

# 异构网络中基于用户 QoS 的网络选择算法研究

周宇清,刘胜美

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**异构无线网络资源管理中最重要的是网络选择过程。传统的网络选择算法,有时会造成某些网络的拥塞和某些网络资源的浪费。针对这个问题,研究一种网络选择算法,在效用函数中考虑用户业务的 QoS 等级,然后根据效用值为用户提供适当的接入网络。不同的业务类型及用户的 QoS 需求是很重要的,不是所有的网络都可以满足用户需求。仿真结果表明,该算法可以提高实时性要求较高的用户满意度,并使不同网络之间可以得到资源的有效利用和负载均衡。

**关键词:**异构无线网络;网络选择;服务质量;效用函数

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)07-0082-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.018

## Research on Network Selection Algorithm Based on QoS in Heterogeneous Wireless Networks

ZHOU Yu-qing, LIU Sheng-mei

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The most important functions within the Common Radio Resource Management (CRRM) is the network selection procedure. Some traditional network selection algorithms will lead to network congestion or resource underutilized. In view of this, research a QoS-based network selection algorithm, in which a utility value is assigned to the associated RATs considering the QoS level of user transaction. QoS demands of different traffic types is very important. Not all of the network can meet user needs. The simulation results demonstrate the algorithm can improve the higher real-time requirements of customer satisfaction, and can make resources used effectively and load balancing between different network.

**Key words:** heterogeneous wireless network; network selection; QoS; utility function

## 0 引言

随着技术的发展,异构无线网络将更加复杂多变<sup>[1]</sup>。3GPP 认为无线资源管理(CRRM)是个很重要的概念,也为 CRRM 运行定义了一些建议和架构<sup>[2]</sup>。不过标准中没有定义无线接入技术(RAT)的选择算法,即网络选择。

文献[3]提出了基于模糊序数偏好法(Fuzzy TOPSIS)的网络选择算法,通过模糊集对整个网络进行评价,采用冲突决策准则来解决不一致问题。文献[4]采用了模糊逻辑的方法,这是一种基于多属性判决的自适应算法,其切换判决属性主要包括带宽、移动台速度以及用户偏好等。

文献[5-6]提出一种多属性决策的异构网络选择

算法。文献[7]提出一种基于博弈论的定价策略和网络选择方案。该方案中服务提供商为了提高自己的利润需要面临竞争,它是通过用户间的合作或者非合作博弈来获得,在实际的异构网络场景下,用户和服务提供商之间可以利用博弈模型来表示。文献[8]结合多主从 Stackelberg 博弈模型,设计了一种基于收益和花费的移动用户效用函数,提出了一种同时满足网络运营商和用户效用最大的异构无线网络定价和资源分配方案。

文献[9]将用户的移动速率作为一个重要因素,并以最大化异构无线网络的总吞吐量为目标,提出一种网络选择算法。文献[10]中的网络选择算法是基于业务区分的,但只是将业务分为实时与非实时两类。

收稿日期:2014-09-03

修回日期:2014-12-09

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:江苏省自然科学基金重点专项(江苏“973”)(BK2011027)

作者简介:周宇清(1989-),女,硕士,研究方向为移动与无线通信;刘胜美,博士,副教授,研究方向为异构无线网络移动性管理、资源管理等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1051.041.html>

以上的研究都没有考虑业务的多样性,有些算法只考虑了最大化速率,造成部分网络的阻塞和另一部分网络的资源浪费。文中研究的算法,不是基于系统吞吐量和性能<sup>[11]</sup>,而是侧重于在异构流量场景下提供足够的 QoS 等级,使异构网络得到资源的有效利用和流量均衡。

1 基于 QoS 的网络选择算法

一些算法给用户分配具有最高期望吞吐量性能的 RAT 而没有考虑特定用户/业务的 QoS 需求。具有低 QoS 需求业务的用户,一些速率不高的网络就可以较好地满足其服务需求,如果给它分配具有最高传送速率的 RAT,这可能使其他具有高 QoS 需求且只能由此高质量的 RAT 来服务的用户无法接入较好的网络,使得其所请求的业务性能降低。如果根据用户业务的 QoS 等级,给用户分配能提供所需求的 QoS 等级的 RAT 而不是具有最高且非必要的 RAT,则可以避免此类情况。

基于用户 QoS 等级的效用函数模型如下所述。  
将服务需要的额定平均传输速率表示为  $R_{nom} \in \mathbb{R}^+$ 。基于用户业务的  $R_{nom}$ ,定义一个效用函数,给提供不同数据速率  $R$  的网络分配一个效用值:

$$u_1(R) = \begin{cases} \frac{R}{R_{nom}}, & R < R_{nom} \\ 1, & R \geq R_{nom} \end{cases} \quad (1)$$

表 1 为不同业务的 QoS 需求等级<sup>[12]</sup>。图 1 为不同  $R_{nom}$  对应的  $u_1(R)$ 。

表 1 服务需求等级

业务	QoS 需求/kbps
网页浏览	15
电子邮件	10
视频 32 kbps	32
视频 64 kbps	64
视频 256 kbps	256

式(1)上对应不满足  $R_{nom}$  的数据速率  $R$ 。这时,效用值为  $R/R_{nom}$ ;这是基于业务需求  $R_{nom}$  来确定不同传送速率的效用值的简单直接的方法。另外,式(1)下对应能满足需求  $R_{nom}$  的数据速率  $R$ 。此时,对于  $R \geq R_{nom}$  的网络,效用值为 1 且不会随着  $R$  的增加而增加。所以,一个能提供速率  $R_{nom}$  的 RAT 足够满足用户的 QoS 需求,其他具有更高传送速率的网络并不能增加其效用。因此,即使有其他能提供更高数据速率的 RAT,仍然会给用户分配能满足需求数据速率的 RAT。这种方法可以充分按照用户的实际 QoS 需求合理分配 RAT,使流量均衡。

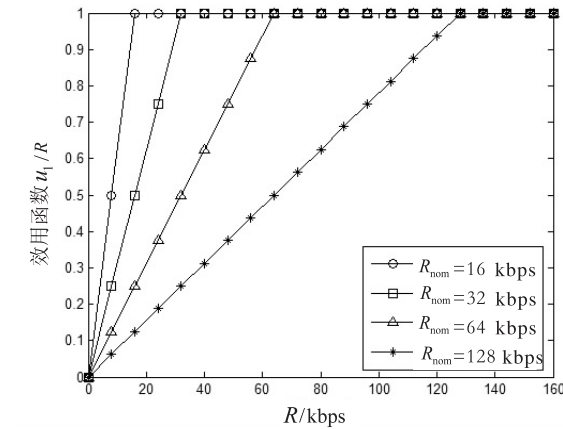


图 1 效用函数  $u_1(R)$

根据式(1),可以根据 RAT 传输速率  $R$  和业务的  $R_{nom}$  的关系,给每个网络分配一个效用值。但是困难在于,用户经历的 RAT 的最终传输速率  $R$  无法预知。而这个传输速率依赖于不同网络可获得的传输模式 TM,  $T_m = \{TM_i^m\}_{i=1,2,\dots,T_m}$  对应数据速率  $R_m = \{R_{TM_i^m}\}_{i=1,2,\dots,T_m}$ ,和这个传输模式使用的频率<sup>[12]</sup>。

集合  $P_m = \{p_{TM_i^m}\}_{i=1,2,\dots,T_m}$ ,  $p_{TM_i^m}$  表示使用每个传输模式  $TM_i^m$  的概率。根据冯诺伊曼-摩根斯坦定理,随机事件(概率集)的期望效用可以通过计算各个效用值的线性和获得。因此,每个网络的效用函数可以表示为:

$$U_1^m(R_m, P_m) = \sum_{i=1}^{T_m} p_{TM_i^m} \cdot u_1(R_{TM_i^m}) \quad (2)$$

函数  $U_1^m(R_m, P_m)$  给每个候选 RAT 分配的效用值,不仅依赖于期望的网络传输速率,还依赖具体的用户 QoS 需求。

为了计算  $U_1^m(\gamma_m)$ ,一般假设每次用户请求时,都给用户分配一个信道,完全忽略了当前小区内其他链接到该 RAT 的用户的影响。如果发生这种情况,它们就要竞争该可用信道。为了考虑用户负载过多的负面影响,在该算法中引入第二个效用函数:

$$U_2^m(N_{u,eff}^{m,n}, N_c^{m,n}) = \begin{cases} 1, & N_{u,eff}^{m,n} \leq N_c^{m,n} \\ \frac{N_c^{m,n}}{N_{u,eff}^{m,n}}, & N_{u,eff}^{m,n} > N_c^{m,n} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $N_{u,eff}^{m,n} \in \mathbb{R}^+$  表示该用户选择 RAT  $m$  接入技术时,同小区  $n$  内,当前链接到同 RAT  $m$  的有效激活用户数;  $N_c^{m,n} \in \mathbb{IN}$  表示小区  $n$  内, RAT  $m$  的可用信道数目。“有效激活用户数”这一概念,是为了统计一些 RATs 能同时给单个用户分配几个信道的可能性(即多信道过程),以及在不同用户间共享单个信道(即用户复用)的可能性。有效激活用户数为:

$$N_{u,eff}^{m,n} = \sum_{l=1}^{N_c^{m,n}} \frac{\alpha_l^m}{\beta_l^{m,n}} \quad (4)$$

其中,  $N_u^{m,n} \in \text{IN}$  为小区  $n$  中连接到 RAT  $m$  的实际用户数(即移动设备);  $\alpha_l^{m,n} \in \text{IN}$  表示小区  $n$  内, RAT  $m$  同时分配给用户  $l$  的信道数;  $\beta_l^{m,n} \in \text{IN}$  表示共享  $\alpha_l^{m,n}$  信道集合的用户总数(包括用户  $l$ )。在这里, 每个用户分配单个信道 ( $\alpha_l^{m,n} = \beta_l^{m,n} = 1$ ), 则  $N_{u,\text{eff}}^{m,n} = N_u^{m,n}$ 。

RAT 选择过程依赖该小区可获得的 RAT 和小区用户负载, 邻小区的干扰也会影响其性能, 所以在 RAT 选择过程中也要考虑邻小区的影响。该影响可用以下效用函数表示:

$$U_3^m(P_m, \gamma_m) = 1 - \sum_{i=1}^{T_m} p_{\text{TM}_i^m} \cdot \text{BLER}_{\text{TM}_i^m}(\gamma_m) \quad (5)$$

其中,  $\text{BLER}_{\text{TM}_i^m}(\gamma_m) \in [0, 1]$  表示当采用传输模式  $\text{TM}_i^m$  时, 根据经历的信道质量  $\gamma_m$  所测量的块差错率 BLER。

最终, 网络  $m$  的效用函数为:

$$U^m = U_1^m(R_m, P_m) \cdot U_2^m(N_{u,\text{eff}}^{m,n}, N_c^{m,n}) \cdot U_3^m(P_m, \gamma_m) \quad (6)$$

## 2 信道质量估计

上述算法中, 涉及了信道质量的估计<sup>[13]</sup>, 主要是效用函数  $U_3^m(P_m, \gamma_m)$ 。为了简化实际应用, 使用一种信道质量估计的近似法, 减少计算成本。考虑可能经历的最差情况信道质量, 在该条件下进行估计。

这个近似法基于 CIR (Carrier-to-Interference Ratio) 值, 其中 CIR 值通过基于干扰用户的传播模型进行预测。获得有用功率时, 假设是最差的情况, 即用户位于小区边缘, 服务基站位于小区中心。考虑最差的情况是为了保证即使在最不济的情形下, 选择该 RAT 的用户实际性能不比基于信道质量估计的性能差。

估计干扰功率时, 分 FDMA/TDMA 系统和 CDMA 系统两种情况。

$$\text{CIR}_{\text{FDMA/TDMA}} = \frac{\frac{P_j}{L_p(d_j)}}{\sum_{k \in \Omega} \frac{P_k}{L_p(D_k)} + N_0 \cdot W} \quad (7)$$

其中,  $P_j$  为参考小区(小区  $j$ ) 有用信号的平均传输功率;  $L_p(d_j)$  为小区  $j$  中心到小区边缘的路径衰落(其距离等于小区半径  $d_j$ );  $\Omega$  为联合信道干扰小区的集合;  $P_k$  为  $k$  级干扰小区的平均干扰功率;  $L_p(D_k)$  为  $k$  级干扰小区的中心到复用距离  $D_k$  的路径衰落;  $N_0 \cdot W$  为接收端在参考小区内的热噪声,  $N_0$  为噪声功率频谱密度,  $W$  为信道带宽;  $L_p(\cdot)$  依赖于所选择的衰落模型, 不受该近似法约束。

$$\text{CIR}_{\text{CDMA}} =$$

$$\frac{\frac{P_j}{L_p(d_j)}}{\sum_{k \in \Omega} \frac{P_{T_k}}{L_p(D_k)} + \frac{(P_{T_j} - P_j)(1 - \alpha)}{L_p(d_j)} + N_0 \cdot W} \quad (8)$$

在 CDMA 系统中, 多径衰落会降低小区信道码之间的正交性, 从而产生小区内干扰, 正交因子  $\alpha$  会削弱小区内干扰,  $\alpha$  的典型取值为  $\alpha \in [0.4, 0.9]$ 。 $P_{T_j}$  和  $P_{T_k}$  分别代表小区  $j$  和  $k$  级干扰小区的总平均传输功率。这里只考虑一级干扰小区。

执行上述过程, 只需要知道干扰小区当前的传输功率和距离这些干扰小区的距离, 因此, 可以说这是一个较简单的估算当前候选 RAT 的 CIR 值的方法。还可以进一步简化模型, 假设所有的干扰小区位于特定的相等的距离, 并且干扰用户有一个额定的平均发射功率。这个简化模型可以将 CIR 值和干扰用户数建立直接的联系。

根据 CIR 值可以得出对应的 BLER, 具体可参照 3GPP 中的仿真研究<sup>[14]</sup>。

## 3 仿真实验

为了分析文中研究的算法, 用仿真工具对网络选择结果进行柱状图仿真, 从而对网络选择比例和资源分配进行讨论。

同时为了从数值上更形象地说明该算法对用户 QoS 感知的影响, 引入用户满意度参数, 经过多次网络选择仿真, 得出平均满意度曲线。首先, 使用一种简化方式, 将三个网络 GPRS、EDGE、HSDPA 的满意度分别量化为 0.5、0.75 和 1.0, 从客观上计算用户的平均满意度。因为从客观上来说, 接入网络的质量越好, 速率越高, 用户的满意度就越高。然后根据业务的 QoS 等级, 根据实际需求和各个网络服务质量, 参照 3GPP<sup>[15]</sup> 中的要求, 分析用户实际的满意度。

表 2 说明了仿真平台参数, 这里主要研究的是由 GPRS、EDGE、HSDPA 组成的异构网络, 小区半径为 500 m, 信道功率为 30 dBm, 路径衰落模型为奥村-Hata cost 231。

表 2 仿真参数表

参数	GPRS	EDGE	HSDPA
小区半径/m	500	500	500
信道/小区	4	4	4
复用因子	3	3	1
功率/信道/dBm	30	30	30
	奥村-Hata	奥村-Hata	奥村-Hata
路径衰落模型	cost 231( $f_c =$	cost 231( $f_c =$	cost 231( $f_c =$
	1.8 GHz)	1.8 GHz)	2.0 GHz)
热噪声/dBm	-121	-121	-107



图2、图3 为网络选择的结果百分比。图2 为基于吞吐量的一般网络选择算法,从图中可以看出网页浏览和电子邮件用户主要分布在 EDGE 和 HSDPA 网络,使得分布在较高速率网络的实时性要求较高的视频业务低于 50%,只能选择性能较差的 GPRS 或 EDGE 网络。尤其是 256 kbps 视频业务,远远不能满足用户的 QoS 需求。而网页浏览和电子邮件这些实时性不高的业务,虽然很好地满足了用户的 QoS 需求,却造成无线网络资源的分配不公平,造成了资源浪费。

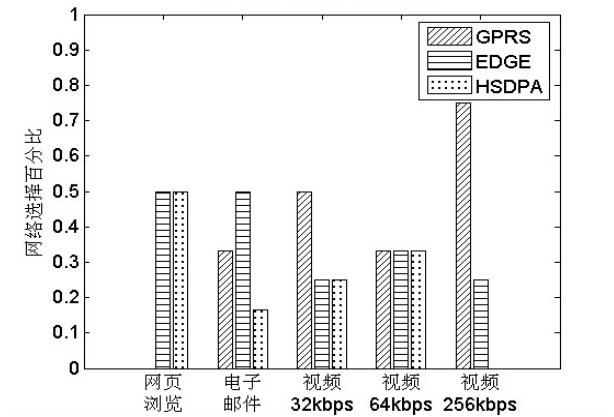


图2 基于吞吐量的网络选择结果

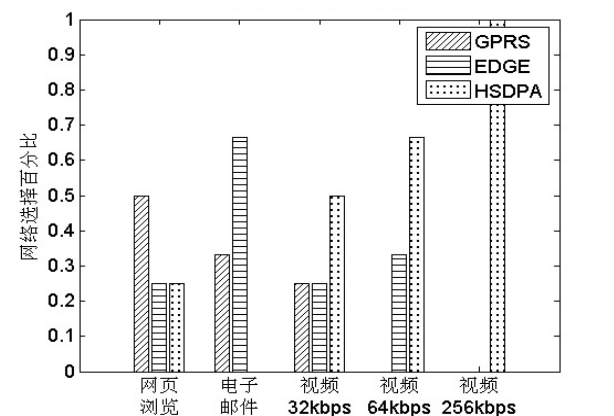


图3 基于 QoS 的网络选择结果

图3 为改进的基于用户 QoS 需求的网络选择结果。如图所示,网页浏览和电子邮件这些 QoS 等级不高的用户主要分布在 GPRS 和 EDGE,虽然这些网络的传输速率不高,但完全可以满足用户需求。视频业务主要分布在 EDGE 和 HSDPA 网络,较充分地满足了这些实时业务对网络的速率要求。这样,异构无线网络资源得到有效的分配,提高了整个网络的性能和流量均衡。

图4 显示了网络选择后的客观用户满意度。可以看到文中研究的算法总体满意度良好。虽然非实时业务的满意度略低,这是由于上面的归一化参数的设定,而事实上,因为网页浏览和电子邮件对网络的传输速率要求不高,一般的 GPRS 网络就可以满足用户需求,这样就可以把其他资源留给真正需要的用户,使资源

得到合理利用,网络流量均衡;同时可以看到 QoS 等级较高的视频业务的满意度得到了较大提升,即使是在 64 kbps 和 256 kbps 的情况下,用户满意度也高于 80%,大部分用户的需求都能得到满足。所以,文中研究的算法在一定程度上提高了用户 QoS 感知的满意度,尤其是实时性要求较高的业务。

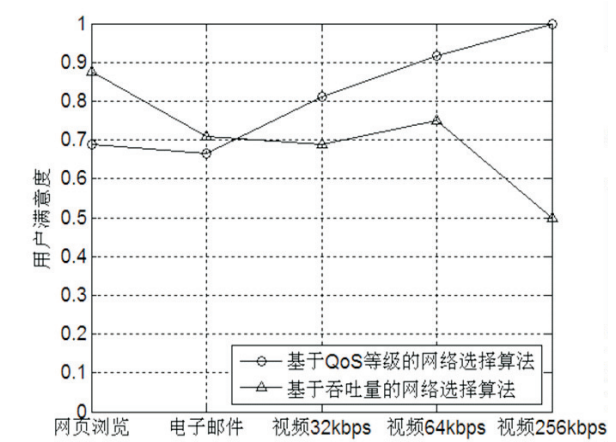


图4 用户满意度

4 结束语

文中研究的基于用户 QoS 的网络选择算法在异构无线网络的场景下,使不同的接入技术达到流量均衡,并在一定程度上提高了实时性要求较高的用户的满意度。仿真结果表明,该方法能够动态适应用户的需求变化和网络负载变化,在有效利用无线资源的同时,可以充分满足用户的服务质量需求。

参考文献:

- [1] 雷震洲. 欧盟 IST 计划中的无线通信研究趋势[J]. 中国无线电管理,2003 (2) :10-14.
- [2] 3GPP. Improvement of Radio Resource Management (RRM) across RNS and RNS/BSS(release 5) [S]. 2003.
- [3] Chamodrakas I, Martakos D. A utility-based fuzzy topsis method for energy efficient network selection in heterogeneous wireess networks[J]. Applied Soft Computing, 2012, 12 (7) : 1929-1938.
- [4] Guo Qiang, Zhu Jie, Xu Xianghua. An adaptive multi-criteria vertical handoff decision algorithm for radio heterogeneous network[C]//Proc of IEEE International conference on communications. [s. l. ]:IEEE, 2005:2769-2773.
- [5] 徐玖平, 吴巍. 多属性决策的理论和方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [6] 王康, 曾志民, 冯春燕, 等. 一种多属性决策的异构网络选择算法[J]. 无线电工程, 2009, 39(1) :1-3.
- [7] Chen Q B, Zhou W G, Chai R. Game-theoretic approach for pricing strategy and network selection in heterogeneous wire-

从表 2 可以看出, CurveletIQA 算法在准确性上优于列举的所有算法。由于白噪声失真会增加高频分量, 该方法没有进行能量补偿, 所以在白噪声失真下的评价值的 SROCC 要相对小一些。

从图 3 的散点图可以看出, CurveletIQA 算法在总体性能上与主观评价价值有高度的一致性。不过快速衰落的单调性还有待进一步提高。快速衰落图像由它们比特差错超过了模拟无线信道传输压缩的 JPEG2000 码流的过程中降解的扭曲图像组成。除了模糊和振铃效应, 它的失真主要表现在振幅和图像内容的相位变化。可以通过量化高频分量的损失衡量 FF 的图像质量。CurveletIQA 算法实现了约 0.906 3 的线性相关系数, 这是一个良好的预测效果。

## 4 结束语

该算法利用非对称广义高斯拟合曲波系数, 结合曲波方向信息, 找到曲波方向信息的能量分布和图像失真的统计相关性, 在曲波域对无参考图像进行质量评估。同时采用布谷鸟搜索算法优化的 BP 神经网络与曲波域相结合的方法对无参考失真图像进行预测。布谷鸟搜索算法优化后的 BP 神经网络在预测时大大增加了预测值的准确性, 其预测结果与主观评价方法有高度的一致性。该模型是模块化的, 可以很容易地扩展超出设定的失真类型, 同时该算法具有可以轻松地与曲波为基础的图像分析模块整合的优势。重要的是它没有针对特定的失真类型提取统计特征值, 而是提取可以测量多种失真类型的统计特征。

## 参考文献:

[1] Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, et al. A no-reference perceptual blur metric [C]//Proceeding of international conference on image processing. Genimedia; IEEE Computer Society, 2002: 57-60.

(上接第 85 页)

less networks [J]. IET Communications, 2011, 5(5): 676-682.

[8] 姜永, 陈山枝, 胡博. 异构无线网络中基于 Stackelberg 博弈的分布式定价和资源分配算法 [J]. 通信学报, 2013, 34(1): 61-68.

[9] Shi Zheng, Zhu Qi. Radio resource management scheme for heterogeneous wireless networks based on access proportion optimization [J]. Journal of Communications and Networks, 2013, 15(5): 527-537.

[10] 梁立涛, 纪阳, 张平. 基于模糊层次分析法的异构系统网络选择算法 [J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(2): 71-75.

[2] Pan F, Lin X, Rahardja S, et al. Using edge direction information for measuring blocking artifacts of images [J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2007, 18(4): 297-308.

[3] Winkler S, Susstrunk S. Visibility of noise in natural images [J]. Proceeding of SPIE, 2004, 5292: 18-22.

[4] Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, et al. Perceptual blur and ringing metrics: application to JPEG2000 [J]. Signal Processing: Image Communication, 2004, 19(2): 163-172.

[5] Sheikh H R, Bovik A C, Cormack L. No-reference quality assessment using natural scene statistics: JPEG2000 [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14(11): 1918-1927.

[6] 楼斌, 沈海斌, 赵武锋, 等. 基于自然图像统计的无参考图像质量评价 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(2): 248-252.

[7] Moorthy A K, Bovik A C. Blind image quality assessment: from natural scene statistics to perceptual quality [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2011, 20(12): 3350-3364.

[8] Mittal A, Moorthy A K, Bovik A C. No-reference image quality assessment in the spatial domain [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(12): 4695-4708.

[9] 焦李成, 侯彪, 王爽, 等. 图像多尺度几何分析理论与应用—后小波分析理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.

[10] Starck J L, Cands E J, Donoho D L. The curvelet transform for image denoising [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2002, 11(6): 670-684.

[11] Liu Lixiong, Dong Hongping, Hua Huang, et al. No-reference image quality assessment in curvelet domain [J]. Signal Processing: Image Communication, 2014, 29: 494-505.

[12] Seshadrinathan K, Bovik A C. Motion-tuned spatio-temporal quality assessment of natural videos [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2010, 19(2): 335-350.

[13] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE image quality assessment database release2 [EB/OL]. 2005. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.

[11] Gao Yayu, Sun Xinghua, Dai Lin. Throughput optimization of heterogeneous IEEE 802.11 DCF networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2013, 12(1): 398-411.

[12] 刘洋, 戎蒙恬, 许建华, 等. GPRS 通信系统中链路自适应的性能分析 [J]. 通信技术, 2002(10): 45-46.

[13] 孟超, 衡伟, 王汗青. 异构网融合中基于 RBIR 的物理层抽象算法 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2012, 42(4): 588-592.


[14] 3GPP. Digital cellular telecommunications sysm (phase 2+); background for radio frequency (RF) requirements [S]. 2000.

[15] 3GPP. Services and service capabilities [S]. 2007.

# 异构网络中基于用户QoS的网络选择算法研究

作者：[周宇清](#)，[刘胜美](#)，[ZHOU Yu-qing](#)，[LIU Sheng-mei](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院](#)，[江苏 南京](#)，[210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：[2015\(7\)](#)

引用本文格式：[周宇清](#)，[刘胜美](#)，[ZHOU Yu-qing](#)，[LIU Sheng-mei](#) [异构网络中基于用户QoS的网络选择算法研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)