

# 基于知识的印刷电路板组装工艺决策系统

孔宪光,仇原鹰,田林

KONG Xian-guang, QIU Yuan-ying, TIAN Lin

西安电子科技大学 机电工程学院,西安 710071

School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China

E-mail: kongxg@vip.sina.com

**KONG Xian-guang, QIU Yuan-ying, TIAN Lin. Print circuit board assemble process decision-making system based on knowledge. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(19): 245-248.**

**Abstract:** The purpose of this paper is to satisfy efficient PCA process planning by using expert system technology and PCA process characteristic. A PCA process design-making expert system based on knowledge is designed and developed. This paper also discusses system work flow, knowledge management and process decision-making flow in detail.

**Key words:** CAPP; Print Circuit Board; expert system; knowledge management; process information knowledge acquirement; process decision-making

**摘要:**为了解决长期困扰 PCA 工艺设计工作问题,引入专家系统技术,结合印刷电路组装技术的工艺和技术特点,应用于印刷电路板组装工艺过程规划,设计并开发了基于知识的印刷电路板工艺决策专家系统,并详细说明了系统的工作流程、知识管理和工艺决策流程。

**关键词:** CAPP; 印刷电路板; 专家系统; 知识管理; 工艺信息获取; 工艺决策

**文章编号:** 1002-8331(2007)19-0245-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.7

## 1 引言

在印刷电路板组装(Print Circuit Board Assemble, PCA)生产中,减少生产准备时间是提高生产率的关键之一,其中很重要是通过缩短印刷电路板的装配工艺规程准备时间来实现的。印刷电路板的装配工艺规程包含有工艺流程、机器设备、工艺方法等重要的工艺信息,是保证整个印刷电路组装生产顺利进行不可缺少的工艺手册和指南。

PCA 工艺设计工作是经验性非常强的工作,不仅要熟悉印刷电路板知识,而且也要对印刷电路板上元器件的正确识别以及工艺参数的选择有详细的了解。过去,印刷电路板的装配工艺规程的生成都是用手工完成的,工艺人员依据自身的经验,参照以前类似的印刷电路组装产品的制造规程,从中选取所需要的工艺信息进行拷贝、粘贴,最后再作一些手工补充输入和编辑修改工作。这样一是没有比较好的手段和方式来保留经验丰富的工艺人员的知识与经验;二是速度慢,重复工作;三是手工生成的产品制造规程易出错;四是产品制造规程工艺文件的质量差异大,不稳定,不利于印刷电路板的装配工艺规程的统一和标准化;五是由于 SMT 的广泛使用,使得印刷电路板上的元器件种类、数量众多,编制工艺规程时需要逐个对这些元器件进行识别,信息量庞大。而对元件信息的获取仍然是主要采用目视观察和人工查找资料手册的方法,然后在头脑中还原重建产品的设计要求,凭借自己的经验进行工艺过程设计与决策。使得工艺员将大量的时间与精力花费在从图纸上识别这些

元器件的工作上。

目前,PCA 工艺设计的前期准备工作周期长,而且易发生错误和遗漏,缺乏全面考虑和优化,这一现状与 PCA 产品越来越快的更新换代速度很不适应。同时我国电子装配领域的 CAPP 应用研究远远落后于其它领域,国内电子设备生产企业成功实施 CAPP 的例子很少。因此如何能够不断积累工艺知识,使用先进工艺编制方式,能迅速方便地生成 PCA 工艺文件已成为迫切需要解决的关键问题之一。

## 2 系统工作流程

工艺员进行印刷电路板装配工艺设计时,首先根据印刷电路板上元器件分布状态和元器件的特性,决定采用的安装方法(表面贴装、通孔插装或混装)以及两种方法的使用顺序(根据先装印刷电路板两个面的安装顺序而定)。继而,将每种安装方法对应的工艺路线合并在一起,形成一条完整的工艺路线,最后根据元器件的特性决定各工序的参数。印刷电路板装配常用的工序比较固定,主要有准备工序、焊膏涂敷工序(手工焊膏涂敷或丝网印刷)、贴片工序(手工贴片或贴片机贴片)、焊接工序(波峰焊接或回流焊接)。这些有规律的经验 and 流程可以作为 PCA 工艺设计知识保存下来。

因此印刷电路板组装工艺决策系统可以利用工艺知识库中存储的知识,结合用户交互式输入,完成印刷电路板装配工艺编制,运用工艺知识,进行数值计算和逻辑决策,采用判定树

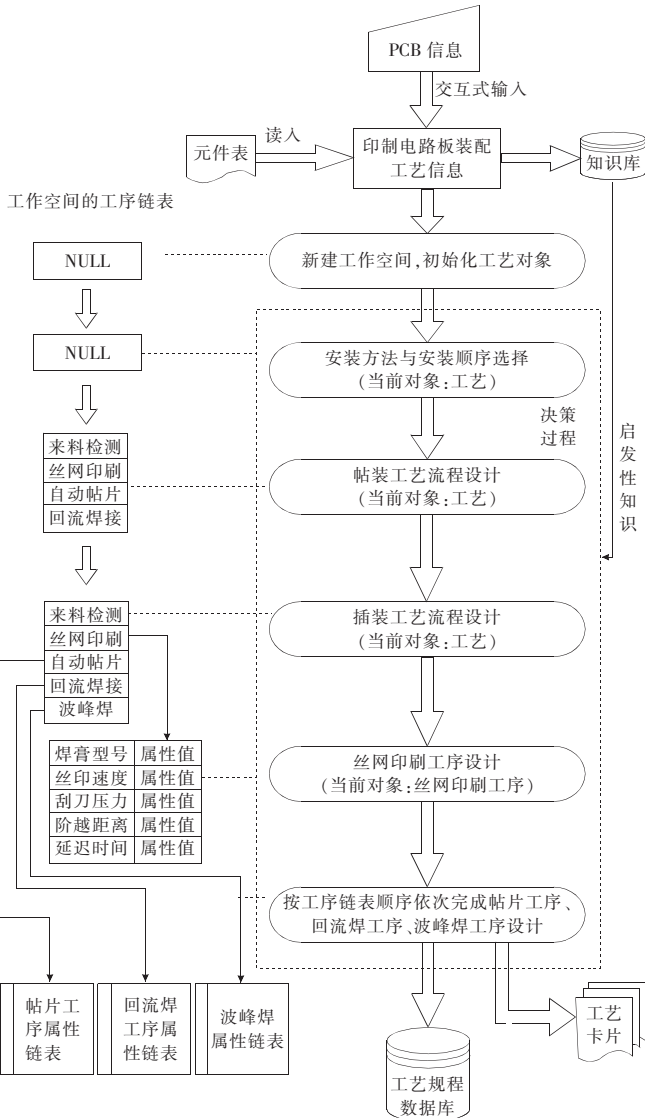


图1 印刷电路板装配工艺决策系统工作流程

搜索方式的正向推理方法,完成各个工艺设计任务,包括印刷电路板与元器件信息的获取与识别,安装方法与安装顺序的选择,工艺路线的制定与装配工序工艺参数确定的任务。系统首先获取印刷电路板装配工艺信息,调用安装方法与安装顺序选择方法,确定印刷电路板总体工艺路线,继而调用SMT与THT设计方法对工艺路线进行细化,最后针对工序链表中的所有工序,调用其对象类下的方法完成工序的详细设计。

### 3 印刷电路板装配工艺知识处理

对于印刷电路板装配工艺,知识更多的是以规则的形式表现出来,例如“如果印刷电路板上通孔插装类元件,就采用通孔插装方法”等。对这些知识需要按照其功能进行划分,通过对象类与方法将它们组织起来。

对象方法是工艺决策知识的组织单元,是具有相同决策功能的规则的集合。一个对象可有多个对象方法,每个对象方法包含多条完成某一决策任务的产生式规则。在对象方法定义时确定对象方法名称、推理方式(按权重排序单一推理、按权重排序多重推理、按规则顺序多重推理)等。如“回流焊工序”类下的“参数选择”方法等。

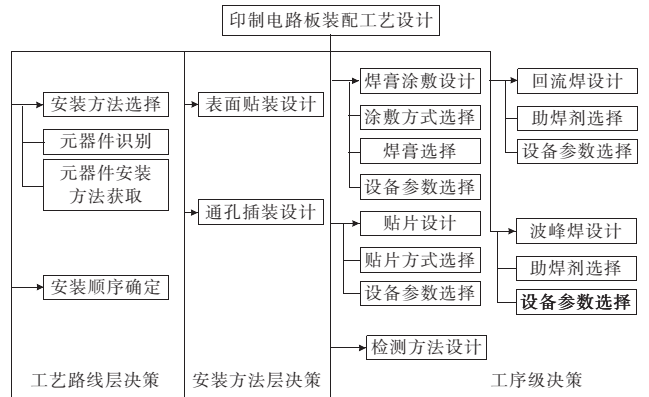


图2 印刷电路板装配工艺知识分类

为了保持工艺决策规则在语法、语义上的正确性,在进行对象方法的维护时,需要进行规则的预编译处理。图3是印刷电路板装配工艺决策系统中产生式规则表示方法的表示方法。

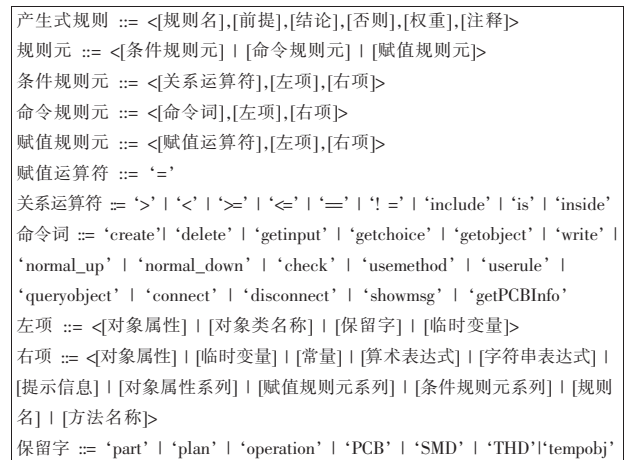


图3 产生式规则表示范式(部分)

### 4 PCA 工艺决策过程

#### 4.1 印刷电路板装配工艺信息获取

印刷电路组装的零件信息与机械制造工艺中的零件信息有很大的差别,它主要指上述那些电子元件的机械特性和电气特性,这也是由印刷电路组装工艺的特殊性所决定的。影响PCA工艺编制的印刷电路板的信息包括:印刷电路板的层数,印刷电路板的厚度、材料,印刷电路板长度、宽度等。获取印刷电路板信息的最理想方式是直接读取印刷电路板的设计文件,这种方式不仅准确性高,而且避免了电装工艺人员重复输入印刷电路板的设计信息,提高了工艺编制的效率。但是,目前印刷电路板设计部门所采用的CAD系统类型众多,很难统一。考虑到系统需要获取的印刷电路板信息种类不多,而且电装工艺师很容易从CAD文件中识别出这些信息,本系统采用交互式输入印刷电路板信息。表1是采用电装工艺知识表示语言描述的印刷电路板信息获取方法。

除印刷电路板的信息外,另一个重要因素是印刷电路板上电子元器件的类型以及分布状态。在PCA实际生产中,常采用下面几种元件信息的输入方法,即物料单(BOM)方法、元件库方法以及CAD方法。本系统采用物料单与元器件库相结合的方法,对PCA元器件信息进行描述。在进行PCA工艺决策的过程中,系统首先从物料清单中读取所有的元器件信息,并从中获取对工艺决策过程有用的信息,对于从元件清单中无法获

表 1 印刷电路板工艺信息获取方法

对象类	方法名称	前提(if)	结论(then)
印刷电路板 组装工艺	印刷电路板工 艺信息获取	TRUE	GetInput s1 “请输入印刷电路板层数” GetInput s2 “请输入印刷电路板厚度” GetInput s3 “请输入印刷电路板材料” GetInput s4 “请输入印刷电路板长” GetInput s5 “请输入印刷电路板宽” Create 印刷电路板 (PCB_LAYER≈s1, PCB_WIDTH≈s2,PCB_MATERIAL≈s3, SIZE_X≈s4,SIZE_Y≈s5)

取的信息(如安装方法等),可以从元器件库中获取。通常,上述的物料清单为 Word 文件或 Excel 文件,考虑到其表格的格式可能会根据企业标准化部门的要求发生一些变化,为保证表格格式发生变化后仍然能够准确读取元器件信息,并且无需对 PCA 工艺决策系统的主程序进行改动,系统采用模块化的思想,将读取物料清单的程序独立于系统之外,在物料清单格式发生变化时,只需修改物料清单读取程序,而无需改动主程序,易于系统维护。

#### 4.2 安装方法与安装顺序选择

根据印刷电路板元器件分布情况确定印刷电路板是单面

装配还是双面装配。进而,对于单面装配确定是使用表面贴装还是使用通孔插装或是两种方法混合使用,并给出使用两种方法的先后顺序;对于双面装配,则还需要考虑印刷电路板两个面的装配顺序。安装方法与顺序的选择任务为 PCA 工艺决策系统生成一个粗略的工艺路线框架,不考虑具体每一种安装方法内部的工艺流程设计。

#### 4.3 SMT 与 THT 工艺流程决策

对于每一种安装方法其内部的工艺流程大体是固定的,如贴装方法都需要按照焊膏涂敷、贴片、焊接的顺序完成,但是由于印刷电路板装配信息各不相同,每种工序又可以采用不同的方法,比如贴装方法中的焊膏涂敷工序,又可以根据印刷电路板上的元器件数量、引脚数的多少决定分别采用手工焊膏涂敷或机器焊膏涂敷(也称丝网印刷)。

##### (1) 表面贴装(SMT)工艺决策

系统首先通过全局变量 S9 获取当前的装配面(A 面/B 面),继而根据当前装配面上分布的元器件信息与系统知识库内存储的规则,完成表面贴装方法设计。下面是实现上述贴装方法工艺决策过程所用知识的产生式规则表示。

表 2 中, F1~F3 都是系统浮点型变量, S1 为字符串型变

表 2 贴装方法工艺决策过程所用知识的产生式规则

规则号	前提(IF)	结论(THEN)	否则	权重
1	S9='A'	F1=A_SMT_MUM F2=A_SMT_FEET_MAX F3=A_SMT_DIST_MIN S1=A_SMT_SEAL	F1=A_SMT_MUM F2=A_SMT_FEET_MAX F3=A_SMT_DIST_MIN S1=A_SMT_SEAL	100
2	F1<10 AND F2<8 AND F3>1.27 AND	S2='手工焊膏涂敷'	S2='丝网印刷'	100
3	S2='手工焊膏涂敷'	Create 手工断续焊膏涂敷 Create 手工贴片 Create 回流焊接		100
4	S2='手工焊膏涂敷'	Create 手工连续焊膏涂敷 Create 手工贴片 Create 回流焊接 Create 丝网印刷		100
5	S2=='丝网印刷'	Create 自动贴片 Create 回流焊接		100

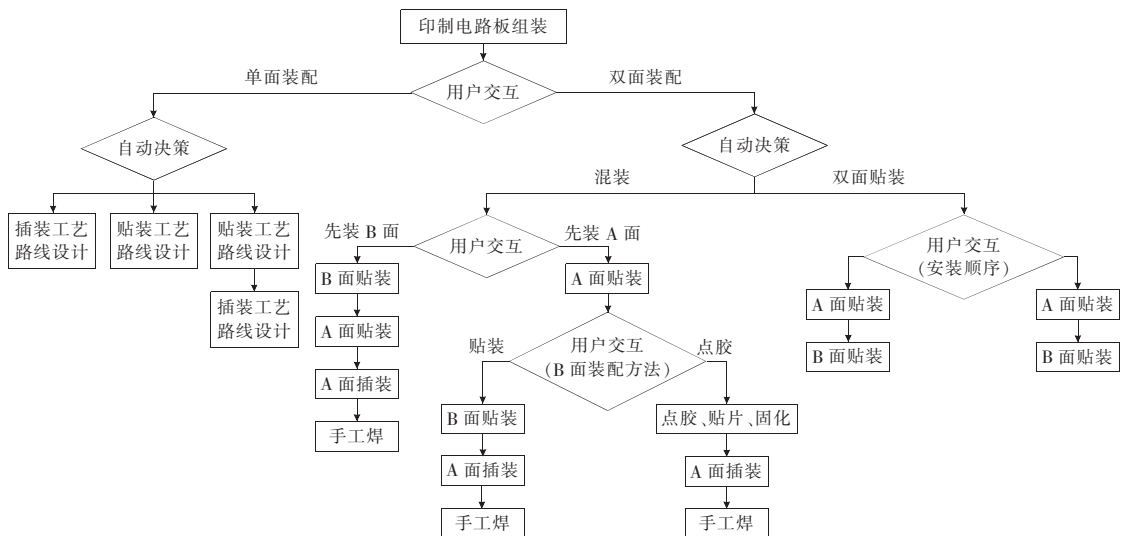


图 4 印刷电路板安装方法与安装顺序选择决策流程

量,其各自含义如下:

- F1:当前装配面上 SMT 元件的个数;
- F2:当前装配面上 SMT 元件引脚数的最大值;
- F3:当前装配面上 SMT 元件引脚间距的最小值;
- S1:当前装配面上 SMT 元件的封装结构。

#### (2)通孔插装(THT)工艺决策

插装子工艺路线适用于通孔插装类电子元器件的装配,其设计过程较贴装的工艺流程设计简单,主要是进行焊接方法的选择。表3是实现上述插装方法工艺决策过程所用知识的产生式规则表示。

表3中 F1、F2 含义如下:

- F1:印刷电路板当前安装面上通孔插装类元器件总和。
- F2:印刷电路板当前安装面上通孔插装类元器件引脚总和。

表3 插装方法工艺决策过程所用知识的产生式规则

规则号	前提(IF)	结论(THEN)	否则	权重
1	S9=='A'	F1=A_THD_NUM F2=A_THD_FEET_NUM	F1=B_THD_NUM F2=B_THD_FEET_NUM	100
2	F1<10 AND F2<50	Create 来料检测 Create 手工焊	Create 来料检测 Create 波峰焊	100

#### 4.4 工序级工艺决策

工序级工艺决策就是根据系统已生成的工艺路线,对工艺路线中的每一道工序,调用其对象类下的方法,完成工序的详细设计,给出每道工序的工艺参数。

由于 PCA 工艺路线的灵活性不大,可能的变化情况不多,所以工艺路线层的工艺决策过程所用到的知识量在整个 PCA 工艺设计过程占用的比例并不是很大。而工序级工艺决策则不同,由于电装工序的工艺参数选择非常复杂,要考虑的因素包括印刷电路板基板、元器件特性、所用的组装设备等。存在的情况很多,因此工序级工艺决策所用到的知识在整个 PCA 工艺决策系统所用知识中占很大比重。工序级工艺决策知识的多少决定着 PCA 工艺决策系统的好坏,搜集、整理、存储的工艺知识越多,系统生成的 PCA 工艺规程准确性就越高。

进行工序级工艺决策首先需要明确每一种电装工序需要确定的工艺参数,继而搜集相关知识,并对其进行分类整理,确定每一种电装工序工艺决策所需的知识,录入系统知识库,为

系统进行工艺决策提供依据。目前,企业常用的印刷电路板装配工序有焊膏涂敷(分手工点膏和丝网印刷)、贴片(手工贴片和机器贴片)、焊接(焊接 SMD 元件使用回流焊接、焊接 THD 元件使用波峰焊)、点胶、检测等,各工序都有具体需要确定的参数。这些工序参数大多数是一种经验值,往往都是反复试验后确定下来的最适合企业情况的数据,其结果来之不易。这些参数一旦确定下来后就会以典型工艺的形式固定下来,这为进行工序级工艺决策提供了丰富的数据。

#### 5 结束语

面对传统印刷电路板组装工艺设计存在的诸多问题,作者将专家系统技术结合印刷电路组装技术的工艺和技术特点,应用于印刷电路组装工艺过程规划,设计并开发了基于知识的印刷电路板工艺决策专家系统,它的成功开发将发挥以下作用:

- (1)大大提高电子装配领域的 CAPP 应用深度。
- (2)方便获取印刷电路板设计图纸上的元器件信息,提高信息集成水平,减少重复性工作,提高效率。
- (3)通过工艺知识库管理,使得印刷电路板工艺知识与经验有效保留与利用。
- (4)通过半自动化的工艺决策过程,使得工艺编制方式更加先进,标准化程度提高。(收稿日期:2006年11月)

#### 参考文献:

- [1] 倪中华,易红.敏捷制造模式下面向快速重组制造系统的 CAPP 原型系统研究[J].计算机集成制造系统,2002(4):20-34.
- [2] Marri H B, Gunasekaran A, Grieve R J. Computer-aided process planning: a state of art[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2000(14):261-268.
- [3] Norman R J. 面向对象系统分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [4] 孔宪光. 面向行业 CAPP 的理论、技术与方法[D]. 西北工业大学, 2005.
- [5] 孙宝兰. CAPP 信息建模与工艺决策的研究[D]. 燕山大学, 2001.
- [6] 许建新, 孔宪光, 张振明, 等. 知识基综合智能化工艺设计技术研究[J]. 西北工业大学学报, 2002, 20(1):132-136.
- [7] 王润孝, 赵旭, 冯志华. 印刷电路组装 CAPP 系统的应用研究与开发[J]. 机械工程学报, 2004(5):30-36.

(上接 224 页)

视角无关的识别算法。另外巡线机器人采用双目立体视觉测量障碍物的空间位置,要求精确标定摄像机的内外参数,且工作过程中不能改变,无法与其它用途(如线路缺陷视觉检测)共享摄像机。为节省安装空间,减少重量和电源供应,采用单目共享摄像机测距是下一步研究的方向。本文研究内容局限于仅用视觉传感器实现巡线机器人的导航控制,若采用触觉传感器、接近传感器(红外、光纤、超声、电磁等),通过多传感器信息融合技术,可进一步提高巡线机器人导航可靠性。

(收稿日期:2007年1月)

#### 参考文献:

- [1] Sawada J, Kusumoto K, Munakata T. A mobile robot for inspection

- of power transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1991, 6(1):309-315.
- [2] Peters J F, Ahn T C, Borkowskii M. Obstacle classification by a line-crawling robot: a rough neurocomputing approach[C]//Proceedings of the Third International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing-Lecture Notes in Artificial Intelligence. London, UK: Springer-Verlag, 2002:594-601.
- [3] Peungsungwal S, Pungsiri B, Chamnongthai K, et al. Autonomous robot for a power transmission line inspection[C]//ISCAS 2001, The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Sydney, NSW Australia, 2001:121-124.
- [4] 马颂德, 张正友. 计算机视觉[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理分析与机器视觉[M]. 2版. 北京: 人民邮电出版社, 2003.