

УДК. 621.38

Начальное размещение базовых элементов комплементарных металл-окисел-полупроводниковых больших интегральных схем методом случайных назначений

Добряков В.А., Енгальчев А.Н.*, Назаров А.В.**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: aengalychев@inbox.ru;*

***e-mail: naza46@post.ru*

Аннотация

Качество начального размещения компонентов интегральных схем в значительной степени определяет эффективность всего этапа размещения элементов в системах с большим числом компонентов, к которым относятся современные комплементарные металл-окисел-полупроводниковые большие интегральные схемы (КМОП БИС) двойного назначения. В настоящей работе для получения начального размещения предлагается использовать метод случайных назначений базовых элементов в позиции на кристалле КМОП БИС. В статье выведена формула расчета такой оценки числа случайных перестановок, что после их проведения можно с вероятностью, превышающей заданную утверждать, что, хотя бы одна перестановка имеет длину связей меньше заданного порогового значения.

Ключевые слова: размещение, метод случайных назначений, КМОП БИС двойного назначения, суммарная длина связей, автоматизация проектирования, базовый матричный кристалл, алгоритм

Введение

В последнее десятилетие проводятся интенсивные исследования возможности применения больших интегральных схем (БИС), выполненных по КМОП-технологии [4, 5] и КМОП БИС, выполненных по технологии «кремний на изоляторе» [2, 3, 7], в аппаратуре двойного назначения для построения различных систем управления и контроля космических объектов, атомных энергосистем, исследова-

тельских ядерных центров и т.п. Это обусловлено тем, что данный класс БИС наиболее выгоден с точки зрения обеспечения минимальной потребляемой мощности, невысокой стоимости, габаритов и веса. Их применение в указанных системах возможно, если КМОП БИС будут работоспособны в жестких условиях воздействия температур, механических нагрузок и различных видов радиационных воздействий.

Проведение исследований, проектирование, производство и испытания КМОП БИС двойного назначения невозможно обеспечить без развития средств автоматизации проектирования. Однако известные отечественные системы автоматизированного проектирования (САПР) не имеют достаточно развитых средств проектирования конструкторско-технологического базиса КМОП БИС двойного назначения. Зарубежные программные комплексы, обладающие данными средствами, имеют очень высокую стоимость, а продажа наиболее современных средств не производится. Поэтому развитие отечественных средств автоматизации проектирования конструкторско-технологического базиса КМОП БИС является актуальной задачей. К наиболее важным из них относятся моделирование: тепловых эффектов, связанных с импульсным и статическим разогревом от воздействия радиации; термомеханических импульсных и квазистатических напряжений; отказов из-за эффектов ионизации, структурных повреждений материалов, накопления объемного фиксированного заряда за счет облучения.

В условиях принятой в электронной промышленности современной методики проектирования КМОП БИС приоритетными задачами является разработка конструкторско-технологического базиса стандартных (базовых) элементов КМОП БИС двойного назначения, в состав которых входят как простейшие логические элементы, так и большие типовые функциональные блоки и цифровые устройства на их основе. Актуальной остается проблема повышения эффективности методов, моделей и алгоритмов размещения элементов и трассировки связей между ними при проектировании топологии базовых элементов и типовых функциональных блоков КМОП БИС двойного назначения. Количество базовых элементов, из которых проектируется топология типовых функциональных блоков может достигать 100, что исключает

использование точных алгоритмов их автоматического размещения на кристалле КМОП БИС.

В настоящее время разработаны и широко используются на практике методы оптимизации размещения элементов связанных систем с большим числом компонентов, такие как алгоритм Штейнберга, алгоритм дихотомического деления [1, 7] и др. Эффективность их применения существенно зависит от качества начальной расстановки компонентов. В настоящей работе для получения начального размещения предлагается использовать случайный перебор базовых элементов на кристалле КМОП БИС.

Предлагаемый метод

Предлагаемый метод позволяет дать такую оценку числа случайных назначений элементов (из $n!$ возможных), что после выполнения последнего из них с наперед заданной вероятностью β можно утверждать, что хотя бы одно размещение в проделанной серии обладает показателем качества L меньшим любого заданного порога L_0 . Теория вероятностей позволяет определить это число назначений, как функцию заданного порога и вероятности β . В качестве показателя качества L очередного размещения используется суммарная длина связей (СДС).

Для решения поставленной задачи необходимо, чтобы выполнялось следующее неравенство:

$$P(L < L_0) \geq \beta$$

т.е., вероятность того, что в проделанной серии из Q случайных перестановок с вероятностью, превышающей заданную (β), хотя бы одна перестановка имеет СДС меньше заданного порогового значения (L_0).

Пусть A – событие, состоящее в том, что в результате Q случайных назначений, хотя бы одно L будет удовлетворять условию $L < L_0$. В каждом новом назначении событие A может появиться с вероятностью $P(A)$ и не появиться с вероятностью $P(\bar{A})$. Вероятность того, что событие A не появится вообще после окончания Q_i -го эксперимента равна:

$$P_i = [P(\bar{A})]^Q [1 - P(A)]^Q$$

Ясно, что вероятность хотя бы одного появления события A будет равна:

$$\bar{P}_1 = 1 - [1 - P(A)]^Q, \quad (1)$$

где $\bar{P}_1 = \beta$, а $P(A) = P(L < L_0)$, поэтому, зная функцию распределения $F(L)$ величины L и учитывая, что:

$$P(L < L_0) = F(L_0) \quad (2)$$

по формуле (1) можно определить искомую величину Q .

С этой целью уточним сначала закон распределения величины L . Поскольку значение меньше, чем L_{\min} и больше, чем L_{\max} L принимать не может, то распределение величины L представляется нормальным усеченным законом распределения. Можно показать [5], что его функция распределения имеет вид:

$$F(L) = \frac{\Phi\left(\frac{L - M(L)}{\sigma(L)}\right) - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)}$$

Подставляя вместо L значение порога, получим:

$$F(L_0) = \frac{\Phi\left(\frac{L_0 - M(L)}{\sigma(L)}\right) - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)}, \quad (3)$$

где

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Выражения (1...3) позволяют определить искомую величину Q . Действительно, из формулы (1) имеем:

$$\beta = 1 - (1 - F(L_0))^Q,$$

и далее последовательно находим:

$$1 - \beta = (1 - F(L_0))^Q,$$

$$\ln(1 - \beta) = Q \cdot \ln(1 - F(L_0)).$$

Откуда:

$$Q = \frac{|\ln(1 - \beta)|}{|\ln(1 - F(L_0))|} \quad (4)$$

Подставляя в (4) значение $F(L_0)$ из выражения (3), получим:

$$Q = \frac{|\ln(1-\beta)|}{\left| \ln \left[\frac{\Phi\left(\frac{L_o - M(L)}{\sigma(L)}\right) - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)} \right] \right|}$$

После не сложных преобразований, учитывая что $1-\Phi(x)=\Phi(-x)$, и приводя полученное выражение к общему знаменателю, получим:

$$Q = \frac{|\ln(1-\beta)|}{\left| \ln \frac{1 - \Phi\left(\frac{L_o - M(L)}{\sigma(L)}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{L_{\min} - M(L)}{\sigma(L)}\right)} \right|} = \frac{|\ln(1-\beta)|}{\left| \ln \frac{\Phi\left(\frac{M(L) - L_o}{\sigma(L)}\right)}{\Phi\left(\frac{M(L) - L_{\min}}{\sigma(L)}\right)} \right|}$$

Допустим, что $L_{\min} = 0$, тогда

$$Q = \frac{|\ln(1-\beta)|}{\left| \ln \left[\Phi\left(\frac{M(L) - L_o}{\sigma(L)}\right) - \Phi\left(\frac{M(L) - L_{\min}}{\sigma(L)}\right) \right] \right|}$$

Поскольку

$$\frac{M(L)}{\sigma(L)} \gg 1,$$

то

$$\ln \Phi\left(\frac{M(L)}{\sigma(L)}\right) \approx 0$$

Величину порога целесообразно задавать равной $L_o \approx M - 3\sigma$, иначе резко увеличивается объем необходимых вычислений, следовательно:

$$Q = \frac{|\ln(1-\beta)|}{|\ln \Phi(3)|}$$

Учитывая, что $\ln \Phi(3) = 0,001135$, окончательно получим

$$Q = \frac{|\ln(1-\beta)|}{0,001135} \quad (5)$$

Выражение (5) определяет нижнюю оценку числа случайных назначений.

Алгоритм

Алгоритм, реализующий описанный метод случайных назначений n элементов в n позиций, использует в качестве вызываемых следующие подпрограммы:

- программу *Factorial*, генерирующую в массиве M очередную случайную последовательность неповторяющихся чисел от 1 до n ;
- функцию *DlinaS* вычисления в ячейке L суммарной длины связей для текущего размещения, которая в качестве параметров использует массив M и матрицы длин и связей [6].

Действие алгоритма сводится к следующему:

$\alpha 0$. НАЧАЛО:

-задать вероятность β ;

-по формуле (5) вычислить величину Q и записать ее в счетчик S ;

-программой *Factorial* получить в массиве M последовательность из n чисел.

$\alpha 1$. Выполнить подпрограмму *DlinaS* и переслать: $(L \rightarrow L_0)$ и $(M \rightarrow M_0)$, чтобы запомнить текущие значения L и M , соответственно, в ячейке L_0 и в массиве M_0 .

$\alpha 2$. Выполнить подпрограмму *DlinaS* и:

- если $(L < L_0)$, то переслать: $(L \rightarrow L_0)$ и $(M \rightarrow M_0)$ и перейти к пункту $\alpha 3$;
- если $(L \geq L_0)$, то перейти к пункту $\alpha 3$ алгоритма.

$\alpha 3$. Уменьшить счетчик на S единицу и:

- если $(S > 0)$, то перейти к пункту $\alpha 2$;
- если $(S = 0)$, то перейти к пункту $\alpha 4$.

$\alpha 4$. В массиве M_0 получено искомое размещение – КОНЕЦ.

Можно показать, что основную долю машинного времени при выполнении приведенного алгоритма занимает процедура *Factorial*, генерирующая очередную случайную последовательность неповторяющихся чисел от 1 до n , поэтому к ее программированию следует подходить очень внимательно. Если прямо генерировать и отбрасывать повторяющиеся случайные числа, то резко возрастает число «холостых» циклов получения очередного случайного числа. Однако, можно существенно сократить время получения очередной последовательности неповторяющихся чисел

от 1 до n , используя для первой итерации массив M_0 возрастающих чисел вида: $1, 2, \dots, n$. Для этого k -й член последовательности M_j надо сформировать из M_i по следующему правилу: $M_j[M_i[k]] \leftarrow M_0[k]$, $i \neq j$. На следующих итерациях это правило необходимо применять в виде: $M_j[M_i[k]] \leftarrow M_j[k]$, $i \neq j$.

В содержательном плане это означает, что k -й член новой последовательности занимает в ней место, определяемое индексом, равным k -му члену старой последовательности. Например, первая последовательность (M_j), построенная по этому правилу из начальной последовательности $M_i = (2, 8, 4, 6, 3, 7, 1, 5)$, примет вид: $M_j = (7, 1, 5, 3, 8, 4, 6, 2)$. Вторая «новая» последовательность, строится на основании двух предыдущих и принимает следующий вид: $M'_j = (6, 7, 8, 5, 2, 3, 4, 1)$. Действительно, при $k=1$, 2-е место в новом массиве M'_j для 1-го элемента из массива M_j , равного 7, определено, согласно указанному выше правилу, первым элементом (2) в старом массиве M_i . Далее, так как 2-й элемент в массиве M_i равен 8, то 2-й элемент (1) из массива M_j оказывается в массиве M'_j на восьмом месте и так далее.

Практика применения описанного алгоритма показывает, что с его помощью можно с вероятностью 0,9973 получить начальное размещение базовых элементов, СДС которого отличается от оптимального в среднем не более, чем на 10...12 %. На современных персональных компьютерах машинное время, затрачиваемое на поиск решения данной задачи для схем с числом электрорадиоэлементов порядка сотни, составляет около 30 минут.

Библиографический список

1. Автоматизация конструирования матричных КМОП БИС/А.В. Назаров, А.В.Фомин, Н.Л.Дембицкий .Под ред. А.В.Фомина. – М.: Радио и связь, 1991, 256 с.
2. Глушко А.А. Моделирование субмикронных КНИ МОП-транзисторов Н-типа // Информатика и системы управления в XXI веке: М.– 2011. Сборник трудов №8 молодых ученых, аспирантов и студентов. с. 154 – 163.
3. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микро-схемах программируемой логики, - СПб.: БХВ – Питербург, 2002. – 608 с.

- 4.Макарчук В.В. и др. Моделирование технологии изготовления субмикронных КМОП СБИС с помощью систем TCAD // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. №4. с.32 – 34.
- 5.Морозов К.К., Одинокоев В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры – М.: Радио и связь, 1983. - 280 с, ил.
- 6.Потапов И.П. и др. Средства автоматизации проектирования радиационно-стойкой элементной базы // Вопросы атомной науки и техники. Серия 8. 2006. – Вып.1-2. – с.147 - 149.
- 7.Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств Издательство: Советское радио, 1977 г.
- 8.Уэйкерли Дж. Ф. Проектирование цифровых устройств: в 2-х т. /Дж. Ф. Уэйкерли. – М.: Постмаркет, 2002.