

**Shcheglov Sergej Nikolatvich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: leo@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +7863371625.

The Department of Computer Aided Design; Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.

УДК 681.3.06

**А.А. Лежебоков, А.Н. Дуккардт**

**ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК В ЗАДАЧАХ  
КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ\***

*Работа посвящена рассмотрению проблем построения моделей оценки и учета временных задержек при решении задач этапа конструкторского проектирования. Авторами предлагаются новые модели оценки временных задержек, возникающих на межсоединениях, для начальных задач этапа конструкторского проектирования: компоновки и размещения. Использование предложенных моделей для расчета оценки временной задержки позволяет учитывать временные характеристики на ранних этапах и тем самым сократить временные затраты на проектирование, что повысит эффективность результатов конструкторского проектирования.*

*Конструкторское проектирование; временные задержки; разбиение; компоновка; размещение; интегральные схемы; моделирование.*

**A.A. Lezhebokov, A.N. Duckardt**

**PROBLEMS KEEPING TIME DELAYS IN CONSTRUCTION DESIGN TASKS**

*The work deals with the problem of constructing models for assessment and management of time delays in solving the problems of the design phase of the design. The authors offer new models for assessing the time delays that occur on interconnects, for the initial stages of the design problems of design: layout and placement. Using the proposed models for calculating the time delay estimate takes into account the temporal characteristics of the early stages, thus reducing time spent on design, which can improve the results of design engineering.*

*Design engineering; time delays; partitioning; layout; placement; integrated circuits; simulation.*

**Введение.** Одним из важнейших этапов в САПР является конструкторское проектирование. Поэтому автоматизация конструкторского проектирования в связи с непрерывным изменением технологий производств и появлением новых элементов является актуальной и важной задачей. Проектирование – это комплекс работ по изысканиям, исследованию, расчетам и конструированию, служащих для создания нового изделия или реализации нового процесса, удовлетворяющих заданным требованиям [1].

В настоящее время в связи с увеличением точности технологического процесса изготовления СБИС, геометрические размеры транзисторов сократились до 0.09 микрон! В настоящее время промышленностью выпускается широкая номенклатура СБИС, суперкристаллов, содержащих миллионы элементов на кристалле 25х25 мм. Неуклонное повышение степени интеграции СБИС привело к тому, что в них более 60 % общей временной задержки сигнала приходится на за-

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты: № 09-01-00509, № 11-01-00122).

держки в межсоединениях. Рост размера области, отводимой для межсоединений, опережает рост размера области, предназначенной для активных элементов. В чипе, содержащем 10 миллионов транзисторов и использующем 4 слоя металлизации, около 40 % площади отводится под межсоединения [2].

На помехоустойчивость и температурную стабильность также влияет электромагнитотепловая (ЭМТ) совместимость элементов, которая играет немалую роль при проектировании сверхбыстродействующих устройств с большой степенью интеграции, таких, как центральные процессоры мощных систем-серверов, процессоры приёма, обработки и декодирования информации и т.п. Тем не менее, критерий ЭМТ-совместимости большинством проектировщиков учитывается на этапе размещения элементов. Это более целесообразно, так как ввод дополнительных критериев в задачу разбиения может отразиться на качестве получаемого решения, т.е., по сути, на быстродействии проектируемых устройств. К тому же, размерность разбиваемых схем приводит к необходимости разрабатывать по возможности более простые алгоритмы для уменьшения машинного времени, затрачиваемого на этом этапе [2].

**1. Модель оценки временной задержки для задачи разбиения.** В последнее время появилось много работ по решению задачи разбиения с учетом временных задержек [3,4]. В результате проведенного анализа существующих методов решения задачи разбиения, были выявлены следующие проблемы.

Использование моделей задержек, неадекватных реальным физическим процессам, протекающим в кристалле СБИС. В подавляющем большинстве случаев используется общепринятая модель задержек, в соответствии с которой всем вентилям присваивается задержка 1, задержка 0 присваивается соединениям внутри одного узла и постоянная задержка присваивается соединениям между различными частями разбиения. Применение нереалистичных упрощений. Например, схемы преобразовываются в вентили с двумя входами. Время работы алгоритмов даже для схем умеренного размера слишком велико.

В данной работе целевая функция задана таким образом, чтобы учитывать число разрезов цепей и задержку сигнала. Несмотря на то, что существует множество алгоритмов эффективно решающих задачу разбиения в ее классической постановке, цель которой состоит в минимизации числа разрезов цепей, их применение ограничено, поскольку практические нужды проектирования требуют соблюдения множества критериев, что многократно повышает сложность задачи. Одна из основных трудностей при выполнении многопараметрической оптимизации это то, что не существует единственного оптимального решения. Вместо этого оптимальное решение существует для каждой цели в поисковом пространстве. Более того, оптимальное решение для одной цели может требовать принятия не оптимального решения для другой. В результате этого понятие хорошего решения становится неоднозначным.

В работе предлагается алгоритм разбиения, который минимизирует величину  $D$  – оценку задержки. Задачу разбиения гиперграфа  $H = (X, E)$  с взвешенными вершинами и ребрами свеем к задаче о назначении множества гиперребер  $E$  в  $K$  узлов при выполнении следующих условий: каждое гиперребро может быть назначено только в один узел. Будем считать, что гиперребро  $e_i$  назначено в узел  $k_v$ , если все множество составляющих его вершин назначено в этот узел. Одним из параметров целевой функции  $F$  является количество ребер, пересекающих разрез:

$$C = \{e_j \mid (\forall v) [e_j \cap Xv \neq \emptyset]\}. \quad (1)$$

Величина оценки задержки  $D$  выражается комбинацией трех факторов, которые напрямую влияют на задержку схемы: задержка критических путей, количество разрезов каждого критического пути и вес всех ребер, лежащих на критических путях.

$$D = \sum_i^{|E_k|} \psi_i e_i + \sum_j^K D_j k_j, \quad (2)$$

где  $\psi_i$  – вес ребра;  $e_i$  коэффициент, принимающий значение 1 или 0, в зависимости от того разрезается ребро или нет;  $|E_k|$  – количество ребер в критических путях  $K$ ;  $D_j$  – текущая задержка  $j$ -го критического пути;  $k_j$  – сколько раз происходило разрезание критического пути  $j$ .

Предлагаемая оценка задержки критического пути  $D_j$  содержит два компонента. Первый – это задержка вентиля. Задержка вентиля считается постоянной и в дальнейшем не учитывается. Вторым компонентом – это задержка проводников, которая оценивается, используя модель задержки Эльмора для ребра  $e$ , которое попало в разрез, (ребро соответствует проводнику) в соответствии со следующей формулой:

$$D(e) = R_e \left( \frac{C_e}{2} + C_i \right), \quad (3)$$

где  $R_e$  – общее сопротивление проводника  $e$ ;  $C_e$  – общая емкость проводника  $e$ ;  $C_i$  – общая емкость истоков каждой цепи.  $R_e$  и  $C_e$  вычисляются по формуле:

$$R_e = r \cdot L_e, \quad C_e = c \cdot L_e. \quad (4)$$

Для вычисления  $R_e$  и  $C_e$  нам необходимо длина каждого ребра. Средняя длина цепи [14], соединяющая  $m$  элементов определяется по формуле:

$$L_e = (\alpha * m^\gamma - \beta) \frac{a * b}{a + b} + (a + b), \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  – стороны описывающего элементы прямоугольника;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – настроечные параметры, вычисленные в [15] как  $\alpha = 1,1$ ,  $\beta = 2,0$ ,  $\gamma = 0,5$ . Удельное сопротивление на единицу длины проводника считаем  $r = 0,115$ , удельная емкость на единицу длины проводника  $c = 0,00015$ .

Для примера расчетов, рассмотрим модель, представленную на рис. 1. Для указанной схемы и указанного варианта решения задачи компоновки суммарная оценка задержки будет равна  $D = 2 * t_{12} + 1 * t_{23} + 1 * t_{13}$ . Где оценка задержки между каждой парой блоков рассчитана согласно модели Эльмора, представленной выше. В качестве координат описывающего ребро прямоугольника используются координаты центров блоков, которые вводятся оператором при решении задачи.

**1. Модель оценки временной задержки для задачи размещения.** Под оптимизационной задачей размещения компонентов СБИС понимается задача, в которой необходимо найти такое распределение элементов на плоскости или в линейке, которое, в заданном смысле, является наилучшим или оптимальным. Отметим, что наилучшего решения во всех смыслах быть не может. Оно может быть принято оптимальным на основе заданного критерия размещения или ЦФ. Для задачи размещения, с учетом временных задержек, авторы предлагают использовать модель цепи на основе Древа Штейнера для оценки временной задержки межсоединений [5,6]. Рассмотрим предлагаемую модель более подробно.

Размещение элементов на дискретном рабочем поле (ДРП) осуществляется в стандартные ячейки (standard cells), для определения расстояний между элементами предлагается использовать Манхэттенскую метрику (метрика, используемая для «решеток»).

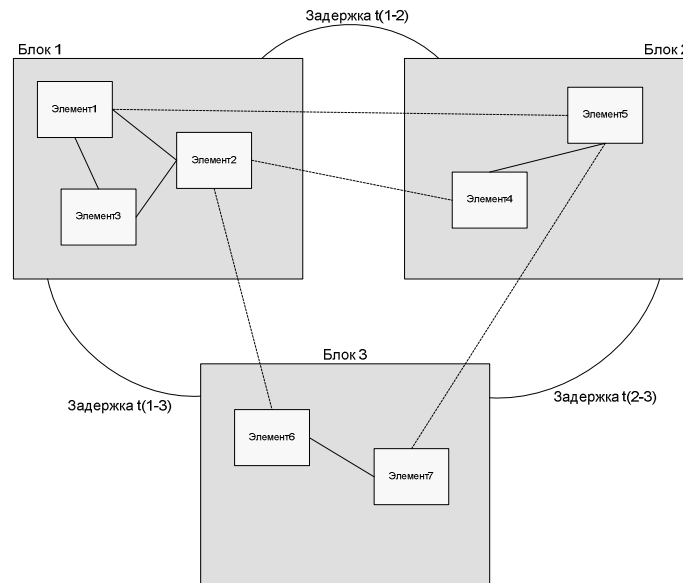


Рис. 1. Модель расчета временной задержки схемы для задачи разбиения

Рассмотрим пример работы алгоритма построения модели:

1. Допустим, на некотором этапе решения задачи получили некоторое размещение 4-х элементов, соединенных цепью, в узлы сетки дискретного рабочего поля (рис. 2).
2. Строится модель цепи на основе звездного графа, координаты центра вычисляются как среднее арифметическое координат всех элементов цепи.
3. Так как координаты точки центра могут не совпадать с координатами ячеек ДРП, то точка центра перемещается в ближайшую ячейку ДРП.
4. Через эту точку проводится «столб», для построения дерева Штейнера.
5. Каждый элемент цепи связывается со «столбом Штейнера».
6. Имеем модель цепи на основе дерева Штейнера в Манхэттенской метрике (рис. 3).
7. Далее вычисляется оценка временной задержки на контактах D1 и на межсоединениях цепи D2.
8. Итоговая задержка вычисляется как сумма D1 и D2.
9. Работа алгоритма завершена.

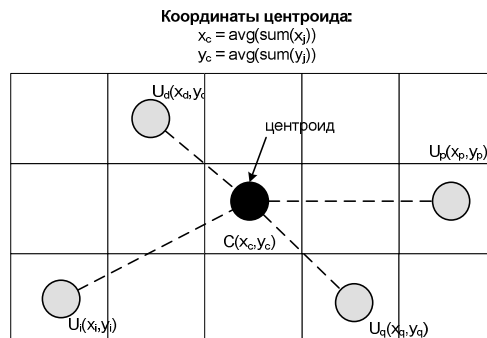


Рис. 2. Модель цепи в виде звездного графа

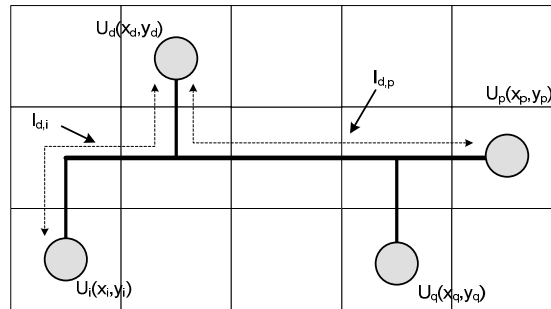


Рис. 3. Модель цепи в Манхэттенской метрике для оценки временной задержки между контактами цепи

На рис. 2 и 3 показан пример как вычислить задержку между контактами  $u_i$  и  $u_d$  в сети с количеством контактов  $k$ . Мы фактически не трассируем схему, а получаем значение оценки задержки, приближенное к значению оценки для цепи, после трассировки.

Положим, что:  $R_d$  – ведущее сопротивление («driver resistance»);  $C_g$  – ёмкость нагрузки, состоящая из ёмкостей затворов транзисторов на концах цепи;  $r$  – сопротивление модуля на единицу длины;  $c$  – ёмкость модуля на единицу длины,  $l$  – длина соединения между контактами  $u_i$  и  $u_d$ .

Временная задержка вычисляется в два этапа:

$$D_1(n_j) = R_d (c * L(N_j) + (k - 1) * C_g), \quad (6)$$

- ♦ задержка начального сопротивления заряда цепи нагрузки и всех контактов этой цепи:

$$D_2(u_i, n_j) = rc * l_{d,i}^2 + r * l_{d,i} * C_g. \quad (7)$$

- ♦ внутренняя задержка пути от  $u_i$  до  $u_d$  за счет внутренней емкости и внутреннего сопротивления. Вычисляется для каждой пары элементов цепи;

Заключительная задержка – сумма рассмотренных выше двух частей, умноженная на нормировочный коэффициент  $\beta$ .

$$D = \beta (D_1 + \sum_k D_2). \quad (8)$$

**Заключение.** Проблема построения моделей для оценки временных задержек на таких этапах конструкторского проектирования как разбиение и размещение – чрезвычайно актуальна и обуславливается необходимостью учета ограничений на топологические и временные параметры проектируемого устройства.

Использование предложенных моделей позволяет учитывать временные характеристики на ранних этапах конструкторского проектирования. Что в совокупности с новыми методами поиска [7] позволит сократить временные затраты на проектирование и повысить эффективность результатов конструкторского проектирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 360 с.
2. *Donath W.E. et al.* Timing Driven Placement Using Complete Path Delays Proc. ACM/IEEE DAC, 2008.

3. Лебедев Б.К., Дуккардт А.Н. Разбиение на основе комбинированных генетических процедур // Известия ТРТУ. – 2006. – № 8 (63). – С. 46-51.
4. Дуккардт А.Н. Решение задачи разбиения на основе процедуры «Выбивания» // Известия ТРТУ. – 2006. – № 6 (61). – С. 63-66.
5. Лежебоков А.А. Генетический алгоритм решения задачи размещения элементов СБИС с учетом временных задержек // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Т. 1. – М.: Физматлит, 2007. – С. 429-436.
6. Лежебоков А.А., Гладков Л.А. Результаты компьютерного моделирования решения задачи размещения элементов СБИС с учетом временных задержек // III Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем– 2008» (МЭС-2008), 2008 / Сборник научных трудов под общ. ред. А.Л. Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2008. – С. 130-136.
7. Курейчик В.М., Биоинспирированный поиск с использованием сценарного подхода. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108).– С. 7-12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.О. Чернышев.

**Лежебоков Андрей Анатольевич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: legebokov@gmail.com.

347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371651.

Кафедра систем автоматизированного проектирования, к.т.н., ассистент.

**Дуккардт Александр Николаевич**

E-mail: aduckardt@gmail.com

Кафедра систем автоматизированного проектирования, к.т.н., ассистент.

**Lezhebokov Andrey Anatolyevich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: legebokov@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371651.

The Department of Computer Aided Design; Cand. of Eng. Sc.; Assistant.

**Duckardt Alexander Nikolaevich**

E-mail: aduckardt@gmail.com

The Department of Computer Aided Design; Cand. of Eng. Sc.; Assistant.

УДК 681.3.016:658.512.2.011.5:519.711.3

**О.С. Коваленко**

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ  
ДАНЫХ САПР В «ОБЛАКЕ»\***

*Рассмотрена формализованная постановка задачи оптимизации размещения данных САПР в «облаке» в соответствии с предложенным иерархическим представлением структуры сложной САПР. Определены и описаны основные этапы и проблемы решения данной задачи на различных уровнях организации системы, определены исходные данные задачи. На каждом этапе решения задачи оптимизации вводятся необходимые ограничения. Раз-*

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 11-01-00122).