

周亮,姜胜明,陈慧慧.一种海洋互联网接入选择方法及仿真[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2019,34(3):69-74.  
doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.03.010

Zhou L, Jiang S M, Chen H H. An Access Network Selection Algorithm of Marine Internet and Simulation [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, 34(3): 69-74. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.03.010

# 一种海洋互联网接入选择方法及仿真

周亮<sup>1,2\*</sup>, 姜胜明<sup>2</sup>, 陈慧慧<sup>2</sup>

(1. 上海健康医学院附属第六人民医院东院, 上海 201306; 2. 上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

**摘要:**海洋互联网是一种全新的网络架构,它由岸基网络、船舶自组网、卫星网络等融合而成,因此存在着多个接入网,用户需要从多个接入网中选择一个最合适的目标网络,选择方案需要考虑诸如用户偏好,业务类型以及备选接入网性能等因素.层次分析法是解决复杂的多指标决策问题的有效方法,其缺点是权重的设置有较大的主观性,而熵权法具有客观公平性,结合层次分析法与熵权法提出了一种海洋互联网接入选择方法 En-AHP,分别设置主观和客观权重,再通过效用函数选出目标网络.在 EXata 平台上进行了仿真,实验证明 En-AHP 算法总体提高了网络性能,降低了成本.

**关键词:**海洋互联网;接入方法;层次分析法;熵;仿真

**中图分类号:**TP393.03 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2019)03-0069-06

## An Access Network Selection Algorithm of Marine Internet and Simulation

Zhou Liang<sup>1,2</sup>, Jiang Shengming<sup>2</sup>, Chen Huihui<sup>2</sup>

(1. Shanghai Sixth People's Hospital East Campus Affiliated to Shanghai University of Medicine & Health Sciences, Shanghai 201306, China;

2. Information Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Marine Internet is a new network architecture, which is composed of shore-based network, ship ad hoc network and satellite network. Therefore, there are many access networks. Users need to choose a most suitable target network from multiple access networks. The selection scheme needs to consider such as user preferences, service types and network performance of alternative connection, and other factors. Analytic hierarchy process (AHP) is an effective method to solve the complex multi index decision problem. Its disadvantage is that the weight has greater subjectivity, and the entropy weight method has objective fairness. Combining the analytic hierarchy process and entropy weight method, a Marine Internet access selection method En-AHP was proposed, which set subjective and objective weights respectively, and then used the utility function to select the target network. The simulation was carried out on the EXata platform, and the experiment results show that En-AHP algorithm improves the network performance and reduces the cost.

**Keywords:** marine internet; access method; analytic hierarchy process; entropy; simulation

收稿日期:2018-04-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61472237);国家自然科学基金联合基金资助项目(U1701265);上海市第六人民医院东院资助项目(DY2018013)

\*通信作者, E-mail: lzhou@shmeea.cn

21世纪是海洋世纪,实现海洋信息化是时代的要求,而海洋互联网是实现海洋信息化的基础,积极发展海洋互联网技术有着深远的意义.目前对海洋互联网的研究还处于起步阶段,在文献[1]中姜胜明等人提出了一种基于异构网络融合的海洋互联网架构,在该架构中,存在着多个接入网,主要包括岸基网络,船舶自组网,高空通信平台,卫星网络等,网络用户需要从多个接入网中选择一个最适合自己的作为接入网,选择方案需要考虑诸如用户偏好,业务类型以及备选接入网性能等因素,显然这是一个基于多指标的决策问题.在多种接入网共存的环境里选择一个作为目标网络,解决该问题的总体思想是提出一个数学算法对各指标赋予权重,借由效用函数计算备选网络的综合效用值,最后选出效用值最大的接入网作为最优解.文献[2]提出了一种简单加权算法(SAW Additive Weighting, SAW),该算法实现比较简单.文献[3]中的层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)以及文献[4]的乘数指数加权算法(Multiplicative Exponent Weighting, MEW)都可以用来解决异构网络的接入选择问题,这些算法存在的共同问题是权重<sup>[5]</sup>的赋值过于依赖于操作者的主观经验.本文在以上研究的基础上,结合层次分析法与熵权法分别设置主观和客观权重,再通过效用函数选出目标网络.

# 1 基于复合权重的接入网选择算法设计方案

## 1.1 算法框架介绍

层次分析法是美国运筹学家匹茨堡大学教授 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代初提出解决多指标决策问题的方法<sup>[6-9]</sup>,其优点是灵活且实用,已经得到广泛的应用,缺点是决策因子的权重设置具有很大的主观性;而熵权法具有客观公平性,能客观判断判决指标的变化情况,因此本文结合这 2 个算法来处理海洋互联网环境中的接入选择问题.图 1 给出了复合算法的框架.

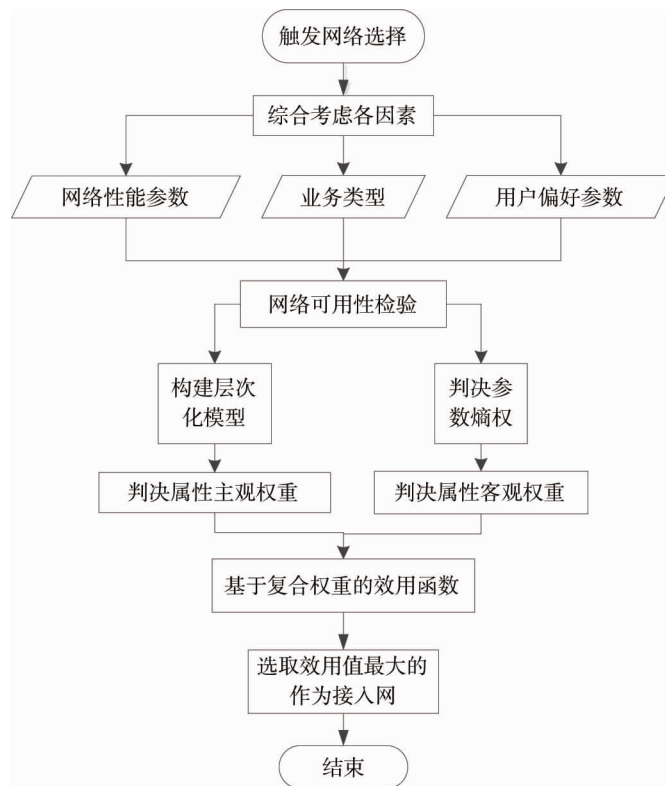


图 1 网络选择算法架构

## 1.2 基于层次分析法的网络选择模型

影响海洋互联网接入选择<sup>[10-11]</sup>的因素较多,通盘考虑所有影响因素,是不现实的.我们着重考虑几个重要的因素作为指标,采用 AHP 算法建立层次化模型,在准则层考虑用户偏好,子准则层考虑应用类型对网络性能的要求<sup>[12-14]</sup>.

经过分析,画出基于网络选择问题的整体多级层次化模型,如图 2 所示.该模型中目标层包含 QoS 优先、价格优先的 2 种模式,表示用户的不同偏好;中间的准则层为 QoS,网络可用负载、价格因素,对应不同的权重<sup>[15]</sup>;另外,其中 QoS 准则下的子准则层包含了时延、抖动、丢包率、速率等因素,同样的因素对应不同的业务类型的权重不同;决策层则是备选接入网集合<sup>[16]</sup>.

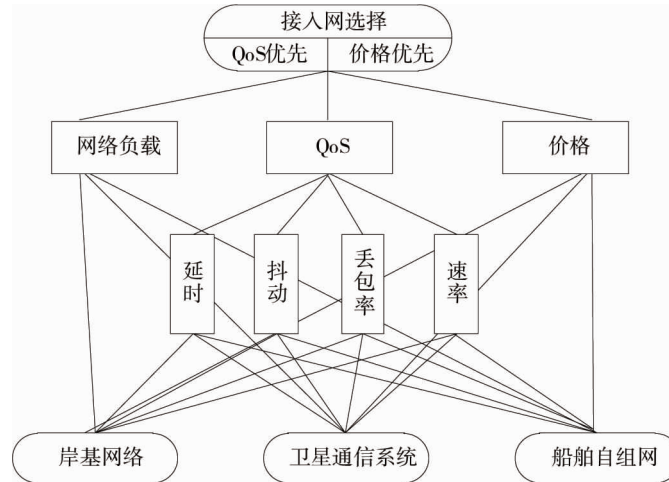


图 2 网络选择层次化模型

接着利用各层次单排序权重计算层次总排序权重.按照层次总排序的计算方法,求得不同用户偏好模式、不同业务类型下各指标的层次总排序,即求时延( $\alpha_1$ )、抖动( $\alpha_2$ )、丢包率( $\alpha_3$ )、速率( $\alpha_4$ )、负载( $\beta$ )、价格( $\gamma$ )基于不同情况下的主客观权重向量:

$$W_1 = \{\omega'_{\alpha_1}, \omega'_{\alpha_2}, \omega'_{\alpha_3}, \omega'_{\alpha_4}, \omega'_{\beta}, \omega'_{\gamma}\}. \tag{1}$$

式中: $W_1$  表示 AHP 计算出来的权重矩阵; $\omega'_{\alpha_1}, \omega'_{\alpha_2}, \omega'_{\alpha_3}, \omega'_{\alpha_4}, \omega'_{\beta}, \omega'_{\gamma}$  分别表示时延( $\alpha_1$ )、抖动( $\alpha_2$ )、丢包率( $\alpha_3$ )、速率( $\alpha_4$ )、负载( $\beta$ )、价格( $\gamma$ )基于不同情况下的主客观权重向量.

在逐层建立好层次化模型后,先计算单层的权重相连,最后计算得出层次总权重.由于判决矩阵是决策者自己主观设置的,有一定的局限性.

### 1.3 基于信息熵的客观权重

为了消除由 AHP 的获取的层次总权重存在的主观片面性,本文引入熵权作为判决的客观权重.在计算熵权前,先无量纲化判决属性,下面介绍判决属性的无量纲化的方法<sup>[17]</sup>.

在一个具有  $m$  个备选网络方案,  $n$  个网络指标的决策问题中,给定的参数评估矩阵为

$$R = \begin{pmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \cdots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \cdots & r'_{mn} \end{pmatrix}. \tag{2}$$

式中: $R$  表示参数评估矩阵.网络参数指标有的越小越好,如时延;还有的是越大越好,如速率.为了统一描述 2 类指标的变化趋势,需要归一化处理.

网络参数中的时延( $\alpha_1$ )、抖动( $\alpha_2$ )、丢包率( $\alpha_3$ )、速率( $\alpha_4$ )、可用负载( $\beta$ )和网络价格( $\gamma$ )被选为判决指标.其中时延、抖动、丢包率、网络价格越小越好,其归一化式为

$$r_{ij} = \frac{\max(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj}) + \min(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj}) - r'_{ij}}{\max(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj}) + \min(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj})}. \tag{3}$$

而速率、可用负载为越大越好型,可以采用如下公式进行归一化处理:

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\max(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj}) + \min(r'_{1j}, r'_{2j}, \dots, r'_{mj})}. \tag{4}$$

参数无量纲化后,获得标准化后的评估矩阵  $R$ :

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

然后计算得出网络属性对应熵权,组成客观权重向量  $W_2$ :

$$W_2 = \{ \omega''_{\alpha_1}, \omega''_{\alpha_2}, \omega''_{\alpha_3}, \omega''_{\alpha_4}, \omega''_{\beta}, \omega''_{\gamma} \}. \quad (6)$$

#### 1.4 效用函数

基于主客观权重相结合的选择算法同时从用户角度和网络管理角度考虑:首选综合考虑用户喜好和不同业务对网络性能的不同要求,利用 AHP 算法计算各指标的主观权重;接着利用熵权法反映各指标间的动态竞争关系,从客观立场减少主观判断带来的误差<sup>[18]</sup>.主客观相结合的复合算法,使得网络选择过程更加合理,有更好的鲁棒性.复合权重的形式下:

$$\omega_j = \theta \omega'_j + (1 - \theta) \omega''_j, \quad j = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta, \gamma. \quad (7)$$

$$W = \{ \omega_{\alpha_1}, \omega_{\alpha_2}, \omega_{\alpha_3}, \omega_{\alpha_4}, \omega_{\beta}, \omega_{\gamma} \}. \quad (8)$$

式中: $\theta \in (0, 1)$ ,为方便计算,在本文中取  $\theta = 0.5$ .在具有  $n$  个候选网络的情况下,网络参数归一化的评估矩阵为  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ,我们定义每个网络的效用如下:

$$U = [u_1, u_2, \dots, u_n] = R \cdot W^T. \quad (9)$$

式中: $R$  表示评估矩阵; $W^T$  表示权重矩阵转置.

$$u_i = \sum_j (\omega_j \cdot r_{ij}), \quad j = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta, \gamma, i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

最后,选择效用值最高的网络为切换接入网,即:

$$u_{\text{Best}} = \operatorname{argmax}(u_j), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

式中: $u_{\text{Best}}$  表示最佳效用值; $u_j$  表示效用值.

## 2 仿真及分析

为验证所提出的接入选择方法的性能,在 EXata 平台上对复合权重 En-AHP 与简单加权法 SAW 和未改进的 AHP 算法进行了仿真对比分析<sup>[19-20]</sup>.为模拟真实的海洋场景,在仿真场景中导入了东海洋山深水港某时刻的船舶分布图,分析了在多个接入网(岸基网络、卫星网和船舶自组网)存在的情况下用户的接入网选择策略<sup>[21]</sup>.场景总共包含 29 艘船只,和 5 个其他基础设施和网络设备.船舶移动采用随机移动模型,速率在 6~13 m/s.场景的仿真时间为 30 s,应用类型为 CBR,数据包大小为 512 bytes,最大数据包数为 500 个.我们一共进行了 10 次仿真实验,结果取平均值.通过实验和文献调研取得的接入网性能参数<sup>[22]</sup>如表 1 所示.

表 1 备选网性能参数

网络参数	时延/ms	抖动/ms	丢包率/%	速率/Mbps	可用负载/%	价格/元
卫星网	275	0.001	0.01	0.24	95	2 000
岸基网络	85	14.00	6.39	23.00	85	3
船舶自组网	15	10.00	13.00	13.00	90	1

如图 3 所示,仿真时间和数据包大小保持不变,随着发包速率的降低,即发包总数在降低,两种链路的吞吐量总体呈现下降趋势.发送间隔 0.8 s 以后趋势变得平缓,数据包发送速率对单位时间的吞吐量影响逐渐减低.EN-AHP 的单位时间的吞吐量始终比 SAW 及未改进的 AHP 要高,这是因为 EN-AHP 中经过多跳的船舶自组网,而且 EN-AHP 中岸基网络比 SAW 及未改进的 AHP 中的卫星通信的吞吐量要高.因此,EN-AHP 的数据传输性能较好.

如图4所示,SAW算法的端到端时延始终比EN-AHP要高.这里的数据包大小和总数量相同,因此传输距离是主要变量.虽然EN-AHP选择经过船舶自组网,数据船舶间的多跳交互增加了时延,但是SAW及未改进的AHP中的卫星通信系统的时延过于大,占了主要比重.随着数据包发送速率降低,SAW及AHP的端到端时延基本保持平稳,基本维持在0.29 s,因为卫星高度很高,SAW算法的传输时延主要受卫星系统影响,而卫星通信的特点是时延稳定.而EN-AHP的数值稳定在0.08 s左右,与AHP算法差异不大,受到船舶移动的影响,端到端时延上下波动.

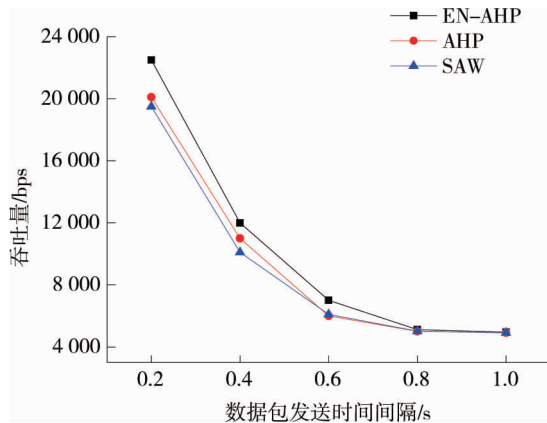


图3 吞吐量对比

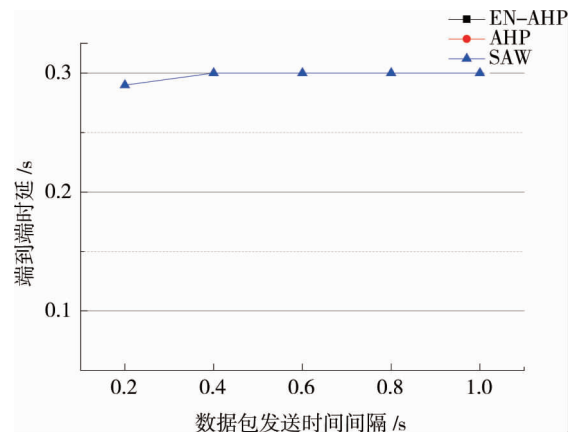


图4 端到端时延

如图5所示,EN-AHP的丢包率始终要高于SAW及AHP,船舶自组网中节点的移动使拓扑变化导致链路状态不稳定,会导致丢包率的增加,同时卫星通信系统较于自组网和岸基网络具有更加良好的稳定性.随着时间间隔(Interval)的增加,数据包发送速率下降,3种算法的丢包率总体呈下降趋势,并在数据发送间隔为1 s时达到最低. EN-AHP在数据发送间隔为0.2 s时为丢包率最高点,数据包发送速率较大,节点的移动导致的网络拓扑变化可能引起链路不稳定.考虑到卫星通信系统比较稳定,所以SAW丢包率小而且变化小.

无论什么业务类型,数据发送间隔是多少,EN-AHP的效益值都明显高于SAW及未改进的AHP.因此,总体来说EN-AHP优于SAW及AHP.

### 3 结论

1) 考虑到用户的不同喜好和不同业务对网络性能的不同需求,提出一种基于复合权重的接入网选择算法,克服了AHP算法主观性太强的缺点.

2) EN-AHP算法选择的接入网的总体网络性能更优越,且成本更低.

3) 复合算法在海洋互联网接入网选择问题中有普遍适用性,可以进一步推广到其他异构网络中,具有较好的应用价值.

#### 参考文献:

- [1] Jiang S. On the marine internet and its potential applications for underwater inter-networking[C]//8th ACM International Conference on Underwater Networks and Systems, 2013:1-2.

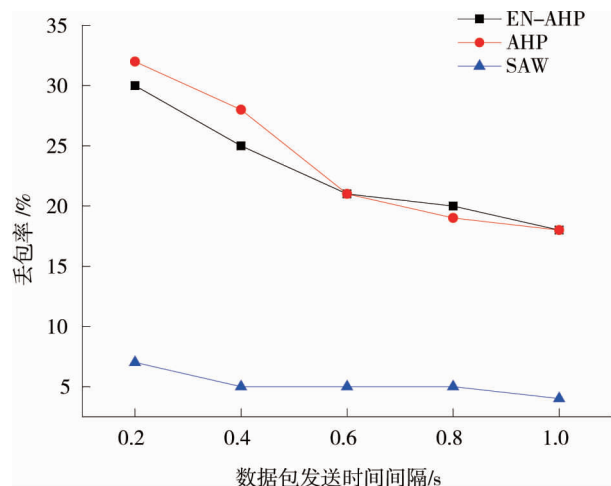


图5 丢包率对比

- [2] Kaliszewski I, Podkopaev D. Simple additive weighting—A metamodel for multiple criteria decision analysis methods[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 54: 155–161.
- [3] Zhou L, Jiang S. A composite weight based access network selection algorithm in marine internet[C]//Second IFIP TC 12 International Conference, 2017:435–444.
- [4] 蔡佳,黄长强,井会锁,等.基于指数加权的改进衰减记忆自适应滤波算法[J].*探测与控制学报*,2013,35(4):21–26.
- [5] 钱志鸿,于新艺,许建华,等.基于车辆用户行为的异构网络垂直切换算法[J].*吉林大学学报(工学版)*,2019,49(2):614–623.
- [6] 钱志鸿,冯冬,王雪,等.基于负载均衡的M2M网络多径路由算法[J].*吉林大学学报(工学版)*,2016,46(3):934–940.
- [7] 马彬,毛步绚,谢显中.自组织异构网络中降低阻塞的垂直切换算法[J/OL].*北京邮电大学学报*, (2019(2):1/6) [2019-05-13].<https://doi.org/10.13190/j.jbupt.2018-145>.
- [8] 吕庆峰.基于熵值法和网络层次分析法的网络选择算法研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2013.
- [9] Saaty T L, Sodenkamp M. Making decisions in hierarchic and network systems[J]. *Int J Applied Decision Sciences*, 2008, 1(1):24–79.
- [10] Saaty T L. Decision Making with the analytic hierarchy process[J]. *Int J Services Sciences*, 2008,1(1):83–98.
- [11] Varma V K, Ramesh S, Wong K D, et al. Mobility management in integrated UMTS/WLAN networks[C]// IEEE International Conference on Communications, 2003:1048–1053.
- [12] Buddhikot M, Chandranmenon G, Han S, et al. Integration of 802.11 and third-generation wireless data networks[J]. *Physica C Superconductivity*, 2003, 1(s3/s4):503–512.
- [13] 张振浩,梁俊,肖楠,等.空天异构网络中基于Q学习的切换判决优化算法[J].*计算机工程*,2018,44(5):296–302.
- [14] 郎改平,徐玉滨,马琳.基于非合作博弈论的异构网络选择算法[J].*华南理工大学学报(自然科学版)*,2014,42(5):29–35.
- [15] 翁迟迟,齐法制,陈刚.基于层次分析法与云模型的主机安全风险评估[J].*计算机工程*,2016,42(2):1–6.
- [16] 赵琳,王小旭,孙明,等.基于极大后验估计和指数加权的自适应UKF滤波算法[J].*自动化学报*,2010,36(7):1007–1019.
- [17] 徐晨凯,高茂庭.使用LSA降维的改进ART2神经网络文本聚类[J].*计算机工程与应用*,2014(24):133–138.
- [18] 周其朋,冯嘉礼.基于定型映射和属性计算网络的港区道路监控模型[J].*现代计算机*,2013(9):3–8.
- [19] 杨力,刘程程,宋利,等.基于熵权法的煤矿应急救援能力评价[J].*中国软科学*,2013(11):185–192.
- [20] 周亮,姜胜明,李卓卡.一种海洋互联网系统架构及其仿真[J].*电脑知识与技术*,2018,14(7):48–50.
- [21] Scalable Network Technologies Inc. EXata-5.1-User's Guide[EB/OL]. (2017-05-16). <http://www.scalable-networks.com>.
- [22] 姜胜明.海洋互联网的战略战术与挑战[J].*电信科学*,2018,34(6):2–8.