

文章编号: 1007-4619 (2001) 03-0166-05

基于 Petri 网的模型与 GIS 集成研究

王少文, 薛 安, 倪晋仁

(北京大学 环境科学中心 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 以 BP 神经网络遥感分类模型为例, 探讨了模型与地理信息系统的集成问题。指出问题的实质是对象状态数据模型、对象模拟模型和对象分析处理模型的综合表达与处理。提出了建立在元数据和元模型基础上基于数据处理流程的集成方案的一般结构。分析了 Petri 网的演绎形 Derivation 网的特点, 设计了 Derivation+网。提出了 Derivation+网对元数据和元模型的管理方案以及 Derivation+网内部校验方法。在此基础上以 Derivation+网为核心, 以元数据和元模型为接口, 建立了基于数据处理流程的模型与 GIS 的集成方案。

关键词: 地理信息系统; Petri 网; 集成; BP 神经网络遥感分类模型

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

BP 神经网络是迄今为止应用最为广泛的神经网络模型。它具有结构简单, 概念易于理解的特点, 用于遥感图像处理方面的技术也日臻完善。通过 BP 神经网络分类器处理遥感影像, 它的先验知识、样本获取以及分类结果的后续处理等都需要地理信息系统的支持。研究模型与地理信息系统的集成方法, 不仅有益于地理信息系统支持下的遥感分类模型的研究, 更是数字地球研究与实现的必要技术基础。

GIS 和相关领域的许多学者已从各自的领域探讨了模型与地理信息系统集成的问题, 提出了许多集成方案。Bennett^[1]曾以模型为中心, 用面向对象的方法设计了一个模型与 GIS 的集成框架。张犁^[2]在对象连接与嵌入(OLE)技术的复合文档基础上提出了一个动态集成方法; Kehris^[3]在统计分析软件包 GLIM 和 ARC/INFO 之间建立数据连接, 提出了对等式的集成方案。Baller 和 Stutheit^[4]等在时间地理信息系统基础上嵌入生态与大气模型实现了一个内嵌式集成方案。周学政^[5]等把 GIS 作为数据源, 用面向对象程序语言开发了 GMP 软件包, 实现了一个以空间分析系统为核心的集成系统。Ding 和 Fotheringham^[6]用 GIS 的宏命令语言编写激活模型系统的

驱动程序, 在 GIS 和模型之间提供了一个无缝的操作环境, 实现了 GIS 与模型系统的功能集成方案。

这些集成方案基本上是在数据与功能共享的原则下从某一应用角度探讨集成的方法, 如空间分析处理系统与 GIS 的集成, 环境模型、洪水模型与 GIS 的集成等。缺乏从一般应用系统的角度研究基于数据处理流程的集成方法。本文在元数据和元模型基础上, 以数据为中心, 探讨用 Petri 网的语义模型来表达数据处理流程中的数据演化和模型调整。并以 BP 神经网络遥感图像分类模型为例, 设计、实现基于数据处理流程的模型与 GIS 的数据与功能的集成。

2 集成方法

一个地学数字系统一般由对象状态数据模型、对象模拟模型和对象分析处理模型组成。不同的系统对这 3 种模型的表现形式一般是不同的, 模型与地理信息系统的集成研究, 最基础的就是为不同的系统实现提供 3 类模型的统一表示形式, 实质就是研究对象状态数据模型、对象模拟模型和对象分析处理模型的元数据和元模型。

在元数据和元模型基础上, 一个系统可划分为数据对象和处理对象。数据对象表示系统中的各种数据, 处理对象则表示系统中对数据对象进行各种

运算处理的功能模块，处理对象之间通过数据的传送保持联系。模块之间的数据依赖关系形成各种拓扑图——数据流图，以数据流图组合各种处理对象来集成各种功能模块是设计与实现各种集成系统的基础。

数据流图是由结点和管道构成的数据流网络，结点是对各种处理对象的抽象，管道是对结点之间数据联系的抽象。根据模型计算与地理信息系统对处理对象的要求，划分结点为数据泵结点、数据池结点、模型结点、可视化结点和数据处理结点。为控制数据流图的执行，管道也被划分为 5 类：即单向无条件管道、单向计数管道、单向开关管道、单向条件管道和双向无条件管道。

数据流图由命令流和数据流驱动。对于数据流，数据从源结点中流出，沿流图中的管道流到其它结点，驱动其它结点进行计算，并产生新的数据流传到更多的结点处。对于命令流，命令流的流向与数据流的流向相反，由管道的目标结点发向源结点，指示源结点提供数据，若源结点没有可发送的数据，且它的入端口中数据不齐备时，就会向它的源结点发送数据请求指令，如此则形成逆于数据流的指令流。

在元数据和元模型基础上，根据数据流原理可设计多种集成方案，各种集成系统的一般结构如图 1 所示：

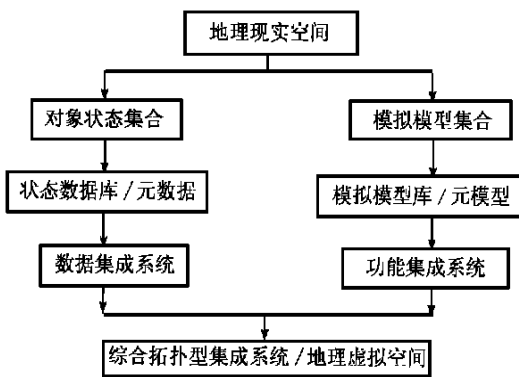


图 1 集成系统一般结构

Fig. 1 A generic structure of an integrated system

3 基于 Petri 网的集成实现

3.1 Petri 网^[7]

Petri 网是表达和分析系统行为及表现的系统建模工具，它的形式定义如下：

定义 1 Petri 网表示为一个 4 元组，即 $p = (P,$

$T, I, O)$ 。其中， $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 是位置 (Place) 的集合， $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 是转移 (Transition) 的集合。用输入函数 I 和输出函数 O 表达位置和转移的关系。对于每个转移， $I(t)$ 定义了转移 t 的输入集团， $O(t)$ 定义了转移 t 的输出位置。

定义 2 标记 (Marking) 是用 Token 对网上若干位置 (Place) 的一次赋值操作，即 $\mu: p \rightarrow N$ 。其中 $\mu(t)$ 表示与转移 t 相关的 Token 数目。一个被标记的 Petri 网表示为一个 5 元组，即 $M = (P, T, I, O, \mu)$ 。

定义 3 Petri 网的两个组成部分是用环代表的位置 (Place) 和用线代表的转移 (Transition)，用箭头把位置 (Place) 和转移 (Transition) 相关联。Token 根据点火规则从一个位置转移到另一个位置。点火规则描述了 Petri 网的行为准则。

定义 4 Petri 网的点火规则为：(1) 当所有输入位置 (Place) 中都含有至少一个 Token 时，和这些位置相关的转移就被称为活动的转移；(2) 一个转移点火要消耗掉输入位置 (Place) 中的 Token，而把新的 Token 积累到输出位置 (Place) 中；(3) 当一个转移 (Transition) 被激活时，每个位置 (Place) 中的 Token 数目往往大于 0 个。

3.2 Derivation+网

Derivation 网是 Petri 网的扩展形，是单级结构，可以被扩展为多级层次结构。在层次的 Derivation 网中，位置 (Place) 和转移 (Transition) 自身仍可以被认为是 Derivation 网，即形成递归定义。由于 Derivation 网缺乏对转移的详细表达，为便于实现基于 Petri 网的集成，把网中转移 (Transition) 定义为元模型 (metamodel) 的实例，加入选取元模型和调整转移的模块，改造 Derivation 网为 Derivation+网。

Derivation+网中不仅能够记录数据演化的历史，也还能够表达元模型。从基础的 GIS 中取出原始数据，生成元数据，同时从模型库中生成元模型，便可建立 Derivation+网。当完成这样一个 Derivation+网建设后，可对它和 GIS 及模型库之间的连接进行优化。

在 Derivation+网基础上，GIS 与模型集成主要包括 Derivation+网的管理 (元数据的演化管理和元模型的选取等) 和 Derivation+网内部的校验。

3.3 Derivation+网的管理

在 Derivation+网中管理的是元数据和元模型，而不是直接的地理数据和模型。通过构造元数据和

元模型, GIS 与模型集成就被分解为: (1) 元数据和元模型通过 Derivation+网的连接; (2) 元数据与地理信息空间、元模型与模型空间的双向映射。图 2 表达了集成机制中管理 Derivation+网的平台(Net-Workplace), 提供了对 Derivation+网的基本操作, 如编辑网和在网库中查询。图中两端为黑心圆点和方

框的连线表示构成关系, 一端有圆圈的连线表示操作关系。Derivation+网的位置(Place)和转移(Transition)在图 1 中被显式表达, 而点火规则由位置和转移共同体现, 没有显式表达。在转移中有连接元模型的行为, 如 LinkAMetamodel() 及 AdjustAMetamodel(), 这一点是保证 GIS 与模型集成的关键。

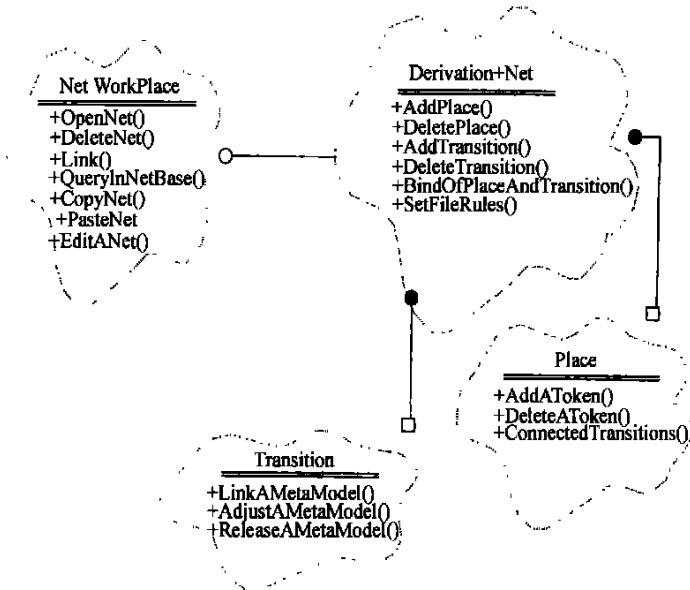


图 2 Derivation+网的管理框架

Fig. 2 A management framework for derivation+net

3.4 Derivation+网内部的校验

校验涉及两方面的内容: (1) 验证元模型的合法性, 这一部分内容需要和实际的模型库连接(Get-ComputingBody()); (2) 验证元数据的合法性, 这一部分内容由多个分支统一构成(CheckAttribute-properties, CheckTimeProperties, CheckSpatial-properties)。

Booch CASE 工具中的 Actor 是 CASE 工具一种特殊的类。除了具有一般类的特征, 即具有属性和行为, Actor 还能接收和响应双向的信息流动(Transition)。因此可用 Actor 和 Transition 来校验 Derivation+网的合法性。

如果校验的结果是合法的, 那么所构造的 Derivation+网表示的模型处理和数据演绎过程是有效的, 也即通过该网在模型与 GIS 之间建立的连接是有效的。

4 实例

4.1 BP 神经网络遥感分类模型^[8,9]

BP 神经网络模型是由输入层、隐层和输出层组成的多层网络, 实现了多层网络学习功能。输入由输入层传到隐层, 经隐层单元逐层处理后送到输出层, 由输出层单元处理后产生输出。如果输出与期望输出相比误差较大, 就转入误差后向传播, 将误差值沿网络连接通路逐层传送并修正各层连接权值。不断用一组训练模式中的每个训练模式训练网络, 重复前向传播和误差后向传播过程。当每个训练模式都达到要求时, BP 网络就训练完成。

基于 BP 网络的遥感图像分类器包括学习实例和学习算法两个主要部分。学习实例方面要求学习样本是对称的。如果是非对称的学习样本, 神经网络学习系统就会向大量的类偏移, 而忽略小数量的类。用下述算法产生对称的学习区。

算法: 产生网络的对称学习区;

输入：各类的训练区；
 输出：网络的学习区；
 开始
 循环(循环次数≤最大类的样本数)
 (1) 按顺序从各类训练区中获取样本，放到网络学习区内；
 (2) 判断是否有训练区已被取空
 是：把取空的训练区设置成从开始取的状态；
 否：继续；
 结束

神经网络计算的核心是通过向量和矩阵计算实现的。在面向对象程序设计语言上，设计了如图 3 的神经网络模型体系。

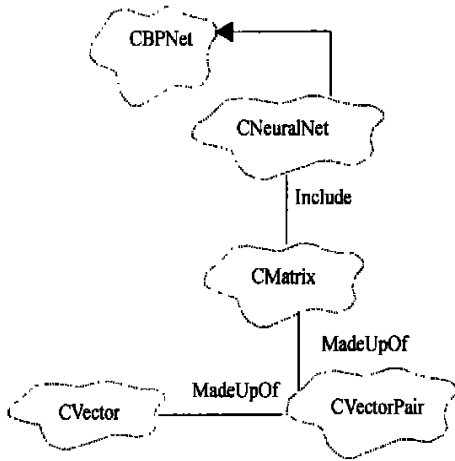


图 3 神经网络模型体系

Fig. 3 A model hierarchy of the neural net

4.2 Derivation+网

在集成系统中的模型应对所有的应用都是透明的。因此在处理遥感图像分类时，需要严格按照元模型的定义调整原来的模型。在实现中采用面向对象的方法编写 BP 神经网络遥感图像分类模型，这样不但网络的参数容易调整，而且 Derivation+网适应具体应用的能力也很强。

图 4 是表达 GIS 与 BP 神经网络遥感图像分类模型集成的 Derivation+网，其中圆圈代表位置(Place)，立方体代表转移(Transition)，黑点代表 Token，在位置旁边有关于 Token 类型的注释。系统初始，只有一个遥感图像 Token，样区 Token 由系统的用户生成。当这两种 Token 都有实例时，预处理 Token 就点火运算，产生出训练样本 Token。遥感图像

Token 和训练样本 Token 的实例是 BPNet Token 点火的前提。BPNet 最终能够产生出土地覆盖数据 Token。

在图 4 的 Derivation+网的元数据表达实例中，元数据结构清晰，只涉及到 TRSImage。随着应用的深入，还会涉及到 TGeoData 和 TGeometry，以便于把土地覆盖 Token 转化为 GIS 系统中其他元数据形式。

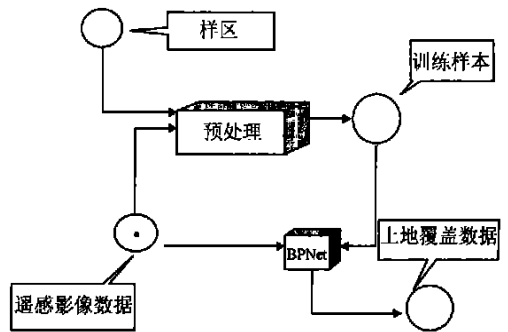


图 4 GIS 与 BP 模型集成的 Derivation+网

Fig. 4 A derivation+ net for the integration of GIS and BP model

模型系统的元模型主要体现在神经网络的体系上。在构建 BP Neural Net Classifier 系统时，以图 4 的 Derivation+网为核心，使得元模型的调整很容易。表现在两个方面，即从通用的神经网络模型到专用模型的调整和在 BP 神经网络学习过程中网络参数的调整。

Derivation+网支持模型查询和模型重用，它的理论基础是 Derivaton+网的可达性(Reachability)、反转可达性(Reverse Reachability)、和反转性(Reversibility)。在 BP Neural Net Classifier 系统中把 Derivation+网作为一种资源加以管理。但是，这只是初步，还需要实现 Derivation+网的查询机制。

在图 4 的 Derivation+网上，用 BP 神经网络遥感分类模型对厦门 TM 影像进行分类，分类结果图像见图版 I 图 5。

为了对比集成与分类效果，利用同样的影像资料和训练样本图斑数据资料，在遥感图像处理软件 ENVI 下用最大似然法对厦门 TM 影像进行了分类。集成系统下的 BP 神经网络遥感分类方法与 ENVI 下的最大似然法在分类精度方面前者略高 2%；在分类时间上前者是后者的 1.6 倍；在与地理信息系统空间数据的访问上，前者可直接访问存在于 GIS 中的训练样本图斑数据，而后者通过空间数据格式

转换实现。

5 结 论

本文在 Petri 网的演绎形 Derivation 网基础上设计了 Derivation⁺网。探讨了 Derivation⁺网的元数据和元模型的管理以及内部校验方法。采用 Derivation⁺网的信息控制方式,把数据演化和模型管理(Derivation⁺网)完全和 GIS 与模型库分离,在它们之间通过专门的连接机制来完成数据与功能的共享,初步实现了模型与 GIS 的集成。并以 BP 神经网络遥感分类模型为例,设计了相应的 Derivation⁺网,运行结果基本满足集成设计的要求。

参 考 文 献 (References)

- [1] Bennett David A. A Framework for the Integration of Geographical Information Systems and Model base Management[J]. *IJGIS*, 1997, 11(4): 337—357.
- [2] Zhang Li. The Theory and Practice of GIS Integration[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(4): 306—313. [张犁. GIS 系统集成的理论与实践[J]. 地理学报, 1996, 51(4): 306—313.]
- [3] Kehris E. Interfacing ARC/INFO with GLIM[R]. Research Report No 5, North West Regional Laboratory, Lancaster University, 1990.

- [4] Wheeler D J. Linking Environmental Models with Geographic Information Systems for Global Change Research [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1993, 59(10): 1497—1501.
- [5] Zhou Xue Zheng, Xia Fu Xiang. The Integration of GIS and Spatial Analysis Method—An Object Oriented Integration Method. In: *The Progress and Prospect of GIS* (Ed. Lin Hui). Beijing: Science Press, 1993, 120—134. [周学政, 夏福祥. 地理信息系统和空间分析方法的综合——面向对象的综合方法[A]. 林军. 地理信息系统的发展与前景[C]. 科学出版社, 1993, 120—134.]
- [6] Ding Y, Fotheringham A S. The Integration of Spatial Analysis and GIS [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1992, 16: 3—19.
- [7] Hachem Nabil I, Serrao Nina, Gennert Michael A. Derivation Nets: A Petri Nets Model for the Management of Data Derivations in the Scientific Experiments[R]. From the technique reports of the Computer Science Dept. of Worcester of Polytechnic Institute through Internet, 1997.
- [8] Jarvis C H, Stuart N. The Sensitivity of A Neural Network for Classification Remotely Sensed Imagery [J]. *Computers and Geosciences*, 1996, 22(9): 959—967.
- [9] Li Xiao An *et al.*, Introduction to Neural Net and Neural Computer [M]. Xi'an: Northwest Industry University Press, 1995. [李孝安等. 神经网络与神经计算机导论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.]

Integration of Model and GIS Based on Petri Nets

WANG Shao-wen, XUE An, NI Jin-ren

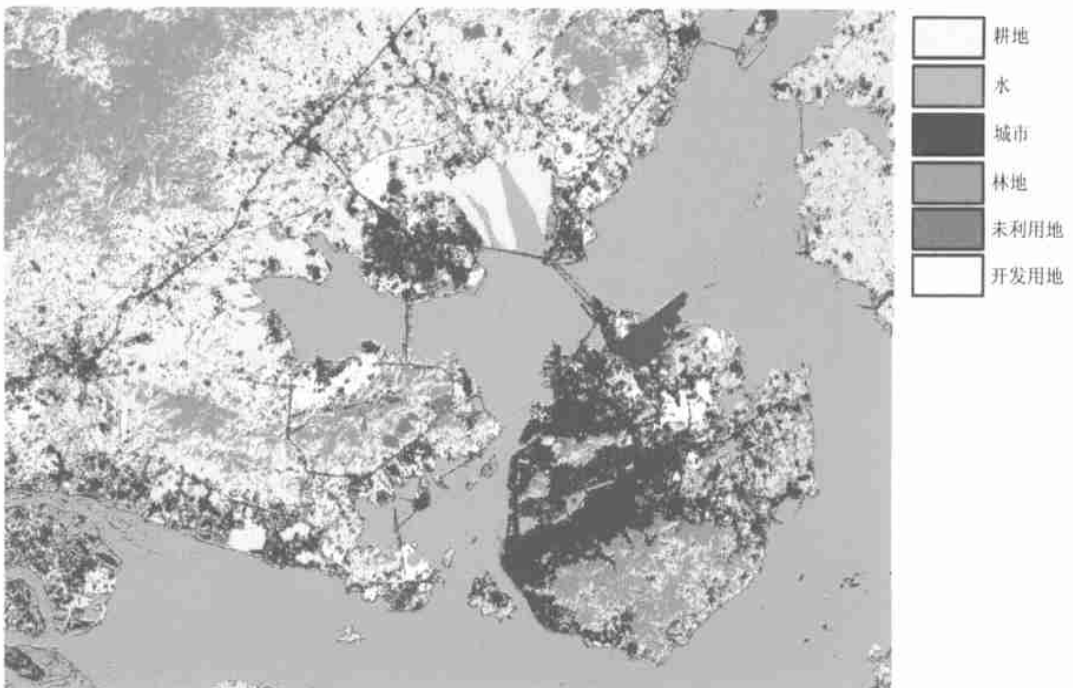
(Center of Environmental Science, Peking University, 100871, China)

Abstract: This paper discussed the integration of model and GIS. It is shown that the integrated expression and the processes of the object state model, the object simulative model and the object analytic model are key issues for integration. An integration scheme based on metadata and metamodel is suggested. The characteristic of the derivation nets deducted from petri nets was analyzed and a new derivation⁺ nets was presented to express the evolution history of metadata and the adjustment of metamodel. Then an integration scheme based on derivation⁺ nets, which is used to express the data process flow, was proposed. As a result, a derivation⁺ net of the remote sensing classifier of BP neural nets is made to illustrate the strategy of the integration of model and GIS.

Key words: GIS; petri nets; integration; BP neural nets classifier



(a) TM 影像



(b) 分类结果