

# 地理信息系统与人工智能

张桐<sup>1</sup>

1.中国地质大学（武汉）计算机学院，湖北 武汉 430078

## Geographic information systems and artificial intelligence

ZHANG Tong<sup>1</sup>

1. School of Computer Science, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430078, Hubei, China

**Abstract:** Artificial intelligence has been more and more widely used in GIS and is gradually becoming a research hotspot in the field of GIS. This paper reviews the specific applications of artificial intelligence technology in GIS, summarizes the different application scenarios of artificial neural networks and fuzzy logic, and points out the current deficiencies in the deep integration of artificial intelligence and GIS, and provides an outlook on the future of GIS and artificial intelligence.

**Key words:** Geographic information systems; artificial intelligence; neuron networks; fuzzy logic

**摘要：**人工智能在地理信息系统中得到了越来越广泛的应用，正逐渐成为地理信息系统领域的研究热点。本文对人工智能技术在地理信息系统中的具体应用进行了回顾，总结了人工神经网络和模糊逻辑的不同应用场景，并指出了当前在人工智能与地理信息系统的深度结合方面存在不足，对地理信息系统与人工智能的未来进行了展望。

**关键词：**地理信息系统；人工智能；神经网络；模糊逻辑

中图分类号：P208

文献标志码：A

## 1 引言

地理信息系统（geographic information system, GIS）是一种复杂的系统，它需要复杂的推理机制来处理由数据库管理系统维护的空间信息。然而，传统的推理方法在处理动态数据和存在不确定性的数据表现不佳。人工智能技术的出现为 GIS 的发展提供了新的机会。基于人工智能的推理方法具有自动化、数据驱动、自我学习和支持最佳决策的特点（Song and Wu 2021），可以克服传统推理方法所存在的缺陷。因此，人工智能技术在 GIS 中得到了越来越广泛的应用，近年来逐渐成为了地学科研与应用的主要热点（Karpatsch et al. 2018）。

## 2 人工智能

### 2.1 人工智能

人工智能（artificial intelligence, AI）是一种能够让机器具有智能行为、思考、学习和决策能力的技术。人工智能技术有许多不同的分支：

- 人工神经网络：模拟大脑中神经元的工作；
- 自然语言处理：旨在生产能够理解、翻译和交流人类语言的计算机系统；

- 自动化定理证明：通过计算机解决数学问题并发现新的数学概念；
- 遗传算法：通过模拟自然选择下的生物演化来解决问题；
- 知识库系统：以计算机可推理的方式对人类的专家知识进行编码。知识库系统能够帮助人们快速获取信息，并使用这些信息来解决问题；
- 案例式推理：模拟人类根据过去经验进行推理的方法来实现计算机推理。案例式推理能够帮助人们在缺乏完整的规则和理论的情况下，通过对历史数据的分析来解决新的问题；
- 机器人：建造能够适应环境的智能机器人；
- 计算机视觉：研究如何使计算机拥有人类般的视觉能力。例如图像分类、物体识别、人脸识别等。

在人工智能的不同领域中，有许多方法都可以应用于地理信息系统，但其中两种方法尤其常见：人工神经网络和模糊逻辑。

### 2.2 人工神经网络

人工神经网络（artificial neural network, ANN）是一种通过使用数学模型来模拟人脑及其学习能力

的计算机程序。ANN 中的神经网络由一系列处理单元组成，这些单元像人脑中的突触一样互相连接，知识则被表示为通过学习过程获得的一组互连权重。学习算法函数与学习规则（反向传播）被结合用于修改这些权重。(Hassoun 1995) ANN 与其它形式的计算机智能不同，它不像专家系统那样是基于规则的。

ANN 由输入、输出和隐藏层组成。数据从连接处移动到每个单元，以并行的方式进行处理。ANN 被训练来识别和概括一组输入和输出之间的关系，提供了一种从数据和数据映射中学习的机制。

### 2.3 模糊逻辑

模糊逻辑是一种模仿人类思考方式的计算方法，它能够应对不确定性和模糊性的数据。模糊逻辑推广了脆性逻辑(crisp logic)，允许真值具有部分程度。由于脆性逻辑中的二阶成员函数被模糊成员函数取代，模糊逻辑中的真值问题变为了一个程度问题，介于 0 和 1 之间。模糊逻辑在许多领域得到了广泛应用，如控制系统、决策分析、计算机视觉等。

## 3 人工智能在 GIS 中的应用

GIS 拥有庞大的数据量，不断产生的空间数据可以支撑人工智能模型的研究和应用，拥有广阔的人工智能应用场景。

### 3.1 人工神经网络

ANN 最早的应用之一是光学字符识别，后来它则被应用于数字地图学(Voženilek 2005)，现在，ANN 经常被用作分类和特征提取的替代工具(Lees and Ritman 1991)。

ANN 可以被训练来解决 GIS 中的决策问题，或是使用自组织映射(self-organizing map, SOM)来对人口普查数据进行分类(Kohonen 2001)，以及使用前反馈结构来对降水或房产价值进行预测。

(Openshaw and Openshaw 1997) 演示了 ANN 在建模空间相互作用和分类空间数据方面的作用。(F. Wang 1994) 成功地将 ANN 与 GIS 集成，进行土地适宜性分析。(Dantas et al. 2000) 结合遥感数据，使用 ANN 对波士顿大都会地区的旅游需求进行了预测。(Pijanowski et al. 2002) 使用 ANN 和土地变化模型(Land Transformation Model)来预测土地利用变化，并分析了结果的驱动因素，对结果进行了空间分析。(Beres et al. 2008) 使用 ANN 对霜冻进行了预测。

(Y. Wang et al. 2005) 讨论了一种基于代理(agent)的分布式人工智能 GIS 范式，并提供了基于 Geolet 的 DGIS 原型系统。

(Macgillivray, Wilson, and Holt 1999) 比较了多元回归和判别函数分析与神经网络和案例式推理在

GIS 中的应用，并基于统计参数测试、ANN 规则提取和专家建议构建了一个气候和调查环境数据的预测模型。

(Al-Bastaki 2006) 将 ANN 和通用算法应用于了 GIS 图像压缩和修复，发现基于自适应神经网络(adaptive neural network)的方法对于 GIS 图像具有良好的压缩性能，并且具体性能取决于自适应神经网络的簇数。

### 3.1 模糊逻辑

在 GIS 中，模糊模型相比传统模型的一个重要优势是，模糊模型能够自然和方便地输入专家知识。此外，模糊模型还具有处理非线性关系的能力，并且具有可解释性，而在这 GIS 应用中是很常见的需求。

模糊模型已经被应用于不精确的空间问题，包括数据收集、表示和分析，以及土地、土壤和遥感图像的分类。

(Yanar and Akyürek 2006) 使用 FuzzyCell，一个使用模糊集合论来增强传统 GIS 的系统，通过捕捉专家规则构建了模糊规则，并能够寻找决策问题的空间解。他们通过对输入数据的模糊度量来训练 ANN，从而快速有效地对所有数据再现相关地点。

(Tien Bui et al. 2016) 使用结合了模糊逻辑和 ANN 的模糊神经模型，提出了一种基于神经模糊推理系统和元启发式优化的洪水易感性(flood susceptibility)人工智能建模方法。在之后，(Tien Bui et al. 2017) 又提出了粒子群优化神经模糊(Particle Swarm Optimized Neural Fuzzy)模型，可用于热带森林火灾易感性(forest fire susceptibility)的建模。

## 4 人工智能在 GIS 中的未来

大多数在 GIS 中应用人工智能方法的项目主要有以下目标(Vozenilek 2009):

- 改善空间模式的选择方式
- 评估其它空间建模技术的准确性
- 对重要空间函数和过程进行规则提取和因子敏感度测试

ANN 很适合作为 GIS 数据的监督分类工具，许多商业 ANN 软件包已经被 GIS 专业人员所使用。通过多层神经网络可以实现深度学习，从而自动从原始数据中提取特征，并使用这些特征来做出决策。近年来，深度学习技术在多个领域得到了快速的发展(LeCun, Bengio, and Hinton 2015)，将深度学习与 GIS 相结合也将是人工智能在 GIS 中的应用热点。

人工智能在 GIS 中的潜力还没有得到充分开发，目前在 GIS 中的许多人工智能应用只是使用了传统的人工智能技术作为数据处理流程的一部分，而没有将人工智能与 GIS 深度结合。(宋关福 et al. 2020) 提出了一套人工智能 GIS 的技术体系，并以

SuperMap 为例阐述了人工智能 GIS 的软件架构及其实现, 为人工智能与 GIS 的深度融合提供了一定参考。



图 1 AI GIS 技术体系

Fig. 1 AI GIS technology architecture

## 5 结 论

虽然许多 GIS 用户满足于通过绘制地图来回答决策问题的范式, 但许多人类系统需要以自主方式进行空间推理, 需要根据数据和知识做出决策。人工智能技术能够帮助人们更好地理解和管理地球上的空间信息, 为各种应用提供更精确和有效的结果。本文对人工智能技术, 包括人工神经网络和模糊逻辑, 在 GIS 中的应用进行了回顾, 并指出了当前人工智能与 GIS 的深度结合有待进一步的发展, 对 GIS 与人工智能的未来进行了展望。人工智能在 GIS 中的未来充满了希望和机会, 它将会继续为地球上的空间信息研究和应用做出巨大贡献。

## 参考文献

- Al-Bastaki, Yousif A. Latif. 2006. "GIS Image Compression and Restoration: A Neural Network Approach." *Information Technology Journal* 5 (1): 88–93.
- Beres, M., L. Foresti, R. Tapia, and M. Kanevski. 2008. "Frost Risk Mapping Using Neural Networks and GIS Decision Models." In *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 10.
- Dantas, André, Koshi Yamamoto, Marcus V. Lamar, and Yaeko Yamashita. 2000. "Neural Network for Travel Demand Forecast Using GIS and Remote Sensing." In *Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks. IJCNN 2000. Neural Computing: New Challenges and Perspectives for the New Millennium*, 4:435–40. IEEE.
- Hassoun, Mohamad H. 1995. *Fundamentals of Artificial Neural Networks*. MIT press.
- Karpatne, Anuj, Imme Ebert-Uphoff, Sai Ravela, Hassan Ali Babaie, and Vipin Kumar. 2018. "Machine Learning for the Geosciences: Challenges and Opportunities." *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 31 (8): 1544–54.
- Kohonen, T. 2001. "Self-Organizing Maps, Berlin: Springer."
- LeCun, Yann, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. 2015. "Deep Learning." *Nature* 521 (7553): 436–44. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
- Lees, Brian G., and Kim Ritman. 1991. "Decision-Tree and Rule-Induction Approach to Integration of Remotely Sensed and GIS Data in Mapping Vegetation in Disturbed or Hilly Environments." *Environmental Management* 15 (6): 823–31.
- Macgillivray, Kit, J. B. Wilson, and Alec Holt. 1999. "The Use of Artificial Intelligence Techniques and GIS for Predictive Vegetation Modelling." In *Proc. of the 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC 99)*.
- Openshaw, Stan, and Christine Openshaw. 1997. *Artificial Intelligence in Geography*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pijanowski, Bryan C., Daniel G. Brown, Bradley A. Shellito, and Gaurav A. Manik. 2002. "Using Neural Networks and GIS to Forecast Land Use Changes: A Land Transformation Model." *Computers, Environment and Urban Systems* 26 (6): 553–75.
- Song, Weiwei, and Changshan Wu. 2021. "Introduction to Advancements of GIS in the New IT Era." *Annals of GIS* 27 (1): 1–4. <https://doi.org/10.1080/19475683.2021.1890920>.
- Tien Bui, Dieu, Quang-Thanh Bui, Quoc-Phi Nguyen, Biswajeet Pradhan, Haleh Nampak, and Phan Trong Trinh. 2017. "A Hybrid Artificial Intelligence Approach Using GIS-Based Neural-Fuzzy Inference System and Particle Swarm Optimization for Forest Fire Susceptibility Modeling at a Tropical Area." *Agricultural and Forest Meteorology* 233 (February): 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.002>.
- Tien Bui, Dieu, Biswajeet Pradhan, Haleh Nampak, Quang-Thanh Bui, Quynh-An Tran, and Quoc-Phi Nguyen. 2016. "Hybrid Artificial Intelligence Approach Based on Neural Fuzzy Inference Model and Metaheuristic Optimization for Flood Susceptibility Modeling in a High-Frequency Tropical Cyclone Area Using GIS." *Journal of Hydrology* 540 (September): 317–30. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027>.
- Vozenilek, V. 2009. "Artificial Intelligence and GIS: Mutual Meeting and Passing." In *2009 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, 279–84. Barcelona, Spain: IEEE. <https://doi.org/10.1109/INCOS.2009.83>.
- Voženilek, Vit. 2005. *Cartography for GIS: Geovisualization and Map Communication*.

- Univerzita Palackého.
- Wang, F. 1994. "The Use of Artificial Neural Networks in a Geographical Information System for Agricultural Land-Suitability Assessment." *Environment and Planning A* 26 (2): 265–84.
- Wang, Y., C. Rizos, L. Ge, M. Tanner, and M. Dwyer. 2005. "Distributed Artificial Intelligence in GIS-Geolet: A Distributed Geo-Spatial Information Retriever." *Journal of Spatial Science* 50 (2): 37–50.
- Yanar, Tahsin A., and Zuhail Akyürek. 2006. "The Enhancement of the Cell-Based GIS Analyses with Fuzzy Processing Capabilities." *Information Sciences* 176 (8): 1067–85.
- 宋关福, 卢浩, 王晨亮, 胡辰璞, and 黄科佳. 2020. "人工智能 GIS 软件技术体系初探." 地球信息科学学报 22 (1): 76–87.
- 收稿日期:** 2022-12-30
- 第一作者简介:** 张桐 (2002–), 男, 本科生。
- First author:** ZHANG Tong (2002–), male, undergraduate.
- E-mail:** ztong03@hotmail.com