

基于规则的建筑结构图钢筋用量自动识别系统*

王姝华¹, 曹阳^{1,2}, 杨若瑜¹, 蔡士杰¹, 李恒²

¹(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室,江苏 南京 210093);

²(香港理工大学 建筑与房地产系,香港)

E-mail: sjcai@nju.edu.cn; wangsh@jsmcc.com

http://cs.nju.edu.cn

摘要: 传统的手工建筑工程量统计方法不仅费时而且容易出错,利用计算机自动完成工程量统计工作则可以很好地解决这一问题.介绍了一个基于规则的建筑结构图自动识别系统(automatic interpretation of structure drawings,简称 AISD).该系统以矢量化后的电子图档为基础,通过总结建筑工程图结构特征及绘图规则,自动分析图中的各种图形元素、符号以及其关系,理解各种部件信息,并加以综合,以获取正确的建筑工程钢筋用量.通过对工程图的特征进行详细的研究,总结出一套基于规则的适应不同类型工程图的理解方法.试验结果表明,这种方法为建筑工程图的自动识别和理解提供了一个可取的解决途径.

关键词: 建筑工程图;图纸理解;图形识别

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

目前在建筑业,建筑工程图由手工或 CAD 系统绘出,然后交给承建商进行工程预算.在工程预算过程中,钢筋数量的计算是最耗时的工作.钢筋尺寸、数量的统计必须在结合两种不同类型的二维建筑工程图:平面图、截面图的信息以后才能手工地计算出来.对于一个中等规模的工程,钢筋用量的统计通常需要 4~5 个人/月.为了降低工程预算时间及提高效率,钢筋用量的自动计算成为十分迫切的要求.

尽管图形识别技术已应用于各种不同类型的工程图,如机械图、电路图^[1,2],但目前建筑工程图方面的应用仍然极少,这是由建筑工程图的复杂性所决定的:

- (1) 在建筑工程图中,某些信息在图纸中不直接表示,只能根据相关规则和工程师的经验理解后得出;
- (2) 建筑工程图的表示具有多态性,同一种部件可以用完全不同的描述方法表示出来;
- (3) 对于具有相同结构、不同大小的部件,可仅用一幅典型图(typical drawings)表示;
- (4) 由于人为原因,建筑工程图不可避免地存在一些错误.

以往的建筑工程图理解系统主要集中于建筑工程图中的另一种类型:建筑图^[3].因为建筑图主体只描述墙和门窗的信息,所以相对较为简单.由于墙和门窗实质上被当作是一种符号识别,所以这些系统不能算作是完整的工程图理解系统.为了预测室内无线电系统的反射情况,Brain W.^[4]设计了系统 IWCS 用来识别建筑图中的墙.Brain W.所采用的方法是根据线条的粗细以及连接性来识别墙,但是这种方法的条件限定非常严格,因而适应性很窄.Christian Ah-Soon^[5]采用图形网络的方法识别建筑工程图中的信息,将待识别信息表示成图的形式,节点表示基本图形元素边表示基本图形元素之间的关系.但是这种方法的计算量非常巨大,而且算法实现复杂,只可用于较简单的符号识别.如果识别部件非常复杂或工程图本身数据量很大或很复杂,则不适合采用这种方法.

* 收稿日期: 2000-07-13; 修改日期: 2000-12-05

作者简介: 王姝华(1974 -),女,福建莆田人,博士,主要研究领域为计算机图形学,文档分析与理解技术;曹阳(1973 -),男,江苏盐城人,博士生,主要研究领域为计算机图形学,CAD;杨若瑜(1977 -),女,安徽滁州人,博士生,主要研究领域为计算机图形学,CAD;蔡士杰(1944 -),男,江苏太仓人,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形,人机交互,CAD;李恒(1963 -),男,湖南衡阳人,教授,博士生导师,主要研究领域为决策支持系统,人工智能,建筑自动化.

1 建筑结构图自动识别系统(AISD)总体框架

针对建筑工程图的特点,本文介绍了一个基于规则的建筑结构图自动识别系统 AISD(automatic interpretation of structural drawings)的设计和实现.AISD分为3个模块:平面图的识别,主要目标是理解整个建筑的拓扑结构、各部件相互关系及整体尺寸;截面图内各部件(梁、柱、墙、楼梯、楼面等)中钢筋结构的分析,这一模块完成确定钢筋的类型、形状和位置的工作;钢筋长度计算,此模块负责检查平面图和截面图信息的一致性,按相互配合与制约关系最终计算每一钢筋的正确长度。

AISD 的处理流程分为3个阶段,系统首先将纸质工程图扫描输入计算机,并进行矢量化;在此基础上,进行预处理,预处理分为3个模块:图形原语分类及其关系的分析和布局结构分析;最后进行工程图理解,此阶段是AISD的核心,包含4类基本信息:字符串、符号、钢筋线及其他有用信息将被分析和理解.AISD利用基于特征的通用规则表示理解过程所需的知识,这些规则对于处理不同图形元素具有更大的灵活性,且易于修改并适应新的情况.本文主要讨论工程图理解阶段是如何利用基于规则的特征来分析平面图和截面图的。

2 AISD 理解阶段

2.1 特征定义

工程图纸的识别和理解是基于图纸中图形元素特征的识别的.Tikerpuu 等人^[6]定义图形特征为可用普通参数表示的、且可推论出的几何形状.Cunnigham^[7]指出,特征可由3个组成成分描述:特征语法、特征语义及其之间的关系.在建筑工程图中,特征可分为5个层次:像素层、图形原语层、符号层、部件层和框架层.本文主要讨论对符号层和元素层的理解。

2.2 平面图的理解规则

为了计算建筑物的钢筋用量,平面图和截面图必须同时分析和理解.通常,建筑部件的拓扑信息从平面图中抽取,而每种部件的钢筋用量从相应的截面图中抽取并计算.如图1所示为一幅典型的平面图。

在平面图中,建筑元素由图形原语直接表示.元素的名称由字符串标记,而元素的形状由它的边界表示,可以是矩形、圆、相连的直线或弧.尽管字符串与其相应的图形元素通常都是直接指出的,但有时,这些信息也可能被省略,这使得自动识别过程更加困难.为了识别平面图中的元素,必须总结元素的文本描述、形状及其间相互关系的规律,并以形式化表示出来.这些形式化的规律在 AISD 中以规则的形式出现.例如:识别柱的规则为:

- 规则 1. 平面图中的柱包含3个部分:柱标记、柱边界和柱标记与柱边界间的相互关系.
- 规则 2. 柱标记是一个字符串,其长度不超过5个字符(其中,字符仅包括字母或数字).
- 规则 3. 柱边界有3个属性:位置、大小和形状.
- 规则 4. 柱的位置应当在网格交叉处或其他特殊位置.
- 规则 5. 柱的形状可以为矩形、圆、椭圆、首尾相连的线段和弧.
- 规则 6. 网格交叉处定义为网格线交汇处.
- 规则 7. 网格线是指与网格圈相连的线.
- 规则 8. 网格圈是包含柱标记的圆.
- 规则 9. 柱标记与柱边界之间的相对关系为其间的距离.该距离应在一定范围之内.

根据上述规则,柱标记过程从抽取图形原语,如矩形、圆或椭圆等开始.如果某个(些)原语与上述相关规则相匹配,则将其放入对应集合中;如果某个集合可与柱的定义相匹配,则该集合中包含的原语组成一个柱。

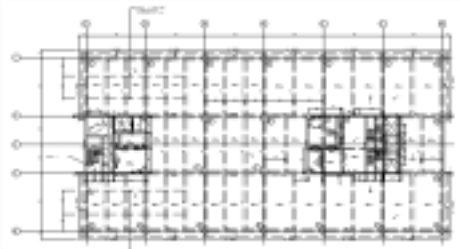


Fig.1 Illustration of framing drawing

图1 平面图示例

2.3 截面图的理解规则

截面图给出每个建筑结构元素的细节信息,一幅典型的梁的截面图如图 2 所示.

为了自动识别截面图中的细节信息,AISD 必须识别两种类型的信息:建筑符号和钢筋.本节主要讨论这两类信息的识别方法.

2.3.1 符号识别

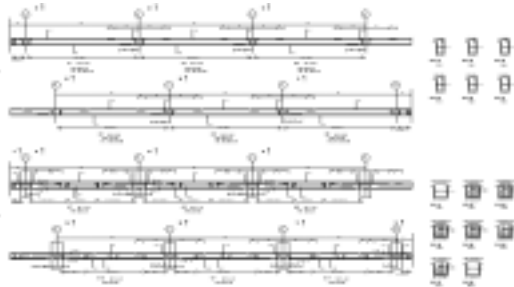


Fig.2 Illustration of beam detailed drawing
图 2 梁的细节图示例

示例.

符号识别是图纸理解系统的一项重要任务.符号识别可分为 3 个层次:图像层、图形层和语义层^[7].本文只讨论语义层的符号识别问题.建筑符号与其他符号最大的不同之处在于建筑符号具有多种形式.这就意味着一个符号可以用多种不同的形状表示.因此,仅仅基于图像或图形层的理解技术无法完成建筑符号的识别任务.但基于语义的方法可以很容易地解决这一问题.

在截面图中,通常有 5 种符号:剖切符、高度符、截断符、起止符和中间符.本文以剖切符的识别为例,解释语义方法的识别机制.图 3 给出了一些典型的剖切符的



Fig.3 Illustration of section symbol
图 3 剖切符号示例

用于识别剖切符的规则如下:

规则 10. 一个标准的剖切符包含 5 部分:切割方向线、辅助切割方向线、观察方向线、辅助观察方向线和剖切符说明字符串.剖切符中包含的直线长度小于一个字符的高度.

规则 11. 切割方向线是表示切割方向的直线,其长度介于一个字符高度与两个字符高度之间.

规则 12. 辅助切割方向线是与切割方向线平行的直线,其长度小于一个字符高度.

规则 13. 观察方向线是表示观察方向的直线,它与切割方向线相垂直,且长度不超过切割方向线的长度.

规则 14. 辅助观察方向线也表示观察方向,其长度小于观察方向线.

规则 15. 剖切符说明字符串是一个非空字符串(其中字符仅包括字母或数字),其长度不得超过 2.

图 4(a)~(d)举例说明如何从截面图中抽取剖切符.

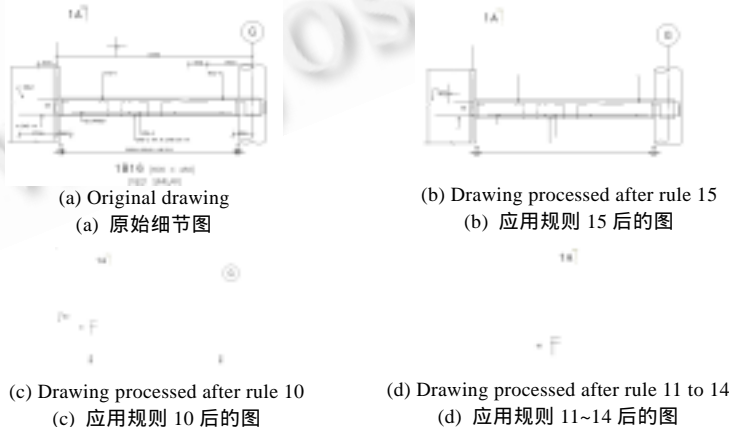


Fig.4 Illustration of extracting a section symbol
图 4 剖切符号抽取过程示例

上述抽取过程描述如下:

- (1) 根据规则 15,以下两类字符串不可能为剖切符说明字符串:长度大于 2 或字符串包含非字母或数字字符.将这两类字符串剔除,结果如图 4(b)所示;
- (2) 搜索剩余字符串的周围区域,根据规则 10 切割方向线、辅助切割方向线、观察方向线、辅助观察方向线的长度不超过两个字符的高度.将剩余字符串附近长度超过两个字符高度的线删除,并将不靠近任何剩余字符串的线删除(如图 4(c)所示);
- (3) 检查剩余字符串周围的直线,如果一个字符串周围无任何线条则将此字符串删除,否则根据规则 11~14 判定是否为切割方向线或观察方向线(如图 4(d)所示).

2.3.2 钢筋识别

钢筋通常由 3 部分组成:注释字符串、钢筋引线和钢筋线.注释字符串指出钢筋的类型、直径、数量、序号和位置.钢筋引线用于将字符串与折线相连接.钢筋线表示钢筋的形状.例如:注释字符串“5Y1-200 T&B”表示 5 根从上而下按间距 200 毫米排列的钢筋.

图 5 给出钢筋的两个示例,在注释串附近与原点相连的直线为钢筋引线,与引线相交的折线为钢筋线.



Fig.5 Illustration of reinforcement steel
图 5 钢筋示例图

为了识别钢筋系统,首先判别钢筋注释串.规则如下:

规则 16. 钢筋注释串有 5 个主要元素:钢筋数量、钢筋类型、钢筋直径、钢筋编号、钢筋位置和其他注释.

规则 17. 钢筋数量指出钢筋的数量.

规则 18. 钢筋类型指出钢筋的类型,可能为“T”,“Y”,“R”或“ET”.

规则 19. 钢筋直径给出钢筋条的直径.它是一个实数,值的变化范围为 10~40.

规则 20. 钢筋编号是钢筋的序号.它由一个实数或实数加上一个字符组成.

规则 21. 钢筋位置属性指出钢筋的位置.它是一个字符串或一个句子.如“E.F”表示部件的每一面.

规则 22. 其他注释描述钢筋的其他额外信息,可能是一个符号或一个句子.

首先将任一字符串进行分割,如 3Y10-90-300 被分割为 3,Y,10,-,90,-,3,0,0,共 11 个字符,然后再根据字符的类型进行集合,以上字符被分为 3,Y,10,-,90,-,300 这 7 个集合.最后再根据规则 17~22 进行顺序和含义检查以识别出钢筋注释串.

由于建筑工程图的复杂性,正确地判定钢筋注释串与钢筋引线的关系十分困难.在注释串周围,通常有 4~8 条类似的直线,其中仅有一个是引线.最近距离法是传统的判断方法,但它只考虑线条与字串之间的距离,没有考虑符号、字串与线条的排列问题.因此,本文提出了一个基于扩充引力场的新方法.假设引线具有引力场,则注释串与引线的关系可简化为最近引力关系.但通常的引力场无法表示它们之间的正确关系,所以 AISD 引入两个附加因素:线上符号和字串与线条的排列,以扩充引力场的表达方式.影响直线引力场的符号包括短线、圆点和箭头.图 6 给出 AISD 中线条引力场的示例.

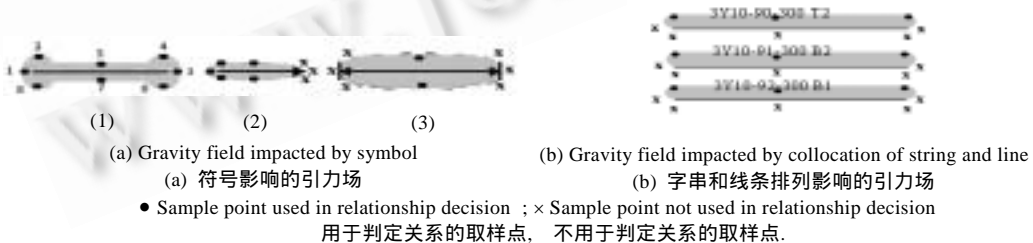


Fig.6 Illustration of gravity field
图 6 引力场示例

图 6(a)反映箭头和尺寸符号如何改变线条的引力场.图 6(a)中的(1)是通常的线条引力场.在判定引线 with 注释串的关系时,所有 8 个点都被分析.图 6(a)中的(2)为线条一端带箭头,通常注释串在另一端附近.因此,箭头端的引力场最小.所以点 4、5、6 不用于关系判定.基于同样的原因,如果线的两端有尺寸符,则只有点 3 和点 7 可用于关系判定.注释串与线条的排列也影响线条引力场,如图 6(b)所示,引线 with 钢筋注释串自上而下间隔排列,而用

通常的引力场方法很难判断引线 with 字串的对应关系. AISD 根据引线和字串的排列顺序自动调整引力场, 图中只有点 2、3、4 被用于关系的判定.

生成了引线引力场后, 定义距离函数 $D(P, Q)$ 判定注释串与引线的关系. 判定过程如下:

(1) 获取钢筋注释串的闭包矩形框, 并在矩形框的边上确定 6 个点, 包括 4 个角和矩形两条长边的中点;

(2) 利用函数 $D(P_i, Q_j)$ ($1 \leq i \leq 6, 1 \leq j \leq 8$) 计算以上 6 点与引线的距离引力场, P_i 表示注释串闭包矩形框上的点, 而 Q_j 表示引线引力场的点;

(3) 选取最小的函数值, 其对应的引线便与该钢筋注释串相关.

确定了注释串与引线之间的正确关系之后, 下一步便是判定钢筋线. 钢筋线有两种: 交叉型钢筋线和箭头型钢筋线. 规则 23~27 为识别钢筋线的规则:

规则 23. 钢筋有两种类型: 交叉型钢筋和箭头型钢筋.

规则 24. 交叉型钢筋是一根与引线垂直相交的折线, 并且相交点用一个原点符表示.

规则 25. 箭头型钢筋是一根与引线垂直相交的折线, 并且相交点由箭头指示.

规则 26. 如果钢筋是箭头型的, 则相交点与箭头顶部间的距离小于相交点与箭头尾部间的距离.

规则 27. 如果钢筋是交叉型的, 则相交点与圆心之间距离小于圆直径的一半.

首先根据引线上的符号找出与引线相垂直相交的直线, 相交点必须位于引线符号之上, 然后根据符号的类型及规则 26、27 判断直线是否为钢筋线.

2.4 平面图与截面图的综合规则

平面图和截面图识别完毕之后, 最重要的工作是将两种图中分别抽取的信息分析综合, 从而获取正确的钢筋尺寸. 由于建筑图的绘制存在尺寸的差异与错误, 因而识别出的部件尺寸不可直接用于计算. AISD 采用进一步的验证机制将从不同种类的图中抽取的同一部件的信息进行比较, 从而生成正确的部件尺寸. 验证及计算规则如下:

规则 28. 如果从平面图和截面图中抽取的部件尺寸相同, 则其任一尺寸都可用于计算.

规则 29. 网格尺寸应从平面图中得出, 顶视尺寸应从平面图中得出, 前视和剖切尺寸应从截面图中得出.

规则 30. 如果存在描述部件大小或长度的字串, 则相应的尺寸应从该字串中得出.

规则 31. 正确的钢筋尺寸可从平面图尺寸、截面图尺寸及相关公式中得出.

规则 32. 平面图和截面图中的所有尺寸综合生成三维网格.

规则 33. 如果钢筋的长度小于最小需求, 则用该最小需求计算.

规则 34. 如果钢筋的长度无法从上述规则中获取, 可直接根据比例计算.

3 实验数据

AISD 系统已经完全实现并投入实际使用, 表 1 给出了部分实际使用结果. 实验数据是利用 PII450 计算出来的, 其正确率得到项目委托方的检验和认可.

4 结论

目前, 大多数图形理解系统都是针对一种类型工程图来处理的. 本文提出了一种基于规则的方法, 可处理两种不同类型和表示格式的建筑工程图: 平面图和截面图, 并可分析两类工程图之间的关系. 虽然平面图和截面图都属于建筑工程图, 但它们所描述的信息, 采用的表示方法有较大的区别, 所以平面图和截面图可被视为两种类型的工程图. 虽然也有通用算法被提出以识别不同类型的工程图, 但是这些算法实质上只是针对不同类型的工程图的符号识别而提出来的, 不可识别和理解工程图中的所有信息. 由于 AISD 采用基于特征规则的方法, 自然地抽取待识别信息的主要特征, 如拓扑逻辑关系作为识别规则, 所以不仅计算量被大大地简化, 而且较好地处理了工程图多态性的问题.

Table 1 Illustration of some results
表 1 使用结果

	Project of control tower in HK new airport	Project of HK standard school	Project of HK PLA hospital
Total number	127	76	131
Average number of lines per drawing	1 157	1 714	1 698
Average actual number of reinforcement steel per drawing	121	157	146
Average number of correctly recognized reinforcement steel per drawing	118	145	137
Correct rate (%)	97.52	92.36	93.84
Processing time by AISD (day)	3~4	2~3	4~5
Processing time manually (month)	4~5	3~4	5~6

香港新机场控制塔工程, 香港标准中学工程, 香港解放军医院工程, 工程图总数, 平均每张工程图线系数, 平均每张工程图钢筋数/图, 平均每张工程图正确识别钢筋数, 正确识别率, ASID 处理时间(天), 手工计算时间(月).

References:

- [1] Tombre, K. Analysis of engineering drawings: state of the art and challenges. In: Tombre, K., ed. Proceedings of the Graphics Recognition: Algorithms and Systems: 2nd International Workshop. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 257~264.
- [2] Okzaki, A., Knodo, T., Tsunekawa, M.S., *et al.* An automatic circuit diagram reader with loop-structure based symbol recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988,10(3):331~341.
- [3] Koutamains, A., Mitossi, V. Automated recognition of architecture drawings. In: Dori, D., ed. Proceedings of the 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition, Vol 1. Conference A: Computer Vision and Applications. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1992. 660~663.
- [4] Kernighan, B.W., van Wyk, C.J. Extracting geometric information from architectural drawings. In: Lin, M.C., Manocha, D.N., eds. Proceedings of the Applied Computational Geometry: Towards Geometric Engineering: FCRC'96 Workshop, WACG'96. New York: Springer-Verlag, 1996. 167~176.
- [5] Christian, Ah-Soon. A constraint network for symbol detection in architectural drawings. In: Tombre, K., ed. Proceedings of the Graphics Recognition: Algorithms and Systems: 2nd International Workshop. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 80~90.
- [6] Tikerpuu, J., Ullman, D.G. General feature-based frame representation for describing mechanical engineering design developed from empirical data. In: Anaheim, C.A., ed. Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference. New York: ASME Press, 1988. 245~253.
- [7] Cunningham, J.J., Dixon, J.R. Designing with features: the origin of features. In: Anaheim, C.A., ed. Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference. New York: ASME Press, 1988. 3~88.

A Rule-Based System for Automatic Recognition of Reinforcement Steel in Construction Drawings*

WANG Shu-hua¹, CAO Yang^{1,2}, YANG Ruo-yu¹, CAI Shi-jie¹, LI Heng²

¹(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China);

²(Department of Building and Real Estate, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

E-mail: sjcai@nju.edu.cn; wangsh@jsmcc.com

http://cs.nju.edu.cn

Abstract: Traditional work of quantity survey is time consuming and low quantity. To do the work automatically by computer is a good solution. A rule-based system for interpretation of vectorized construction drawings automatically (AISD) is presented in this paper. Based on summarizing the features and rules, it recognizes graphical primitives and symbols in construction drawings, analyzes relationships between them, interprets information of construction element and calculates the quantity of reinforcement steel. Based on the study of features of construction drawings, a group of rules are developed for interpretation of different kinds of construction drawings. Experimental results show that it provides a sound solution for understanding and interpretation of construction drawings.

Key words: construction drawing; drawings interpretation; graphics recognition

* Received July 13, 2000; accepted December 5, 2000