

钢结构节点详图的自动标注算法

刘颖滨 田景成 唐卫清 刘慎权

(中国科学院计算技术研究所, 北京 100080)

摘要 钢结构设计是计算机辅助设计中的一个重要分支,对钢结构工程图纸进行自动标注不仅可以极大地提高设计效率,而且能提高钢结构设计的准确性和自动化程度.为了产生有序的图纸标注,结合钢结构软件的开发,提出了针对钢结构节点详图的实用性自动标注策略,并详细介绍了其中的布局策略等关键算法,从而为最终找到全自动的图纸生成方法进行有益的探索.该算法及自动标注策略所涉及的工作已经在 PDSOFT Steelworks 钢结构软件的开发工作中全部实现.

关键字 布局问题 标注区 绘图区 包围盒

中图法分类号: TP391.72 TB237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)06-0582-04

A Practical Automatic Dimensioning Algorithm for Joint Drawing

LIU Ying-bin, TIAN Jing-cheng, TANG Wei-qing, LIU Shen-quan
(CAD Lab, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Design is an important branch in Computer-Aided Design. The automatic dimensioning in engineering draft of steelworks could improve the efficiency of the plant design. During the developing steelworks design software, a practical algorithm to generate the dimensions on an engineering draft describing specific parts of the steel structure. As for a general engineering draft, the variety of part shapes, the complexity of illustration contents, the abnormality of layout and technical limitations make the automatic dimensioning seem too difficult to be realized. So a special algorithm to dimension joint draft in steelworks draft is proposed. This approach divides the margin of joint draft into eight zones: left top dimensioning zone, left dimensioning zone, left bottom dimensioning zone, top dimensioning zone etc. At the same time, a leader dimensioning algorithm is proposed. These approaches are feasible to generate the ordered dimensioning items for the disordered draft drawings. The algorithms have been applied in the PDSOFT Steelworks successfully.

Keywords Packing problem, Dimensioning zone, Drawing zone, Bounding box

0 概述

根据记载,早在公元前 2141~2122 年的两河文明时期,人类已开始采用经过平面投影的工程图纸来描述对象的几何信息,通过这些纸上的图形以及标注信息,建造人员即能正确地理解设计者的想法^[1].

伴随着现代工业的发展,目前已形成了一整套规范来指导图纸信息,特别是标注信息的表达,比如 ASME,ISO 都有一套相应的具体标准.通过标注数据可准确地描述实体的几何尺寸、特征、实体间的相

互关系等属性,标注已成为正确表达工程设计思想不可缺少的手段.尽管目前大部分工厂的设计工作已开始借助于计算机来完成,但是对工程图纸的标注工作,包括尺寸、型号、焊缝标识等还要依靠人工来完成,据统计,在全部的设计过程中,用于图形和标注绘制的时间占到了 1/3 以上^[2],这一点在生成钢结构节点详图的过程中显得尤为突出.

钢结构由于其自身的优点,目前已经在国民经济各部门得到了日益广泛的应用,如钢结构节点详图就是用来描绘钢结构中节点部分的施工详图(如图 1 所示),鉴于其在钢结构设计中的重要地位,

PDSOFT Steelworks 软件提供了钢结构节点详图的自动标注功能, 提高了设计的准确性和效率。

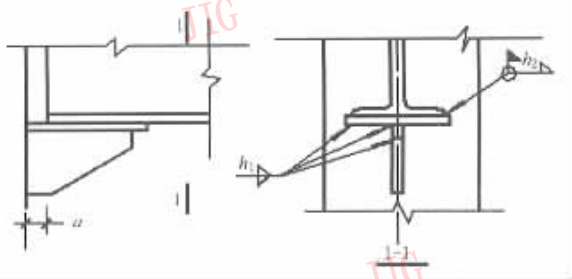


图 1 钢结构节点详图举例

通过应用计算机技术, 钢结构的节点设计可以实现完全的自动化, 而后, 自动标注所需要的各种数据就可以通过访问设计模型来获得^[2], 这样, 自动标注的主要难点就主要集中在了标注的自动布局问题上。

布局问题是指将一些对象, 按照一定的要求合理地放置在一个空间内, 并使所占用的空间尽量地小。节点详图自动标注就是将各种标注, 如尺寸、型号、焊缝等放置在节点详图的空白空间里, 并且使图纸幅面尽量紧凑、美观。图纸自动标注问题属于布局问题的一类, 由于解决起来属于组合优化问题, 因而可以定义该问题的状态空间和评价函数。

在这里, 把所有标注体在任何一种可能标注位置的组合作为状态空间的一个元素, 如果假设一个标注体的候选标注位置是一个可枚举的序列, 那么状态空间的大小为

$$S = \sum_{i=1}^m M_i \quad (1)$$

其中, M_i 表示第 i 个标注体可能标注位置的个数。

相应的评价函数为

$$F = A_0 - A_g - \sum_{i=1}^m A_i \quad (2)$$

其中, A_i 表示第 i 个标注对象所占的区域面积; A_0 表示整个图纸空间的面积; A_g 表示图纸上被节点图形所占用的面积。

由于布局问题属于 NP-完全(NP-Complete)问题, 因而吸引了大量的研究人员对其进行深入地研究^[1], 但如何妥善处理各物体之间的碰撞是解决布局问题的关键所在; 同时, 由于布局问题可以归结为组合优化问题, 因而如何提高对状态空间的搜索效率就成为所有布局算法研究的重点, 比如, 序列二次规划和广义简约梯度法、无约束优化方法、模拟退火算法等^[3~6]就是这类算法。

虽然这些通用性算法从不同的角度对布局问题作

了深入的探讨, 但是就节点详图自动标注的布局而言, 应用起来还需要结合具体情况作进一步的改进。具体来讲, 节点详图的几何特征可以归结为以下 3 条:

(1) 内聚性 零件均围绕节点中心布置, 图纸上的空白区域则围绕在图形区域的四周;

(2) 连通性 节点中的所有零件都是组合在一起的, 不存在孤立的零件;

(3) 正交性 大部分零件的轮廓线都与坐标轴保持平行。

正是由于以上特点, 在进行节点详图的自动标注过程中, 我们并没有把精力放在通用布局算法的改进上, 而是在归纳总结的基础之上, 尽量结合节点详图的特点制定相应的规则来避免标注体之间的碰撞。其具体规则如下:

(1) 根据节点图形的内聚性, 规定将所有的标注内容放在节点图形四周的空白区域内, 以避免标注内容与图形内容之间的碰撞;

(2) 由于节点是空间形体, 需要一套(多张)沿不同视向生成的节点详图来清楚无误地表达节点设置, 然后利用这一特点, 就可以将不同种类的标注放在不同的图纸上, 以彻底杜绝不同种类标注之间的碰撞问题。此外, 也可以把一张图纸无法容纳的标注放在后续图纸上;

(3) 在一张图纸内部, 通过遵循一些事先制定的规则来避免标注体之间的碰撞。

1 标注布局

本文采用基于区域划分的标注布局算法^[7], 把图形区域四周的空白区域划分成 8 个区域, 其中, 位于四角的区域利用价值不大, 可以不予考虑, 其空间弃置不用。划分后的结果如图 2 所示。

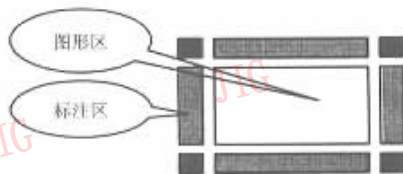


图 2 标注区域划分

由图 2 可见, 所有的图形区和标注区都是标准矩形, 其中, 图形区覆盖了所有需要标注的节点图形, 而上、下、左、右 4 个标注区则围绕图形区均匀分布。

由于在实际的工程设计图纸上不允许标注线条之间相交, 所以在每一个标注区内, 只在靠近图形区

的位置排布一层标注体. 另外, 考虑到设计人员的习惯, 所有的尺寸标注(水平、垂直两个方向), 即线性(Linear)标注都放在右边和下方的标注区内; 而型号标注则相应地放在同一张图纸的左侧和上方的标注区内. 由于一张图纸的空间有限, 因此其他标注, 如焊缝标注, 则放在另外一张单独的图纸内.

通过这样的分区处理, 可将不同种类的标注按照区域分开, 从而避免了碰撞, 但是, 这样的划分可能导致一种标注对应于多个标注区, 这一点可以根据零件(中心点)在图纸中所在的相对位置来解决. 以引线标注为例, 其位置对应关系如图3所示. 由图3可见, 图形区进一步细分成4个区域, 并根据零件具体所在的方位来确定标注所处的具体位置.

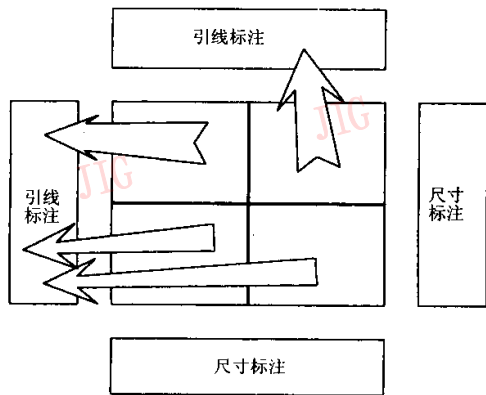


图3 标注区域分配

经过分区处理之后, 标注布局问题已经大大简化, 而且在一个标注区内只会出现同种类型的标注. 另外, 对于同一个标注区内的标注体可采用排序的方法进行排布, 逐次利用标注区空间, 从而达到完全避免碰撞的目的. 为了确定标注之间的前后关系, 应首先为每一个标注设定一个索引值, 以作为比较的依据, 这里是采用标注的定义点(即位于零件图形上的标注起点)到某个参考点连线的夹角度数来作为索引值. 举例来说, 假设标注的定义点为 D , 取左标注区的右上角点 R 作为参考点, 那么, 线段 RD 与 X 轴方向的夹角度数即为索引值(见图4).

按照顺序将该标注区内部的所有标注体进行排序, 然后通过依次分配空间来生成标注. 下面仍以左上方标注区的标注为例, 其区域内布局算法步骤为:

(1) 根据图4所示夹角, 计算出每一个标注定义点的夹角值;

(2) 按照夹角值将同一个标注区内的标注排序, 并记录最小夹角值 α ;

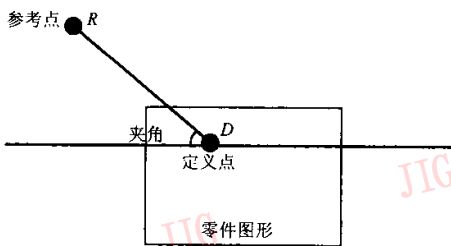


图4 选定参考点

(3) 从各个定义点出发, 以 α 为倾角引一组平行线, 并记录平行线与左标注区边界的交点, 然后根据交点的 Y 坐标值的大小, 对各个定义点重新排序;

(4) 依次根据各标注定义点, 来生成相应的标注体. 对于其他区域内的标注排布可参照上面算法进行.

2 引线标注算法

在完成了标注布局之后, 剩下的工作主要是如何构造标注体的生成算法问题, 这里重点介绍一下引线标注的生成算法.

观察图4中的引线标注可以发现, 标注的定义点必须位于图形轮廓之内(含轮廓线), 这是对标注正确性的起码要求, 但是, 由于节点详图是各个零件经过三维消隐之后在某个视向上的平面视图, 各零件之间可能会发生干涉. 如果标注的定义点恰好位于重叠区域内, 那么这样的标注势必引起歧义.

消除标注歧义是保证标注正确的必要条件之一^[8], 同时消除歧义的过程也是对节点图形干涉问题进行处理的过程. 为了表述的方便, 在下文中用矩形包围盒来代替图形的实际轮廓, 并假设已经得到了所有零件的准确包围盒. 在具体标注时, 首先, 对每一个零件图形都要与其他零件进行两两比较, 以检查是否发生了干涉, 然后根据发生干涉的面积大小, 可将干涉关系分成重叠和包含两类, 如图5所示.

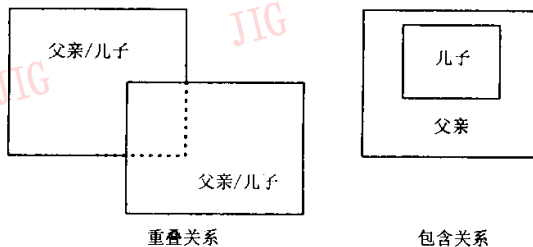


图5 图形干涉分类

对于标注定义点来说, 如果不发生干涉, 它所处的最小矩形范围即为标注所指示的对象. 下面给出

一个确定标注定义点的最终算法, 步骤为:

(1) 选择给定零件的中心点作为种子

(2) 检查当前种子点的合法性, 并建立候选种子点链表. 从种子点出发, 分别沿水平和垂直方向引出 4 条射线, 然后借助扫描线算法, 通过判断射线与图形实际轮廓的交点个数来判定该点是否在零件内部, 如果种子点在零件图形外部, 其交点个数必为偶数, 那么即可取每两个交点的中点作为候选种子点, 并将其加入链表. 不断重复此过程, 直至得到一个合法的种子点为止.

(3) 检查种子点是否位于干涉区域内. 对当前零件的所有儿子零件分别进行检测, 记录种子点是否位于某个儿子内部. 如果未发生干涉, 当前种子点即为合格的标注定义点, 算法结束, 否则向下执行.

(4) 在父亲零件的包围盒中裁剪掉发生干涉的儿子零件包围盒, 并用其代替原来的包围盒, 然后执行第 2 步.

(5) 当所有的搜索路径全部失败, 即候选种子点链表为空时, 则选择零件图形上某一个型值点作为标注定义点返回, 算法结束.

当定义点得到之后, 即可按照布局算法来生成所需的标注体.

3 结束语

作为三维钢结构设计软件 PDSOFT SteelWorks 的一部分, 本文所提到的节点详图自动标注功能已经在该软件实际的开发过程中全部实现^[8](图 6), 并通过了中国科学院和中石化总公司的联合鉴定.

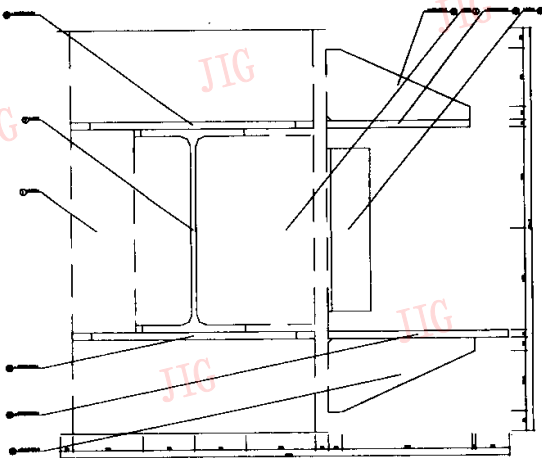


图 6 标注齐全的节点详图

希望在今后的研究工作中能够尽早提出一种通用的工程图纸自动标注算法.

参 考 文 献

- 1 Gossard D C, Zuffante R P, Hiroshi Sakurai. Representing Dimensions, Tolerances, and Features in MCAE Systems IEEE Computer Graphics&Applications, 1988,3(2):51~59.
- 2 刘颖滨. 钢结构节点详图自动标注的研究与实现[硕士论文]. 北京:中国科学院计算技术研究所, 2000.
- 3 Srinivasan V. A geometrical product specification language based on a classification of symmetry groups. Computer-Aided Design, 1999,31(11):659~668.
- 4 Christensen J, Marks J, Shieber S. An empirical study of algorithms for point-feature label placement. ACM Transaction on Graphics, 1995,14(3):203~232.
- 5 Hillyard R C, Braid I C. Analysis of dimensions and tolerance in computer-aided mechanical design. Computer-Aided Design, 1978,10(3):160~161.
- 6 张树有, 谭建荣, 彭群生等. 尺寸标注的动态编辑与自适应算法. 软件学报, 1998,9(5):339~342.
- 7 田景成, 刘晓平, 唐卫清等. 钢结构中节点图的自动标注算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999,11(3):210~213.
- 8 张树有, 谭建荣, 彭群生. 基于图形环境信息的干涉问题自动处理. 计算机学报, 1996,19(8):625~630.

刘颖滨 1975 年生, 汉族, 2000 年获中国科学院计算技术研究所计算机应用专业计算机图形学及 CAD 硕士学位. 主要研究方向为计算机图形学及 CAD. 目前, 在中国贝尔实验室工作.

田常成 1973 年生, 博士研究生. 主要研究方向为 CAD、计算机图形学和医疗可视化.

唐卫清 1965 年生, 研究员. 主要研究方向为 CAD、计算机图形学.

刘慎权 1930 年生, 研究员, 博士生导师. 主要研究方向为 CAD、计算机图形学、科学可视化.