

基于约束满足网络的建筑物阴影结构提取*

梅雪良 张祖勋 张剑清

(武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉市珞喻路 39号, 430070)

摘要 在分析了现有建筑物阴影识别提取方法不足的基础上, 介绍了利用约束满足网络提取黑白城区航空影像中建筑物阴影结构的原理及方法。实验表明, 文中所述的方法是稳健的。

关键词 黑白城区航空影像; 约束满足网络; 建筑物阴影结构

分类号 TP751.1

阴影是建筑物的一种重要识别特征, 可用于定位^[1,2]、估计高度^[2,3]及预测顶面结构^[3]等。对于建筑物阴影的识别提取, 目前多数的方法是: 首先利用直方图峰值检测法^[4]或结构线一侧灰度统计^[1,3]等方法估计阴影灰度及协方差, 然后采用某一阈值提取建筑物阴影。采用单一阈值的缺点是常在低反差的阴影边界出现凸出与凹进错误, 造成阴影结构的严重变形。鉴于此, 本文提出首先采用多个阈值将建筑物阴影的各种可能边界、可能结构加以提取, 并利用建筑物阴影的结构约束从中组合出建筑物阴影结构。考虑到建筑物阴影结构的分层性以及组合搜索中存在的优化评价问题, 本文采用了约束满足网络实现各种建筑物阴影可选结构的优化选择。

1 基于 CSN 的建筑物阴影结构提取原理

CSN即约束满足网络, 是并行最优化理论中的一种优化计算模型。在实际应用中, 一般须首先将问题转化为结点集、结点代价、结点间关系连接代价, 优化收敛方程定义的约束满足网络, 其求解由模拟退火^[5]、Hopfield神经网络^[6]、Boltzman机^[7]、概率松弛^[8]等途径实现。如将建筑物的各种可能阴影结构定义为结点, 将阴影结构所存在的约束定义成网络结点连接代价, 则建筑物阴影结构提取问题便转化为一约束满足网络求解问题。

1.1 建筑物阴影结构的几何约束

建筑物阴影包括本影与倒影二种, 见图1。所谓本影, 是指建筑物表面没有光照的部分, 如背阳墙面; 所谓倒影, 是指建筑物在地表上投射的影子。本影与倒影经航空摄影成像, 即成建筑物阴影结构, 其大小形状取决于中心投影、大阳光投影方向、所投射地形的地形起伏、建筑物的顶面边线形状及墙面构成、视线遮挡等诸因素。如假定建筑物

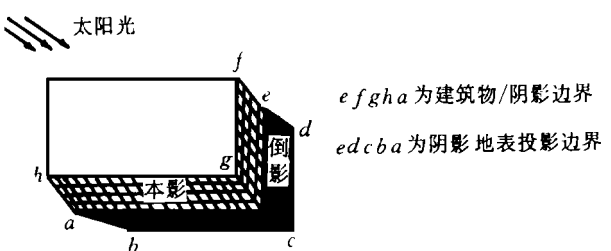


图1 阴影

收稿日期: 1996-03-29. 梅雪良, 男, 28岁, 博士生, 现从事计算机视觉研究。

* 国家自然科学基金资助项目, 编号 49571052

仅为人字顶、平顶直面体建筑物,且地表平坦,则建筑物阴影结构具有如下的约束。

1.1.1 太阳光光照方向对阴影边界的约束

一个完整的建筑物阴影影像结构由两部分边界组成,即建筑物阴影公共边界及阴影地表投影边界,见图 2

从图 2可看出, b 实为不可能出现的建筑物阴影公共边界。如以建筑物顶为边界前进方向的左侧,定义前进方向角为 θ ,太阳光方向为 U ,则对于前者 $\theta_F = \{U - 180, U\}$,对于后者 $\theta_B = \theta_R$ 。边界的方向由边界两侧的灰度大小决定,本文假定阴影灰度总是小于建筑物顶面及地表背景灰度。



图 2 太阳光对阴影边界的约束

1.1.2 平行投影对阴影边界的约束

由平行投影知识,建筑物阴影公共顶面边与其地面投影两两成对出现,在地表平坦及阴影所投射区无其它目标出现的情况下,阴影不能间隔出现。在航空影像上,也即要求阴影是一闭合的区域,内部没有空洞,同时该闭合区域中被解释为建筑物阴影的公共边界不能有多个地面投影边界段相对应。反之也如此,但允许缺失的存在。

1.1.3 建筑物知识对阴影边界的约束

对于位于平坦地表的人字顶、平顶直面体建筑物,其阴影边界应满足如下约束:

——所有边线均只能由水平线、垂直线、固定倾角斜线(人字顶)及其投影构成。由平行投影知识,如无视线遮挡,且建筑物高度 $K \ll H$ (航高),水平线与其投影应长度相等且相互平行,垂直线在像片上应过像底点,且其投影为太阳光在像片上的投射方向线,其投影长应为 $L \text{ctg} \theta$,其中 θ 为太阳光倾角, L 为垂直线长;而固定倾角斜线则应满足水平与垂直线分量之和的约束。

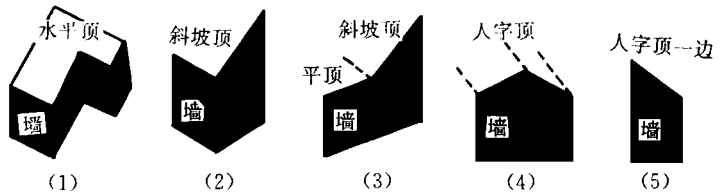


图 3 5种交角类型

——建筑物顶面边线交角只能为下列 5种图形:设 a 与 b 为连在一起的两空间顶面边线,则 a 与 b 位于同一水平面而且相互垂直; a 位于水平面内,而 b 位于垂直于 a 的垂直面中且 b 与水平面间具某一固定倾角 θ ; a 与 b 位于同一垂直面内,且 a 与水平面间具某一固定倾角 θ ; a 垂直于地面,而 b 为水平线; a 垂直于地面,而 b 为一固定倾角斜线,参见图 3

——建筑物总是具有高度限制的,故其投影长度应有一定限制,其最大、最小投影长度可由 $\frac{f}{H} h_{\max}$ 、 $\frac{f}{H} h_{\min}$ 决定

1.2 约束满足网络构成

鉴于结构提取算法的不够完善及噪声影响,上述约束关系在检测时往往存有误差,故宜采用优化评价的方法。据约束满足网络原理,得建筑物阴影结构识别提取的下述计算模型:

$H = \{h_i\}$, H 为各种可能的边线、角点、阴影结构所构成的集合,实为水平线、垂直线、固定倾角斜线及投影、5种角点及投影以及由上述线、角结构组成的阴影结构类型,如“□”、“∠”型

等。

可信度函数 $V(h_i) = V_i$ ($0 \leq V_i \leq 1$) 表示边线、角点、建筑物阴影结构等出现的可能性。对于结点 V_i 的计算, 首先构造每种结点的经验概率, 使对结点的观测转化为由 0~1 之间的值表达的可信度。实际计算时, 需对观测空间离散化, 如某一边线的最大可能反差为 5, 则可构造 (0-0), (0.2-1), (0.4-2), ..., (1-5), 从而得到某一边线的可信度 V_i 。若某个结点有多个观测, 则应以诸观测的 V_i 之乘积为其可信度。

支持函数 $S(h_i, h_j) = T_{ij} V_i V_j$, $T_{ij} \geq 0$, T_{ij} 取两假设间的依赖关系, 其构造方法同 V_i , 指不同类型不同层次结点间的连接支持关系。 h_i 高于 h_j 或 h_j 高于 h_i , 即表示低层次结点是高层次结点的一部分, 这一关系应以正的 T_{ij} 加以连接。

非相容函数 $C(h_i, h_j) = T_{ij} V_i V_j$, $T_{ij} < 0$, 它表示了处于同一层的结点之间的关系。具体而言, 是指边线-边线之间、角点-角点之间、可选的阴影结构轮廓间存在的非此即彼的矛盾关系, 其构造方法同 $V(h_i)$ 。

结点输入函数 $I(h_i) = I_i$, 表示某一假设由哪些判据构成, 以及支持或不支持该 h_i 假设。如利用两线平行与否输入, 则可增加某一顶面边界段为水平线假设的可信度。某一结点的输入来自各个不同层的结点输出, 既有全局的也有局域的。如某一边线的阴影结构轮廓输入即为全局的输入, 而其自身的反差强度等的输入则为局域的。

结点输出函数 $E(h_i) = I_i V_i$ 指示该结点对其它假设结点的支持与非支持程度, 如直角假设结点即对其所连的两条边线具有水平线输出。

1.3 Hopfield神经网络求解

由上述模型可以看到, 建筑物阴影结构的识别提取实为一从上述模型中推导出的一组最符合建筑物阴影结构解释的过程。从网络求解角度来讲, 也即寻找 $\sum S + \sum C + \sum E$ 或 $\sum \sum T_{ij} V_i V_j + \sum I_i V_i$ (据 Nevatia)^[9] 取最大值并满足结点有关约束的结点的过程。解决这一问题有多种途径, 本文则采用了 Hopfield神经网络来求解。据 Hopfield Tank^[6], 将每个结点的运行收敛方程定义为:

$$du_i / dt = -u_i + \sum_{j=1}^N T_{ij} V_j + I_i - h_i$$

式中, $V_j = g(u_j)$, h_i 为结点元的潜态, N 为结点总数, T_{ij} 为从结点 j 到结点 i 的连接权重, I_i 为结点 i 的总输入, V_i 为结点 i 的输出, u_i 为结点 i 的存储态, g 为非线性“S”型取值函数, 被定义为 $(H \tanh(H)) / 2$ 。

据 Hopfield^[6], 在网络运行过程中, 每个结点均有输出。这一方面可看作为其它结点的输入, 另一方面也可看作该结点的当前存储态, 即指示结点是什么的可信度。Hopfield网络经数次运行之后便趋于某一稳定态, 借助于二值化结点状态值, 即可区分出结点的实际物理意义, 也即识别出所对应的客观要素, 如水平线、斜线、垂直线、建筑物阴影结构及非建筑物阴影结构等。

2 实验分析

图 4 是某一城区航空影像的原始图。图 5 为建筑物阴影的可能结构, 它通过多个阈值边界检测矢量化得到。图 6 为建筑物阴影结构 CSN 识别的结果, 图 5 中的边角经过了形状约束平差。从图 6 的识别结果来看, CSN 能有效地解决多层次建筑物阴影结构的识别提取问题。从实

际运行看,对于图 5中建筑物的阴影结构,一般仅需 10多次迭代便能达到实际需要。由此可见,本文所介绍的方法不仅对建筑物阴影的识别提取具有重要意义,同时对结点分层次描述的约束满足问题求解具有普遍意义。

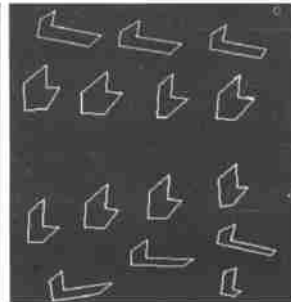
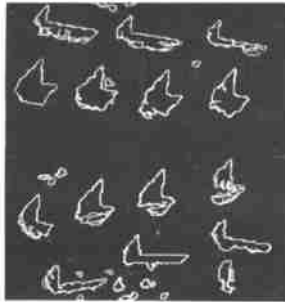


图 4 原始影像图

图 5 建筑物可能阴影

图 6 CSN 识别结果

参 考 文 献

- 1 Nevatia H. Detecting Building in Aerial Images. CV GIP, 1988(41): 131~ 152
- 2 邵巨良.小波理论与航空影像中建筑物的自动识别: [学位论文].武汉: 武汉测绘科技大学, 1993
- 3 Irvin R B, McKeown D M. Methods for Exploiting the Relationship Between Buildings and Their Shadows in Aerial-imagery. IEEE SM C., 1989, 19(6): 1 564~ 1 575
- 4 Nagao M. etal, Region Extraction and shape analysis in Aerial Photographs. CGIP, 1979, 10(3): 195~ 223
- 5 Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by Simulated Annealing. Science, 1983(220): 671~ 680
- 6 Hopfield I J, Tank D W. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems, Biol. Cybern, 1985 (52): 141~ 152
- 7 Fahlman S E, Hinton G E. Connectionist Architectures for Artificial Intelligence Computer, 1987 100~ 109
- 8 Geman S. Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images. IEEE PAMI, 1984(6): 721~ 741
- 9 Nevatia R, Mohan R. Using Perceptual Organization to Extraction 3D Structures. IEEE PAMI, 1989, 11 (11): 1 121~ 1 139

CNS-Based Extraction of Buildings' Shadow Structures

Mei Xueliang Zhang Zuxun Zhang Jianqing

(School of Information Engineering, WTUSM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract This paper introduces the theorem and method of CSN (constraint satisfaction network) based extraction of buildings' shadow structures in black-white urban aerial images. The experiments find the CSN-based method robust.

Key words black-white urban aerial images; CSN; shadow structures