

DOI:10.13196/j.cims.2015.02.013

基于相差轨迹的三维标注缺失尺寸推荐

程亚龙, 刘晓军, 刘金锋, 倪中华⁺

(东南大学 机械工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要:为保证三维尺寸标注的完整,研究了零件缺失尺寸的推荐方法。在轨迹相交法的基础上,根据轨迹生成规则建立了缺失尺寸与相差轨迹之间的映射关系,通过逆向推理轨迹相交规则建立了相差轨迹的生成规则。以尺寸标注数目最少为原则,通过求取相差轨迹建立了几何基元的最少缺失尺寸提取流程。在刚性体识别法的基础上,通过分析刚性体的等价定位元组的固定条件,建立了刚性体间的缺失尺寸提取算法。给出了零件的三维缺失尺寸推荐的总体流程,并以一个尺寸标注模型为例演示了缺失尺寸的推荐过程,验证了算法的有效性。

关键词:尺寸推荐;缺失尺寸;当前轨迹;相差轨迹;刚性体合并

中图分类号:TP391.7 **文献标识码:**A

Recommendation of 3D missing dimensions based on differential locus

CHENG Ya-long, LIU Xiao-jun, LIU Jin-feng, NI Zhong-hua⁺

(School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: To achieve a complete 3D dimensioning for part model, a recommendation method of Missing Dimensions (MD) was investigated. On the basis of locus intersection method, the mapping relationship between MDs and differential locus was established according to the generation rules of locus. The generation rules of differential locus were proposed based on reverse reasoning of locus intersection. After determining the differential locus, the extracting process of MDs for a geometric element was developed based on the principle of minimum dimensions. Based on the rigid body recognition method, the extraction algorithm of MDs between rigid bodies was proposed according to the fixation of rigid bodies' equivalent group, and the overall process of recommending MDs for a part was given. A dimensioning model was taken as an example to demonstrate the process of recommending MDs, which illustrated the feasibility of the approach.

Key words: dimensions recommendation; missing dimensions; present locus; differential locus; rigid body's combination

0 引言

三维尺寸标注是对产品结构大小、定位关系的一种直观、精确描述,其完整与否对产品设计、工艺、加工、装配和检测等生产过程具有重要的影响^[1]。尺寸标注缺失会造成产品零部件无法加工和顺利装配,因此在产品设计完成后必须对尺寸标注的完备性进行检查,特别是检查缺失尺寸。目前对缺失尺

寸的检查主要有如下五种方法:

(1)尺寸链法^[2-5] 该方法通过提取二维尺寸链来判断尺寸的封闭性,以此判断是否存在尺寸缺失的情况,但不能得到尺寸缺失的具体位置,不适合三维尺寸标注的检测。

(2)邻接矩阵法^[6-9] 该方法将工程图上各视图的尺寸标注坐标转换到空间投影模型,建立统一的空间尺寸标注,然后按照坐标方向建立邻接矩阵来

收稿日期:2014-06-03;修订日期:2014-11-03。Received 03 June 2014; accepted 03 Nov. 2014.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51405081);某部委预先研究资助项目(51318010103);苏州市科技发展计划资助项目(SYG201221)。

Foundation items: Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 51405081), the Pre-Research Fund of Certain Ministry, China(No. 51318010103), and the Suzhou Science & Technology Development Project, China(No. SYG201221).

判断尺寸的封闭性,能处理较为简单的二维工程图上的尺寸完备性检测问题,但同样不能得到尺寸缺失的具体位置。

(3)几何约束求解法^[10-14] 该方法基于几何约束理论对几何元素的约束状态进行判断,将无法完全约束的几何元素视为缺少尺寸标注,虽然可以找到所有缺少标注的几何元素,但是不能推荐出合理的标注方案。

(4)轨迹相交法^[15-16] 该方法将几何约束对几何元素的影响转化为空间轨迹,轨迹相交得到新的轨迹,通过判断轨迹与几何元素类型是否相同来决定几何元素是否固定,未固定的几何元素则表明缺少尺寸标注。该方法只能找到局部几何元素的缺失尺寸,但无法综合给出全局的缺失尺寸标注方案。

(5)刚性体识别法 该方法基于轨迹相交法能够将完整标注的多个几何元素识别为一个刚性体,从而将整个零件识别为多个刚性体,刚性体之间即缺少尺寸标注,进一步缩小了缺失尺寸的范围,但仍没有给出合理的缺失尺寸标注方案。

以上方法为研究缺失尺寸的检验和推荐问题奠定了基础,本文在前期三维尺寸标注完备性检查研究的基础上,研究如何向缺少尺寸标注的零件推荐合理的尺寸标注方案。首先基于刚性体识别法检查得到缺少尺寸标注的刚性体,利用轨迹相交法提取固定几何基元所需要的相差轨迹,并逆向推理得到该基元的可选尺寸;然后根据尺寸标注最少原则,在刚性体的几何基元中找到一组缺少尺寸最少的等价定位元组;再按照刚性体的合并原理,选择并添加一组尺寸将两个刚性体合并,循环进行,直到所有刚性体全部合并,相应得到一组合理的缺失尺寸,即为推荐的缺失尺寸标注方案;最后以一个三维标注模型演示算法的运行过程,取得了预期效果,验证了算法的有效性。

1 问题描述

几何约束分为尺寸约束和结构约束两类。尽管在零件模型设计完成后,尺寸约束与结构约束均已暗含在零件模型中,但是对于后续应用,设计师还必须将尺寸约束显式地标注在模型上,以方便查看,即为尺寸标注。对于复杂零件而言,三维尺寸标注容易出现缺失现象。

一组几何基元在几何约束作用下,如果任意两个基元间的相对位置固定,则这组几何基元称为一个刚性体。在刚性体的某几个几何基元被固定后,相应的所有基元也都被固定,则整个刚性体也被固

定,即某几个几何基元被固定可以代表刚性体被固定,将可以代表刚性体固定的几何基元称为定位元。一个完整标注的零件就是一个刚性体。尺寸缺失会造成几何基元欠约束,没有固定的空间位姿,即几何基元之间的相对位置不固定,间接导致一个零件形成多个刚性体。因此,可以将一个零件的所有几何基元识别为一组刚性体,然后判断每两个刚性体之间是否可以合并,如果无法合并则表明它们之间缺少尺寸,这是基于刚性体识别法判断缺失尺寸的基本原理,笔者已在其他文章中做了详细介绍,此处不再赘述。上述方法可以获得缺少尺寸标注的刚性体,但是不能确定尺寸具体标注在刚性体的哪些几何基元上,这也是本文要解决的主要问题。

在识别刚性体时,要通过轨迹相交法来判断几何基元能否加入当前刚性体。假定几何约束 $cons(v_1, v_2)$ 中的几何基元 v_1 被固定,则几何基元 v_2 在该几何约束的限制下在几何空间中任意运动所形成的与 v_2 相切、重叠、垂直或平行的几何形状即为轨迹,它可以是几何基元,也可以是矢量方向^[15-16]。用 $loci(v_2, cons(v_1, v_2))$ 表示 v_2 在几何约束 $cons(v_1, v_2)$ 作用下形成的轨迹,它的形成不但与 v_1 和 v_2 的类型有关,而且与几何约束的类型有关。例如,距离尺寸的一个几何基元为点,则另外一个几何基元的轨迹是以点为圆心、距离值为半径的球面(SP)。每个几何基元会同时受到多个几何约束的作用,每个几何约束会形成该几何基元的一个轨迹,在几何基元被完整约束的情况下,所有轨迹求交就一定会得到该几何基元,当这些约束的其他几何基元固定时,该几何基元也被固定。简言之,如果轨迹与几何基元类型相同,则表明该几何基元可以被固定,即可以加入当前刚性体,反之则不能固定。在描述方法之前,先定义以下概念:

(1)目标几何基元 需要添加尺寸的未固定的几何基元。

(2)参考几何基元 在目标几何基元上添加尺寸时的另外一个固定的几何基元。

(3)当前轨迹 目标几何基元在当前已有几何约束作用下形成的轨迹。

(4)目标轨迹 轨迹相交后要得到的最终轨迹,即为目标几何基元本身。

(5)相差轨迹 当前轨迹要达到目标轨迹所需要相交的轨迹即为相差轨迹。正常情况下每个当前轨迹会有多个相差轨迹可选,这些相差轨迹形成相差轨迹集。

根据轨迹相交规则,两个轨迹相交可以得到新

轨迹,固定几何基元时需要当前轨迹与相差轨迹相交来形成目标轨迹,形成相差轨迹所需要的尺寸就是该几何基元缺少的尺寸。由此可见,通过逆推轨迹相交规则可以得到相差轨迹的生成规则,得到相差轨迹就可以得到生成该轨迹的尺寸约束,即为所缺失的尺寸。依次循环可以得到刚性体中每个几何基元的缺失尺寸,但是这些尺寸并不需要全部标注,只需要标注能将刚性体的一组定位元固定的尺寸即可达到刚性体合并的目的。按照尺寸标注最少的原则,当能够找到固定一组定位元所需要标注的数目最少的一组尺寸时,这组尺寸即为一组合理的缺失尺寸。综上所述,建立缺失尺寸推荐的总体思路如图 1 所示,下面将围绕思路的各个部分进行详细分析。

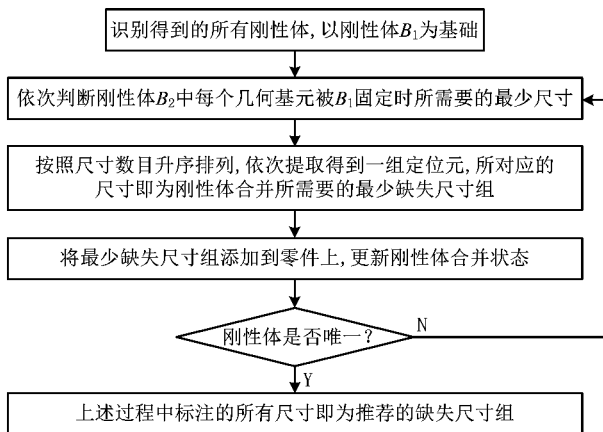


图1 缺失尺寸推荐的总体思路

2 几何约束下的轨迹建模

点、线、面在几何约束的作用下形成 11 种轨迹,它们两两相交叉生成了 3 种新的轨迹,共 14 种轨迹^[15]。通过分解简化,为 14 种轨迹建立一个统一的数据模型,用 lo 表示,包括:类型 t ;指向点、线、面的指针 p, l 和 pl ;角度 θ ;主半径 r_1 ;次半径 r_2 ;方向 v ;指向源轨迹的指针 lo_{s1} 和 lo_{s2} 。14 种轨迹的数据模型如表 1 所示, lo 的数据结构表示为

$$lo = \{t, p, l, pl, \theta, r_1, r_2, v, lo_{s1}, lo_{s2}\}。 \quad (1)$$

表 1 轨迹模型的各项分量表达

轨迹	t	$p, l, pl, lo_{s1}, lo_{s2}, \theta, r_1, r_2, v$
点	P	点本身, 0, 0, 0, 0
直线	SE	0, 线本身, 0, 0, 0, 0, 0, 0
圆弧线	CE	圆心, 轴线, 0, 0, 0, 0, $radius$, 0, 0
平面	PL	0, 0, 平面本身, 0, 0, 0, 0, 0
圆柱	CY	0, 轴线, 0, 0, 0, 0, 半径, 0, 0

续表 1

圆锥	CF	锥点, 轴线, 0, 0, 0, 锥角, 0, 0, 0
圆环	TR	主环圆心, 0, 主环平面, 0, 0, 0, 主环半径, 次环半径, 0
球面	SP	球心, 0, 0, 0, 0, 0, 半径, 0, 0
线型圆锥	COL	0, 圆锥所在线, 0, 0, 0, 锥角, 0, 0, 0
面型圆锥	COP	0, 0, 圆锥所沿平面, 锥角的余角, 0, 0, 0
平行方向	PAD	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 线向或法向
垂直方向	PED	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 线向或法向
共面曲线	CC	0, 0, 0, 平面轨迹, 剩余轨迹, 0, 0, 0, 0
非共面曲线	NCC	0, 0, 0, 第一轨迹, 第二轨迹, 0, 0, 0, 0

3 基于相差轨迹的缺失尺寸推荐

3.1 缺失尺寸与相差轨迹的映射关系

在轨迹相交法中,几何基元被完整约束时当前轨迹 lo_p 与目标轨迹 lo_t 相同,几何基元可以被固定,即 $type(lo_p) = type(lo_t)$,其中 $type(x)$ 表示几何基元或几何轨迹的 x 的类型获取函数。当几何基元缺少尺寸约束时,当前轨迹 lo_p 与目标轨迹 lo_t 不相同,几何基元不能被固定,两者之间缺少相差轨迹 lo_d ,根据 lo_d 就可以推理得到生成该轨迹的尺寸类型,即几何基元缺少的尺寸类型。如此推理,可以得到所有未固定的几何基元所缺少的尺寸标注类型,即该几何基元的缺失尺寸类型。因此,要想得到缺失尺寸类型,必先建立缺失尺寸与相差轨迹之间的映射关系。

目标轨迹即目标几何基元只有点、直线和平面三种,每种目标轨迹与各种当前轨迹会形成不同的相差轨迹,而相差轨迹最终只能由距离(用 DIS 表示)和角度(用 ANG 表示)两种尺寸形成。根据轨迹生成规则,距离和角度两种尺寸根据约束的几何基元类型不同,可以生成五种类型的轨迹,包括 SP, CY, PL, COL 和 COP ^[15]。因此,相差轨迹只有这五种,对应的缺失尺寸只有两种,图 2 所示即为缺失尺寸、目标几何基元、相差轨迹和参考几何基元之间的映射关系。依据该映射关系,可以通过目标几何基元的一组相差轨迹得到一组可选的缺失尺寸。

3.2 相差轨迹的生成规则

当前轨迹与相差轨迹相交形成目标轨迹,通过对轨迹相交规则(参见文献[16]的表 A. 4~A. 6)的逆向推理可以建立相差轨迹的生成规则。要满足最少尺寸标注原则,目标几何基元最好只添加一个尺

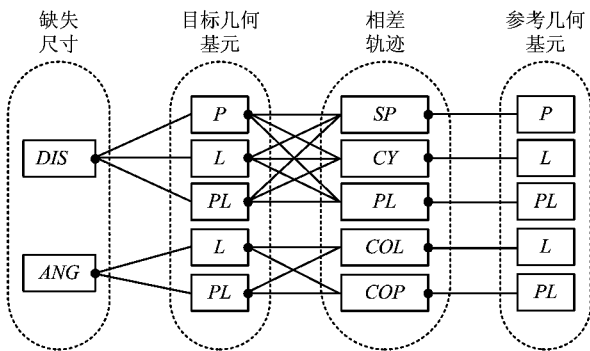


图2 缺失尺寸与相差轨迹的映射关系

寸就可被完整约束。因此,相差轨迹最好由单个尺寸就可得到,由图 2 可知,单个尺寸可以形成五种轨迹,建立这五种轨迹的生成规则如表 2 所示。其中: $top(x,y)$ 表示轨迹 x 和 y 之间的结构拓扑关系; $line(x,y)$ 表示过点 x 方向为 y 的直线,或者过点 x 和点 y 的直线; SUP, TAN, PAR 和 PER 分别表示重叠、相切、平行和垂直约束。如果目标几何基元的当前轨迹不满足表中所示的类型,则应先添加一个尺寸,形成当前轨迹,再根据表 2 中的规则继续提取缺失尺寸。

表 2 相差轨迹的生成规则

目标轨迹 lo_i	当前轨迹 lo_p	相差轨迹 lo_d	生成条件	
P	L	PL	$top(lo_p, lo_d) \neq SUP$	
		CY	$top(lo_p, l, lo_d, l) \neq PAR$	
		SP		
	PL	SP	$top(lo_p, lo_d) = TAN$	
		CY, SP	$top(lo_p, lo_d) = TAN$	
		PL, CY, SP	$top(lo_p, lo_d) = TAN$	
		CE, CC, NCC	$top(lo_p, lo_d) \neq SUP$	
		L	P	CY
			COL	$top(lo_p, p, lo_d, l) \neq SUP$
			PL	PL
CY	CY			
CY	P, PL	CY	$top(lo_p, lo_d) \neq SUP$	
		SP	$top(lo_p, lo_d) = TAN,$ $top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$	
	CF	PL, CY		
		SP	$top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$	
		COL	$top(lo_p, l, lo_d, l) \neq SUP$	
		COP	$top(lo_p, l, lo_d, pl) \neq PER$	
SP	CY		$top(lo_p, lo_d) = TAN,$ $top(lo_p, p, lo_d, l) \neq SUP$	

续表 2

CE	COL	$top(lo_p, p, lo_d, l) \neq SUP$	
	PL	$top(lo_p, l, lo_d, pl) \neq PER$	
	CY	$top(lo_p, l, lo_d, l) \neq SUP$	
	SP	$top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$	
	COL, COP		
	COL	SP	$top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$
		PL	$top(lo_i, pl, lo_d, pl) = PAR$
	P	CY	
		SP	$top(lo_p, lo_d) = SUP$
	L	CY, SP, COL, COP	
CY, COL, COP			
CY	SP		$top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$
	CF	CY	
SP		$top(lo_p, l, lo_d, p) \neq SUP$	
SP	COL	$top(lo_p, l, lo_d, l) \neq SUP$	
	COP	$top(lo_p, l, lo_d, pl) \neq PER$	
PAD	CY, SP	$top(line(lo_p, p,$ $lo_d, p), lo_i, pl) = PER$	
		COL, COP	
COL, COP	CY		

3.3 几何基元的最少缺失尺寸提取流程

在完整约束几何基元的情况下,尺寸标注数目应最少,因此推荐的缺失尺寸也要保证数目最少。根据上述规则和映射关系,建立如下目标几何基元 O_{GE} 的最少缺失尺寸提取流程:

步骤 1 获取 O_{GE} 的当前轨迹 lo_p , 若不满足表 2 的当前轨迹类型, 则先在目标几何基元 O_{GE} 与候选的每个参考几何基元 $\{R_{GEi} | i=1, 2, \dots, n\}$ 之间优先添加距离尺寸, 次优添加角度尺寸, 直到形成可行的当前轨迹。将添加的尺寸和参考几何基元加入 O_{GE} 的可选缺失尺寸集合和对应的参考几何基元集。

步骤 2 判断 $type(lo_p) = type(lo_i)$ 是否成立, 若成立, 则转步骤 3; 否则, 根据表 2 所示规则, 在 O_{GE} 与候选的每个 R_{GEi} 之间尝试添加可行的缺失尺寸。若可添加, 则将该尺寸及相应的 R_{GEi} 设置为 O_{GE} 的可选缺失尺寸集和对应的参考几何基元集, 转步骤 3。

步骤 3 得到 O_{GE} 的一组缺失尺寸集和参考几何基元集, 按照缺失尺寸的数目进行升序排列, 第一组即为该 O_{GE} 的最少缺失尺寸。

步骤 4 算法结束。

3.4 刚性体间的缺失尺寸推荐

由于刚性体之间可能存在一些待定尺寸,在添加了推荐的缺失尺寸后,应该尽可能多地使用原有的待定尺寸,将其转换为必需尺寸。刚性体之间的缺失尺寸推荐分两种情况:①没有共享基元的两个刚性体若存在未使用的几何约束,则此处应添加尺寸,以便形成共享基元;②有共享基元的母体与刚性体之间添加缺失尺寸,可以将刚性体与母体合并。前一种情况只需对单个几何基元添加尺寸,已在 3.3 节进行了讨论,后一种则需要对一组定位元添加尺寸,处理过程如下:

母体与刚性体的合并就是等价定位元组的固定,即在母体与等价定位元组之间添加合适的尺寸,使定位元组固定到母体。定位元即为要固定的目标几何基元,按照相差轨迹的生成规则找到定位元的相差轨迹集,再找到与相差轨迹集匹配的尺寸约束类型集合,即为固定定位元所需要的尺寸类型。

建立刚性体 B_r 与母体 B_p 之间缺失尺寸组提取的详细流程如图 3 所示。当无法获得刚性体 B_r 与母体 B_p 之间的一组缺失尺寸时,应该重新选择一个母体,然后继续提取合并 B_r 的缺失尺寸组。当 B_r 的缺失尺寸添加后,应同时更新其他所有刚性体的合并状态,然后循环提取未合并刚性体之间的缺失尺寸。

综上所述,零件的缺失尺寸推荐详细流程总结如下:

(1)识别得到零件的所有刚性体,对刚性体之间未使用几何约束的优先添加尺寸,形成两个刚性体之间的共享几何基元,以便后续的刚性体合并。

(2)提取任意两个有共享基元的刚性体之间的缺失尺寸。提取其中一个刚性体的所有几何基元,依次判断固定每个几何基元所缺失的最少尺寸数目,若无法固定,则设置该数目为无穷大。按照尺寸数目对几何基元进行升序排列。

(3)从排序后的几何基元中,依次提取几何基元加入到定位元组,直到该定位组与刚性体等价,该定位元组即为需要添加尺寸数目最少的定位元组。若无法得到等价定位元组,则表明该刚性体与该母体之间无法通过添加尺寸来合并。

(4)根据得到的等价定位元组得到相应可选的缺失尺寸组,选择其中一组作为这两个刚性体之间的缺失尺寸组。

(5)更新刚性体合并状态,如果刚性体不唯一,则重复上述步骤直到刚性体唯一,期间添加的所有尺寸即为推荐的缺失尺寸组。

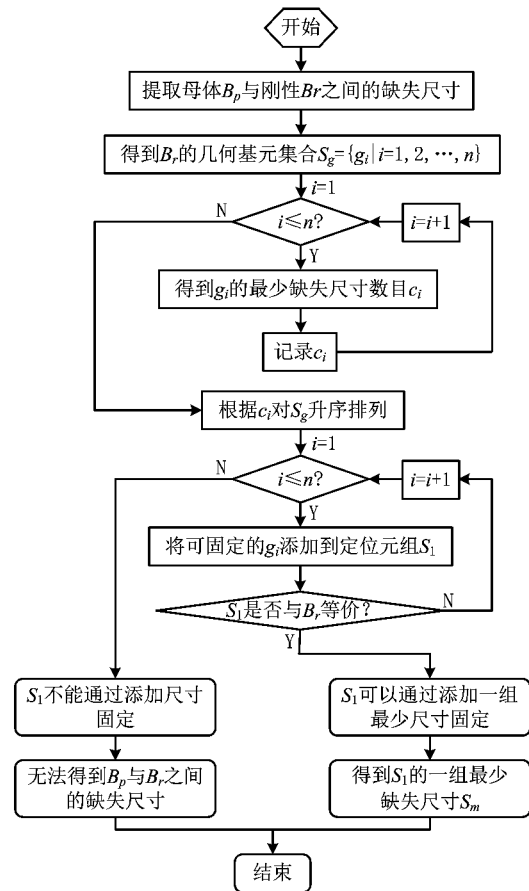


图3 刚性体与母体之间的缺失尺寸提取流程

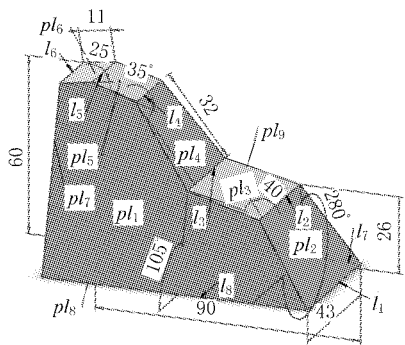
4 实例验证

建立缺少部分尺寸的模型如图 4a 所示,图 4b 所示为该零件的几何约束图。按照刚性体识别法得到该模型刚性体的过程如图 5 所示,图中共有 4 个刚性体。

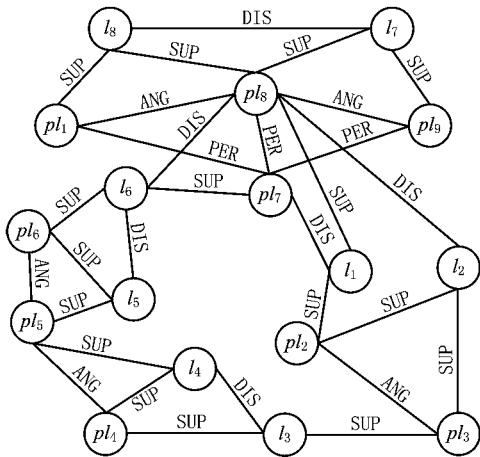
缺失尺寸的推荐过程如下:

(1)选择要添加尺寸的共享几何基元。由于 B_3 和 B_4 间存在未使用的几何约束 $cons(l_3, pl_3) = SUP$,选择 l_3 为共享的目标几何基元,即在 l_3 与 B_4 之间添加尺寸,可以保证添加尺寸最少。

(2)在刚性体 B_4 与 l_3 间添加缺失尺寸。 $cons(l_3, pl_3) = SUP$ 对 l_3 产生的当前轨迹为平面 pl_3 ,根据表 2 可知,当前轨迹的相差轨迹为 PL 或 CY ,进而根据图 2 可知,对应的缺失尺寸类型只能是距离,参考几何基元只能是直线或平面。因此只需在 l_3 与 l_1, l_2, pl_2 之间任意添加一个距离尺寸即可保证 l_3 的目标轨迹为直线,即 l_3 可以加入 B_4 。可选的尺寸为 $cons(l_3, l_1) = DIS, cons(l_3, l_2) = DIS, cons(l_3, pl_2) = DIS$,假设选择添加尺寸 $cons(l_3, l_2) = DIS$,如图 6a 所示,图中粗线表示添加的缺失尺寸。



a 零件尺寸标注模型



b 几何约束图

图4 零件尺寸标注模型与几何约束图

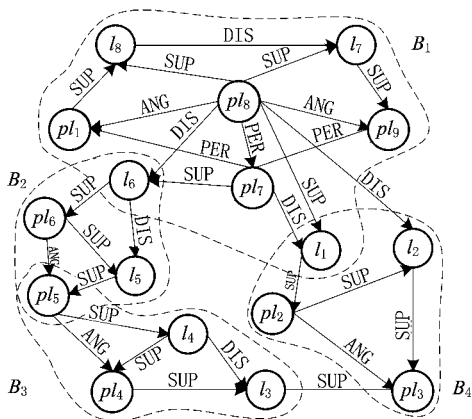
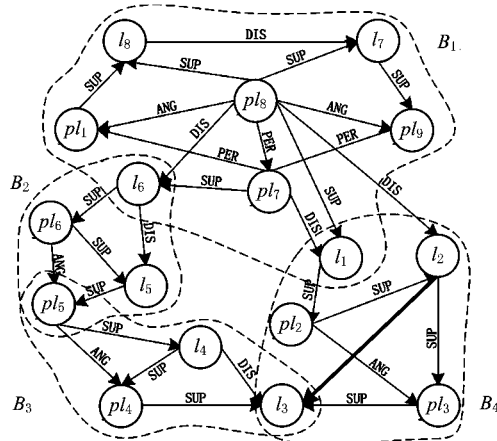


图5 刚性体识别

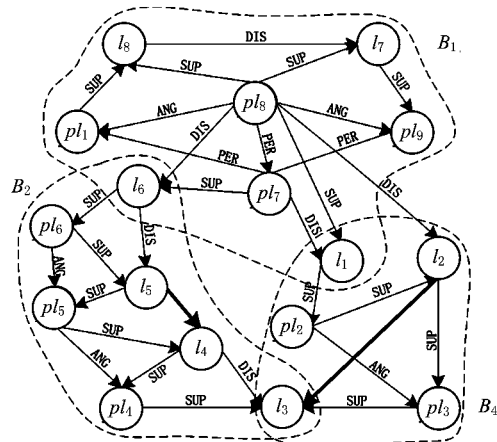
(3)以 B_2 为母体, 在 B_2 和 B_3 间提取缺失尺寸。 B_3 与 B_2 共享 pl_5 , 因此 pl_5 所需的尺寸数为 0, 选择它为第一定位元。按照 3.3 节的方法可知, 其他几何基元所需的最少尺寸数均为 1, 都可以作为第二定位元, 因此选 $\{pl_5, l_4\}$ 为 B_3 的等价定位元组, 则缺失尺寸为 l_4 与 B_2 之间的尺寸。 l_4 的当前轨迹为平面 pl_5 , 根据表 2 可知, 相差轨迹为 PL 或 CY, 进而根据图 2 可知, 对应的缺失尺寸类型只能是距离, 参考几何基元只能是直线或平面。因此, 只

需在 l_4 与 l_5, l_6, pl_6 之间任意添加一个距离尺寸即可保证 l_4 的目标轨迹为直线。可选的尺寸为 $cons(l_4, l_5) = DIS, cons(l_4, l_6) = DIS, cons(l_4, pl_6) = DIS$, 假设添加 $cons(l_4, l_5) = DIS$, 如图 6b 所示, 则 B_3 可以合并到 B_2 。

(4)更新刚性体合并状态。按照刚性体的合并方法添加虚尺寸, 如图 7a 所示。可以固定 l_3 , 即 B_2 和 B_4 均可以合并到 B_1 , 即所有刚体合并为一个, 如

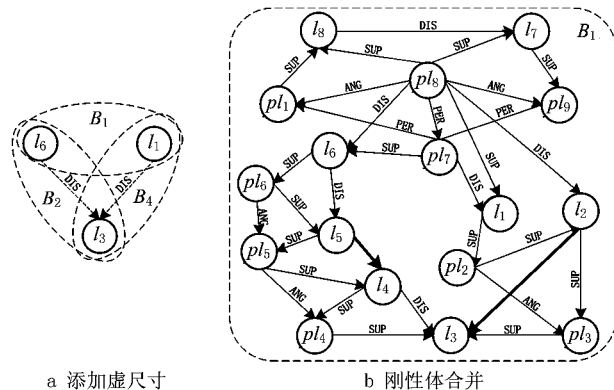


a 缺失尺寸1



b 缺失尺寸2

图6 缺失尺寸提取



a 添加虚尺寸

b 刚性体合并

图7 刚性体合并

图 7b 所示。

(5)推荐的缺失尺寸标注。上述过程添加的缺失尺寸为 $cons(l_3, l_2) = DIS$ 和 $cons(l_4, l_5) = DIS$, 即为推荐的一组缺失尺寸标注。

5 结束语

本文在前期研究的基础上,继续对三维尺寸标注中的缺失尺寸推荐进行深入研究。首先通过轨迹生成方法建立了缺失尺寸与相差轨迹之间的映射关系,通过逆向推理轨迹相交规则建立了相差轨迹的生成规则;然后根据上述规则和映射关系,以尺寸标注数目最少为原则,建立了几何基元的最少缺失尺寸提取流程;再通过分析刚性体的等价定位元组的固定条件,建立了刚性体间的缺失尺寸提取算法;最后给出零件缺失尺寸推荐的总体流程,并以一个尺寸标注模型为例,演示了缺失尺寸的推荐过程,最终实现了模型的完整标注,验证了算法的有效性。下一步研究将综合考虑更多的因素来建立尺寸的优先选择机制,使其更加符合制造要求。

参考文献:

- [1] ZHANG Shuyou, ZHUO Yong. The research on logical coordinate-based redundancy of dimensions in multi-views [J]. Journal of Engineering Graphics, 1997, 18(4): 66-70 (in Chinese). [张树有, 卓勇. 基于逻辑坐标的多视图尺寸冗余性判别[J]. 工程图学学报, 1997, 18(4): 66-70.]
- [2] WANG Heng, NING Ruxin, TANG Chengtong. Automatic generation of 3D assembly dimension chains[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(6): 181-187 (in Chinese). [王恒, 宁汝新, 唐承统. 三维装配尺寸链的自动生成[J]. 机械工程学报, 2005, 41(6): 181-187.]
- [3] KANDIKJAN T, SHAH J J, DAVIDSON J K. A mechanism for validating dimensioning and tolerancing schemes in CAD systems[J]. Computer-Aided Design, 2001, 33(10): 721-737.
- [4] THIMM G, BRITTON G A, FOK S C. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning Part 1: designing to process planning[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 24(3/4): 261-271.
- [5] THIMM G, LIN J. Redimensioning parts for manufacturability: a design rewriting system[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 26(4): 399-404.
- [6] JI Yangjian, ZHANG Shuyou, TAN Jianrong. Completeness testing of dimensioning in multi-views based on space coordi-

nate transformation [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2001, 13(6): 561-565 (in Chinese). [纪杨建, 张树有, 谭建荣. 基于空间坐标转换模型的多视图尺寸完备性检查[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(6): 561-565.]

- [7] CHENG Bin, WANG Yongping. Study on completeness testing of multi-view dimension based on merger of directed graph[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2004, 36(2): 246-249 (in Chinese). [成彬, 王永平. 图归并的多视图尺寸完备性判别方法研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2004, 36(2): 246-249.]
- [8] YANG Bo. Dimension maturity check-up and automatic calculation to engineering drawing based on restriction theory and CR graph[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2005 (in Chinese). [杨勃. 基于约束原理和 CR 图的工程图尺寸信息完备性检验和自动计算[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2005.]
- [9] TAN Zhen. Study on completeness testing of dimensioning in 2D drawing[D]. Shenyang: Northeastern University, 2008 (in Chinese). [谭祯. 二维工程图尺寸完备性检查的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.]
- [10] JOAN-ARINYO R, SOTO-RIERA A, VILA-MARTA S, et al. Revisiting decomposition analysis of geometric constraint graphs[J]. Computer-Aided Design, 2004, 36(2): 123-140.
- [11] VAN DER MEIDEN H A, BRONSVOORT W F. A constructive approach to calculate parameter ranges for systems of geometric constraints[J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(4): 275-283.
- [12] ALDEFELD B. Variation of geometries based on a geometric-reasoning method[J]. Computer-Aided Design, 1988, 20(3): 117-126.
- [13] HIDALGO M, JOAN-ARINYO R. Computing parameter ranges in constructive geometric constraint solving: Implementation and correctness proof [J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(7): 709-720.
- [14] VAN DER MEIDEN H A, BRONSVOORT W F. A non-rigid cluster rewriting approach to solve systems of 3D geometric constraints[J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(1): 36-49.
- [15] CHENG Yalong, LIU Xiaojun, LIU Jinfeng. Completeness testing of sequential dimensions in 3D models based on locus intersection[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(8): 1799-1806 (in Chinese). [程亚龙, 刘晓军, 刘金锋. 基于轨迹相交的三维顺序尺寸标注完备性检查[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(8): 1799-1806.]
- [16] CHENG Y, NI Z, LIU T, et al. An intelligent approach for dimensioning completeness inspection in 3D based on transient geometric elements[J]. Computer-Aided Design, 2014, 53(8): 14-27.

作者简介:

程亚龙(1986—),男,陕西咸阳人,博士研究生,研究方向:计算机辅助装配工艺规划、三维尺寸标注, E-mail: chengyalong_seu@foxmail.com;

刘晓军(1980—),男,河北张家口人,讲师,博士,研究方向:协同数字化设计与制造、计算机辅助工艺设计等;

刘金锋(1987—),男,山东潍坊人,博士研究生,研究方向:计算机辅助工艺设计等;

十倪中华(1967—),男,江苏泰州人,教授,博士生导师,研究方向:现代集成制造系统和网络化制造等,通信作者, E-mail: nzh2003@seu.edu.cn.