

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ВИДЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ МОДУЛЬНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ

Н.А. Коротаев, И.К. Мирончиков
Беларусь, г. Минск

Для обеспечения отказоустойчивости телекоммуникационной системы предлагается представлять её архитектуру в виде модульного кольцевого двоичного дерева, содержащего дополнительные избыточные связи, узлы и модули. При этом узлы дерева соответствуют элементам телекоммуникационной системы (компьютеры, процессоры, мультиплексоры ввода-вывода, кроссконнекторы и т.д.), а ветви представляют коммуникационные связи между элементами системы. Модульное кольцевое двоичное дерево состоит из базовых модулей, каждый из которых имеет структуру двухуровневого двоичного дерева с одним дополнительным узлом и коммутатором для переключения любого из отказавших узлов в модуле на дополнительный узел. Главное преимущество такой архитектуры – её простота, так как аппаратурная избыточность, коммутаторы, связи, функциональное самодиагностирование и реконфигурация локализованы внутри модуля и независимы от других модулей.

Для сохранения структуры дерева при наличии отказа дополнительные узлы и ветви добавляются к базовой структуре дерева таким образом, что полученный граф является изоморфным по отношению к исходному дереву.

Модульное кольцевое двоичное дерево образуется путем дополнения модульного дерева резервной дополнительной связью между двумя смежными модулями. Используя эту резервную дополнительную связь, неиспользованный узел может быть применен к соседнему правостороннему модулю, что повышает коэффициент использования резерва, т.е. позволяет совместно использовать резерв, не взирая на границы модулей. Итак, модуль, содержащий единственный запасной узел, может выдерживать до двух отказов, если ему доступен запасной узел левостороннего соседнего модуля. Надежная аналитическая модель, предложенная здесь, является более эффективной по сравнению с другими модульными разработками, такими как модульное дерево RCMT, схема Сингха, L-N дерево или многоуровневое дерево [1].

Предлагаемое модульное кольцевое двоичное дерево построено с использованием базовых элементов, каждый из которых содержит двухуровневое дерево с одним запасным узлом и переключающую схему

для обеспечения реконфигурации любого отказавшего узла в модуле. Двухуровневое дерево имеет один узел в первом уровне и три узла во втором уровне, при этом один из узлов во втором уровне является запасным. Таким образом, двухуровневое бинарное модульное кольцевое дерево представляет собой четырехуровневое дерево, которое в отличие от других известных деревьев имеет избыточные связи между двумя соседними модулями, позволяющие использовать любой неиспользованный запасной узел модуля в правостороннем соседнем модуле, что обеспечивает более гибкое разделение запасных узлов и позволяет их использование в других модулях. На рис.1 изображено модульное кольцевое двух-

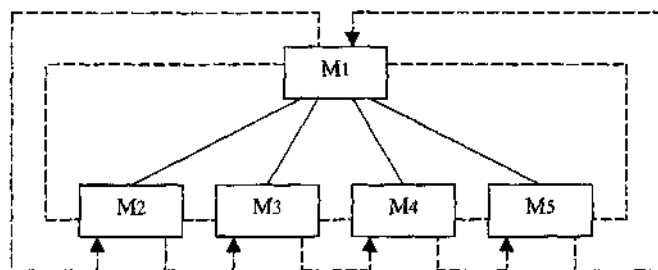


Рис.1. Модульное кольцевое двухуровневое дерево

уровневое дерево, состоящее из пяти модулей M1-M5 для моделирования четырехуровневой бинарной отказоустойчивой древовидной кольцевой структуры. Первый уровень включает модуль M1, второй уровень включает модули M2-M5, пунктирной линией показаны связи подключения запасных узлов и диагностические связи. Модуль M_i (рис.2) состоит из четырех узлов (Y1-Y4), коммутатора (K), реализованного в виде двухуровневой (Yp1&Yp2) переключательной схемы, и локальных средств функционального диагностирования и реконфигурации (ЛСФДР), которые включают самопроверяемые схемы встроенного контроля (ССВК) [2] и устройство диагностирования и реконфигурации модуля (УДР) [3].

Алгоритм самодиагностирования и реконфигурации модуля M_i состоит в следующем. При функционировании модуля (т.е. при применении модуля по назначению) каждый узел (Y1-Y4) проверяется на исправность с помощью ССВК, выходы f_1, f_2 которой соединены с УДР. При отказе одного из узлов ССВК на своих выходах f_1, f_2 формирует определенные значения сигналов, на основании которых УДР образует на

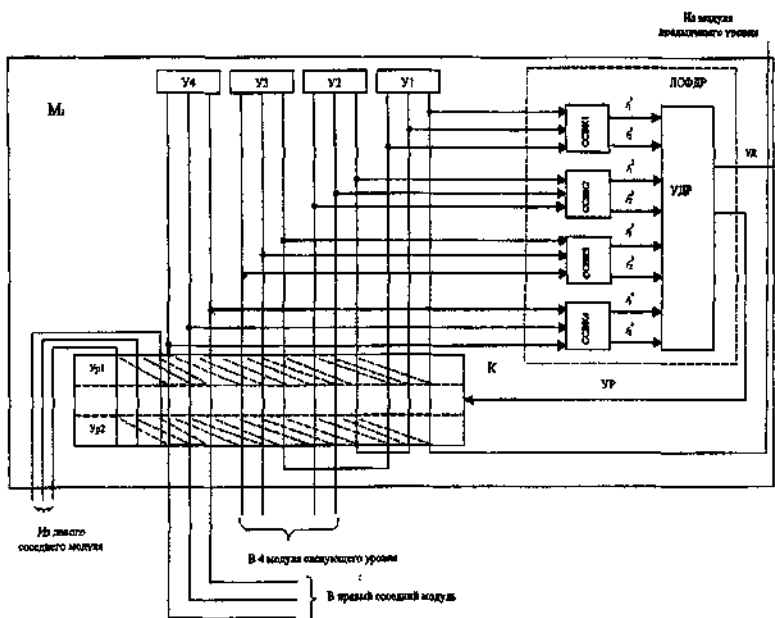


Рис.2. Внутренняя структура модуля M_i

выходе управляющий сигнал реконфигурации (УР), который поступает в коммутатор и с его помощью переключает отказавший узел на запасной узел, расположенный в том же модуле или в левостороннем соседнем модуле (при его отсутствии в том же модуле). В случае отказа двух узлов в модуле один отказавший узел переключается на запасной того же модуля, а второй отказавший узел переключается на запасной узел из левостороннего соседнего модуля. Такую замену двух отказавших узлов внутри модуля обеспечивает двухуровневый коммутатор. Таким образом, связи подключения запасных узлов в каждом модуле обеспечивают получение запасного узла слева и посылки его направо соответственно.

При этом структура данного коммутатора позволяет осуществить замену до двух отказавших узлов в модуле, если ему доступен запасной узел из левостороннего соседнего модуля. В противном случае, т.е. при наличии двух соседних модулей с двумя отказавшими узлами в каждом реконфигурация невозможна и функционирование системы останавливается для замены и восстановления отказавшего модуля, о чем сообщает

соответствующее УДР на своем выходе управления диагностированием (УД).

Диагностическое взаимодействие между двумя соседними модулями поддерживается дополнительной линией связи УД, связывающей два соседних УДР.

Алгоритм функционального диагностирования модульного кольцевого двоичного дерева выполняется одновременно каждым модулем и цель каждого УДР – выявить один – два внутренних отказавших узла, так как каждый модуль может реконфигурировать максимально два отказавших узла (при этом исключается существование двух соседних модулей, которые одновременно содержат по два отказавших узла). УДР каждого модуля M_i анализирует информацию об исправности узлов своего и соседнего модулей и формирует на выходе $УР_i$ соответствующий результат.

При $УР_i=1$ УДР_i с помощью коммутатора осуществляет реконфигурацию модуля M_i . Если при этом переключаются два отказавших узла в модуле M_i , то соседний модуль M_{i-1} будет иметь как максимум один отказавший узел. Результат $УР_i=0$ характеризует исправность модуля M_i , а при $УД=1$ $УР_i=x$, что свидетельствует о невозможности реконфигурации M_i .

Алгоритм функционального диагностирования и реконфигурации модульного кольцевого двоичного дерева включает следующие шаги.

Шаг 1. УДР каждого модуля M_i , $1 \leq i \leq n$, проверяет SM_i (SM_i – число отказавших узлов в модуле M_i , n – общее число модулей в системе) на условие $\sum_{i=1}^n SM_i > n$? Если это условие выполняется, то реконфигурация невозможна (т.к. число отказавших узлов не должно превышать общего количества запасных узлов) и переходим по сигналу УД на шаг 6. Иначе ($\sum_{i=1}^n SM_i \leq n$) переходим на шаг 2.

Шаг 2. Проверяется каждое SM_i на условие: $SM_i \geq 3$? Если да, то реконфигурация невозможна и переходим на шаг 6. Иначе ($SM_i < 3$) переходим на шаг 3.

Шаг 3. Проверяется SM_i на условие: $SM_i = 2$? Если да то переходим на шаг 4. Иначе ($SM_i < 2$) переходим на шаг 5.

Шаг 4. Проверяется SM_{i-1} на условие: $SM_{i-1} < 2$? Если условие выполняется, переходим на шаг 5, иначе ($SM_{i-1} = 2$) реконфигурация невозможна и переходим на шаг 6.

Шаг 5. УДР формирует сигнал $УР_i=1$, по которому выполняется реконфигурация модуля M_i и переходим на шаг 6.

Шаг 6. Конец алгоритма.

На рис. 3 показано четырехуровневое отказоустойчивое

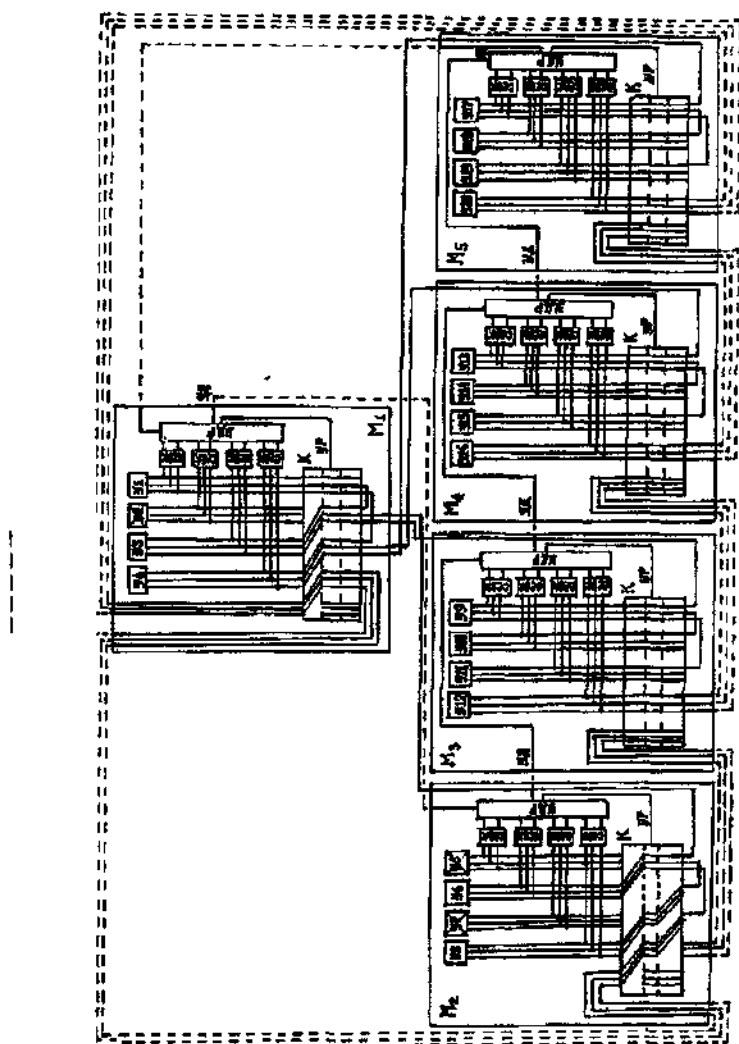


Рис.3. Отказоустойчивая пятимодульная кольцевая двойная структура
пятимодульное кольцевое двойное дерево, в котором отказали три узла
(например, 2,5 и 7 узлы) в модулях M1 и M2. Диагностирование и
реконфигурация в этом случае выполняются следующим образом. УДР

фигурация в этом случае выполняются следующим образом. УДР модуля М1 через ССВК2 фиксирует отказавший узел 2 и формирует на выходе УР один сигнал реконфигурации, который с помощью коммутатора отключает отказавший узел и формирует из активных узлов (узлы 1,3 и 4) двухуровневое дерево в модуле М1. Поскольку такой процесс диагностирования и реконфигурации осуществляется одновременно во всех модулях, то в модуле М2 УДР с помощью ССВК1 и ССВК4 фиксирует отказавшие узлы 5 и 7 и формирует на выходе УР два сигнала реконфигурации, которые переключают два уровня коммутатора модуля М2 для использования в этом модуле одного из запасных узлов (узла 20) модуля М5, так как модуль М1 сам имеет один отказавший узел. Таким образом, в модуле М2 будет сформировано двухуровневое дерево из активных узлов (узлы 6,8 и 20). При этом следует заметить, что процесс диагностирования и реконфигурации является глобальным, так как ЛСФДР являются взаимосвязанными и взаимозаменяемыми, а так же любой отказавший узел в модуле может быть заменен запасным узлом — внутренним или выбранным из другого модуля.

Вероятность отказоустойчивости любого модуля $M(R_i)$ вычисляется по следующей формуле [1]:

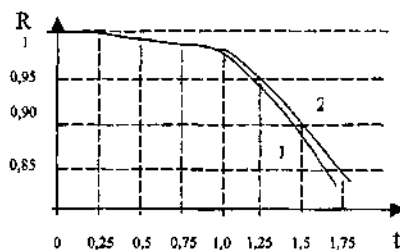
$$R_i = R^4 + \binom{4}{1} R^3 (1-R) + \binom{4}{2} R^2 (1-R)^2 p^{(i)},$$

где $p^{(i)}$ — вероятность получения модулем M_i запасного узла от левостороннего модуля.

Так как модули последовательно соединены в кольцевой структуре, то вероятность отказоустойчивости всей структуры (R) вычисляется как произведение вероятностей отказоустойчивости модулей:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i.$$

Экспериментальные результаты, полученные с помощью программной модели модульной кольцевой структуры (рис.1), показали, что отказоустойчивость предлагаемой структуры с функциональными средствами диагностирования и реконфигурации такая же (рис.4, табл.1) как и отказоустойчивость модульной кольцевой структуры с тестовыми средствами диагностирования и реконфигурации [1]. Однако ценным является то, что в предлагаемой структуре в отличие от известных подобных структур неисправности (сбои и отказы) обнаруживаются и локализуются оперативно, т.е. в момент их первого появления, и без останова функционирования системы (модуль с отказом приостанавливает свое функционирование только на время реконфигурации, которое незначительно). Кроме того, надежность функциональных средств диагностирования значительно выше программных (тестовых) средств.



t	R1	R2
0	1	1
0,25	0,999	1
0,5	0,996	0,997
0,75	0,987	0,987
1	0,969	0,970
1,25	0,937	0,938
1,5	0,891	0,894
1,75	0,830	0,840

Рис.4. Отказоустойчивость модульной кольцевой древовидной структуры со средствами диагностирования:

1 – тестовыми, 2 – функциональными

Литература

1. CHU-SING YANG, LON-PING ZU and MING-CHANG SAU. Reconfigurable ring connected modular tree architecture. International Journal of Electronics, 1992, vol.72, No.3, pp.471-482.
2. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые и отказоустойчивые системы. - М.: Радио и связь, 1989.
3. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. - Киев: Наука, 1990.