第 25 卷 第 1 期　电子与信息学报　Vol.25 No.1
2003 年 1 月　JOURNAL OF ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGY　Jan. 2003

分形在布局中线长估计的研究 [1]

徐 宁　何松柏 *　虞厥邦
(电子科技大学光电子技术系 成都 610054)
*(电子科技大学微波中心 成都 610054)

摘 要　布局问题的目标都是与连线长度有关，且考虑时延优化也与线长有关. 由于布局阶段并没有完成最终布线，若希望在无几何走线的情况下判断一个布局的好坏，就要有简单且又有一定精度的线网长度估计方法来估算线长. 文中介绍了几种常规的线长估计方法，然后提出了一种将分形引入线长估计的新方法.

关键词　线长估计，分形，盒维数
中图号　TN41.4, O157.3

1 引 言

布局是集成电路自动化布图设计的重要环节之一，其目的就是把元件或模块安置在芯片或印刷电路板的适当位置上，并使其满足一定的目标函数 [1]．对于大多数布局来说，其目标是芯片面积最小或总线长度最短 [2,3]．特别在深亚微米工艺下，互连线所造成的延迟已成为影响芯片性能的主要因素．因此，在布局时必须考虑性能优化或时延优化，即还需将连线延迟考虑在布局或布图规划的目标函数中，从而使布局中的线长估计更显其重要性 [4,5]．本文正是基于在布局时能更精确地估算出线长，将分形 [6] 引入，用盒维数 [7] 标征布线的复杂度，并以其估算出的线长作为目标函数，达到布局更合理的目的．

2 几种常规的线长估计方法

2.1 *源到漏端的最小连接*　源到漏端是一棵树，其根是线网的源端，树的每条边都是一从源端到漏端的连接，这种连接也叫星形连接，其总线长度为：$L_n=\sum_{i\neq s}(|x_i-x_s|+|y_i-y_s|)$．(其中 x, y 为源端到漏端的坐标，以下相同)．

2.2 *完全图*　它是包括线网所有顶点的一个完全图，其长度为：$L_n=\frac{1}{2}\sum_{i\neq j,i,j\in n}(|x_i-x_j|+|y_i-y_j|)$．

2.3 *边界框*　它是包括线网所有顶点的一个最小矩形的周长，其长度为：$L_n=2\times(x_{\max}-x_{\min}+y_{\max}-y_{\min})$．

2.4 *半周长*　它是包括线网所有顶点的一个最小矩形的半周长，其长度为：$L_n=x_{\max}-x_{\min}+y_{\max}-y_{\min}$．

2.5 *二次线长*　用完全图表示线网长度，但顶点 (x_i,y_i) 和 (x_j,y_j) 间的距离用简化了的欧几里德距离，则线网的线长估计为：$L_n=\frac{1}{2}\sum_{i\neq j,i,j\in n}((x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2)$．

2.6 *单树干斯坦纳树*　它是一种斯坦纳树，它先确定树干的位置，其 y(或 x) 坐标是所有顶点 y(或 x) 的平均值，然后所有顶点向此树作垂直线 (或水平线)，线网长度用上述两棵树的长度的平均值来表示：$L_n^x=y_{\max}-y_{\min}+\sum_{i=1}^n|x_i-\overline{x}|$, ($\overline{x}=\frac{1}{n}\sum_{i\in n}x_i$ 为 x_i 的平均值)；$L_n^y=x_{\max}-x_{\min}+\sum_{i=1}^n|y_i-\overline{y}|$，($\overline{y}=\frac{1}{n}\sum_{i\in n}y_i$ 为 y_i 的平均值)；$L_n=\frac{1}{2}(L_n^x+L_n^y)$．

除此之外，还有最小斯坦纳树、最小生成树和最小链 3 种估计方法，但这 3 种线网连接长度的估计都必须在构造它们相应的布线树后才能计算出它们的线长，这在布局阶段是比较困难的。

[1] 2000-10-20 收到， 2002-01-24 改回
四川省应用基础研究专项基金资助

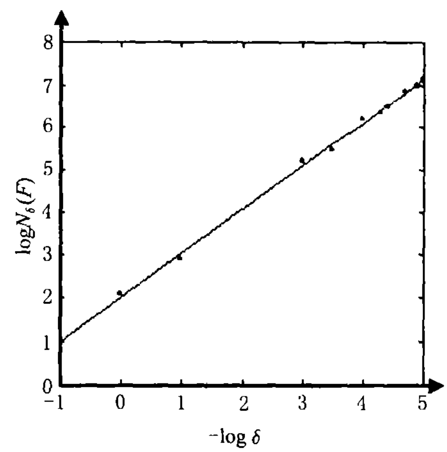

图 1　盒子半径与盒子中所包含的点数的对数关系图

总之，以上所介绍的几种线长估计方法都是在线性基础上进行的，而对于大规模集成电路而言，其线网连接是非线性的．由于分形是解决非线性问题的一个有力武器，因此本文提出了用分形来进行线长估计的一种新方法．

3 布局的分形线长估计

分形理论是研究非线性问题的一门新学科．它研究的对象是自然界和非线性系统中出现的不光滑和不规则的几何形体．本文在线长估计中引用了分形几何中盒维数的概念，用它来标征布线的复杂性，并给出了线长估计的计算公式．

3.1 **盒维数**　设 F 是 R^n 上任意非空的有界子集， $N_\delta(F)$ 是直径最大为 δ ，可以覆盖 F 的集的最小个数，则盒维数为 $\dim_B F=\lim_{\delta\to 0}\frac{\log N_\delta(F)}{-\log\delta}$ ．一般用盒维数的一些等价定义，考虑 R^n 中的 δ-坐标网立方体，即下列形式的立方体： $[m_1\delta,(m_1+1)\delta]\times\cdots\times[m_n\delta,(m_n+1)\delta]$ ，其中 $m_1,\cdots,m_n$ 都是整数 (易知 R^1 的 “立方体” 是区间， R^2 的 “立方体” 是正方形)．本文所要求的盒维数就是用正方形来计算的．我们把所有参加布线的线网的源端和漏端作为集合 F 中的点，为计算平面集 F 的盒维数，我们可以构造一些边长为 δ 的正方形或称为盒子，然后计算不同 δ 值的 “盒子” 与 F 相交的个数 $N_\delta(F)$ ，这个维数是当 $\delta\to 0$ 时， $N_\delta(F)$ 增加的对数数率，或者可用函数 $\log N_\delta(F)$ 相对于 $-\log\delta$ 图形的斜率来估计．如图 1 所示．

所求出的 F 集的盒维数在 1 ~2 之间，且 F 中的点越多，相应的维数值越大，这正好反映了布线线网中端点数增加，其布线的复杂度随之增大，而分形维数反映了这一复杂性．

3.2 **分形线长计算**　将所求的布线线网的盒维数, 乘以包含所有线网顶点的一个最小矩形的半周长所表示的线网的长度, 即可得到线网的估计长度： $L_n=D(F)\times(x_{\max}-x_{\min}+y_{\max}-y_{min})$, 其中 $D(F)$ 为盒维数．

4 结论与讨论

实验结果表明, 采用本文所提出的估计方法, 可以准确地估算出布线线网的线长, 对于布局提供了准确的目标函数．而本文介绍的其它几种方法，不能估算出准确的线长，特别是在线网中的端点数大量增加的情况下，就更存在不足．如：边界框法和半周长法，在 $x_{\max}$, $x_{\min}$, $y_{\max}$, $y_{\min}$ 不变的情况下，点数增加，其 L_n 不变，这显然与实际情况不符合．而用分形线长估计法，可以反映出这一变化．

由于分形是对事物复杂性的反映，用它来解决像布局的线长估计这类非线性问题，可以更加真实、准确地反映出其内在本质．本文所提出的用分形来进行线长估计是一种全新的方法，

它比其它线性线长估计计算方法更准确．将分形线长估计方法计算出的线网总长用在优化目标函数的布局中，可使布局结果更合理．

参 考 文 献

[1] W. M. Dai, E. S. Kuh, Simultaneous floor planning and global routing for hierarchical building block layout, IEEE Trans. on CAD, 1987, CAD-6(2), 828–837.

[2] T. Hasegawa, A new placement algorithm minimizing path delays, New York, Proc. ICCAD, 1991, 2052–2055.

[3] U. Lauther, A min-cut placement algorithm for general cell assemblies based on a graph representation, ACM/IEEE Proc. 16th DAC, Paris, 1979, 1–10.

[4] Tianmin Kong, Xianlong Hong, Changge Qiao, VEAP: A global optimization based, placement algorithm for standard cell design, ASP-DAC' 97, Japan, 1997, 1, 102–109.

[5] W. J. Sun, C. Sechen, Efficient and effective placement for very large circuits, Proc. Int. Conf. on CAD, Japan, 1993, 170–177.

[6] B. B. Mandelbort, The Fractal Geometry of Nature, San Francisco, W. H. Freeman and Co., 1972, 35–100.

[7] T. J. Bedford, The box dimension of selfaffine graphs and repellers, Nonlineanrity, 1989, 1(2), 78–86.

RESEARCH ON EVALUATING WIRE LENGTH USING FRACTAL IN PLACEMENT

Xu Ning He Songbai* Yu Juebang

(Dept. of Optical Electronic Technology, UEST of China, Chengdu 610054, *China)*

**(Microwave Center, UEST of China, Chengdu* 610054, *China)*

Abstract The target of placement problem is related to the wire length, and the time delay optimization is also related to it. But in placement stage, it has not finished final routing, and must be decided without any wire routing whether a kind of placement is good or not, there must have a simple and accurate estimation method of wire net length to evaluate wire length. This paper introduces some kinds of conventional methods which are used to evaluate the wire length, then a new method using fractal to evaluate the wire length is given.

Key words Evaluate wire length, Fractal, Box dimension

徐 宁： 男，1968 年生，博士生，研究兴趣包括人工神经网络，分形几何，大规模集成电路设计及其算法研究．

何松柏： 男，1973 年生，博士生，研究兴趣包括射频及微波通信．

虞厥邦： 男，1932 年生，教授，博士生导师，主要从事人工智能，非线性动力学系统，大规模集成电路设计．