

УДК 621.37/.39:51-7

Автоматизация системного проектирования информационных радиосистем

Ушкар М.Н.

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия
e-mail: ushkarm@mail.ru*

Аннотация

В статье рассматривается концепция автоматизации системного проектирования информационных радиосистем (ИРТС), построенных по модульному принципу. Методология предлагаемой концепции проектирования основана на интеграции различных специализированных САПР в единый маршрут проектирования. Основным результатом работы является маршрут автоматизации системного проектирования, основанный на интеграции специализированных САПР, что позволяет широко использовать в проекте модули высокой производственной готовности.

Областью применения полученных результатов являются информационные, радиотехнические, электронные и другие системы, в основе построения которых лежит модульный принцип.

Ключевые слова: автоматизация системного проектирования, информационные радиотехнические системы, модульный принцип построения, сети Петри, модули высокой производственной готовности.

Введение

Системное проектирование изделий, объединяющее ранние стадии проектирования, решает задачу определения эффективного варианта реализации системы путём анализа возможных альтернатив. Вариант реализации системы представляется структурной схемой информационной радиосистемы (ИРТС) и её основными тактико-техническими параметрами. Высокая значимость системного проектирования для эффективности реализации проекта обусловила необходимость и актуальность автоматизации этого этапа.

Современные САПР системного проектирования радиосистем (ИРТС) преимущественно решают задачи системного анализа ИРТС на физическом (сигнальном) уровне. Например, программная среда SystemVue компании Agilent EEsof позволяет инженерам-системотехникам и разработчикам алгоритмов проектировать РТС различного назначения на физическом уровне. САПР уровня CAD (SolidWorks, Ansis и др.) решают задачи моделирования и инженерного анализа конструкций РТС, выпуска конструкторской документации, технологической подготовки производства, электронного документооборота.

Применение этих САПР в практике проектирования позволяет повысить эффективность решения отдельных проектных задач (схемотехническое, конструкторское проектирование и т.д.). Вместе с тем, если анализировать затраты на опытно-конструкторскую разработку ИРТС (стоимость, время), то они не ограничиваются затратами на схемотехническое и конструкторское проектирование. Более существенными являются затраты на технологическую подготовку

производства, производство и испытания, связанные с присвоением конструкторской документации соответствующих литер. Поэтому существенное повышение эффективности проектирования ИРТС может быть обеспечено за счёт применения заимствованных из других проектов составных частей высокой производственной готовности. Такой подход позволяет снизить затраты на технологическую подготовку производства, производство и испытания составных частей ИРТС и, тем самым, повысить эффективность проекта.

Предлагаемая в статье концепция построения САПР системного проектирования основана на модульном принципе построения ИРТС и использования интеллектуального потенциала предприятий, корпораций и т.п., заложенных в выполненных и апробированных проектах разработки ИРТС,

Постановка задачи.

Задача системного проектирования ИРТС заключается в определении оптимального варианта отображения возможных структур ИРТС $\{S_i\}$ на допустимые множества вариантов $\{M_{kj}\}$ реализации устройств, входящих в состав системы. Результатом этого отображения является область допустимых решений P , причём границы этой области определяются параметрами системной модели, а число точек области – числом вариантов реализации ИРТС в пределах ограничений системной модели, т.е. $P_i \subset P$ справедливо $\{O_k\}_i \subset \{O_k\}_{дон}$, где O_k , $O_{дон}$ k -ое ограничение (требование), предъявляемое к ИРТС и её допустимое значение соответственно.

Таким образом, задача системного проектирования может быть представлена в следующем виде:

$$\{S_i\}_o \approx \{M_{kj}\},$$

$$Z_o = \min Z_i, \quad (1)$$

где, i – вариант структуры ИРТС,

k – устройства, входящие в состав ИРТС,

j – вариант реализации устройства k ,

Z_i – затраты на разработку i -го варианта структуры ИРТС.

Решение задачи.

Исходными данными для системного проектирования ИРТС является базовая структура ИРТС и требования к её реализации $\{O\} = \{O_1, O_2 \dots O_n\}$. Пример базовой структуры активной бортовой РЛС представлен на рисунке 1.

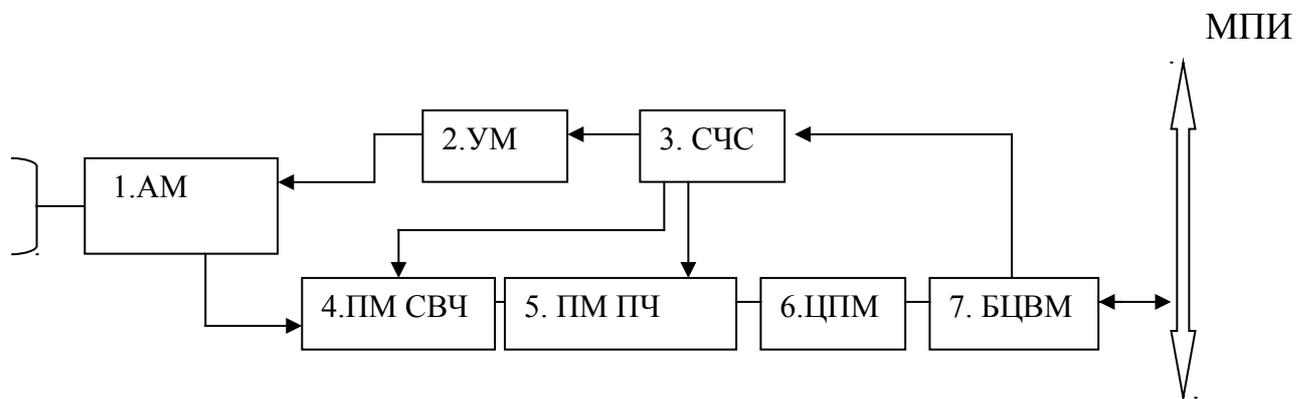


Рисунок 1. Вариант базовой структуры РЛС.

АМ – антенный модуль, УМ – усилитель мощности, СЧС – синтезатор частот и синхросигналов, ПМ СВЧ – приёмник СВЧ, ПМ ПЧ – приёмник промежуточной частоты, ЦПМ - цифровой приёмник, БЦВМ – бортовая ЦВМ, МПИ – магистраль передачи информации.

РЛС может иметь различные варианты базовой структуры, например, объединение ПМ СВЧ и ПМ ПЧ в один модуль аналогового приёмника (АПМ) позволяет получить базовую структуру 2, объединение ПМ СВЧ, ПМ ПЧ и ЦПМ в приёмник (ПМ) позволяет получить базовую структуру 3 и т.д. В силу модульного подхода к проектированию, принципиальным является требование конструктивной и функциональной завершенности структурных элементов ИРТС. Это требование обуславливает возможность их независимого проектирования, либо заимствования модулей из других проектов. Для формирования области допустимых вариантов реализации исходной структуры необходимо определить системную модель (целевую задачу) ИРТС. Например, если решение задачи обнаружения РЛС сводится к формированию порогового значения мощности на входе ПМ СВЧ, обеспечивающего требуемое отношение сигнал/шум, то её упрощённая (не учитывающая затухание сигнала на трассе распространения) системная модель может быть представлена уравнением [1]:

$$P_{C_{пор}} = \frac{P_{изл.} \sigma \times^2}{4\pi \lambda^2 R^4 P_{доп.}}, \quad (2)$$

где $P_{C_{пор}}$ - пороговая мощность сигнала; под которой понимается минимальная мощность сигнала в антенне, обеспечивающая обнаружение сигнала цели с заданной вероятностью, $P_{изл.}$ - излучаемая мощность сигнала, σ - эффективная поверхность, рассеяния цели, S - площадь антенны, λ - длина волны, $P_{доп.}$ - допустимые потери тракта антенна - ЦПМ. R - максимальная дальность.

Системная модель (2) дополняется внешними параметрами и ограничениями {O} (виды и параметры сигналов, разрешающая способность, время накопления сигнала и др.)

Решение задачи (1) может быть представлено в виде обобщённого алгоритма, изображённого на рисунке 2. На первом шаге алгоритма необходимо ввести структурный вариант ИРТС в формализованном виде. Для моделирования структуры РТС могут быть использованы строго иерархические сети Петри [2,3].

Для облегчения представления взаимодействия между модулями ИРТС одного уровня иерархии все множество позиций сети разделим на три непересекающихся подмножества: входных, выходных и внутренних позиций. Тогда строго иерархическая сеть Петри формально задаётся в следующем виде: $G = (P, T, I, O, Q, M_0)$, где: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ $n \geq 0$ – конечное множество позиций; причем множество позиций делится на три подмножества: входных, выходных и внутренних позиций: $P = P_{inp} \sqcup P_{out} \sqcup P_{int}$; $P_{inp} \cap P_{out} \cap P_{int} = \emptyset$;

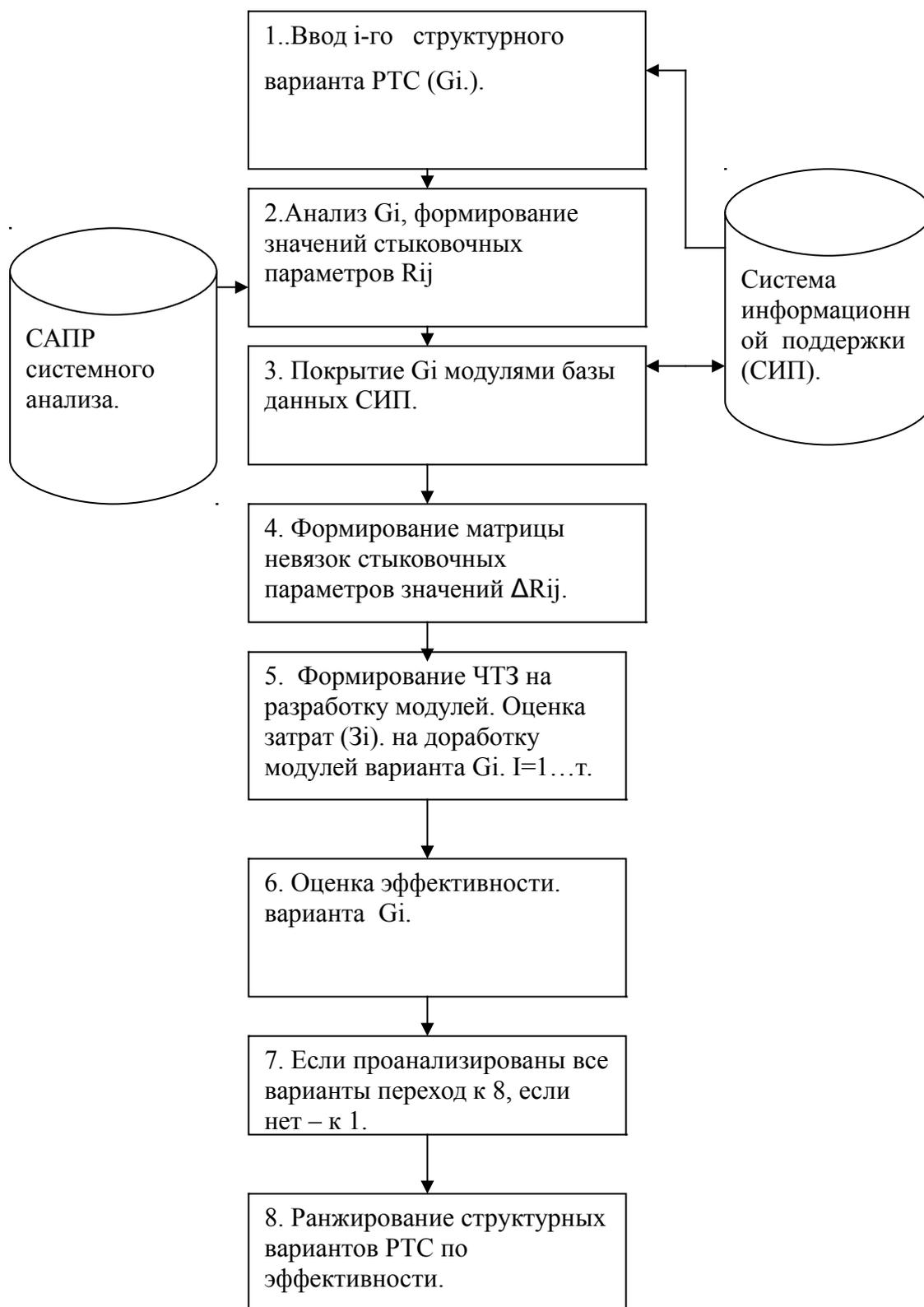


Рисунок 2. Алгоритм системного проектирования информационных радиосистем.

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ $m \geq 0$ – конечное множество переходов, причём каждому

переходу t_i множества T ставится в соответствие устройство (модуль) ИРТС.

$T = T_T \cup T_N$, где T_T – конечное множество терминальных переходов, T_N – конечное множество нетерминальных (составных) переходов, допускающих преобразование перехода в собственную сеть, моделирующее устройство на более низком уровне конструктивной иерархии.

При этом $T \cap P = \emptyset$, множества позиций и переходов не пересекаются;

$I: P \rightarrow T$ – входная функция, отображающая позиции в комплекты переходов, определяет направленные дуги из позиций в переходы;

$O: T \rightarrow P$ – выходная функция, отображающая переходы в комплекты позиций, определяет направленные дуги из переходов в позиции;

Q – помечающая функция; $(Q: T \rightarrow \Sigma_q)$, где Σ_q – множество, представляющее собой код классификационной характеристики модуля (устройства ИРТС), в соответствии с Классификатором ЕСКД, а также функцию окраски переходов сети, которая задает проекцию множества Σ_q на множество переходов T . Функция Q представляет собой помечающую функцию, которая порождает алфавит Σ_q языка в нашей сети.

$M_0 = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ – целочисленный вектор начальной разметки сети, определяющий количество меток в каждой из внутренних позиций сети $\mu_i \in \mathbb{N}$.

Вариант базовой структуры РЛС (рис.1) моделируемый графом сети Петри представлен на рисунке 3. Маркировка переходов и позиций совпадает с обозначениями элементов базовой структуры РЛС. Дополнительно введён переход t_8 , отражающий функцию преобразования зондирующего сигнала РЛС в

отражённый.

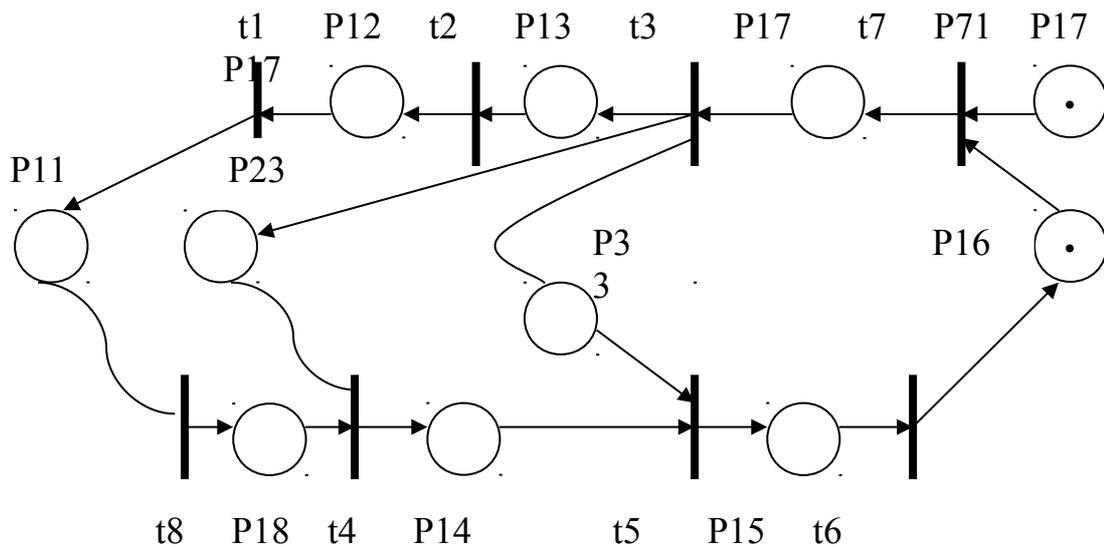


Рисунок 3. Модель базовой структуры РЛС.

После ввода сети Петри выполняется операция раскраски переходов сети помечающей функцией Q , например, если антенна представляет собой волноводную щелевую антенную решётку X-диапазона, то в соответствии с Классификатором ЕСКД, переходу t_1 присваивается код классификационной характеристики 464662, если Ka-диапазон, то 464652 и т.д. Задаётся вектор начальной разметки сети M_0 путём помещения фишек во входные позиции, например во входные позиции перехода t_7 (БЦВМ).

На втором шаге алгоритма выполняется формирование значений стыковочных параметров модулей ИРТС. Решение этой задачи выполняется

средствами САПР системного анализа (например, SystemVue). Для этого в соответствии с начальной разметкой по классификационной характеристике СЧС из библиотеки САПР SystemVue вызывается (а в случае её отсутствия разрабатывается в программной среде SystemVue) модель СЧС в виде генераторов зондирующих сигналов, первого и второго гетеродинов. По этим моделям определяются параметры сигналов на входе УМ и соответствующих приёмников (ПМ СВЧ, ПМ ПЧ). Двигаясь от перехода к переходу системной модели РТС, формируются значения стыковочных параметров ИРТС (R_{ij}).

Результатом моделирования в среде SystemVue будет набор значений стыковочных параметров R_{ij} , удовлетворяющих требованиям системной модели $\{O\} = \{O_1, O_2 \dots O_n\}$. Вектора значений стыковочных параметров связываются с входными (P_{inp}) и выходными (P_{out}) позициями сети Петри.

На третьем шаге алгоритма решается задача покрытия системной модели РТС модулями БД СИП. Покрытие осуществляется путём выборки из БД СИП устройств, совпадающих с кодом классификационной характеристики ЕСКД соответствующего перехода сети Петри. Кроме классификационной характеристики модуль описывается и другими атрибутами: вектором значений входных и выходных параметров модуля, связанных с входными и выходными позициями сети Петри. Основой построения СИП являются БД PDM систем действующих САПР, дополненные соответствующими атрибутами описания характеристик модулей.

После решения задачи покрытия на следующем этапе может быть сформирована матрица расхождений входных и выходных параметров базовой модели от значений соответствующих параметров модулей высокой

производственной готовности, содержащихся в БД СИП. Эта матрица является основой для формирования частных ТЗ на доработку соответствующих модулей. Далее ТЗ рассылаются потенциальным исполнителям и от них получаем оценку затрат на доработку i -го модуля j -го варианта реализации РТС (Z_{ij}).

Суммируя затраты по каждому варианту построения РТС и проведя сортировку мы можем ранжировать варианты построения РТС по критерию затрат, который обратно пропорционален эффективности. Полученные варианты отличаются высокой достоверностью, поскольку оценку затрат выполняется реальными разработчиками.

Предлагаемый алгоритм позволяет реализовать другие стратегии системного проектирования ИРТС. Например, определить затраты на разработку ИРТС на базе имеющегося модуля, например ПРД. Тогда в ограничения дополнительно вводятся параметры передатчика, меняется начальная разметка, и определение стыковочных параметров начинается с ПРД.

Предлагаемый алгоритм может эффективно использоваться на более низком уровне конструктивной иерархии. Для этого соответствующий нетерминальный переход $t_u^{st} T_N$ разворачивается в сеть G_u и в соответствии с рассмотренным выше алгоритмом определяются значения стыковочных параметров и затраты на разработку устройства. Кроме того, данный подход будет эффективным при решении задач управления проектами.

Вывод.

Таким образом, предлагаемая концепция автоматизации системного проектирования ИРТС, основанная на интеграции различных специализированных

САПР в единый маршрут проектирования ИРТС, обеспечивает повышение эффективности проектирования ИРТС за счёт использования модулей высокой производственной готовности. [4].

Библиографический список

1. Сколник М. Справочник по радиолокации: Пер. с англ. М.: Изд-во «Советское радио», 1976. - 1766 с.
2. В.Е. Котов. Сети Петри. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
3. Репнева А.И., Ушкар М.Н. Моделирование алгоритмов функционирования цифровых устройств с использованием сетей Петри // Электронный журнал "Труды МАИ", 2011, выпуск № 49: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=27665> (дата публикации 27.12.11).
4. Дембицкий Н.Л., Дембицкий Д.Н., Фам Вьет Ань. Расчёт рисков в автоматизированной системе покрытия комплексов радиоаппаратуры унифицированными блоками // Авиакосмическое приборостроение. 2014. №8, С. 3-9.