量、音视频流在直连链路下的信道容量,以及音视频在复用链路下的信道容量。

[0041] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案,其中:用户对j在蜂窝链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0042] \quad R_{\text{cellular}}(j) = \min\left\{B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TB}}(j)}{n_0 B(j)}\right), B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_B G_j^{\text{BR}}(j)}{n_0 B(j)}\right)\right\}$$

[0043] $R_{\text{cellular}}(j)$ 表示用户对j蜂窝链路下的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, P_B 表示基站的发射功率, $G_j^{\text{TB}}(j)$ 表示发射端到基站的信道增益, $G_j^{\text{BR}}(j)$ 表示基站到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声；

[0044] 用户对j在直连链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0045] \quad R_{\text{direct}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TR}}(j)}{n_0 B(j)}\right)$$

[0046] $R_{\text{direct}}(j)$ 表示用户对j直连链路下传输的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声；

[0047] 用户对j在复用链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0048] \quad R_{\text{reuse}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TR}}(j)}{P_C(j)G_{jk}^i + n_0 B(j)} \right)$$

[0049] $R_{\text{reuse}}(j)$ 表示用户对 j 复用链路下的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, $P_C(j)$ 表示被用户对 j 复用的用户的发射功率, G_{jk}^i 表示复用用户的干扰损耗, n_0 表示加性高斯白噪声;

[0050] 用户对 j 在中继链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0051] \quad R_{\text{relay}}(j) = \min \{ R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j) \}$$

[0052] $R_{\text{relay}}(j)$ 表示用户对 j 中继链路下的信道容量, hop 表示触觉流传输路径的跳数, $R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j)$ 分别表示链路中每一跳的信道容量, 每一跳采用直连链路信道容量公式来计算。

[0053] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案, 其中: 用户对 j 的端到端时延通过如下公式计算,

$$[0054] \quad T(j) = T_{\text{sendout}}(j) + T_{\text{queuing}}(j)$$

[0055] 式中, $T_{\text{sendout}}(j)$ 、 $T_{\text{queuing}}(j)$ 分别代表用户对 j 的发送时延和排队时延。

[0056] 作为本发明所述面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的一种优选方案, 其中: 系统总吞吐量通过如下公式计算,

$$[0057] \quad \begin{aligned} \text{throughout} = & \sum_j^{N1} [\beta_1(j)R_{V_direct}^1(j) + \beta_2(j)R_{V_cellular}^1(j) + R_{H_reuse}^1(j)] \\ & + \sum_j^{N2} [R_{V_reuse}^2(j) + \beta_3(j)R_{H_direct}^2(j) + \beta_4(j)R_{H_relay}^2(j)] \\ & + \sum_j^{N3} [\beta_5(j)R_{V_direct}^3(j) + \beta_6(j)R_{V_cellular}^3(j) + \beta_7(j)R_{H_direct}^3(j) \\ & + \beta_8(j)R_{H_relay}^3(j)] \end{aligned}$$

[0058] 式中, throughout 表示系统总吞吐量, β 为选择参数, $\beta=1$ 时选择该链路, $\beta=0$ 时不选择, $\beta_1(j) + \beta_2(j) = 1$, 代表音视频主导业务用户对的音视频流必须在直连链路和蜂窝链路中作出选择; $\beta_3(j) + \beta_4(j) = 1$, 代表触觉主导业务用户对的触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择; $\beta_5(j) + \beta_6(j) = 1$, 代表音视频同等重要业务用户对的音视频流必须在直连链路和蜂窝链路中作出选择; $\beta_7(j) + \beta_8(j) = 1$, 代表音视频同等重要业务用户对的触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择。 $N1$ 、 $N2$ 、 $N3$ 表示三种业务的用户对数, R 代表信道容量, 上标 1、2、3 分别表示音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务, 下标 direct 表示直连链路, cellular 代表蜂窝链路, reuse 代表复用链路, relay 代表中继链路; V 表示音视频流、 H 表示触觉流。

[0059] 本发明有益效果为:基于不同的多模态业务设计了3种传输模式,通过模式选择和资源分配为互相通信的用户对灵活地选择适当的链路来传输异构信号,以解决多模态信号需求差异大的问题,并且能够实现更高的带宽满足率和更低的排队时延。

附图说明

[0060] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。其中:

[0061] 图1为实施例1中面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的系统流程图。

[0062] 图2为实施例1中面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法的算法示意图。

[0063] 图3为实施例2中音视频主导业务用户对的视频流在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的平均带宽满足率对比图。

[0064] 图4为实施例2中视听触同等重要业务用户对的视频流在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的平均带宽满足率对比图。

[0065] 图5为实施例2中触觉主导业务用户对的视频流在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的平均时延对比图。

[0066] 图6为实施例2中视听触同等重要业务用户对的视频流在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的平均时延对比图。

[0067] 图7为实施例2中多模态业务用户群在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的系统总吞吐量对比图。

[0068] 图8为实施例2中多模态业务用户群在面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法下与现有单一蜂窝模式传输方法下的能量利用率对比图。

具体实施方式

[0069] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合说明书附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

[0070] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是本发明还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0071] 其次,此处所称的“一个实施例”或“实施例”是指可包含于本发明至少一个实现方式中的特定特征、结构或特性。在本说明书中不同地方出现的“在一个实施例中”并非均指同一个实施例,也不是单独的或选择性的与其他实施例互相排斥的实施例。

[0072] 实施例1

[0073] 参照图1和图2,为本发明第一个实施例,该实施例提供了一种面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法,该方法适用于单基站单蜂窝小区场景。面向多模态业务的传输模式选择与资源分配方法包括如下步骤:

[0074] S1:将多模态业务分类,根据用户对的多模态业务种类选择对应的传输模式;

[0075] S2:根据传输模式估计音视频流需要的带宽和/或设置触觉信号的端到端时延阈

值；

[0076] S3:根据设备的状态信息计算信道增益；

[0077] S4:通过NSGA3算法为每对用户的音视频和触觉信号分配合适的传输链路和资源。

[0078] 具体的,在步骤S1中,将所述多模态业务分为音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务,分类标准是人对业务中模态的感知程度。比如在VR业务中,人对音视频的感知占主导地位,则将该业务划分为音视频主导的多模态业务;在远程手术业务中,人对触觉的感知占主导地位,则将该业务划分为触觉主导的多模态业务;在人机交互业务中,必须全方位确保沉浸式体验,则将该业务划分为音视频和触觉同等重要的多模态业务。

[0079] 所述传输模式包括与所述音视频主导业务相对应的模式A、与所述触觉主导业务相对应的模式B,以及与所述同等重要业务相对应的模式C。模式A中将音视频和触觉分为两路传输,音视频流可以依据信道容量选择直连传输或基站中继传输。触觉流复用单向用户的上行链路进行传输;模式B中将音视频和触觉分为两路传输,触觉主导的多模态业务对端到端时延有较高的要求,触觉流既可以选择直连传输,又可以将系统中与基站通信的用户作为中继,寻找一条满足时延要求的路由。音视频复用与基站通信的用户的上行链路进行传输;模式C中将音视频和触觉分为两路传输,既为音视频选择大容量链路,又为触觉信号寻找低时延路由。

[0080] 在步骤S2中,其包括如下具体步骤:

[0081] S21、对音视频优先级高的业务(如音视频主导业务)估计其音视频带宽,该类业务所对应的模式A要求音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$ 。假设在0-t时间段,音视频的到达流量符合分型布朗运动:

$$[0082] \quad A_j(t) = m_j t + \sqrt{a_j m_j} Z_{jt}$$

[0083] 式中, $A_j(t)$ 表示用户对j的音视频到达流量,t表示当前时刻, m_j 表示用户对j音视频到达流量的平均值, a_j 表示用户对j的音视频到达流量的方差系数, H_{u_j} 表示用户对j音视频流的Hurst参数,该参数用来刻画音视频到达流量的长记忆性, Z_{jt} 表示均值为0、Hurst参数在0和1之间、方差为 $t^{2H_{u_j}}$ 的标准分型布朗运动;

[0084] 用户对j的缓冲区的队列长度为:

$$[0085] \quad X_j(t) = \sup_{s \leq t} (A_j(t) - A_j(s) - R_j(t-s))$$

[0086] 式中,s表示小于等于t的任意时刻, $A_j(t)$ 表示用户对j在0-t时刻的音视频到达流量, $A_j(s)$ 表示用户对j在0-s时刻的音视频到达流量, R_j 表示用户对j的音视频流传输带宽;

[0087] 设置触觉信号需要的时延阈值步骤如下,

[0088] 为触觉信号设置满足流畅感知的时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$,触觉信号从发射端到接收端的时延应该不大于该阈值。

[0089] 用户对j的缓冲区队列长度 $X_j(t)$ 大于服务区缓冲长度 x_j 的概率为:

$$[0090] \quad P\{X_j(t) > x_j\} = e^{-\left(\frac{(R_j - m_j)^{H_{u_j}} x_j^{2-2H_{u_j}}}{2a_j H_{u_j}^{H_{u_j}} (1-H_{u_j})^{(1-H_{u_j})} (H_{u_j})^2 m_j} \right)}$$

[0091] 令丢包率 $\varepsilon_j = P\{X_j(t) > x_j\}$ 等同于用户对j音视频流缓冲队列的溢出概率,此时用户对j的传输带宽为:

$$[0092] \quad R_j = m_j + [Hu_j^{Hu_j} (1 - Hu_j)^{(1-Hu_j)} (Hu_j)^2 \sqrt{-2\ln\epsilon_j}]^{1-Hu_j} a_j^{\frac{1}{2Hu_j} x_j} \frac{Hu_j-1}{Hu_j} m_j^{\frac{1}{2Hu_j}}$$

[0093] 则进一步有：

$$[0094] \quad R_{\text{video}}(j) = m_j + [Hu_j^{2Hu_j} (1 - Hu_j)^{2(1-Hu_j)} \sqrt{-2\ln\epsilon_j}]^{1-Hu_j} a_j^{\frac{1}{2Hu_j} x_j} \frac{Hu_j-1}{Hu_j} m_j^{\frac{1}{2Hu_j}}$$

[0095] 式中, $R_{\text{video}}(j)$ 表示最终预测的用户对j的音视频带宽。

[0096] S22、对触觉优先级高的业务(如触觉主导业务)设置端到端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$, 该类业务所对应的模式B要求触觉流时延不大于端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$ 。

[0097] S23、对于音视频和触觉同等重要的业务(如同等重要业务)来说, 该类业务所对应的模式C要求音视频传输链路的信道容量不小于预测带宽 $R_{\text{video}}(j)$, 并且触觉流时延不大于端时延阈值 $T_{\text{haptic}}(j)$ 。

[0098] 在步骤S3中, 其包括如下具体步骤：

[0099] S31、收集系统内设备的距离信息, 测量设备之间的距离, 并计算信道增益。

[0100] 设备间的路径损耗的表达式为：

$$[0101] \quad \omega_{\text{dB}}(d) = [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{\text{BS}})] \log_{10}(d) + 31.46 + 5.83 \log_{10}(h_{\text{BS}}) + 23 \log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right)$$

[0102] 式中, ω_{dB} 表示设备间的路径损耗, h_{BS} 表示基站高度, d 表示设备之间的距离, f_c 表示载频；

[0103] 设备间的总路径损耗的表达式为：

$$[0104] \quad PL_{\text{dB}} = \omega_{\text{dB}}(d) + \log(X_u) - \alpha_{\text{dB}}$$

[0105] 式中, PL_{dB} 表示设备间的总路径损耗, X_u 表示对数正态阴影衰落标准差, α_{dB} 表示天线增益；

[0106] 设备间的信道增益表达式为：

$$[0107] \quad G = 10^{-PL_{\text{dB}}/10}$$

[0108] 式中, G 表示设备间的信道增益；

[0109] 下文中用到的信道增益均通过该公式计算。

[0110] 在步骤S4中, 其包括如下具体步骤：

[0111] S41、计算通信链路的信道容量。所述通信链路的信道容量包括蜂窝链路下传输的信道容量、直连链路下的信道容量、复用链路下的信道容量以及中继链路下的信道容量。其中, 用户对j在蜂窝链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0112] \quad R_{\text{cellular}}(j) = \min\left\{B(j) \log_2\left(1 + \frac{P_T(j)G_j^{\text{TB}}(j)}{n_0 B(j)}\right), B(j) \log_2\left(1 + \frac{P_B G_j^{\text{BR}}(j)}{n_0 B(j)}\right)\right\}$$

[0113] $R_{\text{cellular}}(j)$ 表示用户对j蜂窝链路下的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, P_B 表示基站的发射功率, $G_j^{\text{TB}}(j)$ 表示发射端到基站的信道增益, $G_j^{\text{BR}}(j)$ 表

示基站到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声;

[0114] 用户对 j 在直连链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0115] \quad R_{\text{direct}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j) G_j^{\text{TR}}(j)}{n_0 B(j)} \right)$$

[0116] $R_{\text{direct}}(j)$ 表示用户对 j 直连链路下传输的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, n_0 表示加性高斯白噪声;

[0117] 用户对 j 在复用链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0118] \quad R_{\text{reuse}}(j) = B(j) \log_2 \left(1 + \frac{P_T(j) G_j^{\text{TR}}(j)}{P_C(j) G_{jk}^i + n_0 B(j)} \right)$$

[0119] $R_{\text{reuse}}(j)$ 表示用户对 j 复用链路下的信道容量, $B(j)$ 表示信道带宽, $P_T(j)$ 表示发送端的发射功率, $G_j^{\text{TR}}(j)$ 表示发射端到接收端的信道增益, $P_C(j)$ 表示被用户对 j 复用的用户的发射功率, G_{jk}^i 表示复用用户的干扰损耗, n_0 表示加性高斯白噪声;

[0120] 用户对 j 在中继链路下传输的信道容量采用如下公式计算,

$$[0121] \quad R_{\text{relay}}(j) = \min \{ R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j) \}$$

[0122] $R_{\text{relay}}(j)$ 表示用户对 j 中继链路下的信道容量, hop 表示触觉流传输路径的跳数, $R_{\text{relay}_1}(j), R_{\text{relay}_2}(j), \dots, R_{\text{relay}_{\text{hop}}}(j)$ 分别表示链路中每一跳的信道容量, 每一跳采用直连链路信道容量公式来计算。

[0123] S42、计算通信链路的端到端时延, 在中近距离的通信中, 端到端时延表示为:

$$[0124] \quad T(j) = T_{\text{sendout}}(j) + T_{\text{queueing}}(j)$$

[0125] 式中, $T_{\text{sendout}}(j)$ 、 $T_{\text{queueing}}(j)$ 分别代表用户对 j 的触觉流数据包的发送时延和排队时延。

[0126] 发送时延是发送数据所需要的时间, 用 $L(j)$ 表示用户对 j 的触觉流数据包的平均长度, k 和 l 表示触觉流传输路径上按顺序经过的设备, 用 $R^{kl}(j)$ 表示设备 k 到设备 l 的链路传输速率, 则有,

$$[0127] \quad T_{\text{sendout}}(j) = \sum_{\substack{k=1 \\ l=2}}^{\text{hop}-1} \frac{L(j)}{R^{kl}(j)}$$

[0128] $T_{\text{sendout}}(j)$ 代表用户对 j 的触觉流数据包的发送时延, hop 表示触觉流数据包在路径上的跳数。

[0129] 排队时延与数据包到达队列的顺序有关, 采用平均排队时延来表示。则有,

$$[0130] \quad T_{\text{queueing}}(j) = \sum_{k=1}^{\text{hop}-1} \frac{L(j)}{R^{kl}(j)} \frac{1}{\frac{\mu_k(j)}{\lambda_k(j)} - 1}$$

[0131] 其中, $T_{\text{queueing}}(j)$ 表示用户对 j 的触觉流数据包的平均排队时延。hop 表示触觉流数据包在路径上的跳数, 跳数大小由用户对距离决定; $L(j)$ 表示触觉流数据包的平均大小, k 和 l 表示触觉流传输路径上按顺序经过的设备, 用 $R^{kl}(j)$ 表示设备 k 到设备 l 的链路传输速率, $\lambda_k(j)$ 表示触觉流数据包的平均到达率, $\mu_k(j)$ 表示设备 k 的服务速率。

[0132] 数据包的平均到达率 λ_k 的含义是每秒到达设备队列的数据包数, 设备的服务速率 μ_k 的含义是设备处理数据包的能力, 用户对 j 的数据包的平均到达率 $\lambda_k(j)$ 通过如下公式计算,

$$[0133] \quad \lambda_k(j) = \frac{R_{\text{haptic}}(j)}{L(j)}$$

[0134] 式中, $R_{\text{haptic}}(j)$ 表示用户对 j 的触觉流到达速率, $L(j)$ 表示触觉流数据包的平均大小;

[0135] 设备的服务速率 $\mu_k(j)$ 通过如下公式计算,

$$[0136] \quad \mu_k(j) = \frac{R^{kl}(j)}{L(j)}$$

[0137] 式中, $R^{kl}(j)$ 表示用户对 j 传输链路上设备 k 到设备 l 的触觉流传输速率, $L(j)$ 表示触觉流数据包的平均大小;

[0138] 其中, k 和 l 表示用户对 j 的触觉流传输路径按发射端到接收端顺序经过的设备, hop 表示触觉流传输路径的跳数, $L(j)$ 表示用户对 j 的触觉流数据包的长度, $R^{kl}(j)$ 表示用户对 j 传输链路上设备 k 到设备 l 的触觉流传输速率, $\lambda_k(j)$ 表示触觉流数据包的平均到达率, $\mu_k(j)$ 表示设备 k 的服务速率。

[0139] S43、将用户的链路选择、路径寻优及资源分配问题建模为一个带约束的多目标优化问题, 分别以上述业务模式 A 和模式 C 的音视频链路总速率、模式 B 和模式 C 的触觉平均时延、系统总吞吐量和系统能量利用率为目标, 以音视频带宽和触觉时延为约束建立模型。优选的, 用 throughput 表示系统内用户对的所有链路速率和, 即系统总吞吐量, 其通过如下公式计算,

$$[0140] \quad \text{throughout} = \sum_j^{N1} [\beta_1(j)R_{V_direct}^1(j) + \beta_2(j)R_{V_cellular}^1(j) + R_{H_reuse}^1(j)] + \\ \sum_j^{N2} [R_{V_reuse}^2(j) + \beta_3(j)R_{H_direct}^2(j) + \beta_4(j)R_{H_relay}^2(j)] + \\ \sum_j^{N3} [\beta_5(j)R_{V_direct}^3(j) + \beta_6(j)R_{V_cellular}^3(j) + \beta_7(j)R_{H_direct}^3(j) + \\ \beta_8(j)R_{H_relay}^3(j)]$$

[0141] 式中, throughput 表示系统总吞吐量, β 为选择参数, $\beta=1$ 时选择该链路, $\beta=0$ 时不选择, $\beta_1(j) + \beta_2(j) = 1$, 代表音视频主导业务用户对的所有音视频流必须在直连链路和蜂窝链路

中作出选择; $\beta_3(j) + \beta_4(j) = 1$,代表触觉主导业务用户对触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择; $\beta_5(j) + \beta_6(j) = 1$,代表音视触同等重要业务用户对音视频流必须在直连链路和蜂窝链路中作出选择; $\beta_7(j) + \beta_8(j) = 1$,代表音视触同等重要业务用户对触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择。 N_1 、 N_2 、 N_3 表示三种业务的用户对数, R 代表信道容量,上标1、2、3分别表示音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务,下标direct表示直连链路,cellular代表蜂窝链路,reuse代表复用链路,relay代表中继链路; V 表示音视频流、 H 表示触觉流。

[0142] 所述多目标优化模型如下:

$$\max \sum_j^{N_1} [\beta_1(j) R_{V_direct}^1(j) + \beta_2(j) R_{V_cellular}^1(j)]$$

$$+ \sum_j^{N_3} [\beta_5(j) R_{V_direct}^3(j) + \beta_6(j) R_{V_cellular}^3(j)]$$

[0143]

$$\min \left\{ \sum_j^{N_2} [\beta_3(j) T_{H_direct}^2(j) + \beta_4(j) T_{H_relay}^2(j)] \right.$$

$$\left. + \sum_j^{N_3} [\beta_7(j) T_{H_direct}^3(j) + \beta_8(j) T_{H_relay}^3(j)] \right\} / (N_2 + N_3)$$

max throughput

max throughput

$$/ \left\{ \sum_{j=1}^{N_1} [P_V^1(j) + P_H^1(j)] + \sum_{j=1}^{N_2} [P_V^2(j) + P_H^2(j)] + \sum_{j=3}^{N_3} [P_V^3(j) + P_H^3(j)] \right\}$$

$$[0144] \quad \text{s. t. } 0 \leq P_V^1(j), P_H^1(j), P_V^2(j), P_H^2(j), P_V^3(j), P_H^3(j) \leq P_{\max}$$

$$[0145] \quad R_{V_direct}^1(j), R_{V_cellular}^1(j) \geq R_{video}^1(j)$$

$$[0146] \quad R_{V_direct}^3(j), R_{V_cellular}^3(j) \geq R_{video}^3(j)$$

$$[0147] \quad T_{H_direct}^2(j), T_{H_relay}^2(j), T_{H_direct}^3(j), T_{H_relay}^3(j) \leq T_{haptic}(j)$$

$$[0148] \quad \beta_1(j), \beta_2(j), \beta_3(j), \beta_4(j), \beta_5(j), \beta_6(j), \beta_7(j), \beta_8(j) = 0, 1 \quad \forall j$$

$$[0149] \quad \beta_1(j) + \beta_2(j) = 1$$

$$[0150] \quad \beta_3(j) + \beta_4(j) = 1$$

$$[0151] \quad \beta_5(j) + \beta_6(j) = 1$$

$$[0152] \quad \beta_7(j) + \beta_8(j) = 1$$

[0153] 其中, β 为选择参数, $\beta=1$ 时选择该链路, $\beta=0$ 时不选择。 $\beta_1(j) + \beta_2(j) = 1$,代表音视

频主导业务用户对音视频流必须在直连链路和蜂窝链路中作出选择; $\beta_3(j) + \beta_4(j) = 1$,代表触觉主导业务用户对触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择; $\beta_5(j) + \beta_6(j) = 1$,代表音视触同等重要业务用户对音视频流必须在直连链路和蜂窝链路中作出选择; $\beta_7(j) + \beta_8(j) = 1$,代表音视触同等重要业务用户对触觉流必须在直连链路和中继链路中作出选择。 N_1 、 N_2 、 N_3 表示三种业务的用户对数; R 代表信道容量, T 代表端到端时延,throughout代表系统吞吐量; P_V 代表音视频流发射功率, P_H 代表触觉流发射功率, P_{max} 代表最大发射功率;上标1、2、3分别表示音视频主导业务、触觉主导业务和同等重要业务;direct表示直连链路,cellular代表蜂窝链路,reuse代表复用链路,relay代表中继链路; R_{video} 代表音视频流的最小带宽, T_{haptic} 代表时延的最大阈值, V 代表传输视频的链路, H 代表传输触觉的链路。

[0154] S44、选择与用户对发送端距离最远、未被其他用户作为复用对象、且与基站通信的用户作为复用对象,通过NSGA3算法求解模型,在经过一定轮次的迭代后,当链路不满足约束时,将该约束和对应链路从计算中清除,最后得到系统多模态业务用户的传输策略与资源分配结果。若算法得到的结果中存在传输视频的链路信道容量仍小于预测带宽的情况,则分配更多资源块;优选的,对于一些对触觉流时延要求非常苛刻的业务来说,若算法得到的结果中存在传输触觉信号的链路时延仍高于时延阈值的情况,通过动态规划算法计算出时延最小的路径作为新的触觉传输路径。

[0155] 实施例2

[0156] 参照图3~图8,为本发明第二个实施例,该实施例基于上一个实施例,其通过MatlabR2021b和PyCharm软件验证本发明所述方法的可行性和有效性。

[0157] 具体的,仿真参数设置如下:系统内与基站单向通信的用户为80个,有多模态业务的用户30对,发送端到接收端之间的距离分别为50m、100m、150m、200m、250m、300m,视频分辨率为2K,触觉时延阈值20ms,触觉流数据包平均长度1024bit,对数正态阴影衰落标准差8dB,天线增益4dB,载频2GHZ。参照该领域论文中常见的指标,基站高度25m,设备最大发射功率为25dBm,噪声功率-174dBm,资源块带宽180KHZ。为了分析结果,将所述算法与单一蜂窝模式传输策略(C-TS)作比较。

[0158] 图3、图4分析了音视频主导多模态业务用户对和音视触同等重要多模态业务用户对音视频流的平均带宽满足率。带宽满足率即信道容量与带宽需求的比值。横坐标代表上文所述的满足率,纵坐标代表用户对之间的距离。从图中可以看出,在6个距离情况下,本方法提出的算法均优于C-TS。这是由于本方法可以根据带宽约束为音视频分配更大容量的通信链路,从而实现更高的带宽满足率。

[0159] 图5、图6分析了触觉主导多模态业务用户对和音视触同等重要多模态业务用户对触觉流平均时延。横坐标代表上文所述的平均时延(单位:s),纵坐标代表用户对之间的距离。从图中可以看出,本方法下的触觉信号时延在不同距离的情况下均明显优于C-TS。这是因为该方法将音视频与触觉流分开传输,触觉信号等待队列的数据包到达率大幅下降,导致排队时延显著降低。

[0160] 图7、图8分析了通信系统中多模态业务用户群的吞吐量和能量利用率。横坐标代表用户对之间的距离,纵坐标分别代表多模态用户群的吞吐量(单位:Mbit/s)和能量利用率(单位:Mbit/s/w)。由图7中可以看出,在不同用户对距离下,本方法的吞吐量相较于C-TS

方法均有近一倍的提升。一方面,传输链路的灵活选择在一定程度上可以增加传输的信道容量;另一方面,音视频与触觉的多路传输增益实现了更高的频带利用率,进一步提高了用户群的吞吐量。尽管采用了多路传输,用户群的整体功耗并没有明显涨幅。由图8中可以看出,在相同的最大发射功率制约下,本方法的能量利用率高于C-TS。这是因为算法将能量利用率作为优化目标之一,每个设备的发射功率可以灵活调整。

[0161] 应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

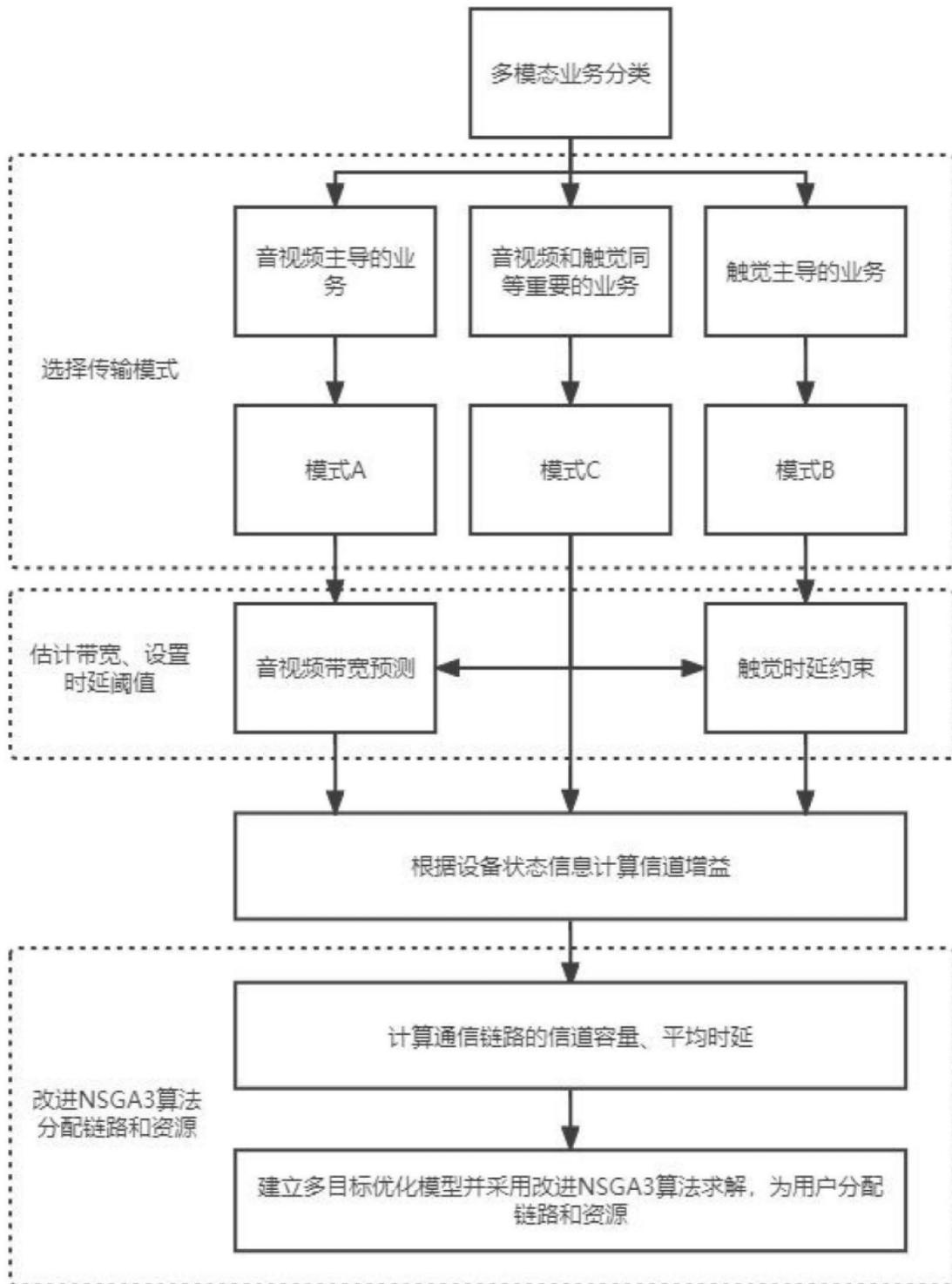


图1

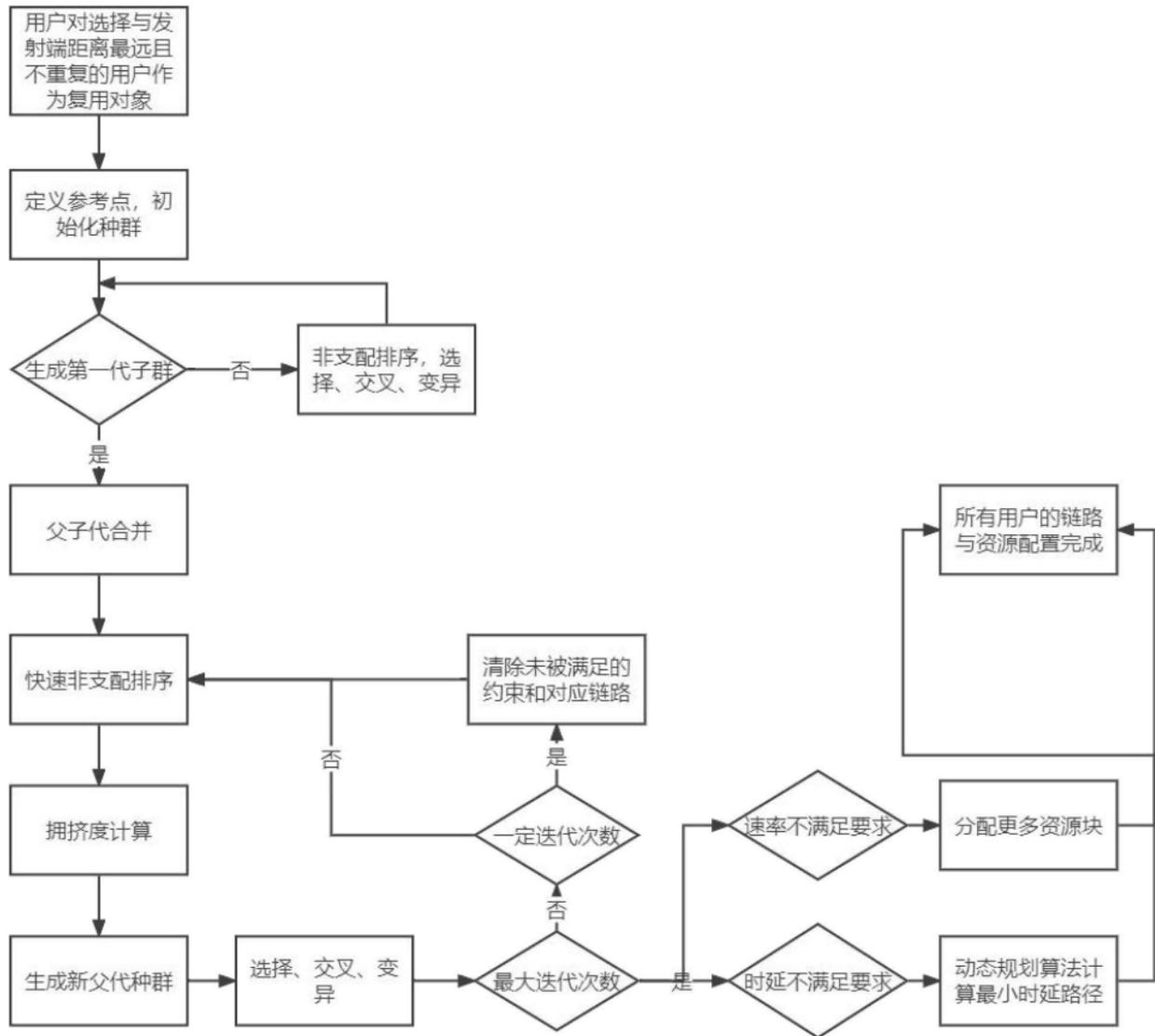


图2

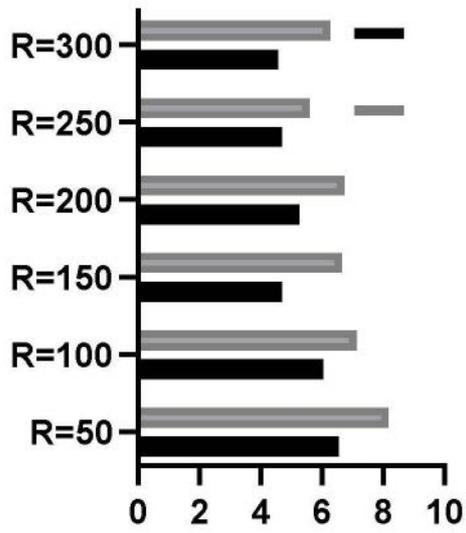


图3

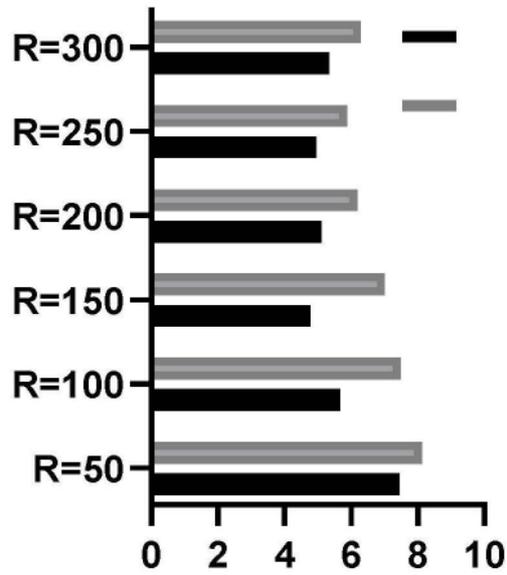


图4

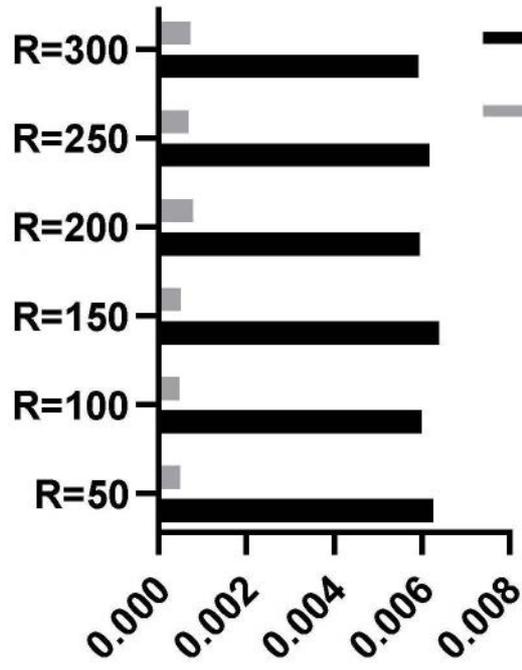


图5

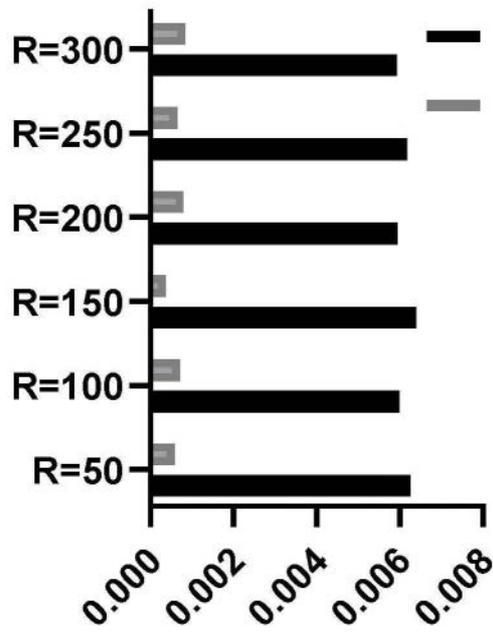


图6

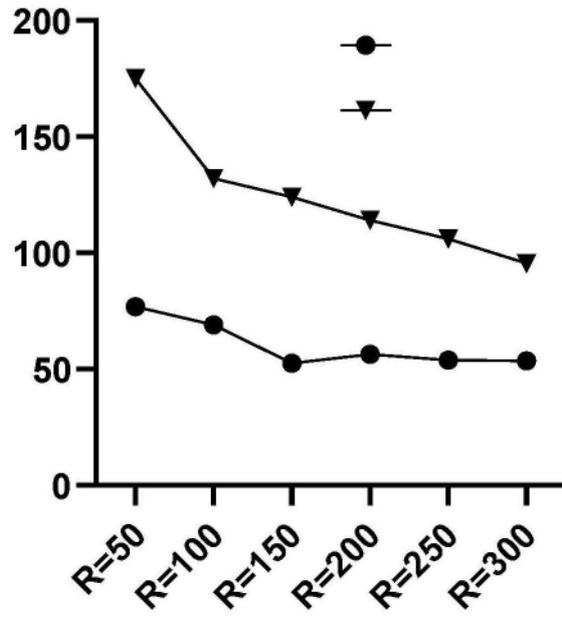


图7

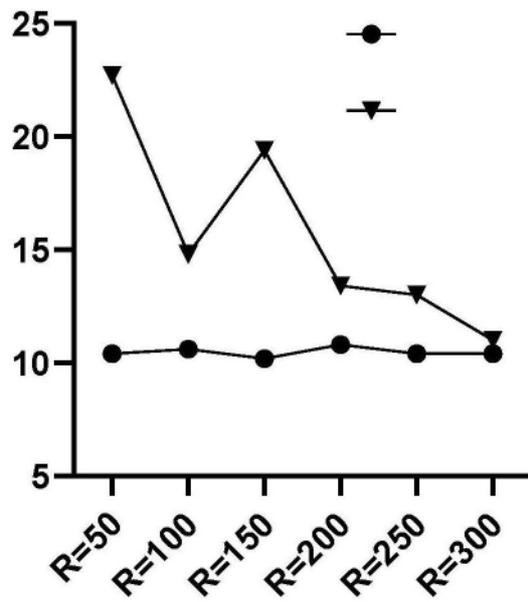


图8