

УДК 681.142.2

ПОВЫШЕНИЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ КЛАСТЕРНЫХ НЕЙРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Григоренко Д.В., директор ЗАО «Рязаньприбор», аспирант кафедры ЭВМ Рязанского государственного радиотехнического университета

Ручкин В.Н., д.т.н., профессор кафедры информатики и вычислительной техники Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, e-mail: v.ruchkin@rsu.edu.ru

Ключевые слова: нейропроцессорные системы, теоретико-множественная модель, классы эквивалентности, рефлексивность, транзитивность, кластеризация, восстанавливаемость, безотказность, вероятность безотказной работы.

Исследуются возможности повышения восстанавливаемости кластерных нейропроцессорных систем конвейерной, векторной, конвейерно-векторной или векторно-конвейерной структур обработки данных на базе современного отечественного микрокомплекта НМ 640Х.

Введение

Двумя основными проблемами систем телекоммуникаций, обработки транзакций и управления базами данных являются обеспечение высокой производительности и достаточно длительного функционирования [1]. Наиболее эффективный способ достижения заданного уровня производительности – применение параллельных масштабируемых архитектур [2, 3]. Для обеспечения длительного функционирования необходимо повышение надежности, готовности и удобства обслуживания, которые взаимосвязаны и применяются совместно. Повышение надежности основано на принципе предотвращения неисправностей посредством уменьшения интенсивности отказов и сбоев, например, высокой и сверхвысокой степени интеграции или архитектурных совершенствований аппаратуры. Увеличение уровня готовности предполагает подавление в определенных пределах влияния отказов и сбоев с помощью средств контроля и коррекции ошибок или аппаратную и программную избыточность реализации различных вариантов отказоустойчивых архитектур. Главной задачей создания «систем высокой готовности» (HighAvailabilitySystems) является снижение времени простоя системы, минимизация которой требует различной стратегии и технологии.

Авторами предлагается концептуальная модель проектирования, позволяющая посредством кластеризации реализовать систему как одну из возможных структур и за счет резервирования повысить восстанавливаемость кластерных нейропроцессорных систем.

Математические методы кластерного анализа

С развитием компьютерных сетей кластерами стали называть два и более компьютеров (серверы или рабочие станции), соединенных в единую систему специальным программным и аппаратным обеспечением [3]. Такие кластеры можно рассматривать как гетерогенную вычислительную систему с распределенной памятью и распределенным управлением. В результате в системе или сети обеспечивается достаточно высокий уровень распараллеливания, надежности, готовности и удобства

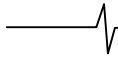
обслуживания при относительно низких затратах.

Одним из строгих определений термина «кластеризации» является определение: «реализация объединения машин, представляющегося единым целым для операционной системы, системного программного обеспечения, прикладных программ и пользователей». Машины, кластеризованные вместе подобным образом, могут при отказе одного процессора очень быстро перераспределить работу на другие процессоры как внутри кластера, так и между кластерами. Таким образом, организованные системы имеют следующие свойства: разделение ресурсов, высокую готовность, высокую пропускную способность, удобство обслуживания системы и расширяемость.

Важный раздел теории распознавания составляют методы кластеризации (или автоматической классификации, таксономии, самообучения, обучения без учителя, группировки), решающие задачи разбиения объектов (при заданных признаковых пространствах или матрицах близостей объектов) на классы эквивалентности [4], причем эквивалентность объектов базируется на мерах близости, сходства и т.п. Из перечисленного набора используемых названий, близких друг другу и воспринимаемых почти как синонимы, будем далее использовать термин «кластер» как синоним термину «класс», но обозначающий множество близких объектов, полученное как результат решения задачи кластерного анализа.

Методы кластерного анализа позволяют решать задачи минимизации числа эталонов, поиска эталонных описаний, выявления структурных свойств классов и многие другие вопросы анализа данных. Принципы, согласно которым объекты объединяются в один кластер, являются обычно «внутренним делом» конкретного алгоритма кластеризации. Пользователь, зная данные принципы, может в определенных пределах интерпретировать результаты каждого конкретного метода.

В отличие от задач распознавания, различные методы кластеризации могут приводить к решениям, имеющим весьма существенные различия. Таким образом, кроме набора разнообразных методов кластеризации,



практический интерес представляет наличие средств автоматической обработки результатов, полученных независимо различными алгоритмами [3-5]. Существует ряд подходов для решения задачи кластерного анализа.

Предварительно следует сделать два замечания. Во-первых, различают задачи кластерного анализа (и соответственно алгоритмы) с заданным (или известным) числом кластеров, а также с не заданным (неизвестным) числом кластеров. В последнем случае оптимальная кластеризация и число кластеров находятся в результате решения единой задачи. Во-вторых, кроме обычной постановки задачи кластеризации, как задачи поиска разбиений, существуют постановки как задачи поиска покрытий и структур на заданном множестве прецедентов.

Далее основная задача кластеризации будет рассматриваться прежде всего как задача поиска разбиений выборки признаковов описаний $I(S_1), I(S_2), \dots, I(S_m), I(S) = (x_1(S), x_2(S), \dots, x_n(S))$, заданной числовой таблицей T_{nm}

В «нестрогой» постановке данная задача формулируется как поиск разбиения выборки на группировки (классы, кластеры, таксоны) близких объектов, причем само искомое разбиение находится как решение некоторой оптимизационной задачи, как результат сходимости некоторой итерационной процедуры, как результат применения некоторой детерминированной процедуры и т.п.

В общем случае пусть рассматривается задача кластеризации на l кластеров. Выборку признаковов описаний объектов будем обозначать как $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$.

Разбиением $K = \{K_1, K_2, \dots, K_l\}$ выборки на $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ групп является произвольная совокупность непересекающихся подмножеств множества X , покрывающая все объекты выборки

$$K_i \subseteq X, i = 1, 2, \dots, l,$$

$$\bigcup_{i=1}^l K_i = X, K_i \cap K_j = \emptyset, i \neq j$$

Пусть задан некоторый критерий качества $F(K)$ разбиения K . Тогда задача кластеризации будет состоять в нахождении разбиения K^* , доставляющего экстремум критерию

$$F(K) : F(K^*) = \underset{K \in \{K\}}{extr} F(K)$$

В качестве примеров могут быть использованы критерии [6].

1 Сумма внутриклассовых дисперсий или сумма квадратов ошибок.

$$F(K) = \sum_{j=1}^l \sum_{x_i \in K_j} \rho^2(x_i, y_j)$$

где $y_j = \frac{1}{n_j} \sum_{x_i \in K_j} x_i$, $n_j = |K_j| \approx$ число объектов в группе K_j .

Решением задачи кластерного анализа при данном критерии считается такое разбиение K^* , которое доставляет минимум функционалу $F(K)$

2. Критерии на базе матриц рассеяния. Матрица рассеяния для группы K_j определяется как

$$\sum_j = \sum_{x_i \in K_j} (x_i - y_j)(x_i - y_j)^t,$$

а матрица внутригруппового рассеяния как $\sum = \sum_{i=1}^l \sum_j$ (здесь символ t означает символ транспонирования).

Известно несколько определений критериев кластеризации на базе матриц внутригруппового рассеяния. Например, выбор в качестве критерия определителя матрицы внутригруппового рассеяния $F(K) = |\Sigma|$.

Решение задачи кластерного анализа при данном критерии также находится в результате дискретной минимизации.

Широко известен метод « k -внутригрупповых средних». В этом методе строится последовательность разбиений $K = \{K_1^i, K_2^i, \dots, K_l^i\}$ $i = 1, 2, \dots$ как результат выполнения следующих однотипных итераций.

Пусть разбиение K выбрано случайно. Для группы K находится ее центр $y_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{x_j \in K_1^i} x_j$.

Далее в группу K_l^{i+1} зачисляются все элементы выборки, которые ближе к y_1 чем к аналогично полученным y_2, y_3, \dots, y_l .

Группа K_l^{i+2} строится аналогично, но относительно множества объектов $\frac{X}{K_l^{i+1}}$ и т.д.

После вычисления $K_1^{i+1}, K_2^{i+1}, \dots, K_l^{i+1}$ их центры пересчитываются, и вычислительный процесс повторяется.

Известен метод Фореля, который является представителем подходов, в котором кластеры находятся не в результате оптимизации некоторого критерия, а с помощью итерационных процедур – движения гипершаров фиксированного радиуса в сторону мест «сгущения» объектов [3, 6].

Пусть фиксировано некоторое положительное число R . Выбирается случайный элемент $x_i \in X$ и гипершар радиуса R с центром в $y_1 = x_i$: $R_1 = \{x : \rho(x, y_1) \leq R\}$.

Полагаем $K_1^1 = \{x_i : x_i \in X \cap R_1\}$. Вычисляется $K_1^2 = \{x_i : x_i \in X \cap R_2\}$.

Вычисляется центр новой сферы $y_2 = \frac{1}{|K_1|} \sum_{x_j \in K_1^1} x_j$

и группа $R_2 = \{x : \rho(x, y_2) \leq R\}$.

Процесс заканчивается вычислением такой группы объектов $K_1^t = \{x_i : x_i \in X \cap R_t\}$, для которой $K_1^t = K_1^{t+1}$.

Теоретико-множественная модель

Для решения поставленной задачи введем понятие равенства кластеров CL_l и CL_k обработки информации $CL_l = CL_k$, под которым далее понимается равенство длин указанных кластеров и совпадение их с точностью до команды $MK_i^{(k)} = MK_i^{(l)}$, т.е.

$$|CL_l| = |CL_k| \quad \forall l, k = 1, N;$$

$$MK_i^{(k)} = MK_i^{(l)}, \quad \forall i = 1, |CL_l|. \quad (1)$$

В работе показывается, что вводимая кластерная структура $KS_w \in S$ обработки информации есть отношение эквивалентности и удовлетворяет условиям рефлексивности, симметричности и транзитивности.

Действительно, любой произвольный кластер обработки CL_l информации, удовлетворяющий (1), выполняется параллельно сам себе, т.е. $CL_l \xrightarrow{KS_w} CL_l$. Таким образом, справедливо условие рефлексивности любого кластера $CL_l \in PR^{(j)}$ обработки информации.

Если кластер обработки информации CL_l равен кластеру CL_k и, следовательно, параллелен этому кластеру, тогда кластер обработки CL_k равен кластеру обработки CL_l и, следовательно, одновременно во времени с ним может выполняться, т.е.

$$CL_l, CL_k \in PR^{(j)} : CL_l \xrightarrow{KS_w} CL_k \Rightarrow CL_k \xrightarrow{KS_w} CL_l. \quad (2)$$

Другими словами выполняется условие симметричности любых двух кластеров $CL_l, CL_k \in PR^{(j)}$ обработки информации.

Если кластер обработки информации CL_l равен кластеру обработки CL_k , а кластер CL_k , в свою очередь, равен CL_q , тогда кластер обработки CL_l равен и, следовательно, параллелен кластеру обработки CL_q , т.е.

$$CL_l, CL_k, CL_q \in PR^{(j)} EKS_w : CL_l \xrightarrow{KS_w} CL_k,$$

$$CL_k \xrightarrow{KS_w} CL_q \Rightarrow CL_l \xrightarrow{KS_w} CL_q. \quad (3)$$

Таким образом, справедливо условие транзитивности двух произвольных кластеров $CL_l, CL_q \in PR^{(j)}$ обработки информации.

Поэтому справедливо утверждение о том, что отношение кластерной структуры обработки KS_w есть отношение эквивалентности.

Действительно, отношение кластерной структуры KS_w обработки информации, которое указывает на то, что любые два произвольно взятых кластера CL_l и CL_k , удовлетворяющие (1), могут выполняться одновремен-

но на разных процессорных модулях под управлением команд, принадлежащих указанным кластерам

$$CL_l, CL_k \in PR^{(j)} : CL_l \xrightarrow{KS_w} CL_k \quad (4)$$

Таким образом, введенное отношение кластерной структуры обработки информации KS_w по определению ставит в соответствие некоторой j -й программе обработки информации $PR^{(j)}$ совокупность независимых и неравных кластеров CL_l , число которых равно числу классов эквивалентности L , а кратность $(CL_l)^q$ определяется порядком класса эквивалентности $|a_l|$:

$$\forall j = 1, N \quad PR^{(j)} \xrightarrow{S_w} \{(CL_l)^q\},$$

$$\forall q = 1, |a_l|; \quad \forall l = 1, L \quad (5)$$

Каждый класс эквивалентности имеет своего представителя кластера CL_l , имеющего число макрокоманд равное порядку кластера $|CL_l|$. Выражение (5) является решением задачи кластерного анализа, так как задает искомое разбиение исходной программы $PR^{(j)}$ на кластеры.

Кластерное представление нейропроцессорных систем

В результате возможны следующие варианты решения задачи (5).

1. Число классов эквивалентности равно L , и порядок каждого класса равен единице $a_l = 1$. Тогда j -ый алгоритм информации представляет собой кортеж из L кластеров

$$A^{(j)} \xrightarrow{S_w} \{CL_l\} = \langle CL_1, CL_2, \dots, CL_l, \dots, CL_L \rangle, \quad (6)$$

каждый из которых является представителем своего класса эквивалентности и обеспечивает входной информацией последующий CL_{l+1} кластер. Взяв число процессорных модулей равное L и назначив каждому l -му модулю соответствующий ему кластер, получим нейропроцессорную реализацию конвейерного типа на базе нейропроцессора NM 640X. [9], представленную на рис. 1.

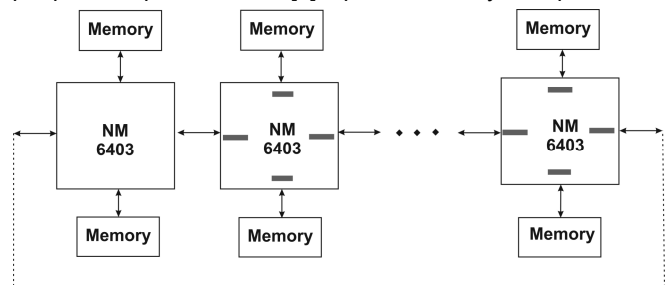
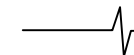


Рис. 1. Кластерная конвейерная структура обработки на базе нейропроцессора NM 640X

Далее определяются основные параметры получаемого конвейера обработки информации: количество модулей обработки L , объем оперативной памяти (Memory) $|CL|$, производительность как время цикла конвейера T_0 , время простоя T_{np} и др [5-7].

2. Число классов эквивалентности L равно единице и порядок класса $|a_l|$ равен q . Тогда j -му алгоритму обработки $A^{(j)}$ информации соответствует набор q совершенно одинаковых кластеров $A^{(j)} \xrightarrow{Sk} \{(CL)^q\}$. При



этом, если выходная информация каждого кластера $CL_i, \forall i = 1, q$ является входной для каждого последующего CL_{i+1} , тогда имеем кластерную структуру конвейерного типа с числом кластеров равным q , каждый из которых функционирует по командам кластера CL (рис. 1).

Если входная информация требуется одновременно для всех кластеров, тогда, назначая q процессорных модулей на обработку информации, получаем нейропроцессорную реализацию векторного или параллельного типа $A^{(j)} \xrightarrow{Sw} \{CL_1\} = \langle CL_1, CL_2, \dots, CL_1, \dots, CL_L \rangle$, в которой все q процессорных модулей функционируют по одному и тому же кластеру CL_1 (рис.2).

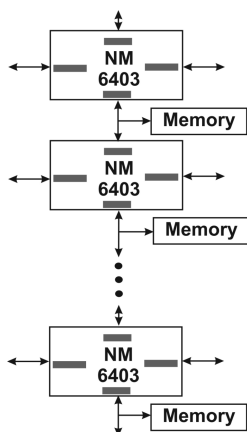


Рис. 2. Кластерная векторная структура обработки

Аналогично определяются основные параметры получаемой кластерной векторной структуры обработки информации: количество модулей обработки – L , объем оперативной памяти (Memory) – $|CL|$, производительность конвейера – T_0 , время простоя – T_{np} и др.

3. Число классов эквивалентности равно L и порядок p каждого l -го класса равен $|a_l|$. Этот случай является общим и предполагает отношения не только между кластерами внутри класса, но и между кластерами различных классов.

Пусть обмен информацией между представителями классов $CL_l, \forall l = 1, L$ осуществляется последовательно. Если кластеры внутри l -го класса обмениваются последовательно, тогда, назначая число процессорных модулей $N_0 = L * \sum_{i=1}^L |a_i|$ получим известную конвейерную структуру. Если для подпрограмм внутри l -го класса требуется информация одновременно, тогда, назначая число процессорных модулей равное

$N_0 = L * \max |a_l|, \forall l = 1, L$, получим конвейерно-векторную структуру обработки данных.

Если кластеры внутри l -го класса обмениваются информацией последовательно, имеем векторно-конвейерную структуру обработки информации. Указанные структуры являются частными случаями более общей – кластерной матричной структурой обработки, приведенной на рис. 3.

Далее для каждой получаемой структуры обработки информации определяются основные параметры: количество модулей обработки L , объем оперативной памяти (Memory) $|CL|$, производительность как время цикла конвейера T_0 , время простоя T_{np} и др.

Таким образом, введение кластеризации позволило распараллелить программу обработки согласно (5) и в зависимости от исследуемых алгоритмов обработки информации $PR^{(j)}$ получить кластерные структуры обработки: конвейерную, векторную [1], или новые структуры: конвейерно-векторную, векторно-конвейерную и др. [5, 7]. В результате в нейропроцессорную систему (НПС) вводится аппаратная избыточность в виде отдельных нейропроцессорных модулей, и тем самым появляется возможность повышения безотказности, восстанавливаемости и готовности кластерных НПС.

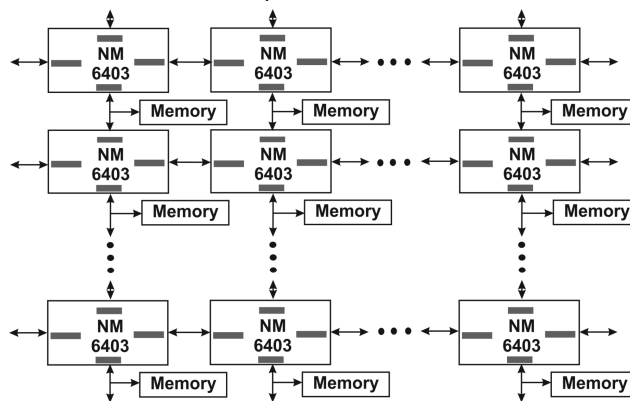


Рис. 3. Кластерная матричная структура обработки

Восстанавливаемость кластерных нейропроцессорных систем

Как известно [1, 2], под надежностью понимают свойство вычислительной аппаратуры выполнять возложенные на нее функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в течение заданного промежутка времени в пределах, установленных в техническом задании или технических условиях.

Надежность аппаратуры обычно связывается с понятиями работоспособности, безотказности, ремонтпригодности и долговечности.

Под работоспособностью понимается состояние системы, в нашем случае НПС обработки данных [3, 5], при котором она способна выполнять возложенные на нее функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Способность НПС обработки специальных данных сохранять работоспособность в течение некоторого времени наработки без вынужденных простоев называется безотказностью.

Как правило, на практике большинство НПС эксплуатируются длительное время. При этом они многократно включаются в работу и выключаются. Возможные случаи нарушения состояния работоспособности сопровождаются ремонтом, т.е. восстановлением рабочего состояния. Поэтому надежность аппаратуры наряду с работоспособностью и безотказностью оценивается также ремонтпригодностью, определяемой приспособленностью НПС к предупреждению, обнаружению и устранению от-

казов и неисправностей при проведении технического обслуживания и восстановления (ремонта). Качество и быстрота восстановления аппаратуры определяется не только ремонтпригодностью, но и организацией службы эксплуатации и совершенством автоматизации нейропроцессорной системы обработки специальных данных.

Для нахождения показателей ремонтпригодности (восстановливаемости) пользуются случайной величиной – временем выполнения операций по техническому обслуживанию. Эта величина в зависимости от цели накопления статистических данных может быть временем ремонта (восстановления) аппаратуры НПС после возникновения отказов и неисправностей, временем технической подготовки аппаратуры с учетом и без учета времени восстановления или временем выполнения регламентных работ.

Оперативным показателем ремонтпригодности аппаратуры НПС является вероятность восстановления аппаратуры за заданное время $p_e(t)$ как вероятность того, что время восстановления t_e не превысит заданного для этих целей времени t : $p_e(t) = P\{t_e \leq t\}$.

По определению этой вероятности ясно, что она может представлять функцию распределения времени выполнения операций по восстановлению аппаратуры НПС.

Значительная часть электронных схем построена таким образом, что отказ хотя бы одного из элементов НПС ведет к отказу всей НПС в целом. Такое соединение элементов с точки зрения надежности называется последовательным (основным). Если все элементы в последовательном соединении работают независимо, то вероятность безотказной работы схемы НПС из N элементов за промежуток времени t находится по формуле

$$p(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_i(t)\dots p_N(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t).$$

В ряде случаев электронные схемы устроены так, что отказ одного из элементов не приводит к отказу схемы в целом. В этом случае говорят, что такие схемы имеют функциональное резервирование. Однако в тех случаях, когда не удается обычными методами добиться высокой надежности аппаратуры, приходится прибегать к резервированию, которое может быть осуществлено на стадии конструирования или в процессе эксплуатации аппаратуры путем установки двух, трех однопотипных нейропроцессоров.

Резервирование в «физическом» смысле характеризуется параллельным соединением нейропроцессоров, в котором только отказ всех элементов приводит к отказу соединения в целом. В данном соединении из k элементов наряду с основным элементом имеется $(k-1)$ резервных элементов. Каждый из которых может быть включен в работу или отключен при отказе.

В общем случае могут быть созданы резервные цепи, в которых все элементы одновременно участвуют в работе, а отказ одного или нескольких нейропроцессоров не нарушает работоспособности цепи. При этом вероятность отказа параллельного соединения

$$Q(t) = q_1(t)q_2(t)\dots q_i(t)\dots q_k(t) = \prod_{i=1}^k [1 - p_i(t)], \text{ где } q_i(t)$$

– вероятность отказа i -го нейропроцессора параллельного соединения.

Тогда вероятность безотказной работы параллельного соединения нейропроцессоров равна

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - p_i(t)]. \quad (7)$$

Для исследования наиболее рационального (наилучшего) способа повышения надежности введем и рассмотрим следующие соотношения. Пусть НПС состоит из N последовательно соединенных элементов и с целью повышения надежности резервируется m резервными цепями. Резервированная система не обслуживается (отказавшие цепи не ремонтируются). Отношение количества резервных цепей к числу основных называется *кратностью резервирования*. Для случаев резервирования, показанных на рисунках, число резервных цепей m совпадает с кратностью резервирования. В общем случае кратность резервирования может быть и дробным числом.

Вероятность безотказной работы при общем резервировании находится из условия, что отказ всей системы, включающей одну основную и m резервных цепей, произойдет после того, как независимо друг от друга откажут все $(m+1)$ параллельных цепей. Тогда вероятность отказа $Q_{общ}(t)$ системы равна: $Q_{общ}(t) =$

$$= Q_1(t)Q_2(t)\dots Q_j(t)\dots Q_{m+1}(t) = \prod_{j=1}^{m+1} Q_j(t), \text{ а вероятность}$$

безотказной работы $P_{общ}(t)$ системы составляет:

$$P_{общ}(t) = 1 - Q_{общ}(t) = 1 - \prod_{j=1}^{m+1} Q_j(t) = 1 - \prod_{j=1}^{m+1} \left[1 - \prod_{i=1}^N p_i(t) \right] \quad (8)$$

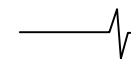
где $Q_j(t)$ – вероятность отказа за время t j -й резервной цепи; $p_i(t)$ – вероятность безотказной работы за время t i -го элемента цепи (основной или резервной).

Если все $(m+1)$ цепей в параллельном соединении равнонадежны, то вероятность безотказной работы определяется

$$P_{общ}(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^N p_i(t) \right]^{m+1} \quad (9)$$

Вероятность безотказной работы при раздельном резервировании определяется из условия, что НПС состоит из N последовательно соединенных звеньев, а каждое звено из $(m+1)$ параллельно соединенных элементов, причем отказы элементов в звене – события независимые, и поэтому вероятность определяется

$$P_{разд}(t) = \prod_{i=1}^N p_{i3в}(t) = \prod_{i=1}^N [1 - q_{i3в}(t)] =$$



$$= \prod_{i=1}^N \left[1 - \prod_{j=1}^{m+1} q_{ij}(t) \right] = \prod_{i=1}^N \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{m+1} [1 - p_{ij}(t)] \right\} \quad (10)$$

где $p_{из}(t)$, $q_{из}(t)$ – вероятность безотказной работы и отказа i -го звена соединения соответственно; а $p_{ij}(t)$, $q_{ij}(t)$ – вероятность безотказной работы и отказа в i -м звене j -го элемента (основного или резервного) соответственно.

Если все $(m+1)$ элементов в звене равнонадежны, то вероятность раздельного резервирования определяется:

$$P_{разд}(t) = \prod_{i=1}^N \left\{ 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1} \right\} \quad (11)$$

Сравнение формул (9) и (11) позволяет установить, что для всех значений $p_i(t)$, N и m (исключая тривиальный случай, когда $p_i(t) = 0$ и $N = 1$) величины $P_{общ}(t) < P_{разд}(t)$.

Пример. Пусть аппаратура нейропроцессорной системы состоит из десяти нейропроцессоров, каждый из которых имеет вероятность безотказной работы за время $t_p(t) = 0.8$. Имеются две резервные цепи. При общем резервировании $P_{общ}(t) = 1 - (1 - 0.8^{10})^3 = 0.27$, а при раздельном резервировании $P_{разд}(t) = [1 - (1 - 0.8^3)^{10}] = 0.92$. Это наглядно свидетельствует о значительной эффективности раздельного резервирования в сравнении с общим.

Заключение

Предложенная методика позволяет представить проектируемую систему в виде совокупности кластеров и реализовать ее как одну из полученных структур: конвейерную, векторную, конвейерно- векторную или векторно- конвейерную на базе современного отечественно- микрокомплекта NM 640X или K1879 BMX.

При общем резервировании отказ любого из элементов рабочей цепи вызывает необходимость включения целиком резервной цепи, в то время как при раздельном резервировании отказ одного из элементов вызывает необходимость включения лишь одного эле-

мента, что приводит к повышению восстанавливаемости кластерных нейропроцессорных систем.

Литература

1. Сотсков Б.С. Физика отказов и определение интенсивности отказов // О надежности сложных технических систем Под ред. Берга А.И., Бруевича Н.Г., Гнеденко Б.В., Голинкевича Т.А. М.: Советское Радио, 1966
2. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. М.: Советское Радио, 1968.
3. Архитектура компьютерных систем и сетей: Учеб. пособие, Т.П. Барановская, В.И. Лойко, М.И. Семенов, А.И. Трубилин; Под.ред. В.И. Лойко. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 256 с.: ил.
4. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженеров М.: Энергия, 1980.
5. Злобин В.К., Ручкин В.Н. Нейросети и нейрокомпьютеры. СПб.: БХВ-Петербург, 2011, -256 с.
6. Григоренко Д.В., Ручкин В.Н. Кластеризация систем обработки специальных данных // Методы и средства обработки и хранения информации Рязань: РИО Рязанского государственного радиотехнического университета, 2012.
7. Ручкин В.Н. Проектирование и выбор специализированных средств обработки информации. М.: Московский государственный открытый университет, 1997. - 120 с. : ил.
9. Виксне П.Е., Фомин Д.В., Черников В.М. Однокристальный цифровой нейропроцессор с переменной разрядностью операндов // Известия Вузов, Приборостроение, 1996, т.39, №7

IMPROVING RECOVERABILITY NEUROPROCESSOR CLUSTER OF DATA PROCESSING SYSTEMS

Grigorenko D.V., Ruchkin V.N.

Investigate the possibility of improving recoverability cluster neuroprocessor conveyor systems studied, vector, conveyor-vector or vector-pipelined structures based data set of the modern domestic micro sets NM 640X.

Уважаемые авторы!

Редакция научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст - текстовый редактор Microsoft Word (2003, 2007).
- Объем статьи до 12 стр. (ширифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Название статьи на русском и английском языках.

Рукопись статьи сопровождается:

- краткой аннотацией на русском и английском языках;
- номером УДК;
- сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, должность, ученая степень, телефоны, элект-ронная почта);
- ключевыми словами;
- актом экспертизы (при наличии в вашей организации экспертной комиссии).

2) Требования к иллюстрациям:

- Векторные (схемы, графики) - желательно использование графического редактора Corel DRAW.
- Растровые (фотографии, рисунки) - М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат tiff, jpg.