

УДК 681.518.5

© 2004 г. **В.В. Воронин**, канд. техн. наук
(Хабаровский государственный технический университет)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕКОМПОЗИЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Приводится классификация диагностических цепей. Для определенного класса сложных цепей исследуется возможность декомпозиции их на покрывающее множество простых цепей. Предлагается процедура диагностирования сложных цепей, учитывающая их структурные особенности.

Введение

При исследовании объектов диагностирования предлагается различать пять видов их системных представлений, а именно: внешнее, иерархическое, функциональное, конструктивное и деградационное [1]. В данной работе ограничимся только функциональным представлением. В [2] исследованы механизмы диагностирования и вывода текущего технического состояния для простой диагностической цепи (*ДЦ*). В общем случае *ДЦ* является сложной. Поэтому для расширения области применения результатов, полученных [2], предлагается исследовать возможность разбиения сложной *ДЦ* на множество простых цепей.

Классификация диагностических цепей

Диагностической цепью будем называть систему функциональных диагностических блоков (*ФДБ*), связанных между собой диагностическими парами. Определим *диагностическую пару* как доступное для контроля и ремонта непосредственное или опосредованное соединение двух *ФДБ*. Определение *ФДБ* дается в [3].

Будем отличать тип *P* простых от типа *D* сложных диагностических цепей. Простой *ДЦ* назовем такую цепь, у которой каждый *ФДБ* входит не более чем в две диагностические пары. Примером простой *ДЦ* является последовательное соединение *ФДБ*, имеющих по одному входу и выходу. Другой пример цепи этого типа – последовательное соединение блоков с однородной канальной сложностью величиной более 1 (под канальной

сложностью $\Phi ДБ$ здесь понимается число входных или выходных каналов). Цепи типа P характеризуются двумя основными признаками: отсутствием точек ветвления (разветвление и соединение) и наличием однородной канальной сложности у всех $\Phi ДБ$.

Сложной $ДЦ$ назовем цепь, в которой имеется хотя бы один $\Phi ДБ$, входящий более чем в две диагностические пары. Механизм образования сложных $ДЦ$ проиллюстрирован на рис. 1.

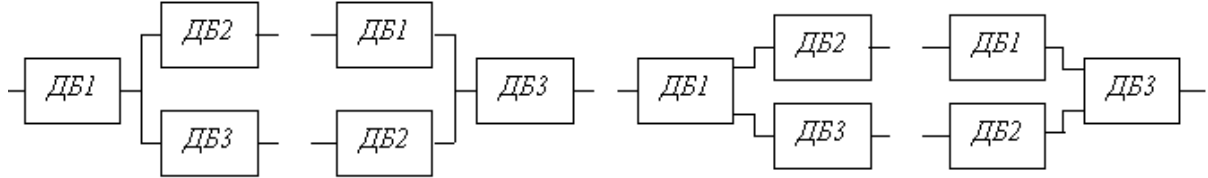


Рис. 1. Возможные отношения $\Phi ДБ$.

Цепи типа D имеют два основных признака: наличие точек ветвления или неоднородной канальной сложности. При классификации $ДЦ$ мы отвлекаемся от всех внутренних свойств $\Phi ДБ$ (разборность, память, открытость), а также от такого внешнего свойства как сигнальная сложность [3], полагая при этом, что перечисленные свойства будут учтены в технологии диагностических проверок.

Сложную $ДЦ$, включающую только такие $\Phi ДБ$, которые имеют однородную канальную сложность, будем относить к классу A . Ясно, что причина сложности таких цепей – наличие точек ветвления. В классе A выделим подкласс A_k , который характеризуется тем, что хотя бы две точки ветвления (одна точка разветвления и одна точка соединения) использованы для организации контура обратной связи. Сложные цепи, в которых имеет место неоднородность канальной сложности хотя бы одного $\Phi ДБ$ и отсутствуют точки ветвления, будем относить к классу B . Цепи этого класса по определению не могут иметь контуров обратных связей. Последний класс C сложных $ДЦ$ характеризуется комплексным признаком – его цепи имеют и точки ветвления и неоднородную канальную сложность. Аналогично класс C включает подкласс C_k цепей с контурами обратных связей. Система классификации $ДЦ$ приведена в табл. 1.

Таблица 1

№	Обозначение	Код признаков			Примеры аналогов
		x_1	x_2	x_3	
1	P	0	0	0	Последовательное соединение
2	A	0	1	0	Схемы теории надежности
3	A_k	0	1	1	Структурные схемы САУ
4	B	1	0	0	Схемы на логических матрицах
5	C	1	1	0	Комбинационные схемы
6	C_k	1	1	1	Последовательностные схемы

В табл. 1 для иллюстрации приведены также известные аналоги цепей, используемых в современных технических дисциплинах. Для упрощения записи признаков класса $ДЦ$ используются логические переменные,

описывающие отсутствие (0) или наличие (1) данного признака в цепи. Переменная x_1 – однородная канальная сложность, x_2 – точки ветвления, x_3 – контуры обратных связей.

Анализ декомпозиционной возможности цепей класса A

Ниже исследуются только *ДЦ* класса A . Декомпозиционные возможности этих цепей определяются точками ветвления сигналов (точки разветвления и точки соединения), представляющих функциональный поток. Для формализации процесса фиксации точек ветвления сигналов будем использовать аппарат теории графов. На рис. 2 приведено три элементарных фрагмента, содержащих: только точку разветвления (рис. 2а), только точку соединения (рис. 2г) и обе точки вместе (рис. 2ж). Далее для каждого из этих фрагментов получено их представление в виде специальных сигнальных графов (соответственно – рис. 2б, рис. 2д и рис. 2з) и приведены матрицы смежности вершин каждого графа (рис. 2в, рис. 2е и рис. 2и).

Особенность специальных сигнальных графов заключается в том, что в них в точках ветвления дополнительно должны быть определены операции преобразования сигналов, которые могут отличаться от аналогичных операций в обычных сигнальных графах. В обычных сигнальных графах сигналы в точках соединений суммируются, а в точках разветвления они не изменяются.

Для представления в специальном сигнальном графе точек разветвления будем вводить вспомогательные дуги, взвешенные коэффициентами деления потока K_{ij} . Физически эти коэффициенты означают, что сигнал из вершины j , приходя в вершину i , ослабевает на величину K_{ij} . Отсюда следует, что $K_{ij} < 1$ и сумма всех K_{ij} по индексу i равна 1. Если сигналы в точках разветвления, как в обычном сигнальном графе, не изменяются, то в специальном графе такую ситуацию можно смоделировать в виде – все $K_{ij} = 1$. На рис. 2з иллюстрируется случай, в котором сигнал в точке разветвления не изменяется.

Для различения сигналов в точках соединения в графе также будем вводить вспомогательные дуги, но их весовые коэффициенты равны единице. Результирующий сигнал z в точке соединения двух сигналов x и y определяется заданной двуместной операцией: $z = \text{sum}(x,y)$, $z = \min(x,y)$ или $z = x \vee y$. Чтобы в графе зафиксировать точки ветвления, достаточно просмотреть последовательно столбцы и строки матрицы смежности. Если в текущем столбце находится более одной 1, то номер этого столбца определит сигнал, который имеет точку разветвления. Причем число единиц задает число ветвей в данной точке. Если в текущей строке матрицы имеется больше одной единицы, то номер этой строки фиксирует сигнал, который получается операцией объединения сигналов, число которых равно числу единиц в данной строке.

Разбить сложную *ДЦ* на множество простых *ДЦ* можно двумя спосо-

бами. Первый способ – в результирующем множестве простых цепей допускаются зависимые цепи. Две простые ДЦ являются зависимыми, если пересечение множеств блоков, образующих эти цепи, не равно пустому множеству. Второй способ – результат декомпозиции не должен содержать зависимых цепей.

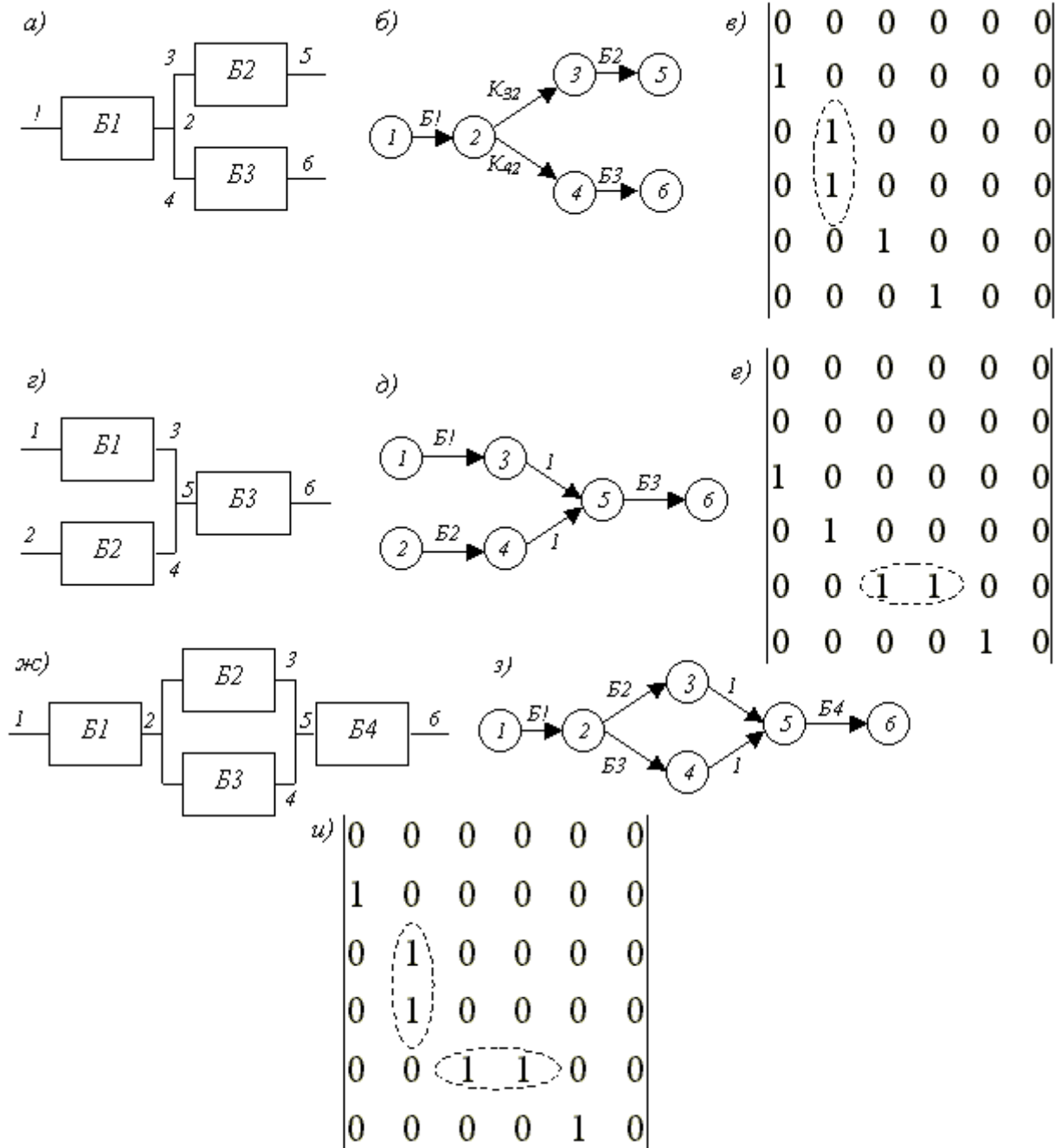


Рис. 2. Точки ветвления в цепях класса А.

В соответствии с первым способом сложная ДЦ, приведенная на рис. 2а, имеет единственный двухэлементный вариант разбиения. Причем каждая простая цепь имеет внешние сигналы, совпадающие с внешними сигналами исходной цепи. Применяя второй способ, можно получить три варианта декомпозиции – один трехэлементный и два двухэлементных (см.

первую строку табл. 2). Причем в каждом из этих вариантов имеется хотя бы одна простая цепь, в которой ее внешний сигнал является внутренним в исходной сложной цепи.

Аналогичные результаты для цепи, представленной на рис. 2г, приведены во второй строке табл. 2. Цепь на рис. 2ж содержит обе разновидности точек ветвления. Поэтому декомпозиция на зависимые цепи возможна в двух вариантах: простые цепи включают обе разновидности точек ветвления и простые цепи включают только одну разновидность. Результаты декомпозиции для цепи на рис. 2ж приведены в третьей строке табл. 2.

Таблица 2

Пример сложной ДЦ	Декомпозиция на зависимые цепи	Декомпозиция на независимые цепи
Рис. 2а	$\{Ц1, Ц2\}$	$\{Ц3, Ц4, Ц5\};$ $\{Ц1, Ц5\}; \{Ц2, Ц4\}$
	$Ц1=\{Б1, Б2\}; Ц2=\{Б1, Б3\}; Ц3=\{Б1\}; Ц4=\{Б2\}; Ц5=\{Б3\}$	
Рис. 2г	$\{Ц1, Ц2\}$	$\{Ц3, Ц4, Ц5\};$ $\{Ц1, Ц4\}; \{Ц2, Ц3\}$
	$Ц1=\{Б1, Б3\}; Ц2=\{Б2, Б3\}; Ц3=\{Б1\}; Ц4=\{Б2\}; Ц5=\{Б3\}$	
Рис. 2ж	$\{Ц1, Ц2\}; \{Ц3, Ц4, Ц9\};$ $\{Ц5, Ц6, Ц8\};$ $\{Ц3, Ц4, Ц5, Ц6\}$	$\{Ц7, Ц8, Ц9, Ц10\};$ $\{Ц1, Ц9\}; \{Ц2, Ц8\};$ $\{Ц3, Ц6\}; \{Ц4, Ц5\}$
	$Ц1=\{Б1, Б2, Б4\}; Ц2=\{Б1, Б3, Б4\}; Ц3=\{Б1, Б2\}; Ц4=\{Б2, Б4\};$ $Ц5=\{Б1, Б3\}; Ц6=\{Б3, Б4\}; Ц7=\{Б1\}; Ц8=\{Б2\}; Ц9=\{Б3\};$ $Ц10=\{Б4\}$	

В табл. 2 рассмотрены все варианты декомпозиции трех простейших цепей класса *A* на покрывающие множества простых цепей. Покрывающее множество простых цепей – это такое множество простых цепей, объединение которых дает исходную сложную цепь. Ясно, что если все элементы покрывающего множества исправны, то исходная сложная цепь также исправна. Какое покрывающее множество следует предъявить в подсистему диагностирования простых цепей? Для ответа на этот вопрос перечислим ряд особенностей сложных цепей класса *A*.

Исправность простой ДЦ определяется исправностью входящих в нее ФДБ и исправностью связей между блоками. Если контролирующая проверка цепи дает положительный результат, то это означает, что исправны все блоки и исправны все связи. В сложных цепях точки ветвления формально могут дать дополнительные неисправности в зависимости от конструктивной реализации этих точек. Например, в сложной цепи на рис. 2а возможна следующая ситуация. Контролирующая проверка цепи Ц1 дает положительный результат, а контролирующая проверка цепи Ц2 – отрицательный результат. При этом известно, что цепь Ц5 исправна. Единственной причиной такой противоречивой ситуации является неисправность точки разветвления (коэффициент K_{42} технически не обеспечивается, см. рис. 2б). Подобный пример можно привести и для точки соединения сигналов. Логично предположить, что непосредственные проверки точек

ветвления сложнее в сравнении с их косвенными проверками в составе простых цепей.

Введем понятие простой листовой цепи, которое позволит выделять точки ветвления в сложных цепях. Простая листовая цепь – это такая простая цепь, внутри которой не содержатся точки ветвления. Покрывающее множество цепей, содержащее только листовые цепи, будем называть листовым множеством. Понятия листовых цепей и множества иллюстрируются на рис. 3, где приведена иерархия простых цепей для сложной цепи на рис. 2а и штриховыми линиями обозначены покрывающие множества простых цепей, а листовое множество выделено штрихпунктирной линией.

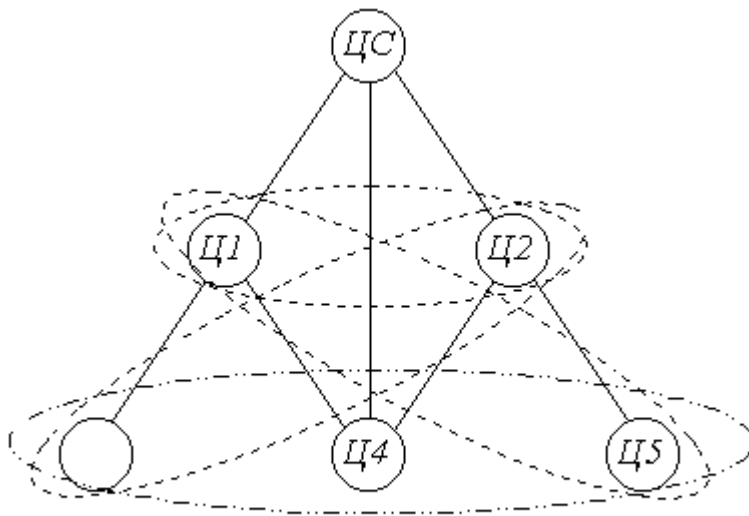


Рис. 3 Пример иерархии простых цепей.

$\pi_{1,5}$ и $\pi_{1,6}$. Сигнал с номером 1 является входным, а 6 – выходным. Всякая внешняя проверка данной сложной цепи проверяет (контролирует) определенную подцепь класса A , которая включает одну или несколько простых зависимых цепей. Эти цепи будем называть простыми полными цепями. В сложной цепи на рис. 2а проверка $\pi_{1,5}$ контролирует одну простую полную цепь – $Ц1$ (см. табл. 2). В сложной цепи на рис. 2ж внешняя проверка $\pi_{1,6}$ контролирует две простых полных цепи, а именно: $Ц1$ и $Ц2$ (см. табл. 2). Контроль элементов листового множества цепей обычно предполагает возможность реализации внутренних проверок. Проверку будем называть внутренней, если в ней используется либо внутренняя входная точка, либо внутренняя выходная точка, либо обе точки одновременно.

В процессе диагностирования сложной цепи каждому обращению в подсистему анализа простых цепей предшествует контролирующая проверка определенной подцепи (полной или внутренней). Если результат этой проверки отрицательный – в цепи имеет место дефект, то эта цепь передается в подсистему анализа непосредственно или же она предварительно разбивается на листовые цепи. В противном случае выбирается и реализуется следующая контролирующая проверка. В механизме выбора оче-

Как правило, в ранжированном ряду возможных проверок вида (1:1) [2] данной сложной цепи начальные места занимают внешние проверки. Внешней проверкой будем называть такую проверку, в которой входная и выходная контрольные точки являются носителями внешних сигналов данной цепи. Например, для цепи на рис. 2а внешними являются проверки

редной контролирующей проверки наивысший приоритет имеют внешние проверки. Таким образом, предлагается организовать диагностирование сложной цепи в виде процесса поочередного обращения к внешнему механизму контроля полных цепей и внутреннему механизму поиска дефектных блоков в рамках текущей неисправной простой цепи. Реализация такого челночного процесса диагностирования цепей класса A осуществлена в процедуре III .

Процедура III . [Алгоритм диагностирования цепей класса A].

Шаг 1. Присвоить $i=1$ [Счетчик внешних проверок].

Шаг 2. Обратиться к процедуре выбора i -й внешней проверки вида $(1:1)$ [Фиксация входной δ и выходной γ контрольных точек].

Шаг 3. Присвоить $j=1$ [Ключ на новое листовое множество].

Шаг 4. Реализовать проверку $\pi(i)$.

Шаг 5. Если $\pi(i)=(+)$, то $i=i+1$ и перейти на *Шаг 16*, иначе перейти на *Шаг 6*.

Шаг 6. Если $j=1$, то перейти на *Шаг 7*, иначе на *Шаг 11*.

Шаг 7. Обратиться к процедуре разбиения текущей подцепи на листовое множество.

Шаг 8. Обратиться к процедуре поиска путей $P_{\delta\gamma}$ между входной δ и выходной γ вершинами графа.

Шаг 9. Если $|P_{\delta\gamma}|=1$, то перейти на *Шаг 11*, иначе перейти на *Шаг 10* [Контроль наличия зависимых цепей].

Шаг 10. Обратиться к процедуре поиска касающихся элементов в листовом множестве и его ранжированию.

Шаг 11. Если элементы текущего листового множества исчерпаны, то перейти на *Шаг 16*, иначе перейти на *Шаг 12*.

Шаг 12. Обратиться к процедуре выбора текущего элемента листового множества и $j=0$.

Шаг 13. Обратиться к процедуре диагностирования простых цепей.

Шаг 14. Если текущая листовая цепь исправна, то перейти на *Шаг 11*, иначе перейти на *Шаг 15*.

Шаг 15. Восстановить неисправные $ДБ$ текущей листовой цепи и перейти на *Шаг 4*.

Шаг 16. Если $\pi(i)=(-)$, то обратиться к процедуре диагностирования точек ветвления, иначе перейти на *Шаг 17*.

Шаг 17. Если все внешние проверки исчерпаны, то перейти на *Шаг 18*, иначе перейти на *Шаг 2*.

Шаг 18. Обратиться к процедуре фиксации результата.

Данная процедура построена на двух вложенных циклах. Во внешнем цикле перебираются все внешние проверки, а внутренний пробегает для каждой проверки все элементы текущего листового множества. Признаком наличия полных зависимых цепей в текущей внешней подцепи

служит мощность $/P_{\delta\gamma}/$ множества путей между контрольными точками (входной δ и выходной γ). Если путь один, то зависимых цепей нет. Если же зависимые цепи имеются, то, очевидно, в подсистему диагностирования простых ДЦ следует в первую очередь передать такие элементы листового множества, которые являются общими в этих цепях. С этой целью листовое множество ранжируется.

Заключение

Результаты данной работы предлагается использовать при разработке экспертных диагностических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин В.В.* Диагностирование технических объектов. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002.
2. *Воронин В.В.* Эвристические правила для поиска дефектов // Управление и информационные технологии. 2-я Всероссийской. науч. конф. 21-24 сентября 2004 г. Пятигорск. Сб. докл. Т.2. Изд-во «Спецпечать», 2004. С. 13-18.
3. *Воронин В.В.* Анализ сложности элементов диагностической модели. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. № 6. С. 44-50.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.