

线性文化遗产景观视觉感知区位信息 模型与实证

孙宝磊¹, 郭风华³, 李仁杰^{1,2,4*}, 陈新杰¹

(1. 河北师范大学地理科学学院, 石家庄 050024; 2. 河北师范大学地理计算与规划研究中心, 石家庄 050024;
3. 河北省科学院地理科学研究所/河北省地理信息开发应用技术创新中心, 石家庄 050011;
4. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 石家庄 050024)

摘要:合适的视觉感知区位是获得良好景观体验的必要条件,但GIS视域计算结果对可视区位与景观语义之间可视关系的表征能力不足,难以进一步开展视觉景观资源的深度价值挖掘。论文基于已有景观视觉感知计算的理论与实践成果,提出并设计了面向线性文化遗产的景观视觉感知区位信息模型(landscape visual perception location model, LVPLM),基于NetCDF多维栅格数据结构建立了LVPLM数据集的组织方法及其应用逻辑。LVPLM数据集通过二维地理坐标维度表达视觉感知区位,通过语义特征点编码维度表达目标景观语义信息,进而建构视觉感知区位与景观语义之间的可视关系,实现了目标景观、感知区位和可视状态的信息集成。同时,设计了“钻取”“切片”“切块”三种LVPLM数据集应用模式,为多模式景观视觉感知信息挖掘与分析奠定了基础。论文选择长城线性文化遗产景观资源开展实证研究,建立了古北口长城LVPLM数据集,并通过实地调研勘测采集视觉对照验证数据,评估了数据集的基本可信度,初步证明了LVPLM模型的可行性与应用价值,也为长城国家文化公园高质量建设提供了新的数据资源。

关键词:LVPLM模型;景观视觉感知;语义特征点;线性文化遗产;NetCDF;古北口长城

景观概念中蕴含了人地关系的视角^[1],景观感知与审美体验则是人与环境联系的途径^[2-3]。线性文化遗产是指线型或带状区域的文化遗产族群^[4-5],蕴含了丰富的资源价值和深厚的文化底蕴,具有整体体量大、空间跨距大、景观多样、沿线环境复杂等地理特征^[6]。观察者基于各个景观空间序列的感知、比较、联想,建构景观的完整印象^[7],可以实现形成线性文化遗产的深度体验。

尽管景观感知体验是多维感官综合作用的结果^[8],但景观可视性是获得感知体验的基础,观察位置和目标景观(特别是关键景观元素)的可视关系对观察者建构景观意义具有重要作用。因此,视域

分析与可视计算等GIS方法广泛应用于遗产景观价值与功能等方面的分析和建模^[9-13],如长城的瞭望监视与烽火传递等防御功能、军事设施和聚落选址等^[14-18]。

由于GIS视域分析采用的数据编码限制了参与计算的目标点数量(如ArcGIS一次计算最多支持16个点),大规模景观视域分析需要拆分为小单元分批计算。但是,对语义复杂、丰富的大规模遗产景观的视觉计算结果如何集成,以规范表达任意观察位置与景观语义的多维视觉关系信息,已有研究并未提供技术解决方案。在国家文化公园建设背景下,全面挖掘能感知遗产价值和意义的关键区位

收稿日期:2023-06-05;修订日期:2023-09-18。

基金项目:河北省社会科学基金项目(HB21SH001)。**[Foundation:** Social Science Foundation of Hebei Province, No. HB21SH001.]

第一作者简介:孙宝磊(1998—),男,天津武清人,硕士生,主要从事地理信息建模、景观视觉感知计算研究。

E-mail: stayreal9523@163.com

*通信作者简介:李仁杰(1975—),男,河北石家庄人,博士,教授,主要从事GIS与旅游地理研究。E-mail: lrjgis@hebtu.edu.cn

引用格式:孙宝磊,郭风华,李仁杰,等.线性文化遗产景观视觉感知区位信息模型与实证[J].地理科学进展,2024,43(1):80-92.[Sun Baolei, Guo Fenghua, Li Renjie, et al. Linear cultural heritage landscape visual perception location model and demonstration. Progress in Geography, 2024, 43(1): 80-92.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2024.01.006

成为资源挖掘与规划设计亟需解决的问题。一方面,需要将可视计算的大量结果有效整合,突破二维栅格信息承载量度的限制;另一方面,还要能够实现景观系统结构、功能和语义信息的嵌入和灵活提取,以支持多空间尺度的统计分析。

当前,地球科学领域针对气象、地表覆盖、土壤环境等时空大数据的存储与管理,开展了多维时空数据组织结构^[19-20]、时空立方体^[21-22]、专题多维数据集^[23]等相关研究,为文化景观的视觉感知语义信息组织与存储提供了思路。如果将景观语义的关键特征点表达为一个维度,理论上可以解决视觉感知区位和景观语义信息的一体化组织问题。因此,本文在基于景观语义特征点的视觉感知计算方法^[24-25]的基础上,尝试选择合适的多维数据模型,设计面向线性文化遗产景观的视觉感知区位信息模型,以支持多模式、多情景、多尺度的景观视觉感知区位信息管理与数据挖掘应用。通过古北口长城实证分析,在验证数据模型可行性和数据集精度基础上,也可为国家文化公园建设和规划设计提供视觉资源管理与应用的新模式。

1 景观视觉感知区位信息模型原理

景观视觉感知区位是指在特定情境下能够看到特定目标景观的所有区域。现实中,观察者在视觉感知区位上能看到包括目标景观及其环境背景是整个场景信息。但利用视域分析进行感知区位计算时,直接采用大规模高精度数字场景对计算能力要求非常高,同时在较大尺度的景观分析中,也没有必要。因此,抓住景观关键特征进行视觉感知计算,就能满足景观资源价值挖掘和景观设计与保护的需求。前期研究中,借鉴地图综合思想提出了景观语义特征点的概念,通过选择能够表征景观形态、结构与语义内涵的一组特征点完成视觉感知计算,并借助特征点编码信息解析视觉感知计算的景观语义^[24]。因此,本文描述的视觉感知区位本质是目标景观语义特征点集的可视区位信息,是实际视觉区位的简化表达,更强调感知区位与目标景观关键特征之间的可视关系和集成表达,可进一步通过与环境背景信息的叠加分析反映目标景观或观察区位的场景信息。

1.1 LVPLM概念模型

本文以目标景观的语义特征点为基本计算单

元,选择地球科学领域常用的 NetCDF(network common data form)多维数据格式作为景观视觉感知计算结果的信息组织框架,设计了景观视觉感知区位信息模型(landscape visual perception location model, LVPLM)。

1.1.1 NetCDF数据模型

常见的多维栅格数据文件格式包括 NetCDF、GRIB、HDF 和 CRF 等,在结构、功能及适用性方面各有特色^[26]。其中,NetCDF 是自描述、独立于机器、基于数组的科学数据格式^[27-28],具有良好的可移植、跨平台和开源环境支持性^[29],可由 Python、Java、R 等语言调用,ArcGIS 等多种 GIS 软件也支持访问,在气象、海洋等领域应用广泛,用来存储长时序的温度、湿度、气压和风速等数据。NetCDF 数据集的核心是维度、变量^[30],另外还有属性信息。维度用于表达事像的地理坐标、时间和各类专题特征,支持无限长度;变量是数据集中所有维度的函数;属性用于描述维度、变量及数据集的关键说明和特征信息。因此,NetCDF 数据的本质是多自变量的单值函数^[31],可描述为:

$$\text{Value}=f(x,y,z,\cdots) \quad (1)$$

式中:自变量 x 、 y 、 z 等在 NetCDF 中称作维度,函数值 Value 在 NetCDF 中称作变量。

NetCDF 将大量数据存储在多维数据集中,有助于从高维数据转换为矩阵统计分析,成为地球科学数据集的有效组织方式^[32]。景观视觉感知区位信息要表达感知区位和景观语义两方面的信息,建立每个语义特征点与其视觉区位的可视关系,进而刻画目标景观的视觉感知区位特征。根据 NetCDF 格式特点,景观视觉感知区位信息可由 NetCDF 文件完全表达,有效提高景观视觉感知信息的结构化、多维表达与挖掘分析潜力。综合考虑景观视觉感知信息的数据组织与价值挖掘需求,选择基于 NetCDF 构建 LVPLM 模型。

1.1.2 LVPLM模型的定义

LVPLM 旨在对大规模景观语义特征点的视觉感知计算结果进行有效集成,以表达每个景观要素的视觉感知区位,并支持基于景观系统或特定尺度空间单元的数据分析和挖掘,实现从景观类型、功能、美学与历史文化等语义视角进行感知区位识别与应用。

LVPLM 的信息表达应包含目标景观、感知位置和可视状态三方面信息,在由多个景观组件构成

的复杂景观或多景观的LVPLM信息集成中,应维护每个景观或景观组件与感知位置之间的视觉对应关系。故可将LVPLM定义为:

$$LVPLM = f(\text{Perceived location}, \text{Target landscape}) \quad (2)$$

式中: Target landscape代表目标景观, Perceived location是观察者所处的视觉感知位置, f 则是定量描述观察者与目标景观可视关系或特征的函数。

1.1.3 景观语义特征点及编码

LVPLM模型首先要完成景观本体数字表达,以适合视觉感知计算和信息集成要求。可以通过一组语义特征点表征目标景观的形态、结构与语义内涵,进而完成景观视觉感知计算。语义特征点选取有两个原则:一是最大化表征景观的语义特征,既要考虑景观本体的形态和语义,也要顾及所属景观系统的功能、层次和整体语义;二是确定合适的特征点密度,既要考虑景观表达完整性,也要匹配DEM分辨率(表1)。例如,选取某段长城景观语义特征点(图1a):子系统A包括特征点 $P_1 \sim P_3$ 、子系统B包括特征点 $P_4 \sim P_7$;考虑景观形态结构方面, P_7 为典型地形走向拐点, P_5 是高低起伏变化点, P_3 是关堡顶部结构特征点;考虑景观要素类型特征取点上, P_4 、 P_6 为长城敌台点, P_1 、 P_2 是墙体特征点。

语义特征点编码用于表达景观结构、功能和美学等视觉感知语义,并可承载景观系统层次关系信

息。根据语义特征点选取原则和视觉感知计算目的,特征点编码一般包括景观系统与结构、景观类型、结构与功能、唯一标识等多元信息。同时,特征点编码应体现科学性、系统性、完整性和可扩展性,方便从多视角提取感知计算结果的语义信息。因此,选择层次分类编码法对系统中所有景观语义特征点统一进行编码(图1b),基本编码结构设计为所属系统码、区位顺序码、结构顺序码、要素类型码4位代码,同时保留可扩展代码位,其可根据具体线性文化遗产景观资源类型及系统特征进行扩充。通过在LVPLM信息组织模型中维护视觉感知位置和语义特征点编码的可视状态关系,就能进一步利用编码信息解读出每一感知位置的视觉感知语义信息,实现视觉感知信息挖掘和应用。

1.1.4 视觉感知区位信息组织

当前地理信息表达模型主要有矢量和栅格模型两种。视觉感知计算采用的GIS视域分析使用基于栅格的数字地表模型实现。其中,单点视域分析的结果栅格记录每个感知位置(栅格像元)与目标点的可视状态值;多点视域分析采用MD编码记录每个位置与目标点的可视状态组合值,但受限于像元深度限制,一次计算的点数量一般不超过16个。因此,要实现大规模线性文化遗产景观的LVPLM信息集成,只能拆分景观特征点分别计算。但是,拆分计算的结果在维护感知区位和目标景观可视

表1 景观语义特征点选取依据与方式

Tab.1 Basis and method of landscape semantic feature points selection

特征点选取依据	基本规则	取点密度	取点高程
景观系统层级语义特征	对景观系统中具有特定语义信息的各层级子系统进行划分并取点	取点间隔一般不低于DEM的2倍分辨率;同时,保证最大化维护景观本体语义特征	一般取地表高程加上景观本体部件的相对高度
景观形态与结构特征	根据景观本体具体形态进行取点,当涉及景观要素规模大、组成复杂时可进一步根据其具体结构取点		
景观类型与功能特征	根据景观要素的类型及其具有的特定功能进行取点		

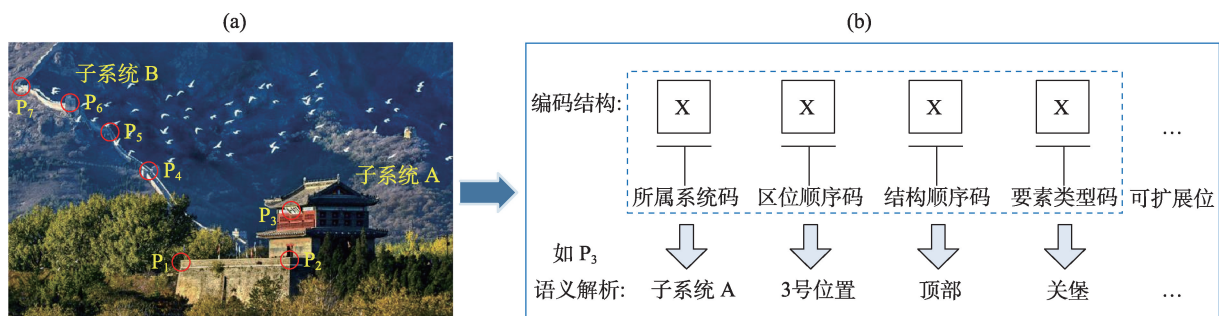


图1 景观语义特征点选取与编码方法

Fig.1 Method for selecting and encoding landscape semantic feature points

关系方面存在明显困难,无法高效率挖掘其中的景观语义及视觉感知区位信息。将多目标点的视域分析结果基于NetCDF数据结构进行重组,将感知位置、目标景观和可视状态信息分别用不同维度表达,就能充分利用多维数据结构优势,支撑大规模景观视觉感知区位计算和价值挖掘的需求。

基于多维数据结构的LVPLM模型信息组织原理如图2所示。目标景观由4个语义特征点构成(图2a),基于DEM视域计算生成每个特征点的可视域栅格(图2b),栅格值1表示该位置与对应的语义特征点可视,0则代表不可视;然后,通过多维数据结构将所有语义特征点的可视域栅格集成,得到表征所有观测区位与目标景观可视关系的视觉感知区位集成信息;当目标景观系统较为复杂、景观语义非常丰富时,可根据语义特征点编码进一步划分出不同的景观子系统(图2c),如SubPoints₁子系统代表某区段所有语义特征点可视区位信息集合、SubPoints₃子系统代表某类型语义特征点(如长城敌台)可视区位信息集合等。

1.2 LVPLM数据集结构设计与应用模式

1.2.1 LVPLM数据集组织结构

(1) LVPLM数据集的维度设计

视觉感知区位维度(简称区位维度),包括视觉感知位置的平面二维坐标和三维高程信息。基于栅格的视觉感知计算中,平面坐标可以用栅格像元行列号表示,栅格与DEM叠置可获取三维高程。因此,数据集表达模型中感知维度可简化为 X 、 Y 两个平面坐标维度。 X 、 Y 维度的空间分辨率决定了视觉感知区位表达的精细程度(如30 m×30 m)。

景观语义特征点维度(简称特征点维度),用于唯一标识每个景观语义特征点。景观语义特征点编码和特征点要素类属性关联并与DEM耦合,可

进一步获取特征点的三维坐标信息。因此,LVPLM数据集表达模型中可将景观维度简化为一个景观语义特征点编码。

综合区位维度和特征点维度,LVPLM模型可表示为包含感知区位信息的二维坐标 X 、 Y 和景观语义特征点编码三维信息的形式:

$$LVPLM = f(X, Y, Points) \quad (3)$$

式中: X 、 Y 表示数据集区位维度,用来定义表达景观视觉感知区位的空间分布单元; $Points$ 表示数据集特征点维度,用来记录构成视觉感知目标景观系统的各语义特征点编码信息。

LVPLM模型可以充分利用NetCDF结构的维度扩展性优势,根据景观复杂度、规模大小或时序特征等进一步扩展为4维或更多维结构模式,如式(4)。例如,当景观系统规模较大、景观语义丰富时,可以将语义特征点编码根据功能或语义进一步分解为不同子系统,建立对应的各子系统维度;当景观具有时间特征时,可增加时间维作为模型参数。

$$LVPLM = f(X, Y, SubPoints_1, SubPoints_2, \dots, Time, \dots) \quad (4)$$

式中:SubPoints₁、SubPoints₂表达数据集子系统维度,可以表示构成景观系统的不同子系统语义特征点编码序列信息;Time表达数据集时间维度,可以表示不同时序景观的视觉感知区位变化信息。

(2) LVPLM数据集的变量与属性设计

根据GIS视觉感知计算原理和NetCDF数据结构,LVPLM数据集模型结果是区位维度(X 、 Y)和特征点维度($Points$)的函数,描述每个语义特征点的可视状态集合,对应NetCDF数据格式中的变量。数据集每一特征点编码对应的可视域栅格像元值为0或1,0代表该栅格位置与景观语义特征点呈不可视状态,1表示可视状态。

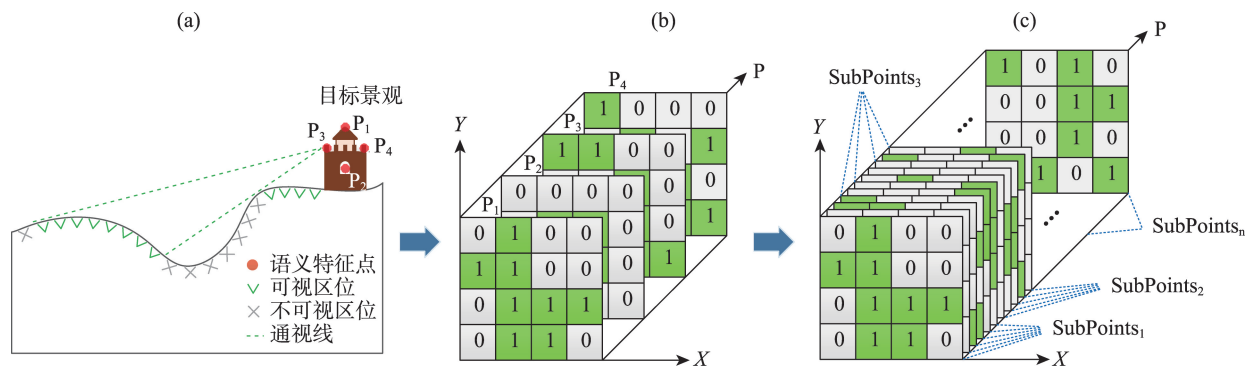


图2 基于多维数据结构的LVPLM模型信息组织原理

Fig.2 Information organization principle of the LVPLM model based on multidimensional data structure

除维度和变量外, LVPLM数据集需要设计若干属性用于描述数据名称、单位、空间参考和其他需说明的关键信息项。

1.2.2 LVPLM数据集应用模式

按照上述维度设计思路, 基于LVPLM数据集可表达任意视觉感知区位(栅格像元)与所有景观语义特征点的可视关系, 为景观视觉资源价值挖掘提供支持。为进一步解释LVPLM数据模型原理及应用价值, 本文设计了LVPLM数据集的3种应用模式: 即通过不同运算方式以不同维度、不同粒度对数据集内容进行分类、筛选和计算, 提取出符合要求的子集, 从而实现景观视觉感知的多模式识别与分析(图3)。

(1) LVPLM数据集“钻取”

“钻取”用于提取任意视觉感知区位单元(由 X 、 Y 坐标或栅格行列号定义)所有或部分景观语义特征点的可视状态信息。在具体应用时, 首先通过LVPLM数据集进行任意感知区位单元的数据钻取, 得到该区位单元的语义特征点编码序列集合; 然后, 根据特征点编码和特征点要素类及DEM进行属性关联域空间耦合, 获取特征点三维坐标信息; 最后综合可视特征点集合的空间分布模式及其内涵的景观语义信息, 进一步评估该区位的景观系统视觉感知特征, 如景观语义的完整性、景观形态美感度等。

(2) LVPLM数据集“切片”

“切片”是基于景观语义特征点维度进行单个语义特征点可视区位信息提取的过程。通过对LVPLM数据集进行语义特征点切片信息提取, 可获取任意语义特征点在所有感知区位单元上的可视状态。切片是聚焦语义特征点开展视觉感知分析的主要方式, 以支撑对不同目标景观的可视域统计分析。例如图3中对特征点 P_8 的切片操作, 将获得LVPLM数据集中所有感知区位单元对 P_8 特征点的可视状态信息。

(3) LVPLM数据集“切块”

“切块”是基于LVPLM数据集三个维度提取数据子集的过程, 用于挖掘多个感知区位单元与多个语义特征点之间的可视状态信息。通过切块式信息提取, 可识别与解析景观系统、子系统、景观要素等不同层级目标景观的视觉感知区位特征及其空间分异模式。如提取某空间范围内语义特征点 $P_3 \sim P_6$ 的数据子集, 即得到该组特征点与对应的感知区位单元可视状态的信息集合(图3)。“切块”是更为通用的LVPLM数据集信息提取方式, 只涉及一个语义特征点的切块相当于“切片”操作, 只涉及一个区位单元的切块则相当于“钻取”操作。

(4) LVPLM数据集综合应用视角

LVPLM数据集实现了基于语义特征点和基本区位单元的景观系统视觉感知区位信息集成。通

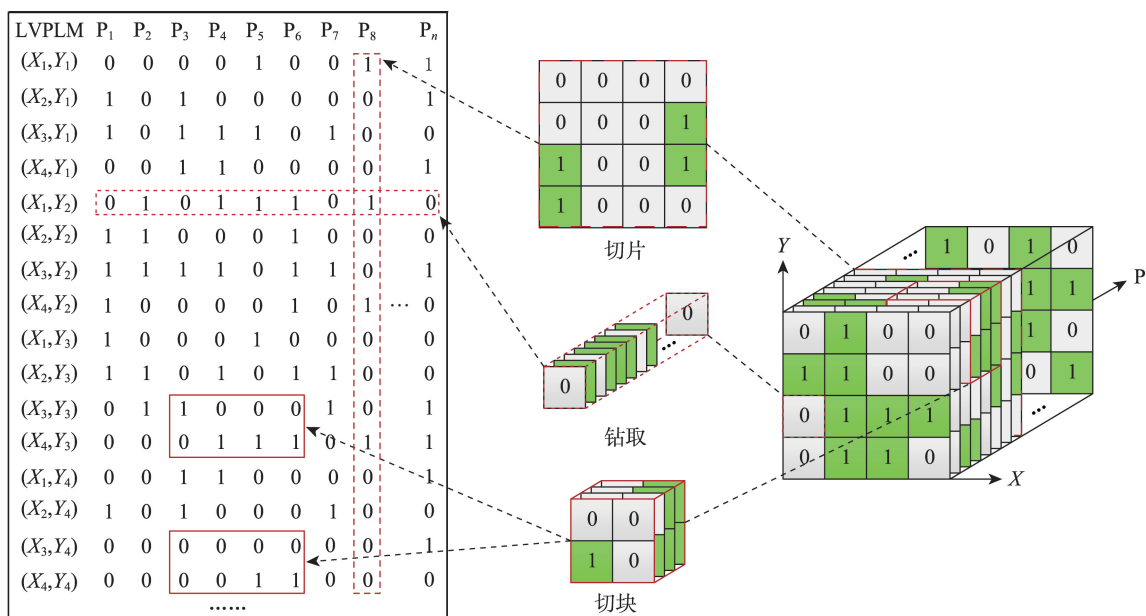


图3 LVPLM数据集信息提取方式

Fig.3 LVPLM dataset information extraction method

过钻取、切片和切块可以从不同视角分析区域景观系统的视觉感知特征;同时,也可以通过多区位单元的钻取、多语义特征点的切片、多区域切块等综合应用模式,实现景观系统多维信息挖掘与融合,实现不同区位、不同类型景观语义视觉感知比较分析及区域视觉感知集成分析。另外, LVPLM 数据集可直接提取任意空间单元的景观系统视觉感知总量度,具有对该区域景观视觉感知特征的整体描述意义,视觉感知量越高的区位,可视景观语义特征点数量越多,景观价值挖掘的潜力相对越高。

因此,在多模式景观视觉感知区位分析基础上,进一步开展视觉感知的语义分类、综合感知效果评价及感知功能区划等,可以为移步异景式旅游线路规划提供支持;对景观系统总体视觉感知空间特征进行分析,探测视觉感知敏感区、景观语义视觉感知聚类热区等,再与行政区划、地貌类型、文化区、经济区、城市与乡村聚落等多类型地理单元进行耦合分析,可以为乡村振兴、文旅融合发展路径的规划设计提供参考。

2 古北口长城 LVPLM 数据集生成与应用

2.1 研究区域及基础数据

本文选取古北口长城(包括司马台、金山岭和蟠龙山3个区段)进行 LVPLM 数据集设计与研发。基础数据由长城景观资源本体数据和数字高程等数据组成。采用全国文物普查数据(其中包括要素名称、位置、起点坐标、止点坐标、时代、长度、墙体类别、材质、保存现状、保护级别等信息项),并结合长城小站(<http://www.the.greatwall.com.cn>)志愿者地理信息平台 and ArcGIS Earth 三维虚拟景观系统修正补充相关信息,生成研究区段长城景观本体数据集,涉及长城墙体 19.14 km、敌台 112 座、烽火台 8 座、铺房 1 座、水关 2 座、关堡 1 座(图 4)。选择 ALOS 12.5 m 空间分辨率的数字高程数据用于语义特征点视觉感知计算。其他环境背景地理要素来源于中国 1:100 万基础地理数据集和 OSM(Open-StreetMap)开放数据集。

2.2 数据集设计与计算结果

2.2.1 语义特征点提取与编码

根据已有研究中长城视觉景观资源分类及语义特征点选取规则^[3],以 ArcGIS Earth 三维虚拟景

观系统为地理背景参考,对古北口长城景观进行语义特征点提取。其中,墙体按 30 m 间隔进行语义特征点提取,在地形拐点和本体延展方向明显变化处加密取点;敌台、烽火台等景观要素在基座中心取点。语义特征点的高度根据景观赋存现状进行分类设定,较好及一般的取 2/3 本体高;较差及差的取 1/3 本体高;消失但仍有纪念价值的取地形高。最终古北口长城景观系统共提取语义特征点 671 个,其中司马台区段 173 个、金山岭区段 207 个、蟠龙山区段 291 个,两个样例位置的语义特征点提取情况如图 4 所示。

按照 LVPLM 模型原理所述的编码方法为古北口长城景观系统语义特征点分配编码信息。编码方式采用 6 位 4 段式层次结构编码方法:其中第 1 位代码为景观所属子系统区段码,第 2~4 位为景观要素区位顺序码,第 5 位为景观要素本身的结构次序码(古北口长城景观各要素均取一个特征点,故结构次序码均为 1;景观要素规模较大时,可利用结构次序位依次编排),第 6 位代码为景观要素类型码。例如某敌台景观要素的语义特征点编码为“100512”,其中第 1 位代码“1”表示该特征点所属司马台区段,第 2~4 位代码“005”表示该敌台在司马台区段子系统的顺序位置为 5 号,第 5 位代码“1”表示该特征点为要素结构次序中的第 1 个特征点,第 6 位代码“2”表示该景观要素类型为敌台。以此方法对古北口长城所有景观语义特征点编码,各区段不同类型景观要素编码样例信息如表 2 所示。编码模式应用于其他类型线性文化遗产景观时,可根据研究尺度、维度结构和语义等内容,对编码结构进行扩展与调整。

2.2.2 数据集计算结果

首先,建立视域分析迭代计算模型,对初步组织的数据进行景观视觉感知计算,生成每个语义特征点可视域栅格;然后,基于 ArcGIS 的 geodatabase 数据模型建立视觉景观资源地理数据库,将所有语义特征点可视域栅格导入数据库;第三,按照 LVPLM 模型的数据维度框架,定义视觉感知区位维度(X、Y 维度)、景观语义特征点维度(Points 维度)及视觉感知变量等多维数据信息;最后,利用 ArcGIS 的 NetCDF 数据集生成工具对景观语义特征点可视域栅格进行集成,生成古北口长城 LVPLM 数据集。古北口长城 LVPLM 数据集形成了 2801×2041×671 的多维视觉感知信息,其中感知区位维度按 DEM

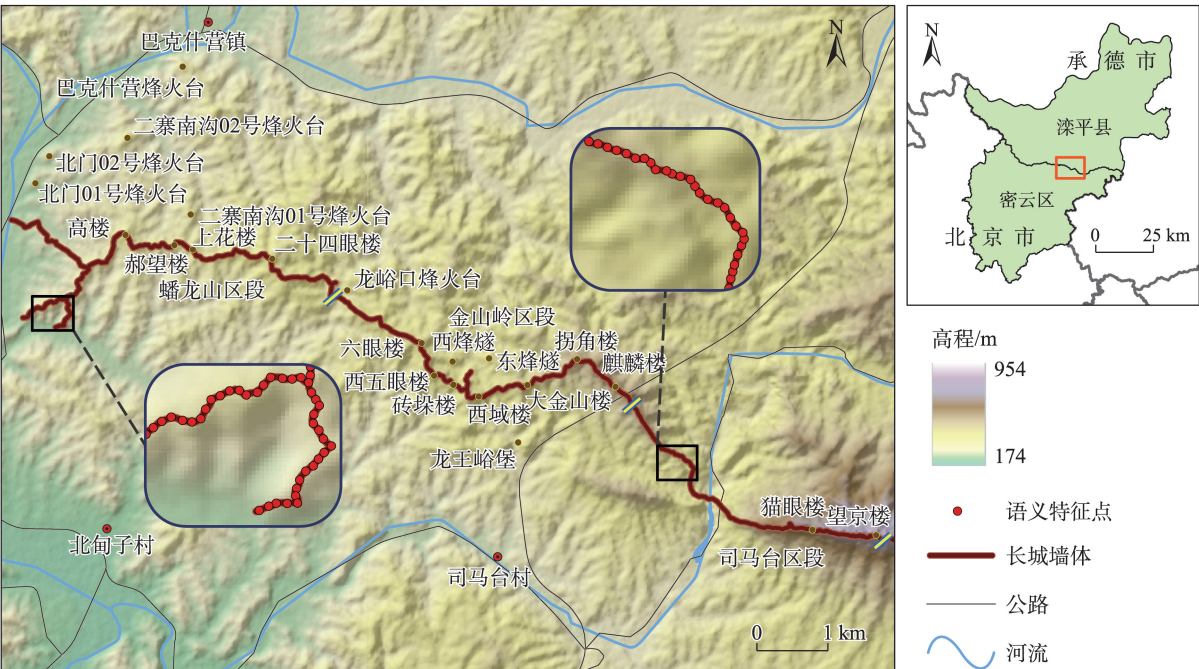


图4 古北口长城区位重要景观及典型段景观语义特征点示例

Fig.4 Examples of landscape semantic feature points of the Gubeikou Great Wall

表2 古北口长城各区段不同类型景观语义特征点编码样例

Tab.2 Sample coding of different types of landscape semantic feature points in different sections of the Gubeikou Great Wall

编码样例	区段(代码)	区位顺序	要素类型(代码)	取点方式	编码语义解析
100111	司马台(1)	001	墙体(1)	等间隔取点	司马台子系统1号区位墙体特征点
102011	司马台(1)	020	墙体(1)	地形拐点	司马台子系统20号区位墙体特征点
102212	司马台(1)	022	敌台(2)	要素中心点	司马台子系统22号区位敌台特征点
112412	司马台(1)	124	敌台(2)	要素中心点	司马台子系统124号区位敌台特征点
200611	金山岭(2)	006	墙体(1)	地形拐点	金山岭子系统6号区位墙体特征点
211014	金山岭(2)	110	铺房(4)	景观要素中心点	金山岭子系统110号区位铺房特征点
212213	金山岭(2)	122	烽火台(3)	景观要素中心点	金山岭子系统122号区位烽火台特征点
220716	金山岭(2)	207	关堡(6)	景观要素中心点	金山岭子系统207号区位关堡特征点
300912	蟠龙山(3)	009	敌台(2)	景观要素中心点	蟠龙山子系统9号区位敌台特征点
301215	蟠龙山(3)	012	水关(5)	景观要素中心点	蟠龙山子系统12号区位水关特征点
312811	蟠龙山(3)	128	墙体(1)	等间隔取点	蟠龙山子系统128号区位墙体特征点
329013	蟠龙山(3)	290	烽火台(3)	景观要素中心点	蟠龙山子系统290号区位烽火台特征点

像元大小定义为12.5 m×12.5 m,特征点维包括671个语义特征点编码,视觉感知变量定义了感知区位与语义特征点的可视状态,总体视觉感知区位特征可视化效果如图5所示。

2.3 数据集精度验证

项目组赴研究区进行实地观测验证,根据长城景观视觉感知区位总体特征,将调研区分为长城本体调研区、长城外围集中调研区和长城外围分散调

研区3类,通过对比模型计算结果与实际视觉感知效果的匹配情况,评估古北口长城LVPLM数据集的精度。

(1) 调研区选择和观测点数据采集

长城本体调研区选择金山岭区段,布设点位涉及勘测距离3.04 km;长城外围集中调研区的选择综合考虑了步行可达性、地表覆盖类型、模型计算结果及安全因素等,最终在司马台区段南侧可达范围内

按 500 m 格网确定了 11 个调研样区, 覆盖 2.75 km² 调研区域, 在每个样区内随机取 2~15 个观测点位; 长城外围分散调研区, 主要按照随机取点的方式布设在交通线、河流沿岸或重要聚落分布区域(图 6)。

观测点数据采集方式: 第一, 基于奥维互动地图和 ArcGIS Earth 手机 APP 辅助制订调研线路, 现场查阅模型计算结果; 第二, 在观测点位用手持 GPS 记录观测坐标及编号信息, 并拍摄目标景观位置照片; 第三, 综合调研组专家、地方向导意见, 根据 3D 地图与实际环境对照判别可视景观信息; 第四, 将观测信息记录实时上传至项目组调查云存储空间。

实地调研共采集有效观测点数据 137 条, 其中长城本体调研区 27 条、长城外围集中调研区 60 条、分散调研区 50 条(图 6)。

(2) 精度验证方法与结果

根据实地观测数据结果, 以 3 km 视野范围内可

视长城单体景观(敌台、烽火台等)特征点信息为验证目标对象, 对实地观测记录与 LVPLM 数据集计算结果进行对比分析, 具体以可视特征点数量吻合度(式 5)和内容吻合度(式 6)表达数据集精度。

$$Accuracy_1 = (b/a) \times 100\% \quad (5)$$

$$Accuracy_2 = (c/a) \times 100\% \quad (6)$$

式中: a 为模型计算得到的观测位置可视特征点数量; b 为观测位置实地观察记录的特征点数量; c 为模型计算结果和实地观察记录逐一对应的所有特征点数量; $Accuracy_1$ 为特征点数量吻合度, 反映模型计算结果与实地观测记录在可视特征点数量方面的一致程度, 针对部分点位可能存在观测数量大于计算结果的情况, 最大数量吻合度取 100%; $Accuracy_2$ 为可视特征点内容吻合度, 反映计算结果与实地观测记录的所有特征点对应关系的一致程度。

验证结果显示, 实地观测的可视特征点与 LV-PLM 数据集计算结果的数量吻合度总体平均值为 76.37%, 内容吻合度总体平均值为 70.69%, 不同区域存在一定差异(表 3)。其中, 分散调研区和长城本体集中调研区的特征点数量吻合度和内容吻合度均相对较高, 例如砖垛口西方台观测点的数量和内容吻合度均达到 85% 以上; 长城外围集中调研区的吻合度相对较低, 但也存在高吻合度观测点位, 例如北京密云区梁西村北边公路上有吻合度达到 100% 的观测点位。总体而言, 数据集计算结果与实地观测结果一致性较好, 反映了古北口长城 LV-PLM 数据集的整体精度较高, 具备较好的可信度, 存在的极少量吻合度为 0 的观测记录(占比为 2%)

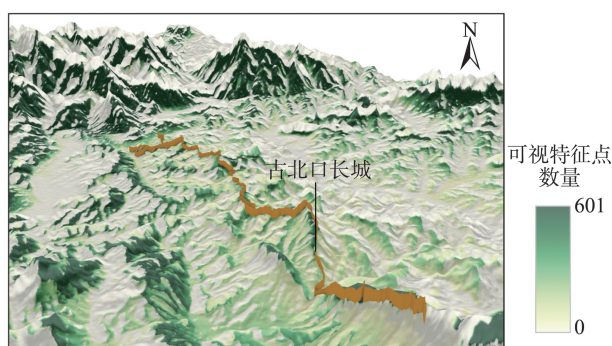


图 5 古北口长城 LVPLM 数据集总体特征的空间可视化
Fig.5 Spatial visualization of the overall features of the LVPLM dataset of the Gubeikou Great Wall



图 6 古北口长城调研区及观测点分布

Fig.6 Spatial distribution of the survey areas and observation points of the Gubeikou Great Wall

是受遮挡因素观测不佳所致。实地调研也证明,较大尺度视觉感知计算精度的影响因素主要是植被或建筑遮挡、景观赋存质量和DEM精度。

2.4 数据集应用分析

基于 Jupyter Lab 开发环境和 ArcGIS Pro 地理计算与分析环境,利用 xarray、pandas、numpy 等 Python 开源包和 GIS 数据处理与可视化工具,对古北口长城 LVPLM 数据集进行钻取、切片和切块,挖掘不同层面的视觉感知信息,如图 7 所示。

(1) 基于典型区位“钻取”可感知语义特征点
选取长城云海最佳摄影位置、交通线和未开发山坡 3 处不同类型区位(图 7a),分别钻取识别其可感知语义特征点特征,科学评估不同区位所具有的独特价值。长城上拍照热区的可视特征分析有助于对景观资源精细化设计以及价值再挖掘,所选长城云海的最佳摄影区位(感知区位 1)可视特征点数量为 115 个,跨度达到 7.89 km,涉及 26 座敌台、2 座烽火台和 1 座铺房,其中包括六眼楼、桃春楼、西五

表3 古北口长城 LVPLM 数据集验证结果
Tab.3 Verification results of the LVPLM dataset of the Gubeikou Great Wall

调研区类型	观测点数量/个	Accuracy ₁ /%			Accuracy ₂ /%		
		平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
长城本体调研区	27	94.55	100	70.00	76.32	95.24	52.38
长城外围集中调研区	60	64.28	100	9.09	62.29	100	9.09
长城外围分散调研区	50	81.07	100	0	77.73	100	0
总体	137	76.37	100	0	70.69	100	0

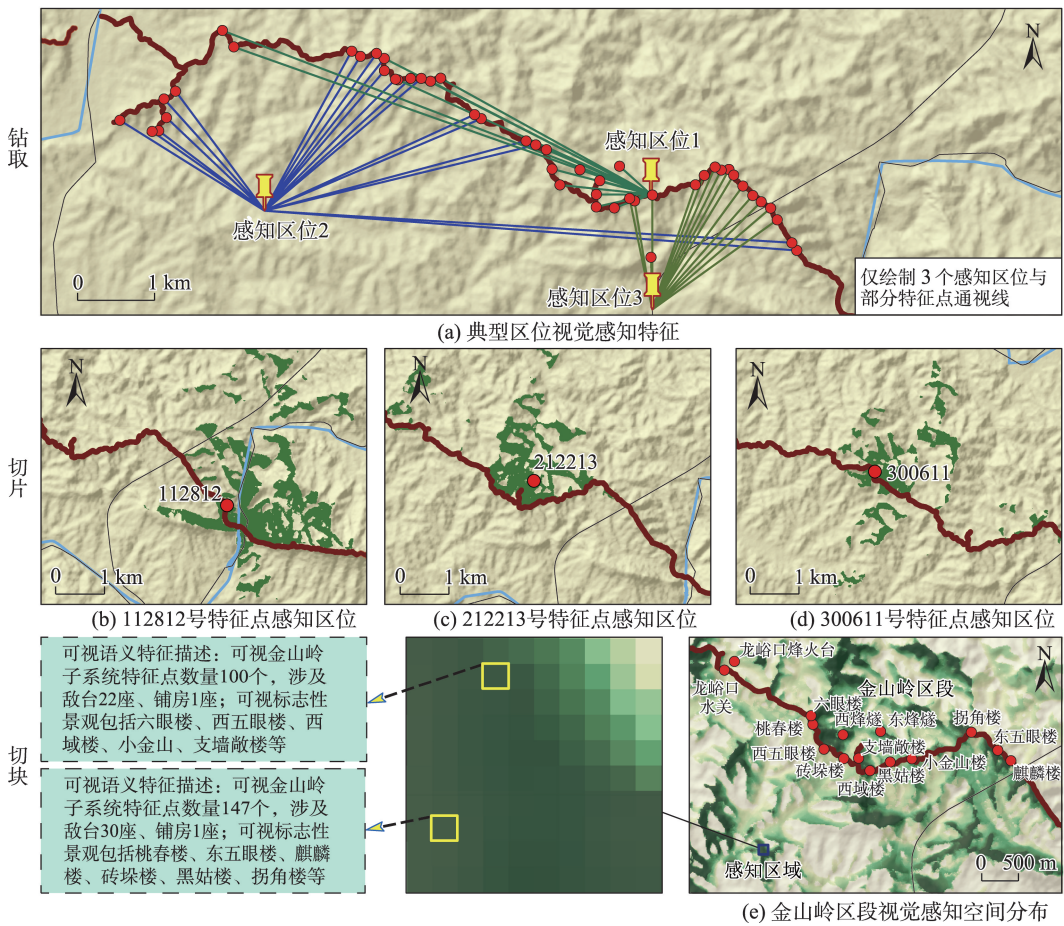


图7 古北口长城 LVPLM 数据集不同视角信息挖掘

Fig.7 Information mining from different perspectives on the LVPLM dataset of the Gubeikou Great Wall

眼楼等多座著名敌台;识别未开发的优选视觉感知区位则是长城国家文化公园建设的应有之义,所选山坡区位(感知区位2)可视特征点数量达到215个,广泛分布在各个区段(司马台占30.70%、金山岭占23.72%、蟠龙山占45.58%),涉及26座敌台和1座铺房,其中包括将军楼、拐角楼、麒麟楼等多座著名敌台,可视特征点最大高度差达584 m,该区位其对于长城的蜿蜒曲折、高低起伏等不同形态特征以及景观系统整体特征具备较好的视觉感知条件;所选的公路区位(感知区位3)是穿越古北口长城的重要通道,该区位可视特征点数量为73个,涉及14座敌台和1座关堡,其中包括东五眼楼、后川口楼等多座著名敌台,可较好地感知连续性的敌台与城墙交织防御功能。

(2) 基于不同语义特征点“切片”可感知区位

对数据集进行切片即可提取景观系统中任意语义特征点的视觉感知区位,获得可视域空间分布信息。例如,提取得到司马台区段128号敌台特征点的视觉感知区位(图7b),其主要分布在司马台长城的北侧及西北方向,同时长城上存在连续分布的可视域,该特征点2 km内可视区位面积为3.19 km²,可视域占比为25.36%;金山岭区段122号烽火台特征点的视觉感知区位(图7c),其主要分布在金山岭长城的正北侧及该烽火台的周围,该特征点2 km内可视区位面积为1.83 km²,可视域占比为14.55%;蟠龙山区段6号城墙特征点的视觉感知区位(图7d),则较为零散地分布在长城内外,未形成较为集中成片的区域,该特征点2 km内可视区位面积为1.51 km²,可视域占比为11.99%。

(3) 用“切块”解析特定区域与景观的视觉关系

对数据集进行切块则可提取出特定区域对于特定景观的视觉感知信息集合,可以挖掘对于景观感知目标的空间区位分布—感知语义特征。为进一步识别探索对于特定景观具有丰富视觉感知信息的未开发区域,以10×10像元空间范围切块提取了1处金山岭长城景观子系统的优选感知区(图7e),其分布在金山岭区段西南1.5 km左右,分析可知其视觉感知强度特征呈现由西南向东北方向减弱的分异模式,最大感知量像元值(可视特征点数量)为149,平均感知量为103。同时,可进一步挖掘该感知区中每个感知单元的可视特征点编码语义信息,识别出该区域主要呈现的视觉感知语义特征为墙体—敌台防御功能体系,例如,六眼楼至桃春

楼联防体系、支墙防线等景观。

以上内容阐述了LVPLM数据集挖掘与分析的基本思路,在具体应用时,还可针对不同景观语义感知区位识别目标、感知区位分区/类等研究需求,挖掘更加多元、丰富的景观视觉感知信息,实现对景观视觉感知区位信息的综合集成分析。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于景观语义特征点与视觉感知理论方法,以地球信息科学领域常用的NetCDF多维栅格数据结构为基础,设计了针对大型线性文化遗产景观视觉感知区位信息进行组织管理的LVPLM数据模型,为大规模线性文化遗产景观视觉资源价值挖掘提供了新方法。

LVPLM数据集包涵视觉感知区位维度、景观语义特征点维度及视觉感知关系函数与属性信息,实现了目标景观、视觉感知区位和可视关系的一体化表达。第一,本文设计的数据组织模式解决了传统可视域计算结果难以集成视觉感知区位与大规模景观系统可视关系的问题,即可挖掘任意视觉感知区位与景观系统特征点的可视关系,通过解译特征点编码语义信息实现视觉感知区位价值评估;第二,LVPLM模型实现了对特定区域场景中视觉感知关系信息的集成表达,可满足多情景、多模式、多尺度的视觉感知区位空间—语义信息提取与建模分析,为系统化挖掘全域视觉资源价值提供支撑。第三,LVPLM模型从人与景之间交互感知的信息表达视角为人地关系研究提供了新的思路。

古北口LVPLM数据集的实证研究初步证明了LVPLM数据模型的可行性,为长城国家文化公园建设提供了新的数据资源和景观价值挖掘模式。基于钻取、切片、切块3种应用模式对古北口长城LVPLM数据集进行多角度视觉感知信息挖掘,展示了数据集应用的基本思路与方法。实地调研勘测,采集了古北口长城景观视觉感知区位的验证数据,评估了数据集的基本可信度,说明LVPLM数据集具备为景观资源价值评估、景区开发规划、游憩线路设计等提供支持的应用价值。

3.2 讨论

传统的景观可视域数据的组织与存储方式难以满足复杂化、大规模线性文化遗产视觉感知信息

集成及深度挖掘的需求。本文将多维栅格结构引入景观视觉感知研究领域,通过对维度内涵进行扩展,提出景观语义维度新概念,将“时间—空间”多维组织改进为“空间—编码”,进而建构起视觉感知区位与景观语义信息之间的关系模式,为人与景观的视觉关系一体化表达提供了支撑。LVPLM模型数据集支持遗产景观视觉感知“一次计算、持续挖掘”的应用模式,有助于全面探寻感知文化遗产景观价值的高质量区位。

相对于现有景观视觉感知信息计算与组织方法^[25]仅适于小规模景观语义感知信息存储,LVPLM模型的数据组织和表达方式可面向大规模景观系统视觉感知区位信息的集成存储,同时可借助成熟的多维数据分析工具全面提高数据挖掘潜力。例如,LVPLM数据集不仅可实现对景观视觉感知数据的矩阵统计分析,而且支持大规模并行计算(可利用Python的chunk模块实现),从而可提高数据信息存储效率和分析处理效率。本文的重点在于提供大规模景观视觉感知区位信息的集成管理框架,全面挖掘LVPLM数据集价值方面,还需进一步基于NetCDF数据模型应用接口等设计相应的统计分析与挖掘算法和工具。

古北口长城LVPLM数据集实证,为国家文化公园建设背景下的大型线性文化遗产保护和资源开发提供了新思路和新数据资源。尽管当前数据集语义特征点维度记录的语义信息只考虑了景观要素类型、景观系统层级、景观结构次序等内容,后续研究仍可继续丰富形态美学、文化功能等方面的特征点语义信息,实现对长城景观资源视觉原真性的精细刻画。同时,项目组也将持续开发京津冀及更大空间尺度下长城LVPLM数据集,并优化数据产品精度验证与评估方式,持续探索数据集挖掘的模式与方法。另外,本文虽然只以长城进行了实证研究,但模型可通过调整参数(取点规则、编码方式等)应用于大运河、茶马古道等其他线性文化遗产。

致谢 感谢评审专家对论文概念内涵和验证工作提出的宝贵建议;同时感谢河北师范大学旅游文化地理计算研究组各位研究生在野外验证工作中的贡献。

参考文献(References)

[1] 薛芮, 阎景娟. 景观管理嵌入乡村旅游人地关系研究的应用框架建构[J]. 地理科学进展, 2022, 41(3): 510-520.

- [Xue Rui, Yan Jingjuan. A framework for incorporating landscape management into the human-environment relationship research of rural tourism. *Progress in Geography*, 2022, 41(3): 510-520.]
- [2] Gobster P H, Nassauer J I, Daniel T C, et al. The shared landscape: What does aesthetics have to do with ecology? [J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22(7): 959-972.
- [3] Antrop M, Van Eetvelde V. The holistic nature of landscape- landscape as an integrating concept [M]// Antrop M, Van Eetvelde V. *Landscape perspectives: The holistic nature of landscape*. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2017: 1-9.
- [4] 俞孔坚, 奚雪松, 李迪华, 等. 中国国家线性文化遗产网络构建[J]. 人文地理, 2009, 24(3): 11-16, 116. [Yu Kongjian, Xi Xuesong, Li Dihua, et al. On the construction of the national linear culture heritage network in china. *Human Geography*, 2009, 24(3): 11-16, 116.]
- [5] 单霁翔. 大型线性文化遗产保护初论: 突破与压力[J]. 南方文物, 2006(3): 2-5. [Shan Jixiang. On the protection of large linear cultural heritage: Breakthrough and pressure. *Relics from South*, 2006(3): 2-5.]
- [6] 任唤麟. 基于地理特征的跨区域线性文化遗产旅游形象策略研究[J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(1): 95-101. [Ren Huanlin. Study on the tourism image strategies of cross-regional linear cultural heritage based on geographical characteristics. *Geography and Geo-Information Science*, 2017, 33(1): 95-101.]
- [7] 刘滨谊, 张亭. 基于视觉感受的景观空间序列组织[J]. 中国园林, 2010, 26(11): 31-35. [Liu Binyi, Zhang Ting. Landscape space sequence organization based on visual sense. *Chinese Landscape Architecture*, 2010, 26(11): 31-35.]
- [8] 仇梦媛, 张捷, 杨加猛. 新健康地理学视角下旅游地多维康复景观构成要素与作用机制研究: 以南京紫金山国家森林公园为例[J]. 地理科学进展, 2023, 42(5): 927-943. [Qiu Mengyuan, Zhang Jie, Yang Jiameng. Components and mechanism of health impact of multisensory therapeutic landscape in tourism destinations based on the new health geography perspective: A case study of Nanjing Purple Mountain National Forest Park. *Progress in Geography*, 2023, 42(5): 927-943.]
- [9] Whitley T G. Geospatial analysis as experimental archaeology[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2017, 84: 103-114.
- [10] Carrero-Pazos M, Bustelo-Abuín J, Barbeito-Pose V, et al. Locational preferences and spatial arrangement in the barrow landscape of Serra do Barbanza (North-western Iberia) [J]. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2020, 31: 102351. doi: 10.1016/j.jasrep.2020.102351.

- [11] Fábrega-Álvarez P, Parcero-Oubiña C. Now you see me. An assessment of the visual recognition and control of individuals in archaeological landscapes [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2019, 104: 56-74.
- [12] Garcia-Moreno A. To see or to be seen... is that the question? An evaluation of palaeolithic sites' visual presence and their role in social organization [J]. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2013, 32(4): 647-658.
- [13] Gillings M. Mapping liminality: Critical frameworks for the GIS-based modelling of visibility [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2017, 84: 121-128.
- [14] 曹迎春, 张玉坤, 李严. 明长城军事防御聚落体系大同镇烽传系统空间布局研究 [J]. *新建筑*, 2017(2): 142-145. [Cao Yingchun, Zhang Yukun, Li Yan. Spatial layout of Datong's information-delivery system of the Great Wall military defense system in Ming Dynasty. *New Architecture*, 2017(2): 142-145.]
- [15] 相睿, 沈旸, 周小棣. 基于军事运作的明长城选址与布局特征: 以辽宁小河口段长城为例 [J]. *中国文化遗产*, 2018(3): 15-23. [Xiang Rui, Shen Yang, Zhou Xiaodi. Location and layout characteristics of Ming great wall based on military operation: Taking Xiaohekou Great Wall in Liaoning Province as an example. *China Cultural Heritage*, 2018(3): 15-23.]
- [16] 解丹, 张铭昊, 谭立峰. 基于GIS的明长城紫荆关防区防御性聚落空间特征研究 [J]. *中国文化遗产*, 2020(6): 97-104. [Xie Dan, Zhang Minghao, Tan Lifeng. Study on spatial characteristics of defensive settlements in Zijingguan defense zone of Ming Great Wall based on GIS. *China Cultural Heritage*, 2020(6): 97-104.]
- [17] 麦克·柯林斯, 马修·奥基, 亨利·欧文·约翰, 等. “双墙对话”: 英格兰遗产委员会哈德良长城保护管理十年回顾 [J]. *中国文化遗产*, 2018(3): 62-70. [Collins M, Oakey M, John H O, et al. "Double wall dialogue": Review of Hadrian Great Wall protection and management of England Heritage Committee for ten years. *China Cultural Heritage*, 2018(3): 62-70.]
- [18] 李哲, 黄斯, 李严, 等. 山海关选址格局防御体系可视化复现探析 [J]. *中国文化遗产*, 2022(3): 86-93. [Li Zhe, Huang Si, Li Yan, et al. Analysis and study on the layout of site selection and defense system construction of the Shanhai Pass. *China Cultural Heritage*, 2022(3): 86-93.]
- [19] 张立福, 陈浩, 孙雪剑, 等. 多维遥感数据时空谱一体化存储结构设计 [J]. *遥感学报*, 2017, 21(1): 62-73. [Zhang Lifu, Chen Hao, Sun Xuejian, et al. Designing spatial-temporal-spectral integrated storage structure of multi-dimensional remote sensing images. *Journal of Remote Sensing*, 2017, 21(1): 62-73.]
- [20] Baumann P. A general conceptual framework for multi-dimensional spatio-temporal data sets [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2021, 143: 105096. doi: 10.1016/j.envsoft.2021.105096.
- [21] 高凡, 乐鹏, 姜良存, 等. GeoCube: 面向大规模分析的多源对地观测时空立方体 [J]. *遥感学报*, 2022, 26(6): 1051-1066. [Gao Fan, Le Peng, Jiang Liangcun, et al. GeoCube: A spatio-temporal cube toward massive and multi-source EO data analysis. *National Remote Sensing Bulletin*, 2022, 26(6): 1051-1066.]
- [22] Iqbal M, Lissandrini M, Pedersen T B. A foundation for spatio-textual-temporal cube analytics [J]. *Information Systems*, 2022, 108: 102009. doi: 10.1016/j.is.2022.102009.
- [23] 张立福, 钟涛, 刘华亮, 等. 中国陆域1:100万植被指数UNVI多维数据集(2017) [J]. *遥感学报*, 2020, 24(11): 1293-1298. [Zhang Lifu, Zhong Tao, Liu Hualiang, et al. UNVI multidimensional dataset of 2017 China's terrestrial at 1:1000000 scale. *Journal of Remote Sensing*, 2020, 24(11): 1293-1298.]
- [24] 李仁杰, 谷枫, 郭风华, 等. 基于DEM的交通线文化景观感知与功能分段研究: 紫荆关长城景观的实证 [J]. *地理科学*, 2015, 35(9): 1086-1094. [Li Renjie, Gu Feng, Guo Fenghua, et al. Cultural landscape perception degree model and perception function division based on DEM of traffic line: A case study of Zijingguan Great Wall. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1086-1094.]
- [25] 郭风华, 程丽萍, 傅学庆, 等. 基于栅格结构的旅游景观感知计算方法 [J]. *地域研究与开发*, 2018, 37(1): 125-130. [Guo Fenghua, Cheng Liping, Fu Xueqing, et al. Calculation model of tourist's landscape perception degree within destination based on grid data structure. *Area Research and Development*, 2018, 37(1): 125-130.]
- [26] Ravazzani G. MOSAICO, a library for raster based hydrological applications [J]. *Computers & Geosciences*, 2013, 51: 1-6.
- [27] Gan T, Tarboton D G, Horsburgh J S, et al. Collaborative sharing of multidimensional space-time data in a next generation hydrologic information system [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2020, 129: 104706. doi: 10.1016/j.envsoft.2020.104706.
- [28] Nativi S, Caron J, Davis E, et al. Design and implementation of netCDF markup language (NeML) and its GML-based extension (NeML-GML) [J]. *Computers & Geosciences*, 2005, 31(9): 1104-1118.
- [29] Kothe S, Hollmann R, Pfeifroth U, et al. The CM SAF R toolbox: A tool for the easy usage of satellite-based climate data in NetCDF format [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(3): 109. doi: 10.3390/ijgi8030109.
- [30] Galiano V, Migallón H, Migallón V, et al. PyPnetCDF: A

- high level framework for parallel access to netCDF files [J]. *Advances in Engineering Software*, 2010, 41(1): 92-98.
- [31] 王想红, 刘纪平, 徐胜华, 等. 基于NetCDF数据模型的海洋环境数据三维可视化研究 [J]. *测绘科学*, 2013, 38(2): 59-61. [Wang Xianghong, Liu Jiping, Xu Shenghua, et al. Visualization of marine environment data based on NetCDF data model. *Science of Surveying and Mapping*, 2013, 38(2): 59-61.]
- [32] Lu M, Appel M, Pebesma E. Multidimensional arrays for analysing geoscientific data [J]. *ISPRS International Journal of Geo- Information*, 2018, 7: 313. doi: 10.3390/ij-gi7080313.
- [33] 郭风华, 孙宝磊, 李家慧, 等. 长城视觉景观资源及感知区位计算方法 [J]. *地理与地理信息科学*, 2022, 38(6): 9-16. [Guo Fenghua, Sun Baolei, Li Jiahui, et al. The Great Wall visual landscape resources and its perception location calculation method. *Geography and Geo-information Science*, 2022, 38(6): 9-16.]

Linear cultural heritage landscape visual perception location model and demonstration

SUN Baolei¹, GUO Fenghua³, LI Renjie^{1,2,4*}, CHEN Xinjie¹

(1. College of Geographical Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China;

2. GeoComputation and Planning Center of Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China;

3. Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences / Hebei Technology Innovation Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang 050011, China; 4. Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental Change, Shijiazhuang 050024, China)

Abstract: Appropriate visual perception location is a necessary condition for marvellous landscape experience, and rich visual perception spatial information resources will be helpful for exploring the overall perception of beautiful places. Linear cultural heritage not only contains rich resource value and profound cultural heritage assets, but also has important values in the attributes of visual landscape resources. However, the ability of the GIS viewshed computation results to characterize the visual relationship between the visual location and landscape semantics is insufficient for further carrying out the deep value mining of visual landscape resources. Based on the existing methods of landscape visual perception calculation, this study designed the landscape visual perception location model (LVPLM) for linear cultural heritage, and developed the organization method and application logic of the LVPLM dataset based on the NetCDF multidimensional raster data structure. The LVPLM dataset expresses the visual perceptual location through the two-dimensional geographic coordinates and the semantic information of the target landscape through the semantic feature point coding, and then constructs the visual relationship between the visual perceptual location and the landscape semantics, and realizes the information integration of the target landscape, the perceptual location, and the visual state. This study also designed three application modes of the LVPLM dataset, namely "drilling", "slicing", and "dicing", to lay the foundation for multi-modal landscape visual perception information mining and analysis. This study selected the linear cultural heritage landscape resources of the Great Wall for empirical research, established the LVPLM dataset of the Gubeikou Great Wall, and collected visual comparison verification data through field investigation and survey, evaluated the basic credibility of the dataset, initially proved the feasibility and application value of the LVPLM model, and also provided a new data resource for the high-quality construction of the Great Wall National Cultural Park. In addition, the LVPLM model also provides new ideas for the study of the human-environment relationship from the perspective of information expression of interaction perception between humans and the landscape.

Keywords: LVPLM model; landscape visual perception; semantic feature points; linear cultural heritage; NetCDF; Gubeikou Great Wall