

10 ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА МЕСТА ОТКАЗА. ВЫБОР ДОПУСКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Определение части изделия, отказ которой привел к возникновению состояния неработоспособности, называется поиском места отказа. Физически отказ РЭС сопровождается или прекращением функционирования (явный отказ) или выходом параметра за пределы допусков (неявный отказ).

Фиксация отказа является следующим за проверкой работоспособности этапом диагностирования. В сложных РЭС поиск места отказа (ПМО) является трудоемкой процедурой, требующей для своей реализации различных технических средств, трудовых затрат и определенной квалификации обслуживающего персонала. Следует подчеркнуть, что для ПМО необходима, как правило, более высокая квалификация инженерно-технического состава, чем для контроля работоспособности.

Частично в РЭС отказ локализуется при фиксации неработоспособного состояния. Однако, во многих случаях ПМО и восстановление работоспособного состояния (т. е. текущий ремонт) осуществляется вне изделия - РЭС на специальных ремонтно-восстановительных предприятиях (рембазах, ремзаводах, навигационных камерах и т. п.). Поэтому для этих изделий ПМО проводится в несколько этапов:

1. Определяется неработоспособное состояние РЭС;
2. Определяется отказавший блок (РЭУ) с точностью до сменной сборочной единицы;
3. Находится место отказа с точностью до отказавшего восстанавливаемого или заменяемого электроэлемента;
4. Восстанавливается отказавший блок (РЭУ);
5. Восстанавливается отказавшая РЭС.

Учитывая, что при ПМО неопределенность ситуации оказывается значительно выше, чем при контроле работоспособности, вопросы оптимизации диагностических процедур и алгоритмов ПМО играют весьма значительную роль.

Принципиально алгоритмы ПМО делят на **"негибкие"** и **"гибкие"** алгоритмы или программы поиска. Множества алгоритмов каждого класса, в общем, нечеткие. Однако к негибким алгоритмам следует отнести жесткие программы ПМО, использующие априорные данные о техническом состоянии РЭУ, полученные расчетным путем или на основе статистической обработки информации об отказах устройств-аналогов. Гибкие алгоритмы, помимо априорной, используют апостериорную информацию, получаемую в результате проверок технического состояния РЭУ, входящих в рЭС. Операции поиска меняются в зависимости от места возникновения отказа. Однако необходимо подчеркнуть, что при возникновении отказа в конкретной точке данного РЭУ "мягкий" алгоритм является всегда одним и тем же, так как его составление

осуществляется путем минимизации затрат по выбранному заранее критерию.

В настоящее время в научно-технической литературе предложено и описано большое количество различных методов ПМО.

Большую группу методов составляют так называемые органолептические методы, в основе которых лежат различные (трудноклассифицируемые) признаки:

- совокупность параметров полезных и сопутствующих сигналов;
- активные признаки нормальной работы отдельных частей на основе постоянно функционирующих датчиков и контрольных сигнализаторов;
- пассивные признаки, сопровождающие работу системы, например тепловые режимы отдельных изолированных блоков.

Совокупности признаков характерных отказов и их проявлений, присущих данной системе, обычно в виде специальных таблиц включают в технические описания или инструкции по ТО РЭС и руководствуются ими в процессе технического диагностирования.

Перечни характерных неисправностей и их проявлений содержатся также в таких документах, как технологические указания по выполнению регламентных работ различных видов РЭС в лабораториях ремонтных предприятий отраслевого профиля.

В последнее время для различных систем стали выпускать технологии поиска и устранения неисправностей радиоэлектронного оборудования, основанные на методике поэтапной проверки работоспособности системы в соответствии с "деревом" проверок. ветви "исправно" такого -дерева представляет нормальную проверку работоспособности, ветви "неисправно", указывается возможная неисправность, ее признак; для каждой возможной неисправности даются указания по устранению.

Другая группа методов ПМО основана на использовании статистических данных по отказам РЭС, РЭУ, отдельных блоков, полученных в процессе сбора и изучения априорных данных о характерных повреждениях и дефектах аналогичных изделий и их составных частей.

На основании проработки статистического материала формируется алгоритм последовательного ПМО. Если проверенный элемент оказывается работоспособным (исправным), то приступают к проверке следующего. Один из путей составления алгоритма заключается в следующем. Если известны вероятности отказов $P_i(0)$ всех диагностируемых блоков РЭС, а также $\tau_{дi}$ - среднее время диагностирования каждого блока в процессе ПМО, то математическое ожидание времени ПМО для произвольной последовательности проверок имеет вид:

$$\tau_{дс1} = P_1(0)\tau_{д1} + P_2(0)(\tau_{д1} + \tau_{д2}) + \dots + P_n(0)(\tau_{д1} + \tau_{дn})$$

если изменить программу проверок, переставив, например, местами первую и вторую, то

$$\tau_{ДС2} = P_2(o)\tau_{Д2} + P_1(o)(\tau_{Д1} + \tau_{Д2}) + \dots + P_n(o)(\tau_{Д1} + \tau_{Дn})$$

$$\tau_{ДС1} - \tau_{ДС2} = P_2(o)\tau_{Д1} - P_1(o)\tau_{Д2}.$$

$$\frac{P_1(o)}{\tau_{Д1}} > \frac{P_2(o)}{\tau_{Д2}},$$

Если $\frac{P_1(o)}{\tau_{Д1}} > \frac{P_2(o)}{\tau_{Д2}}$ то первая программа эффективнее 2-й, т. е. $\tau_{ДС1} < \tau_{ДС2}$. Отсюда получаем принцип ранжировки проверок при ПМО: для каждого блока находим отношение:

$$a_1 > a_2 > a_3 > \dots > a_n.$$

При реализации этого алгоритма среднее время диагностирования системы оказывается минимальным, а рассмотренный метод носит название "время - безотказность" или "время - вероятность".

Отказу каждого элемента ставится в соответствие некий параметр, условно называемый стоимостью проверки. В это понятие не входит стоимость средств диагностирования. Речь идет о тех объективных затратах (например, времени), которые обязательны для определения состояния данного элемента.

Программе диагностики ставится также в соответствие бинарное дерево проверок $\bar{B} (P_h, U, S, V)$, где S - множество висячих овершин в дереве; P_h - множество внутренних (невисячих) вершин; V - множество дуг дерева.

Средняя стоимость диагностирования $C(B)$ может выражаться величиной $C(\pi_1 \dots \pi_{in}, S)$, для которой определен порядок просмотра: начинается с корневой вершины, затем идет спуск на один уровень ниже и просматриваются внутренние вершины этого уровня.

Средняя стоимость диагностирования:

$$C(B) = \sum_{i=1}^n C_i \left(\sum_{S_i \in S_i} P_i \right),$$

где $S_i \in S_i$ - множество состояний, которые подлежат диагностированию по программе, предоставленной деревом $B_i \in B$ с начальной вершиной π_i .

Одним из способов построения программ ПМО является метод ветвей и границ, представляющий один из вариантов динамического программирования, а с точки зрения логики - разумную структуру поиска в множестве допустимых решений. Для ОД задаётся матрица состояний,

содержащая m проверок, каждая из которых может войти в программу диагностирования. Программа может начинаться с любой проверки U_i ($i=1, m$). Эта проверка пойдёт соответствовать корням дерева B и называется фиксированной. Проверка U_i разбивает все множество состояний S на два недопустимых подмножества S_{i1} и S_{i2} , которые соответствуют: первое отрицательным, а второе положительным исходам проверки. Значения средних стоимостей проверок $C(B_{i0})$ и $C(B_{i1})$ неизвестны, поэтому заменим искомые решения их нижними границами- $CM(S_{i0})$ и $CM(S_{i1})$. Нижняя граница средней стоимости программы диагностики, которая начинается с фиксированной проверки U_i , выражается следующим соотношением:

$$CM(U_i, S) = C_i \sum_{S_t \in S} P_t + CM(S_{i0}) + CM(S_{i1}),$$

где C_i - стоимость выполнения фиксированной проверки.

Таким образом, на первом шаге алгоритма определяется нижняя граница стоимости каждой возможной программы диагностики, начинающейся с фиксированной проверки U_i . Для первого шага алгоритма выбирается та, которая имеет наименьшую нижнюю границу.

На втором шаге для каждого множества S_{i0} и S_{i1} , выделяемых выбранной программой (т. е. проверкой U_i), и множества различных пар фиксированных проверок (U_j для S_{i0} и U_g для S_{i1}) вновь определяется нижняя граница по формулам:

$$CM(U_j, S_{i0}) = C_j \sum_{S_t \in S_{i0}} P_t + CM(S_{j00}) + CM(S_{j01}),$$

$$CM(U_g, S_{i1}) = C_g \sum_{S_t \in S_{i1}} P_t + CM(S_{g10}) + CM(S_{g11}).$$

Индексы 00, 01, 10 и 11 соответственно означают разбиения

$S_0 = S_{00} \cup S_{01}$ и $S_1 = S_{10} \cup S_{11}$. Нижняя граница средней стоимости программы диагностирования $CM(U_i, U_j, U_g, S)$ для фиксированных проверок, выбранных на первом и втором шагах алгоритма, определяется выражением:

$$CM(U_i, U_j, U_g, S) = C_i \sum_{S_t \in S} P_t + CM(U_j, S_{i0}) + CM(U_g, S_{i1}).$$

Аналогичным образом происходит данная процедура на последующих шагах алгоритма до тех пор, пока из множества не будут выделены все подмножества, содержащие не более двух состояний, и не получена допустимая последовательность проверок. Если средняя стоимость полученной программы диагностирования превышает нижнюю границу средней стоимости любой из возможных программ первого и последующих шагов алгоритма, то процесс повторяется до тех пор, пока не будет получено оптимальное Решение. На рисунке 10.1 представлено дерево

решений для возможной задачи оптимизации программы методом ветвей и границ.

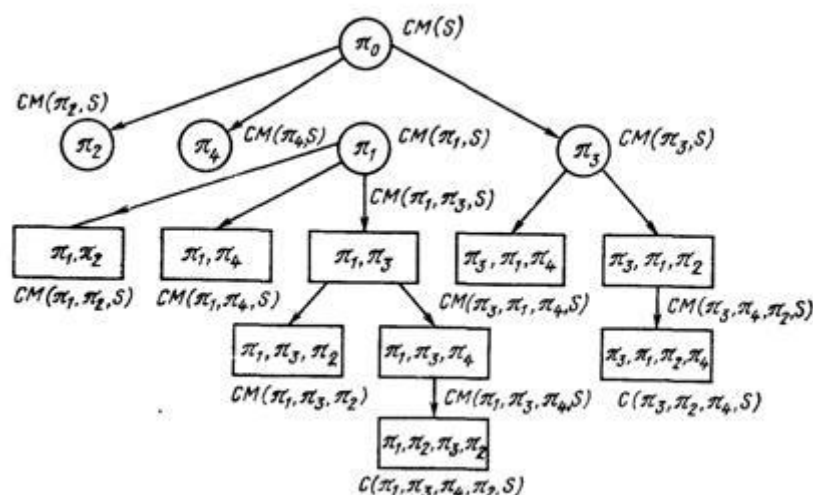


Рисунок 10.1 - Дерево метода ветвей и границ

Применение этого метода для систем, имеющих большое количество элементов и соответственно многомерную матрицу состояний, связано с реализацией большого объема вычислений.

Наиболее общий, оптимальный алгоритм по сравнению с другими методами ПМО может быть получен на основе информационного подхода. Его преимущества мы подчеркивали не раз, убедимся в этом при анализе путей ПМО.

Поскольку отказ не локализован, то в каждой проверке может быть заложена информация о месте его возникновения с вероятностью $P(S_j)$. Каждая проверка U_i контролирует одну или несколько возможных точек, сумма вероятностей которых:

$$Q_{U_i} = \sum_{j=1}^m P(S_j)$$

Средняя энтропия состояния при i -и проверке $H(S/U)$ имеет следующий вид:

$$H(S/U_i) = - \left\{ Q_{U_i} \sum_{j=1}^m \frac{S(U_j)}{Q_{U_i}} \log \frac{S(U_j)}{Q_{U_i}} + (1 - Q_{U_i}) \sum_{j=1}^m \frac{S(U_j)}{1 - Q_{U_i}} \log_2 \frac{S(U_j)}{1 - Q_{U_i}} \right\},$$

Максимум информации о состоянии содержит проверка, для которой величина:

$$\frac{dI_{U_i}}{dQ_{U_i}} = - \{ \log Q_{U_i} - \log_2 e - \log_2 (1 - Q_{U_i}) + \log e \},$$

Откуда $Q_{\sigma_k} = \frac{1}{2}$.

Таким образом, алгоритм ПМО на основе информационного подхода составляется следующим образом. По ФДМ РЭУ, для которого формируется алгоритм, строится матрица состояний (проверки U_i -строки, состояния S_j -столбцы). Под каждым значением S указывается его численная нормированная величина $S_j(0)$; $\sum P_i(0) = 1$. При отсутствии сведений о безотказности состояния P_j принимаются равновероятными.

Для каждой строки U_i вычисляется функция предпочтения:

$$\sum_{j=1}^m P(S_j) = \frac{1}{2}.$$

В качестве первой проверки выбирается та, для которой функция предпочтения $W_j \rightarrow 0$, т. е. имеет наименьшую величину.

Далее проверки идут по двум почти равноинформативным ветвям. Для результата $U_i(W_{min}) = "1"$ строим новую матрицу, в которую попадают состояния S_{il} , соответствовавшие единице; для этой матрицы также следует вычисление функции предпочтениями процедура повторяется до получения однозначного ответа по каждому элементу, блоку, ветви.

Для результата проверки $U_i(W_{min})=0$ также строится соответствующая матрица, в которой принимают участие состояния S_i , с результатом проверки, равным "нулю". Для всех строк этой матрицы также вычисляются функции предпочтения, по вышеприведенной формуле и следующая проверка выбирается по $W_j \rightarrow \min$ процедура повторяется вновь. Матрица состояний и ее разветвления при ПМО в схеме тракта синхронизации РЛС (см рис. 3.6).

При необходимости данный алгоритм может быть построен с учетом стоимости диагностирования (напомним, что под стоимостью понимаются затраты любого рода, в том числе и временные).

Функция предпочтения при учете стоимости C_i имеет следующий вид:

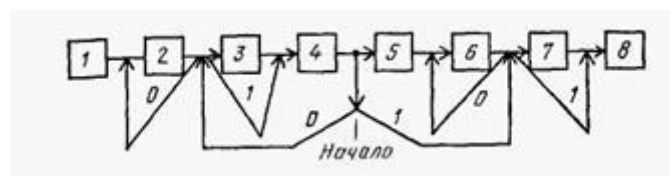


Рисунок 10.2 - Метод половинных разбиений

Процедура построения алгоритма ПМО остается одной и той же. На практике для ПМО широко используется метод половинных разбиений, особенно для РЭУ, имеющих последовательную (или близкую к таковой) структуру (рис. 10.2). В схеме отказавшего РЭУ ищется средняя точка (средний блок) с

учетом или без учета вероятности отказа, производится проверка состояния изделия в этой точке, после чего в зависимости от результата проверяется правая или левая часть схемы.

Сопоставив этот метод ПМО с полученным на основе информационного подхода, можно легко убедиться в их полной идентичности для последовательных структур, что свидетельствует об универсальности и практической реализуемости информационного подхода.

Суждение о работоспособном (неработоспособном) состоянии РЭС, РЭУ или элемента схемы РЭУ выносится только после того, как зафиксирован выход ДП за пределы допуска $U_{дн} > U$; $U > U_{дв}$. Как подчеркивалось выше, большинство РЭС и РЭУ характеризуются такими параметрами, которые должны находиться в пределах своих допустимых значений.

На стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации на РЭС воздействуют различные факторы. В процессе конструирования и производства РЭС не всегда возможно учесть все условия эксплуатации и представить, как будут изменяться параметры в процессе функционального использования.

Допуски на параметры РЭС (ДП) подразделяют на производственные $\delta_{п}$, эксплуатационные $\delta_{э}$ и ремонтные $\delta_{р}$.

Производственный допуск устанавливается техническими условиями или нормативно технологическими документами для параметра РЭС, РЭУ или элемента.

Эксплуатационные допуски устанавливаются инструкцией по эксплуатации или эксплуатационными документами (например, ТУ на поставку), а также технологическими указаниями по выполнению регламентных работ на изделиях техники. Поле эксплуатационных допусков, как правило, шире поля производственных Допусков, а число регламентируемых документацией ДП меньше, чем при производстве РЭС.

Ремонтные допуски устанавливают в ремонтной документации или в производственно технологической документации для всех РЭУиС, подлежащих ремонту. Учитывая, что большинство видов ремонта РЭС в стационарных условиях предусматривает полное или частичное восстановление ресурса, ремонтные допуски по своим значениям ближе к производственным, хотя и могут несколько отличаться в большую сторону.

Установление допусков тесно связано с вопросами обеспечения заданной точности функционирования РЭС и РЭУ, а также с вопросами выбора точностных характеристик средств диагностики и контроля.

Диагностические параметры, на которые устанавливаются допуски, могут быть разделены на две группы: $П_I$ и $П_{II}$. **К первой группе** относятся ДП, которые одновременно являются ПФИ и могут быть непосредственно измерены. Допуски на эти ДП устанавливаются исходя из целевого

назначения изделия и параметра. Примерами таких ДП являются разрешающая способность РЛС или чувствительность приемного тракта.

К ДП второй группы относятся такие параметры, которые тоже определяют ПФИ, но, в отличие от предыдущего, их величина является функцией внутренних параметров $U=A(a_1...a_n)$. При этом анализ и синтез точности параметра U_i производятся через параметры A . Примером таких параметров являются энергетический потенциал РЛС, функция мощности излучения, чувствительности приемника и других характеристик.

Предметом нашего дальнейшего рассмотрения будет установление допусков на параметры второй группы, ибо допуски на параметры первой группы устанавливаются из соображений тактических или технических возможностей изготовления РЭС.

Если зависимость U от параметров A известна и известны характеристики рассеяния $A(a_1...a_n)$, то поле рассеяния U определяется следующим выражением:

$$L_U = \frac{1}{K_U} \sqrt{\sum_i^n \left(\frac{\partial U}{\partial a_i} \right)^2 K_L^2 L_i^2},$$

где $\frac{\partial U}{\partial a_i} = \frac{\partial A(a_1...a_n)}{\partial a_i}$ - частотная производная ДП при номинальных

значениях; $a_i = a_{i0}$; $L = \frac{|a_s - a_m|}{2}$ - половина поля рассеивания параметра a ; a_s и a_m - его наибольшее и наименьшее значения; K_i - коэффициент

относительного рассеивания $K = \frac{\sigma}{L\lambda_\Sigma}$; σ - среднеквадратическое отклонение; λ_Σ - относительное среднеквадратическое отклонение для "эталонного" распределения (обычно $\lambda_\Sigma = 1/3$, что соответствует гауссовскому распределению с предельным отклонением $L = 3\sigma$).

В качестве примера рассмотрим установление допусков на основные параметры РЛС, определяющие энергетический потенциал.

Первым параметром РЛС, определяемым техническими условиями, является максимальная дальность действия.

Таким образом, для получения аналитического выражения коэффициента влияния по i -му параметру a_i необходимо произвести следующие формальные операции:

- 1) получить исходную аналитическую зависимость $U=Q/N$;
- 2) взять ту часть числителя Q , члены которого содержат параметр a_i , и каждый из них умножить на величину m - показатель степени;

3) разделить полученное выражение на весь числитель;

4) вычесть из результата деления полученный аналогичным преобразованием знаменатель - Н.

Контрольные вопросы к 10 разделу

1. После чего выносится суждение о работоспособном (неработоспособном) состоянии РЭС?
2. Какие операции необходимо произвести для получения аналитического выражения коэффициента влияния по параметру a ?
3. Наиболее общий, оптимальный алгоритм по сравнению с другими методами ПМО может быть получен на основе какого подхода?
4. Для задания допусков на значения внутренних параметров электронных схем используется?