

基于模拟退火算法的门阵列布局

杨依忠, 解光军

(合肥工业大学 应用物理系, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 通过对集成电路布局问题及模拟退火算法的分析, 将模拟退火算法应用于一组门阵列电路进行布局求解和测试. 实验结果表明: 和标杆电路的结果相比, 模拟退火算法在布局效果上显示出其优越性. 此外还通过实例对算法中各参数所起作用及取值进行了研究.

关键词: 集成电路; 布局; 门阵列; 模拟退火

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0115-03

Gate Array Placement Based on Simulated Annealing Algorithm

YANG Yi-zhong, XIE Guang-jun

(Department of Applied Physics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: According to the analysis on placement problems and simulated annealing algorithm, simulated annealing algorithm is applied to a group of gate array circuits to solve placement problems, and experiments show its advantages in placement results by comparing with results of benchmark circuit. In addition, by means of computational example, a study was made on the effect and value adoption of every parameter in the algorithm.

Key words: integrated circuit; placement; gate array; simulated annealing

1 引言

布局是集成电路自动布图设计的重要环节之一. 布局就是把元件或模块安置在芯片适当位置, 从而达到使某种给定的目标函数最优的目的. 布局阶段的输入是一组模块、模块上的引线端信息和网表. 而在实际布局中, 模块的形状、大小以及多节点连线的问题是必须要考虑的, 因此布局问题的复杂程度非常高. 对布局算法的求解结果和计算效率提出了更高的要求^[1].

目前已提出一些采用计算智能方法并基于随机优化的布局算法, 如禁忌搜索算法^[2]、神经网络方法^[3-4]、模拟退火算法^[5-6]等. 其中模拟退火算法是比较成功的单元布局算法, 具有较强的局部搜索能力, 易避免局部最优解. 文中将模拟退火算法应用于集成电路门阵列的布局中, 取得了很好的布局效果.

2 模拟退火算法

模拟退火算法主要采用单元交换或移动策略构成干扰函数, 再利用模拟退火框架形成标准单元布局算法. 其核心是: 所有成本减少的布局全部接受, 使成本增加的布局并不完全舍弃, 而是按一定比例接受, 这样可以得到全局最优解.

在算法处理过程中, 有温度参数 T 被用来控制成本增加的布局被接受的比例. 开始时, T 被设定成一个很高的值以便大部分的布局变动都可以被接受; 随着温度不断地降低, 成本增加的布局被接受的可能性减少了; 最后, 只有那些使成本降低的布局变动能被接受, 最终达到全局优化结果.

算法操作过程包括以下几方面:

(1) 构造新布局

可将一个模块移动到新的位置; 两个模块进行

收稿日期: 2009-02-07; 修回日期: 2009-05-16

基金项目: 安徽省高校青年教师项目(2008jq1004); 合肥工业大学科学研究发展基金(061006F); 合肥工业大学教学研究项目(xy2007022)

交换;改变一个模块的大小或方向等.

(2) 评价函数

$$\text{COST} = \text{cost}_1 + \text{cost}_2 + \text{cost}_3$$

其中, cost_1 是所有线网连线长度的带权和, cost_2 是模块重叠的惩罚量, cost_3 是单元行长度不均匀的惩罚量, 可分别表示为:

$$\text{cost}_1 = \sum_{i \in \text{nets}} [x\text{span}(i)H\text{Weight}(i) + y\text{span}(i)V\text{Weight}(i)]$$

$$\text{cost}_2 = \sum_{i \neq j \in \text{blocks}} [\text{overlap}(i, j)]^2$$

$$\text{cost}_3 = \sum_{i \in \text{rows}} [\text{ActRowLength}(i) - \text{DesRowLength}(i)] \text{factor}$$

其中, $x\text{span}(i)$ 是 $y\text{span}(i)$ 所有线网 i 的最小矩形的宽和高, 水平方向和垂直方向权重的设置是为了区别一般线网和关键线网, 也可以用作区别不同方式的走线; cost_2 中的平方项是为了加重惩罚大重叠量的单元. cost_3 中的 DesRowLength 和 ActRowLength 是第行的期望单元行长度和实际长度. 因子 factor 用于调节单元行间的长度差在总费用中的比重.

(3) 接受函数

用 $\exp(-\nabla C/T)$ 作为接受函数, 用这个函数跟 $\text{random}(0, 1)$ 比较, 如果函数值大, 则认为相应的布局应该被保留, 否则舍弃.

(4) 温度冷却函数

每一次新的布局产生、评价以后, 都要将温度冷却, 一般使用函数 $T_{i+1} = \alpha(T)T_i$, $\alpha(T)$ 是冷却率, 它依赖于当时的温度. 也可以将其设定为固定值.

(5) 布局变动次数

对于每个温度 T , 都要进行多次的布局变动. 通常在每个温度, 平均每个单元变动次数是确定的.

(6) 执行终止的标准

通常以温度降低到某一值时程序执行终止.

3 布局实例

基于 36 单元的门阵列布局, 如图 1 所示. 对此布局中进行了一些特定的设计和近似:

(1) 单元大小相等, 宽度是布线通道宽度的两倍.

(2) 单元之间的连接采用两两连接, 并记录所有连接点位置. 在布局优化过程中, 连线位置不改变.

(3) 根据此布局中连线提取所有连线网表, 在布局改进过程中始终依据此网表进行连线.

(4) 此布局中模块 1 和模块 24 与其他模块有最大的联接度, 且各个模块与其周围各单元的联接度较高. 经过精心设计, 图 1 布局线长为 505 (以布线通道宽度为单元长度), 作为一个“标杆电路”的布局形式.

(5) 重新构造一布局, 如图 2 所示. 在此布局中, 特意将模块 1 和模块 24 放置在两个边角, 并刻意将联系紧密地单元分离较远. 此布局线长 1061.

(6) 以图 2 作为起始布局, 通过程序设计得出最终布局优化结果.

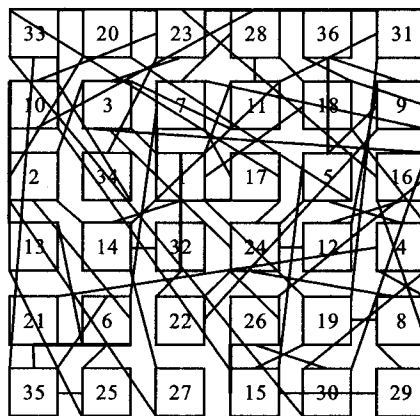


图 1 “标杆电路”的布局

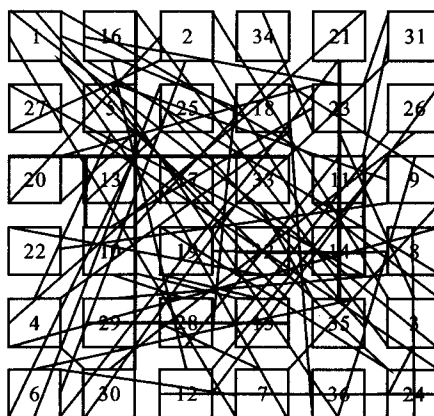


图 2 调整后的初始布局

3.1 参数的确定及影响

在模拟退火算法中涉及到几个重要的参数: 初始温度 T_0 、循环次数 N 、每个循环周期的单元平均移动 $M_percell$ 、退火调度 $\alpha(T)$.

3.1.1 $M_percell$

将 $M_percell$ 设为变量, 由 5 变化到 70, 得出布局优化结果和运行时间, 如图 3 所示. 在开始阶段 $M_percell$ 的增加能明显改善布局结果, 但当其值大于 40 以后, 反而有时会导致成本增加, 运行时间会增加较多. 可见, $M_percell$ 的值处于合理范围, 既能得到较优结果, 又能减少程序运行时间, 提高效

率. $M_percell = 40$ 是一个较好的选择.

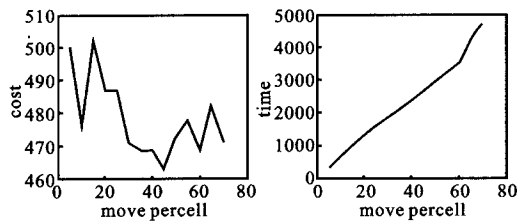


图3 单元移动次数与成本、运行时间的关系

3.1.2 循环次数 N

将 N 作为参数,由 50 变化到 700,可以得出布局优化结果和运行时间,如图 4 所示.可以看出,在 50 ~ 200 之间,循环次数的增加对于布局的优化有很大的效果,当 $N \geq 300$ 后,布局结果趋于平稳,运行时间线性增加.所以 $N = 300$ 是一个较好的选择.

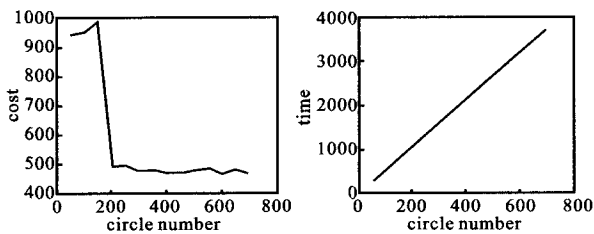


图4 循环次数与成本、运行时间的关系

3.1.3 初始温度 T_0

将温度从 500 变化到 5000,其优化结果如图 5 所示.将初始温度设置在一个合适的值即可, $T_0 = 3000$ 是可取的值.

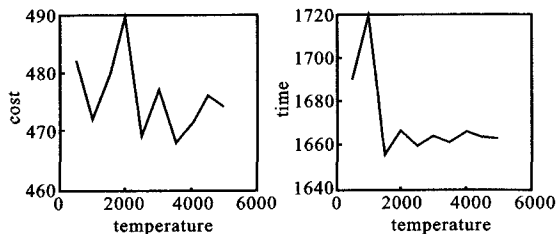


图5 温度变化与成本、运行时间的关系

3.1.4 退火调度 $\alpha(T)$

$\alpha(T)$ 设为固定值,从 0.80 变化到 0.995,得出如图 6 所示.可知 $\alpha(T)$ 从 0.80 变化到 0.97 时,布局结果变化不大,但是当 $\alpha(T)$ 再增加时,布局成本却快速增加.因此,退火过程并不见得越慢越好,一定要有一个合适的范围.

让 $\alpha(T)$ 为一恒定值并不见得有很高的效果和效率.如果让其按式(1)中退火的步骤,在刚开始退火过程,温度可以以较快的速度下降;在中间阶段 ($0.2T \leq T_0 \leq 0.9T$),保证温度缓慢下降,以便慢慢搜寻较优解;在最后阶段,温度又可以较快下降,

以便快速收敛于最优解.实验发现,这样设置反而有更好的效果.

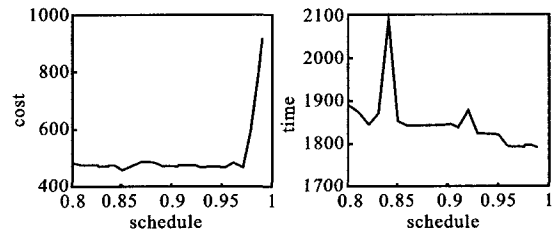


图6 退火调度与成本、运行时间的关系

$$\alpha(T) = \begin{cases} 0.9 & \text{if } T \geq 0.9T_0 \\ 0.8 & \text{if } T \leq 0.2T_0 \\ 0.99 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

3.2 实验结果

经过上述的讨论,得出最终各种参数值: $T_0 = 3000$, $N = 300$, $M_percell = 40$, $\alpha(T)$ 的变化依据式(1).将程序运行 20 次,得到的结果如图 7.由图可知,布局线长介于 447 ~ 470 之间,说明算法有很好的稳定性.最短线长对应的布局结果如图 8.

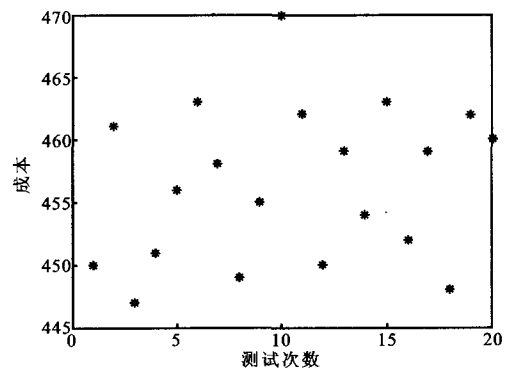


图7 模拟退火运行 20 次得到的结果

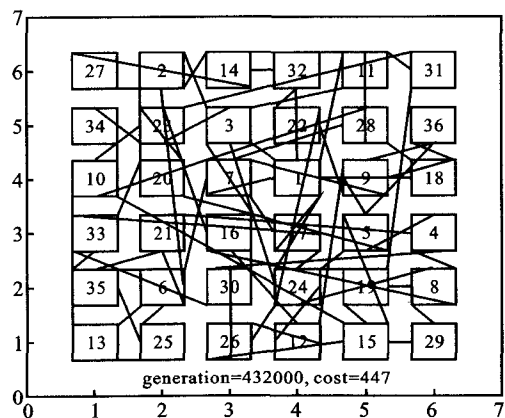


图8 模拟退火布局结果

在图 8 中原本被分开的单元 1 和 24 又被优化到中间位置.另外,在图 1 中,单元 1 周围有单元 3、

(下转第 121 页)

速度为3138毫秒,整整慢了65倍多。

表1为抵抗JPEG有损压缩攻击的鲁棒性测试结果,其中PSNR代表已遭受攻击图像的峰值信噪比,CR代表压缩率^[6]。

表1 抵抗JPEG有损压缩攻击的鲁棒性测试

质量系数	CR	PSNR
80	6.1	37.0
70	7.9	35.9
60	9.7	35.1
50	11.2	34.4
40	13.1	33.8
30	15.9	33.0
20	20.6	31.9

4 结束语

文中主要研究DCT频率域数字水印算法,针对文物图像的数量可达成千上万幅,所以采用FDCT变换实现批量水印嵌入。对数字图像进行离散余弦变换,可以充分利用图像的自相关性减少数据量,达到压缩数字图像的目的;同时离散余弦变换后能量集中,算法复杂度适中,较易于在数字信号处理器中快速实现。

(上接第117页)

7、11、17、24、32、14、34(单元14、34与单元1没有连接关系),在图2中这些单元被有意的拆开,放到离单元1较远的位置,但在图8的优化结果里,除了与单元1没有连接关系的单元14、34被放置在较远的位置,其它单元又重新聚集到单元1周围。

基于模拟退火算法,该门阵列最终连线长度为447,比初始布局(图2)优化57.9%,比“标杆电路”的布局(图1)也有11.5%的优化。说明该算法是相当有效的。

4 结束语

根据模拟退火算法原理进行MATLAB编程,调试程序,详细讨论模拟退火算法中各个参数对布局结果的影响,给出优化过程和最终布局结果。实验表明,只要参数设置合理,模拟退火算法能够得到全局最优解,且算法非常稳定。文中所给出的例子是规模很小的理想化的布局形式,但是许多结论对今后进一步布图算法的研究有一定的参考作用。

参考文献:

[1] 南国芳,李敏强,寇纪淞. 基于适应性模拟退火的标准单

参考文献:

- [1] 王颖,肖俊,王蕴红. 数字水印原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] Wang Zhenfei, Zhai Guangqun, Wang Nengchao. Digital watermarking algorithm based on wavelet transform and neural network[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006(6):1668-1669.
- [3] Cox I, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997,6(12):1673-1687.
- [4] Cyril Bazin, Jean-Marie Le Bars, Jacques Madelaine. A blind, fast and robust method for geographical data watermarking[C]//Proceedings of the 2nd ACM symposium on Information, computer and communications security. Singapore, 2007:265-272.
- [5] 丁玮,闫伟齐,齐东旭. 基于离散余弦变换的数字水印图像[J]. 北方工业大学学报, 1999,11(3):71-75.
- [6] 陈纯. 计算机图像处理技术与算法[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

作者简介:

宋丽娟 女,(1978-),硕士,讲师. 研究方向为数字图像处理与多媒体技术。

元布局算法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3):550-553.

- [2] 徐宁,杨程. 混合模拟退火算法解决VLSI布局问题[J]. 微电子学与计算机, 2006,23(10):51-53.
- [3] Manikas, Mickle M H. A genetic algorithm for mixed macro and standard call placement[J]. Circuits and Systems, 2002(2):4-7.
- [4] Aykanat C, Bultan T, Haritaoglu O. A fast neural-network algorithm for VLSI cell placement[J]. Neural Networks, 1998(11):1671-1684.
- [5] Hentschke R F, Reis R A. Improving simulated annealing placement by applying random and greedy mixed perturbations[C]// Proceedings of the 16th symposium on Integrated circuits and systems design. Washington: IEEE Computer Society, 2003:267-272.
- [6] Lihong Zhang, Kleine U. A genetic approach to analog module placement with simulated annealing[J]. Circuits and Systems, 2002(1):345-348.

作者简介:

杨依忠 男,(1975-),讲师. 研究方向为集成电路布图设计。

解光军 男,(1970-),教授。