

## 基于用户需求的WLAN接入选择算法

赵章明<sup>1</sup>, 夏珅宁<sup>2</sup>, 郭长绥<sup>1</sup>

(1.91937部队, 浙江 宁波 316000;

2.31010部队, 北京 100044)

**摘 要:** 随着当前WLAN设备和用户爆发式增长, 许多公共场所都大量部署WLAN以满足人们的无线通信需求。面对当前WLAN密集部署的现状, 用户该如何根据自己的需求选择最优的WLAN接入, 是影响到用户通信体验和资源合理利用的重要问题。针对不同业务用户对网络性能的需求和偏好, 设计了一种基于用户需求的WLAN接入选择方法。该方法首先通过用户移动速度区分用户类型, 禁止高速移动用户接入WLAN, 以避免不必要的切换; 然后基于用户业务对信号强度、带宽、时延、抖动、丢包率等WLAN网络属性的需求, 利用层次分析法求出各属性的权重, 并以此为基础设计了多属性决策机制, 以找出最优AP接入。OPNET网络仿真验证表明, 该接入方法减少了不必要的切换, 降低了切换失败概率, 提高了网络性能。

**关键词:** 无线局域网; 接入选择; 用户需求; 层次分析法; 逼近理想解排序法

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** A

## A WLAN Access Selection Method Based on User Requirements

ZHAO Zhangming<sup>1</sup>, XIA Shenning<sup>2</sup>, GUO Changsui<sup>1</sup>

(1. Troops 91937, Ningbo 316000, China;

2. Troops 31010, Beijing 100044, China)

**Abstract:** With the current explosive growth of WLAN devices and users, a large number of WLAN Access Points (APs) are deployed in some public places to meet people's wireless communication needs. In the situation of dense distribution of WLAN APs, how to select and access an optimal AP is an important issue affecting users' communication experience and rational utilization of network resources. Based on analyzing the requirements and preferences of different user business for network attributes, an initial WLAN access selection method is designed. In this method, users are firstly classified according to their moving speed and the high-speed users are not allowed to access WLAN in order to avoid unnecessary handoff. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP), the weights of network attributes are then obtained based on the requirements and preferences of different users. At last, a multi-attribute decision mechanism for optimal access selection is designed. According to the OPNET simulation experiment, this method is able to reduce unnecessary handoff, decrease the probability of handoff failure and improve the network performance.

**Keywords:** WLAN; access selection; user requirements; AHP; TOPSIS

### 1 引言 (Introduction)

近年来, 随着互联网技术和应用的迅猛发展, 以及平板电脑、智能穿戴设备等种类繁多的无线终端日益普及, 人们对无线网络的需求在不断的扩大。基于IEEE 802.11的无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)由于其速度快、成本低和接入灵活等特点, 已成为目前发展最好、应用最广泛的无线通信技术之一<sup>[1]</sup>。在许多人员密集的公共场所, 尤其是车站、商场等公共场所, 都部署有大量的WLAN接入点(Access Point, AP), 以满足人们的无线上网需求<sup>[2]</sup>。面对

这些密集部署的WLAN, 用户该如何根据自己的需求, 选择最优的WLAN接入, 是影响到用户通信体验和资源合理利用的重要问题<sup>[3]</sup>。

用户在接入WLAN时, 其对网络的需求其实质上是用户所使用的网络业务对WLAN的性能需求。根据3GPP的标准, 网络业务可以分为会话业务、流业务、交互业务和背景业务四类<sup>[4]</sup>。因此, 在WLAN网络中, 针对如何根据不同业务的特性及对网络的需求, 选择合适的判决参数并利用这些参数选择合适的WLAN接入, 以减少用户接入网络后的切换次数和

切换失败概率,提升网络资源利用率和网络性能,本文提出了一种基于用户需求的WLAN接入选择算法。

## 2 问题描述与算法基本思想 (Problem description and basic idea)

在WLAN接入选择算法中,最为常见的是基于用户接受信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)进行网络选择<sup>[5]</sup>。然而在实际应用中,用户的具体需求对网络的接入选择有很大影响。特别是当用户首次接入WLAN时,贴合用户需求的接入方式能够减少后续切换次数,提高网络服务质量(Quality of Service, QoS)<sup>[6]</sup>。

由于用户在使用WLAN时,对网络的需求实际上是用户所使用的网络业务对网络性能的需求。所以本文首先根据3GPP标准,将用户的业务分为会话业务、流业务、交互业务和背景业务四类。其中,会话类业务,如VoIP、可视电话等业务,实时性较高,这类业务要求网络端到端延时和抖动较小;流业务,如网络视频、网络直播等流媒体业务,一般对网络带宽需求较高,但是能够接受一定的时延和丢包;交互类业务,如网页浏览、网络游戏等,其最大特点是对网络的丢包率十分敏感;背景类业务,如收发邮件、后台刷新等,其特点是对网络的时延几乎没有要求。本文总结了不同类别的业务对网络性能指标的要求,详见表1。

表1 不同类别的业务对网络性能指标的要求

Tab.1 Requirements for network performance indicators of different types of network business

| 业务类型 | 带宽 | 时延  | 抖动 | 丢包率 |
|------|----|-----|----|-----|
| 会话业务 | 严格 | 强烈  | 严格 | 稍微  |
| 流业务  | 强烈 | 稍微  | 严格 | 稍微  |
| 交互业务 | 稍微 | 严格  | 稍微 | 强烈  |
| 背景业务 | 稍微 | 几乎无 | 一般 | 强烈  |

除了上述带宽(Bandwidth)、时延(Delay)、抖动(Jitter)、丢包率(Lost rate)四个网络性能指标之外,本文还考虑到WLAN的接收信号强度(RSSI)和用户的移动速度(Velocity)两个指标对接入网络决策的影响,定义WLAN接入选择决策因子集 $F$ :

$$F=(R,B,D,J,L,V) \quad (1)$$

针对以上的众多决策因子的影响,本文的接入选择算法可以抽象为多约束条件下的切换决策方法,需要重点解决的问题是如何根据用户的需求计算各个决策因子的权重。

算法的基本思想为:先根据移动速度将用户划分为高速移动用户和低速移动用户两类。由于WLAN的覆盖范围较

小,高速移动的用户接入WLAN会产生许多不必要的切换,所以一般不允许接入;对于低速移动用户,当当前接入点的信号强度低于某一设定阈值或者发现新的AP信号强度大于当前AP信号时,触发接入选择,并开始收集网络信息,建立决策属性集。然后,根据每个用户当前运行的应用对网络的需求分别计算权重,最后综合得到每个用户对网络属性的偏好权重。算法的基本流程如图1所示。

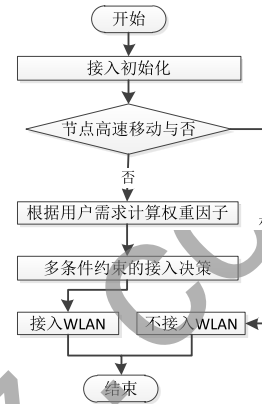


图1 算法流程

Fig.1 Algorithmic procedure

## 3 算法设计(Algorithm design)

### 3.1 基于用户需求的权重向量计算

本文采用层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)来解决在多个AP中选择最优接入的问题。AHP是一种多目标决策工具,将复杂的问题分解为目标、标准、方案等多个层次子问题<sup>[7]</sup>。其中目标层是决策的目标,在本文中为选择最优的AP接入;方案层为决策时可选的方案,本文中为用户接入WLAN所有可选的AP;准则层在决策过程中需要考虑的决策因素和准则,本文中考虑的决策因素有带宽(B)、时延(D)、抖动(J)、丢包率(L)和信号强度(R)。本文构造的层次分析法的层级结构如图2所示。

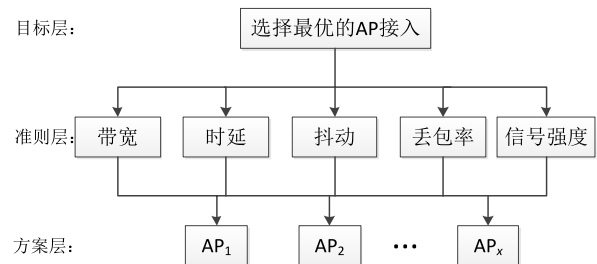


图2 AP选择的层级结构

Fig.2 The hierarchical structure of AP selection

层次分析法的本质是将已经分好层次的各个属性进行两两对比,以确定各个属性的主观权重。为了对比两个元素,我们需要一定的数字尺度来表示对比双方的重要程度,表2展示了这个尺度。

表2 两两比较矩阵基本尺度表

Tab.2 The basic scale of the pairwise comparison matrix

| 重要程度    | 重要性定义                                                            | 说明               |
|---------|------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1       | 同等重要                                                             | 二者对目标具有相同贡献      |
| 3       | 轻微重要                                                             | 经验和判断偏向于前者重要     |
| 5       | 明显重要                                                             | 经验和判断认为前者明显重要于后者 |
| 7       | 强烈重要                                                             | 非常强烈地认为前者重要于后者   |
| 9       | 绝对重要                                                             | 有最肯定的依据表明前者比后者重要 |
| 2,4,6,8 |                                                                  | 表示相邻判决的中间值       |
| 倒数      | 如果 <i>i</i> 相比于 <i>j</i> 具有上述标度, 则 <i>j</i> 相比于 <i>i</i> 为该标度的倒数 |                  |

建立比较判决矩阵  $H$  为:

$$H = \begin{matrix} & \begin{matrix} B & D & J & L & R \end{matrix} \\ \begin{matrix} B \\ D \\ J \\ L \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} & d_{45} \\ d_{51} & d_{52} & d_{53} & d_{54} & d_{55} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

然后采用特征根法计算权重。特征根法也被称为特征向量法或幂法, 用来求解判决矩阵  $H$  特征根。

$$H \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (3)$$

其中,  $\lambda_{\max}$  和  $w$  分别是判决矩阵  $H$  的最大特征根和特征向量,  $w$  归一化后就是所求的权重向量。也就是对同阶段始向量  $w^0$ , 反复乘以判决矩阵  $H$ , 依次得到  $w^0, w^1, \dots, w^n$ , 即

$$w^{n+1} = H \cdot w^n, n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

其具体计算步骤如下:

(1) 任取与  $H$  矩阵同届归一化的初始向量  $w^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_s^0)$ 。

其中归一化是指对于任意  $\omega_i^0 (i = 1, 2, \dots, 5)$ , 有  $\omega_i^0 > 0$  且  $\sum \omega_i^0 = 1$ 。

(2) 计算

$$\tilde{w}^{n+1} = H \cdot w^n, n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

(3) 将上式归一化处理, 即

$$w^{n+1} = \tilde{w}^{n+1} / \sum \tilde{w}^{n+1} \quad (6)$$

(4) 对于给定精度的  $\varepsilon > 0$ , 当

$$|w_i^{n+1} - w_i^n| < \varepsilon, i = 1, 2, \dots, 5 \quad (7)$$

成立时, 则  $w = w^{n+1}$  即为所求矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  对应的权重特征向量  $w$ 。

用  $AP = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  来表示 WLAN 中的 AP, 用  $User = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  表示用户节点上所运行的移动业务。当移动终端 (MS) 触发切换操作后, 首先根据前文提出的权重计算方法求出每个应用对于带宽 (B)、时延 (D)、抖动 (J)、丢包率 (L) 和信号强度 (R) 的偏好, 则移动节点运行的业务  $u_i$  对于带宽、时延、抖动、丢包率和信号强度的权重向量为:  $w_i = (\omega_1^i, \omega_2^i, \dots, \omega_s^i)$ 。则该用户对于这些决策因子的权重向量为  $w_i = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s)$ , 其中

$$\omega_k = \frac{\sum_{k=1}^m \omega_k^i}{m} \quad (8)$$

该权值计算方法的伪代码为:

| Pseudo | Weight computing algorithm                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| 1      | Begin                                                            |
| 2      | input and update decision matrix $H$                             |
| 3      | $q=0$ ;                                                          |
| 4      | while $ w_i^{n+1} - w_i^n  < \varepsilon, i = 1, 2, \dots, 5$ do |
| 5      | $\tilde{w}^{n+1} = H \cdot w^n, n = 0, 1, 2, \dots$              |
| 6      | $w^{n+1} = \tilde{w}^{n+1} / \sum \tilde{w}^{n+1}$               |
| 7      | $q=q+1$                                                          |
| 8      | end while                                                        |
| 9      | return $w^q$                                                     |
| 10     | End                                                              |

### 3.2 网络接入决策

根据上文的描述和分析, 将基于用户需求的 WLAN 接入选择转化成了基于  $n$  个候选 AP 的五个网络属性 (带宽、时延、抖动、丢包率和信号强度) 的多属性决策问题。可以利用 TOPSIS 方法<sup>[8]</sup> 将之转换为五维空间的  $n$  个点构成的几何系统中距离求解问题。将所有的方案可以看作是五维空间中的点, 方案的属性就是坐标, 然后求出正理想解和负理想解, 最后求每个方案相对于正、负理想解的相对接近程度, 根据方案与正、负理想解的距离贴适度来判断接入方案的优劣。其具体步骤为:

(1) 接入方案的判决矩阵如式 (2), 由于在该矩阵中候选 AP 的五个属性的量纲各不相同, 所以首先需要对其中所有的属性进行归一化处理:

$$y_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, 5 \quad (9)$$

得到标准化矩阵  $Y = (y_{ij})_{n \times 5}$ , 且有

$$Y = (y_{ij})_{n \times 5} = \begin{matrix} & \begin{matrix} B & D & J & L & R \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{15} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & y_{25} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} & y_{35} \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} & y_{45} \\ y_{51} & y_{52} & y_{53} & y_{54} & y_{55} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

(2) 根据用户对五个属性的偏好建立加权标准化决策矩阵, 其中权重向量  $w_i = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s)$ , 也将其归一化:

$$\omega_i = \omega_i / \sum_{j=1}^5 \omega_j \quad (11)$$

将标准化矩阵  $Y$  与权重向量相乘得到加权标准化矩阵  $V$ , 即

$$V = Y \times W = \begin{bmatrix} B & D & J & L & R \\ v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} & v_{15} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & v_{24} & v_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & v_{n3} & v_{n4} & v_{n5} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} B & D & J & L & R \\ \omega_1 y_{11} & \omega_2 y_{11} & \omega_3 y_{13} & \omega_4 y_{14} & \omega_5 y_{15} \\ \omega_1 y_{21} & \omega_2 y_{22} & \omega_3 y_{23} & \omega_4 y_{24} & \omega_5 y_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_1 y_{n1} & \omega_2 y_{n2} & \omega_3 y_{n3} & \omega_4 y_{n4} & \omega_5 y_{n5} \end{bmatrix}$$

(3)确定正、负理想解,令 $X^+$ 和 $X^-$ 分别表示正理想解和负理想解,有:

$$X^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J^*)\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_s^+\} \quad (13)$$

$$X^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J^*)\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_s^-\} \quad (14)$$

其中, $J$ 为效益型指标, $J^*$ 为成本性指标,在本文研究的WLAN属性中,延迟、丢包率、抖动属于成本性指标,而带宽和信号强度属于效益型指标。

(4)计算各备选方案与理想方案的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^s (v_{ij} - v_j^+)^2}, i \in N \quad (15)$$

(5)计算备选方案与理想解的相对贴近程度 $C_i^+$ :

$$C_i^+ = \frac{1}{\frac{D_i^+}{D_i^-} + 1}, 0 < C_i^+ < 1, i \in N \quad (16)$$

当 $C_i^+$ 趋近于1时,方案 $X_i$ 越趋近于正理想解 $X^+$ 。则不考虑中继情况下,该切换算法的目标函数为: $\text{Max}_{a_i \in C} (C_i^+)$ 。移动用户在切换过程中需要的候选AP信息由当前连接的AP提供,这样的切换策略可以有效减少切换过程中MS的通信,降低切换时延,减少干扰。

## 4 算法仿真与性能分析(Algorithm simulation and performance analysis)

### 4.1 OPNET仿真平台介绍

OPNET(Optimized Network Engineering Tools)网络仿真软件是目前世界上最先进的网络仿真开发和应用平台之一。本文使用OPNET Modeler 14.5仿真工具对基于802.11的WLAN接入选择进行模拟仿真。

为了可以详细地描述网络特性,OPNET Modeler采用了阶层性的模拟方式(Hierarchical Network Modeling),为用户提供了三层建模机制,从上到下分别为:网络模型(Network Model)、节点模型(Node Model)和进程模型(Process Model)<sup>[9,10]</sup>。

(1)进程模型。模拟单个对象的功能,使用有限状态机方式建模。每个状态内可以写入任意的C/C++代码和自带的核心函数,用于定义功能模块中各事件间的控制流,使用状态

图描述模块的状态和状态切换的控制流。

(2)节点模型。用于定义网络节点的结构和描述节点内部模块之间的信息流;将各进程模块互联成设备,建立符合相关协议的可翻页设备特点的网络模型。

(3)网络模型。将各节点模型互联成网络,设定网络的拓扑结构,将模型库中的通信实体直接拖放至工作区完成拓扑配置,并通过属性对话框配置设备的基本属性。

OPNET Modeler对WLAN的支持主要体现在Wireless LAN模块上,WLAN模块的参数属性界面如图3所示。

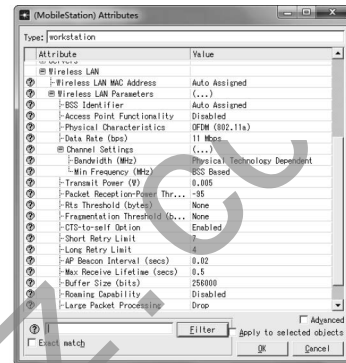


图3 OPNET中WLAN模块的参数属性

Fig.3 The attributes of WLAN modules in OPNET

该模块所包含的信息是基于IEEE802.11协议,基本实现了标准WLAN中的各种行为和特征,包括接入机制、漫游、移动IP、帧交换次序、帧间隔和退避机制、数据速率等,OPNET Modeler 14.5中IEEE 802.11无线局域网的有限状态机结构如图4所示。

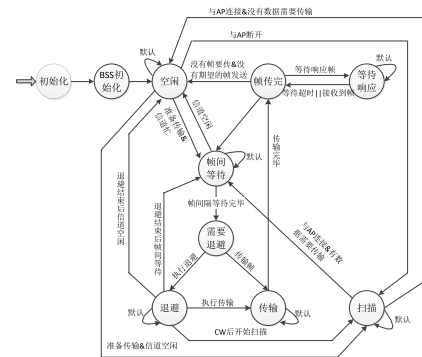


图4 OPNET中IEEE 802.11无线局域网的有限状态机

Fig.4 The finite-state machine for IEEE 802.11 wireless LAN in OPNET

### 4.2 仿真设计

将本文提出的基于用户需求的切换算法与传统的基于RSSI的切换算法进行对比试验。用户的移动模型采用随机航点模型,移动用户的速度每5s调整一次,并根据自身的属性随机调整大小和方向,用户的移动速度从0—15m/s随机生成,其中将0—2m/s的移动用户定义为低速运动用户,而2—15m/s

定义为高速运动。对于单个移动用户，随机设定 $t(1 \leq t \leq 5)$ 个应用，并且各个应用等概率地属于会话业务、交互业务、流业务和背景业务。其他仿真试验的参数设置如下：

表3 仿真试验参数设置

Tab.3 The parameter settings of simulation experiment

| 参数    | 取值范围      | 意义        |
|-------|-----------|-----------|
| Area  | 500m*500m | 仿真区域      |
| K     | 20—200    | 移动用户个数    |
| N     | 50        | 区域内AP数量   |
| Rwlan | 50m       | WLAN的覆盖半径 |
| T     | 20min     | 仿真持续时间    |

### 4.3 仿真结果分析

当WLAN网络的AP数量和位置不变，不同网络规模条件下用户的平均切换次数对比如图5所示。由图可以看出，随着移动用户规模的逐渐增大，两种算法的平均切换次数均有所增加，其中基于RSSI的切换算法票据切换次数从3.2次增加到8.2次，而基于用户需求的切换算法平均切换次数从1.1次增加到4.3次。但从整体看来，基于用户需求的切换算法的平均切换次数小于基于RSSI的切换算法。

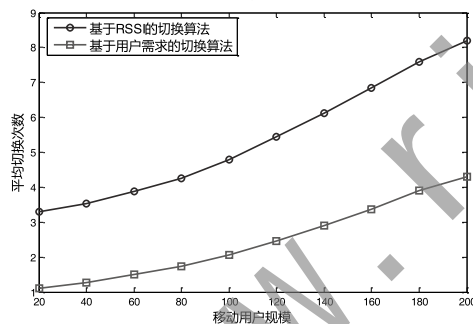


图5 不同网络规模条件下用户平均切换次数对比

Fig.5 Comparison of users' average switching times under different network scale conditions

为了进一步比较两种算法的优劣，本文将二者随着用户数量变化平均切换失败概率进行了统计，结果如图6所示。通过图6可以看出，用户的平均切换失败率都随着移动用户的规模增加而增大，其中基于RSSI的切换算法增加趋势较快，当用户达200人时其切换失败概率为43%，而基于用户需求的切换算法为26%。究其原因，本文提出的基于用户的切换算法通过移动速度区分了节点类型，避免了高速移动用户接入WLAN，可以减少切换次数和切换失败率；同时，基于RSSI的切换算法仅仅依靠接收信号强度作为决策依据，没有考虑网络的负载，容易造成网络拥塞，造成较高的切换失败概率。

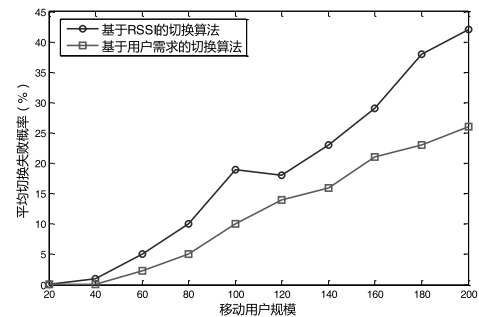


图6 不同网络规模条件下平均切换失败率对比

Fig.6 Comparison of average switching failure rate under different network scale conditions

本文提出的基于用户需求的切换算法，充分考虑了各应用对网络性能的不同需求，其中典型的代表是对网络带宽要求较高的流媒体业务和对时延敏感的会话类业务。下面首先在对两种算法在不同用户规模下的平均带宽进行比较，试验结果如图7所示。图中曲线表明，两种切换算法获得的平均带宽都随着移动用户数量增加而降低，且基于RSSI的切换算法下降趋势更快。当用户数量较少时，基于RSSI的切换算法的平均带宽大于本文提出的基于用户需求的切换算法，但是随着用户数量的增加，基于用户需求的切换算法表现优于基于RSSI的切换算法。其产生原因是，在移动用户规模较小时，网络的负载较轻，对于用户而言，信号越强的AP能够提供越强的带宽，但是随着用户逐渐增多，网络中可能出现拥塞的情况，而基于用户需求的切换算法能够基于用户的业务类型对网络的需求，然后综合这些需求求出决策偏好权重，较之与基于RSSI的切换算法，能够更加合理地利用网络资源，均衡网络的负载。

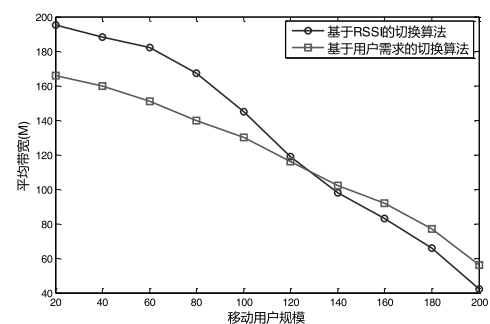


图7 不同网络规模条件下平均带宽对比

Fig.7 Comparison of average bandwidth under different network scale conditions

图8是两种算法在不同用户规模条件下的平均切换时延对比，可以看出随着用户规模的增加，两种算法的切换时延都在增加，且增幅均不大。但是从整体而言，本文提出的基于用户需求的切换算法时延略大于基于RSSI的切换算法。其原因主要是基于用户需求的切换算法需要根据用户的业务综合决策，所以造成切换时延较高。

(下转第4页)