

基于禁忌搜索算法的点状要素注记的自动配置

郑春燕^{1,2} 郭庆胜^{1,3} 刘小利¹

(1 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 嘉应学院地理系, 梅州市梅松路, 514015)

(3 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 提出了禁忌搜索算法, 用于解决点状要素的注记自动配置问题。在 Yamamoto 研究的基础上, 依据制图规则, 引入了地图目标的级别等限制条件, 建立了一个较完善的目标函数。通过一个简单的示例, 阐述了禁忌搜索算法在点状要素注记配置中的应用。

关键词: 禁忌搜索算法; 注记自动配置; 点状要素; 全局优化

中图法分类号: P208; P283.7

国内外学者们提出了很多方法来解决点状注记的配置问题, 如专家系统方法、基于地图代数的区域标号算法、枚举法、贪婪法、启发式搜索算法等^[1-5]。

随着人工智能和运筹学的发展, 人们正尝试着将启发式搜索算法用于处理点状注记的配置问题。遗传算法、神经网络算法和模拟退火方法在点状注记的配置中的应用, 国内有一些研究^[5-7]。禁忌搜索法 (tabu search, TS) 能跳出局部最优, 具有收敛速度较快, 计算效率和求解质量高等优点, 已经有了广泛的应用^[8-10], 但还没有用于点状注记配置。Yamamoto 利用禁忌搜索法进行点状注记的自动配置, 并得到了较好的效果^[2]。本文在 Yamamoto 研究的基础上, 根据点状注记配置基本规则, 引入了地图目标等级, 加入了注记文本不能遮盖点要素这样一个限制条件, 建立了一个更为完善的目标函数, 并利用禁忌长度是否为 0 来判断元素是否位于禁忌表中。

1 禁忌搜索算法的基本思想

禁忌搜索是一种逐步寻优算法, 它采用禁忌表技术跳出局部最优, 利用特赦规则和标准频率

保证搜索的多样性, 所以能有效地实现全局最优搜索^[2, 8, 11]。

TS 算法用于点状注记自动配置的主要过程是: 首先构造初始解, 并计算有冲突的注记数目, 为每个点记录和他的注记框相交的注记及其他点要素; 然后将禁忌表和特赦规则考虑在内, 迭代运算候选集规模、禁忌列表规模、各点注记的代价值、目标函数值等, 直到满足终止规则。

2 基于注记配置规则的目标函数

2.1 点状要素注记配置规则

点状注记配置必须遵循制图标准^[1, 5], 基于这些标准可以总结出点状注记配置规则: 明确“所属关系”注记; 符合读图“习惯”; 避免地图要素冲突; 优先考虑配置级别高的点要素注记; 美观、和谐。

以上规则制定的前提是点要素和注记一一对应, 且将点状要素注记的形状抽象为各自文本的最小外框。规则 和 决定了注记不同的备选位置有优先级之分; 规则 在一定程度上确保了地图的清晰易读性; 规则 确定了不同等级的点状注记配置有先后次序; 规则 由制图员根据相关的

制图规范设定相关参数来满足,如字体、字大、字色、字间距等。

2.2 建立目标函数

Yamamoto 等人主要是从点注记是否有重叠和注记配置的优先级这两方面因素来建立目标函数^[2]的。根据上述配置规则,可以从注记文本最小外框之间是否交叉、文本最小外框是否压盖其他点要素、注记位置的优先级、点要素等级这四方面来建立目标函数:

$$F = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} C(i, j) \times x_{ij}, i \in [0, n], j \in [0, m] \quad (1)$$

$$C(i, j) = a \times O(i, j) + [\sum_{k=1}^t (b_k \times p_k)] \times s(i, j) + c \times R(i, j), k \in [1, t] \quad (2)$$

约束条件:

$$\sum_{j=0}^{m-1} x_{ij} = 1 \quad (3)$$

其中, n 表示待注记点的数目; m 为每个点的候选注记位置数; i 表示第 i 个点; j 表示注记位置; k 表示点要素等级; x_{ij} 是开关变量, 当第 i 个点位于 j 位置时, $x_{ij} = 1$, 反之则 $x_{ij} = 0$; $C(i, j)$ 为单个点注记在 j 位置的代价值; $O(i, j)$ 表示第 i 个点的注记框在 j 位置压盖的点要素(不包括第 i 个点)的数目; $s(i, j)$ 表示与 j 位置的第 i 个点注记框相交的注记框的数目; $R(i, j)$ 表示第 i 个点注记处于位置 j 的优先值; a 为注记与其他点要素冲突的权重; b_k 为与第 k 级注记相冲突的权重; p_k 为与第 i 个点注记有冲突的、处于 k 级点要素的注记数目; c 为位置优先级权重。式(3)用来保证注记的当前位置惟一。

3 TS 算法用于点注记自动配置

3.1 注记候选位置和位置优先级

每个点要素的注记候选位置逻辑上有无穷个^[1], 这里采用典型的水平放置的四位置。根据规则, 按我国的从左到右的读图习惯, 左下角位置最差, 设为 0.9, 右下角次之, 设为 0.6, 如图 1 所示。

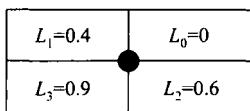


图 1 位置优先级

Fig. 1 Cartographic Preference

3.2 基本参数的计算

采用动态的禁忌表规模和候选表规模, 以集中矛盾提高收敛速度, 同时增加搜索的广泛性。

1) 注记字大 S 。包括字宽 S_L 和字高 S_H , 大小与点要素的等级有关。

2) 候选集大小 C_s 。候选集合的元素不能少于 2 个, C_s 与产生冲突的注记数有关, $C_s = 2 + \text{int}(0.05 \times \text{与点或注记产生冲突的注记数})$ ^[2]。候选集选取的原则是: 按代价值从大到小依次选取; 对于代价值相等的点元素, 则非禁忌列表中的元素优先, 然后按点号依次选。

3) 禁忌表规模 T_s 和禁忌长度 T_L 。禁忌元素个数至少为 2, 每有 4 个相冲突的注记, 禁忌元素增加一个, 所以 $T_s = 2 + \text{int}(0.25 \times \text{与点或注记产生冲突的注记数})$ 。禁忌长度是被禁忌对象不允许选取的迭代次数, 禁忌表规模是禁忌表允许存贮的禁忌对象的数目。利用 T_L 不等于 0 的元素个数来计算禁忌表大小, T_L 是基于禁忌规模来确定的。

(1) 某阶段第一次进入禁忌列表中, 禁忌元素的初始禁忌长度 $T_L(i) = T_s$;

(2) 某阶段重算禁忌规模后, 位于禁忌表中的禁忌元素要重算禁忌长度, 则 $T_L(i) = T_L(i)_{\text{旧}} - (T_{s\text{旧}} - T_s)$;

(3) 在某阶段运算中, 满足特赦规则解禁后再次进入禁忌表的禁忌元素, $T_L(i) = T_s + T_L(i)_{\text{禁}}$;

(4) 每迭代一次, 要重算禁忌元素的禁忌长度 $T_L(i) = T_L(i)_{\text{旧}} - 1$ 。不在禁忌列表中的点元素的禁忌长度都为 0, 当 $T_L(i) = 0$ 时, 该禁忌元素被释放出来。本文改进的算法用禁忌长度和禁忌规模共同决定禁忌元素的数目。

4) 标准频率 $f_m(i)$ 。每迭代运算到规定次数, 若未改善当前最优解时, 利用标准频率作为惩罚值修改单个点的代价值, 以扩大搜索范围:

$$f_m(i) = (b_k \times n) / \max(b_k \times m) \quad (4)$$

$$C(i, j) = C(i, j)_{\text{旧}} - f_m(i) \quad (5)$$

其中, b_k 代表第 i 点元素的级别系数; n 为该元素注记移动的次数; b_i 为任一个元素的级别系数; m 为对应元素注记改变位置的次数。式(5)用来计算新代价值, $C(i, j)_{\text{旧}}$ 为目前第 i 点注记位于 j 位置的代价值。

3.3 TS 算法演进过程的示例

本示例有 6 个点要素, 选取“单个点要素的注记位置优先级最高的位置”作为初始位置, 如图 2(a)。图 2 中, 黑点表示点要素, 矩形框表示点

注记最小外框。点要素具有 2 个等级, P_2 、 P_4 为一级, S_H 和 S_L 为 1.2 个单位; P_0 、 P_1 、 P_3 、 P_5 为二级, S_H 和 S_L 为 1 个单位。式(2)中取 $a = c = 1$, $b_1 = 1.5$, $b_2 = 1$ 。在图 3 中记录了迭代运算中的一些重要变量值, I_t 表示迭代次数, P_i 代表点元素,

分别计算了各点注记位置和代价值, L_a 表示当前有冲突的注记数, F 为目标函数值, F_B 为当前所获得的最好目标函数值, $T_L(n)$ 记录了禁忌列表中的元素及各元素的禁忌长度。图 2 中的 9 个图与图 3 相对应。规定每迭代 4 次重算 T_s 和 C_s 。

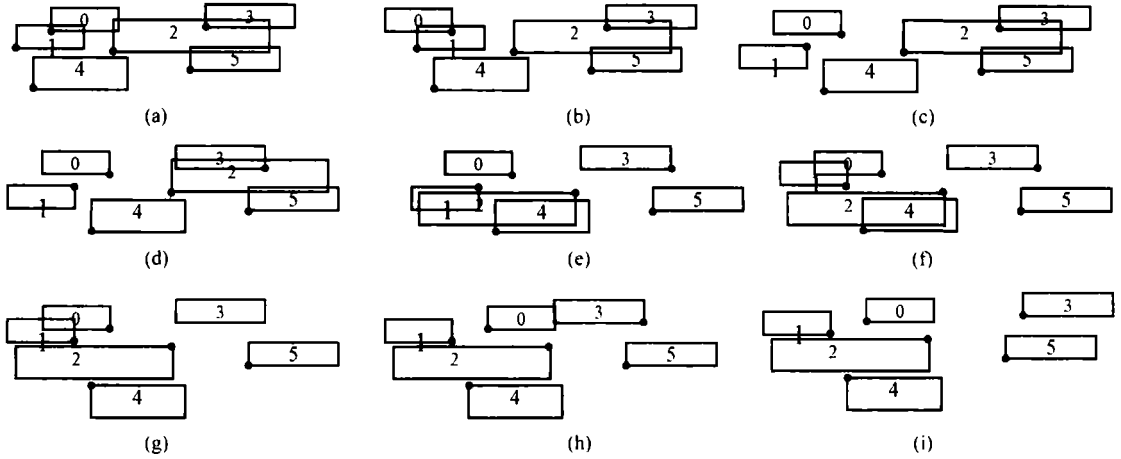


图 2 TS 算法演进过程

Fig. 2 Process of Tabu Search Arithmetic

经 4 次迭代后, 重算 T_s 、 C_s , 因为没有改善目前获得的最优解, 还要为发生“移动”的点要素计

算新的代价值。完成 8 次迭代后, 没有相冲突的点注记, 终止迭代。

I_t	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	L_a	F	F_B	$T_L(n)$
初始状态	$T_s = 2 + \text{int}(0.25 \times 5) = 3, C_s = 2 + \text{int}(0.05 \times 5) = 2$									
	$L_0, 2.5$	$L_0, 2$	$L_0, 4$	$L_0, 1.5$	$L_0, 0$	$L_0, 1.5$	5	11.5	11.5	
1	$L_1, 1.4$		$L_3, 2.4$							$T_L(0) = 3$
	$L_1, 1.4$	$L_0, 2$	$L_0, 3$	$L_0, 1.5$	$L_0, 0$	$L_0, 1.5$	5	9.4	9.4	
2		$L_3, 0.9$	$L_3, 2.4$							$T_L(1) = 3, T_L(0) = 2$
	$L_1, 0.4$	$L_3, 0.9$	$L_0, 3$	$L_0, 1.5$	$L_0, 0$	$L_0, 1.5$	3	7.3	7.3	
3			$L_3, 3.4$	$L_1, 1.9$						$T_L(3) = 3, T_L(1) = 2$
	$L_1, 0.4$	$L_3, 0.9$	$L_0, 3$	$L_1, 1.9$	$L_0, 0$	$L_0, 1.5$	3	7.7	7.3	$T_L(0) = 1$
4			$L_3, 3.4$	$L_0, 1.5$						$T_L(2) = 3, T_L(3) = 2$
	$L_1, 0.4$	$L_3, 2.4$	$L_3, 3.4$	$L_1, 0.4$	$L_0, 1.5$	$L_0, 0$	3	8.1	7.3	$T_L(1) = 1$
重算	$T_s = 2 + \text{int}(0.25 \times 3) = 2, C_s = 2 + \text{int}(0.05 \times 3) = 2$									
	$L_1 - 0.27$	$L_3, 1.73$	$L_3, 2.4$	$L_1 - 0.27$	$L_0, 1.5$	$L_0, 2.1$				$T_L(2) = 2 - 3 + 3 = 2$
										$T_L(3) = 2 - 3 + 2 = 1$
5		$L_1, 1.4$	$L_0, 3$							$T_L(1) = 2$
	$L_1, 1.4$	$L_1, 1.4$	$L_3, 2.4$	$L_1, 0.4$	$L_0, 1.5$	$L_0, 0$	2	7.1	7.1	$T_L(2) = 1$
6			$L_2, 2.6$		$L_2, 0.6$					$T_L(4) = 2$
	$L_1, 1.4$	$L_1, 1.4$	$L_3, 0.9$	$L_1, 0.4$	$L_2, 0.6$	$L_0, 0$	2	4.7	4.7	$T_L(1) = 1$
7	$L_0, 1$	$L_2, 2.1$								$T_L(0) = 2$
	$L_0, 1$	$L_1, 0.4$	$L_3, 0.9$	$L_1, 1.4$	$L_2, 0.6$	$L_0, 0$	2	4.3	4.3	$T_L(4) = 1$
8	$L_1, 1.4$			$L_0, 0$						$T_L(3) = 2$
	$L_0, 0$	$L_1, 0.4$	$L_3, 0.9$	$L_0, 0$	$L_2, 0.6$	$L_0, 0$	0	1.9	1.9	$T_L(0) = 1$

图 3 迭代过程中的一些重要变量值

Fig. 3 Value of Some Important Variants During Iterative Procedure

4 结 语

本文基于点注记配置规则建立的目标函数更完善, 而对函数求解所得到点注记的定位位置将

更符合人们对地图的认知习惯, 通过对 TS 算法中应用于点注记配置的实验, 说明了改进的目标函数是实用有效的。

文献[2] 分别用 1 000、750、500、250、100 个随机点在相同的条件下, 采用多种配置算法进行

了点注记配置结果的对比实验, 说明了 TS 算法比贪婪法、遗传算法、模拟退火法、离散梯度下降法、随机配置等算法效果显著。文献[12]改进了遗传算法, 用于点注记配置后也能获得很好的效果, 但若点注记的数目较大时, 改进的遗传算法所用时间相对 TS 算法要长得多。本文也进一步证明了 TS 算法能为地图中的点注记搜索到最优配置位置, 用于点注记配置有很大的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Yoeli P. The Logic of Automated Map Lettering [J]. The Cartographical Journal, 1972, 9(2): 99-108
- [2] Yamamoto M, Camara G, Lorena L A N. Tabu Search Heuristic for Point-Feature Cartographic Label Placement [J]. GeoInformatica, 2002, 6(1): 77-90
- [3] Doerschler S, Freeman H. A Rule Based System for Dense-Map Name Placement [J]. Communications of the ACM, 1992, 35: 68-79
- [4] 胡鹏, 游涟, 杨传勇, 等. 地图代数[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002
- [5] 樊红. 地图注记自动配置研究[M]. 北京: 测绘出版社, 2004
- [6] Chazelle B, Amenta N, Asano T, et al. Application Challenges to Computational Geometry. Impact Task Force Report [R]. Princeton: Princeton University, 1996
- [7] 邓红艳, 武芳, 李铭, 等. 遗传算法在点注记自动配置中的应用 [J]. 测绘学院学报, 2003, 20(1): 69-72
- [8] 郎茂祥, 胡思继. 车辆路径问题的禁忌搜索算法研究 [J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 81-84
- [9] 黄志, 黄文奇. 一种基于禁忌搜索技术的作业车间调度算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(2): 222-225
- [10] 葛少云, 刘自发, 余贻鑫. 基于改进禁忌搜索的配电网重构 [J]. 电网技术, 2004, 28(23): 22-26
- [11] Glover, F. Tabu Search: a Tutorial [J]. Interfaces, 1990, 20(4): 74-94
- [12] Yamamoto M, Lorena L A N. A Constructive Genetic Approach to Point-Feature Cartographic Label Placement [C]. 5th Metaheuristics International Conference (MIC03), Kyoto, Japan, 2003

第一作者简介: 郑春燕, 讲师, 博士生, 主要研究方向为制图综合和地理信息可视化。

E-mail: hkkzcy@jyu.edu.cn

Automatic Placement of Point Annotation Based on Tabu Search

ZHENG Chunyan^{1,2} GUO Qingsheng^{1,3} LIUXiaoli¹

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

(2 Department of Geography, Jiaying University, Meisong Road, Meizhou 514015, China)

(3 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The tabu search arithmetic is introduced in order to solve the problem about label placement for point-features from the viewpoint of global optimization. According to the basic rules of cartography, the objective function, which has considered the limit condition such as class of map object, is improved based on Yamamoto's research. It is illustrated that how the arithmetic is used in label placement for point-feature through a simple example.

Key words: tabu search arithmetic; automatic labeling; point-feature; global optimization

About the first author: ZHENG Chunyan, Ph. D candidate, majors in cartographic generalization and visualization of geographical information.
E-mail: hkkzcy@jyu.edu.cn