

# 基于直角矢量限定方法的模板自动配板技术\*

何林<sup>1</sup>, 文桥<sup>1†</sup>, 袁健<sup>1</sup>, 张厚<sup>1,2</sup>, 王玉辉<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 土木工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 黑龙江省建设集团 科学技术发展中心, 哈尔滨 150046)

**摘要:** 根据剪力墙施工图构成特点,提出了基于直角矢量限定技术的剪力墙结构模板自动布板算法。将结构图首先解构为基本的直角特征;然后利用矢量限定方法,将直角重新进行分类和排序,再结合墙角的空位置,标志出图形中矢量直角对应的建筑墙角;最后完成剪力墙结构模板配板所需的全部组件。实际工程应用表明,该方法能够准确识别复杂施工图中的建筑构造,大幅度提高现浇体系施工的配板效率,为智能施工提供了良好的图形识别关键技术。

**关键词:** 模板自动配板; 直角矢量与限定; 建筑图形自动识别

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2013)03-0803-03

**doi:**10.3969/j.issn.1001-3695.2013.03.041

## Method of rectangular angle vectorization and restriction used in auto-forming board and application

HE Lin<sup>1</sup>, WEN Qiao<sup>1†</sup>, YUAN Jian<sup>1</sup>, ZHANG Hou<sup>1,2</sup>, WANG Yu-hui<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Science & Technology Development Center, Heilongjiang Construction Group Co., Ltd, Harbin 150046, China)

**Abstract:** This paper presented a rectangular vector and restriction method used to auto-forming board, which based on the feature analysis of a great many charts involved to shear wall structural excogitation. Firstly, it deconstructed the constructional design drawings into elementary figure units which contained the lines and rectangular angles. Then it vectorized split functional cells as well as restricted straight lines to reorder and reclassify these essential structural parts. Finally, it obtained the components made for the forming board from the identified cells combined with the shear well angle's locations. It also applied the auto-forming board technology in cast-in-place concrete practices and the results demonstrated that the presented method and technology could accurately identify complex constructional drawing constitution of building, and raised substantially the efficiency of auto-forming board engineering for building construction. The method also provides the key technique support for smart construction technology in the future.

**Key words:** auto-forming board; rectangular angle vectorization and restriction; building drawing auto-identification

模板工程是现浇结构最重要的施工分项工程,也是决定结构质量和安全的关键成套施工技术。自动配板技术提高模板设计效率,推进施工智能化,降低模板施工事故。图纸识别与理解是自动配板的关键。该技术是以图形学和人工智能为基础,以图像识别理解和图像处理为手段的一门信息应用交叉技术。近年来,随着智能施工技术的发展,计算机读图技术的研究日益得到重视<sup>[1]</sup>,在基础图件的识别方,Ahsoon 等人<sup>[2,3]</sup>分析了建筑图的特点并提出了基于网络的建筑符号识别方法;Lu 等人<sup>[4]</sup>提出了建筑结构图识别模型;任爱珠等人<sup>[5]</sup>提出了区域关系的图书识别方法;田景成等人<sup>[6-9]</sup>研究了钢结构设计图的识别;罗志伟等人<sup>[10-12]</sup>也分别对建筑平面图中柱、板和墙的识别进行了研究;Lai 等人<sup>[13]</sup>研究了工程图尺寸线的识别方法;席晓鹏等人<sup>[14]</sup>、芮明等人<sup>[15]</sup>也分别对建筑图的轴网和表格的识别进行了研究;范帆等人<sup>[16]</sup>研究了建筑图中标注信息的提取;胡筋等人<sup>[17-20]</sup>分别研究了基于二维图形识别和理解

的建筑结构三维重建技术。

上述研究都是对结构图中某个基本单元进行识别的工作,但对结构图整体自动识别并配板的研究,目前仍未见公开报道其相关算法。模板全自动配板技术的核心是结构施工图的理解和准确识别,因而模板自动配板的关键是获取简单高效的图形特征识别算法,通过对施工图特征的识别、分类和提取,按照模板计算结果,结合规范,最终实现模板全自动配板。

### 1 结构施工图特征单元解构与定义

#### 1.1 剪力墙结构图解构

通过对大量剪力墙结构进行分析,发现每个结构图形都可以解构成如图1所示的四个部分。

#### 1.2 解构单元直角类分解

根据图1剪力墙结构图形形态的基本特征单元,结构图形

**收稿日期:** 2012-07-04; **修回日期:** 2012-08-21      **基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2001AA616110);国家自然科学基金资助项目(51078110,50508012);黑龙江省建设集团科学技术发展中心重点研究项目(MH20100413)

**作者简介:** 何林(1971-),男,重庆人,副教授,博士,主要研究方向为智能施工与施工过程的信息化理论与技术、大型复杂结构并行与实时计算;文桥(1987-),男(通信作者),湖北荆门人,硕士,主要研究方向为小径木模板支撑体系智能设计、土木工程图纸识别和理解(waterharbin@163.com);袁健(1984-),男,山东沂南人,博士研究生,主要研究方向为钢木组合结构及轻钢结构;张厚(1955-),男,黑龙江哈尔滨人,教授,硕士,主要研究方向为过程施工整体控制技术;王玉辉(1976-),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师,学士,主要研究方向为现代施工技术与过程控制。

特征可分类为

结构施工图图形特征分类 = {墙角, 丁字墙, 十字墙} (1)

这些基本单元均由直角构成, 直角从空间位置上可分为直角特征分类 = {左上直角, 右上直角, 左下直角, 右下直角} (2) 直角分类如图 2 所示。



图1 剪力墙结构图形的基本特征



图2 直角分类

因此, 结构图形中的任何墙角都由式(2)中的直角类组成。

### 2 直角矢量限定与排序

直角矢量由两个矢量线段和一个标量点组成。因此, 随着任意一个矢量边的旋转, 可以确定任何正交的图形; 通过移动标量点, 可以将任何图形中的直角进行定位, 这是直角矢量技术识别墙角的基本原理。

#### 2.1 矢量线段限定

在直角矢量算法中, 每条直线必须包含唯一的起点和终点。考虑到结构施工图中任意直线终点和起点的相对位置并不具有确定的关系, 为此需要给直线附加方向属性, 这样一条直线便拥有唯一对应的两个端点, 这种赋予向量属性的直角定位方法是自动配板的基础; 另一方面, 为了提高识别的实时性, 本文的直角矢量方法以直线段为基本识别对象, 用矢量限定方法进行约束, 定义为

水平直线 = {所有水平直线段的起点必须在左边, 终点在右边} (3)

竖直直线 = {所有竖直直线段的起点必须在下边, 终点在上边} (4)

对于图中不符合式(3)(4)的直线段, 经过重新限定后, 其新起点是原先直线段的终点, 新终点为原先直线段的起点。这样, 矢量限定后的直线段直角的定义为

左下方直角 = {水平直线起点与竖直直线起点重合} (5)

左上方直角 = {水平直线起点与竖直直线终点重合} (6)

右下方直角 = {水平直线终点与竖直直线起点重合} (7)

右上方直角 = {水平直线终点与竖直直线终点重合} (8)

#### 2.2 直角矢量排序

直角矢量排序是模板自动配板快速计算的关键。本项目中以顶点标量代表矢量直角后, 矢量直角排序简化为点排序。矢量直角排序算法为

左上方矢量直角排序 = {按其顶点的 Y 坐标值从大到小排列, 当 Y 坐标值相等时, 再按 X 坐标值从小到大排列; 以 Y 坐标值为主, X 坐标值为辅} (9)

右上方矢量直角排序 = {按其顶点的 Y 坐标值从大到小排列, 当 Y 坐标值相等时, 再按 X 坐标值从大到小排列; 以 Y 坐标值为主, X 坐标值为辅} (10)

左下方矢量直角排序 = {按其顶点的 X 坐标值从小到大排列, 当 X 坐标值相等时, 再按 Y 坐标值从小到大排列; 以 X 坐标值为主, Y 坐标值为辅} (11)

右下方矢量直角排序 = {按其顶点的 X 坐标值从大到小排列, 当 X 坐标值相等时, 再按 Y 坐标值从小到大排列; 以 X 坐标值为主, Y 坐标值为辅} (12)

以上矢量直角排序方式中, X 和 Y 坐标值搜索顺序可以互相交换。左下直角的排序方向可用图 3 表示。其中, P 表示直

角顶点, X 坐标表示点的横坐标值, Y 坐标表示点的纵坐标值。图中 P 的第一个下标 i 代表 X 坐标, 第二个下标  $N_i$  代表 Y 坐标。例如  $P_{11}$  表示直角顶点  $P(X_1, Y_1)$ ,  $P_{2N_2}$  表示直角顶点  $P(x_2, Y_{N_2})$ ,  $i, N_1, N_2, N_3, \dots, N_i$  为任意正整数。图 3 中第 i 列表示 X 坐标均为  $X_i$  的所有顶点, 而这些点的总数在不同的图纸中有不同的值, 采用  $N_i$  表示这个值, 称这些顶点组成一个顶点列。在该列中, 再按照顶点的 Y 坐标值从小到大排序; 在每一顶点列之间, 按 X 坐标值排序, 即有  $X_1 < X_2 < \dots < X_i$ 。直角顶点 P 的第二个下标  $N_i$  表示一个整数, 因为在不同的结构图中, 顶点列的总数, 即 i 的值, 并不具有相同的值, 而每一顶点列中包含的顶点数, 即  $N_i$  的值, 也具有不同的值。

通过上述排序后, 以点表示的矢量直角, 即可达到如下目的:

a) 将结构施工图中最外围直角置于矢量直角集合的起点;

b) 对任意类型墙角, 矢量角点  $P_N$  在目标矢量角点  $P_{N+i}$  的外围, 即循环矢量直角点  $P_N$  在集合中的位置比目标矢量直角点  $P_{N+i}$  靠前, 其中 N 和 i 为任意整数。目标矢量直角指式(2)集合中任何一个需要识别的特征直角元素。

### 3 结构图配板组件定位与识别

利用前面提出的矢量直角排序方法, 可以快速完成图形中墙角、丁字墙和十字墙的识别, 下面分别予以叙述。

#### 3.1 墙角识别

墙角可以直接从矢量直角集合中抽取两个矢量直角, 通过这两个矢量直角组成一个墙角, 其组成算法为

墙角 = {  $V_j$  矢量直角元素 } $_{i=n}$   $\cap$  {  $V_j$  矢量直角元素 } $_{i=N}$   $\cap$  {两个矢量直角的顶点在 X 和 Y 方向上均相差一个墙厚}

式中: i 表示矢量直角集合中的元素; n 和 N 表示两个任意的正整数, 即为这两个矢量直角在集合中的序号;  $V_j$  表示矢量直角类型, 分别为左上角、左下角、右上角和右下角;  $\cap$  表示结合。

#### 3.2 丁字墙识别

丁字墙识别以其对应的矢量直角类型空间位置关系为依据, 结合矢量直角排序方法, 其识别条件如下:

左丁字墙 = {一个左下方矢量直角}  $\cap$  {一个左上方矢量直角}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点在同一条竖直线上}  $\cap$  {左下方矢量直角的顶点在上}  $\cap$  {左上方矢量直角的顶点在下}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点相差一个墙厚};

右丁字墙 = {一个右下方矢量直角}  $\cap$  {一个右上方矢量直角}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点在同一条竖直线上}  $\cap$  {右下方矢量直角的顶点在上}  $\cap$  {右上方矢量直角的顶点在下}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点相差一个墙厚};

上丁字墙 = {一个右上方矢量直角}  $\cap$  {一个左上方矢量直角}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点在同一条水平线上}  $\cap$  {右上方矢量直角的顶点在左}  $\cap$  {左上方矢量直角的顶点在右}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点相差一个墙厚};

下丁字墙 = {一个右下方矢量直角}  $\cap$  {一个左下方矢量直角}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点在同一条水平线上}  $\cap$  {右下方矢量直角的顶点在左}  $\cap$  {左下方矢量直角的顶点在右}  $\cap$  {两个矢量直角的顶点相差一个墙厚}。

#### 3.3 十字墙识别

十字墙包含丁字墙的特征, 用于判断丁字墙的条件对十字墙的判断均成立。但在四种丁字墙中, 没有任意一个丁字墙是同时包含左下方矢量直角和右上方矢量直角的, 当然也没有任

意一个丁字墙是同时包含左上方矢量直角和右下方矢量直角的,从两组成对的矢量直角中任选出一对作为十字墙的判断条件,均可以将十字墙和丁字墙区分开。不失一般性,选用左下方矢量直角和右上方矢量直角作为判断条件,可以得到十字墙识别判断条件为

十字墙 = {一个左下方矢量直角} ∩ {一个右上方矢量直角} ∩ {两个矢量直角呈对角线分布} ∩ {左下方矢量直角在右上方} ∩ {右上方矢量直角在左下方} ∩ {两个矢量直角的顶点在 X 和 Y 方向上均相差一个墙厚}

### 4 模板自动配板边界点确定

边界点是确定大模板尺寸的依据。当角模边界位置确定后,则可计算所需大模板的尺寸,获取大模板所需角模边界点,是完成模板自动配板的最后一步。大模板边界点是大模板与角模和挡板在剪力墙上的接触点。本文利用角模顶点确定大模板边界点,因大模板分为水平和竖直两类,所以大模板边界点也分为水平关键点和竖直关键点,如图4所示。

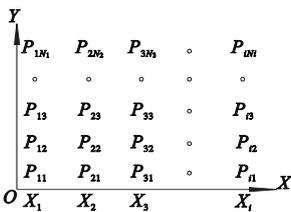


图3 左下直角排序算法原理

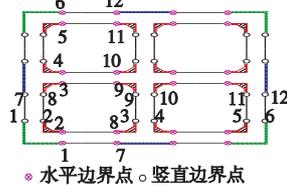


图4 大模板边界点定义

边界点确定后,为将大模板、角模和挡板从识别的集合中取出并快速组成剪力墙所需的尺寸,需对边界点进行排序,其排序准则为

水平边界点 = {按 X 坐标值从小到大排序,当 X 相等时再按 Y 坐标值从小到大排序}

竖直边界点 = {按 Y 坐标值从小到大排序,当 Y 相等时再按 X 坐标值从小到大排序}

综上,根据上面结构施工图自动配板的识别算法,大模板全自动配板算法流程包括结构图形特征解构、直角与直线的矢量化、限定和排序、墙角识别以及边界点的计算四个主要工作过程,其中矢量直角与排序是最为核心的部分。结构图形识别的数据流逻辑控制如图5所示。

### 5 工程配板

下面以哈尔滨市某重点回迁工程现浇体系模板自动配板为例,对该算法进行检验。

该工程建筑总高 37.5 m,采用桩基础,地面共 11 层,层高 3 m。标准层共 10 层,层高 3 m,首层为非标准层,层高 3 m。结构主体采用框架剪力墙,内部设有电梯井 2 部。配模前用配板软件先从结构施工图中提取出剪力墙段的基本图形信息,如图6所示,拾取图6中所有的图元信息,然后点击自动配板功能,主体程序将迅速生成模板配板施工图,结果如图7所示。

从图7中可以看出,模板配板图能够清晰表达出角模和大模板的位置,不同颜色表达了不同大模板的组拼方式,其中数字表示了大模板组拼小模板的数量。

### 6 结束语

通过对结构施工图特征的大量分析和解构,提出了直角矢量的结构图识别方法,并用该方法完成了在结构施工图上模板

自动配板算法理论的构件和软件的开发,结合工程实际应用,本文获得了如下研究结果:a)直角矢量化是结构图解构后施工基本特征单元属性分类的有效方法,该方法能够迅速定位结构的墙角特征,且具有较高的计算效率,实际工程应用表明,直角矢量方法对结构施工图具有稳定的识别率;b)直角矢量化方法提供的规则简单,易于理解,其构成的直线段矢量限定后,能够大量提高识别搜索效率,是模板快速配板的根本保证;c)结构配板的智能信息处理,如非模板信息的甄别和配板容错的智能处理,是直角矢量技术今后研究的重要内容;另外,任意角度的矢量化是角矢量技术在智能模板配板中急需研究的核心技术。

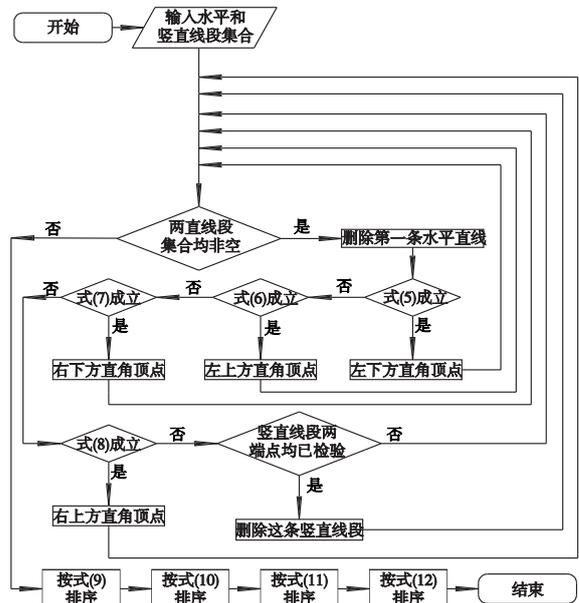


图5 大模板自动配板矢量直角排序算法流程

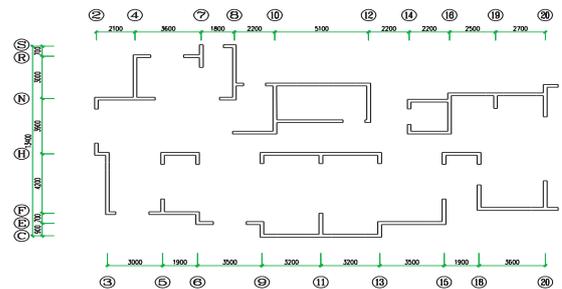


图6 前处理后的结构剪力墙分布

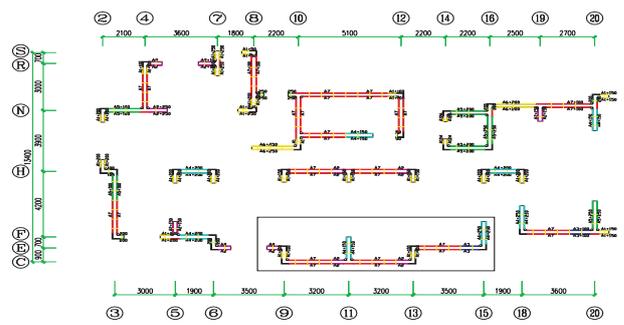


图7 模板自动配板施工图及局部放大图

致谢:本文研究团队感谢黑龙江省建设集团博士后研究中心高级工程师王玉辉在现场配板中给予的极大(下转第828页)

络,完成供应网络发展的蜕变和升级;另外当双方信任程度非常低,博弈处于初始阶段,双方都不确定对方采取怎样的策略时,也有可能都选择观望状态。

c)通过上述仿真还可得出,对于两个群体的演化博弈,当 $p^* = 0.5$ 且 $q^* = 0.5$ 时,其策略变化的速度最快,说明此点对扰动和变化最敏感,此点后的行为变化则决定了演化稳定策略是趋向于(积极投入,积极投入);还是(消极等待,消极等待),而成为两种模式的分界线。它验证了在现实中某种合作在遇到突发事件时,如果处理方式得当,则双方成为战略合作伙伴进而长期持续合作并形成高度信任的可能性增加,进而提高合作的稳定性;而处理不当的话则逐渐分道扬镳,关系解体。而最容易发生改变的状态为双方势均力敌的情况,这与通过相位图的面积比较判断演化趋势具有一致性。

### 3 结束语

对供应网络中两类地位不同的大规模有限理性企业间的演化行为进行了研究;并主要针对企业收益变化对行为策略选择的影响和关系进行了仿真,得出了行为策略演化的敏感区域以及演化的稳定均衡策略。说明从长远发展看,铲雪博弈及囚徒困境式的博弈模式最终都有可能导致供应网络企业间的合作关系解体,而解体在某种情况下可能是双方朝着更有利的方向发展的必经之路。因此对供应网络的关系治理要依据具体情况,在能够促进合作的基础上设计惩罚或者鼓励措施推进双方积极投入,向战略合作的稳定状态演化;而在市场、环境、双方信任等各方面条件不具备的情况下,要设计相关引导政策和机制促进解体,从而为新一轮的合作关系形成创造条件。

供应网络中的企业除了地位不同,其行为偏好也不同,行

为策略也表现出多样性,如何将企业的行为偏好要素带入模型并进行仿真,是逼近供应网络中企业真实行为的重要组成部分。下一步将在后续研究中继续深入探讨行为偏好对策略选择及演化稳定策略的影响。

### 参考文献:

- [1] TAYLOR P D, JONKER L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics [J]. *Mathematical Biosciences*, 1978, 40 (1/2): 145-156.
- [2] 王玉燕, 李帮义, 申亮. 两个生产商的逆向供应链演化博弈分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 28(4): 43-49.
- [3] 高晶, 关涛, 王雅林. 价值网络中企业协同竞争机制的演化博弈分析[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2007, 28(10): 1177-1180.
- [4] 石岩然, 肖条军. 基于演化博弈理论的企业组织模式选择[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2007, 37(3): 538-540.
- [5] 孙庆文, 陆柳, 严广乐, 等. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2003, 23(7): 12-17.
- [6] 吴昊, 杨梅英, 陈良猷. 合作竞争博弈中的复杂性与演化均衡的稳定性分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2004, 24(2): 90-93.
- [7] 刘德海, 王维国, 孙康. 基于演化博弈的重大突发公共卫生事件情景预测模型与防控措施[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(5): 938-942.
- [8] 王先甲, 全吉, 刘伟兵. 有限理性下的演化博弈与合作机制研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(10): 83-90.
- [9] KANDORI M, MAILATH G J, ROB R. Learning, mutation, and long run equilibria in games[J]. *Econometrica*, 1993, 61(1): 29-56.
- [10] 徐岩, 胡斌, 钱任. 基于随机演化博弈的战略联盟稳定性分析和仿真[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(5): 921-925.
- [11] 陈学梅, 孟卫东, 胡大江. 国际合资企业中机会主义行为的演化博弈[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(2): 54-58.
- [12] 标注[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2001, 13(4): 294-298.
- [9] 刘颖滨, 田景成, 唐卫清, 等. 钢结构节点详图的自动标注算法[J]. *中国图象图形学报: A版*, 2001, 6(6): 582-585.
- [10] 罗志伟, 颜巍, 蔡士杰. 截面表示法柱平面图的自动识别方法[J]. *计算机应用研究*, 2004, 21(8): 132-135.
- [11] 颜巍, 罗志伟, 蔡士杰. 建筑楼板结构平面图的自动识别方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2003, 13(12): 1101-1105.
- [12] 贾哲明, 付永刚, 戴国忠. 建筑平面图理解中对墙体符号的识别方法[J]. *计算机工程与应用*, 2004, 40(10): 201-204.
- [13] LAI C P, KASTURI R. Detection of dimension sets in engineering drawings[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(8): 848-855.
- [14] 席晓鹏, 路通, 糜宁芳. 建筑图自动识别中的坐标系处理方法研究[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 2002, 38(Z1): 268-272.
- [15] 芮明, 路通, 苏丰, 等. 基于视觉的表格自动识别方法[J]. *计算机应用研究*, 2005, 22(4): 256-257, 260.
- [16] 范帆, 关信红. 工程图纸字符串及标注信息提取[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(7): 161-164.
- [17] 胡笏, 杨若瑜, 曹阳, 等. 基于图形理解的建筑结构三维重建技术[J]. *软件学报*, 2002, 13(9): 1873-1880.
- [18] 路通, 杨若瑜, 杨华飞, 等. 三维结构构件渐进式整合与重组方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2007, 19(4): 491-495.
- [19] 杨若瑜, 蔡士杰. 三维数字建筑的自动生成和应用技术研究[J]. *智能系统学报*, 2008, 3(1): 1-8.
- [20] 杨晔, 姜晓彤, 况迎辉. 基于图形理解的室内建筑三维重建算法[J]. *信息与电子工程*, 2011, 9(11): 105-108.

(上接第805页)帮助;本文作者对哈尔滨工业大学建设部重点实验室主任田玉滨副教授在配板组件实验中给予的热情指导深表感谢;另外,对本文提供帮助的所有老师和学生在此一并致谢。

### 参考文献:

- [1] 董玉德, 赵韩, 王平, 等. 工程图纸识别与理解的研究现状分析[J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 2005, 28(1): 29-33.
- [2] AHSOON C, TOMBRE K. Variations on the analysis of architectural drawings[C]//Proc of the 4th International Conference on Document Analysis and Recognition. Los Angeles: IEEE Computer Society, 1997: 347-351.
- [3] AH-SOON C. A constraint network for symbol detection in architectural drawings[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Graphics Recognition Algorithms and Systems. Berlin: Springer-Verlag, 1998: 80-90.
- [4] LU Tong, TAI C L, SU Feng, et al. A new recognition model for electronic architectural drawings[J]. *Computer Aided Design*, 2005, 37(10): 1053-1069.
- [5] 任爱珠, 喻强, 王洪深. 基于图形识别的剪力墙标注方法[J]. *计算机工程*, 2002, 28(5): 115-117.
- [6] 田景成, 刘晓平, 唐卫清, 等. 钢结构中节点图的自动标注算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1999, 11(3): 210-213.
- [7] 贾根莲, 黄晓剑, 唐卫清, 等. 钢结构CAD系统自动布置设计研究[J]. *计算机应用*, 2000, 20(增刊): 73-75.
- [8] 贾根莲, 黄晓剑, 唐卫清, 等. 钢结构计算简图中荷载的自动分层