

文章编号: 1671-8860(2006)05-0382-05

文献标志码: A

制图综合知识及其应用

王家耀¹ 钱海忠¹

(1 信息工程大学测绘学院, 郑州市陇海中路 66 号, 450052)

摘要: 阐述了制图综合知识的概念、结构和组织方法, 提出了基于制图综合知识的综合任务提取、综合算法与结果的评估、综合操作监控以及基于知识的制图综合任务存储等原理和方法。实验表明, 制图综合知识的使用, 对制图综合各个环节的评价提供了依据, 对综合自动化程度的提高有着重要的推动作用。

关键词: 制图综合知识; 综合任务; 评估; 监控

中图法分类号: P283.1

制图综合知识 (cartographic generalization knowledge, CGK) 是指根据地图用途、制图区域地理特点和比例尺等条件, 通过科学的抽象和概括而形成的能够完成制图综合任务, 并且建立反映区域地理规律和特点的地图模型的制图方法的统称。它是序列化的共性与隐性综合规则的集合。制图综合中的知识, 其主要来源是制图综合编图规范和制图综合专家的经验积累, 是对制图综合编图规范中规则和专家经验的总结。

制图综合知识代表了制图综合的运行规则、模型和方法, 因而成为制图综合系统中最基本、最有价值的信息。在制图综合系统中, 制图综合知识是制图自动综合过程赖以实施的基石, 许多方面的工作都可以基于这个基石进行。并且, 如果制图综合知识能够转化为计算机可以识别和执行的工作流程, 则可以形成自动化的综合过程, 大大提高制图综合的自动化水平。

本文详细阐述制图综合中知识的概括和归纳方式, 以及它在制图综合过程中的各种应用。

1 制图综合知识的归纳与组织

制图约束条件可以被划分为 4 个部分, 即图形约束、拓扑约束、结构约束和过程约束等^[1]。本文认为, 知识中需要包含条件、区域环境、综合操作等内容。每一条知识应该具有目标自身的特征、综合阈、相关综合环境、相关综合操作以及执

行操作所需的综合算法等 5 种信息。一条典型的制图综合约束准则为:

GenerKnowledge < ID, Cod, GQ, GC, GO, GA >

其中, ID、Cod、GQ、GC、GO、GA 分别表示准则记录编号、数据编码、综合阈、综合环境、综合操作、综合算法。

图 1 为一个准则的结构描述和一条完整的记录, “记录号”和“说明”两项为知识结构化描述中的辅助项, 分别用来标识知识的编号和对知识进行附加说明; “编码”惟一标识目标的种类和特征; “长度阈、宽度阈、电压阈、面积阈、比高、高程”等项属于知识的综合阈, 可以依据这些项对目标进行条件判断; “选取、转换、化简、合并、位移、编辑”等项为相应的综合操作; “地图用途”和“区域特点”指明了该知识所适用的范围, 故属于综合环境。

(a) 记录号 编码 长度阈 宽度阈 电压阈 面积阈 比高 高程
选取 转换 化简 合并 位移 编辑 地图用途 区域特点 说明
(b) 1 130210 8<2/1/3> 00000 必须选取 可转换 可化简
可合并 可位移 可编辑 通用图 通用地区 街区边线
其中, <1> 选取, <2> 化简, <3> 合并, <4> 位移 ...
<1> TIN 算法, <2> 遗传算法
<3> 数学形态学算法, <4> Agent 算法 ...

图 1 知识表达的例子

Fig. 1 Example of Expressing Knowledge

2 基于制图综合知识的综合任务提取

制图综合任务的提取过程就是依据知识库中的综合约束准则去检查待综合的数据,如果发现有悖于综合准则的数据,则认为该数据是需要进行综合的数据(称为问题数据),也可以认为是需要进行综合的任务。因此,基于制图综合知识的任务提取过程就是对数据遍历和遍历过程中对知识库中知识反复调用的过程。一个典型的数据检查流程如下。

```

Source: < Data > < Knowledge Lib > // 资源: 数据、综合知识库
Method: < Compare > // 方法: 比较
Group< Data > // 提取待检查的数据
Set< GC > // 设置综合环境
Order(Data ID) with Data Attribute // 数据按重要性排序
For(Data ID from 0 to max) // 遍历数据
    For(Knowledge ID from 0 to max) // 遍历知识
        If(Data Attribute < Knowledge GQ) // 数据与知识的条件比较
            Then Put Data ID to Lib1 // 问题数据入库 1
            Put Knowledge to Lib2 // 相关联知识入库 2
    Order(Lib2) with Impt // 库 2 中知识按重要性排序
    Generalize(GO, GA) from Lib2 // 从库 2 中提取综合操作、算法等
    // 信息(供制图综合过程参考)

```

1) Source 表示了数据检查需要有数据源和制图综合知识库的支持。本文采用图 2 所示的数据源作为实验数据。



图 2 1:1 万城区图原始数据

Fig. 2 Original Data of 1: 10 000 City Map

2) 需要有数据检查的方法。
3) 数据检查是在一定的综合环境下进行的,因此设置综合环境是必要的。设置的综合环境包括数据综合目的、数据比例尺、数据区域特点、道路网特点、水网特点、图幅载负量等信息。

4) 对数据进行重要性排序,这样有利于数据检查和数据综合。

5) 对数据和知识进行遍历比较,提取出问题

数据和与问题数据相关联的知识记录。这是一个双重循环过程。第一个循环中对数据进行遍历,针对每个数据对象,同知识库中的相应知识进行比较。第二个循环中,对每个数据对象,都需要对知识库中的记录进行遍历,以寻找具有相同标识号的知识记录。找到相关知识后,把数据的属性和知识记录中附带的综合阈进行比较。6个综合阈中,只要有1个不符合条件,即被认为该数据是问题数据,将被放入问题数据库中,同时与该数据相关的知识记录也被放入相关数据库中,并按照知识的重要性对知识进行排序。

6) 从提取出的知识记录中提取综合阈、综合操作、综合算法等信息,提供给制图综合人员和制图综合软件,为进行自动制图综合作准备。

图 3 是对图 2 中的居民地层进行任务提取的结果。通过以上步骤,可以获得问题数据(综合任务)以及与问题数据相关的所有知识。

3 基于制图综合知识的综合算法和综合结果评估

综合算法的比较是相对的比较,相对比较是指在相同环境和条件下的比较。相同环境主要指制图用途、比例尺和制图区域特点等。而用同一经典数据对不同算法进行同一综合环境下的综合操作,最能反映出综合算法的综合能力和水平。

图 2 的原始居民地数据采用 TIN 算法进行综合,其综合结果如图 4 所示。利用本文的综合任务提取方法,可以提取出原始数据的综合任务,同时也可对综合后的数据再次进行基于知识的数据检查,以视其是否符合知识库的要求。重要的是,可以把对原始数据提取的综合任务和对综合后数据再次提取的综合任务进行比较,得出该算法进行综合的效果。

对综合前的数据提取的任务称为任务集 1(图 3),对综合后的数据提取的任务称为任务集 2(图 5),对比任务集 1 和任务集 2,可以比较出该综合算法对该问题数据的解决能力。如果任务集 2 中的任务比任务集 1 中的任务少得多,说明该综合算法具有较强的解决综合任务的能力;反之,说明该综合算法的综合能力较低。

图 3 中有记录 36 条,说明原始数据中有 36 处需要综合,而图 5 中仅有 4 条记录,综合率为 89%,说明该算法的综合能力较强。

进一步分析可以发现,综合后的数据中出现了几何相交的情况,这是该算法的不足之处。同时,

5 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 6 相邻
 6 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 5 相邻
 7 130204 0 0 0 12 0 0 必须删除 不可转换 不可化简 不可合并 不可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积小
 9 130204 0 0 0 12 0 0 必须删除 不可转换 不可化简 不可合并 不可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积小
 11 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 12 相邻
 12 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 11 相邻
 18 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 19 相邻
 19 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 18 相邻
 20 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 21 相邻
 21 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 20 相邻
 22 130204 0 0 0 12 0 0 必须删除 不可转换 不可化简 不可合并 不可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积小
 23 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 24 相邻
 24 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 23 相邻
 26 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 27/28 相邻
 27 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 26/28 相邻
 28 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 26/27 相邻
 29 130204 0 0 0 12 0 0 必须删除 不可转换 不可化简 不可合并 不可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积小
 31 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 32 相邻
 32 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 31 相邻
 35 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 36 相邻
 36 130204 0 0.3< 3/1> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 35 相邻
 39 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 41/42/45 相邻
 40 130204 0 0 0 12 0 0 必须删除 不可转换 不可化简 不可合并 不可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积小
 41 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 39/42/45 相邻
 42 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 39/41/45 相邻
 45 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 39/41/42 相邻
 47 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 52/53 相邻
 48 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 49/50 相邻
 49 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 48/50 相邻
 50 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 48/49 相邻
 52 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 47/53 相邻
 53 130204 0 0.3< 3/1/3/4> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 47/52 相邻
 57 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 58 相邻
 58 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 57 相邻
 65 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 66 相邻
 66 130204 0 0.3< 3/3> 0 0 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 与 65 相邻

图3 对原始居民地数据进行任务提取后得到的结果

Fig. 3 Result of Mining Original Habitation Data



图4 综合后的数据

Fig. 4 Data after Generalization

该算法还有误删除的情况,这些都可以作为对该算法的评价依据。

对制图综合结果的评估,也可以借鉴上述对制图综合算法评估的方法进行。即依据制图综合知识去检查制图综合所生成的新比例尺数据,判断综合结果中是否符合新比例尺综合知识的数量,然后根据这些知识的重要性和数量来判断综合结果的可靠性。比如对图4中的综合结果进行评价,其评价结果如图5所示,说明新比例尺数据总体上存在的问题较少(仅有4处问题),但从中

27 130204 0 0 0 0.4< 3/1/3/4> 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 面积增大
 41 130204 0 0 0 0.4< 3/1/3/4> 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 相交
 52 130204 0 0 0 0.4< 3/1/3/4> 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 误删除
 53 130204 0 0 0 0.4< 3/1/3/4> 0 0 必须选取 不可转换 可化简 可合并 可位移 可编辑 通用图 通用街区 误删除

图5 对综合后的数据再次进行任务提取后得到的结果

Fig. 5 Result of Mining Generalized Habitation Data

可以得到制图综合的问题所在,以及进一步综合的依据,这就是基于知识的综合结果评估的优异之处。

4 基于制图综合知识的综合操作监控

制图综合过程中,不同用户所掌握的综合知识程度不同,一个自动综合系统必须开发出能依靠专家知识对用户的综合行为进行实时监控的系统,对综合用户的操作过程进行全程监控,如果遇到用户违背综合知识的操作,则中断其操作行为。监控模型主要由感知、日志、分析、动作和知识库等组成。

1) 感知模块。能实时地感知外界变化,并将感知信息传送给分析引擎和日志库。

2) 日志模块。对感知模块实时传递的信息全部记录和保存下来,一方面作为用户行为的证据,另一方面还要具有快速查寻和定位的作用。

3) 分析引擎模块。用于对接收到的信息依赖知识库进行全面的分析,产生一定的分析结果,并形成动作指令,发送给动作模块。

4) 动作模块。把分析引擎的指令转化为动作作用于被监测的对象。

5) 知识库是一个巨大的智囊体,分析引擎的每次分析和反应,都必须从知识库中找到依据。

监控模型的工作原理是:感知模块实时监测现场环境,将数据处理后传送给数据日志库和分析引擎;分析引擎根据知识库中的规则和方法等,通过动作模块干预现场环境(即控制被控制对象),并实时显示被监控对象的系统状态(图6)。

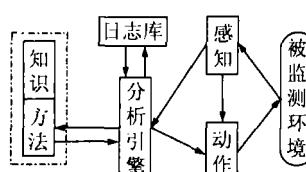


图6 监控模型结构

Fig. 6 Monitor Model

5 基于制图综合知识的综合任务存储

对于一个综合环境相同的区域,其综合任务也基本相同。因此,可以把对该区域的成功综合过程作为一个成功的任务解决方案来进行存储。

以后遇到相似的综合数据和综合要求,就可以优先参考以前成功的解决方案。这一成功的解决方案本文称为一个综合任务 CASE。因此,关键要寻找一种合适的任务存储模型,把成功的任务 CASE 存储下来。

任务之间的结构关系有多种,一个典型的关系如图7所示。图中包含了6个任务,这里,假设任务1、任务2、任务3之间是单向串联关系,任务2、任务4、任务5之间是单向串联关系,任务3、任务5、任务6之间是单向串联关系,任务4、任务5、任务2之间是单向串联关系。其关系如表1所示。

表1 采用表结构表示任务之间的关系

Tab. 1 Expressing Relations with Table Structure

任务编号	前邻任务	本任务	后邻任务
1	—	1	2
2	1	2	3
3	5	2	4
4	2	3	5
5	2	4	5
6	3	5	6
7	4	5	2
8	5	6	—

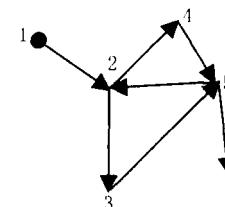


图7 典型的关系结构

Fig. 7 Typical Relations

本文采用阶跃函数对综合任务进行量化:

$$E_{i,j} =$$

$$\begin{cases} 1, i \text{ 是 } j \text{ 的前邻任务, 或者 } i \text{ 是 } j \text{ 的父任务} \\ 0, i \text{ 不是 } j \text{ 的前邻任务, 或者 } i \text{ 不是 } j \text{ 的父任务} \end{cases} \quad (1)$$

则图7的结构可以采用矩阵表示为:

$$E = \begin{pmatrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 & R_5 & R_6 \\ R_1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ R_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ R_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ R_5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ R_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

该矩阵表明,该结构共由6个综合任务组成(R_1, R_2, \dots, R_6)。用分解矩阵表示任务结构时,可得出以下规律。

1) 对于n个任务,矩阵中至少有n-1个非

零值。

2) 由全零元素组成的行(列)所对应的任务一定是任务中最前端或最后端的任务。

3) 矩阵主对角线上方连续非零元素描述了制图综合任务之间的串联关系。

4) 结构矩阵一行中多个非零元素表示任务之间的并列关系, 非零元素的数目等于并列分支数目。

5) 结构矩阵一列中多个非零元素表示任务之间的共同指向关系, 且非零元素的数目等于指向该列任务的其他任务的个数。

6) 结构矩阵中主对角线以下的非零数值表示了该任务是返回任务。例如, 任务 $E_{5,2}$ 是一个从任务 5 返回给任务 2 的任务。

因此, 可以把综合任务化简为对矩阵的存储, 不但简单方便, 还能够挖掘出众多的规律, 这些规律对于分析制图综合任务的组成有直接的帮助。

6 结语

1) 知识已经成为制图综合各个模块联系的桥梁和纽带, 基于知识的制图综合, 是制图综合系统走向智能化的关键环节。

2) 本文定义的制图综合知识的结构以及归纳出的知识, 基本满足了制图综合的需求, 为制图综合各个环节的评价提供了详细的依据。

3) 本文提出的基于制图综合知识的综合操作监控模型, 能够依托知识库对用户的操作进行实时的监控, 从而保证了制图综合的质量。

4) 提出了基于制图综合知识的综合任务提取、综合算法与结果的评估以及基于知识的制图综合任务存储原理和方法, 形成了较为完整的制图综合操作、评价体系。

参考文献

[1] Martin G. Automated Polygon Generalization in a

- Multi Agent System[D]. Zurich: Zurich University, 2003
- [2] Li Zhilin, Huang Peizhi. Quantitative Measures for Spatial Information of Maps[J]. Int J of Geographical Information Science, 2002, 16(7): 699-709
- [3] Alessandro C. Integration of Cartographic Generalization and Multi-Scale Databases for Enhanced Web Mapping[D]. Zurich: Zurich University, 2003
- [4] Brassel K E, Weibel R. A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization[J]. International Journal of Geographical Information System, 1988, 2(3): 229-244
- [5] Saalfeld A. Topologically Consistent Line Simplification with the Douglas-Peucker Algorithm[J]. Cartography and Geographic Institute Science, 1999, 26(1): 7-18
- [6] Mueller J C, Wang Z. Area-Patch Generalization: A Competitive Approach[J]. The Cartographic Journal, 1992, 29(2): 137-144
- [7] Jaakkola O. Multi-Scale Categorical Databases with Automatic Generalization Transformations Based on Map Algebra[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1998, 25(4): 195-207
- [8] Liu Yaolin, Molenaar M, Kraak M J. Spatial Object Aggregation Based on Data Structure, Local Triangulation and Hierarchical Analyzing Method[C]. The 20th International Cartographic Conference, Beijing, 2001
- [9] Ruas A, Holzapfel F. Automatic Characterisation of Building Algorithms by Means of Expert Knowledge[C]. The 21th International Cartographic Conference, Durban, South Africa, 2003
- [10] Li Zhilin, Yan Haoweng, Ai Tinghua, et al. Automated Building Generalization Based on Urban Morphology and Gestalt Theory[J]. Int J of Geographical Information Science, 2004, 18(5): 513-534

第一作者简介: 王家耀, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 现主要从事空间信息科学与技术研究。

E-mail: wangjy@cae.cn

Cartographic generalization-knowledge and Its Application

WANG Jiayao¹ QIAN Hailzhong¹

(1) Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Cartographic generalization-knowledge (CGK) is vital in the whole process of automatic cartographic generalization. Three main steps were introduced in the following.

- 测绘通报, 2004(3):4-7
- [8] 程朋根. 基于 Delaunay 三角网的模型拼合算法研究[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(4):451-455
- [9] 胡金星. 高效构建 Delaunay 三角网数字地形模型算法研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2003, 39(5):736-741
- [10] Lee D T, Schachter B J. Two Algorithms for Con-

structing a Delaunay Triangulation[J]. Computer and Information Sciences, 1980, 9(3):219-242

第一作者简介: 谭仁春, 博士生, 主要从事空间信息可视化与三维 GIS 研究和应用工作。
E-mail: tanrc@126.com

Optimized Triangulation Arithmetic in Modeling Terrain

TAN RENCHUN^{1,2} DU QINGYUN¹ YANG PINFU¹ ZHANG SHANSHAN²

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, 10 Jianshedama Road, Guangzhou 510060, China)

Abstract: This paper tries to research 3D reconstruction of terrain model based on DLG. A auto-coupling triangles algorithm based on triangle topological relationship is put forward, and the topological data model of complicated terrain is developed. Based on this data model, auto 3D topological reconstruction of terrainis is realized. It is testified that the arithmetic put forward by this paper is steadiness.

Key words: DLG; DEM; constrained delaunay triangulation

About the first author: TAN RENCHUN, Ph.D candidate, majors in spatial information visualization and the application of 3D GIS.

E-mail: tanrc@126.com

(上接第 386 页)

First, the concept and structure of CGK were defined, and its organization method was given. Second, methods of mining generalization tasks, monitoring user's operations and how to assess generalization algorithms and results based on CGK were put forward. Finally, the theory and technique of saving generalization tasks were involved. The experiment demonstrates that CGK is important in cartographic generalization. CGK provides a basic reference for the assessment in generalization.

Key words: cartographie-generalization-knowledge; generalization task; assessment; monitoring

About the first author: WANG Jiayao, professor, Ph.D supervisor, academician of Chinese Academy Engineering, engaged in research on spatial information science and technology.

E-mail: wangjy@cae.cn