



研究与开发

基于协同学的异构无线网络选择算法

骆冉^{1,2}, 赵夙^{1,2}, 朱琦^{1,3}

- (1. 南京邮电大学通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003 ;
2. 东南大学移动通信国家重点实验室, 江苏 南京 210003 ;
3. 南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘 要: 终端接入的网络需要满足各类业务需求, 对此提出了一种基于协同学的异构无线网络选择算法。该算法将终端网络选择看作一个系统化的问题, 可选网络是一个复合系统, 终端上运行的每一种业务都是一个子系统, 依据熵的概念得到复合系统的熵值, 熵值的大小反映了子系统之间的协同度, 进而体现了网络的整体性能。仿真结果表明, 在终端多业务的情况下, 基于所提算法选择的网络业务 QoS 满意率达到了 95%, 比基于 TOPSIS 算法选择的网络业务 QoS 满意率提升了近 4 倍, 能够很好地解决多业务终端网络选择问题。

关键词: 多业务终端; 协同学; QoS 满意率; 网络选择

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017092

Network selection algorithm based on synergetic for heterogeneous wireless network

LUO Ran^{1,2}, ZHAO Su^{1,2}, ZHU Qi^{1,3}

1. College of Telecommunications & Information Engineering,
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China
2. National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210003, China
3. Jiangsu Key Lab of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

Abstract: A network selection algorithm based on synergetic for heterogeneous wireless network was proposed. The algorithm considered the network selection as a systematic problem. The optional network was a composite system and each kind of service running on the terminal was a subsystem. The entropy of the composite system was obtained according to the concept of entropy and it can reflected the degree of coordination among the subsystems, which in turn reflected the overall performance of the network. The simulation results show that the QoS satisfaction rate of services based on the proposed algorithm is 95%, while the QoS satisfaction rate of services based on the TOPSIS algorithm is only 25%, and the performance of the former is improved by nearly four times, indicating that the problem of multi-service terminal network selection can be solved by the proposed algorithm.

Key words: multi-service terminal, synergetic, QoS satisfaction rate, network selection

收稿日期: 2017-02-07; 修回日期: 2017-03-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61571234, No.61631020); 东南大学移动通信国家重点实验室开放研究基金资助课题 (No.2015D10)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61571234, No.61631020), Open Research Fund of National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University (No.2015D10)

1 引言

随着无线通信系统的发展,异构性已成为下一代无线网络最重要的特点之一。在异构无线网络中,通过融合不同的无线接入技术,网络覆盖范围、移动性支持、带宽和价格等资源可以相互得到补充,用户可以选择合适的网络获得最满意的服务质量(quality of service, QoS),因此,网络选择是一个重要的研究课题。

目前解决异构无线网络选择问题的算法有很多,其中最经典的是基于多属性决策的异构无线网络选择算法^[1-3]。常用的多属性决策方法包括层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)、熵权法(entropy weight, EW)、逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)以及灰色关联分析法(grey relational analysis, GRA)。多属性决策的优势在于能够综合考虑用户、终端、应用和网络4个方面对网络选择的影响,使得选择的结果更具合理性。有参考文献将多属性决策中的主观赋权法和客观赋权法相结合,这样既可以考虑到用户的主观偏好,又可以考虑到网络的属性差异。参考文献[4]将AHP和GRA进行综合,首先通过AHP得到主观上的属性权重,再根据GRA对候选网络进行排序。参考文献[5]是基于多属性和群组决策来选择网络,这种算法利用AHP和EW分别得到主观权重和客观权重,然后根据群组决策理论将这两种权重进行综合,最后依据性能函数选择网络。

如今终端可以实现的功能越来越多,这些功能按业务类型可以划分为多种,例如语音通信是会话类业务,网络游戏是交互类业务,视频节目是流媒体类业务。这些功能有时会同时进行,因此终端在接入或者切换网络时,需要同时考虑多种业务QoS要求,使得所有业务在此期间不会中断。前面所提到的算法都考虑终端只运行一种业务的情况,而参考文献[6-8]虽然对这种终端多业

务问题进行了研究,提出了几种改进的多属性决策异构网络选择算法,但是这些算法相比以往算法,仅仅多考虑了业务优先权这一影响因子,并没有使终端业务真正参与决策,且所选择的网络并没有使得业务满意率明显提高。对此,本文提出一种基于协同学(synergetic, SYN)的异构无线网络选择算法,将终端网络选择看作一个系统化的问题,候选网络作为一个复合系统,终端上运行的每一种业务都是一个子系统,通过子系统之间的协同度体现网络的整体性能。

2 系统模型

本文研究的异构无线网络场景如图1所示,该场景由UMTS、WLAN和WiMAX 3种无线接入技术组成,图1中阴影部分表示6个异构无线网络共同覆盖区域,用户在此区域内随机分布,假设每个用户终端同时运行多种业务。

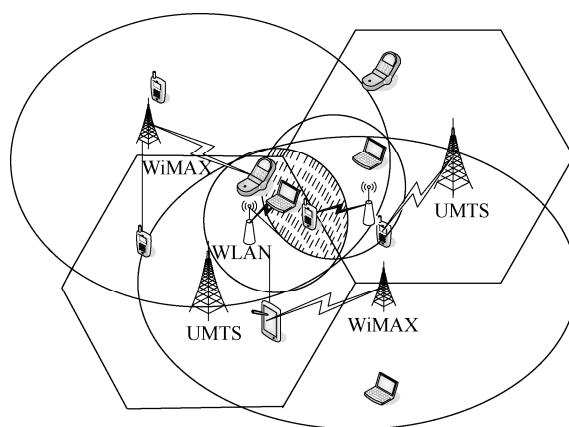


图1 异构无线网络场景

国际标准化组织(3GPP)将业务类型划分为4类,分别是会话类、流媒体类、交互类以及背景类。会话类业务是实时性的,对传输时延和时延抖动要求高,对分组丢失率要求低;流媒体类业务也是实时性的,但没有会话类业务那样严格,对吞吐量和时延抖动要求较高,对传输时延要求较低并允许一定的分组丢失率和分组错误率;交互类业务对传输时延的要求取决于人们的容忍度,对时延抖动没有要求但对分组丢失



率要求极高,理想化情况下要求零分组丢失率;背景类业务对传输时延没有要求,但同交互类业务一样,要求零分组丢失率。本文考虑 3 种业务类型,分别是会话类业务、流媒体类业务以及交互类业务,这 3 种业务具有优先权值 W_1 、 W_2 、 W_3 ,且 $W_1+W_2+W_3=1$ 。由于不同类型的业务 QoS 需求有很大差异,当为多业务终端选择网络时,如果终端所有业务都选择各自最合适的网络,将会大大增加耗电量,同时,目前绝大多数移动终端仅支持多种业务接入一个网络,因此,本文研究多业务终端接入单网络的问题。终端多业务并行传输模型如图 2 所示。

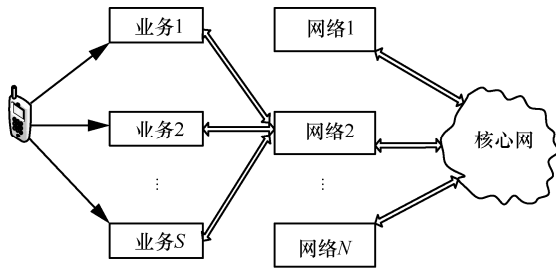


图 2 终端多业务并行传输模型

为了解决多业务终端网络选择问题,本文提出了基于协同学的异构无线网络选择算法,算法的功能结构如图 3 所示(虚线框内容表示使用的方法)。该结构主要包括 3 个模块:EW 模块,获得网络属性客观权重;AHP 模块,获得不同业务

下的网络属性主观权重;协同学模块,获得复合系统熵值以便对网络进行排序。

3 基于协同学的异构无线网络选择算法

为了得到更为合理的网络属性权重值,首先采用 EW 和 AHP 分别求得客观权重和主观权重。

对于 EW,假设有 N 个网络和 M 个网络属性,用户终端上存在 S 种业务类型。建立网络决策矩阵 $X = (x_{ij})_{N \times M}$, x_{ij} 表示第 i 个网络的第 j 个属性值。为了消除属性的量纲效应,需要对属性值进行规范化,通常采用的规范化方法是极差法^[9]。假设规范化后的评价矩阵为 $R' = (r'_{ij})_{N \times M}$,再对评价矩阵进行处理,得到第 i 个网络的第 j 个标准化属性值为:

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{i=1}^N r'_{ij}}, 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M \quad (1)$$

由信息熵的定义,得到属性 j 的信息熵为:

$$H_j = -\frac{\sum_{i=1}^N r_{ij} \ln r_{ij}}{\ln N}, 1 \leq j \leq M \quad (2)$$

从而属性 j 的客观权重为:

$$w_j^{EW} = \frac{1 - H_j}{M - \sum_{j=1}^M H_j}, 1 \leq j \leq M \quad (3)$$

在 AHP 中,首先建立判断矩阵 $A = (a_{pq})_{M \times M}$,

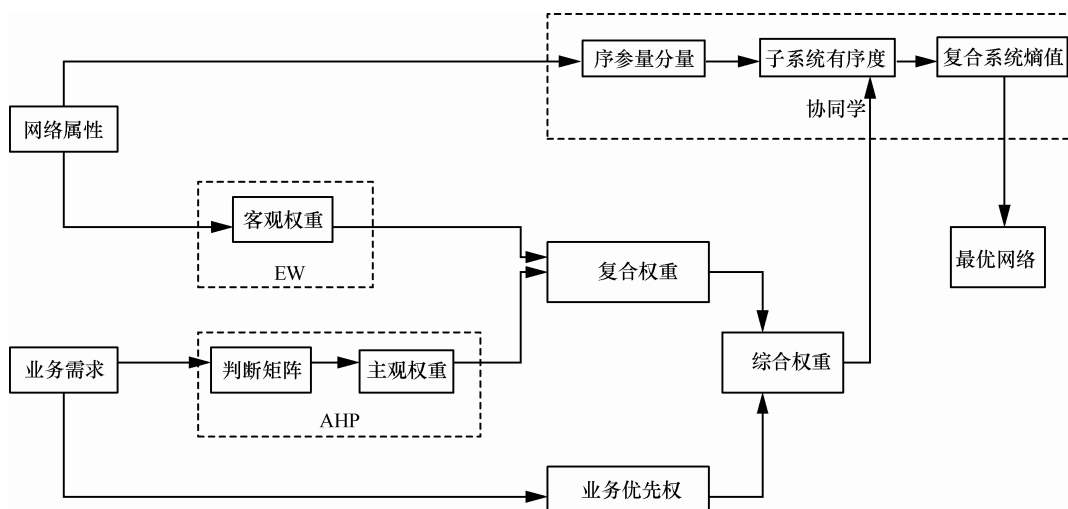


图 3 算法功能结构

其中 a_{pq} 表示第 p 个属性相对于第 q 个属性的重要程度, 然后求解判断矩阵的特征向量, 特征向量元素即属性主观权重。求解过程如下。

(1) 对判断矩阵 A 所有列向量做归一化处理得:

$$\tilde{a}_{pq} = a_{pq} / \sum_{p=1}^M a_{pq} \quad (4)$$

(2) 对归一化处理后的判断矩阵按行求和得:

$$\tilde{a}_p = \sum_{q=1}^M \tilde{a}_{pq} \quad (5)$$

(3) 将 $\tilde{a}_p$ 进行归一化得特征向量元素, 即属性 p 的主观权重为:

$$w_p^{\text{AHP}} = \tilde{a}_p / \sum_{p=1}^M \tilde{a}_p, 1 \leq p \leq M \quad (6)$$

协同学是研究系统从无序状态演变为有序状态的理论, 认为一个系统是由大量子系统构成的复合系统, 在一定条件下, 各子系统之间通过非线性的相互作用产生协同现象和相干效应, 使系统形成了具有一定功能的自组织结构, 并在宏观上形成新的有序状态。序参量是协同学的一个重要概念, 支配着各子系统的运动, 并通过自组织的方式形成系统最终的结构。

本文将协同学理论应用到异构无线网络选择领域中, 将多业务终端网络选择问题看作一个系统化的问题, 从网络和终端角度考虑网络选择, 把每一个可选网络看作一个复合系统, 并由会话类业务、流媒体类业务以及交互类业务这 3 个子系统构成。这里假设复合系统 $H = \{h_1, h_2, h_3\}$, 其中 h_1 、 h_2 和 h_3 分别表示会话类业务、流媒体业务以及交互类业务这 3 个子系统, 每一个子系统包含衡量网络性能的 4 种网络属性以及满足各自 QoS 需求的网络属性阈值, 这 4 种网络属性分别是带宽 (bandwidth, B)、分组时延 (packet delay, D)、分组抖动 (packet jitter, J) 和分组丢失率 (packet loss, L), 这 3 个子系统间的协同程度反映了可选网络的宏观性能, 协同度越大, 网络性能越好,

越能更好地满足终端多业务 QoS 需求。

考虑 N 个无线网络和 M 个网络属性, 将第 l 个子系统 h_l ($l=1, 2, 3$) 对应的序参量变量定义为 $y_l = (y_{l1}, y_{l2}, y_{l3}, \dots, y_{lM})$, 序参量变量由序参量分量 $y_{lj} = \{x_{ij}, \beta_{lj}\}$ ($i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$) 构成, 其中 x_{ij} 表示第 i 个网络的第 j 个属性值, β_{lj} 表示满足第 l 种业务 QoS 需求的网络属性 j 的阈值。

网络属性通常分为效益型属性和成本型属性, 效益型属性是指属性取值越大, 网络性能越好; 成本型属性是指属性取值越小, 网络性能越好。为了能够表示每个子系统序参量分量的有序度, 选用 sigmoid 效用函数^[10]对第 i 个网络属性值进行规范化。对于效益型属性, 序参量分量有序度定义为:

$$u_l(y_{lj}) = \begin{cases} 1 - e^{-\alpha_j(x_{ij} - \beta_{lj})}, & x_{ij} \geq \beta_{lj} \\ 0, & x_{ij} \leq \beta_{lj} \end{cases} \quad (7)$$

对于成本型属性, 序参量分量有序度定义为:

$$u_l(y_{lj}) = \begin{cases} 1 - e^{\alpha_j(x_{ij} - \beta_{lj})}, & x_{ij} \leq \beta_{lj} \\ 0, & x_{ij} \geq \beta_{lj} \end{cases} \quad (8)$$

其中, $1 \leq i \leq N, 1 \leq l \leq S, 1 \leq j \leq M$, 调节因子 α_j 越大, 函数曲线越陡峭。对序参量分量进行规范后, 得到的有序度满足取值越大, 对应的网络属性性能越好, 并且取值在 0 到 1 之间。

子系统的性能不仅取决于序参量分量有序度的大小, 还取决于所有序参量分量之间的协同程度, 通过对 $u_l(y_{lj})$, $j=1, 2, \dots, M$ 进行集成来反映子系统 h_l 的有序度, 集成方式定义为:

$$u_l(y_l) = \prod_{j=1}^M u_l(y_{lj})^{w_{lj}} \quad (9)$$

其中, w_{lj} 表示第 l 种业务类型下网络属性 j 的综合权重值, 满足:

$$w_{lj} = w_{lj}' \cdot W_l \quad (10)$$

其中, W_l 表示业务优先权, w_{lj}' 表示第 l 种业务类型下网络属性 j 的权重值, 是由 AHP 和 EW



得到的复合权重, 计算式为:

$$w_{lj}' = \theta \cdot w_{lj}^{AHP} + (1 - \theta) \cdot w_j^{EW} \quad (11)$$

其中, $\theta \in [0, 1]$ 是比例因子, w_j^{EW} 表示基于 EW 得到的第 j 个属性客观权重, w_{lj}^{AHP} 表示基于 AHP 得到的第 l 种业务类型下网络属性 j 的主观权重。

子系统 h_i 的有序度越大, 其性能表现越好。为了能够最终比较可选网络之间的性能优势, 需要知道所有子系统之间的协同程度, 根据参考文献[11], 系统的有序程度可以用信息论中熵值的大小来表示, 因此利用熵的概念反映子系统间的协同程度, 具体表示为:

$$U_i = - \sum_{l=1}^3 \frac{1 - u_l(y_l)}{3} \lg \frac{1 - u_l(y_l)}{3} \quad (12)$$

经过式 (12) 得到的复合系统熵值越小, 系统整体有序度越好, 那么对应的网络 i ($1 \leq i \leq N$) 就是终端所要选择的最优网络。

4 仿真与性能分析

为了能够对提出的算法进行性能分析, 本文考虑的异构无线网络仿真场景中包括 3 种无线接入技术, 分别是 UMTS、WLAN 和 WiMAX, 每

种无线接入技术都有两个网络, 如图 1 所示。选取的网络属性包括带宽 (B)、分组时延 (D)、分组抖动 (J) 和分组丢失率 (L), 每种业务的 QoS 需求见表 1^[12,13], 网络属性参数取值范围见表 2^[11]。由于外部因素的影响, 网络属性的大小总是在不断变化, 考虑到这一实际情况, 利用马尔可夫链来模拟这些属性的变化情况。假设这 4 种属性的马尔可夫状态数分别是 10、20、20 和 30, 随着时间的变化, 相邻两个状态之间的转移概率是 $P/2$, 状态保持不变的概率是 $1 - P$ 。同时, 本文考虑所有业务优先权相同, 即 W_1 、 W_2 、 W_3 的大小均为 $1/3$ 。

表 1 每种业务的 QoS 需求

业务类型	会话类业务	流媒体类业务	交互类业务
B/(kbit·s ⁻¹)	>32	>512	>128
D/ms	<150	<180	<500
J/ms	<20	<50	<100
L	<0.3%	<0.5%	<0.05%

假设仿真场景内的所有用户终端都同时进行 3 种业务类型, 分别是会话类业务、流媒体类业务以及交互类业务。3 种业务的 QoS 需求不同, 利用 AHP 建立的 3 种业务对应的判断矩阵见表 3。

表 2 网络属性参数

网络属性	UMTS1	UMTS2	WLAN1	WLAN2	WiMAX1	WiMAX2
B/(kbit·s ⁻¹)	100~2 000	100~2 000	1 000~11 000	1 000~54 000	1 000~60 000	1 000~60 000
D/ms	25~50	25~50	100~150	100~150	60~100	60~100
J/ms	5~10	5~10	10~20	10~20	3~10	3~10
L	0.02%~0.08%	0.02%~0.08%	0.02%~0.08%	0.02%~0.08%	0.02%~0.08%	0.02%~0.08%

表 3 不同业务对应的判断矩阵

业务类型	会话类				流媒体类				交互类			
属性	B	D	J	L	B	D	J	L	B	D	J	L
B	1	1/9	1/7	3	1	5	1/5	5	1	3	7	1/7
D	9	1	3	9	1/5	1	1/9	1	1/3	1	5	1/7
J	7	1/3	1	7	5	9	1	9	1/7	1/5	1	1/9
L	1/3	1/9	1/7	1	1/5	1	1/9	1	7	7	9	1

仿真中采用改进的 TOPSIS 算法与所提算法 (SYN) 进行比较。改进的 TOPSIS 算法与传统 TOPSIS 算法相比, 都先假设一个正理想方案和一个负理想方案, 通过计算候选方案与正、负理想方案的距离来排序, 但是前者还考虑了业务优先权影响因子, 从而能够将其应用到多业务终端选择网络的情况中。终端选择网络的过程仿真 40 万次, 最后取平均得到统计量的值。图 4~图 6 分别表示会话类业务、流媒体类业务和交互类业务下所选网络的 4 种属性值随状态转移概率 P 变化的仿真曲线, 常数曲线表示满足每种业务要求的属性阈值, 从图 4~图 6 可以看到分别由 SYN 和 TOPSIS 得到的网络属性值与属性阈值之间的关系。对于效益型属性, 要求属性值大于属性阈值, 并且属性值越大, 属性性能越好, 越能更好地满足多业务需求, 而成本型属性则与之相反。由图 4~图 6 可知, SYN 算法不管是吞吐量, 还是

分组时延、分组抖动以及分组丢失率, 性能皆优于 TOPSIS 算法, 能够更好地满足业务要求。这是因为利用 SYN 算法求得的属性综合权重是考虑主、客观两方面因素的结果, 同时协同学保证了各个属性之间的协同作用, 使终端在选择网络时能够兼顾到每一种属性, 从而使得最后的决策结果能够在分组时延、分组抖动以及分组丢失率等方面都能有较好的性能。

图 7 表示 40 万次网络选择过程中同时满足 3 种业务 QoS 需求的次数占总次数的比例随状态转移概率 P 变化的仿真曲线。由图 7 可知, 基于 SYN 算法选择的网络在满足多业务 QoS 需求方面的能力要远强于基于 TOPSIS 算法选择的网络, 且业务 QoS 满意率可以达到 95%。这是因为复合系统和子系统是整体和部分的关系, 3 个业务子系统一直处于合作状态, 任何一种业务 QoS 需求无法得到保证的话都会影响网络的整体性能, 即系统协

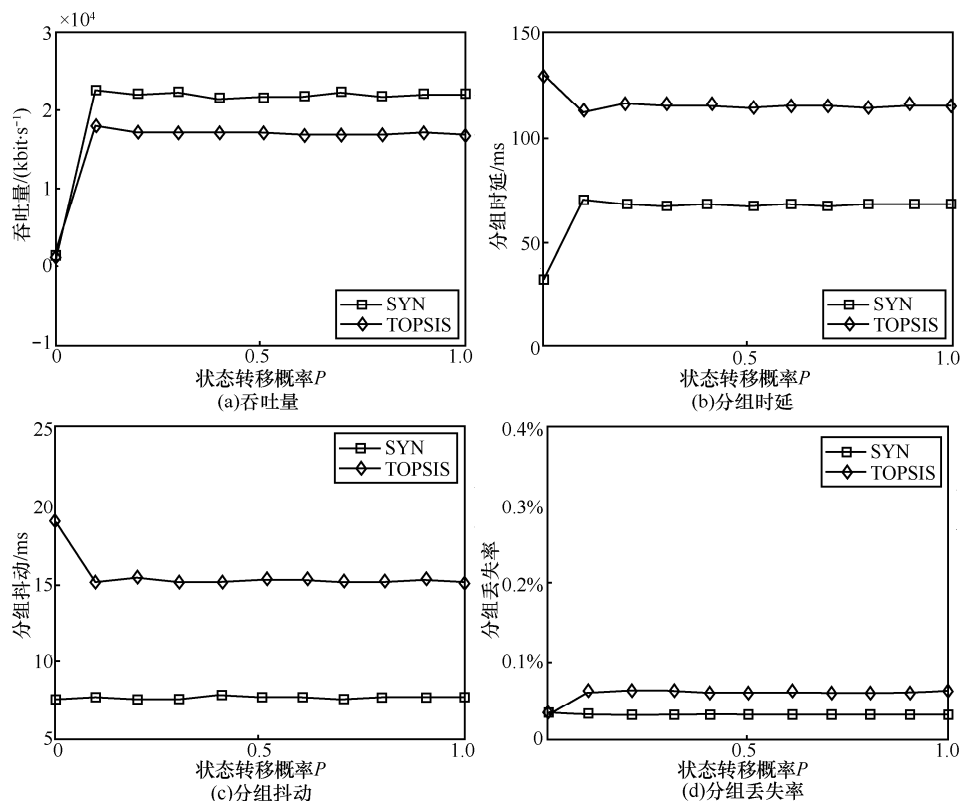


图 4 会话类业务网络属性值与阈值关系

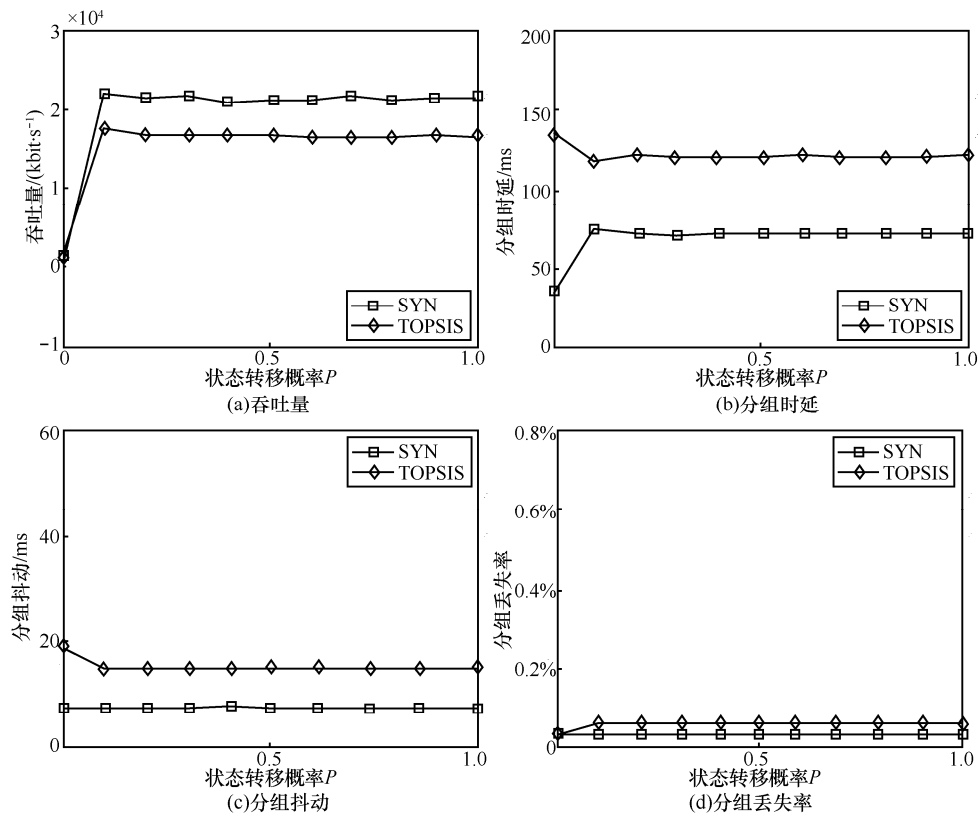


图5 流媒体类业务网络属性值与阈值关系

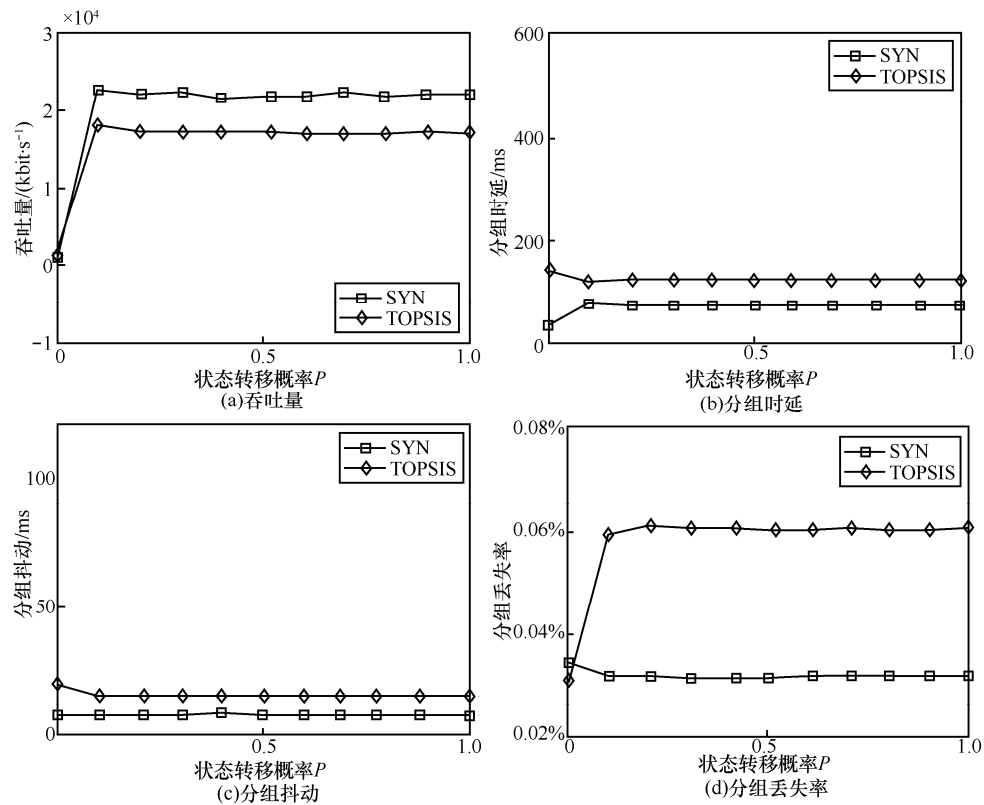


图6 交互类业务网络属性值与阈值关系

同度值不大,而终端选择的是协同度值最大的网络,因此 SYN 算法的业务 QoS 满意率较高。而 TOPSIS 算法只依据候选方案与正、负理想方案的距离来选择网络,考虑的是网络的整体性能,没有考虑具体每一种业务的需求,从而业务 QoS 无法得到保证, QoS 满意率就相对较低。

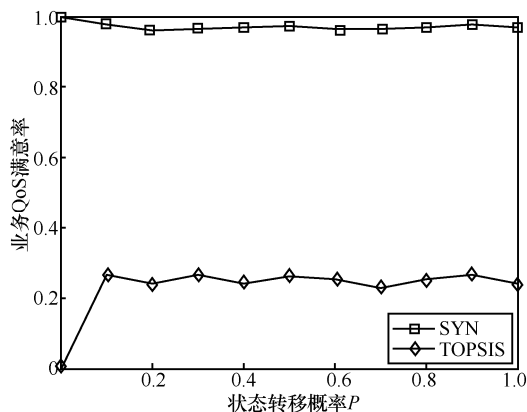


图7 业务 QoS 满足率

5 结束语

本文提出了基于协同学异构无线网络选择算法。由协同学将每个候选网络看作一个复合系统,用户终端上同时运行多种业务,每一种业务都是复合系统的一个子系统。利用 AHP 和 EW 得到每种业务下的网络属性综合权重,并与子系统的序参量分量结合得到子系统的协同度,最后根据熵的概念得到复合系统熵值,由熵值大小选择最好的网络。仿真结果表明,基于所提算法选择的网络性能更好,能够为终端业务提供满意的 QoS,在满足多业务 QoS 需求的能力上要远强于 TOPSIS 算法。

参考文献:

- [1] LAHBY M, CHERKAoui L, ADIB A. Network selection algorithm based on diff-AHP and TOPSIS in heterogeneous wireless networks[C]//2012 International Conference on Multimedia Computing and Systems, May 10–12, Tangier, Morocco. New Jersey: IEEE Press, 2012: 485–490.
- [2] 陶剑骅, 武向农, 蒋祥鹏. 基于多属性决策的异构网络选择算法比较研究[J]. 电视技术, 2015, 39(17): 79–83.

- TAO J H, WU X N, JIANG X P. Comparison of heterogeneous network selection algorithms based on multi-attribute decision making[J]. TV Technology, 2015, 39(17): 79–83.
- [3] MAROUA D, MOHAMMED O, DRISS A. VIKOR for multi-criteria network selection in heterogeneous wireless networks[C]//2016 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), October 26–29, Fez, Morocco. [S.l.:s.n.], 2016: 82–86.
- [4] FU J Q, WU J Y, ZHANG J L, et al. A novel AHP and GRA based handover decision mechanism in heterogeneous wireless networks[C]//Information Computing and Applications-First International Conference, ICICA 2010, October 15–18, Tangshan, China. [S.l.:s.n.], 2010: 213–220.
- [5] SHI Z, ZHU Q. Network selection algorithm based on multiple attribute decision making and group decision making for heterogeneous wireless networks[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2012, 19(5): 92–98.
- [6] FALOWO O E, CHAN H A. Rat selection for multiple calls in heterogeneous wireless networks using modified topsis group decision making technique[C]//2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September 11–14, Toronto, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2011: 1371–1375.
- [7] FALOWO O E, CHAN H A. Effect of call dynamics of a multiservice multimode terminal on rat selection in heterogeneous wireless networks[C]//Global Communications Conference, December 3–7, Anaheim, California, USA. New Jersey: IEEE Press, 2012: 5249–5253.
- [8] OBAYIUWANA E, FALOWO O. A new network selection algorithm for group calls over heterogeneous wireless networks with dynamic multi-criteria[C]//2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), January 9–12, Las Vegas, USA. New Jersey: IEEE Press, 2016: 491–494.
- [9] 廖炎平, 刘莉, 邢超. TOPSIS 中不同规范化方法的研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(5): 871–875, 880.
- LIAO Y P, LIU L, XING C. Study on different normalization methods in TOPSIS[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2012, 32(5): 871–875, 880.
- [10] DAHI S, TABBANE S. Sigmoid utility function formulation for handoff reducing access model in cognitive radio[C]//2013 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), September 4–6, 2013, Samui Island, Thailand. New Jersey: IEEE Press, 2013: 166–170.
- [11] ZHANG L, ZHU Q. Multiple attribute network selection algorithm based on AHP and synergetic theory for heterogeneous wireless networks[J]. Journal of Electronics (China), 2014, 31(1): 29–40.
- [12] 孙毅, 葛雨明, HERBORN S, 等. 异构网络中多模终端业务流分发技术研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(6): 1004–1013.
- SUN Y, GE Y M, HERBORN S, et al. Study on multimode terminal service flow distribution in heterogeneous networks[J].

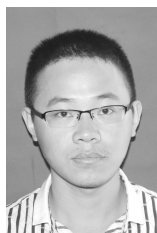


Computer Science, 2010, 33(6): 1004-1013.

- [13] 凌毓涛, 刘俐利, 吴建斌. 基于群决策的多业务无线接入选择方法[J]. 移动通信, 2014(3): 119-124.

LING Y T, LIU L L, WU J B. Multi-service wireless access selection method based on group decision[J]. Mobile Communications, 2014(3): 119-124.

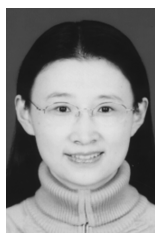
[作者简介]



骆冉(1992-), 男, 南京邮电大学通信与信息工程学院硕士生, 主要研究方向为异构无线网络选择技术。



赵夙(1964-), 女, 南京邮电大学通信与信息工程学院书记、副教授, 主要研究方向为移动通信与无线技术。



朱琦(1965-), 女, 南京邮电大学通信与信息工程学院教授, 主要研究方向为移动通信与无线技术。