

УДК 519.6

UDC 519.6

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

INTEGRATION OF THE PROBLEM-ORIENTED SOFTWARE IN CREATION OF TRAINING SYSTEMS OF AUTOMATION OF DESIGNING FOR THE EXPERTS IN THE FIELD OF RADIO ELECTRONICS

Анциферова Валентина Ивановна
к.т.н., доцент

Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya, Voronezh, Rossiya

Antsiferova Valentina Ivanovna
Cand.Tech.Sci., lecturer

Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

Представлены методы интеграции программного обеспечения для построения учебно-методического комплекса. Данный комплекс учитывает требования разработчиков микроэлектроники и обеспечивает основными знаниями и навыками студентов для проектирования микросхем. Рассматриваются методы создания оптимального комплекса. Этот комплекс применяется в учебном процессе

The methods of integration of the software for construction of a training-methodical complex are submitted. The given complex takes into account the requirements of the developers of microelectronics and provides with the basic knowledge and skills of the students for designing microcircuits. The methods of creation of an optimum complex are considered. This complex is applied in educational process

Ключевые слова: ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, ОБУЧЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ

Keywords: SOFTWARE, MICROELECTRONICS, TRAINING, OPTIMIZATION

В настоящее время для подготовки специалистов в области радиоэлектроники необходимо проводить занятия с использованием специальных обучающих средств, совокупность которых можно интерпретировать как учебно-методические обучающие комплексы. Наибольшую сложность такие комплексы имеют в сфере проектирования сложных технических объектов, например, микросхем, машин и оборудования и т.п. Основная их сложность состоит в учете всех требований системы проектирования с аппаратом моделирования и образовательного процесса, которые наиболее ярко проявляются при интеграции программного обеспечения [1,2]. Известно, то для создания, формирования и интеграции программных средств используется три подхода [3,4]. Первый заключается в интеграции лучших программных средств различных САПР на основе специально разрабатываемых общесистемных средств. Такой подход приводит к жесткой структуре САПР и рассчитан на конкретный маршрут проектирования определенного класса изделий. Второй

заключается в разработке САПР «под ключ» с максимально возможными средствами проектирования. Он очень громоздкий, требует значительных средств и финансирования и под силу только крупным разработчикам САПР. Третий подход заключается в разработке среды проектирования, на основе которой может создаваться собственная САПР, состоящая как из набора прикладных программных средств различных САПР, так и собственных разработок. Данное направление наиболее перспективно для дизайн-центров проектирования в России и отвечает сложившейся практике проектирования. Поэтому технология создания, формирования и интеграции программных средств будет осуществляться по третьему направлению. Для этого необходимо рассмотреть совокупность трех задач: структурный синтез среды САПР, проведение параметрической оптимизации ее параметров и построение оптимальных маршрутов проектирования. Причем последние две задачи решают одновременно и часто сводят к одной. САПР как сложная система характеризуется рядом особенностей их математического описания: 1) комбинаторная неопределенность при выборе оптимального варианта; 2) неопределенность в выборе критерия оптимизации за счет множественности и противоречивости технико-экономических требований; 3) неопределенность описания математических зависимостей характеристик системы от параметров и характеристик варьируемых компонентов структуры. Задачу создания САПР можно рассматривать как совокупность трех основных задач: 1) структурный синтез среды САПР; 2) параметрическая оптимизация (синтез параметров); 3) построение оптимальных маршрутов проектирования. Последние две задачи часто сводятся к одной. Тогда задача оптимизации структуры САПР сводится к адаптации базовых структур и оптимизации их параметров.

Задача структурного синтеза САПР является задачей многокритериальной оптимизации на множестве компонентов системы. Под решением задачи оптимального структурного синтеза САПР понимается минимизация

ция (максимизация) векторного интегрального критерия оптимизации $\varphi(z)$, характеризующего качество совместной работы компонентов.

$$\varphi(z) = \{\varphi_1(z), \varphi_2(z), \dots, \varphi_m(z)\} \quad (1)$$

При этом интегральный критерий оптимизации (выбора) $j(z)$ имеет вид функционала и описывается следующим образом:

$$\varphi(z, y) = \sum_{x \in z} J(x, y) + I(z, y) \quad (2)$$

где $J = \{J_i(x, y)\}$ - функционал качества, определяемый непосредственно на компонентах системы; $I = \{I_i(z, y)\}$ - функционал качества цепочек компонентов системы; y - вектор, характеризующий конкретное задание на проектирование (число узлов, класс схемы и т.д.); X - множество пакетов прикладных программ, $x \in X$; Z - множество цепочек пакетов, $z \in Z$, $x \in z$, m - число рассматриваемых критериев. Причем чаще всего функционал I нельзя описать явно, т.к. он имеет случайную природу и характеризует совместимость компонентов САПР.

За основу решения задачи структурного синтеза можно взять математический аппарат многовариантной интеграции путем последовательного решения полученных в результате декомпозиции задачи структурного синтеза САПР четырех локальных задач синтеза $\beta_1 - \beta_4$ при помощи соответствующих им локальных многовариантных оптимизационных моделей $\mu_1 - \mu_4$. Задача β_1 заключается в ограничении разнообразия множеств компонентов на обоих основных уровнях интеграции. Ее многовариантная оптимизационная модель m_1 имеет вид задачи о минимальном покрытии. Задача β_2 заключается в выборе оптимального варианта интеграции альтернативных компонентов на обоих уровнях интеграции. Ее многовариантная оптимизационная модель μ_2 имеет вид задачи многокритериальной оптимизации с булевыми переменными. Задача β_3 заключается в выборе порядка предшествования проектных операций. Она решается двумя метода-

ми: 1) задается упорядоченная последовательность номеров элементов (компонентов) в списке и необходимо каждому номеру поставить в соответствие компонент из списка элементов системы; 2) задается начальный компонент и необходимо найти оптимальный маршрут переходов между компонентами, входящими в список элементов. Ее многовариантная оптимизационная модель μ_3 для первого случая имеет вид задачи о назначениях, а для второго – вид задачи о коммивояжере. Задача β_4 заключается в группировке элементов множеств различных уровней интеграции в локальные маршруты проектирования и подсистемы САПР. Решение задачи возможно, если установлена количественная связь показателей системы F_i ($i = \overline{1, I}$) со значениями показателей ее компонентов.

$$F_i = f_i(z, x_1, \dots, x_k), \forall i = \overline{1, I} \quad (3)$$

Для математического описания связей между характеристиками (показателями) системы F_i и ее исходных компонентов используются следующие модели: 1) полиномиальной аппроксимации функциональных зависимостей на основе экспериментальных данных; 2) конечно-разностная аппроксимация дифференциальных уравнений в частных производных; 3) модели отношений в виде матриц смежности; 4) имитационные модели систем массового обслуживания на основе алгоритмов, моделирующих потоки однородных событий в соответствии с законами функционирования систем; 5) параметрические экстремальные модели. При этом используется нормативно-справочная, экспертная или статистическая информация. При создании САПР путем интеграции прикладных программ проектирования важное значение имеет задача выбора вида целевой функции (критерия оптимизации). Сложность данной задачи определяется следующими причинами [4-6]: 1) эффективность САПР оценивается, как правило, набором показателей, характеризующих отдельные стороны ее работы; 2) возникают проблемы формализации лингвистических оценок эффективности

САПР; 3) совместно используются качественные и количественные показатели качества САПР; 4) прямая зависимость между эффективностью САПР, качеством системы и ее компонентов отсутствует. В силу многокритериальности задачи оптимального структурного синтеза САПР критерий оптимизации является векторным и оценивает как процесс создания САПР, так и ее функционирование. В качестве его составляющих, характеризующих отдельные стороны САПР, наиболее часто используются следующие характеристики: 1) быстродействие; 2) размерность решаемых проектных задач; 3) надежность получения результатов; 4) время разработки или адаптации программ; 5) точность результатов; 6) качество проектных решений; 7) стоимость САПР. Интеграция при создании САПР проявляется на нескольких уровнях: 1) маршрут проектирования β ; 2) организация обеспечений САПР – среда САПР – γ .

$$\beta = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_J\}; \quad j = \overline{1, J}, \quad (4)$$

$$\gamma = \{C_1, C_2, \dots, C_t, \dots, C_T\}; \quad t = \overline{1, T},$$

где j – номер варианта интеграции пакетов прикладных программ; B_j – j -й вариант маршрута проектирования; t – номер варианта среды САПР; C_t – t -й вариант среды проектирования.

Для более точного учета взаимодействия между компонентами внутри глобальных уровней интеграции их можно разбить на подуровни – локальные уровни интеграции. Каждому локальному уровню интеграции в результате объединения элементов этого уровня α_{kl} соответствует свое множество компонентов – вектор альтернатив $\mathbf{\dot{A}}_k$:

$$\mathbf{\dot{A}}_k = (\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kl}, \dots, \alpha_{kL_k}); \quad k = \overline{1, K}; \quad l = \overline{1, L_k}, \quad (5)$$

где k – номер локального уровня интеграции; L_k – число компонентов на k -м локальном уровне интеграции; K – общее число локальных уровней интеграции.

Структура САПР является сложной системой s , принадлежащей множеству S , которое представляет собой отношение на непустых множествах альтернативных компонентов на каждом из уровней интеграции.

$$S \subset \overset{\cdot}{A}_1 \times \overset{\cdot}{A}_2 \times \dots \times \overset{\cdot}{A}_k \times \dots \times \overset{\cdot}{A}_K; \quad k = \overline{1, K} \quad (6)$$

где \subset – знак отношения; \times – знак декартова произведения.

Задача оптимального синтеза состоит в выборе наилучшего варианта \hat{s} сочетания компонентов $\hat{\alpha}_{kl}$, $\forall k = \overline{1, K}$ различных локальных уровней интеграции из множества допустимых вариантов системы S , осуществляющегося путем поэтапного исключения вариантов, не обеспечивающих заданных требований $\overset{\cdot}{F}^*$.

Под синтезом САПР будем понимать процесс получения различных допустимых комбинаций s элементов структуры САПР α_{kl} и взаимосвязей между ними в рамках списка S . Под оптимальным синтезом САПР будем понимать выбор такого варианта \hat{s} на множестве отношений проектных процедур и средств САПР s , для которого наилучшим образом обеспечивается выполнение заданных технико-экономических требований $F_i(\hat{s}) = F_i^*$ ($i = \overline{1, I}$). Техничко-экономические показатели каждого варианта системы определяются численными значениями некоторого набора характеристик системы F_i ($i = \overline{1, I}$). Поиск оптимального варианта приводит к необходимости решения многоальтернативной задачи, которое обеспечит выбор варианта системы с наилучшими (эффективными) характеристиками \hat{F}_i ($i = \overline{1, I}$) при объединении элементов из множества вариантов интеграции S .

Таким образом, задача оптимального структурного синтеза β является многокритериальной задачей дискретной многовариантной интеграции по множеству I скалярных критериев оптимизации $\psi_i(s), i \in I$.

Модель интегрированной системы строится путем введения альтернативных булевых переменных:

$$x_{kl} = \begin{cases} 1, \text{ если } l - \text{й элемент } k - \text{го уровня интеграции входит в данный} \\ n - \text{й вариант системы;} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

Так как для конкретного варианта системы на каждом уровне интеграции может быть выбран только один элемент, то выполняется условие:

$$\sum_{l=1}^{L_k} x_{kl} = 1, \forall k = \overline{1, K} \quad (7)$$

Взаимодействие между элементами каждого k -го уровня в процессе многовариантной интеграции оценивается посредством безусловных вероятностей их использования:

$$\mathbf{P}_k = (p_{k1}, \dots, p_{kl}, \dots, p_{kL_k}); p_{kl} = p(x_{kl}); \sum_{l=1}^{L_k} p_{kl} = 1 \quad (8)$$

Переходы между локальными уровнями интеграции характеризуются условными вероятностями использования их элементов \mathbf{P}_{kl}^m :

$$\mathbf{P}_{kl}^m = (\bar{p}_{k1}^m, \dots, \bar{p}_{kl}^m, \dots, \bar{p}_{kL_k}^m); \bar{p}_{kl}^m = p(x_{kl} / y_{kl}^m) \quad (9)$$

Где y_{kl}^m представляет из себя кортеж из m элементов, выбранных на предшествующих данному x_{kl} локальных уровнях интеграции, который будем называть условием m -го порядка для элемента x_{kl} :

$$y_{kl}^m = (x_{k-1, l_1}, x_{k-2, l_2}, \dots, x_{k-m, l_m}); \forall m \leq K \quad (10)$$

Для измерения степени разнообразия перечисленных множеств, связанных вероятностными соотношениями, используется энтропия. Разнообразие локальных уровней интеграции измеряется энтропией независимых вариантов:

$$H(A_k) = -\sum_{l=1}^{L_k} p_{kl} \lg p_{kl}; \forall k = \overline{1, K} \quad (11)$$

а разнообразие многовариантной интеграции измеряется энтропией комбинаций локальных уровней интеграции при учете их взаимного влияния – энтропией многовариантной интеграции – $H(S)$:

$$H(S) = H(A_1, A_2, \dots, A_K) = \sum_{n=1}^{K-1} \sum_{k=n+1}^{K-1} H_{A_k}(A_n) + H(A_K) \quad (12)$$

При этом взаимодействие вариантов различных локальных уровней интеграции оценивается условной энтропией разнообразия вариантов на n -м локальном уровне при выборе компонента из k -го локального уровня.

$$H_{A_k}(A_n) = - \sum_{l=1}^{L_k} p_{kl} \sum_{j=1}^{L_n} p(x_{nj} / x_{kl}) \lg p(x_{nj} / x_{kl}) \quad (13)$$

Для достижения максимальной надежности процесса многовариантной интеграции необходимо минимизировать энтропию многовариантной интеграции $H(S)$. Общая структура многовариантной оптимизационной модели имеет вид:

$$\begin{aligned} \psi_{i_1}(x_{kl}) \rightarrow \text{extr}; \psi_{i_2}(x_{kl}) \leq b_{i_2} \\ \sum_{l=1}^{L_k} x_{kl} = 1; x_{kl} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}; \forall k = \overline{1, K}; l = \overline{1, L_k} \\ I_1 \subset I_2 \subset I; i_1 \in I_1; i_2 \in I_2 \end{aligned} \quad (14)$$

где I_1 - множество индексов характеристик средств проектирования и контроля САПР ИЭТ, требования к которым формализуются в виде критериев оптимизации; I_2 - множество индексов характеристик средств проектирования и контроля САПР ИЭТ, требования к которым формируются в виде ограничений; ψ_i - i -й скалярный критерий оптимизации.

Условием адекватности данной модели μ задаче структурного синтеза САПР β является неравенство:

$$H(\beta) \leq H(\mu) \quad (15)$$

где $H(\mu)$ - энтропия, соответствующая процессу рационального выбора на основе многовариантной оптимизационной модели.

Рассмотрим задачу β_2 и ее локальные многовариантные модели интеграции μ_2 . Оптимальный выбор в задаче β_2 при рассмотрении процесса интеграции на двух глобальных уровнях интеграции проводится следующим образом. По условию $P\{\psi_i(x_{11_1}, x_{21_2}) = F_i^*\} \rightarrow \max$ выбираются компоненты на обоих уровнях интеграции $\hat{x}_{11_1}, \hat{x}_{21_2}$ и вычисляются величины:

$$y_{im} = \varphi_i(\hat{x}_{11_1}, \hat{x}_{21_2}); l_1 = \overline{1, L_1}; l_2 = \overline{1, L_2} \quad (16)$$

Выбирается значение вектора U^α характеризующее оптимальные параметры средств САПР, которые обеспечивают минимизацию суммы квадратов невязок критериев оптимизации в задаче структурного синтеза интегрированной системы, по условию

$$\Phi_i = (y_i(U^\alpha) - y_{im})^2 \rightarrow \min \quad (17)$$

Если моделью m_2 индуцирует сложный опыт A с энтропией, отвечающей условию адекватности (17), то она имеет вид:

$$\begin{aligned} P\{\psi_i(\tilde{y}_i = \varphi_i(x_{11_1}, x_{21_2})) = F_i^*; i \in I\} \rightarrow \max; \Phi_i(U) \rightarrow \min; i = \overline{1, I} \\ \sum_{l_1=1}^{L_1} x_{11_1} = 1; l_1 = \overline{1, L_1}; \\ \sum_{l_2=1}^{L_2} x_{21_2} = 1; l_2 = \overline{1, L_2}; x_{kl} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}; \\ U^{\min} \leq U^i \leq U^{\max} \end{aligned} \quad (18)$$

где U^{\min}, U^{\max} определяют диапазон изменения i -го скалярного критерия оптимизации ψ_i .

Если модель индуцирует сложный опыт A при $k = 2, l = \overline{1, L_k}$:

$$\begin{aligned} P\{\psi_i(\tilde{\varphi}_i(x_1)) = F_i^*; i \in I\} \rightarrow \max; \Phi_i(U) \rightarrow \min; i = \overline{1, I}; x_1 = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}; \\ U^{\min} \leq U^i \leq U^{\max}; i = \overline{1, I} \end{aligned} \quad (19)$$

Условием адекватности данных локальных моделей m_2 задаче b_2 является неравенство (15). При этом число вариантов подлежащих выбору

$N = \prod_{l_1=1}^{L_1} l_1 \prod_{l_2=1}^{L_2} l_2; l_1 = \overline{1, L_1}; l_2 = \overline{1, L_2}$, а априорная энтропия равна:

$$H(\beta_2) = \sum_{l_1=1}^{L_1} \log l_1 + \sum_{l_2=1}^{L_2} \log l_2; l_1 = \overline{1, L_1}; l_2 = \overline{1, L_2} \quad (20)$$

Размерность многовариантных оптимизационных моделей m_2 оценивается соотношениями:

$$\begin{aligned} N &= L_1 + L_2; N_m^1 = L_1; m = \overline{1, L_1}; \\ N_m^2 &= L_2; m = \overline{L_1 + 1, N} \end{aligned} \quad (21)$$

для первого случая и

$$\begin{aligned} N &\geq \sum_{l_1=1}^{L_1} \frac{\log l_1}{\log 2} + \sum_{l_2=1}^{L_2} \frac{\log l_2}{\log 2}; \\ k &= 2; \forall l_1 = \overline{1, L_1}; l_2 = \overline{1, L_2} \end{aligned} \quad (22)$$

для второго. В первом случае с учетом (15) и (20) имеем:

$$\begin{aligned} H(\beta_2) &= \sum_{l_1=1}^{L_1} \log l_1 + \sum_{l_2=1}^{L_2} \log l_2 \leq H(\mu_2) \leq \\ &\leq \sum_{m=1}^N \log N_m = \sum_{m=1}^{L_1} \log(N_m^1) + \sum_{m=L_1+1}^N \log(N_m^2) \end{aligned} \quad (23)$$

где N_m^1 - число простых опытов, соответствующих элементам первого уровня интеграции; N_m^2 - число простых опытов, соответствующих элементам второго уровня интеграции.

В соответствии с (21) вводятся булевы переменные (18).

$$x_{1l_i} = \begin{cases} 1, \text{ если } l - \text{й элемент множества компонентов на первом уровне} \\ \text{интеграции обеспечивает выполнение } F_i^* (i = \overline{1, I}); \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$$x_{2l_2} = \begin{cases} 1, \text{ если } l - \text{й элемент множества компонентов на втором уровне интеграции} \\ \text{обеспечивает выполнение } F_i^* (i = \overline{1, I}); \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

Поскольку по индексу 1 сложный опыт А является дизъюнктивным, на совокупность булевых переменных при заданном k накладываются следующие ограничения, отраженные в моделях (14) и (18):

$$\sum_{l_1=1}^{L_1} x_{1l_1} = 1; l_1 = \overline{1, L_1}; \sum_{l_2=1}^{L_2} x_{2l_2} = 1; l_2 = \overline{1, L_2} \quad (24)$$

Два типа оптимизационных моделей m_2 для задачи b_2 зависят от следующих обстоятельств: 1) степень неопределенности требований к показателям системы; 2) количество показателей, учитываемых в задаче выбора; 3) способы задания характеристик элементов. Модели (18) и (19) эффективны при одновременном синтезе среды САПР и маршрута проектирования, когда в качестве варьируемых компонентов выступают два множества: элементы среды САПР и пакетов прикладных программ В случае перехода от двухуровневой интеграции к K локальным уровням интеграции, задача структурного синтеза САПР заключается в отыскании оптимального сочетания \hat{s} элементов структуры САПР $\alpha_{kl}, k = \overline{1, K}$, для которых векторный критерий оптимизации принимает наилучшие с точки зрения постановки задачи значения \hat{y} и имеет вид:

$$\text{opt} \{ \Psi^{\mathbf{r}}(f(\hat{s}, \hat{\alpha}_{11}, \dots, \hat{\alpha}_{k1}, \dots, \hat{\alpha}_{kl}, \dots, \hat{\alpha}_{klk})) \} = \bar{F}(\hat{s}) = \hat{F} \quad (25)$$

где \hat{s} - оптимальный вариант системы, полученный в результате интеграции компонентов α_{kl} , \bar{F} - соответствующий вектор, отражающий наиболее предпочтительное качество для системы \hat{s} , opt - оператор, определяющий принципы оптимальности путем выбора управляющих стратегий проектировщиком. Данная задача соответствует локальной задаче β_2 многовариантной интеграции (с ограничениями) и может быть формализована и решена с использованием модифицированной модели μ_2 и соотно-

шений (18-22). Благодаря такому подходу был интегрирован программно-аппаратный комплекс, который использует основные программные модули САПР Cadence и отечественные разработки аппарата моделирования радиационных эффектов [7-8]. Данный комплекс был внедрен в НИИ Электронной техники для студентов направления подготовки «Информационные системы и технологии», а также дополнительного образования «Разработчик профессионально-ориентированных компьютерных технологий».

Список литературы

1. Анциферова В.И. Концепция подготовки специалистов в области радиоэлектроники в современных условиях / В.И.Анциферова // Межвузовский сборник научных трудов «Моделирование систем и информационные технологии».– Воронеж: Издательство «Научная книга» 2010. Вып.6. С. 116 - 119.
2. Анциферова, В.И. Анализ подготовки специалистов по радиоэлектронике для научно-производственных и коммерческих структур в современных условиях / В.И Анциферова., В.К.Зольников // Моделирование систем и процессов. 2009. № 3-4. С.5-12.
3. Анциферова В.И. Математическое моделирование поиска документов / В.И.Анциферова // Системы управления и информационные технологии, N1.2(35). 2009. С. 212-215.
4. Анциферова В.И. Моделирование поиска документов / В.И. Анциферова // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. № 3(55). С.353 - 358.
5. Анциферова В.И. Оптимизация формирования учебных планов и составление расписаний / В.И. Анциферова // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. № 1(53). С.8 - 15.
6. Ачкасов, В. Н. Разработка средств автоматизации проектирования специализированных микросхем для управляющих вычислительных комплексов двойного назначения : монография / В.Н. Ачкасов, В.М. Антимиров, В.Е. Межов, В.К. Зольников. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – 240 с.
7. Зольников, К. В. Проблемы моделирования базовых элементов КМОП БИС двойного назначения / К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. 2010. №3-4. С. 20-27.
8. Смерек, В.А. Разработка средств повышения радиационной стойкости и создание радиационно-стойких СБИС. / В. А. Смерек // Моделирование систем и процессов . 2010. № 3-4. С. 31-33.