

K. M. Zibarev, S. E. Mironov, A. K. Frolkin
Saint Petersburg Electrotechnical University

CLOSE-PACKED DESIGN OF CMOS LSI CELLS LAYOUT BASED ON GRAPH AND COMBINATORIAL METHODS

Is devoted to the research results description in the field of creating of software generation tools for close-packed layout of CMOS LSI cells in a process tolerant concept. The developed software tools generate a textual description of process tolerant sketches of the cell layout on a virtual coordinate grid. At the request of the consumer (the developer of integrated circuits large fragments), the process tolerant cell layout description can be quickly adapted to the required design rules of the manufacturer using one-dimensional layout compaction algorithms. Moreover, in the process of adaptation, in addition to design rules, additional restrictions on the dimensions and pins coordinates can take into account, which allows you to configure the cell layout not only for design rules, but also for the cell library requirements. High packing density of cells provided by graph and combinatorial transistors placement methods. The developed software for cell layout generation allows the user to set the required for pins coordinates and layout layers in which they will held.

Cells layout, LSI, layout optimization, transistor placement, link tracing, layout compaction

УДК 004.021

Д. В. Легостаев, Л. А. Шумилов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Многокритериальная методика Саати для выбора видеокарты

Методика Саати – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. Она приводит лицо, принимающее решение, не к «правильному» решению, а к варианту, наилучшим образом согласующемуся с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Поэтому данная методика обладает высокой универсальностью и может применяться для решения самых разнообразных задач. Однако применение данной методики требует большого количества исходных данных. Если исходные данные имеют погрешность, «колебания» некоторых параметров могут привести к смене лидера. Для оценки зависимости результатов от погрешностей выполняется оценка устойчивости. В отечественной и зарубежной литературе отсутствуют примеры использования методики Саати для выбора электронных компонент. В данной статье демонстрируются особенности такого выбора для электронного изделия – видеокарты. Также демонстрируется оценка устойчивости и сравнение полученных результатов с ожидаемыми.

Метод анализа иерархий (МАИ), матрица парных сравнений (МПС), теория принятия решений, видеокарта, вычислительная техника, электронные компоненты

Постановка задачи. Формирование цели. Видеокарта (также видеоплата, видеоадаптер, видеоускоритель, GPU) представляет собой важный элемент компьютерной системы. В ее состав могут входить собственные процессор, память и система охлаждения. Информация, которая должна быть обработана видеокартой, отправляется с центрального процессора компьютера. Видеокарта обрабатывает ее, а затем выводит цельную картинку на монитор. От параметров видеокарты зависит то, как хорошо и быстро будет выводиться изображение.

Определяющим фактором при выборе видеокарты в первую очередь является цена, так как пользователь имеет какой-либо ограниченный бюджет на покупку, а цены на видеокарты могут изменяться от 500 р. на б/у рынке за слабые устаревшие модели до 150 тыс. р. и более за профессиональные решения. Далее идет графический чип, его частота, объем видеопамати, ее тип, частота, разрядность шины, система охлаждения, тепловыделение (TDP), количество фаз питания.

Таким образом, совокупность множества параметров может вызвать сложности при выборе видеокарты. Каждый человек имеет свое мнение по поводу важности того или иного параметра, в разных регионах различается ассортимент видеокарт и их цена. Метод анализа иерархий (МАИ) использует системный подход и позволяет в интерактивном режиме найти нужный вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с мнением человека по поводу важности того или иного параметра, а также с ситуацией на рынке видеокарт.

Использование МАИ начинается с формирования цели, критериев и альтернатив [1]. Цель определена – выбор видеокарты. Далее нужно сформировать альтернативы и критерии выбора видеокарты.

Альтернативы выбора формируются в соответствии с рынком видеокарт и бюджетом покупателя. В статье для примера будет использован high-end сегмент видеокарт (от 25 до 45 тыс. р.), по одной модели с каждым доступным за эти деньги графическим чипом разных компаний-вендоров (табл. 1).

Таблица 1

№	Название	Графический чип	Цена, Р
1	EVGA GTX 1070 SC Gaming Black Edition 8 GB OC	GP104-200	27 489
2	Gigabyte GTX 1070Ti Gaming 8 GB OC	GP104-300	29 471
3	Palit GTX 1080 DUAL 8 GB	GP104-400	35 799
4	MSI RTX 2070 ARMOR 8 GB	TU106-400A	37 015
5	Sapphire RX VEGA 56 NITRO+ 8 GB OC	Vega 10 XL	34 458
6	ASUS ROG Strix RX Vega 64 OC Gaming 8 GB	Vega 10 XT	33 883

Цены на видеокарты были взяты с сайта <http://www.computeruniverse.ru>, кроме видеокарты Palit: на момент написания статьи она отсутствовала в данном магазине, поэтому ее цена была взята с сайта <https://www.dns-shop.ru>.

Критерии выбора. Критерий 1 – производительность видеокарты. Графический чип, используемый в видеокарте, и его частота – главный показатель ее производительности. В нашем ценовом диапазоне фигурирует только 6 видов чипов. Производительностью видеокарты считается результат бенчмарка исследуемой видеокарты,

но реальность такова, что вариаций видеокарт с одним чипом много, все они имеют разную частоту и обычно каждую такую видеокарту в бенчмарке не тестируют. А если в открытом доступе и найдутся результаты, то, скорее всего, они будут из разных источников. Отсюда вытекает то, что на результат может повлиять, например, конфигурация тестового стенда. Поэтому проще и надежнее использовать результаты эталонных видеокарт с одного ресурса. Эталонная видеокарта существует у каждого современного чипа. Таким образом, производительность вычисляется по формуле

$$B_x = \frac{B_r}{F_r} F_x,$$

где B_x – теоретический результат бенчмарка исследуемой видеокарты; B_r – результат бенчмарка эталонной (reference) видеокарты; F_r – частота эталонной видеокарты; F_x – частота исследуемой видеокарты.

Оценки критерия 1 (Kp_1) для исследуемых видов чипов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Частота чипа, МГц	Эталонная частота чипа, МГц	Результат бенчмарка эталонной видеокарты, у. е.	Kp_1 – теоретическая производительность, у. е.
1594	1683	11 243	10 648.45
1683	1683	12 217	12 217
1759	1733	12 353	12 538.33
1512	1471	11 431	11 749.60
1590	1546	11 919	12 258.22
1740	1620	14 317	15 377.51

Критерий 2 – объем видеопамяти. Напрямую на производительность объем видеопамяти не влияет. Например, если игра требует 2 Гб видеопамяти, то разницы в производительности между двумя видеокартами, например, с 4 и 8 Гб видеопамяти не будет при прочих равных. Если игра будет требовать больше видеопамяти, чем имеет видеокарта, то это серьезно ударит по производительности видеокарты и будет являться ограничивающим фактором. В основном от объема видеопамяти зависит то, насколько долго вы сможете пользоваться видеокартой, так как с каждым годом производительность чипа и требования к нему увеличиваются не такими быстрыми темпами, как объем видеопамяти и требования к ней. У других ви-

деокарт также могут встречаться объемы видеопамати 3, 4, 6, 8, 11, 16 Гб. Видеокарты с другим объемом обычно являются либо устаревшими, либо узкоспециализированными.

Оценки критерия 2 (Kp_2) для исследуемых видов чипов приведены в табл. 3.

Таблица 3

№	Kp_2 – объем видеопамати, Гб	Эффективная частота видеопамати, МГц	Разрядность шины, бит	Kp_3 – пропускная способность, бит/с
1	8	8008	256	2 050 048
2	8	8008	256	2 050 048
3	8	10 000	256	2 560 000
4	8	1600	2048	3 276 800
5	8	1890	2048	3 870 720
6	8	14 000	256	3 584 000

Критерий 3 – пропускная способность памяти (ПСП). Видеокарты, актуальные на момент исследования, имеют только 5 типов памяти: GDDR5, GDDR5X, GDDR6, HBM, HBM2. Тип памяти учитываться не будет, так как, грубо говоря, самое важное, на что он влияет, – максимальная частота видеопамати, которая будет учитываться отдельно. Разрядность шины варьируется от видеокарты к видеокарте, в основном это 128, 192, 256, 512, 2048, 4096 бит. ПСП вычисляется по формуле «частота × шина»:

$$B = FW,$$

где B – пропускная способность памяти исследуемой видеокарты; F – частота памяти исследуемой видеокарты; W – разрядность шины исследуемой видеокарты.

Оценки критерия 3 (Kp_3) для исследуемых видов чипов приведены в табл. 3.

Критерий 4 – эффективность системы охлаждения. Система охлаждения является немаловажным параметром при выборе видеокарты. Основные различия систем охлаждения: количество вентиляторов (1, 2, 3 шт.), их размер (80, 92, 96 мм), размер радиатора (1; 2; 2.5; 3 слота PCI-E в высоту; длина и ширина вычисляются исходя из количества и размера вентиляторов), количество теплотрубок. Систему охлаждения нужно рассматривать вместе с тепловыделением видеочипа, так как при малом тепловыделении видеочипа мощная система охлаждения видеокарты будет попросту лишней тратой денег.

Из-за нескольких неоднозначных параметров система охлаждения будет также выбираться при помощи МАИ. Далее приведены соответствующие расчетные таблицы. В табл. 4 представлены исходные данные для расчетных табл. 5, 6.

Исходя из предпочтений авторов назначаем матрицу парных сравнений (МПС критериев выбора системы охлаждения (табл. 5) и расчет ff_4 (табл. 6)).

Эффективность системы охлаждения исследуемой видеокарты (E) будет вычисляться по формуле

$$E = \frac{ff_4}{T},$$

где ff_4 – результат функции полезности системы охлаждения по МАИ; T – тепловыделение исследуемой видеокарты (ввиду сложности получения данных о тепловыделении будем считать, что тепловыделение = энергопотребление).

Функция полезности ff_4 учитывает размер радиатора, воздушный поток вентиляторов и количество теплотрубок.

Для исследования эффективности радиатора стоило бы учитывать не размер, а площадь рассеивания и материал металла, однако такие данные в свободном доступе не найти, а самостоятельно можно получить, только имея в распоряжении все альтернативы и специальные инструменты. Поэтому сознательно опускаем данные параметры и исследуем размер. Однако точный размер радиатора конкретной видеокарты в свободном доступе тоже не найти, поэтому будем условно считать его равным размеру видеокарты (S), который рассчитывается по формуле

$$S = LWH,$$

где L – длина видеокарты; W – ширина видеокарты; H – размер самого большого вентилятора видеокарты (высота видеокарты обычно не пишется в характеристиках, но если она есть, стоит использовать ее).

В крайнем случае, все это можно опустить и прибегнуть к дополнительной МПС, где будут парные сравнения величины радиаторов «на глаз».

Воздушный поток вентиляторов (F) будет вычисляться по следующей формуле:

$$F = HN,$$

где H – размер самого большого вентилятора видеокарты; N – количество вентиляторов.

Оценки критерия 4 (Kp_4) для исследуемых видов чипов приведены в табл. 7.

Таблица 4

№	Ширина, мм	Длина, мм	Максимальный размер вентилятора, мм	Размер, мм ³	Количество вентиляторов	Воздушный поток, у. е.	Количество теплотрубок
1	38	266.7	80	810 768	2	160	5
2	38	280	80	851 200	3	240	2
3	38.7	267	80	826 632	2	160	3
4	54	310	92	1 540 080	3	276	8
5	52.5	298	92	1 439 340	3	276	6
6	50	309	96	1 483 200	2	192	5

Таблица 5

Критерий выбора	Размер радиатора	Воздушный поток	Количество теплотрубок	Собственный вектор
Размер радиатора	1	3	5	0.64
Воздушный поток	1/3	1	3	0.26
Количество теплотрубок	1/5	1/3	1	0.10

Таблица 6

№ модели	Размер видеокарты (норм.)	Воздушный поток (норм.)	Количество теплотрубок (норм.)	f_4
1	0.117	0.123	0.172	0.124
2	0.122	0.184	0.069	0.132
3	0.119	0.123	0.103	0.118
4	0.222	0.212	0.276	0.224
5	0.207	0.212	0.207	0.208
6	0.213	0.147	0.172	0.192

Таблица 7

№	f_4	Тепловыделение (TDP), Вт	Kp_4 – эффективность системы охлаждения	Количество фаз питания	Энергопотребление, Вт	Kp_5 – эффективность подсистемы питания
1	0.124	150	0.000826	5	150	0.033
2	0.132	180	0.000737	8	180	0.044
3	0.118	180	0.000657	5	180	0.027
4	0.224	210	0.001069	15	210	0.071
5	0.208	295	0.000705	13	295	0.044
6	0.192	175	0.001097	8	175	0.045

Критерий 5 – эффективность подсистемы питания. Количество фаз питания также является важным параметром видеокарты, так как от количества зависит разгонный потенциал видеочипа и видеопамати, отказоустойчивость подсистемы питания. Количество фаз питания нужно рассматривать в совокупности с энергопотреблением видеочипа, поэтому эффективность подсистемы питания исследуемой видеокарты вычисляется по формуле

$$E_p = \frac{N_p}{P},$$

где N_p – количество фаз питания исследуемой видеокарты; P – энергопотребление исследуемой видеокарты.

Оценки критерия 5 (Kp_5) для исследуемых видов чипов приведены в табл. 7.

Выявление лучшей видеокарты через МАИ. Личное мнение авторов относительно парного сравнения важности перечисленных критериев для выбора видеокарты закодировано в табл. 8.

Таблица 8

№ критерия	Kp_1	Kp_2	Kp_3	Kp_4	Kp_5	СВ
Kp_1	1	3	3	1	5	0.344
Kp_2	1/3	1	1	1/3	3	0.129
Kp_3	1/3	1	1	1/3	3	0.129
Kp_4	1	3	3	1	5	0.344
Kp_5	1/5	1/3	1/3	1/5	1	0.055

Таблица 9

№ модели	Кр ₁	Кр ₂	Кр ₃	Кр ₄	Кр ₅	<i>f</i>	Нормированная цена	Отношение
1	0.142	0.166	0.117	0.162	0.124	0.148	0.138	1.06
2	0.163	0.166	0.117	0.144	0.166	0.151	0.148	1.01
3	0.167	0.166	0.147	0.128	0.104	0.148	0.180	0.81
4	0.157	0.166	0.188	0.210	0.267	0.186	0.173	1.07
5	0.163	0.166	0.222	0.138	0.165	0.163	0.171	0.95
6	0.205	0.166	0.206	0.215	0.171	0.202	0.186	1.08

Использована 9-позиционная шкала Саати [2]. Содержание табл. 8 может быть представлено следующим образом:

– производительность (Кр₁) незначительно важнее объема видеопамяти (Кр₂);

– производительность (Кр₁) незначительно важнее пропускной способности памяти (Кр₃);

– производительность (Кр₁) одинаково важна в сравнении с эффективностью (Кр₄) системы охлаждения;

– производительность (Кр₁) значительно важнее эффективности подсистемы питания (Кр₅);

– объем видеопамяти (Кр₂) одинаково важен по сравнению с (Кр₃) пропускной способностью памяти;

– объем видеопамяти (Кр₂) незначительно важнее эффективности подсистемы питания (Кр₅);

– пропускная способность памяти (Кр₃) незначительно важнее эффективности подсистемы питания (Кр₅);

– эффективность системы охлаждения (Кр₄) незначительно важнее объема видеопамяти (Кр₂);

– эффективность системы охлаждения (Кр₄) незначительно важнее пропускной способности памяти (Кр₃);

– эффективность системы охлаждения (Кр₄) значительно важнее эффективности подсистемы питания (Кр₅).

Парные сравнения – это комфортные условия для лица, принимающего решения относительно векторного сравнения объектов. Это формализованное изображение произвола, который объективно существует при векторном сравнении.

Столбец СВ (табл. 8) – координаты собственного вектора МПС. Общее обозрение этих координат показывает, что производительность (Кр₁) и эффективность системы охлаждения (Кр₄) яв-

ляются самыми важными критериями, затем по важности идут объем видеопамяти (Кр₂) и пропускная способность памяти (Кр₃), а эффективность подсистемы питания (Кр₅) – наименее важная в перечне рассматриваемых критериев.

Отношение согласованности (ОС) у данной матрицы – 1.24 %, что является хорошим показателем, так как считается, что если ОС у матрицы <10 %, то можно быть удовлетворенным степенью согласованности суждений.

Табл. 9 – результирующая таблица. Она показывает отношение функции полезности *f*; пяти критериев (столбцы) к нормированной цене видеокарты для всех 6 анализируемых моделей видеокарты.

Оценка устойчивости. При изменении в ту или иную сторону параметра «длина» или «ширина» видеокарты на ±10 % происходят изменения в результирующем значении отношения, которые могут привести даже к смене лидера. Это говорит о том, что эти параметры являются значимыми при определении наилучшей альтернативы.

Поэтому при поиске значений этих параметров стоит находить наиболее точные или, как уже было указано ранее, заменить численное вычисление размера радиатора на субъективную оценку размеров и занесение ее в МПС, или искусственно уменьшить значимость размера в выборе системы охлаждения, или в целом уменьшить значимость системы охлаждения при выборе видеокарты.

Результаты. В результате исследования почти между всеми видеокартами не было обнаружено сильных различий по соотношению функция полезности/цена.

Самой слабой оказалась видеокарта Palit GeForce GTX 1080 DUAL 8 GB со значением отношения 0.81. И это не удивительно, так как видеокарта позиционируется как бюджетная, имеет плохую систему охлаждения и подсистему питания, но в связи с тем, что данную модель пришлось рассматривать в другом магазине, цена в

котором почти достигает недавно вышедшей RTX 2070, хотя по факту такая видеокарта должна стоять на уровне 1070Ti или даже ниже.

Далее идет видеокарта ASUS ROG Strix Radeon RX Vega 64 OC Gaming 8 GB с отношением 0.95. Она имеет очень неплохую производительность, в сравнении с младшей моделью от AMD – Sapphire Radeon RX VEGA 56 NITRO+ 8 GB OC меньше стоит, лучше ПСП, однако посредственная система охлаждения и эффективность подсистемы питания поставили эту видеокарту на предпоследнее место.

Далее идет видеокарта Gigabyte GeForce GTX 1070Ti Gaming 8 GB OC. Видеокарта почти по всем параметрам имеет средние или низкие значения, но относительно низкая стоимость позволяет видеокарте занять 4-е место среди выбранных видеокарт.

После этого идут три видеокарты, очень близкие по значениям отношений: Sapphire RX VEGA 56 NITRO+ 8 GB OC (1.07) и EVGA GeForce GTX 1070 SC Gaming Black Edition 8 GB OC (1.06) – довольно качественно сделанные видеокарты, хорошо сбалансированы по параметрам

и цене; с MSI RTX 2070 ARMOR 8 GB (1.07) все не совсем однозначно, так как в бенчмарке PassMark, который использовался для определения производительности эталонных видеокарт, эта видеокарта показывает очень хорошие результаты (+20 % по сравнению с GTX 1080), хотя во многих игровых тестах она показывает результаты, слегка превышающие GTX 1080. Связано это в первую очередь с тем, что в RTX 2070 используется новая технология, поддержка которой в играх на данный момент либо не реализована, либо реализована плохо, а в выбранном бенчмарке, скорее всего, поддержка этой технологии уже имеется.

Видеокарту для сборки ПК действительно трудно выбрать. В этом можно убедиться после применения МАИ к данной проблеме. По полученным результатам отношения функции полезности к цене действительно можно выявить лидера и составить рейтинг. Однако очевидно, что на это влияет человеческий фактор, так как в основе метода лежит МПС, значения которой устанавливаются лицом, принимающим решение, в соответствии с его собственными убеждениями и предпочтениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

2. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

D. V. Legostaev, L. A. Shumilov
Saint Petersburg Electrotechnical University

SAATI'S MULTI-CRITERIA TECHNIQUE FOR CHOOSING A VIDEO CARD

The Saati methodology is a mathematical tool for a systematic approach to complex decision-making problems. It leads the decision maker, not to the «right» decision, but to the option that best agrees with his understanding of the essence of the problem and the requirements for its solution. Therefore, this technique is highly versatile and can be used to solve a wide variety of problems. However, the application of this technique requires a large amount of input data. If the source data have an error. "Fluctuations" of some parameters can lead to a change of leader. To assess the dependence of the results on the errors, a stability assessment is performed. In domestic and foreign literature there are no examples of using the Saati technique to select electronic components. This paper demonstrates the features of such a choice for an electronic product - a video card. It also demonstrates the assessment of sustainability and comparing the results with the expected ones.

Hierarchy Analysis Method (MAI), pair comparison matrix (MPS), decision theory, graphics card, computer technology, electronic components
