第10卷 第11期
1989年11月

半导体学报
CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS

Vol. 10. No. 11
Nov., 1989

群法及其在 LSI/VLSI 自动布图设计中的应用

俞明永 马佐成 庄文君
(中国科学院半导体研究所,北京)

1988年11月10日收到

本文系统、深入地研究了 LSI/VLSI 自动布图设计中的群法问题. 引入了一系列新的概念:如稳定群、稳定群的级、绝对封闭群等. 得出并证明了稳定群的一些重要性质. 本文认为,历史上群法中一种非常重要的评价参量,群强度,是不可靠的,并成功地用稳定群代替. 用本群法得到的结果与历史上典型群法得到的结果进行比较,结论是非常令人满意的.

主题词: LSI/VLSI; 布图; 群法; 划分

一、引　言

一般来说,群法所研究的问题是根据连接关系进行电路划分的问题[1-6]. Breuer 提出的 Min-cut[6] 方法是一个很好的划分方法,但存在缺点:(1)每次划分所产生的子块数一定;(2)要求当前所产生子块所含模块数基本相等或所含模块的面积和基本相等. 这种约束可能会导致结果不是最优,甚至不合理. 历史上群法[1-5]在衡量一些单元是否结为群时,群强度或联接强度[1-5]被广泛地采用. 但本文认为把群强度或联接强度作为衡量是否结群的标准是不可靠的. 因为计算联接强度起码需考虑以下四点:(1)线网在各单元的分布情况,(2)与单元数的关系,(3)与单元形状的关系,(4)多点线网的处理方法. 而这四个方面是极难完善考虑的,且历史上群法只对上述四点中的三点或二点进行了考虑. 因此,历史上群法是不能令人满意的. 本文的思想是针对历史上群法的不足之处,提出一个能适应任一布图模式的新群法. 在点模型、二点线网情况下,所得结果是非常令人满意的. 进一步的研究及应用将在以后文章中介绍.

二、理　论

为了建立一种能适应任一布图模式的令人满意的群法,在系统地分析研究的基础上,本文提出了下述群法.

群是一组任意单元的集合. 如果一个群被任意地分成两部份, partI 及 partII, 那么, NI 及 NII 是 partI、partII 中的单元数, CSET 表示整个电路的集合. N(partI, partII) 表示 partI 与 partII 互连的线网数.

稳定群是满足下列约束的一个群:

$$\begin{cases} N(\text{partI},\ \text{partII}) > N(\text{partI},\ (SET - (\text{partI} \cup \text{partII}))) \\ N(\text{partI},\ \text{partII}) > N(\text{partII},\ (SET - (\text{partI} \cup \text{partII}))) \end{cases}$$

本约束表明,若把任意一群任意分为二部分,若这二部分之间的连接度大于各自与群外单元的连接度,则该群为稳定群.

下面介绍一些新名词.

绝对封闭群是一个稳定群,且在该群中再加入任意个单元,均不形成稳定群.

对于一稳定群,若其任一子集均不构成稳定群,则称为一级稳定群. 若在一稳定群中存在一组子稳定群,最高为 n 阶,则称原稳定群为 $n+1$ 级稳定群.

稳定群性质: 稳定群级越高,外线网数越少.

证明: 设存在一组稳定群 $SC_1, SC_2, \cdots, SC_n$, 其级分别为 $L_1, L_2, \cdots\cdots L_n$, 令集合

$$C = \bigcup_{i=1}^{n} SC_i,$$

且 c 构成稳定群,则其级 $= \max(L_1, L_2, \cdots, L_n) + 1$. 下面讨论外线网数.

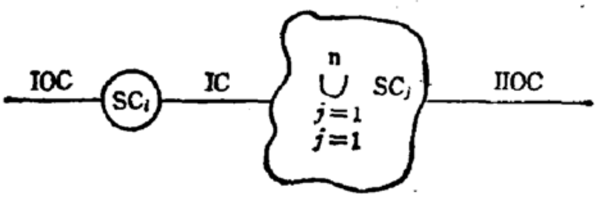

图1 稳定群连接度示意图

对集合 c 中任一稳定群 sc_i, 令其外线网数为 OC_i, 从图1可知:

$$IOC + IC = OC_i \tag{1}$$

$$IC > IOC \tag{2}$$

$$IC > IIOC \tag{3}$$

由(3)式可知:

$$IOC + IC > IOC + IIOC \tag{4}$$

而 $IOC + IIOC$ 为稳定群 C 的外线网数. 所以从(1)及(4)可知, 稳定群 c 的外线网数一定比其内任一子稳定群的外线网数少,即稳定群级越高,外线网数越少.

由上述性质可知,随着不断结群,稳定群的级不断提高, 外线网数不断减少. 到一定程度,将受形成稳定群的约束条件的限制, 不再形成稳定群. 这就不象历史上群法那样,群可任意扩大. 而不收敛.

定理1: 稳定群内任一真子集,均不会与其它任何单元集合形成稳定群.

证明:

设 c 是稳定群,任意分为二部分, c_1 和 c_2, 若 c 中任意某部分(假定为 c_1)与其它单元集 c_3 形成一稳定群,必须有:

$$N(c_1, c_3) > N(c_1, c_2) \tag{5}$$

而由已知条件 c 是稳定群可得:

$$N(c_1, c_2) > N(c_1, c_3) \tag{6}$$

因此，(5)不可能成立，故定理 1 得证。

由定理 1 可知，对于稳定群，其内部任一真子集均不会与任何其它单元集结为稳定群。因此，在群构造过程中，可将稳定群作为一个整体看待，从而大大减少时间复杂度。

定理 2：设存在一组稳定群集合

$$cs = \bigcup_{i=1}^{n} cs_i$$

及一组单元集合 cc，$cs \cap cc = 0$，集合 $c = cs \cup cc$，将稳定群 sc_i 视为一‘单元’（$i = 1, 2, \cdots, n$），把集合 c 任意分成二部分，若满足约束，则集合 c 构成稳定群。

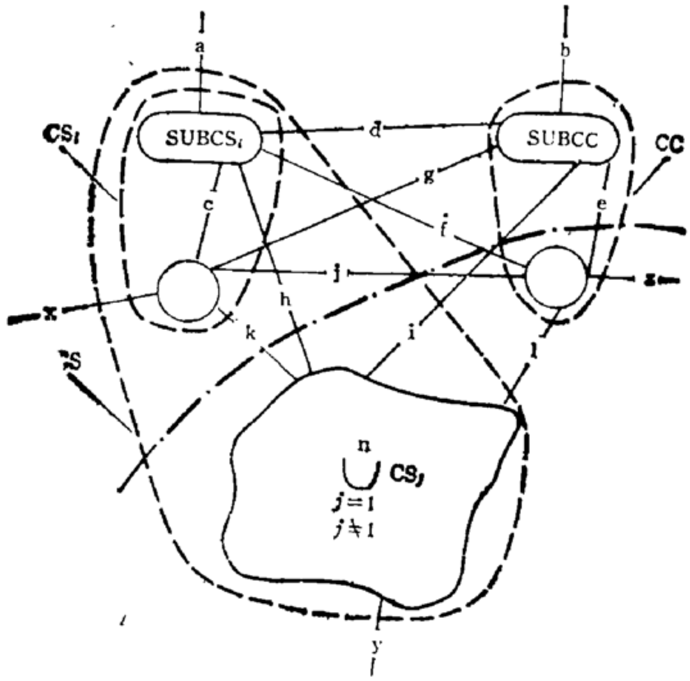

图 2　集合 c 的分割

分析：

由已知条件可知，集合 c 中任意稳定群 cs_i 与集合 cc 中任一部分均满足约束，因此只要证明 cs_i 中任一部分与 cc 中任一部分也满足约束。即要证明：

$$N(subcs_i \cup subcc, c - subcs_i \cup subcc) > a + b \tag{7}$$

$$N(subcs_i \cup subcc, c - subcs_i \cup subcc) > x + y + z \tag{8}$$

证明：

如图 2，图中各边权重表示线网数或线网权重之和。由已知条件可得：

$$e + i + f + j + h + k > y + z \tag{9}$$

$$e + i + f + j + h + k > a + b + x \tag{10}$$

由 cs_i 是稳定群可知：

$$c > a + d + f + h \tag{11}$$

$$c > g + j + k + x \tag{12}$$

由(9)式可得：

$$e+i+f+h>y+z \tag{13}$$

由(12)、(13)可知:

$$e+i+f+h+c>x+y+z \tag{14}$$

由(14)可得:

$$e+i+f+h+c+g>x+y+z \tag{15}$$

即:

$$N(subcs_i \cup subcc, c-(subcs_i \cup subcc))>x+y+z \tag{16}$$

同理可证:

$$e+i+f+h+c+g>a+b \tag{17}$$

即:

$$N(subcs_i \cup subcc, c-(subcs_i \cup subcc))>a+b \tag{18}$$

故定理 2 得证.

定理 3: 若存在一稳定群集合 c,视稳定群为一"单元",将 c 任意分割为二部分,并满足约束,则集合 c 构成稳定群.

本定理的证明与定理 2 的证明类似, 只是图 2 中的 cc 在本问题中是一稳定群. 故证明略去.

定理 1、2 及 3 为构造稳定群打下了基础,并可大大减少时间复杂度.

下面研究本群法能否产生全部合理的划分及其所形成的划分是否最佳.

定理 4: 如果存在一单元集合 s_0, s_0 为稳定群. 集合 ss 为s_0 子集, 且 ss 为稳定群, 则 ss 与集合 s_0-ss 构成稳定群.

可以发现,证明是显而易见的. 故略.

定理 4 表明,在 bottom-up (自底向上)的稳定群构造过程中, 低级稳定群的形成不会影响高级稳定群的形成,这是保证产生全部合理划分的一个重要定理.

定理 5: 设有三个单元集合 c_1、c_2 及 c_3, 且 $c_1\cap c_2=c_1\cap c_3=c_2\cap c_3=0$, 如果 c_1 与 c_2 构成稳定群,则 c_1 与 c_3 及 c_2 与 c_3 均不构成稳定群.

证明: 因为 c_1 与 c_2 构成稳定群,所以:

$$N(c_1,c_2)>N(c_1,c_3) \tag{19}$$

$$N(c_1,c_2)>N(c_2,c_3) \tag{20}$$

因此, $c_1\cup c_3$ 及 $c_2\cup c_3$ 均不构成稳定群.

定理 5 称作群构造的单一性. 它保证了群构造过程中不发生冲突, 从而得到一个含有全部合理划分的结果.

定理 6: 在点模型情况下,由稳定群形成的分割是最佳划分.

证明: 由于划分结果由稳定群及一组联接较弱不能形成稳定群的游离单元组成. 很明显,此时稳定群为绝对封闭群. 由定理 1、稳定群约束及绝对封闭群的定义可知, 在所形成划分的稳定群之间、稳定群与游离单元集之间,进行任意单元或单元集的交换, 要么增加稳定群之间、稳定群与游离单元集之间的线网数, 要么使划分由非稳定群组成,这同样导致各群之间的外线网数增加,可知这种交换是不合理的. 且由定理 4、5 可知, 本群法可产生全部合理划分. 因此,本群法所产生的划分是最佳的.

三、算　法

对于含有 n 个单元的稳定群的判断，首先是产生有 n 个元素的所有 Ferrer 图象，若图象中某一行中某个元素大于 1，则它就对应于含有与该元素值相等的单元数的稳定群；否则，就对应于单个单元. 建立图象后，再对可实现的 Ferrer 图象（即可对应于稳定群及单个单元组合的新群）进行判别，以确定所对应的群是否构成稳定群.

算法简单描述如下：

```
Clustering (steady clusters, net list, weight, constraints)
    {
    input maximum number of cells in a steady cluster;
    while (n ≤ number of cells in the circuit or n ≤ the maximum number)
        {
        create Ferrer Graph corresponding to n-elementcluster;
        for each row of the Ferrer Graph
            {
            determine if the cluster corresponding to the row of the Ferrer Graph
                is a steady cluster;
            record the steady cluster if it is;
            }
        n = n + 1;
        }
    }
```

由定理 4 及定理 5 可证得上述稳定群构造算法可产生全部稳定群.

本群构造算法已在 Micro VAX II 机上用 fortran 语言实现，并得到一系列有意义的应用结果.

四、实验及应用结果

对同一种电路的拓扑输入，本文用本群构造法与历史上典型群法[1]进行比较，在群数相同、群内平均单元数相同的情况下，本方法得出的结果的群间外线网数明显地比[1]法的少得多. 见表 1 及表 2. 表中 NOCS 为所选稳定群数或群数，NOC 为全部群或稳定群的总单元数，NON 为群间外线网数，METHOD 1 为 [1] 法，METHOD2 为本群法. 在实际应用本群法中，可将稳定群约束中的＞号放宽为≥，实践证明是正确的

表1 单元数为 25，总线网数为 45

	METHOD1	METHOD2	METHOD1	METHOD2	METHOD1	METHOD2
NOCS	6	6	5	5	5	5
NOC	12	12	15	15	20	20
NON	30	30	25	22	19	14

表2 总单元数为 54，总线网数 220

	METHOD 1	METHOD 2	METHOD 1	METHOD 2	METHOD 1	METHOD 2	METHOD 1	METHOD 2
NOCS	7	7	8	8	9	9	9	9
NOC	20	20	27	27	37	37	42	42
NON	179	172	168	145	135	107	114	82

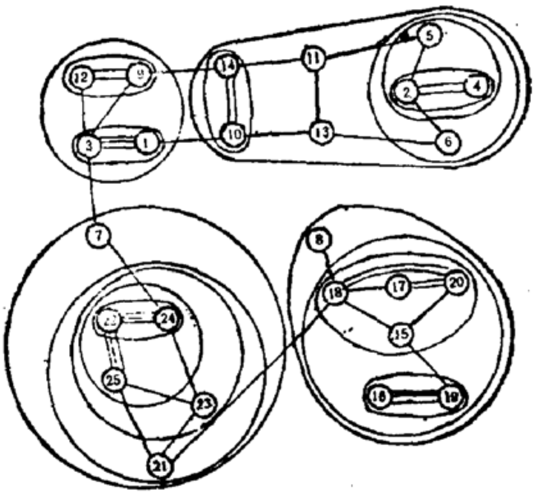

图3 由本群法产生的电路划分

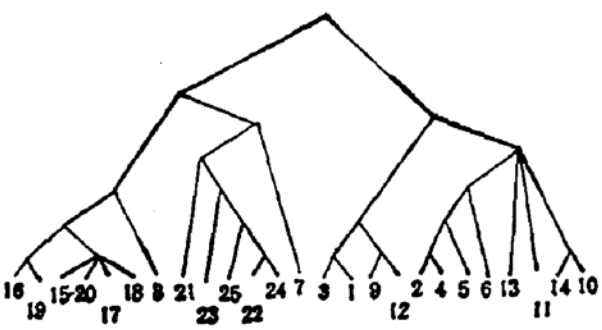

图4 结群树

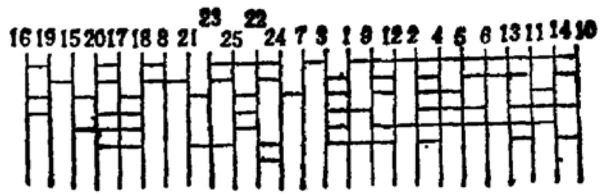

图5 相应的 gate matrix 布局

因此，本群法是非常令人满意的。

本群法可应用于各种模式的布图系统中。下面是应用于栅阵列（gate matrix）的实例。

图 3 是应用本群构造法所产生的群，即电路的划分结果。

根据所产生的划分，可得到相应的结群树，见图 4。

根据结群树，产生 gate matrix 布局，见图 5。

可以发现，所得到的 gate matrix 布局的 track 数最少。

五、结论及应用前景

从本文理论及所做大量实例中证实：应用本群法所得到的 gate mafrix 布局，只需结群树上同一层群或单元的交换，且交换限制在稳定群内，就可得到 track 数最少的布局。这正是本文中提出的稳定群性质保证了这结论。而其它任何方法，包括 Min-cut[6] 方法，是无法做到的。可见本群法在理论上是完善的，在实际应用中也是非常令人满意的。

很明显，在本群法基础上，只要再适当地加上单元的形状因子，就可将本群法应用于多元胞（polycell）、任意元胞（Building Block）等模式的布图系统中。本群法也可应用于软件工程的结构化模块设计[7]中。

参 考 文 献

[1] D. M. Schvler and E. G. Ulrich, Proc. 9th D. A. Workshop, 50 (1972).
[2] M. Hanan and J. M. Kurtzberg, *Chap. 5 D A. of Digital Systems*, Vol. 1,213 (1972).
[3] H. R. Charneg and D. L. Plato, Proc. 5th Annual D. A. Workshop, 86, (1968).
[4] 近藤，研究实用化报告，pp23—27(1970).
[5] Wei-ming Dai and Ernest S. Kuh, *IEEE Trans. CAD*, CAD-6, 828 (1987).
[6] M. Breuer, *J. Des. Auto. Fault Tolerant Comput*, 1, 343(1977).
[7] Tom Demarco, Structured Analysis and System Specification, pp. 297—324, New York, (1978).

Cluster Method and Its Application to LSI/VLSI Layout

Yu Mingyong　Ma Zuocheng and Zhuang Wenjun

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The cluster method is systematically studied. A series of new ideas, such as steady clusters, levels of steady clusters, absolutely closed steady clusters are introduced. Some important properties of steady clusters are proven. The cluster intensity applied in the typical cluster method is unreliable and is replaced by steady clusters. The comparison of the results obtained by typical cluster method with the results obtained by our cluster method is very satisfactory.

KEY WORDS:　LSI/VLSI, Layout, Cluster method, Partition