第 12 卷 第 2 期　　半 导 体 学 报　　Vol. 12, No. 2
1991 年 2 月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Feb., 1991

GEDS 中的联机增量式设计规则检查及其实现

应昌胜　　洪先龙　　王尔乾
(清华大学计算机系,北京, 100084)

1989 年 8 月 1 日收到,1990 年 6 月 26 日修改定稿

版图的联机增量式设计规则检查 (IDRC) 是指在版图设计过程中随设计的进行渐进完成版图设计规则检查. 我们在版图交互编辑系统 GEDS 中嵌入并实现了一个 IDRC 过程. 文中介绍了基本的设计规则检查算法和 IDRC 的实现策略. 结合版图的分级设计还讨论了分级设计规则检查方法.

主题词　设计规则检查,版图设计,计算机辅助设计

一、引　　言

计算机辅助设计 (CAD) 技术已广泛应用于集成电路版图设计, 其中交互图形编辑仍是目前设计全定制电路版图的主要手段. 在版图的交互设计和编辑过程中, 难免不出错,因此版图验证就是保证设计正确所不可缺少的了. 版图错误主要有以下三类:

a. 几何设计规则错误: 如违反最小宽度、最小间距、最小交叠、最小覆盖等设计规则;由此导致芯片成品率降低甚至失效.

b. 连接性错误: 如短路、断路、孤立元件、冗余图形等.

c. 电性能错误: 如不满足电性能要求等.

这三类错误中,以第一类为最多. 因此,许多 CAD 系统都提供一个设计规则检查(DRC)程序以验证版图设计结果.

通常的设计规则检查程序是在版图编辑完成后运行, 这称为"脱机"方式的设计规则检查. 随着电路复杂性的增大,脱机检查花费的时间很长, 并且错误的定位也趋于困难. 新近出现一种"联机"增量式设计规则检查 (IDRC) 方法[1],其基本思想是: 在版图设计过程中进行设计规则检查,实时监视版图的设计和修改,渐进完成检查. IDRC 具有下列特点:

a. 局部性: 它随着设计的进行分区检查版图,速度快,错误定位准确.

b. 实时性: IDRC 追踪设计过程,随时报告出错信息,避免错误的累加和传递.

c. 透明性: IDRC 在后台持续执行,是一"自动监视器",对用户透明.

我们在版图交互编辑系统 GEDS[2] 中实现了版图设计的联机增量式设计规则检查.

二、GEDS 中版图的表示

在描述设计规则检查算法之前首先介绍 GEDS 系统中版图的表示. GEDS 是一个交互式版图编辑系统,计有增、删、移动、拷贝、阵列、镜像变换等十几类交互命令. GEDS 的基本图形元素有正交矩形、斜矩形、正交多边形、任意多边形、圆、圆弧、连线等. GEDS 支持分级版图设计,以单元为单位来组织分级设计,一个单元由低一级的子单元或基本图形元素组成. 版图的表示采用多级索引的数据结构,如图 1 所示.

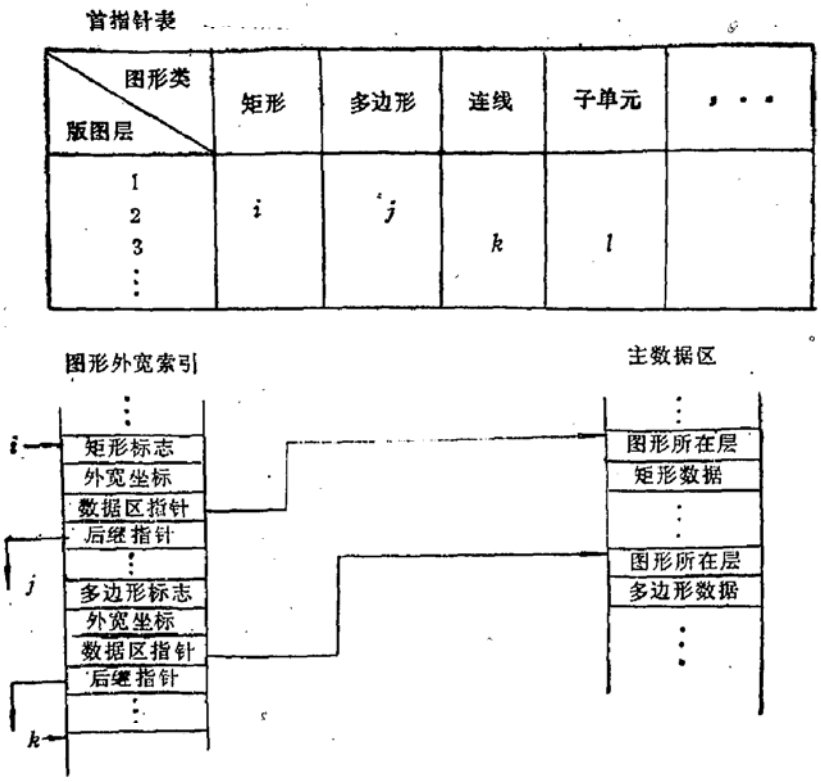

图 1　版图表示的数据结构

主数据区存放各图形元素的座标位置信息,它通过图形外宽索引来访问;图形外宽索引的每个记录中存放了各图形元素的最小外框坐标数据，一个图形元素的最小外框是指包含该图形元素的最小正交矩形. 在图形外宽索引中,同层同类的图形链接在一起,各记录等长. 外宽索引的入口通过首指针表访问. 首指针表存放图形元素索引的首地址，由图形类型和所在层组成的二元组索引得到.

此外,在交互设计和编辑过程中，GEDS 还维护着一个当前屏幕图形的索引——"窗口索引",窗口索引用来检索当前屏幕图形，由于屏幕工作区域多数情形下只是版图上的一个局部区域,设置窗口索引可以迅速完成版图数据的检索与更新. 窗口索引也包括首指针表和图形外宽索引,它是整个版图索引的一个冗余子集.

GEDS 系统中包含一个联机设计规则检查过程 IDRC. IDRC 基于相同的版图表示

数据结构。窗口索引使得 IDRC 过程可以迅速访问落在屏幕窗口内的图形元素。

三、图形宽度和间距检查算法

1. 宽度检查

一个图形的最小宽度是指该图形中非相邻边之间距离的最小值。图 2 给出了三种最小宽度情形，要求“w”不小于设计规则所允许的最小宽度值。最小宽度检查在每个图形元素插入时就进行。

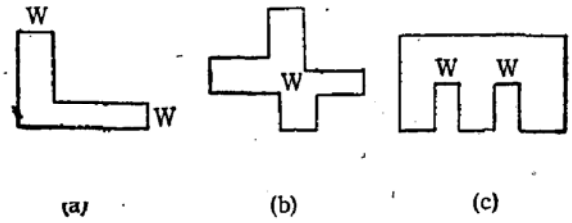

图 2 图形的最小宽度
(a) 外部宽度 (b) 斜向宽度 (c) 凹口宽度

正交图形(各边走向为水平或垂直，如正交多边形和正交矩形)的最小宽度计算分两步进行：

a. 顺(或逆)时针遍历图形各顶点，确定各边走向(向上、向下、向左或向右)；

b. 计算每对逆向边(上下、左右)之间的距离，取最小值。

任意多边形最小宽度的计算稍为复杂些，因为有任意走向的斜边，需要检查每两个不同走向非相邻边的间距。

2. 间距检查

间距检查是设计规则检查的主要内容。两个图形之间的间距可以分为边与边及顶点与顶点两类情形处理。如图 3 所示，要求“d”不小于设计规则所允许的最小间距值。

这里提出一个“条扫描 (BarScan)”方法做图形间距检查。条扫描把静态的二维比较问题转化为动态的一维比较问题。在条扫描法中，设有一“工作池”，过程是用一垂直

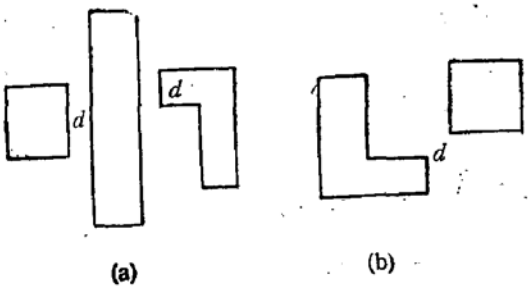

图 3 图形之间的间距
(a) 边之间 (b) 角之间

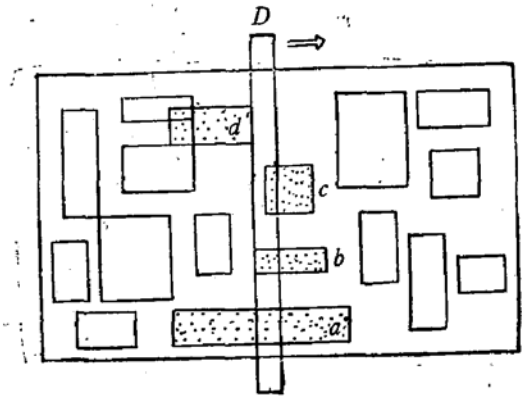

图 4 条扫描法

(或水平)、宽度为 d 的"条"，d 是设计规则中的最小间距值，自左向右(或自下而上)扫描版图，在每一时刻，相交于条的图形进入工作池，然后检查工作池中的每两个图形元素之间的间距。如图 4 所示。

条扫描过程中，先避开各个图形的具体形状，以各图形的矩形外框边界为扫描对象，图形外框边界在索引表中已经存在。当确认两个图形外框之间的间距小于最小间距的设计规则时，再进一步检查这两个图形的间距；矩形外框的检查要比具体图形之间的检查容易的多，因此大大加快了检查速度。

假设N为待检查区域中图形元素的个数，D为允许的最小间距，条扫描从左到右进行，条扫描算法用类 C 假语言描述如下：

```
BarScan( )
    Buffx(1:2N)<—所有图形元素外框的横坐标;
    Sorting(Buffx); /*从小到大排序*/
    p = 1; 并置"工作池"为空;  /*p为当前条的位置*/
    WHILE (p ≤ 2N){
        i = p; Xp = Buffx(p);
        WHILE (Buffx(i) ≤ Xp + D && i ≤ 2N){
            若 Buffx(i) 是一图形 (j) 外框的左横坐标,则把 j 插入工作池; i = i +
            1;}
        计算工作池中任意两个图形的间距,间距小于D则报告出错位置;
        WHILE(Buffx(p) = Xp&& p ≤ 2N){
            若 Buffx (p) 是一图形 (j') 外框的右横坐标,则在工作池中删去 j'; p=
            p + 1;}
    }
```

例如，在图 4 中，阴影图形 (a,b,c,d) 为当前扫描时刻在工作池中的图形，其中图形 b 和 c 是刚插入工作池的，图形 d 待完成当前工作池中图形的间距检后将从工作池中删去，下一时刻条移到图形 c 的左边。

条扫描算法中要求排序被扫描对象的坐标，排序的计算复杂性为 O(NlogN)。由于条的宽度为一定值，每一时刻进入工作池的图形个数只与版图上图形分布密度有关，与N无关。一般地，条扫描法的平均计算复杂性为 $\Omega(N^{1.5})$。

四、IDRC 的实现

IDRC 的基本思想是：设计变化一部分就检查一部分，每次检查代价正比于图形修改区域的大小。它作为 GEDS 的一个子进程在后台运行，读取前台 GEDS 进程关于版图变更的信息，检查设计发生变化的区域，检查结果报告 GEDS，由 GEDS 在屏幕上实时显示。图形最小宽度和最小面积的检查在图形元素插入时就在前台 GEDS 进程中完成；而间距检查则安排在后台 IDRC 进程中完成。

IDRC 过程是借助 Unix 操作系统提供的子进程机制和管道 (Pipe) 机制来实现

的，通过管道机制沟通 GEDS 进程和 IDRC 进程之间的信息交换，GEDS 通过管道传递版图设计的变更信息给 IDRC，IDRC 通过管道回送检查结果。IDRC 进程由 GEDS 进程创建。GEDS 进程在执行完一个操作命令等待用户输入下一条命令的时刻，开启 IDRC 进程并传递 IDRC 所需信息，这样在前台 GEDS 进程接收用户命令的同时，IDRC 进程在后台完成前一命令涉及区域内图形的间矩检查。

前台 GEDS 进程接收命令完毕时，发出中断信号给 IDRC 进程；IDRC 进程接收到中断信号后回送检查结果，然后停止执行。这时有两种可能，一是 IDRC 进程已经完成了整个要求区域的检查，或者是只完成了部分要求区域的检查，如果是后一种情形，则 IDRC 进程还须记录下未检查区域的大小和位置，留待下一次被启动后继续完成检查。

在一个版图的交互设计过程中，大部分的图形编辑操作都仅限于工作窗口。工作窗口对应的是设计的局部区域，由于 GEDS 设置了"窗口"索引，窗口内图形元素的访问可以迅速完成。因此在大多数情形下 IDRC 进程利用一次用户输入命令的间隙已足够完成一个操作命令所要求的检查；对少数一些涉及较大区域的图形操作，IDRC 进程可能需要利用多个接收命令的间隙来完成一个操作命令所要求的检查。

IDRC 进程对用户透明，用户对检查要求的控制是通过前台 GEDS 进程提供的命令来进行的，这些命令包括设置设计规则(如最小间距等)、控制是否进行联机设计规则检查等。

五、分级检查

这一节讨论分级构造版图的设计规则检查。交互版图的设计一般都是自下而上分级构造的，GEDS 支持分级设计方法，以单元为单位组织版图，如图 5 所示，每个单元由基本图形和子单元组成，单元调用层次不限，但不允许出现循环调用，如单元 A 调用单元 B、单元 B 单元调用单元 C、单元 C 又单元调用单元 A。因此，IDRC 不仅要检查基本图形之间的间距，还要检查子单元之间、子单元和基本图形之间的间距。

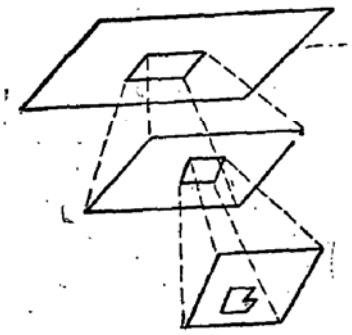

图 5 单元的分级组织

IDRC 的原则是：被调用插入当前编辑单元的子单元，均视其为正确的，做为"黑盒子"处理，边界为矩形，也是条扫描的对象。当一个子单元与其他子单元或基本图形可能有间距错误时，就展开相关子单元，对子单元边界图形做进一步的检查，展开子单元时，根据它被调用的格式(如旋转、镜像等)做相应的变换。由于单元的多层调用，有可能要进行单元的多层展开。

六、实验与结论

IDRC 过程用 C 语言在 PCS-68000 上实现，运行在 Unix 操作系统下。联机增量式设计规则检查是一个渐进的过程，每次 IDRC 进程的执行开销是很小的。IDRC 进程

只是在等待用户输入命令的时间段内执行，不影响前台命令的执行效率。实例运行表明，它对提高设计质量、缩短设计周期是很有效的。IDRC 对用户透明，监视但不妨碍用户的设计，是训练版图初级设计者避免几何设计规则错误的有力工具。

参　考　文　献

[1] G.S. Taylor and J.K. Ousterhout, in Proc. 21st Design Automation Conf., June, 1984.
[2] 应昌胜，洪先龙，第四届全国数字系统设计自动化年会论文，1986 年 12 月。

An On-Line Incremental Design Rule Checker in GEDS

Ying Changsheng,　Hong Xianlong　and　Wang Erqian
(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing)

Abstract

A new technique of on-line incremental design rule checking "IDRC" is presented. It checks violations of the design rules in accompany with the interactive mask layout design and reports the errors immediately whenever they are detected. We have embedded an IDRC routine into a layout editor named GEDS. The algorithms for basic operations of design rule checking are described. The scheme for the hierarchically constructed layout design is also discussed.

Key words　Design rule checking, Layout design, CAD