

基于模糊综合评价法的仿真环境复杂度评估研究

靳同欣^{1,2}, 卢华燕³

(1.河北经贸大学管理科学与工程学院, 河北 石家庄 050061;

2.石家庄致顶计算机科技有限公司, 河北 石家庄 050046;

3.河北地质职工大学, 河北 石家庄 050081)

✉jtxcfl@qq.com; 153414139@qq.com



摘要: 近年来, 环境仿真成为仿真研究的一个热点。影响环境的因素众多, 为定量评估环境复杂度, 提出以层次分析法和模糊综合评价法为理论基础的多级指标综合评估方法对环境复杂度进行分析评估。通过对环境中的地形、电磁、障碍物和气象等主要因素进行考察, 建立目标层、准则层和方案层三级评价指标体系, 运用专家打分法建立评价指标矩阵, 并使用粒子群算法对指标矩阵进行一致性调整, 最后采用模糊综合评价法对各指标进行综合评价, 并结合指标权重计算得出不同应用场景下的环境复杂度, 为决策人员依据环境复杂度进行决策提供数据支持。

关键词: 环境复杂度; 层次分析法; 模糊综合评价法

中图分类号: TP311.5 **文献标识码:** A

Research on Complexity Evaluation of Simulation Environment based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

JIN Tongxin^{1,2}, LU Huayan³

(1. Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;

2. Shijiazhuang Zhiding Computer Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050046, China;

3. Hebei Geological Workers' University, Shijiazhuang 050081, China)

✉jtxcfl@qq.com; 153414139@qq.com

Abstract: In recent years, environmental simulation has become a research focus in simulation research. There are many factors that affect the environment. In order to quantitatively evaluate the environmental complexity, a multi-level index comprehensive evaluation method based on Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy comprehensive evaluation method is proposed. Through investigations of the main factors such as terrain, electromagnetism, obstacles and meteorology in the environment, the three-level evaluation index system of target layer, criterion layer and scheme layer is established, the evaluation index matrix is established by expert scoring method, and the consistency of the index matrix is adjusted by particle swarm optimization algorithm. Finally, the fuzzy comprehensive evaluation method is used to comprehensively evaluate each index. The environmental complexity under different application scenarios is calculated by combining the index weight to provide data support for decision makers to make decisions based on the environmental complexity.

Keywords: environmental complexity; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation method

1 引言(Introduction)

环境的复杂程度与多种不确定性相互关联、相互影响的因素相关, 在进行仿真时很难预料或模拟环境的变化^[1]。本文从影响因素是否复杂的角度对环境进行分析、研究, 得出地形、电磁、障碍物和气象为影响环境的主要因素。

本文使用层次分析法对影响环境的因素进行分析, 计算出各指标权重; 使用模糊综合评价法对各影响因素建立隶属度模型, 结合指标权重值进一步计算各因素的复杂度, 并根据复杂度评估准则, 分析同一复杂度在不同运用场景中所对应的复杂等级。

2 评价方法理论(Evaluation method theory)

2.1 层次分析法

层次分析法(AHP)是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂于20世纪70年代初提出的一种层次权重决策分析方法^[2-4],是一种对难以完全定量的复杂系统做出决策的模型和方法。首先将目标评价系统分解为多个能够形成递进式的目标或准则,然后将这些目标或准则构建成层次评价结构,形成指标体系。在此基础上,通过构造判断矩阵,并对判断矩阵进行归一化处理、一致性检验等,对各指标进行权重计算,为多目标、多准则的复杂决策问题提供决策方法^[5]。

2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种以模糊数学原理为基础,以定性和定量相结合的分析评估方法,常用于难以用数学方法精确描述的复杂问题。运用模糊数学法,可以很好地解决难以量化、信息缺失、决策目标层模糊的问题^[6-7]。

模糊综合评价法能够通过构造模糊矩阵,把所要反映的事物的模糊指标进行量化,并运用模糊变换原理,首先对各指标的权重进行计算,然后对各个指标进行全面、系统的综合评估^[8]。因此,这种方法可以很好地对定性指标进行量化分析。

2.3 粒子群算法

粒子群算法(PSO)是一种进化算法,是一种求得近似最优解的算法。粒子群算法具有一定的随机性,所以每次执行结果可能并不是一样的,这就意味着有时候可能得到更优解^[9]。使用基于粒子群算法对构造的判断矩阵进行修正,使判断矩阵一致性能够近似最优。

3 基于层次分析法的模糊综合评价(Fuzzy comprehensive evaluation based on analytic hierarchy process)

3.1 评价指标体系的建立

会对环境复杂度产生影响的因素有很多,在本研究中主要针对影响较大的因素进行模拟仿真。经分析,确定对环境影响较大的因素主要为地形、障碍物、电磁和气象,对这些因素进行指标划分^[10]如图1所示。

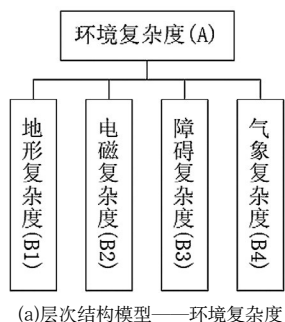


图1 评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system

3.2 判断矩阵构造与一致性调整

构造判断矩阵时,引入一种标度用于指标之间的量化比较,以“1—5”标度为例,指标*i*与指标*j*进行比较时,1、3、5分别表示指标*i*与指标*j*同等重要、重要、非常重要,2、4为上述重要性的中间值。当指标*j*比指标*i*重要时,则取上述标度的倒数^[11-12]。

采用和积法原理计算判断矩阵最大特征根和特征向量,分别为 $\lambda_{\max}$ 和 $\omega=[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$ 。构造判断矩阵时,因为人的主观性存在偏差,所以需要通过对两两比较得出的判断矩阵做一致性检验以提高权重计算的可靠性^[11-12]。当判断矩阵具有完全一致性时,最大特征根与判断矩阵的阶数相等,即 $\lambda_{\max} = n$,其余特征根都等于0,当判断矩阵不具有完全一致性时,即 $\lambda_{\max}$ 不等于 n ,此时,最大特征根 $\lambda_{\max}$ 与判断矩阵的阶数之差与 $n-1$ 的比值作为度量判断矩阵偏离一致性的指标。一致性指标CI表达式如下:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

其中, n 为矩阵的阶数。

完成对判断矩阵的一致性检验后,需要计算一致性比例CR,以判断矩阵是否满足一致性要求:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

通常情况下,当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵满足一致性要求;当 $CR > 0.1$ 时,判断矩阵不满足一致性要求,但可以采用粒子群算法,对判断矩阵做适当修正^[11-13],使判断矩阵满

足一致性要求。

环境复杂度矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 4 & 3 \\ 1/2 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=4.1323$, $CR=0.0495$, $\omega_A=[0.2229, 0.1494, 0.5136, 0.1141]^T$ 。

地形复杂度矩阵 B_1 :

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 3 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=4.2606$, $CR=0.0976$, $\omega_{B_1}=[0.2258, 0.01025, 0.3648, 0.3069]^T$ 。

电磁复杂度 B_2 和障碍物复杂度 B_3 无下级指标, B_2 和 B_3 均为1阶矩阵, 满足一致性要求。

气象复杂度矩阵 B_4 :

$$B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=4.1031$, $CR=0.0386$, $\omega_{B_4}=[0.3581, 0.3458, 0.1733, 0.1228]^T$ 。

工程条件矩阵 C_1 :

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1/4 & 1 & 2 & 2 & 5 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/4 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1/2 & 4 & 1 & 4 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/4 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 & 1/4 & 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/5 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=8.9387$, $CR=0.0951$, $\omega_{C_1}=[0.1873, 0.1826, 0.1580, 0.0691, 0.2010, 0.0568, 0.0827, 0.0626]^T$ 。

天然地貌矩阵 C_2 :

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 5 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 4 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1/5 & 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=7.7375$, $CR=0.0904$, $\omega_{C_2}=[0.2867, 0.2047, 0.1559, 0.1481, 0.0805, 0.0704, 0.0537]^T$ 。

保障条件矩阵 C_3 :

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 3 & 2 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 3 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=6.4994$, $CR=0.0793$, $\omega_{C_3}=[0.3199, 0.2332, 0.1705, 0.1116, 0.1071, 0.0578]^T$ 。

视射界条件矩阵 C_4 :

$$C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 & 3 \\ 1/2 & 1 & 4 & 3 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=4.1988$, $CR=0.0744$, $\omega_{C_4}=[0.4710, 0.3128, 0.1163, 0.0999]^T$ 。

空气条件矩阵 C_5 :

$$C_5 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=3.0103$, $CR=0.0089$, $\omega_{C_5}=[0.5396, 0.2970, 0.1634]^T$ 。

打击条件矩阵 C_6 :

$$C_6 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=3.0183$, $CR=0.0158$, $\omega_{C_6}=[0.3874, 0.4434, 0.1692]^T$ 。

通信条件矩阵为1阶矩阵, 其值为1, 计算得 $\lambda_{\max}=1.0000$,

$CR=0.0000$, $\omega_{C_7}=[0.3874, 0.4434, 0.1692]^T$ 。

投送条件矩阵 C_8 :

$$C_8 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得: $\lambda_{\max}=3.0536$, $CR=0.0462$, $\omega_{C_8}=[0.5278, 0.3325, 0.1396]^T$ 。

3.3 底层指标隶属度建模和计算

为完成环境复杂度评估, 需要从底层开始逐层向上分别计算各指标的复杂度。根据各指标在仿真中对环境影响情况的统计分析, 常用隶属度模型有成本型、效益型、双边型和开关型四种^[14-15]。底层指标隶属度函数如表1所示。

底层指标隶属度可通过专家对底层指标进行设置, 使用表1中相应的计算公式进行计算^[15]。

效益型指标主要包括河网密度(C_{12})、植被覆盖率(C_{15})、地质条件(C_{16})、高程(C_{21})、高差(C_{22})、高差分布(C_{23})、坡度(C_{24})、坡度分布(C_{25})、割裂度(C_{26})、割裂度分布(C_{27})、空气质量(C_{53})、气压(C_{61})、雷电(C_{71})、风力(C_{81})、降水(C_{82})。

成本型指标主要包括涵道密度(C_{11})、道路密度(C_{13})、

桥梁密度(C14)、铁路密度(C17)、中心设置条件(C31)、储备条件(C32)、有线线路(C34)、通视方位角(C41)、通视高低角(C42)、可射高低角(C43)、可射方向角(C44)、能见度(C83)。

双边型指标主要包括温度(C51)、湿度(C52)、日照(C63)。

开关型指标主要包括类机场条件(C18)、集结隐蔽区(C33)、技术保障(C35)、后勤保障(C36)、风向(C62)。其中，类机场条件(C18)当存在能够起落固定翼飞机的机场条件，取0，当只能起落运物起重机时，取0.5，当任何载人飞机均无法起落时，取1；集结隐蔽区(C33)当满足集结隐蔽区要求的取0，不能满足的取1；技术保障(C35)满足技术保障要求时隶属度取0，不能满足取1；后勤保障(C36)当具有自有水井时取0，无清洁水源时取1；风向(C62)当逆风时隶属度为1，顺风时隶属度为0。

表1 底层指标隶属度函数

Tab.1 Membership function of underlying indicators

序号	特点	计算公式
1	效益型：指标取值越大越好	$y = \begin{cases} 0, x \leq x_1 \\ \frac{x-x_1}{x_2-x_1}, x_1 \leq x \leq x_2 \\ 1, x > x_2 \end{cases}$
2	成本型：指标取值越小越好	$y = \begin{cases} 1, x \leq x_1 \\ \frac{x_2-x}{x_2-x_1}, x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0, x > x_2 \end{cases}$
3	双边型：指标取两边值最好，取中间值差	$y = \begin{cases} 1, x \leq x_1 \\ \frac{x_2-x}{x_2-x_1}, x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0, x > x_2 \\ \frac{x-x_3}{x_4-x_3}, x_3 \leq x \leq x_4 \\ 1, x > x_4 \end{cases}$
4	开关型	$y = \begin{cases} 1, x = 0 \\ 0, x = 1 \end{cases}$

3.4 中间层指标复杂度计算

3.4.1 地形复杂度

地形复杂度从底层指标逐级计算复杂度：

$$F_i = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

其中， F_i 表示地形复杂度； n 表示地形复杂度下级指标数； w_i 表示地形复杂度节点下第 i 个节点的权重值； f_i 表示地形复杂度节点下第 i 个节点的复杂度值。

3.4.2 电磁复杂度

定义电磁复杂度系数 DO ：

$$DO=FO \times TO \times SO$$

电磁复杂度为效益型指标，在计算隶属度时将评估对象得到的 DO 值代入效益型公式即可得到。当功率频谱达不到条

件时，按其上限赋值^[16-17]，其计算规则如表2所示。

表2 电磁复杂度系数计算规则

Tab.2 Calculation rules of electromagnetic complexity coefficient

序号	AP(功率谱密度)	DO
1	$AP < 0.5SO$	当 $DO < 0.1$ 时， $DO=0.05$
2	$0.5SO \leq AP < SO$	当 $DO < 0.1$ 时， $DO=0.05$ 当 $0.1 \leq DO$ 时， $DO=0.15$
3	$SO \leq AP < 2SO$	当 $DO < 0.1$ 时， $DO=0.05$ 当 $0.1 \leq DO < 0.3$ 时， $DO=0.15$ 当 $0.3 \leq DO$ 时， $DO=0.40$
4	$2SO \leq AP$	当 $DO < 0.1$ 时， $DO=0.05$ 当 $0.1 \leq DO < 0.3$ 时， $DO=0.15$ 当 $0.3 \leq DO < 0.5$ 时， $DO=0.40$ 当 $0.5 \leq DO$ 时， $DO=0.75$

3.4.3 障碍物复杂度

障碍物的障碍能力通过分析人员通过障碍区的时间获得，主要包括克服障碍物的时间和通过障碍区的时间。

(1)克服障碍物的时间。克服障碍区内障碍物的总时间 T_k 如下：

$$T_k = \sum_{i=1}^n x t_i$$

式中， t_i 为克服第 i 类障碍物所需时间(min)； n 为障碍种类总数； x 为人员克服障碍综合修正系数。

(2)通过障碍区的时间。通过障碍区的总时间(min) T_t 如下：

$$T_t = \frac{wL}{100}$$

式中， w 为人员通过障碍区的综合迟滞系数； L 为障碍区的纵深。

(3)障碍物的迟滞效能。障碍物的迟滞效能是指人员在一定的距离内通过有障碍区和无障碍区的时间比，其公式如下：

$$u = \frac{100(T_k + T_t)}{L}$$

式中， u 为障碍物的迟滞效能； T_k 为克服障碍的总时间(min)； T_t 为通过障碍的总时间(分钟)； L 为障碍区的纵深。

(4)归一化处理。当迟滞效能 $u > 2$ 时，障碍物复杂度为1；当迟滞效能 $u = 1$ 时，障碍物复杂度为0；当迟滞效能 $1 \leq u < 2$ 时，障碍物复杂度为 $u - 1$ ^[16]。

3.4.4 气象复杂度

气象复杂度的计算方法与地形复杂度相同，从底层指标逐级计算指标的复杂度：

$$F_a = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

式中, F_a 为气象复杂度; n 为气象复杂度下级指标数; w_i 为气象复杂度节点下第 i 个节点的权重值; f_i 为气象复杂度节点下第 i 个节点的复杂度值。

3.5 复杂度水平评价准则

地形复杂度、障碍复杂度、气象复杂度和电磁复杂度评价准则如表3—表6所示。

表3 地形复杂度评价准则

Tab.3 Evaluation criteria of terrain complexity level

等级	一级复杂度	二级复杂度	三级复杂度	四级复杂度
场景类型				
“H”形	0.00—0.60	0.60—0.75	0.75—0.90	0.90—1.00
“M”形	0.00—0.50	0.50—0.70	0.70—0.85	0.85—1.00
“L”形	0.00—0.40	0.40—0.60	0.60—0.80	0.80—1.00

表4 障碍复杂度评价准则

Tab.4 Evaluation criteria of obstacle complexity

等级	一级复杂度	二级复杂度	三级复杂度	四级复杂度
场景类型				
“H”形	0.00—0.50	0.50—0.75	0.75—0.90	0.90—1.00
“M”形	0.00—0.45	0.45—0.70	0.70—0.85	0.85—1.00
“L”形	0.00—0.40	0.40—0.65	0.65—0.80	0.80—1.00

表5 气象复杂度评价准则

Tab.5 Evaluation criteria of meteorological complexity

等级	一级复杂度	二级复杂度	三级复杂度	四级复杂度
场景类型				
“H”形	0.00—0.50	0.50—0.65	0.65—0.85	0.85—1.00
“M”形	0.00—0.45	0.45—0.60	0.60—0.80	0.80—1.00
“L”形	0.00—0.40	0.40—0.55	0.55—0.75	0.75—1.00

表6 电磁复杂度评价准则

Tab.6 Evaluation criteria of electromagnetic complexity level

等级	一级复杂度	二级复杂度	三级复杂度	四级复杂度
场景类型				
“H” / “M” / “L”形	0.00—0.10	0.10—0.30	0.30—0.45	0.45—1.00

3.6 评估结果

根据专家对各指标的评分和计算各指标权重,环境复杂度评估结果如图2和图3所示。



图2 环境复杂度评估结果

Fig.2 Environmental complexity assessment result

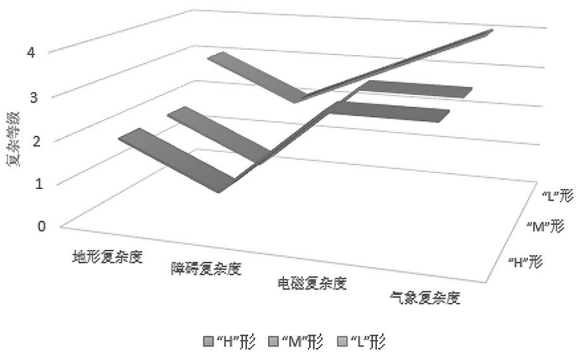


图3 环境复杂度等级分布

Fig.3 Distribution of environmental complexity level

4 结论(Conclusion)

影响环境的因素很多,本文使用层次分析法和模糊综合评价法对一些主要影响因素进行定量分析,并得出相同复杂度在不同应用场景中,复杂等级不同的结论,为依据环境复杂度进行决策的应用提供数据支持。本文提取的环境复杂度指标具有一定的代表性,但因为地域、应用场景和范围不同,可能会有更多因素影响环境的复杂度,所以对特定的环境因素有待更深入的研究。

参考文献(References)

[1] 张晨.基于GIS的信息量法在滑坡地灾易发性评价中的应用——以福建浦城区域滑坡地质灾害为例[J].能源与环境,2022(05):90—92.

[2] ARABAMERI A, PRADHAN B, REZAEI K, et al. Assessment of landslide susceptibility using statistical and artificial intelligence—based FR—RF integrated model and multiresolution DEMs[J]. Remote Sensing, 2019, 11(9):1—24.

[3] 刘晓.基于遥感与GIS的林芝中部地区地质灾害危险性评价研究[D].大连:辽宁师范大学,2019.

[4] 熊倩莹.基于1/5万地质灾害填图的区域地质灾害易发性及危险性的评价与区划[D].成都:成都理工大学,2015.

[5] 支朋飞,高颖,葛飞.战场电磁环境复杂度定量评估算法研究[J].微处理机,2014,35(03):40—44.

[6] 徐鑫,李晓.基于模糊综合评价法的供应链风险分析[J].皖西学院学报,2016,32(03):92—98.

[7] WANG F Z, HAN S M, LI Y Y, et al. A hierarchical fuzzy comprehensive evaluation algorithm for running states of an electromechanical system[J]. Systems Science & Control Engineering, 2021, 9(S1):103—113.

[8] LI J L, LIN S X, LI J Q, et al. Risk assessment method of loop closing operation in low-voltage distribution network based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Energy Reports, 2023,

- 9(S3):312-319.
- [9] 都东,田尧,王戈.基于改进粒子群的多级储备物资配送方案优化方法[J].指挥控制与仿真,2021,43(03):124-129.
- [10] 张晓东.基于遥感和GIS的宁夏盐池县地质灾害风险评价研究[D].北京:中国地质大学,2018.
- [11] 祝清,谭衢霖,周嘉琦,等.基于GIS和AHP的福建福安区域滑坡地质灾害危险性评价[J].测绘与空间地理信息,2021,44(05):25-30.
- [12] 杨天翼,赵强,王奎峰,等.基于层次分析法和熵权法综合评价山东省水生态安全[J].济南大学学报(自然科学版),2021,35(06):566-571,579.
- [13] 魏姣.复杂地形地物环境中电磁态势评估的实用方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2017.

(上接第57页)

以人工标注结果为准,对10组测试数据集按照本文2.1部分所述计算评价指标,结果如表2所示。双阈值分割、大津阈值分割在分割颈椎间盘时,由于无法界定颈椎间盘范围导致很大的误分割,即 *Pre* 值较低;而本文提出的算法充分利用颈椎间盘上下表面的三维空间信息,解决了颈椎间盘在水平面“不可见”及颈椎间盘边界难以界定的问题,使得分割得到的颈椎间盘更加精确,所以本文提出的算法拥有更高的 *Pre* 及 *Rec*。从整体性能来看,本文提出的方法在保持与其他方法差不多的像素准确率的前提下,拥有更高的精准率和召回率,所以本文提出的方法更优。

表2 分割结果评价指标

Tab.2 Segmentation results evaluation index

算法	像素准确率/%	精确率/%	召回率/%
大津法	99.78	32.73	81.64
双阈值法	99.71	66.35	88.55
本文提出的算法	99.94	90.90	92.40

4 结论(Conclusion)

在CT序列图中对颈椎间盘的分割是颈椎间盘三维分型的基础。本文针对颈椎CT序列图像,深入研究了其颈椎间盘的分割方法,根据颈椎间盘本身的特点,提出了一种半自动的颈椎间盘分割方法。在VS2010(Visual Studio 2010)+MFC(微软基础类库)平台下对本文提出的算法进行编程实现。实验结果表明,相比传统的大津法、双阈值法,本文提出的算法能以更高的准确率实现对颈椎CT序列图像中颈椎间盘目标的分割。

参考文献(References)

- [1] 曾淑芬.针刺治疗颈型颈椎病的临床研究[D].广州:广州中医药大学,2018.

- [14] 邹钊,李娅,李培林.电磁环境复杂度量化及展现方法[J].电子信息对抗技术,2018,33(06):63-66,75.
- [15] 王帅,李婷.多级指标下的战场电磁环境复杂度评价研究[J].装备环境工程,2021,18(02):108-114.
- [16] 郑均杰,王晓东.基于模糊综合评判法的海战场电磁环境复杂度研究[J].舰船电子对抗,2013,36(03):39-42,62.
- [17] 滕小虎.一种模糊综合评判的战场电磁环境复杂度评估方法[J].舰船电子工程,2018,38(05):151-153.

作者简介:

靳同欣(1982-),女,硕士,高级工程师.研究领域:管理信息化,工程管理.

卢华燕(1983-),女,本科,高级工程师.研究领域:管理信息化,模拟仿真.

- [2] 马克强.MRI检查手段在成人颈椎病患者临床诊治中的应用价值分析[J].影像研究与医学应用,2022,6(16):122-124.
- [3] 陈雄生.颈椎人工椎间盘置换术的价值与前景[J].脊柱外科杂志,2022,20(03):149-151.
- [4] 刘宇,陈胜.医学图像分割方法综述[J].电子科技,2017,30(08):169-172.
- [5] KIM J J, NAM J, JANG I G. Fully automated segmentation of a hip joint using the patient-specific optimal thresholding and watershed algorithm[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2018, 154:161-171.
- [6] ANTER A M, HASSENIAN A E. CT liver tumor segmentation hybrid approach using neutrosophic sets, fast fuzzy c-means and adaptive watershed algorithm[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2019, 97:105-117.
- [7] 李孝斐.肝脏肿瘤CT图像分割方法的研究[D].上海:东华大学,2019.
- [8] 阮秋琦.数字图像处理学[M].第4版.北京:电子工业出版社,2007:447-448.
- [9] 孙家广.计算机图形学[M].第3版.北京:清华大学出版社,1998:19-20.

作者简介:

代鹏程(1998-),男,硕士生.研究领域:图像处理.

任超(1988-),男,博士,副研究员.研究领域:图像处理与模式识别.本文通信作者.

滕奇志(1961-),女,博士,教授.研究领域:图像处理与模式识别.

杨毅(1990-),男,博士,住院医师.研究领域:脊柱外科.