

中图分类号: TP391.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)03-0418-09

论文引用格式: Luo Z S, Zhang J S, Fan J P. Synthesizing multi-destinations map with factor graph [J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(3): 0418-0426. [罗振珊, 张俊松, 范接鹏. 结合因子图的多目的地地图布局优化[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(3): 0418-0426. ] [DOI: 10.11834/jig.20150313]

## 结合因子图的多目的地地图布局优化

罗振珊, 张俊松, 范接鹏

1. 厦门大学智能科学与技术系艺术认知与计算实验室, 厦门 361005; 2. 福建省仿脑智能系统重点实验室, 厦门 361005

**摘要:** 目的 提出一种结合因子图的多目的地地图生成方法。方法 首先,由用户选择多个感兴趣的目的地,系统根据相应规则自动地选择与目的地最相关的路线。然后,通过定义一组衡量布局质量的约束规则,采用因子图方法将定义的每条规则编码成因子,并采用 Metropolis Hastings 算法对由因子图构建得到的目标分布函数进行采样,得到符合约束规则的多目的地地图。结果 实验结果表明,使用这种方法得到的多目的地地图,可以在同一显示空间中显示多个目的地之间的道路信息,同时又保留了各目的地区域之间的拓扑和空间关系。结论 提出的多目的地地图能有效地为用户提供导航,解决了当前在线地图无法在同一视野中为用户提供空间距离较远的区域道路信息的问题。

**关键词:** 多目的地; 地图可视化; 因子图; MH 算法

## Synthesizing multi-destinations map with factor graph

Luo Zhenshan, Zhang Junsong, Fan Jiepeng

1. Mind, Art & Computation Group, Cognitive Science Department, Xiamen University, Xiamen 361005, China;  
2. Fujian Key Laboratory of the Brain-like Intelligent System, Xiamen 361005, China

**Abstract: Objective** An increasing number of people usually need to work or take a holiday with their families in another city. Therefore, having an accurate map is necessary when they arrive in an unfamiliar city. Some online maps, such as Baidu or Google, can provide sufficient but redundant information. Users only need some information about their destinations, but excessive details on other places give rise to difficulty in reading maps. Meanwhile, users often need to perform many tedious operations, such as zoom in and zoom out, to obtain useful information. Therefore, we present a factor graph-based method to generate multiple destinations maps. This method can provide users with only useful information so that they can obtain help easily. **Method** Our method consists of three steps. First, users select multiple destinations of interest. The detail of some areas that are far from the user destinations is unnecessary. Second, the proposed system automatically selects the most relevant subset of roads that are related to the destinations according to certain predefined guidelines. These guidelines ensure that the selected road network maintains conciseness and connectivity so that users can arrive at any destination. Finally, the layout is adjusted to present an accurate map. The map should ensure that the details of the information on the destinations are clear while maintaining the original topology of the map. Moreover, we should maximize screen usage to display more information. Thus, we identify a set of design rules to constrain the map layout. We conduct

收稿日期: 2014-09-11; 修回日期: 2014-10-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(60903129); 国家重点基础研究发展规划(973) 基金项目(2013CB329502)

第一作者简介: 罗振珊(1991—)女,土家族,厦门大学智能科学与技术系硕士研究生,主要研究领域为计算机图形学。

E-mail: 1003974760@qq.com

通信作者: 张俊松 副教授, E-mail: zhangjs@xmu.edu.cn

some preprocessing of the road network to implement layout optimization. We segment the road network into several rectangular areas according to the user destinations. Every rectangle contains only one destination. During optimization, we can choose a rectangular area-based perturbation or point-based perturbation. Furthermore, we use factor graph, a type of graphical model, to improve algorithm efficiency by encoding constraints as factors. We obtain the desired map layout with the Metropolis-Hastings algorithm by sampling from the target distribution constructed by the factor graph. **Result** Online maps fail to provide selective information, whereas other maps, such as hand-drawn maps, often produce map deformation that affects map reading. The multi-destination maps generated by the proposed method not only provide users with detailed road information of multiple destinations in the same view while maintaining the topology among destinations. Moreover, unnecessary information is automatically omitted. **Conclusion** In this study, we present a new method to generate maps with a factor graph. The factor graph can clearly describe the relationships of objects. Experiment results indicate that the proposed approach can efficiently solve the problem confronting online maps, which fail to provide users with sufficient and detailed information on multi-destinations in the same view.

**Key words:** multi-destinations; map visualization; factor graph; Metropolis-Hastings algorithm

## 0 引言

在快节奏生活的今天,人们经常需要频繁的出差、旅行等,对于外出旅行的用户来说,拥有一份能提供所需信息的地图无疑是至关重要的。因此,生成面向用户需求的导航地图就成为一个重要的研究问题。Kopf<sup>[1]</sup>提出了单目的地地图的自动生成方法,Karnick<sup>[2]</sup>和Birsak<sup>[3]</sup>提出使用细节分镜头实现地图的可视化。这几类方法虽然可以在特定情况下产生较好的效果,但是并没有很好的解决多目的地地图的布局问题。因此,本文提出一种面向用户定制的多目的地地图生成方法。用该方法生成的地图可以在同一显示空间中显示多个目的地之间的道路信息,同时又保留了各目的地之间的拓扑和空间关系,便于用户进行旅行规划。

要根据用户需求生成多目的地地图,需要满足以下两个标准:首先,要尽可能详细地显示目的地周围的道路信息;其次,要充分合理地利用显示空间。然而,实现这样的标准无疑是具有挑战性的。当前在线电子地图(Google、Baidu等)提供的信息虽然丰富,但并非所有的信息都与特定的用户相关,因此需要找出与用户指定的目的地相关的道路信息。此外,为了在同一显示空间中显示多个目的地的详细信息,需要对地图采用非均匀缩放操作。因此,如何有效地通过缩放操作来充分利用显示空间,同时又不让地图产生的形变影响用户的导航是另一挑战。借鉴Kopf<sup>[1]</sup>的方法并在其基础上加以改进,以解决我们的多目的地地图的道路选择问题。同时,为了

实现多目的地地图的优化布局,我们首先确立了一系列规则来评价一个多目的地地图的布局质量,并在此基础上,提出一种基于因子图的地图布局优化方法。

本文方法主要分为3个步骤:首先,由用户选择感兴趣的目的地,系统自动选择出与用户指定的目的地最相关的道路网信息。然后,系统对选出的道路网进行布局优化以获得满足要求的多目的地地图。在优化过程中,受Yeh<sup>[4]</sup>方法的启发,利用因子图方法将定义的各项规则编码成因子,然后由各项因子构建得到用于衡量整体布局的联合分布函数,最后通过Metropolis Hastings (MH) 算法对该联合分布函数进行采样以得到我们需要的解。

本文的主要贡献有:

1) 本文根据用户实际需要,提出了一种结合概率模型的地图生成方法,该方法可以为同时对多个目的地感兴趣的用户提供有效的导航。

2) 在构建衡量地图布局质量规则的基础上,本文提出基于因子图的地图布局优化方法,有效地解决了多目的地地图布局的优化问题。

结合用户出行规划,使用本文方法生成的多目的地地图可以在有限空间内同时显示多个目的地周围的道路网细节信息以及各目的地之间的空间拓扑关系,有效地弥补了当前在线地图服务的不足。

## 1 相关工作

近年来,增强用户关注区域可读性的地图可视化方法越来越受到研究者的关注。一些研究者<sup>[5-7]</sup>

使用图像形变技术生成的地图虽然能增强地图的可读性,但由于使用形变技术会导致地图过度形变,因此影响用户对地图的感知。于是,越来越多的研究者开始使用基于规则的地图可视化方法<sup>[1-2,8-9]</sup>。

Kopf<sup>[1]</sup>提出了一种自动生成单个目的地地图的方法。作者从人工手绘目的地地图中提炼出设计规则以确保地图上的所有道路都清晰可见,并采用基于规则的优化方法以求得满足约束规则的最优布局。使用该方法生成的目的地地图与人工的设计非常接近,可以让某个区域的人们方便地到达同一个目的地。然而 Kopf<sup>[1]</sup>方法只适用于单个目的地的地图布局问题。而本文关注多个目的地的地图布局优化问题,该问题相对单目的地地图布局问题具有更大的挑战性。对于多目的地地图布局而言,我们不仅需要考虑目的地区域内部道路的布局,还要考虑目的地区域与周围其他目的地区域的空间关系。同时,多目的地地图的数据量更大,道路网的复杂性更高,为了提升算法效率,采用因子图方法将各项约束规则编码成因子,然后通过 MH 算法对联合分布函数进行采样以得到满足约束规则的解。

Karnick<sup>[2]</sup>提出了一种生成可打印版本的驾车线路图的可视化方法。他们使用多个细节分镜头显示路径的关键节点,然后将它们合理排列在一个有限的显示空间内以便能同时显示整体路况及局部路况细节。使用他们的方法生成的线路图相比普通线路图能从整体和局部两个方面提供更详细的信息。然而,由于所有的细节镜头被集中排列在一起,用户并不能直观的获得这些细节镜头之间的拓扑关系。此外,他们的方法中,由于每个关键点都被独立的显示出来,而距离很近的关键点的信息基本相似,因此会导致空间浪费和信息冗余。与他们不同的是,本文在保证地图整体拓扑清晰可辨的前提下,在有限的显示空间内给用户提供更关注区域的尽可能详细的细节信息。Birsak<sup>[3]</sup>同样提出了利用细节分镜头自动生成旅游地图的方法。他们通过对用户感兴趣的目的地进行聚类分析,将距离较近的目的地用一个细节镜头显示,以此来解决信息冗余的问题。但是,他们的方法虽然通过对细节分镜头的排列进行优化能有效地提高地图的可读性,但当细节分镜头数量很多时,地图布局仍然会显得杂乱,不便于用户查找相关信息。不同于他们的方法,本文只需要用户选择感兴趣的目的地,不需要指定整体地

图的布局。另外,本文直接在原始地图中通过非均匀缩放来显示各目的地附近的细节信息,同时压缩地图中与用户无关的信息,这样保证用户可以方便快捷的获取地图细节信息和各目的地之间的拓扑关系。

此外,布局优化问题已经在计算机图形学中得到广泛关注。Yeh<sup>[4]</sup>提出用因子图算法求解非固定变量的空间布局问题。通过因子图构造一个用于表示整体布局的联合分布函数,然后对该联合分布函数采样以得到服从约束规则的空间布局。Lin<sup>[10]</sup>同样采用因子图方法解决图案的着色问题。与前者不同的是,他们的方法是从数据集中学习得到每个约束条件的概率分布,然后进行采样求解。由于多目的地地图的布局问题本质上也是一组固定变量的空间布局问题,因此,受文献[10]方法的启发,也选择因子图方法来实现求解过程。不同的是,我们用因子图方法来解决地图的布局优化问题,其中的变量个数远远多于他们的问题中的变量个数,而因子图方法能有效减少变量之间的相互影响,提高计算效率,因此,本文方法更能充分利用因子图的这一优点。

## 2 算法框架

本文提出的基于因子图的多目的地地图布局方法主要分为 3 个步骤,如图 1 所示。首先,需要用户从原始地图(如图 1(a))中选择自己感兴趣的区

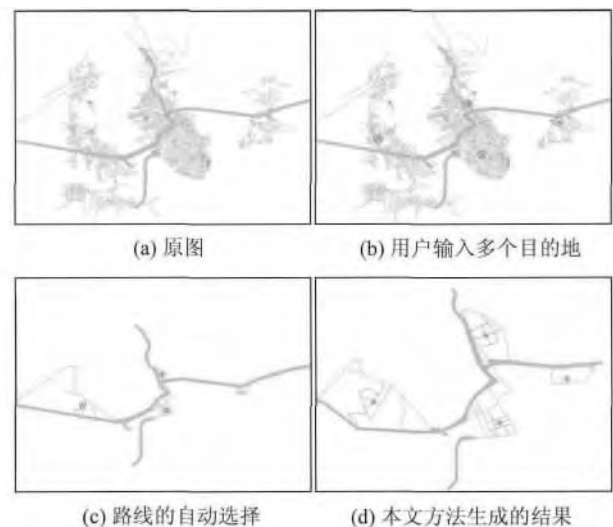


图 1 系统框架图

Fig. 1 Overview of our system

域, 用户可通过双击地图上的点确定感兴趣的区域, 图 1(b) 中圆圈标注的点即为用户选择的兴趣点。然后, 系统将根据用户指定的兴趣点自动地选择出最相关的道路, 如图 1(c) 所示。最后, 该系统对选择出的路线和目的地区域进行优化得到如图 1(d) 所示的结果。可以看出, 算法结果既维持了地图的整体拓扑结构, 同时又能更清晰地显示用户关注区域的细节信息。

### 3 道路选择

一般的在线地图为用户提供完整的地图数据。然而, 由于不同的用户关注的区域不同, 因此, 当前的在线地图服务提供的信息存在大量的冗余数据。为了能充分利用显示空间, 需要从最初的完整的地图中找出与用户所关注区域最相关的信息, 因此需要进行道路选择。为了简化计算, 将地图中的道路主要分为 3 个等级: 高速公路、主干道和街道, 如图 2(a) 所示。

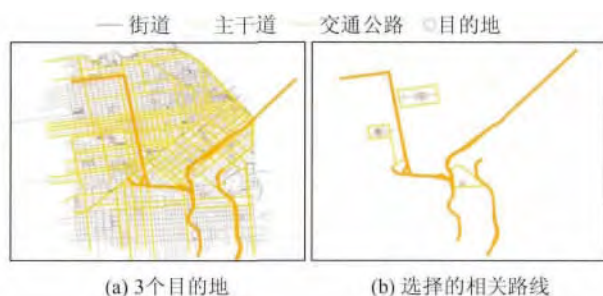


图 2 选择路线

Fig. 2 Road selection

在选择道路过程中, 需要判断每条线路的重要性, 因此需要确立衡量线路重要性的评价准则。通过分析认知心理学家有关线路与用户的相关性研究成果<sup>[11-19]</sup>, 总结出以下 4 条指导规则:

- 1) 人们对道路的关注度依赖于道路的类型, 首先是高速公路, 其次是主干道, 再次是街道。
- 2) 用户所需细节信息随着与目的地之间的距离的减小而变得越来越丰富。
- 3) 应优先选择拐弯最少的道路, 且需保证每个目的地都可达。
- 4) 应始终确保路网拓扑结构的正确性。

基于上述 4 条规则, 同时受文献 [19] 中选路算法的启发, 从完整的地图数据集合中选出与用户最

相关的数据子集, 实验结果如图 2(b) 所示。

## 4 布局优化

### 4.1 多目的地地图布局模型

给定一个带有  $n$  个目的地的稀疏地图  $G = (V, E)$ ,  $V$  表示图中的点的集合,  $E$  表示边的集合, 目标是寻找一个满足指定约束规则的布局  $G' = (V', E')$ 。为了便于对于地图进行布局优化, 采用最小割算法将图  $G$  分割成多个矩形区域, 每个区域只包含一个目的地, 如图 3 所示。 $G_i$  表示对应于第  $i$  个目的地的矩形关注区域,  $V_i$  对应于第  $i$  个目的地。

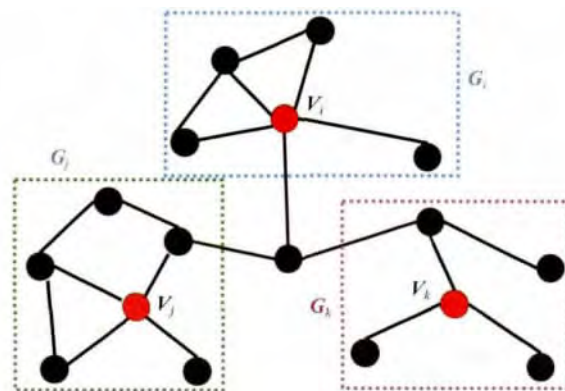


图 3 区域分割

Fig. 3 Region segmentation

为了实现多目的地地图的优化布局, 将关注区域  $G_i$  以及边  $e_i$  作为变量, 利用因子图方法为每条规则构建一个因子函数, 将其编码成因子。因子函数为一个概率密度函数, 它可以将一个变量映射为一个实数值, 满足该项约束规则的变量获得较高的数值。图 4 说明了如何利用因子图求解地图的布局优化问题。

图 4(b) 主要由变量节点, 因子节点以及连接它们的边组成。其中, 圆圈表示的是变量节点  $X_i$ , 对应于图 4(a) 中的  $G_1, G_2, G_3, G_4$ , 以及由任意相邻两点确定的边  $e_i$ , 方框表示因子节点  $\Phi_i$ 。每个因子节点可以与多个变量节点连接, 这些变量节点相当于因子节点的变量域 (如  $\Phi_3$  的变量域为  $D_3 = \{X_3, X_4, X_5\}$ )。每个因子节点表示一条约束规则, 对应于一个因子函数, 可以将变量映射到相应的实数值。例如, 对于图 4(a) 中的地图, 规定所有矩形区域的交集面积最小, 由于该项约束规则的约束对象为所有的矩形区域, 所以该条规则的评价值  $f = \Phi(\{G_1,$



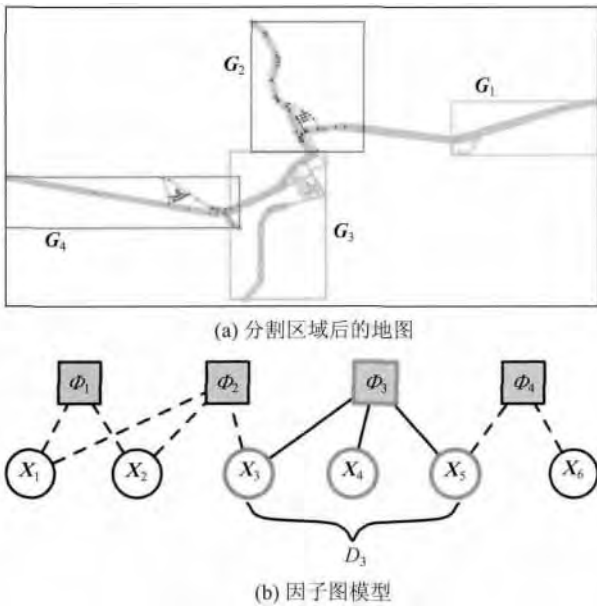


图4 因子图模型  
Fig. 4 Factor model

$G_2, G_3, G_4\}$ )。由图中的所有因子节点可以得到定义在  $X$  上的联合分布函数

$$P(X = x) = \frac{1}{Z} \prod_j \Phi_j(d_j) \quad (1)$$

式中  $Z$  为归一化因子,  $d_j$  为与因子  $\Phi_j$  相关的变量集合。由该函数可以看出,一旦  $x$  出现无效赋值,该联合分布函数的值将为 0(即使只有一个因子的返回值为 0),因此通过该函数返回的值可以辨别解的有效性。

4.2 约束条件

基于因子图的优化算法旨在寻找一个能够满足各项约束规则的解,因此,需要一系列约束规则来约束求解过程。通过查阅大量书籍以及咨询一些专业的手绘地图设计者<sup>[11-18]</sup>发现,手绘地图应该充分利用显示空间以保证道路的清晰显示,同时维持路网的拓扑结构,以及每条道路尽量维持原来的角度等。因此,提出了以下几条约束规则:保证道路的清晰度,维持道路原来的角度,提高空间利用率以及确保拓扑结构。在形式化约束规则时,受 Yeh<sup>[4]</sup>的启发,采用式(2)( $N$  为高斯分布)将各约束规则编码成因子。

$$p(x, y, \sigma^2) = \frac{N(0, \|x - y\|, \sigma^2)}{N(0, \rho, \sigma^2)} \quad (2)$$

4.2.1 保证道路的清晰度

为了保证每条道路都清晰可见,定义道路的长度下限  $l_{min}$ ,当路段长度  $l_i$  小于  $l_{min}$  时,将给予该路段

惩罚。且惩罚力度随  $l_{min}$  与  $l_i$  的差的增大而增大。如式(3)所示,  $e_i$  为任意路段,且  $e_i \in \{street, road, highway\}$ ,由于不同的道路类型具有不同的重要性,因此,引入惩罚系数  $\lambda$ 。式中,街道的惩罚系数  $\lambda_{street}$  设置为最大,其次分别为  $\lambda_{road}$ (主干道)和  $\lambda_{high}$ (高速公路)。

$$\Phi_{len}(e_i) = \ln p(l_{min}, \min(l_i, l_{min}), \sigma_{len}) \cdot \lambda_{e_i} \quad (3)$$

在对地图进行优化时,根据用户选择的目的地将地图分割成了多个关注区域。为了避免优化过程中,每个区域的道路清晰度差异太大,引入因子  $\delta$  来权衡不同关注区域之间的道路清晰度。假设矩形关注区域  $G_i = (V_i, E_i)$  包含的路段数目为  $|E_i|$ ,其中路段长度小于  $l_{min}$  的数目记为  $num_i$ 。定义  $\delta_i$  与长度小于  $l_{min}$  的路段所占比例  $p_i = num_i / |E_i|$  成正比。即  $p_i$  越大的区域其权重也越大。用  $F_{length}$  来衡量所有路段的长度,其定义为

$$F_{length}(E) = \exp\left(w_{length} \cdot \sum_{G_i \in G} \delta_i \cdot \sum_{e_j \in E_j} \Phi_{len}(e_j)\right) \quad (4)$$

式中  $w_{length}$  表示该项因子的权重,反映了它在优化布局过程中的重要性。

4.2.2 维持道路的角度

为了避免地图过度形变,在优化地图布局时还应尽量保持道路原来的角度。假设原始布局  $G = (V, E)$  中路段  $e_i \in E$  与水平线的夹角为  $\theta_{oi}$ ,在后继布局中路段  $e_i$  与水平线的夹角表示为  $\theta_i$ 。用  $\Phi_{angle}$  来衡量路段  $e_i$  是否维持原来的角度,用  $F_{angle}$  衡量整个布局中所有路段维持角度的情况,  $w_{angle}$  表示权重,其具体定义为

$$\Phi_{angle}(e_i) = \ln p(0, (\theta_{oi} - \theta_i), \sigma_{angle}) \quad (5)$$

$$F_{angle}(E) = \exp\left(w_{angle} \sum_{e_i \in E} \Phi_{angle}(e_i)\right)$$

4.2.3 充分利用显示空间

多目的地地图布局优化方法的主要目标在于在有限的显示空间内尽可能多给用户关注区域的信息,因此,在优化的过程中应充分利用显示空间。假设输入的稀疏地图  $G = (V, E)$  包含  $n$  个关注区域,第  $i$  个关注区域所占的面积为  $s_i$ ,用  $F_{area}$  来衡量当前布局的空间利用情况,  $w_{area}$  表示  $F_{area}$  的权重,其定义为

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{area}}(\mathbf{G}) &= \ln p(0 \mid \text{area}(\mathbf{G}) / \text{area}(\text{canva}) \mid \sigma_{\text{area}}) \\ F_{\text{area}}(\mathbf{G}) &= \exp(w_{\text{area}} \Phi_{\text{area}}(\mathbf{G}))\end{aligned}\quad (6)$$

式中  $\text{area}(\mathbf{G}) = s_1 \cup s_2 \cup s_3 \cdots \cup s_n$  表示所有关注区域的总面积,  $\text{area}(\text{canva})$  定义当前显示空间的面积。

#### 4.2.4 关注区域之间交集尽可能小

在确保能充分利用显示空间的同时,还应保持每个关注区域的独立性,因此需要避免各个关注区域之间有过多的重叠面积。对于一幅有  $n$  个关注区域的地图,  $s_i$  表示第  $i$  个关注区域的面积,  $w_{\text{inter}}$  表示该项因子的权重,则关注区域之间的面积重叠表示为

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{inter}}(\mathbf{G}) &= \ln p(0 \mid A(\mathbf{G}) \mid \sigma_{\text{inter}}) \\ F_{\text{inter}}(\mathbf{G}) &= \exp(w_{\text{inter}} \Phi_{\text{inter}}(\mathbf{G}))\end{aligned}\quad (7)$$

式中  $A(\mathbf{G}) = s_1 \cap s_2 \cap s_3 \cdots \cap s_n$ 。

#### 4.2.5 保持正确的拓扑结构

相关研究人员<sup>[16-18]</sup>指出,相对道路的精确几何形状,用户在使用地图时更在意道路网络的拓扑结构。因此,在对多目的地地图进行布局优化时,应始终保持地图正确的拓扑结构。描述上述强约束规则,即

$$F_{\text{topo}} = \begin{cases} 0 & \text{出现拓扑错误} \\ 1 & \text{没有拓扑错误} \end{cases}\quad (8)$$

从式(8)可以看出,一旦地图出现拓扑错误,整个评价函数的返回值将为0,当前布局将不被接受。

### 4.3 概率模型及优化

已经得到了各个约束条件的评价函数  $F_{\text{length}}$ 、 $F_{\text{angle}}$ 、 $F_{\text{area}}$ 、 $F_{\text{inter}}$ 。接下来,需要定义一个能评价整个布局的函数。因子图算法可以将一个定义在多变量上复杂的概率分布分解成多个因子乘积的形式,通过因子图构建衡量整体布局的评价函数,得到联合概率分布函数

$$p(\mathbf{G} \mid w) = \frac{1}{Z(w)} \prod_F F(\text{scope}_F(\mathbf{G}))\quad (9)$$

式中  $w$  表示各项评价原则的权值 ( $w_{\text{length}} = 1$ ,  $w_{\text{angle}} = 15$ ,  $w_{\text{area}} = 1$ ,  $w_{\text{inter}} = 1$ ), 其具体数值根据经验设置,  $Z(w)$  表示归一化因子,  $F \in \{F_{\text{length}}, F_{\text{angle}}, F_{\text{area}}, F_{\text{inter}}\}$ ,  $\text{scope}_F(\mathbf{G})$  表示与该约束相关的变量。

为了得到满足各项约束条件的解,采用 MH 算法对联合分布函数  $p(\mathbf{G} \mid w)$  进行采样。MH 算法的

思想是构造一个以目标分布  $p(x)$  为不变分布的 Markov 链。为了实现这一目标, MH 算法借助于一个辅助的概率密度函数  $q(x, y)$  来产生新的状态  $y$ , 并以概率  $\alpha$  接受新状态,  $\alpha$  的定义为

$$\alpha(x, y) = \min\left\{1, \frac{p(y)q(y, x)}{p(x)q(x, y)}\right\}\quad (10)$$

在采样过程中  $q(x, y)$  对于算法的收敛速度有至关重要的影响。为了能加快采样速率,在产生新的状态时,必须保证既能对当前状态产生全局扰动,使得当前状态发生明显变化,同时又能产生局部扰动,使得当前状态只产生微小的变化。采用两种扰动方式。

1) 整体扰动,具体步骤为:

(1) 随机选择一个关注区域,记为  $G_i$ ,并生成一个范围在  $[0.8, 1.2]$  之间的缩放因子  $scale$ ,对  $G_i$  进行缩放。

(2) 随机选择一个关注区域,记为  $G_j$ ,并生成两个范围在  $[-3, +3]$  之间的平移因子  $x$  和  $y$ ,对  $G_j$  进行平移。

(3) 均匀调整地图  $G$ ,保持道路网络始终在显示区域内部。

2) 局部扰动,具体步骤为:

(1) 在关注区域  $G_i = (V_i, E_i)$  中随机选择一个点  $v$ 。

(2) 随机生成一条穿过点  $v$  的直线  $l$ ,该直线把  $G_i$  分为 2 个部分。

(3) 生成两个范围在  $[0.8, 1.2]$  之间的缩放因子  $s_1$  和  $s_2$ ,并将这两个缩放因子应用于对应的两个部分。

(4) 均匀调整地图  $G$ ,保持道路网络始终在显示区域内部。

每次都随机地选取上述两种扰动方式的其中一种来产生新的解,然后按一定概率接受新解。在本文方法中  $q(y, x)$  与  $q(x, y)$  相等,因此对于产生的新解  $y$ ,本文接受概率将简化为  $\alpha(x, y) = \min\left\{1, \frac{p(y)}{p(x)}\right\}$ 。通过重复上述过程,最终将得到服从联合分布  $p$  的解,即满足各项约束规则的多目的地地图。

## 5 实验结果

在 Windows 7 系统下用 javascript 实现了算

法,硬件环境为 INTEL 酷睿双核处理器 T2400 (3.1 GHz) 4 GB 内存,本文所采用的地图数据来自 OpenStreetMap。相比在线地图,使用由本文方法生成的地图,用户可以在更短时间内获取所关注各目的地的道路信息,减少了用户在获取道路信息时的时间消耗。

图 5—图 8 分别为当用户选择 2~5 个目的地时使用本文方法所得到的结果。每组数据都给出了输入的原始地图数据,系统对道路网的自动选择与简化,以及最终的地图布局优化结果。

多目的地地图在满足约束规则的前提下,能充分的利用显示空间来显示目的地周边的道路网细节信息以及各目的地之间的空间拓扑关系。图 5—图 8 的 (b) 图显示了我们的方法根据用户选择的目的地自动选取的相关路线。比较图 5—图 8 的 (a) (b) 两组图,可知选取的路线图较少发生拓扑错误,同时,每幅图都包含了各个目的地之间的完整的路线信息;另外,由于去除了不必要的路线,用户可由简化后的地图更加方便快捷地获得正确的导航信息。

而比较图 5—图 8 的 (b) (c),可以发现,优化后的结果放大了每个目的地周围的细节信息,使得每条道路都清晰可见。例如图 8 (b) 中,由于有 5 个目的地,所以在未优化前,每个目的地附近的路线基本不可见,而优化后,可以很清晰地获得各个目的地附近的道路信息,满足地图布局的第一个要求,即能清晰地显示目的地周边的细节信息。

其次,对比图 5—图 8 的 (b) (c) 图,不难发现,优化之前,显示空间留有较大的空白区域,优化之后的地图充分利用了整个显示空间,满足地图布局第二个要求,即充分利用显示空间。

最后,通过比较图 5—图 8 的 (b) (c) 两组数据,还发现虽然优化后的地图中的部分路线相比未优化前产生了轻微的形变,但是,从整体上说,它仍然保持了原地图的拓扑特征,用户可以从地图中获取各目的地之间的拓扑关系,不影响用户的导航,满足地图布局第 3 个要求,即维持目的地之间的拓扑关系。

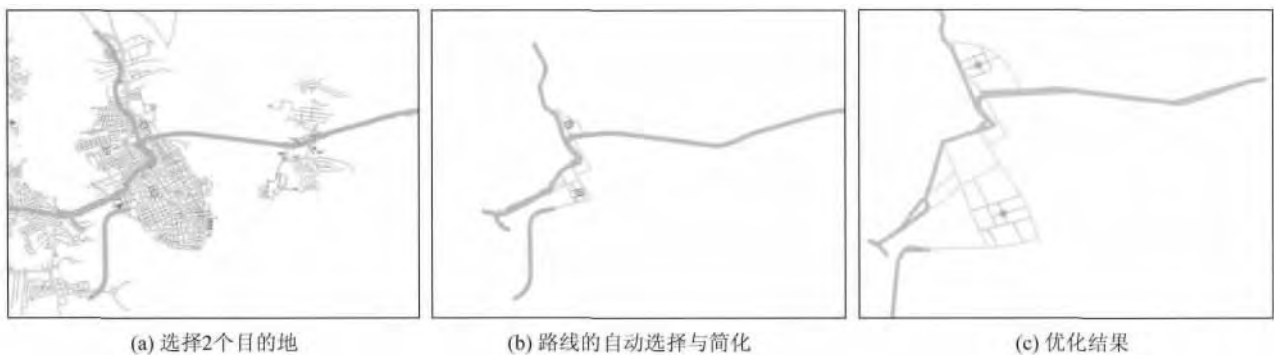


图 5 2 个目的地的多目的地地图 (Charleston)

Fig. 5 Charleston map with 2 destinations



图 6 3 个目的地的多目的地地图 (HongKong)

Fig. 6 HongKong map with 3 destinations

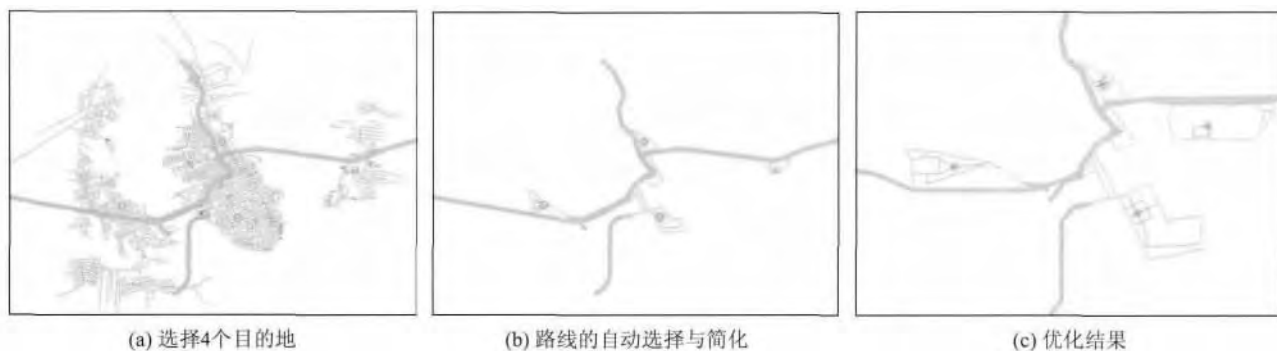


图 7 4 个目的地的多目的地地图( Charleston)

Fig. 7 Charleston map with 4 destinations

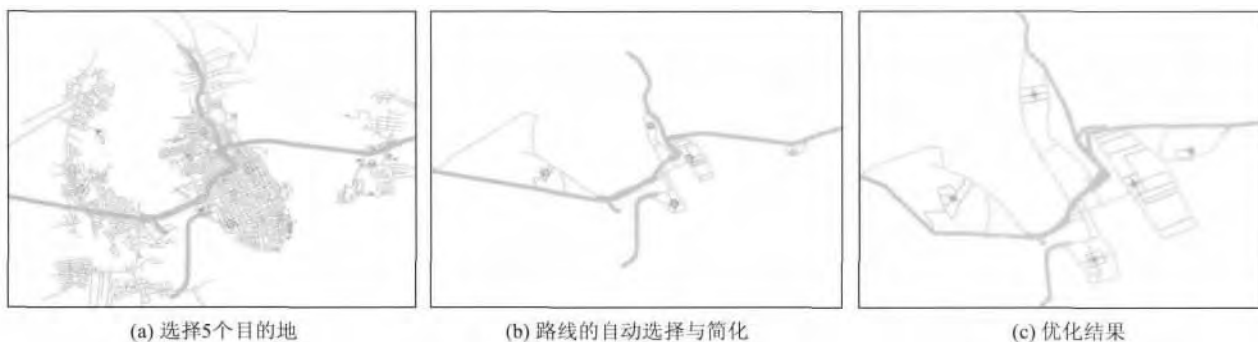


图 8 5 个目的地的多目的地地图( Charleston)

Fig. 8 Charleston map with 5 destinations

图 9 给出了使用本文方法与 Kopf<sup>[1]</sup>的方法得到的结果图。由图 9( c) 可以看出,使用 Kopf<sup>[1]</sup>的方法并不能很好地处理多个目的地之间的关系,因此无法得到合理的多目的地地图。如图 9( b) 所示,使用本文方法不仅考虑到每个目的地附近的道路细节信息,同时还考虑了各个目的地之间的空间关系,因此生成布局合理的多目的地地图。

由以上分析可知,使用本文方法生成的多目的地地图能充分利用显示空间来清晰地显示各个目的地附近的道路细节信息,同时也能维持各目的地之间的拓扑关系,为用户提供导航提供了方便。

当然,本文方法还存在一些不足,例如如果目的地较多,则算法效率低,时间复杂度高,今后工作将考虑从这方面进行改进。



图 9 3 个目的地的实验结果对比图( Charleston)

Fig. 9 Result of Charleston map with 3 destinations compared with Kopf's method



## 6 结 论

提出了一种多目的地地图生成方法。该方法借助因子图将各项地图布局约束规则编码成因子,由所有的因子相乘构建得到衡量整体布局的联合概率分布函数,并通过 MH 采样算法对其采样以得到满意的布局。从实验结果看,采用本文方法生成的多目的地地图既能清晰地显示各目的地周边的道路细节信息,又保留了各目的地之间的拓扑关系。因此,使用本文方法生成的多目的地地图,可以为用户出行提供地图定制服务,方便了用户的出行。

### 参考文献(References)

- [ 1 ] Kopf J , Agrawala M , Barger D , et al. Automatic generation of destination maps [ C ] // ACM Transactions on Graphics. New York , USA : ACM , 2010 , 29 ( 6 ) : #158. [ DOI : 10.1145/1882261.1866184 ]
- [ 2 ] Karnick P , Cline D , Jeschke S , et al. Route visualization using detail lenses [ J ] . IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics , 2010 , 16 ( 2 ) : 235-247. [ DOI : 10.1109/TVCG.2009.65 ]
- [ 3 ] Birsak M , Musialski P , Wonka P , et al. Automatic generation of tourist brochures [ C ] // Computer Graphics Forum. USA : WILEY-BLACKWELL , 2014 , 33 ( 2 ) : 449-458. [ DOI : 10.1111/cgf.12333 ]
- [ 4 ] Yeh Y T , Yang L , Watson M , et al. Synthesizing open worlds with constraints using locally annealed reversible jump MCMC [ J ] . ACM Transactions on Graphics , 2012 , 31 ( 4 ) : 56. [ DOI : 10.1145/2185520.2185552 ]
- [ 5 ] Carpendale M S T , Cowperthwaite D J , Fracchia F D. 3-dimensional pliable surfaces: for the effective presentation of visual information [ C ] // Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User Interface and Software Technology. New York , USA : ACM , 1995 : 217-226. [ DOI : 10.1145/215585.215978 ]
- [ 6 ] Keahey T A , Robertson E L. Techniques for non-linear magnification transformations [ C ] // IEEE Symposium on Information Visualization. San Francisco , USA : IEEE Computer Society , 1996 : 38-38. [ DOI : 10.1109/INFVIS.1996.559214 ]
- [ 7 ] Bottger J , Brandes U , Deussen O , et al. Map warping for the annotation of metro maps [ J ] . IEEE Computer Graphics and Applications , 2008 , 28 ( 5 ) : 56-65. [ DOI : 10.1109/MCG.2008.99 ]
- [ 8 ] Haurert J H , Sering L. Drawing road networks with focus regions [ J ] . IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics , 2011 , 17 ( 12 ) : 2555-2562. [ DOI : 10.1109/TVCG.2011.191 ]
- [ 9 ] Wang Y S , Chi M T. Focus + context metro maps [ J ] . IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics , 2011 , 17 ( 12 ) : 2528-2535. [ DOI : 10.1109/TVCG.2011.205 ]
- [ 10 ] Lin S , Ritchie D , Fisher M , et al. Probabilistic color-by-numbers: suggesting pattern colorizations using factor graphs [ J ] . ACM Transactions on Graphics , 2013 , 32 ( 4 ) : 37. [ DOI : 10.1145/2461912.2461988 ]
- [ 11 ] Stevens A , Coupe P. Distortions in judged spatial relations [ J ] . Cognitive Psychology , 1978 , 10 ( 4 ) : 422-437. [ DOI : 10.1016/0010-0285(78)90006-3 ]
- [ 12 ] Tversky B. Distortions in memory for maps [ J ] . Cognitive Psychology , 1981 , 13 ( 3 ) : 407-433. [ DOI : 10.1016/0010-0285(81)90016-5 ]
- [ 13 ] Chase W G. Spatial Representations of Taxi Drivers [ M ] . New York , USA : Springer , 1983. [ DOI : 10.1007/978-1-4613-3724-9\_43 ]
- [ 14 ] Car A , Frank A U. Hierarchical street networks as a conceptual model for efficient way finding [ C ] // Proceedings of the EGIS. Utrecht , Netherlands : EGIS Foundation , 1993 , 93 : 134-139. [ DOI : 10.1.1.52.6447 ]
- [ 15 ] Patel K , Chen M Y , Smith I , et al. Personalizing routes [ C ] // Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User Interface software and Technology. New York , USA : ACM , 2006 : 187-190. [ DOI : 10.1145/1166253.1166282 ]
- [ 16 ] Tversky B , Lee P U. Pictorial and verbal tools for conveying routes [ M ] // Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science. Berlin Heidelberg : Springer , 1999 : 51-64. [ DOI : 10.1007/3-540-48384-5\_4 ]
- [ 17 ] Barkowsky T , Latecki L J , Richter K F. Schematizing maps: simplification of geographic shape by discrete curve evolution [ M ] // Spatial Cognition II. Berlin Heidelberg : Springer , 2000 : 41-53. [ DOI : 10.1007/3-540-45460-8\_4 ]
- [ 18 ] Agrawala M , Stolte C. Rendering effective route maps: improving usability through generalization [ C ] // Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York , USA : ACM , 2001 : 241-249. [ DOI : 10.1145/383259.383286 ]
- [ 19 ] Fan J P. Generating multi-destination maps based-on map simplification and layout optimization [ D ] . Xiamen : Xiamen University 2014. [ 范接鹏. 多目的地地图的简化及布局优化方法研究 [ D ] . 厦门 : 厦门大学 , 2014 ]