

ВОПРОСЫ АДАПТАЦИИ АГРЕГИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СХЕМ НА ЭТАПЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В САПР

К.т.н. И.В. Прасол, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В работе рассмотрены некоторые проблемы адаптации агрегированных математических моделей электронных схем при автоматизированном параметрическом синтезе. Агрегированная модель строится по полной математической модели схемы на уровне компонентов и отображает основные параметры и характеристики, существенные на конкретном этапе проектирования.

Some problems of adaptation of the aggregated mathematical models of electronic circuits at the automated parametric synthesis. The aggregated model is built on the complete mathematical model of circuit at the level of components and represents basic parameters and descriptions, substantial at the concrete stage of planning.

Введение

В технических системах существует два подхода к организации адаптационных процессов [1]. При первом подходе адаптивные процессы поддерживают объект в состоянии, определяемом целью и, в этом смысле, адаптация является управлением. При втором - связаны с максимизацией эффективности функционирования объекта, и адаптация рассматривается как оптимизация в условиях ограничений.

Обычно основным объектом адаптации (ОА) в САПР является программное обеспечение (ПО) [2], а, следовательно, и математическое обеспечение, на основе которого разработаны прикладные программы. Адаптация ПО к объекту проектирования (ОП) означает способность САПР приспосабливаться к потоку ОП с целью достижения оптимального проектирования на основе поступающей априорной и апостериорной информации.

С другой стороны, процесс разработки проекта в САПР может быть представлен как адаптивный поисковый процесс, целью которого является достижение ОП оптимального состояния с наилучшими показателями. Здесь в качестве ОА выступает сам ОП.

Часто ОА изменяется во времени непредвиденным образом и адекватной ему модели нет в данный момент времени. Это обстоятельство заставляет дополнить адаптацию идентификацией - процессом синтеза адекватной модели, которая и используется для синтеза адаптирующего воздействия. Такого рода адаптация является адаптацией с самонастраивающейся моделью.

В ряде случаев объект адаптации настолько сложен, что крайне затруднительно построить его полную модель, а тем более - адекватную. Здесь целесообразно использовать поисковую адаптацию. Она отличается наличием поиска для определения необходимого адаптирующего воздействия без модели объекта. При этом определяется влияние адаптирующего воздействия на эффективность объекта, и эта информация используется для ее повышения. Поисковая адаптация носит многоэтапный

характер, т.к. необходимо одновременно экспериментировать с объектом и адаптировать его. Это значительно усложняет процесс, а адаптирующее воздействие имеет различный характер. Можно менять параметры ОА (параметрическая адаптация) или его структуру (структурная адаптация). Структурная адаптация является более сложной и сопровождается параметрической, так как каждая структура имеет свои параметры, которые также нуждаются в адаптации. Адаптация структуры достигается, во-первых, за счет незначительных ее изменений, имеющих эволюционный характер - эволюционная адаптация [3], и, во-вторых, путем выбора одной из альтернативных структур объекта - альтернативная адаптация.

Особую остроту приобретают вопросы адаптации агрегированных моделей (АМ) [4] к проектным процедурам в интегрированных САПР, что связано с появлением необходимости на отдельных этапах выбора маршрута проектирования, построения упрощенных моделей ОП или его частей, оценки их адекватности и выбора одного из множества наиболее эффективных методов и алгоритмов обработки. До настоящего времени исследованы лишь частные вопросы адаптации моделей по точности и размерности [5;6].

Вместе с тем, адаптация АМ должна быть рассмотрена значительно шире и глубже. Особенно актуальны вопросы адаптации АМ на этапе параметрического синтеза схем в САПР, когда адаптационный процесс должен затрагивать модель не только по точности и адекватности в пространстве внешних переменных, но и в пространстве управляемых параметров; сам набор управляемых параметров; способы перехода между моделями различных уровней; выбор наиболее эффективного метода поиска экстремума функции цели (ФЦ).

1. Постановка задачи

В данной работе ставится цель выделить круг проблем и связанных с ними задач, возникающих в результате использования АМ на этапе параметрического синтеза электронных схем в САПР, а также возможных путей их решения.

АМ, построенная на основе полной математической модели функционального узла на уровне компонентов, по своей природе является адаптирующейся, т.к. учитывает только набор параметров и характеристик, существенных на конкретном этапе проектирования. Однако, наибольший эффект дает применение адаптации при параметрической оптимизации, которая сопровождается непрерывным и целенаправленным изменением не только значения управляемых параметров, но и их наборов.

Исследование проводится на основе графовых представлений маршрутов проектирования, процесса па-

раметрической оптимизации и переходов АМ между возможными состояниями.

2. Задачи представления ОА

ОА может быть представлен как некоторый конечный вероятностный автомат (АА), который определяется следующей пятеркой:

$$\begin{aligned} &(\{S\}, \{I\}, \{B\}, \Phi, f), \\ &S(t+1) = \Phi(S(t)), I(t+1); \\ &B(t) = f(S(t)), \end{aligned}$$

где $S(t)$ - внутреннее состояние автомата в момент t ;

$I(t)$ - вход АА (отклик среды);

Φ - функция перехода из состояния в состояние, $\Phi: \{S\} \times \{I\} \rightarrow \{S\}$;

$B(t)$ - выход АА в момент времени t , т.е. его альтернатива;

f - функция выхода, $f: \{S\} \rightarrow \{B\}$.

Характеристикой среды является n -мерный вектор $C = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, компоненты которого P_i представляют собой вероятность того, что за действия или структуру В ОА получит от среды сигнал поощрения, а с вероятностью $Q_i = (1 - P_i)$ - сигнал наказания. И хотя P_i объективно существуют, они заранее неизвестны. Если это не так, то задача адаптации решается тривиально.

Важной проблемой является выбор и сочетание локальных целей подобъектов и глобальной цели объекта в целом.

Представление исходной формулировки задачи в виде адаптивной системы, основанной на идеях коллективного поведения, предполагает решение следующих задач:

- а - формирование моделей среды и ОА;
- б - формирование локальных целей подобъектов адаптации и глобальной цели объекта;
- с - разработка альтернативных состояний ОА, структуры обучающегося автомата адаптации и механизмов его переходов;
- д - разработка методов выработки управляющих сигналов поощрения или наказания в процессе работы адаптивного алгоритма;
- е - разработка общей структуры процесса адаптивного поиска.

Прежде всего, возможно использование мета-автомата адаптации (МАО), который меняет локальные цели подобъектов в процессе эволюционной адаптации всего объекта в целом. Можно также осуществлять частичную замену подобъектов и изменять структуру и свойства связей между объектами.

Возможно применение в процессе адаптации различных структурных элементов. В результате адаптации структуры и механизмов переходов в АА выбираются те элементы, которые дают наилучшие результаты. Повышение эффективности работы АА возможно с использованием принципов искусственного интеллекта.

После получения определенного числа наказаний и выхода из текущей группы состояний (альтернативы), при наличии числа альтернатив более двух, перед АА возникает проблема выбора альтернативы, в которую он должен перейти. Механизмы логического вывода, в частности, нечеткого, могут быть использованы для организации такого перехода. Такой интеллектуальный автомат адаптации (ИА) позволяет накапливать опыт проектирования, оценивать эффективность применения различных

методик. Каждая альтернатива B_i , соответствующая определенной группе состояний ИА, характеризуется в общем случае набором показателей $P_i = \{P_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, k\}$, которые составляют ядро глобальной базы данных ИА. Для каждого конкретного объекта проектирования в ИА формируется множество правил и процедур перехода из состояния в состояние. Разрабатываются стратегии управления, позволяющие путем использования правил и процедур к глобальной базе данных придти к наиболее эффективной на данном этапе альтернативе. В этом случае сочетаются механизмы случайного поиска с механизмами вывода на основе индукции и дедукции.

Поскольку возможно использование нескольких стратегий управления, то предлагается использовать автомат, который позволяет осуществлять выбор наилучшего ИА для данного набора альтернатив. В ИА возможно использование некоторых наборов параметров, которые настраивают его. В этом случае МАО на одном ИА осуществляет адаптацию к некоторому набору управляющих параметров.

В качестве оценки работы ИА может служить частота переходов из состояния в состояние или число переходов в устойчивое состояние (скорость адаптации).

3. Адаптация АМ к процессу оптимизации

Различия в требованиях к структуре АМ, изменяющихся в процессе оптимизации, обуславливают необходимость перманентного преобразования информации о схеме к виду, адаптированному к текущему состоянию оптимизационного процесса. Каждый шаг такого преобразования выполняется по соответствующему алгоритму. В результате выполнения очередного шага АМ переводится из одного состояния в другое. Начальное состояние соответствует модели, построенной в базе узловых потенциалов или напряжений выделенных сторон многополигона. Текущее состояние зависит от набора управляемых параметров, удаления текущей точки пространства переменных АМ от начальной, разности значений текущего значения ФЦ и начального. Конечное состояние зависит от степени достижения предполагаемого оптимального значения ФЦ и временных затрат. Процесс оптимизации параметров схем по АМ тогда можно представить в виде ориентированного графа, вершины которого соответствуют состояниям АМ, а дуги – шагам, переводящим АМ из одного состояния в другое. Дуга направлена от предыдущего состояния АМ к последующему, а ее вес определяется алгоритмом, обслуживающим шаг. Таким образом, каждое последующее состояние АМ определяется предыдущим состоянием и алгоритмом, обслуживающим переход из одного состояния в другое.

Последовательность состояний, проходимых в процессе оптимизации, образует маршрут оптимизации. Так, маршрут оптимизации $(M_0, M_1, \{M_2, M_3\}, M_4, M_5)$ (рис. 1) обслуживается алгоритмами $A_{01}, A_{12}, A_{23}, A_{25}, A_{32}, A_{34}, A_{42}$ и A_{45} . Состояния $\{M_2, M_3\}$ и $\{M_2, M_3, M_4\}$ заключены в фигурные скобки, это означает, что они могут повторяться многократно вследствие итерационного характера процедуры оптимизации. Указанные на графе алгоритмы в своей совокупности представляют алгоритмическое обеспечение оптимизационной процедуры:

$$ОП_k = (A_{01}, A_{12}, A_{23}, A_{25}, A_{32}, A_{34}, A_{42}, A_{45}).$$

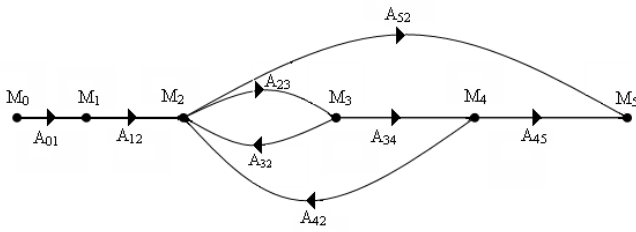


Рис. 1. Ориентированный граф процесса оптимизации

Число состояний агрегированной модели схемы, а значит, и число вершин в графе, определяется степенью детализации процесса оптимизации. Так, если принять перевод АМ схемы из состояния M_i в M_j алгоритмом A_{ij} за верхний (укрупненный) уровень детализации процесса оптимизации, то на более низком уровне детализации этот переход можно представить детализированным графом, показанным на рис. 2. Здесь отмечены промежуточные состояния $M_{ij}^{(1)}, M_{ij}^{(2)}$ и алгоритмы, обслуживающие промежуточные шаги $a_{ij}^{(1)}, a_{ij}^{(2)}, a_{ij}^{(3)}, a_{ij}^{(4)}$. Очевидно, что $A_{ij} = \{a_{ij}^{(1)}, a_{ij}^{(2)}, a_{ij}^{(3)}, a_{ij}^{(4)}\}$. Этот процесс можно продолжить вглубь до достижения необходимого уровня детализации.

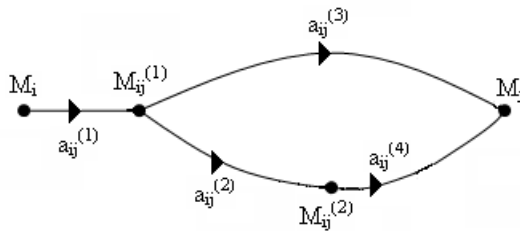


Рис. 2. Детализированный граф перевода АМ из состояния M_i в состояние M_j

В ряде случаев в зависимости от смысловой нагрузки двух соседних состояний M_i и M_j перевод АМ из одного состояния в другое можно осуществить не одним алгоритмом A_{ij} , а некоторым подмножеством алгоритмов $\{A_{ij}^{(k)}\}$ (рис. 3). Такая ситуация возникает, например, если состояние M_i соответствует формированию некоторой системы алгебраических уравнений, а состояние M_j - получению вектора неизвестных. Тогда $A_{ij}^{(k)}$ - подмножество алгоритмов одного и того же назначения - решения систем линейных алгебраических уравнений.

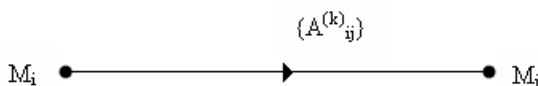


Рис. 3. Граф перевода АМ из состояния M_i в состояние M_j подмножеством алгоритмов $\{A_{ij}^{(k)}\}$

Алгоритмы одного и того же назначения образуют подмножество конкурирующих алгоритмов. Любой из них ориентирован на перевод АМ из состояния M_i в

M_j , но эффективность решения этой задачи зависит от особенностей состояния M_i . В каждом конкретном случае возникает проблема выбора из подмножества конкурирующих алгоритмов наиболее эффективного алгоритма, которая решается на основе критериев проблемной адаптации.

Обычно представитель подмножества конкурирующих алгоритмов выбирается на основе группы критериев, образующих некоторую иерархическую последовательность, которая организуется в некоторый адаптор шага. Каждое подмножество конкурирующих алгоритмов снабжается соответствующим адаптором.

Адаптор шага - это процедура, определяющая очередность применения критериев адаптации на множестве конкурирующих алгоритмов и выполняющая обработку требующейся при этом вспомогательной информации. Если адаптор шага выбирает алгоритм на основе исходной информации, говорят о априорной адаптации. В противном случае выбор алгоритма производится в состоянии M_i , т.е. на основе апостериорной информации, формирующейся в процессе прохождения задачи.

Такая организация шагов позволяет пройти один и тот же маршрут различными сочетаниями алгоритмов. Так, на рис. 4 показан граф, вес дуг которого определяют мощности соответствующих подмножеств алгоритмов, обслуживающих шаг. Очевидно, что приведенный маршрут можно пройти *мнр* сочетаниями алгоритмов, а их взаимное сравнение позволяет получить дополнительную информацию о достоверности результатов.

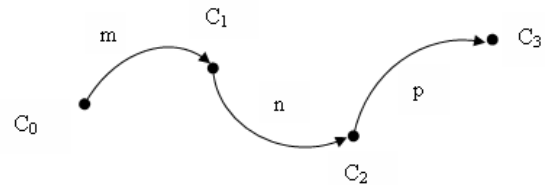


Рис. 4. Граф маршрута проектирования

На основе введенных понятий задачу адаптивного агрегирования для параметрической оптимизации можно сформулировать как определение открытого множества состояний и установление на нем связей по критериям проблемной адаптации, организованным в виде адапторов шага и маршрута. В результате образуется граф возможностей, отражающий организацию процесса оптимизации электронных схем по АМ.

Важной проблемой является построение иерархического ряда АМ, в пределах которого можно было бы переходить от более сложных моделей к более простым и наоборот [4]. Решение этой проблемы позволяет выбирать при многоуровневом проектировании сложных устройств оптимальные по вычислительным затратам и точности модели для каждого уровня проектирования при поддержании необходимой в целом точности процесса проектирования и разрешить тем самым противоречие между скоростью и точностью моделирования.

Пусть на i -м уровне проектирования используется АМ, имеющая вид:

$$F(x_1, \dots, x_m, a_1, \dots, a_r) = 0, \quad (1)$$

при ограничениях

$$f(x_1, \dots, x_k, a_1, \dots, a_p) \geq 0, \quad (2)$$

где F и f - некоторые вектор – функции;
 x - вектор аргументов (токов, напряжений);
 a - вектор параметров схемы;
 m, r, k, p - соответствующие размерности.

И пусть на j -м уровне проектирования для того же устройства используется другая АМ:

$$\Phi(x_1, \dots, x_n, b_1, \dots, b_l) = 0, \quad (3)$$

при ограничениях

$$\phi(x_1, \dots, x_q, b_1, \dots, b_v) \geq 0, \quad (4)$$

где n, l, q, v - соответствующие размерности.

Задача состоит в отыскании правил перехода от F к Φ для различных соотношений между размерностями m и n , r и l , k и q , p и v при соблюдении условия:

$$\|F - \Phi\| < \varepsilon, \quad (5)$$

где ε - допустимая погрешность несовпадения моделей.

Здесь возможны две основные подзадачи. Первая состоит в том, что заданы точная модель F и ограничения f , нужно построить менее точную, но более простую модель Φ и найти ограничения ϕ . Поскольку $l < r$, $n \leq m$, то возможно несколько решений, различающихся набором параметров $b_1, \dots, b_l$ и аргументов $x_1, \dots, x_n$. Желательно выбирать такие b и x , чтобы норма $\|F - \Phi\|$ слабо зависела от их значений. Особенность решения состоит в том, что параметры a и b простой и сложной моделей обычно функционально связаны, поэтому переход от F к Φ при ограничениях f требует пересчета ограничений f в ограничения ϕ , произвольно выбирать которые, следовательно, нельзя. Методы такого пересчета разработаны пока недостаточно.

Вторая подзадача состоит в разработке способов обратного перехода от простой, но малоточной модели Φ к более сложной и точной модели F . Поскольку $l < r$, $n \leq m$, то введение дополнительных параметров a может в принципе обеспечить высокую точность совпадения F и Φ , однако и здесь нужно найти такие ограничения ϕ , при которых в случае перехода от модели Φ к модели F выполнялись бы условия физической реализуемости для параметров a , т.е. ограничения f .

При использовании ряда АМ возможны и другие постановки задач. Например, пусть F - точная модель. Требуется построить иерархический ряд АМ $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ таких, что $\|\Phi_i - F\| < \varepsilon_i$. Очевидно, решение этой задачи обеспечивает и решение предыдущей $\|\Phi_i - \Phi_j\| < (\varepsilon_i - \varepsilon_j)_{\max}$, при этом нужно правильно определять ограничения на параметры каждой агрегированной модели ряда.

Выводы

В данной работе рассмотрены вопросы адаптации АМ электронных схем к проектным процедурам в САПР, в частности, на этапе параметрического синтеза. На основе анализа требований, предъявляемым к проектным процедурам в интегрированной САПР, и современной теории адаптации в технических системах определен ряд проблем и связанных с ними задач, возникающих при динамическом формировании АМ непосредственно перед их использованием. Как следствие, это накладывает специфические требования и к АМ, и к процессу адаптации в целом. Введена специальная процедура (адаптор шага и маршрута) для определения очередности применения критериев адаптации на множестве конкурирующих алгоритмов. Это позволяет организовать один и тот же маршрут проектирования с различными алгоритмами. Сформулирована задача адаптивного агрегирования.

Практическая реализация предложенных подходов к проблемной адаптации моделей в САПР позволяет повысить эффективность ее применения и расширить круг решаемых задач.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Растринин Л.А. Адаптивные компьютерные системы / Л.А. Растринин - М.: Знание, 1987. - 64 с.
2. Сигорский В.П. Проблемная адаптация в системах автоматизированного проектирования / В.П. Сигорский // Известия высших учебных заведений: Радиоэлектроника. - 1988. - Т.31, № 6. - С. 5-22.
3. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Курейчик В.М., Курейчик В.В., Гладков Л.А. - М.: ФИЗ-МАТЛИТ, 2006. - 320с.
4. Прасол И.В. Проблемы агрегирования моделей при решении задачи электрического анализа сложных электронных схем / И.В. Прасол, В.В. Семенец // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 4.- Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2009.- С. 98-101.
5. Rogoza V.S. Adaptive synthesis of component models in electronic circuits CAD systems / V.S. Rogoza // Mixed Design of Integrated Circuits & Systems. - 2009. - MIXDES-16th International Conference, 25-27 June 2009. - P. 220 – 225.
6. Thakur A., Banerjee A.G., Satyandra K. Gupta. A survey of CAD model simplification techniques for physics-based simulation applications / Atul Thakur, Ashis Gopal Banerjee, Satyandra K. Gupta // Computer-Aided Design.- 2009.- Vol. 41, Issue 2 (February).- P. 65-80.