

DOI: 10.3969/j.issn.1673-064X.2018.03.019

中图分类号: TE19; TP317

文章编号: 1673-064X(2018)03-0117-10

文献标识码: A

基于像素匹配的矢量图件标准 转换系统的构建与实现

刘敦龙¹ 吴向阳² 唐 聃¹ 吴 倩³

(1. 成都信息工程大学 软件工程学院 四川 成都 610103; 2. 兰州石化公司 研究院,
甘肃 兰州 730060; 3. 四川省地质工程勘察院 四川 成都 610032)

摘要: 不同标准的矢量图件难以相互转换,导致图件信息共享存在障碍,空间数据的利用率较低等一系列问题。为此,以符号双向映射和像素匹配作为基本原理,利用数据库与 GIS 技术设计实现了基于像素匹配的矢量图件标准转换系统。系统主要通过标准符号库获取、符号映射关联表构建、图件符号解析、符号匹配与识别、目标标准符号获取和符号标准转换实现矢量图件标准转换。实际工作中的图件在三大石油标准间的相互转换实例结果表明:系统不仅具有运行稳定、操作简便和自动转换的特点,而且具有较高的转换精度和较强的实用性,可以很好地解决石油领域不同标准图件信息难以共享和空间数据利用率低的问题。

关键词: 矢量图件; 标准转换; 地球信息系统; 像素匹配

Construction and Implementation of Vector Map Standard Conversion System Based on Pixel Matching

LIU Dunlong¹, WU Xiangyang², TANG Dan¹, WU Qian³

(1. College of Software Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610103, Sichuan, China;
2. Research Institute, Lanzhou Petrochemical Corporation, Lanzhou 730060, Gansu, China;
3. Sichuan Geological Engineering Investigation Institute, Chengdu 610032, Sichuan, China)

Abstract: The vector drawings of different standards are difficult to convert to each other, which leads to a series of problems such as the difficult sharing of the map information and the low utilization of spatial data. Therefore, based on the principle of symbol bidirectional mapping and pixel matching, a vector map standard conversion system based on pixel matching was designed and implemented by means of database and GIS technology. The implementation of vector map standard conversion is mainly by the acquisition of standard symbol library, the construction of symbol mapping correlation table, the analysis of map symbols, the matching and recognition of map symbols, the acquisition of target standard symbols and the conversion of symbol standard. The system was applied to the mutual conversion between three major petroleum standards, and the verification results show that the system not only has the characteristics of stable running, simple operation and automatic conversion, but also has high conversion accuracy and strong practicability. It can well solve the problems such as the difficult sharing of the map information and the low utilization of spatial data in petroleum industry field.

Key words: vector map; standard conversion; GIS; pixel matching

刘敦龙, 吴向阳, 唐聃, 等. 基于像素匹配的矢量图件标准转换系统的构建与实现[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2018, 33(3): 117-126.

LIU Dunlong, WU Xiangyang, TANG Dan, et al. Construction and implement of vector map standard conversion system based on pixel matching[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2018, 33(3): 117-126.

收稿日期: 2017-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61501064); 中石油重大科技专项(2012D-4602-05); 成都信息工程大学科研基金(KYTZ201616)

作者简介: 刘敦龙(1987-), 男, 博士, 研究方向: 3S 技术在地学中的应用和地质灾害预警技术。E-mail: ldl@cuit.edu.cn

通讯作者: 唐聃(1982-), 男, 博士, 研究方向: 信息安全和编码理论。E-mail: tangdan@foxmail.com

引言

地图符号是地图的语言单位^[1-5],是可视化表达地理实体信息内容的基础工具^[6-12]。而利用各种不同的地图符号表达不同的地理实体便可形成地图^[13-16]。因此,矢量图件标准转换的实质是图件所应用的地图符号的转换。地图符号的转换一直是GIS研究领域的难点和热点^[13-14]。GIS以其强大的空间数据管理和可视化能力在各行业领域得到了广泛应用^[17-21]。同时以ArcGIS为代表的各GIS软件均提供了大量的符号库来满足快速制图和不同行业用户的需求^[9, 22]。但是不同的GIS软件,甚至不同领域、同一领域的不同部门或不同地区,出于自身的需要,都设计了一套自己特有的符号体系^[4, 22]。例如,石油领域经常采用的制图标准有中国石油标准、USGS标准和SHELL标准,“油田”实体在三大石油标准中的符号表达不同(图1)。这种差异使得基于GIS的空间数据交流与信息共享出现障碍,特别是影响了技术人员的读图效率。



图1 “油田”实体在三大石油标准中的符号表达和名称
Fig. 1 Express and name of “oil field” in three petroleum standards

实际工作中的图件(文中的图件是指由GIS软件制作的矢量图件,即一种工程文件)来源多样,其制图标准也不尽相同。为了保证图件内容信息的一致性,需要将图件按照特定标准进行转换(如,将A制图标准下的图件转换为B制图标准下的图件),而图件标准转换的实质是图件中符号的转换。在任何一个GIS软件提供的符号库中,每一个符号都有与之对应的特定编码或名称^[3, 9, 13, 23]。理论上讲,地图中的每个符号也都具有特定的编码和名称,只要找到地图符号对应的编码或名称,就可以相互转换。然而,图件中的符号只保存了其式样和渲染信息,并不包含符号的编码或名称,致使无法根据符号的编码信息对图件中的符号进行自动批量转换。因此,识别出图件中的符号是符号标准转换必须解决的首要问题。为此,许多学者开始对地图符号数据结构展开研究,相继提出了不同的符号描述与识别模

型^[24-30]。然而,这些模型的原理非常复杂且要求条件较高,实现困难且识别精度不高。因此目前通常采用手工方式对图件中的所有符号逐个进行转换。这种方式不但费时费力,而且需要技术人员预先了解图件中各个符号的含义,否则就会造成符号表达错误,无法真实反映出原图件所传达的信息。

为了解决这一问题,本文提出了矢量图件的符号识别与自动转换方法,解决了不同标准的地图符号无法自动批量转换的难题。同时,基于该转换方法,借助Visual C#编程语言,Oracle数据库和ArcGIS Engine平台设计并实现了基于像素匹配的矢量图件标准转换系统,且该系统可与ArcGIS实现无缝集成。目前,该系统已作为一个子系统在中国石油勘探开发研究院投入运行,并取得了良好效果。本文以石油地质图件在中国石油标准、荷兰SHELL标准以及美国USGS标准之间的转换为检验实例,分析和验证了系统的转换精度和适用性。

1 矢量图件标准转换原理和流程

1.1 转换原理

矢量图件标准转换的实质是图件中地图符号的转换,而地图符号是地理实体的图形化表达^[9, 13, 32]。因此只要找出同一地理实体在不同制图标准中对应的符号,就可以实现不同标准地图符号的转换。然而,只有符号库中的符号既存储了符号的式样和渲染信息,也存储了符号名称和编码。而图件中的符号只保存了其式样和渲染信息,并不包含符号名称或编码^[31]。为此,需要解决以下2个问题:(1)根据各标准的制图规范和符号库,建立同一地理实体在不同标准间的映射关系。这样只要知道某一空间实体在某个标准中对应的符号,就可以利用映射关系找到其他标准的相应符号,从而实现符号的相互转换;(2)利用映射关系的前提是识别出图件中的符号,也就是将图件中的每个符号与符号库中的所有符号进行像素匹配,以获取符号名称或编码,这是图件标准转换的关键。

1.2 转换流程

基于像素匹配的图件标准转换系统主要通过标准符号库建立、符号映射关联表构建、图件符号解析、符号匹配与识别、目标标准符号获取和符号标准转换等步骤完成不同制图标准下的矢量图件标准转换(图2)。其中标准符号建立即针对某个领域(如

石油、电力等),获取各制图标准规范并建立符号库;符号映射关联表构建即通过唯一关键字(如符号名称)实现同一地理实体不同表达符号的对应关系;图件符号解析即解析待转换图件中所采用的符号,获取符号相关信息,包括符号式样和渲染信息;符号匹配与识别即把图件中的符号与其标准符号库中同类别(点、线、面)的符号进行匹配以识别出图

件中符号的名称,是图件标准转换过程中最为关键的一步;目标标准符号获取即根据符号名称在映射关联表中查找与其对应的目标标准下的符号名称;符号标准转换即利用目标标准符号对待转换符号所表达的地理实体进行符号化。本文以待转换图件中某个符号的转换为例详细阐述系统的工作流程,其他符号的转换方式与之相同。

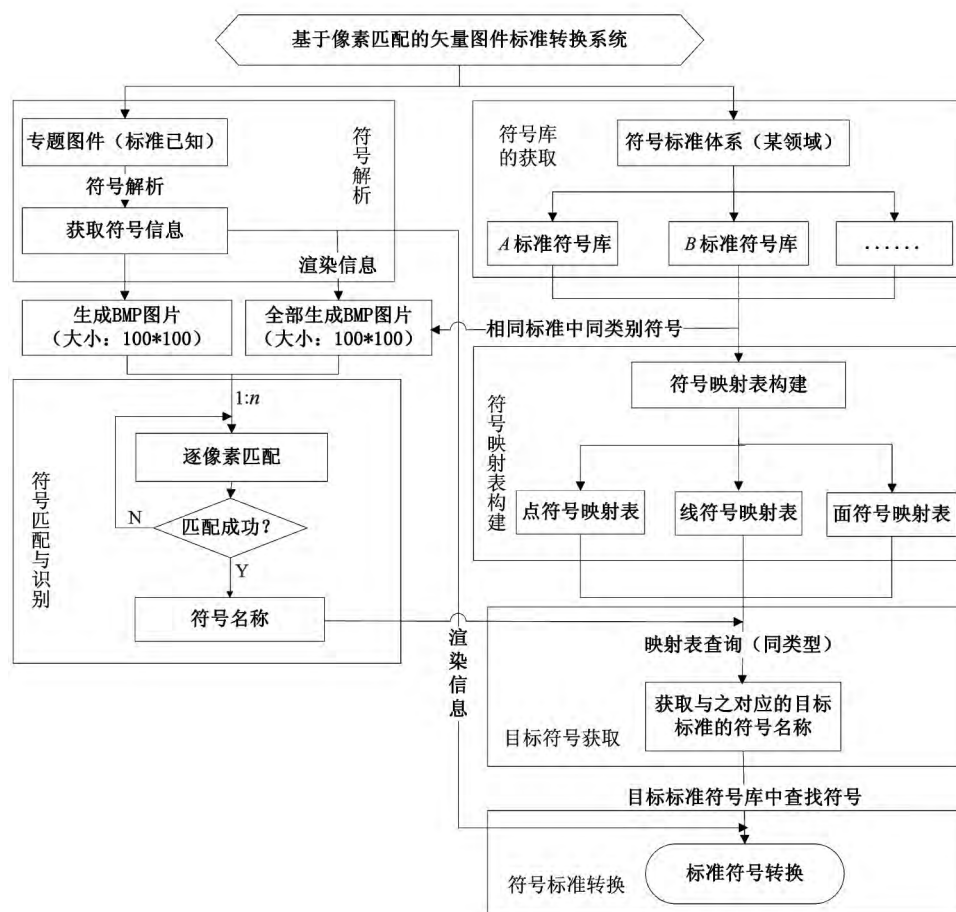


图2 矢量图件标准转换流程图

Fig.2 Conversion flow chart of vector map between different standards

1.2.1 符号映射关联表构建 其实质是构建同一地理实体在不同制图标准间的一一对应关系。映射关联表存储在数据库中,以符号名称为关键字进行双向映射,同一行中的符号名称表示相同的地理实

体(表1)。为提高后续查询效率,符号映射关联表分别建立点状符号映射关联表、线状符号映射关联表和面状符号映射关联表,分别对应标准符号库中点、线、面3类符号。

表1 符号映射关联表
Tab.1 Symbolic mapping association table

ID	制图标准 A	制图标准 B	制图标准...	含义
1	符号名称 a_1	符号名称 b_1	符号名称...	地理实体 s_1
2	符号名称 a_2	符号名称 b_2	符号名称...	地理实体 s_2
3	符号名称 a_3	符号名称 b_3	符号名称...	地理实体 s_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

1.2.2 图件符号解析 其目的是通过解析图件获取符号信息,即符号的式样(形状)和渲染信息(如大小、填充色和纹理等;点、线、面符号的渲染信息不同)。

1.2.3 符号匹配与识别 这是图件标准转换的关键步骤。其目的是通过将待转换图件中的符号与标准符号库中的符号进行匹配,以获取该符号的名称(表2)。为了提高查询与匹配效率,在其标准符号库中查找与待转换符号类别(点、线、面)相同的所有符号。符号匹配与识别的流程如下:

(1) 待转换符号生成 BMP 格式图片。根据所获取的符号式样和渲染信息,将待转换的符号生成







BMP 格式图片(100*100 像素)。

(2) 标准符号库中的符号生成 BMP 格式图片。根据待转换符号的制图标准,在该标准符号库中查找与待转换符号类别相同的所有符号,即若待转换符号为点状符号,则查找其标准符号库中所有点状符号;若待转换符号为线状符号,则查找其标准符号库中所有线状符号,以此类推;用步骤 1.2.2 中获取的渲染信息渲染这些符号;然后根据这些符号的式样和渲染信息,生成相同大小的 BMP 格式图片。

(3) 逐像素匹配。将步骤(1)生成的图片和步骤(2)生成的所有图片进行逐像素匹配,以获取待转换符号在其标准符号库中的名称。

表 2 符号匹配与识别原理

Tab.2 Principle of symbol matching and recognition

图件中的符号	符号库中的符号	像素是否完全匹配	识别结果
		×	符号名称或编码
		×	
		√	
		×	
		×	

1.2.4 目标标准符号获取 根据步骤(3)获取的符号名称在符号映射关联表中查找目标标准对应的符号名称,并在目标标准符号库中获取该目标符号。为提高查询效率,若为点状符号,则在点状符号映射关联表中查找;若为线状符号,则在线状符号映射关联表中查找,以此类推。

1.2.5 符号标准转换 利用步骤 1.2.2 获取的待转换符号的渲染信息渲染目标标准符号,利用已渲染的目标符号对待转换符号所表达的地理实体进行

符号化表示,最终完成符号转换。

2 系统的设计与实现

2.1 系统体系结构

系统的体系结构主要划分为参数数据输入、基础数据构建、图件转换结果展示 3 部分,各部分之间通过用户操作界面进行交互。系统体系结构如图 3 所示。

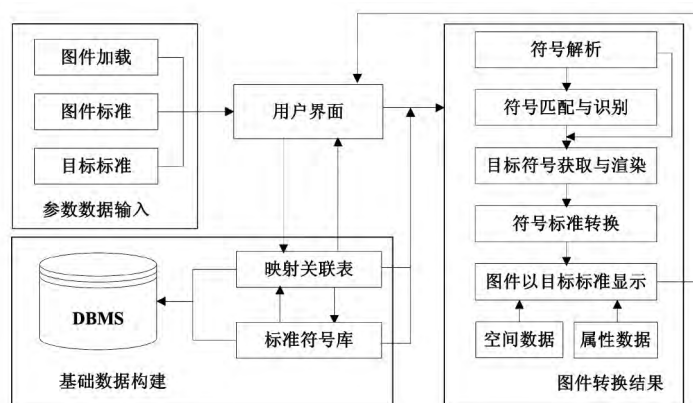


图 3 系统体系结构

Fig.3 Architecture of the system

(1) 参数数据输入: 用户通过系统的图形界面加载并展示待转换图件数据, 选择待转换图件的制图标准与转换目标标准参数。

(2) 基础数据构建: 用户根据该行业的制图标准, 建立各标准的符号库(*.style)文件, 利用 MakeServerStyleSet 工具将其转成 ArcGIS Engine 平台下可识别的符号库(*.serverstyle)文件, 存储在数据库的 Blob 字段中。基于各标准符号库, 以符号名称作为关键字, 按照表 1 的结构在数据库中创建符号映射关联表(点、线、面符号各一个, 共 3 个)。

(3) 图件转换结果展示: 系统将解析图件中的

每个符号, 获取符号的式样和渲染信息。根据符号的式样和渲染信息, 将图件中的每个符号生成的图片分别与符号库中的所有符号生成的图片以图 2 的方式进行逐像素匹配以获取待转换图件中符号的名称。

2.2 系统功能模块

基于像素匹配的图件标准转换系统主要由系统管理、系统工具、图件标准转换、地图打印输出和图层右键等五大模块组成(图 4)。此外, 系统内部还嵌入了用户常用的 GIS 功能, 使系统更具普适性。

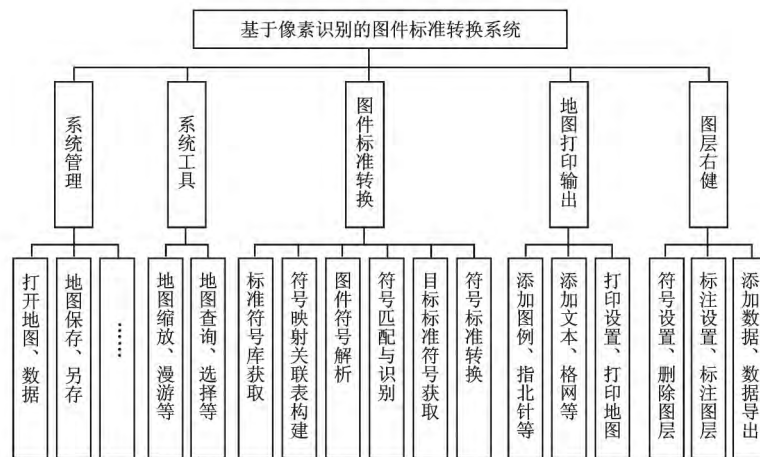


图 4 系统功能结构

Fig. 4 Functional composition of the system

系统管理模块: 为用户提供了地图数据管理和系统功能管理功能。地图数据管理功能包括打开和保存地图数据、加载本地和空间数据库数据、输出地图和清空地图等; 系统功能管理功能包括地图坐标系转换与编辑、用户管理, 以及启动 ArcMap, 把系统的地图数据全部加载到 ArcMap 中同步显示与操作, 实现了与 ArcGIS 的无缝集成, 大幅提高了工作效率。

系统工具模块: 该模块对系统中常用的地图操作功能进行了集成与扩展, 如地图的漫游、缩放、查询和要素选择等, 方便用户操作。

图件标准转换模块是系统的核心模块, 包括标准符号库获取模块、图件符号解析模块、符号匹配与识别模块、符号映射关联表构建模块、目标标准符号获取模块和符号标准转换模块等 6 个子模块(图 5)。本文主要围绕该模块的基本原理、工作流程、实际应用以及性能分析展开论述。

地图打印输出模块: 该模块为用户打印输出地图图件提供了常用的制图排版功能, 如添加指北针、

图例、文本、比例尺、比例尺文字、添加与删除格网以及打印设置等功能, 使地图更具可读性。

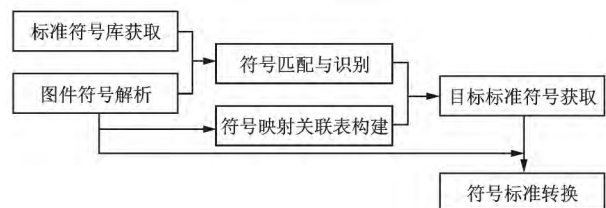


图 5 图件标准转换模块功能结构

Fig. 5 Functional composition of map standard conversion module

图层右键模块: 用户通过该模块可十分便捷地进行转换和编辑地图坐标系、添加数据、删除图层、设置标注和地图符号以及数据导出等操作。

2.3 系统实现

本文采用 Oracle 10g 作为数据库平台, 用来存储符号库文件和符号映射关联表, 选用 ArcSDE 10.0 作为空间数据库引擎, 实现空间数据的存储与共享。在系统的实现上, 选择当前较为成熟且开发难度较低的 Visual C# 作为开发语言, 基于 Microsoft .Net Framework 4.0 类库和 ArcGIS Engine 10.

0 组件库,采用组件对象模型技术(COM 技术),实现基于像素匹配的矢量图件标准转换系统。

为便于图件标准转换系统的开发与实现,本文基于框架-插件的开发模式,以一种更加宽松和灵活的方式实现了系统功能的聚合与扩展,将工作流的逻辑模块分解成不同的单元插件,通过插件与插件聚合构建具体的功能模块。采用这种开放的软件开发方式,既可提高代码的复用性,又便于系统功能模块的定制与移植。比如系统通过一次定制图件符号解析、符号匹配与识别、目标标准符号获取以及符号标准转换等功能模块,在整个工作流程中均可调用。

3 系统应用与结果分析

3.1 系统应用

石油和天然气能源是国家重要的战略资源,油气勘探开发工作是整个石油工业的基础,大量的人力、物力和财力已投入到国内外的油气勘探开发工作中^[33]。在勘探开发过程中,图件编绘贯穿始终,积累了大量的包含各种地质信息的专题图件^[34]。这些图件信息的综合应用对指导生产具有重要意义,对石油行业的可持续发展具有决定性影响^[34]。因此迫切需要对图件信息进行有效的保存与管理。在 GIS 技术出现早期,石油勘探领域的图件资料大多以纸质形式,采用传统的档案式管理方法进行保存。这不仅使图件的共享和交流产生困难,同时也给图件带来了安全隐患。另外,石油行业作为一个空间数据密集型行业,若能以空间实体为纽带,将各种勘探图件关联起来,挖掘图件中隐含的空间信息,必然能为油气勘探决策提供技术支持服务。

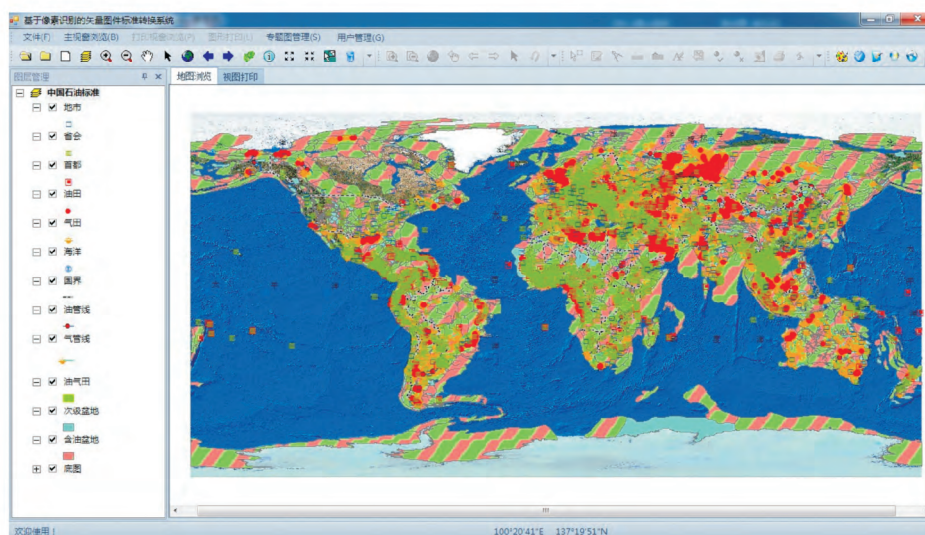
随着计算机和 GIS 技术的迅速发展,GIS 技术开始被广泛应用于石油勘探开发管理工作,为图件的绘制与管理、信息的共享与交流开辟了崭新途径^[35]。GIS 以其强大的空间数据采集、处理、分析、管理与可视化功能,使图件绘制变得方便、快捷。但是,不同国家或地区的相关石油部门采用的制图标准不同,给图件信息的共享与交流带来了不便。如在实际工作中,除采用中国石油标准外,常用的还有荷兰 SHELL 标准以及美国 USGS 标准。在不同的制图标准中,同一地理实体或现象的表达方式不同。为实现各种专题图件的信息共享与交流,了解和学习其他国家或地区的先进技术,以便加快石油勘探

开发工作的全球一体化进程,本文根据这三大石油标准的制图规范,结合各标准构建的符号库,在数据库中建立了符号映射关联表,其中三大石油标准的制图规范和符号库文件均由中国石油勘探开发研究院提供。基于各标准的符号库以及映射关联表,通过基于像素匹配的图件标准转换系统,可简便、快捷地完成石油地质专题图件在这三大标准之间的转换,实现了不同标准图件的信息共享与交流,使得石油技术人员可迅速获知图件所传达的信息。

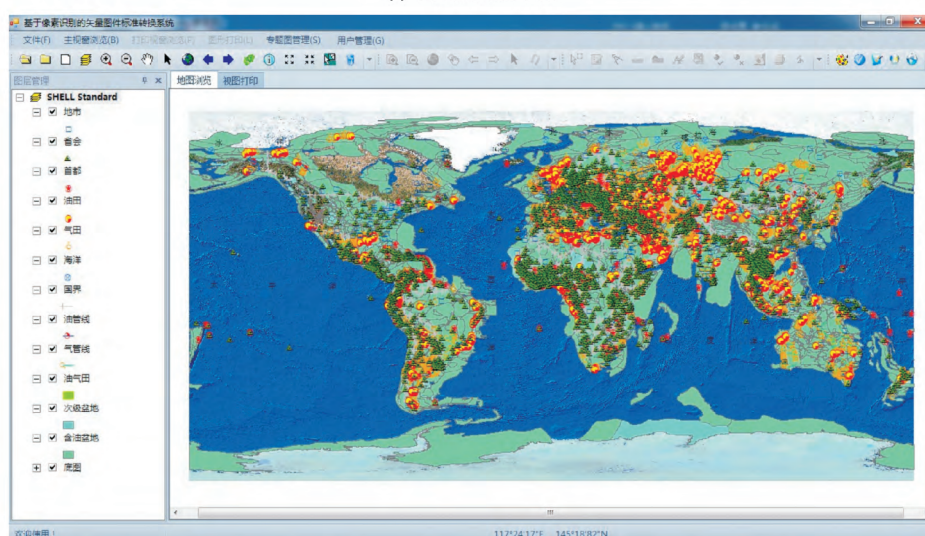
3.2 结果分析

基于该系统实现了三大制图标准间石油地质图件的任意相互转换。本文选取了中国石油标准下的某个图件作为待转换图件,利用该系统将其在荷兰 SHELL 标准与美国 USGS 标准之间进行相互转换(图 6)。系统运行结果表明,系统的转换效率很高且图件中的绝大部分符号可自动完成转换,如油田、气田、省会城市、首都城市和海洋等点状符号,国界线、油管线和气管线等线状符号,以及含油盆地等面状符号;而次级盆地采用的符号没有被系统自动转换成目标标准下的相应符号(表 3)。通过对转换原理的研究与转换结果的分析,可知如果待转换符号具有独特的式样,即符号库中仅存在一个该式样的符号,系统便可自动匹配与识别符号,从而完成符号标准转换。通过对三大标准符号库的研究与分析,绝大多数的点状与线状符号的式样均各不相同,而某些面状符号的式样与纹理完全相同,仅填充色或边框颜色不同。因此,绝大多数的点状和线状符号通过该系统均可自动完成标准转换,而有些面状符号则不能完成自动转换。待转换图件经系统转换后,个别未被自动转换的符号需要进行手动转换,从而彻底完成图件标准转换。

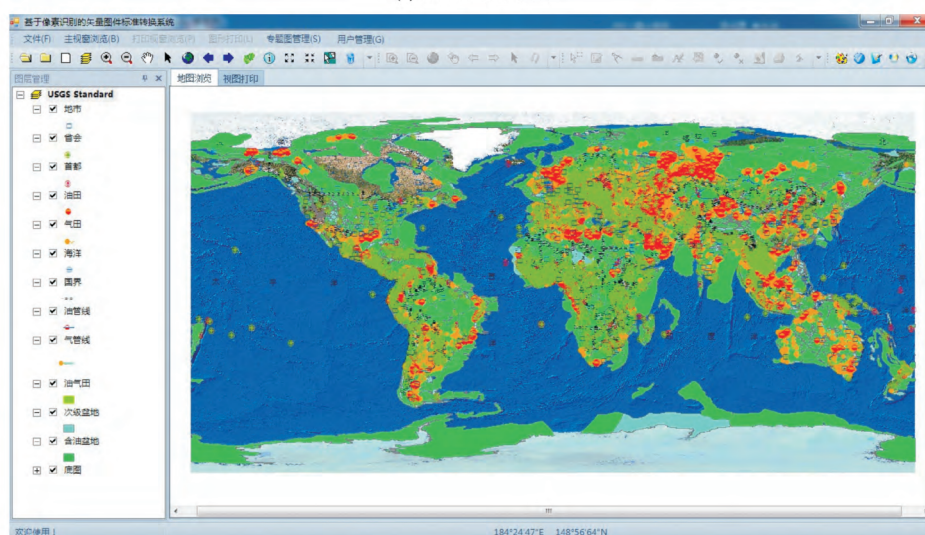
为了提高手动匹配的质量和效率,可将目标符号库中与未被识别的图件符号完全匹配的所有符号以列表形式展示出来,以便于选择恰当符号完成图件标准转换。为此,本文设计了如下解决方案:根据该领域各制图标准规范,为每个标准建立一个描述符号含义的数据表。在符号匹配过程中需要人工干预时,通过查询目标标准符号含义数据表,将与待转换符号完全匹配的目标标准中所有符号的缩略图、名称和含义逐一展示在信息提示框中(图 7)。同时,为了提高查询效率,根据符号类别(点、线和面)为每个标准建立 3 种类型的符号含义数据表。



(a) 中国石油标准图件



(b) SHELL标准图件



(c) USGS标准图件

图6 图件在三大石油标准间的转换结果

Fig. 6 Conversion results of a map among three petroleum standards

表3 中国石油标准图件的地图符号转换结果

Tab.3 Conversion results of map symbols based on the Chinese Petroleum standard

图层名称	中国石油标准	Shell 标准	USGS 标准	是否转换成功
地市				否
省会				是
首都				是
油田				是
气田				是
海洋				是
国界线				是
油管线				是
气管线				是
油气田				否
次级盆地				否
含油盆地				是



图7 人工干预时符号信息提示窗
Fig.7 Symbol information prompt window for manual operation

4 结束语

本文从符号匹配与识别出发,以符号双向映射和像素匹配为基本原理,基于 Visual C#开发语言、Oracle 数据库与 ArcGIS Engine 平台,采用组件对象模型技术(COM 技术),设计并实现了“基于像素匹配的图件标准转换系统”。经实践表明:该系统不仅实现了矢量图件在不同标准间快速、精确的自动转换,而且可与 ArcGIS 实现无缝集成,具有较强的适用性和实用性,便于维护与扩展。该系统从根本上解决了采用不同制图标准制作的图件难以相互转换的问题,实现了图件信息共享、提高了空间数据的利用率以及图件标准转换的质量和效率,使得技术人员可以快速准确地获悉图件所传达的信息。

另外,该系统在进行图件标准转换时还存在不足之处,即在符号匹配过程中,部分具有相同式样的

符号(大多为面状符号)未能被自动识别,需要人工干预,手动选择相应的目标标准符号完成转换。因此,在接下来的工作中,将对地图符号解析进行进一步分析与研究,以优化符号自动识别模型,尤其是对面状符号的自动识别,以实现更加快速、精确的图件标准自动转换。

参考文献:

- [1] YAMADAH. Directional mathematical morphological and reformatized hough transformation for the analysis of topographic maps [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1993, 15 (4): 380-387.
- [2] 陶陶, 阎国年, 张书亮, 等. GIS 地图符号共享研究进展与展望 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(8): 1326-1332.
- TAO Tao, LV Guonian, ZHANG Shuliang, et al. Research progress and prospect of map symbol sharing in GIS [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(8): 1326-1332.
- [3] ROBINSON A C, ROTH R E, BLANFORD J, et al. A collaborative process for developing map symbol standards [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011, 21 (21): 93-102.
- [4] 陈泰生, 阎国年, 吴明光, 等. CAD 点状符号与 True-Type 符号模型对比、转换与分析 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(11): 2067-2073.
- CHEN Taisheng, LV Guonian, WU Mingguang, et al. Comparison conversion and analysis on models of CAD point symbol and true type symbol [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(11): 2067-2073.
- [5] 车森, 孙群, 刘海砚. 参数控制的地图符号编辑器设计 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(11): 1326-1329.

- CHE Sen ,SUN Qun ,LIU Haiyan. Design of a parameter controlling symbol editing tool [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University* ,2013 ,38 (11) : 1326-1329.
- [6] MIHALYNUK M G ,MALLORY S M S ,GRANT B. Geological symbol set for Manifold Geographic Information System [J]. *Computers & Geosciences* ,2006 ,32 (8) : 1228-1233.
- [7] 吴明光 ,阎国年 ,陈泰生. 点状地图符号数据结构同化研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)* 2011 ,36(2) : 239-243.
WU Mingguang ,LV Guonian ,CHEN Taisheng. Data structure assimilation of marker symbol [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University* ,2011 ,36 (2) : 239-243.
- [8] 曹亚妮 ,江南 ,张亚军 ,等. 电子地图符号构成变量及其生成模式 [J]. *测绘学报* 2012 ,41(5) : 784-790.
CAO Yani ,JIANG Nan ,ZHANG Yajun ,et al. Constitution variables and generation modes of electronic map symbols [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica* ,2012 ,41 (5) : 784-790.
- [9] 樊文锋 ,王怀 ,叶芳宏. 基于 Style 符号库的存取研究及符号选择器实现 [J]. *测绘通报* 2011(11) : 25-31.
FAN Wenfeng ,WANG Huai ,YE Fanghong. Research on style symbol library access and the implementation of the symbol selector [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping* , 2011(11) : 25-31.
- [10] EMMANUEL S. Representation of map objects with semi-structured data models [C]//Symposium on Geospatial Theory Processing and Applications ,Ottawa 2002.
- [11] DANG L N ,DANG G F ,WU F. The research on representation and realization of map symbol based on text [J]. *Procedia Environmental Sciences* 2011(10) : 2342-2347.
- [12] SCHICHTMANN H. Overview of the semiotics of maps [C]//Proceedings of 24th International Cartographic Conference. Santiago ,Chile 2009: 15-21.
- [13] 陶陶 ,阎国年 ,李艳娜. 基于通用一体化符号编辑器的符号共享模式研究 [J]. *地理与地理信息科学* 2005 ,21 (4) : 28-31.
TAO Tao ,LV Guonian ,LI Yanna. Study on symbol sharing based on common integrated symbol editor [J]. *Geography and Geo-Information Science* 2005 ,21 (4) : 28-31.
- [14] 田江鹏 ,贾奋励 ,夏青. 依托语言学方法论的三维符号设计 [J]. *测绘学报* 2013 ,42(1) : 131-137.
TIAN Jiangpeng ,JIA Fenli ,XIA Qing. Research on 3D symbol design based on linguistic methodology [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica* ,2013 ,42 (1) : 131-137.
- [15] 李霖 ,尹章才 ,朱海红. 地图制图标记语言的概念与模式研究 [J]. *测绘学报* 2007 ,36(1) : 108-111.
LI Lin ,YIN Zhangcai ,ZHU Haihong. Concept and schema of map-making markup language [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica* 2007 ,36(1) : 108-111.
- [16] FRANK A U ,EGENHOFER M J. Computer cartography for GIS: an object oriented view on display transformation [J]. *Computer & Geosciences* ,1992 ,18(8) : 975-987.
- [17] GOODCHILD M F. A spatial analytical perspective on geographical information systems [J]. *International Journal of Geographical Information Systems* ,1987 ,1(4) : 327-334.
- [18] FREHNER M ,BRANDLI M. Virtual database: spatial analysis in a web-based data management system for distributed ecological data [J]. *Environmental Modelling & Software* 2006 ,21(11) : 1544-1554.
- [19] GUSTAVSSON M ,KOLSTRUP E ,SEJMONSBERGEN A C. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development [J]. *Geomorphology* , 2006 ,77(1) : 90-111.
- [20] CHENG W ,ZHANG Y M. Research and implementation of oilfield basic platform based on integrated 2D with 3D of GIS [J]. *Procedia Engineering* 2012 ,29(4) : 3651-3658.
- [21] ZOU Q ,WANG Q ,WANG C Z. Integrated cartography technique based on GIS [J]. *Energy Procedia* 2012(17) : 663-670.
- [22] 覃如府 ,许惠平 ,王家林 ,等. 基于 XML 的通用地图符号库设计与实现 [J]. *同济大学学报(自然科学版)* , 2008 ,36(8) : 1138-1142.
QIN Rufu ,XU Huiping ,WANG Jialin ,et al. Design and implementation of universal map symbol library based on extensible markup language [J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)* 2008 ,36(8) : 1138-1142.
- [23] NASS A ,GASELT S V ,JAUMANN R ,et al. Implementation of cartographic symbols for planetary mapping in geographic information systems [J]. *Planetary & Space Science* 2011 ,59(11/12) : 1255-1264.
- [24] LLADÓS J ,MARTÍ E ,VILLANUEVA J J. Symbol recognition by error-tolerant subgraph matching between region adjacency graphs [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2001 ,23(10) : 1137-1143.
- [25] LLADÓS J ,VALVENY E ,SÁNCHEZ G ,et al. Symbol recognition: current advances and perspectives [C]//Graphics Recognition Algorithms and Applications. Springer Berlin Heidelberg 2002: 104-128.
- [26] YANG S. Symbol recognition via statistical integration of pixel-level constraint histograms: a new descriptor [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2005 ,27(2) : 278-281.
- [27] LIU W Y ,WAN Z ,LUO Y. An interactive example-driven approach to graphics recognition in engineering drawings [J]. *International Journal of Document Analysis and Recognition* 2007 ,9(1) : 13-29.
- [28] WAN Z ,LIU W Y. A new vectorial signature for quick

- symbol indexing, filtering and recognition [C]//Proceedings of 9th International Conference on Document Analysis and Recognition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press 2007: 536-540.
- [29] GUO T, ZHANG H, WEN Y. An improved example-driven symbol recognition approach in engineering drawings [J]. Computers & Graphics 2012, 36(7): 835-845.
- [30] XIE Y W, ZHANG H. Research on symbol fuzzy recognition in vector drawings based on 2-neighborhood local structures [J]. Journal of Computer Aided Design & Graphics 2014, 26(10): 1613-1623.
- [31] LIU D L, ZHOU Z Y, WU Q, et al. Symbol recognition and automatic conversion in GIS vector maps [J]. Petroleum Science 2016, 13(1): 173-181.
- [32] 黄文骞. 数字地图符号的形状描述与识别 [J]. 测绘学报, 1999, 28(3): 233-238.
HUANG Wenqian. Shape description and recognition of digital map symbols [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1999, 28(3): 233-238.
- [33] 孟昕, 樊文有, 卞洲昱. MAPGIS 图件编绘系统在油气勘探数字化中的应用 [J]. 数字石油和化工, 2007(3): 46-49.
MENG Xin, FAN Wenyu, BIAN Zhougang. Application of MAPGIS map compilation system in digitalization of oil and gas exploration [J]. Digital Petroleum & Chemical, 2007(3): 46-49.
- [34] 刘学锋. GIS 辅助油气勘探决策支持研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
LIU Xuefeng. Study on Oil and Gas Exploration Decision Support Assisted by GIS [D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [35] 宋跃滨, 孙晓生. 石油行业 GIS 技术应用现状与展望 [J]. 测绘空间与地理信息, 2007, 30(1): 54-60.
SONG Yuebin, SUN Xiaosheng. The application of GIS in the petroleum industry [J]. Geomatics & Spatial Information Technology 2007, 30(1): 54-60.
- 责任编辑: 张新宝
-
- (上接第 78 页)
- [8] GILL P W, JOHNSON B G, POPE J A, et al. The performance of the Becke-Lee-Yang-Parr (B-LYP) density functional theory with various basis sets [J]. Chemical Physics Letters, 1992, 197(4/5): 499-505.
- [9] SUN Haitao, CAO Bobo, DU Jiuyao, et al. Carbon dioxide capture by amino-functionalized ionic liquids: DFT based theoretical analysis substantiated by FT-IR investigation [J]. Rsc Advances, 2016, 6(13): 10462-10470.
- [10] CHEN Ci, MA Yuan, ZHENG Danning, et al. Insight into the role of weak interaction played in the fixation of CO₂, catalyzed by the amino-functionalized imidazolium-based ionic liquids [J]. Journal of CO₂ Utilization, 2017, 18: 156-163.
- [11] WANG Jinqian, CHENG Weiguo, SUN Jian, et al. Efficient fixation of CO₂ into organic carbonates catalyzed by 2-hydroxymethyl-functionalized ionic liquids [J]. RSC Advances 2014, 4(5): 2360-2367.
- [12] ANTHOFER M H, WILHELM M E, COKOJA M A, et al. Hydroxy-functionalized imidazolium bromides as catalysts for the cycloaddition of CO₂ and epoxides to cyclic carbonates [J]. ChemCatChem 2015, 7(1): 94-98.
- [13] 戎梅竹. 功能离子液体合成与催化环状碳酸酯的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009: 31-32.
- [14] 赵丹. 二氧化碳合成碳酸酯的研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2016: 33-35.
- [15] POLITZER P, MURRAY J S, BULAT F A. Average local ionization energy: a review [J]. Journal of Molecular Modeling 2010, 16(11): 1731-1742.
- [16] LU Tian, CHEN Feiwu. Quantitative analysis of molecular surface based on improved marching tetrahedra algorithm [J]. Journal of Molecular Graphics & Modelling 2012, 38(9): 314-323.
- 责任编辑: 董瑾