

异构网络中多模终端业务流分发技术研究

孙 毅¹⁾ 葛雨明¹⁾ HERBORN Stephen²⁾ DUTKIEWICZ Eryk³⁾

¹⁾(中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

²⁾(澳大利亚国家信息通信技术研究中心 NSW 1430 澳大利亚)

³⁾(麦考瑞大学 NSW 2109 澳大利亚)

摘 要 伴随着异构网络的迅猛发展,多模终端日益普及.当终端上有多种不同类型的会话业务流需要传输时,如何根据不同类型业务流的特点、不同网络的当前链路状况、通信费用、传输功耗等因素,在终端所接入的多个网络之间自动地、合理地分发业务流就成为一个非常重要的问题.文中提出了一套针对多模终端业务流分发问题的解决方案,包括支持业务流自动分发的多模终端框架结构及其包含的业务流分发算法.方案引入优先级的概念使得高等级的业务流在网络负载较重时具有使用网络的优先权,同时方案包含了一种权重自生成方法,为影响业务流分发决策的多个属性自动生成权重,减轻了用户负担,避免了由用户直接指定权重的困难.仿真实验的结果表明,文中方案能够根据当前各接入网络的链路状况、不同类型业务流的服务质量需求、传输功耗、通信成本等多个属性,自动为多模终端上运行的各条业务流选择合理的接入网络,同时方案在吞吐量、会话完成率等性能指标上也拥有显著改进.

关键词 业务流分发;异构网络;多模终端

中图法分类号 TP393 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2010.01004

Research on Flow Distribution Technology for Multimode Terminals in Heterogeneous Networks

SUN Yi¹⁾ GE Yu-Ming¹⁾ HERBORN Stephen²⁾ DUTKIEWICZ Eryk³⁾

¹⁾(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

²⁾(National Information & Communication Technology Research Centre of Australia (NICTA), Sydney, NSW 1430, Australia)

³⁾(Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia)

Abstract With the rapid development of heterogeneous networks, multimode terminals become more and more popular. However, when there are several different kinds of sessions requiring transmission simultaneously, how to distribute these session flows among the available interfaces of the terminal according to the different features of the flows, the current conditions of the candidate access networks, the communication monetary cost and power consumption is a new challenge. This paper proposes a new solution to the flow distribution problem for multimode terminals. The proposal includes an architecture model of the multimode terminal as well as the corresponding flow distribution algorithm. The proposal utilizes the notion of priority, ensuring the more important sessions have preferential use of the network resources when the traffic intensity was high. In addition, the proposal introduces a new mechanism to automatically determine the weights of different attributes which influences the flow distribution decision making, thus avoiding the difficulty to specify the weights manually. Simulation results show that the proposal

收稿日期:2009-05-08;最终修改稿收到日期:2010-05-19. 本课题得到国家自然科学基金课题“移动即时通信关键技术研究”(90604016)和国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金课题“面向业务感知的网络测量理论与方法”(2007CB310702)资助. 孙 毅,男,1979年生,博士,副研究员,主要研究方向为异构网络融合和服务质量保障技术. E-mail: sunyi@ict.ac.cn. 葛雨明,男,1985年生,博士研究生,主要研究方向为认知网络和移动切换. HERBORN Stephen,男,1980年生,博士,主要研究方向为异构网络融合和移动切换. DUTKIEWICZ Eryk,男,1964年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为移动计算、无线网络服务质量保障.

can efficiently distribute the session flows on a multimode mobile terminal to the appropriate networks for transmission. Also, the proposal provides a significant improvement to performance indicators such as throughput and session completion rate.

Keywords flow distribution; heterogeneous network; multimode terminal

1 引 言

随着无线通信技术的迅猛发展和人们对移动接入需求的不断增加,各种无线接入技术纷纷涌现,比如用于蜂窝覆盖的 GSM、UMTS;用于热点覆盖的 Wi-Fi、WiMAX;用于超大范围覆盖的卫星通信等.各国已开始研究新的超 3G 和 4G 网络架构,未来网络的异构性将更加突出.

为了使用户充分享受异构网络带来的方便、快捷、无缝的接入体验,集成多种网络接口的多模终端日益普及.多模终端的使用使得以下情形成为可能:当终端上有多种不同类型的会话业务流需要传输时,可以根据不同类型业务流的特点、不同网络的当前链路状况、不同用户的喜好等因素把不同的业务流分发到不同的网络接口上进行传输,在保障各种业务服务质量的基础上,降低用户的通信成本和能量损耗;此外,当某种接入网络不再可用或服务质量明显下降时,也应能及时作出反应,将此网络上承载的业务流无缝地切换至其它可用网络.

然而,移动用户本身并不愿意太多介入在多个可用网络之间分发业务流的过程,他们只关心会话能否在一定服务质量下顺畅进行,能否尽量节省通信成本、降低功耗.因而就需要设计一种机制运行在多模终端之上,能够根据网络的当前链路状况、正在传输的业务流特征等多重因素,自动地在业务流和各网络接口之间建立映射关系,从而代替用户做出决策在各接入网络中合理地分发业务流.

本文提出一套针对多模终端业务流分发问题的解决方案,包括支持业务流自动分发的多模终端框架结构及其业务流分发算法.本文第 2 节介绍相关工作;第 3 节阐述我们的方案设计;第 4 节给出仿真实验结果;第 5 节对全文做出总结.

2 相关工作

文献[1]指出未来的 4G 网络将是一个多种接入技术相融合的开放平台,并把多模终端的业务流

分发过程分成 3 个阶段:网络发现、网络选择和无缝切换.该文献把影响业务流分发的因素分成两大类,通过线性加权求和得到最优网络选择的目标函数,从而选择最优的接入网络进行业务流传输.该文献清楚地定义了多模终端选择最优网络分发业务流的 3 个步骤,然而其方法上存在一些不足:(1)在网络选择时,没有考虑不同类型业务流的不同服务质量需求,因而无法针对业务流的特点把它们分发到最合适的网络;(2)目标函数定义中各个因素的权重如何确定没有说明.

文献[2]引用了层次分析法^[3](Analytic Hierarchy Process, AHP)来解决多模终端的业务流分发问题.层次分析法 AHP 用来对人们的主观判断做形式化的表达、处理与客观描述,通过判断矩阵计算出相对权重后,要进行判断矩阵的一致性检验以克服两两相比的不足.文献[2]将经典数学方法引入到多模终端业务流分发决策过程具有新意,该方法为不同类型的业务流构造了不同的 AHP 判断矩阵,从而使得不同类型的业务流在选择接入网络时能够根据自己的特点有所侧重,然而此方法还存在下列问题:(1)从本质上说,AHP 方法需要用户对各因素的相对重要程度作主观判断,加重用户负担,特别是很多用户对各个决策因素并不熟悉,因而很难给出合理的权重;(2)算法不能保证在网络拥塞时重要的业务具有更高的优先级.

文献[4]把多模终端业务流分发决策机制实现到一个中间件平台中——SALOME (Situation And LLocation aware MiddleWare).较之其它方法,SALOME 平台的业务流分发机制考虑了更多的因素参与决策,比如通信成本、功率损耗、网络覆盖范围、安全性、可靠性、带宽变化等等,并且对于每一个因素作者都给出了归一化的方法,从而使得不同因素之间可以相互比较.该方案的主要缺点是目标函数简单地定义为多个因素的加权求和,缺少必要的约束条件,此外,因素的权重如何确定也没有说明.

文献[5]提出了一种网络辅助终端进行业务流分发决策的方案——nwIIS.在 nwIIS 方案中,多模终端和网络需要经过多次交互以最终确定把终端上

的各个业务流分发到哪一个网络接口上进行传输。nwIIS 方案的主要贡献是它区分了哪些决策参数是由多模终端负责监测和获取,哪些参数可以由网络实体负责监测和获取,但是对于业务流分发方法本身 nwIIS 方案中并没有给出具有创新性的思想,此外该方案也缺乏对决策模型的相关描述。

总结分析现有方案,有几个问题尚未得到很好解决:(1)缺少框架结构。现有方案大多局限于业务流分发算法本身,缺少从整体结构层面对业务流分发问题进行分析考虑,特别是决策方法需要哪些支持、与哪些模块存在交互,这些问题都没有描述;(2)不能对业务合理区分。现有方案大多不区分不同类型的业务,在终端或网络负荷较重时不能保证重要的业务具有使用网络的优先权;(3)对用户要求高。现有方案都需要由用户指定各种决策因素的权重,而这对于缺少相关背景知识的普通用户来说是一个很难完成的工作,对如何减轻用户负担、减少用户信息输入量这些问题,现有方案考虑不足。

3 方案设计

针对前述现有方案存在的问题,本文首先提出了一套多模终端的框架结构,对解决业务流分发问题的各个功能模块进行了划分。接下来,本文着重阐述了核心功能模块(决策引擎)的设计方案,决策引擎包含了一种新的业务流分发算法——PAWES,同现有方法相比,PAWES 算法的主要贡献是引入优先级的概念使得高等级的业务类型在网络负载较重时具有使用网络的优先权,此外 PAWES 算法还包含了一种多属性权重自动生成方法,自动为参与决策的各个属性确定权重,避免了由用户直接指定权重的困难和不客观性。

3.1 模型设计

图 1 给出了解决多模终端业务流分发问题的框架结构,包含 4 个功能模块。

(1) 监测点

监测点负责实时监控、测量网络链路和设备使用状况,并将这些信息及时向决策引擎报告,辅助决策引擎做出业务流分发决策。从图 1 可以看出,本文模型的监测点主要分为 3 大类:第 1 类监测点位于多模终端的传输层,主要用于监测多模终端上业务流的使用情况;第 2 类监测点位于多模终端的链路层,主要用于监测多模终端的设备使用情况,例如各个无线收发接口的利用率、当前剩余电量等;第 3 类

监测点位于接入网络之中,主要用于监测各个接入网络的当前链路状况,例如可用带宽、时延、抖动等,该类监测数据可以携带在广播消息中周期性地通知多模终端。

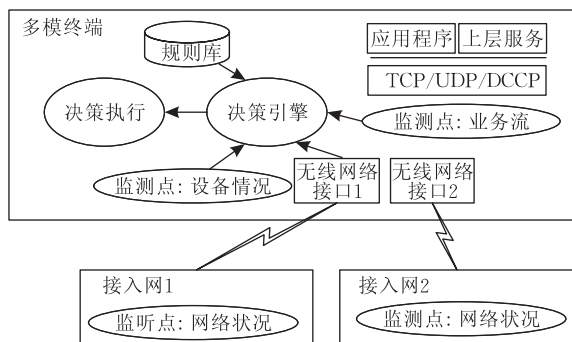


图 1 框架结构

(2) 规则库

规则库用于存储辅助决策引擎进行业务流分发决策的规则,包括各类型业务流的服务质量需求、用户的偏好设置、设备的报警信息等。规则库中规则的更新可以借助于简单明了的图形用户界面,也可以借助于终端接收网络的广播消息。为了减轻用户负担,规则设定和更新尽可能自动完成,尽量减少用户的信息输入量。

(3) 决策引擎

决策引擎是解决多模终端业务流分发问题的核心功能模块,它位于多模终端的网络层,功能主要是收集各个监测点发来的监测数据并参考规则库中存储的规则做出业务流在不同网络接口之间的分发决策。决策引擎及其业务流分发算法的设计是本文研究工作的难点和重点,将在后续章节中详细阐述。

(4) 决策执行模块

决策执行模块接收决策引擎做出的分发决策并为每条业务流在其选定的最优传输网络中启动相应的业务流传送信令流程。此外,当业务流需要在不同网络间切换时,决策执行模块还负责业务流切换过程的信令传输。

决策引擎是解决本文研究问题的核心功能模块,下面将着重阐述决策引擎及其业务流分发决策算法的设计和实验。

3.2 问题定义

决策引擎拟解决的问题定义如下:设 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, $n \in N$ 代表多模终端上运行的业务流的集合,其中 x_i 表示一条业务流, $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$, $m \in N$ 代表当前所有活跃的接入网络集合,其中每一个网络 y_j 都用一组属性来表征 $y_j =$

$\{y_{j,1}, y_{j,2}, y_{j,3}, \dots, y_{j,k}\}, k \in N$, 其中 $y_{j,l}$ 表示第 j 个网络的第 l 个属性。 $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_k\}, k \in N$, 表示所有属性的权重向量, 并且满足 $\sum_{l=1}^k \omega_l = 1$ 。

多模终端的业务流分发问题可以理解为在集合 X 和 Y 之间寻找一个映射, 满足

$$y_{\text{optimal}_i} = \arg \max_{j=1,2,\dots,m} N_j, \text{ for each } x_i \in X \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{l=1}^k \omega_l = 1 & (1.1) \\ x_{i,bw} \leq y_{j,bw} & (1.2) \\ x_{i,delay} \geq y_{j,delay}, x_{i,jitter} \geq y_{j,jitter}, x_{i,loss} \geq y_{j,loss} & (1.3) \end{cases}$$

目标函数的含义是为集合 X 中每一个待分配的业务流 x_i 在可用网络集合 Y 中寻找一个最优网络 y_{optimal_i} , N_j 是一个表征选定的业务流分发网络与理论最优网络贴近程度的变量, 它的定义会在 3.3 节中给出, N_j 的值越大表示选择的网络越接近最优网络。约束条件 1.2 表示选择的网络必须满足业务流的带宽需求, 即业务正常传输需要的带宽必须小于网络的可用带宽; 约束条件 1.3 表示选择的网络必须满足业务的服务质量需求, 在此处我们采用 ITU 对业务服务质量的定义^[6], 用时延、抖动和丢包率 3 个指标来衡量, 3 个约束条件分别说明选定的网络在时延、抖动和丢包率等特征上必须落在业务能够容忍的限度之内。

3.3 决策引擎及 PAWES 算法

决策引擎需要根据网络链路的当前状况、业务流的需求、通信费用、传输功耗等多重因素做出业务流在接入网络之间的分发决策。为了使不同类型的参数能够相互比较, 需要先根据参数的特点设计一套归一化方法对其进行无量纲的规范化处理。

根据不同参数的取值特点, 将其分成以下几类。

(1) 成本型参数

该类参数的取值越小越好, 典型的如通信费用、传输功耗等, 对于这一类参数使用如下公式进行归一化:

$$b_{j,l} = \frac{y_{j,l}^{\max} - y_{j,l}}{y_{j,l}^{\max} - y_{j,l}^{\min}}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (2)$$

(2) 效益型参数

该类参数的取值越大越好, 典型的如网络覆盖范围, 对于这一类参数使用如下公式进行归一化:

$$b_{j,l} = \frac{y_{j,l} - y_{j,l}^{\min}}{y_{j,l}^{\max} - y_{j,l}^{\min}}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (3)$$

(3) 门限值参数

业务对该类参数的取值具有强制性, 即必须大

于等于(或者小于等于)某一个门限值 t , 典型的如带宽需求, 对于这一类参数使用如下公式进行归一化:

$$b_{j,l} = \begin{cases} 1, & y_{j,l} \geq (\leq) t \\ 0, & y_{j,l} \leq (\geq) t \end{cases} \quad (4)$$

(4) 模糊型参数

该类参数通常不便于使用精确的数值来描述, 但可以用语言变量描述为“很好”、“一般”、“差”等, 典型的如网络安全性、可靠性、稳定性等, 对于该类参数, 可以借助模糊数学的工具, 采用重心法、最大最小值法等方法将其去模糊化, 转化为具体数值。

在本文的方案中, 决策引擎的设计被划分为 4 个层面, 如图 2 所示。最底层的知识层从监测点获得各接入网络的当前链路状况和多模终端的业务流运行情况, 并从规则库获得业务流和网络对应的规则; 判断层将待分发的业务流按照优先级降序排队, 并对每条业务流根据其服务质量需求删除不适用的网络, 从而形成备选的可用网络集合; 决策层接收来自判断层的可用网络集合以及来自目标层的决策目标, 引入多属性决策方法为每一条业务流选择最优的接入网络进行传输, 此外, 决策层还需要对参与决策的多个属性确定合理的权重; 目标层的作用就是将用户需求转化成能够通过一定数学方法进行衡量比较的目标, 对于本文的业务流分发问题, 目标就是为每一条业务流选择的传输网络应该与理论最优网络尽可能地贴近。

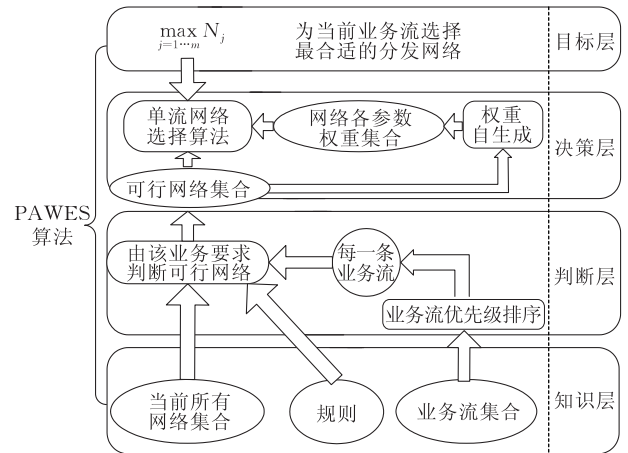


图2 决策引擎设计

基于上述决策引擎的四层设计模型, 本文提出了一种基于优先级和权重自生成的多模终端业务流分发算法——PAWES(a flow distribution algorithm based on Priority And WEight Self-production)以实现多模终端上不同类型业务流的自动分发。

PAWES算法的流程图如图3所示。

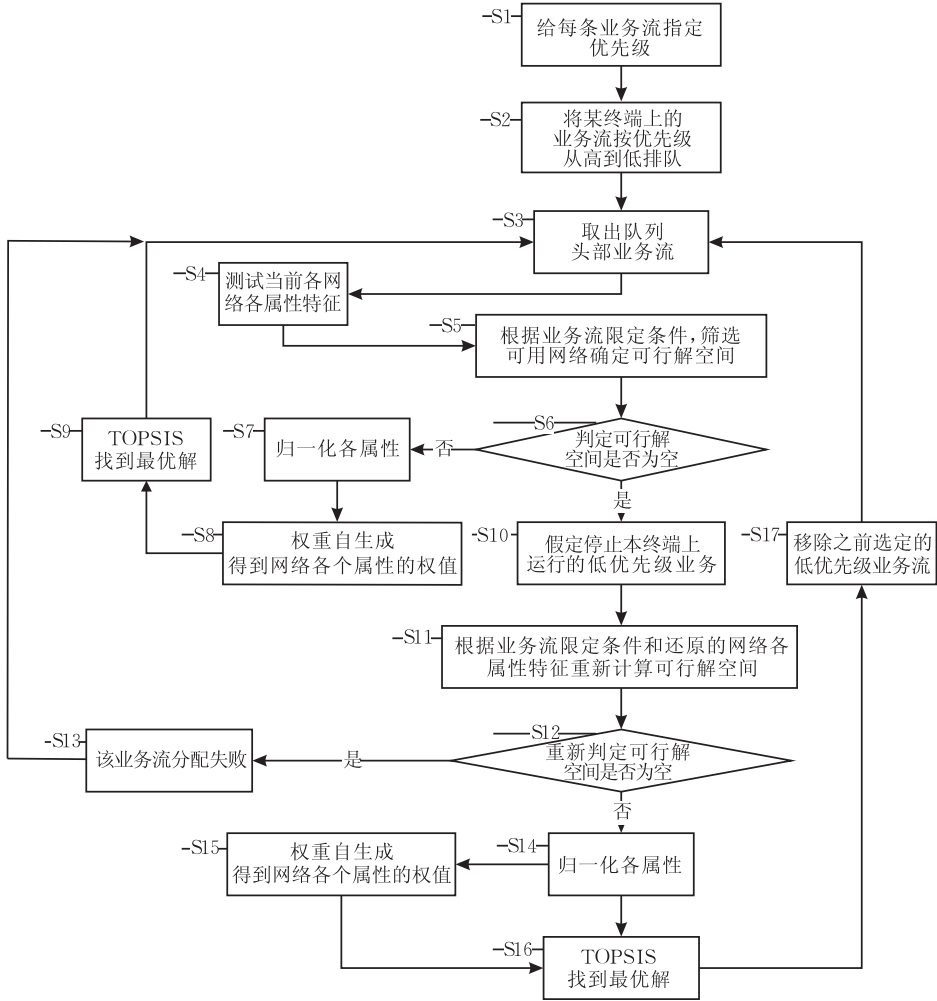


图 3 PAWES 算法流程图

为了更好地区分不同类型的业务, 保证重要的业务具有使用网络的优先权, PAWES 算法引入了优先级的概念, 每一个业务流根据自身的特征被赋予了一个优先级(S1), 一般说来, 业务优先级的确定可以遵照以下一些启发式规则: 实时业务的优先级高于非实时业务, 交互式业务的优先级高于非交互式业务, 切换业务的优先级高于新业务。

PAWES 算法维护着一个优先级队列, 队列中的每一项代表一个待分配的业务流, 队列按照业务流优先级的降序排列(S2), 排在队列头部的业务流比尾部的业务流具有使用网络的优先权。对每一条业务流, 决策过程分成两个阶段: 第 1 阶段根据约束条件 1.2~1.3 去除不满足要求的接入网络, 剩下的可用网络集合就组成了分配该业务流的可行解空间(S5)。在第 2 个阶段, 如果可行解空间不为空, 则根据本文提出的权重自生成机制确定参与分发决策的各属性权重(S8), 并使用 TOPSIS 方法为该业务流在可行解空间找出最优解(S9), 将该业务流分配

到选定的最优网络中传输。否则, 可行解空间为空, 则进入调整算法(S10~S17)。

调整算法仍然依据业务的优先级, 首先假定将终端上所有运行的低优先级业务从网络中去除(S10), 重新计算网络参数, 然后根据约束条件再次计算分配该业务流的可行解空间(S11)。如果可行解空间仍为空, 那么就认为当前无法为该业务流找到合适的传输网络, 将该业务流从优先级队列中删除, 等待一段时间后重试(S13); 否则, 自动生成各决策属性的权重(S15), 并借助 TOPSIS 方法为该业务流在可行解空间找出最优解(S16), 把业务流分配到该最优网络中传输, 同时停止选定网络中的低优先级业务, 将这些低优先级的业务放到等待分配的业务流优先级队列中(S17)。

PAWES 算法引入 TOPSIS 方法为每条业务流选择最优的传输网络。TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) 方法^[7]是经典的多属性决策方法, 它广泛地应用于

管理学、工业生产等诸多领域,其基本思想是构造评价问题的正理想解和负理想解,通过计算各个备选方案到理想方案的相对贴近度(尽可能地靠近正理想解而远离负理想解)来对各个方案进行排序,从而选出最优方案。

本文将 TOPSIS 方法应用于多模终端业务流分发问题的原理简述如下。

假设可行的传输网络集合中总共有 m 个备选网络,每一个网络都有 k 个属性.这样由可用网络集和属性集就构成了一个 $m \times k$ 阶的决策矩阵 $B = (b_{j,l})_{m \times k}$.其中矩阵 B 中的元素 $b_{j,l}$ 都是按照前述方法对网络属性值 $y_{j,l}$ 进行归一化处理后得到的.对决策矩阵 B 进行加权,加权后的矩阵变为 $C = (c_{j,l})_{m \times k}$,其中 $c_{j,l} = \omega_l \times b_{j,l}$, ω_l 为第 l 个决策属性的权重.构造问题的正理想解 C^+ 、负理想解 C^- , $C^+ = \{c_1^+, c_2^+, c_3^+, \dots, c_k^+\}$, $C^- = \{c_1^-, c_2^-, c_3^-, \dots, c_k^-\}$, 其中

$$\begin{aligned} c_l^+ &= \max\{c_{j,l} | j=1,2,\dots,m\} \\ &= \omega_l \max\{b_{j,l} | j=1,2,\dots,m\} = \omega_l b_l^+ \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} c_l^- &= \min\{c_{j,l} | j=1,2,\dots,m\} \\ &= \omega_l \min\{b_{j,l} | j=1,2,\dots,m\} = \omega_l b_l^- \end{aligned} \tag{6}$$

根据式(7)和(8)分别计算各个备选网络 j 与理论最优解 C^+ 和最差解 C^- 的距离 d_j^+ 和 d_j^- ,进而根据式(9)计算各个候选网络的贴近度 N_j .

$$\begin{aligned} d_j^+ &= \sum_{l=1}^k (c_{j,l} - c_l^+)^2 = \sum_{l=1}^k \omega_l^2 (b_{j,l} - b_l^+)^2, \\ j &= 1, 2, 3, \dots, m \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} d_j^- &= \sum_{l=1}^k (c_{j,l} - c_l^-)^2 = \sum_{l=1}^k \omega_l^2 (b_{j,l} - b_l^-)^2, \\ j &= 1, 2, 3, \dots, m \end{aligned} \tag{8}$$

$$N_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-}, j=1,2,3,\dots,m \tag{9}$$

从式(9)可以看出,贴近度 N_j 是衡量选定网络与理论最优解贴近程度以及与理论最差解远离程度的变量,它的取值越大说明方案越优.在本文解决的问题中 N_j 就是出现在 3.2 节目标函数(1)中的变量,因而单业务流最优网络选择问题就变成了对所有可行网络的 N_j 进行排序并选取 N_j 值最大的网络作为该业务流的传输网络。

最后一个需要解决的问题就是合理确定影响业务流分发决策的各属性权重,在已有的参考文献中都是由用户指定权重,然而这对缺少背景知识的普通用户来讲是一个难以完成的工作.本文提出了一种多属性权重的自生成方法,可以有效地解决上述问题,减轻用户负担.在 PAWES 算法中,各个决策属性的权重由式(10)确定。

$$\omega_l = \frac{1}{\sum_{l=1}^k \frac{1}{\sum_{j=1}^m (b_{j,l} - b_l^+)^2} \times \sum_{j=1}^m (b_{j,l} - b_l^+)^2} \tag{10}$$

式中, ω_l 为第 l 个决策属性的权重,它的合理性证明将在附录中给出. $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_k\}$ 组成权重向量,用来对 TOPSIS 方法中的决策矩阵进行加权。

4 仿真实验

为了测试本文方案的性能,我们构造了一个简单的仿真场景:场景构建成一个 $200\text{m} \times 450\text{m}$ 的矩形区域,区域内全覆盖着 TD-SCDMA、GSM、CDMA2000 3 种网络.此外,3 个热点地区还覆盖着 3 个不同的 WLAN,其中 WLAN1 和 WLAN2 的覆盖范围有重叠,简化而不失一般性,我们假定 WLAN 覆盖区域是以接入点为圆心的圆形区域,半径由接入点的发射功率决定.如图 4 所示.各接入网络的其它属性如通信费用、功耗、网络带宽、抖动等依据实际运营网络的数据静态设定,而时延和丢包率则根据实际网络的状况构造为在一定范围内随机变化.各网络的属性指标参见表 1.

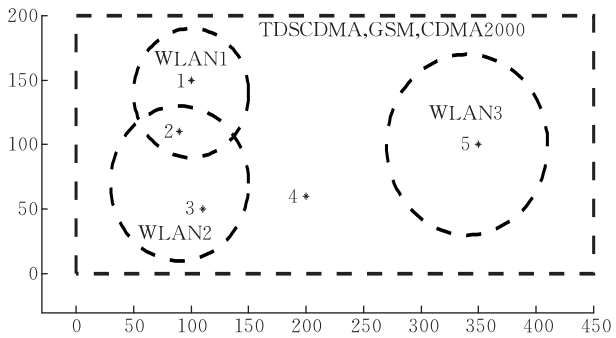


图 4 仿真场景图

表 1 网络各属性指标

	半径/m	费用/(cent/KB)	功耗/w	带宽/Kbps	时延/ms	抖动/ms	丢包率/%
WLAN1	50	0.14	0.4	11000	150~500	10	<5
WLAN2	60	0.155	0.3	11000	140~500	20	<5
WLAN3	70	0.1425	0.5	11000	130~500	15	<5
TD-SCDMA	全部覆盖	0.625	2.8	2000	37~50	3	<1
GSM	全部覆盖	0.5	2.4	96	35~50	4	<1
CDMA2000	全部覆盖	0.75	2.6	1000	43~50	3	<1

仿真中产生 3 种类型的业务: 语音(voice)、视频(video)和文件传输(file transfer). 其参数设置如下, 语音业务的服务质量要求严格(时延 $<50\text{ms}$, 抖动 $<5\text{ms}$, 丢包率 $<3\%$, 带宽占用 9.6Kbps), 具有高优先级; 视频业务具有次高的优先级(时延 $<200\text{ms}$, 抖动 $<50\text{ms}$, 丢包率 $<5\%$, 带宽占用 90Kbps), 而文件传输业务因为是非实时业务因而具有最低优先级, 该类业务对时延、抖动、丢包率无要求, 最高传输速率为 120Kbps .

4.1 业务流分发与切换

在图 4 中标注着 5 个位置(位置 1~5), 这 5 个位置的选择具有典型性, 其拥有不同的网络覆盖情况. 在位置 1 处产生一个终端, 并在该终端上生成语音、视频和文件传输 3 种会话, 此后让终端沿位置 1→位置 2→位置 3→位置 4→位置 5 的轨迹运动, 观察终端上各种不同类型的会话业务流在不同网络间的分发和切换情况.

如图 5 所示, 在从位置 1~5 的运动过程中, 采用本文方案, 多模终端上的语音会话一直选择 GSM 网络进行传输, 这是因为 GSM 网络能够满足语音业务的服务质量需求(WLAN 网络不能满足), 同时在通信费用和功耗等属性上较之 TD-SCDMA 和 CDMA2000 网络又相对较低. 而对于视频和文件传输会话则优先选择 WLAN 网络进行传输, 这是因为这些会话的服务质量需求相对容易满足, 因而具有最大带宽、最低通信费用和传输功耗的 WLAN 网络就成为理想的选择. 此外, 由图 5 可以看出, 当终端移动到无 WLAN 覆盖的区域时(位置 4), 原先在 WLAN 上传输的视频和文件传输会话会自动切换到 TD-SCDMA 网络上进行传输. 仿真结果表明, 本文方案能够根据终端当前位置、通信成本、功耗、带宽、时延、抖动、丢包率等多重属性, 自动地将不同类型的会话分发到合理的网络上进行传输.

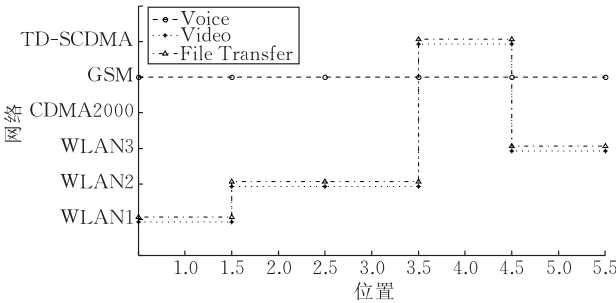


图 5 业务流的分配和切换

4.2 会话完成率和吞吐量

定义 1. 新会话阻塞率. 新会话发起时由于系

统资源不足而造成会话被拒绝的概率.

定义 2. 切换会话中断率. 用户发生切换时由于系统资源不足而造成会话中断的概率.

定义 3. 会话完成率. 用户成功发起会话并在多次切换中均没有发生中断最后顺利完成一次会话的概率.

由上述定义可知, 会话完成率综合反映了新会话和切换会话被阻塞的情况, 因而它可以作为衡量移动网络性能的一个重要指标.

图 6、图 7 和图 8 分别描绘了在位置 2、3、4 的小区内使用本文方案(PAWES)和文献[8]中介绍的方案(IAS)时, 不同类型会话的完成率随着终端数目增加而变化的情况. 注意: IAS 方案依赖于用户给各决策属性人为指定权重. 在本实验中, 为了使比较工作更具说服力, 我们给 IAS 算法的各个属性设定与 PAWES 算法相同的权重, 这些权重都是利用本文提出的属性权重自生成算法自动产生的.

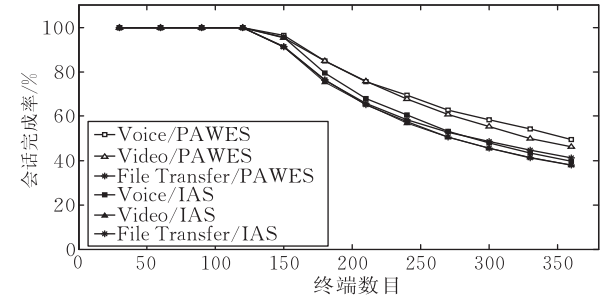


图 6 不同类型会话完成率(位置 2)

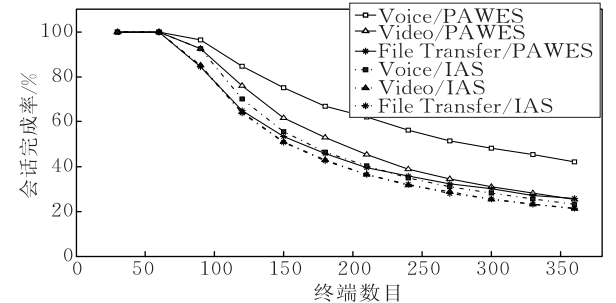


图 7 不同类型会话完成率(位置 3)

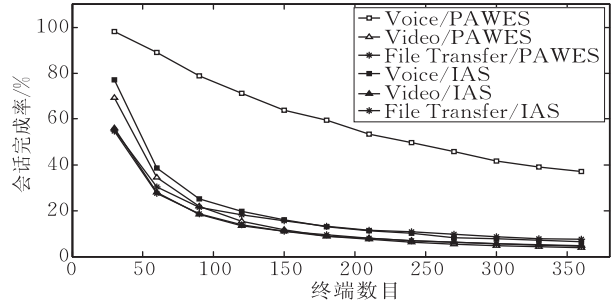


图 8 不同类型会话完成率(位置 4)

从图中可以看出,无论采用何种方法,随着终端数目增多,网络负载加大,各种类型会话的完成率都会下降.在 IAS 算法中,因为不区分几类不同的业务,因而三种不同类型会话的完成率几乎相同.而本文方案(PAWES 算法)赋予了语音业务最高的优先级,从而保证了该类业务具有使用网络资源的优先权.从图中可以看出,对于低优先级的视频和文件传输会话,使用 PAWES 算法和 IAS 算法在会话完成率指标上并无太大差别.而对于高优先级的语音会话,使用 PAWES 算法将会显著提高其会话完成率.

对比图 6 和图 8 的结果还可以看出,资源竞争越严重的情况下,本文方案引入优先级的效果越明显.图 6 所示的位置 2,由于 WLAN 网络的存在,不同类型的会话在轻载时被分发到不同的网络上传输,不存在资源冲突,随着网络负载的加重,不同类型的会话开始出现资源抢占,此时语音业务就具有了更高的完成率.而在图 8 所示的位置 4,因为没有 WLAN 网络的存在,因而不同类型的会话存在着严重的资源竞争,这时使用 PAWES 算法其语音业务在会话完成率指标上相对于低优先级的视频和文件传输业务保持着较大优势.在图 8 所示的位置 4,当终端个数增长到 350 个时,对比 PAWES 和 IAS 算法,视频和文件传输会话的完成率相差很少(小于 2%),而 PAWES 算法语音业务的会话完成率比 IAS 算法提高了 30%.

图 9~11 分别描绘了在位置 2、3、4 的小区内使用本 PAWES 方案和 IAS 方案时,不同类型会话的吞吐量随着终端数目增加而变化的情况.从这些图中又一次看出,本文方案能合理地将多模终端上不同类型的会话分发到不同的接入网络中传输.因而较之 IAS 算法,本文提出的 PAWES 算法对于各种类型的会话吞吐量都有不同程度地提升(反映在图中,PAWES 算法与 IAS 算法的会话吞吐量差值都大于 0).特别地,随着网络负载的加重以及资源竞争的加剧,PAWES 算法对高优先级语音会话的吞吐量改善效果更为显著.需要说明的是,在图 11 中当终端个数超过 210 个时,PAWES 算法与 IAS 算法视频会话的吞吐量差值变成了负值.这是因为在图 11 所示的位置 4 没有 WLAN 网络存在,因而各种不同类型会话之间的资源竞争更加激烈,当终端个数增长到一定数量时,PAWES 算法为了保证高优先级语音业务的吞吐量将会牺牲低优先级会话的

传输性能.而比较两种低优先级会话,文件传输会话的服务质量要求更低,而且传输带宽需求更加灵活(0~120Kbps),因而虽然其比视频会话的优先级低,但是该类业务的吞吐量受到资源竞争的不利影响反而更小.

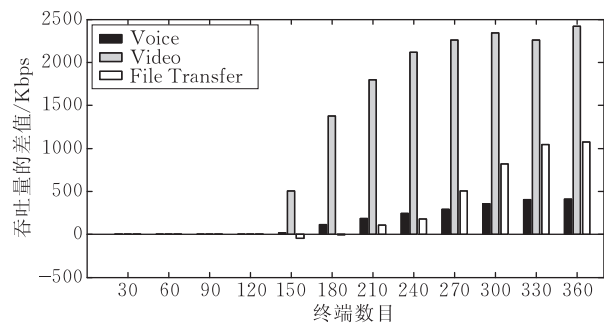


图 9 PEWAS 算法和 IAS 算法的会话吞吐量差值(位置 2)

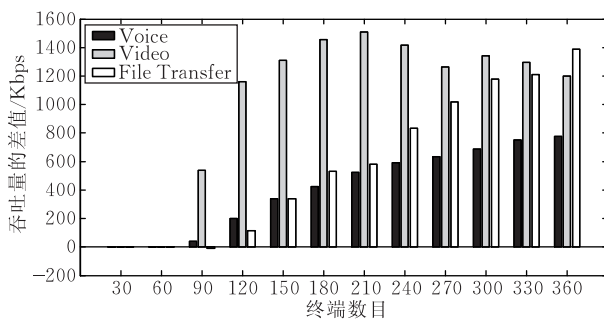


图 10 PEWAS 算法和 IAS 算法的会话吞吐量差值(位置 3)

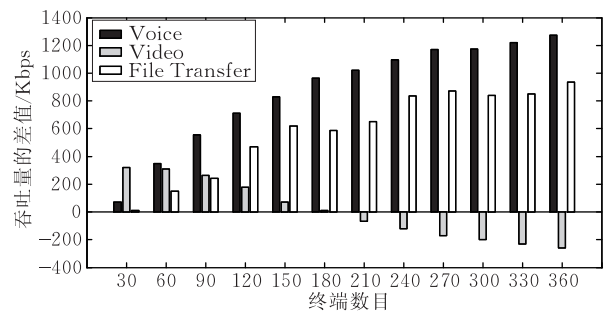


图 11 PEWAS 算法和 IAS 算法的会话吞吐量差值(位置 4)

4.3 通信费用和功耗

图 12 和图 13 分别描绘了使用 PAWES 和 IAS 两种方案时,不同类型会话的平均通信费用和功耗随网络中终端数目增加而变化的情况.

可以看出,无论使用何种方案,随着终端数目的增多,各种不同类型会话的平均通信费用和功耗都会轻微增加.这是因为 PAWES 算法和 IAS 算法在决策时都考虑了通信费用和功耗的因素,在其他条件相同的情况下优先为不同类型的会话选择费用和功耗都较低的网络.然而,当网络中的终端数目足够多后,最优的分发网络接近饱和,此时决策算法只能

为会话选择次优的网络进行传输,从而造成了会话平均通信费用和功耗的轻微提升. PAWES 算法和 IAS 算法综合考虑多种因素为不同类型会话选择分发网络的思想对于降低用户的通信费用和节省能耗具有十分明显的作用. 为了衡量改善的效果,我们也仿真了随机接入网络方案(即为会话随机选择可用的接入网络,在图 12、图 13 中未标示),结果显示这种不考虑功耗和通信费用的随机接入方案比 PAWES 和 IAS 方案在会话的平均通信费用和功耗上分别增加 20% 和 30% 左右.

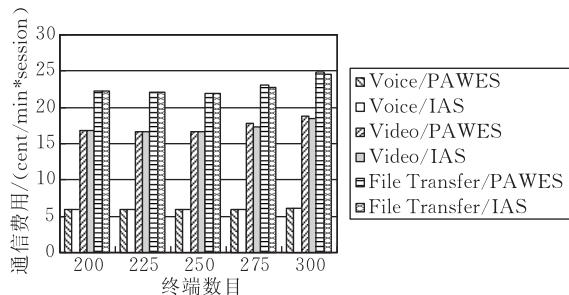


图 12 会话平均通信费用

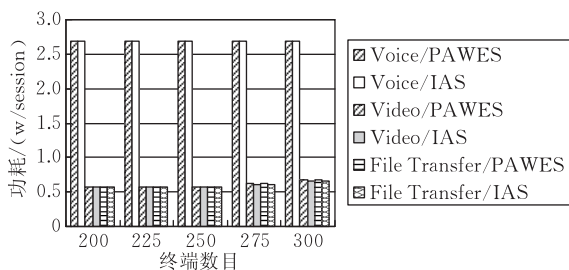


图 13 会话平均功耗

相互比较 PAWES 和 IAS 两种方案,可以看出,随着网络中终端数目的增加,IAS 方案比本文提出的 PAWES 方案在会话平均功耗和通信费用等指标上略优(例终端个数为 300 时,IAS 方案比 PAWES 方案通信费用上节省 1.7%,功耗上节省 1.9%). 这是因为当网络负载较重时,本文提出的 PAWES 方案追求更优的会话完成率和吞吐量(见 4.2 节),因而为了保证会话的高完成率传输,PAWES 算法将不可避免地某些会话选择次优的接入网络,从而在一定程度上影响了会话的平均通信费用和功耗.

5 总 结

异构网络的发展推动了多模终端的使用,而多模终端的使用带来了一个新的问题:当终端上有多

种不同类型的会话业务流需要传输时,如何根据不同类型业务流的特点、不同网络的当前链路状况、通信费用、传输功耗等因素,在终端所接入的多个网络之间自动地、合理地分发业务流. 本文提出了一套针对多模终端业务流分发问题的解决方案. 文章的主要贡献包括:(1) 提出了一套多模终端的框架结构,对解决业务流分发问题的各个功能模块进行了划分.(2) 针对本文提出的框架结构,给出了核心功能模块(决策引擎)的设计方案,将决策引擎划分为 4 个层面,并对各层的功能和相互关系作出了阐述.(3) 针对决策引擎的实现,提出了一种基于优先级和权重自生成的多模终端业务流分发算法——PAWES,该算法引入优先级的概念使得高等级的业务类型在网络负载较重时具有使用网络的优先权,同时设计了一种权重自生成方法,为影响业务流分发决策的多个属性自动生成权重,减轻了用户负担,避免了由用户直接指定权重的困难.

参 考 文 献

- [1] Chen Y, Yang Y. A new 4G architecture providing multimode terminals always best connected services. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14(2): 36-41
- [2] Isaksson L, Fiedler M. Seamless connectivity in WLAN and cellular networks with multi criteria decision making//*Proceedings of the 3rd EuroNGI Conference on Next Generation Internet Networks (NGI)*. Trondheim, Norway, 2007: 56-63
- [3] Saaty T L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill, 1980
- [4] Iera A, Molinaro A, Campolo C, Amadeo M. An access network selection algorithm dynamically adapted to user needs and preferences//*Proceedings of the 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. Helsinki, Finland, 2006: 1-5
- [5] Jesus V, Sargento S, Corujo D, Senica N, Almeida M, Aguiar R L. Mobility with QoS support for multi-interface terminals: Combined user and network approach//*Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. Aveiro, Portugal, 2007: 325-332
- [6] ITU-T Y. 1541: Network performance objectives for IP-based services, 2006
- [7] Deng H, Yeh C H, Willis R J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 2000, 27(10): 963-973
- [8] Koutsorodi A A, Adamopoulou E F, Demestichas K P, Theologou M E. Terminal management and intelligent access selection in heterogeneous environments. *Mobile Networks and Applications*, 2006, 11(6): 861-871

附录. 多属性权重自动生成方法合理性证明.

从式(8)可以看出,贴进度 N_j 与 d_j^+ 成反比,即 d_j^+ 越小网络越优,由此构造最优化函数:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{j=1}^m d_j^+ = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k (b_{j,l} - b_l^+)^2 w_l^2 \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{l=1}^k w_l = 1 \end{aligned} \tag{附式 1}$$

应用拉格朗日乘法对函数(附式 1)作变换,得到函数(附式 2):

$$f_{\text{lagrange}}(w, \lambda) = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k (b_{j,l} - b_l^+)^2 w_l^2 - \lambda \left(\sum_{l=1}^k w_l - 1 \right) \tag{附式 2}$$

由拉格朗日乘法法的原理可知函数(附式 1)的极值点包

含在函数(附式 2)的偏导方程组中,即令 $\frac{\partial f_{\text{lagrange}}}{\partial w} = 0, \frac{\partial f_{\text{lagrange}}}{\partial \lambda} = 0$,得到

$$\begin{cases} 2 \sum_{j=1}^m (b_{j,l} - b_l^+)^2 w_l - \lambda = 0, \quad l=1, 2, 3, \dots, k \\ \sum_{l=1}^k w_l - 1 = 0 \end{cases} \tag{附式 3}$$

求解函数(附式 3)表述的 $k+1$ 元 1 次方程组,最终得到

$$w_l = \frac{1}{\sum_{l=1}^k \frac{1}{\sum_{j=1}^m (b_{j,l} - b_l^+)^2} \times \sum_{j=1}^m (b_{j,l} - b_l^+)^2} \tag{附式 4}$$

显然由式(10)求得的权重满足 $w_l \geq 0$ 及 $\sum_{l=1}^k w_l = 1$,并且它们能使得目标函数(附式 1)取得最小值.



SUN Yi, born in 1979, Ph. D. , associate professor. His current research interests include heterogeneous networks integration and QoS support technologies.

Background

The next generation of mobile networks is characterized by heterogeneity. This heterogeneity is encouraging an increase in popularity of multimode mobile terminals that are able to utilize different access networks to carry simultaneous data sessions. This paper proposes a new flow distribution scheme for multi-mode mobile terminals based on a priority and weight auto-generation mechanism. The scheme utilizes the notion of “priority”, assigning a higher priority to more important transactions when the network load is heavy. In addition to this, the paper raised a new way to automatically determine the weights of the multiple factors which would

GE Yu-Ming, born in 1985, Ph. D. candidate. His current research interests include cognitive network and handover.

HERBORN Stephen, born in 1980, Ph. D. . His current research interests include heterogeneous networks integration and handover.

DUTKIEWICZ Eryk, born in 1964, Ph. D. , professor. His current research interests include mobile computing and QoS support technologies.

influence the session flow distribution decision, thus avoiding the difficulty and subjectivity when relying on the user to determine the weights manually. Simulation results show that the scheme can assign the session flows to proper networks for transmission according to the current conditions of different access networks, the QoS requirements of different types of sessions and the communication cost in terms of money and power. This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (90604016), and the National Basic Research Program (973 Program) of China (2007CB310702).