

А. А. ШАРИПБАЕВ, Р. К. УСКЕНБАЕВА

## НАДЕЖНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

(Представлена академиком НАН РК М. Отелбаевым)

**Актуальность проблемы.** Надежность распределенных информационно-вычислительных систем становится одной из актуальных проблем современного этапа развития всех отраслей науки и техники.

На основе анализа установлено, что надежность систем, в частности распределенных информационно-вычислительных систем, зависит от множества факторов. Полное решение задачи надежности функционирования распределенной информационно-вычислительной ИС достигается путем устранения всех причин риска потери надежности [1, 2]:

- отказостойкости элементов ИС (показатель P1);
- отказоустойчивости элементов ИС (показатель P2);
- защищенности элементов ИС (показатель P3);
- безопасности функционирования как внутренних элементов ИС, так и в целом (показатель P4).

Требование устранения или снижения каждой из этих причин является задачей и их решение достигается следующими принципами:

- обеспечением требуемого уровня физической стойкости (Зд1),
- маневрированием функциональных ресурсов ИС, а также адаптацией (или приспособлением) стратегий решения бизнес-задачи (Зд2).
- защитой (Зд3) и безопасностью (Зд4).

Отсюда общую задачу надежности распределенной ИВС можно сформулировать таким образом:  $Q(P1, P2, P3, P4) \rightarrow \max$ , при этом следует выполнить  $WO \rightarrow \max$ , где  $WO = (wo_1, wo_2, \dots, wo_n, \dots, wo_n)$  – совокупность критериев (требования) на решение общей задачи надежности.

В дальнейших исследованиях рассмотрены и исследованы особенности решения задачи отказоустойчивости, так как для ее решения распределенная ИВС создает большие функциональные ресурсы, которые являются необходимой предпосылкой для ее успешного решения.

**Стратегии решения задачи отказоустойчивости и ее декомпозиция.** Решение задачи

надежности (отказоустойчивости) достигается путем эффективного использования маневрирования определенными запасами ресурсов распределенной ИС.

Задача надежности в ходе функционирования распределенной ИС возникает с различной сложностью, поэтому для ее решения требуются ресурсы разного объема и вида.

Решение задачи надежности достигается путем маневрирования:

- одного вида функциональных ресурсов ( $QB_1$ ) распределенной ИС;
- многих видов ресурсов ( $QB_1, QB_2, \dots, QB_n, \dots, QB_{n-1}, \dots, QB_n$ ),  $n > 2$  распределенной ИС.

Стратегии решения этих задач различны. Поэтому их формулировки являются различными.

*Формулировка решения однотипной ресурсной задачи надежности.* Задача обеспечения отказоустойчивости РИВС сводится к обеспечению

$$WP_1 = Q_T = \sum_{s_v^r} P_T(s_v^r) = \sum_{k=0}^d C_n^k p^k (1-p)^{n-k} \geq Q_T^M, \quad (10)$$

$$WP \rightarrow \max,$$

где  $Q_T^M$  – заданное минимально допустимое значение ВБР (время бесперебойной работы) в течение времени  $T$ ;  $p$  – заданная вероятность отказа одного ПМ (программного модуля) в течение времени  $T$ ;  $P_T(s_v^r)$  – вероятность того, что к концу интервала  $T$  система окажется в работоспособном состоянии  $s_v^r$ ;  $p = P_T = (1 - e^{-\lambda T})$  – вероятность отказа одного ПМ в течение времени  $T$ ;  $\lambda$  – интенсивность отказа ПМ (его значения должны быть установлены путем статистического исследования для ПМ как технического устройства);  $d$  – максимальное допустимое число одновременно отказавших ПМ;  $C_n^k$  – количество всевозможных комбинаций ПМ, при

которых РИВС работоспособна;  $WP = \{wpi\}$  – набор требований и критериев, в частности следующих:

1) распределение бизнес-задач с использованием минимального количества ПМ:

$$WP_2 = n^0 \rightarrow \min, \quad (11)$$

2) бизнес-задачи распределить так, чтобы время нужное для их решения было минимальным:

$$WP_3 = T_{\Sigma i}^{g_0} = \sum_{U_j \in \Omega^0} d_{ji}^{g_0} \tau_j \rightarrow \min, \quad (12)$$

$i = 1, \dots, g_0,$

3) бизнес-задачи распределить так, чтобы затраты для их решения были минимальными

$$WP_4 = C_{g_0} = \sum_{i=1}^{g_0} \sum_{U_j \in \Omega^0} d_{ji}^{g_0} c_{ji} \rightarrow \min, \quad (13)$$

4) бизнес-задачи распределить так, чтобы обеспечить максимальное значение сохраненной функциональной мощности РИВС:

$$WP_5 = E_{g_0} = \sum_{i=1}^{g_0} \sum_{U_j \in \Omega^0} d_{ji}^{g_0} b_j \rightarrow \max. \quad (14)$$

Кроме того, при распределении бизнес-задач необходимо соблюдение условий:

5) требование необходимости выполнения системой всех задач в начальном s-состоянии

$$T1 = \sum_{i=1}^{n^0} h_i = L, \quad (15)$$

6) требование необходимости того, что каждая задача должна выполняться не более, чем в одном ПМ:

$$T1 = \sum_{i=1}^{g_0} d_{ji}^{g_0} \leq 1, \quad \forall j = 1, \dots, L, \quad (16)$$

где выражение (11) задает минимальное число ПМ; выражение (12) задает для каждого ПМ ограничение на допустимое суммарное время выполнения в данном граничном состоянии  $s_{\omega}^0$  всех задач, размещенных в данном ПМ; выражение (13) определяет дополнительные затраты, которые зависят от РЗ для произвольного граничного s-состояния  $S_{\omega}^0$ ; выражение (14) задает ограничение на минимально допустимое значение функциональной мощности системы в состоянии  $s_{\omega}^0$ ;  $c_{ji}$  – затраты на размещение копии задачи  $U_j$  в ПМ  $M_i$  (если все ПМ идентичны, то можно принять  $c_{ji} = c_j$  для любого ПМ);  $b_j$  – вес задачи  $U_j$ ;  $h_i$  – число задач, назначаемых для решения в ПМ  $M_i$ .

*Формулировка решения многоотипной ресурсной задачи надежности.* Решение многоресурсной задачи надежности достигается путем корректировки, маневрирования и адаптации всех видов ресурсов, например:

- цели бизнес-задачи и требования к результатам и процессу ее решения;
- стратегии и алгоритмы решения бизнес-задачи;
- функциональные ресурсы, обеспечивающие решение данной бизнес-задачи.

Формулировка указанной задачи осуществляется на базе понятий ситуации и решения таким образом.

Пусть в момент  $t=t$  для  $(SZ(t), S(t), G(t), W(t))$  имеет место  $S(t) \neq SZ(t)$ , где  $S(t)$ ,  $SZ(t)$  – текущие и целевое функциональные состояния РИВС, которые соответствуют текущему режиму состояния функционирования РИВС.

Тогда при состоянии ресурсов управления  $G(t)$  необходимо:

I. Установить такую  $SZh \in SZ$ , для которой выполняется

$$W1(SZh) = \max \{W1(SZi) : \forall SZi \in SZ\},$$

где  $SZh$  – новое целевое состояние.

II. Принять такое управляющее решение  $U_i$ , которое:

а) во-первых, обеспечивает перевод РИВС из  $S(t)$  в  $SZh$  на базе такого ресурса управления  $g$ , что  $g \subseteq G(t)$ ;

б) во-вторых, обеспечивает выполнение условия:

$$W2(U_i) = \max \{W2(U_j) : \forall U_j \in UR\}.$$

Полагаем, что для  $W1$  и  $W2$  выполняется  $W1 \geq W2$ .

Сформулированная общая задача оперативного управления РИВС декомпозирована на подзадачи соответствующих фаз ЦУ. Для этого условия проявления задачи и ее решения могут быть редуцированы таким образом:

– различная реализация  $ZD$  ( $RZ$ ) имеет разную проблемность ( $Pr$ ), т. е.

$$ZD \rightarrow \{(RZ_i, Pr_i)\};$$

–  $RZ$  решается с помощью множества операций  $\{Op_i\}$ ;

– большинство показателей качества решения  $ZD$  имеет свойства аддитивности в виде

$$W = (W1, W2) = \sum_i w_i,$$

где  $i$  – номер операций;

–  $RZ$  может быть решена:

- 1) на различном уровне полноты;
- 2) различным составом  $\{Op_i\}$ ;
- 3) различной схемой решения.

Таким образом,  $\{Op_i\}$  в различных схемах решения могут быть объединены в операции, выполняемые в фазах: А, П, Р. Отсюда  $ZD$  является общей задачей ЦУ и может быть декомпозирована на задачи указанных фаз ЦУ, т.е.  $ZD=(ZA, ZW, ZR)$ . Результатами решения их являются

$$ZA \rightarrow TD; ZW \rightarrow YR; ZR \rightarrow UB,$$

где  $TD$  – текущие данные о ПУ;  $YR$  – управляющие решения;  $UB$  – управляющие воздействия.

Как одноресурсное, так и многоресурсное решение задачи надежности на платформе распределенной ИС реализуется (осуществляется) функциональными ресурсами.

Следует отметить, что результаты решения (т.е. предложенные стратегии) как для одноресурсной, так и для многоресурсной задачи надежности адекватны для класса бизнес-процессов типа Б2.

**Стратегия назначения функциональных ресурсов бизнес-функциям.** Подход к решению одноресурсной, как и для многоресурсной задачи надежности, разный и их формулировки являются различными. Поэтому их следует рассматривать по отдельности.

Формулировка решения одноресурсной задачи надежности.

Бизнес-функции  $f_{\theta i} \in F_{\theta}$ , необходимые для решения задачи  $Z$  на основе распределенной ИС, выполняются функциональными элементами,

для этого необходимо решить задачу назначения, соответствующую установлению отображения вида

$$\Phi M \rightarrow F \text{ или } \{\Phi M_i\} \xrightarrow{\varphi} \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \quad (1)$$

при выполнении требования  $(W(q)) \rightarrow \max$ .

Отображение назначения вида (1), обеспечивающее выполнение бизнес-функции  $f_{\theta i} \in F_{\theta}$ , необходимой для решения задачи  $Z$  на основе функционального элемента распределенной ИС, можно реализовать таким образом.

1. Назначение  $1$  активного функционального элемента для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$ . Стратегия назначения СН:  $[1/0/0]$ .

2. Назначение  $n$  активных функциональных элементов для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$ . Стратегия назначения СН:  $[n/0/0]$ .

3. Назначение  $1$  активного и  $n$  пассивных (резервных) функциональных элементов для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$ . Стратегия назначения СН:  $[1/n/0]$ .

4. Назначение  $1$  активного функционального элемента для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$  и  $m$  пассивных функциональных элементов из общих функциональных ресурсов РИВС ФР. Стратегия назначения СН:  $[1/0/m]$ .

5. Назначение  $1$  активного и  $n$  пассивных функциональных элементов для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$ , а также  $m$  пассивных функциональных элементов из общих функциональных ресурсов РИС ФР. Стратегия назначения СН:  $[1/n/m]$ .

6. Назначение  $n$  активного и  $n$  пассивных функциональных элементов для реализации бизнес-функции  $f_{\theta i}$ , а также  $m$  пассивных функциональных элементов из общих функциональных ресурсов РИС ФР. Стратегия назначения СН:  $[n/n/m]$ .

Для бизнес-задачи и ее бизнес-процессов БГ2 наиболее эффективной является стратегия назначения СН:  $[1/0/n/0]$ .

Здесь рассматриваются функциональные ресурсы на уровне процессорных модулей (ПМ) и сетевых адаптеров, маршрутизаторов, коммутаторов.

Формулировка указанной задачи приводится в следующем пункте.

**Стратегия распределения функциональных элементов бизнес-функциям.** Между показателями надежности распределенной ИС и качеством решения бизнес-задачи имеется однозначное соответствие

$$WP \xrightarrow{\gamma} W. \quad (17)$$

В частности, между:  $WP = \{WP_j : i=1,n\}$  и  $W = \{w_j : i=1,m\}$  имеет место гомоморфное отображение.

Для этой цели математическая формулировка задачи обеспечения отказоустойчивости РИВС, представленная в разделе 2, переформулирована на основе ФР, с помощью которых задача будет решена.

Пусть решение прикладной бизнес-задачи на базе ФР РИВС достигается выполнением набора отдельных функций (или операций):  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , или группы функций  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_z\}$ . Эти функции назовем прикладными бизнес-функциями, подчеркивая, что они не являются технически реализуемыми вычислительными операциями РИВС.

Пусть для выполнения  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  из ФР выделен набор функциональных модулей  $\Phi M = \{\Phi M_i\}$ .

Отсюда необходимым условием решения задачи является установление такого гомоморфного отображения вида

$$\gamma: \Phi M \rightarrow F$$

или

$$\{\Phi M_i\} \xrightarrow{\gamma} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$$

при выполнении требования

$$(W_1 \in W') \ \& \ (W_2 \rightarrow \max).$$

В качестве  $w_j \in W_1$ ,  $w_j \in W_2$  берутся различные параметры и показатели, часть которых вошла в состав математической формулировки.

Данное отображение может быть реализовано с помощью функциональной матрицы распределения вида  $\|\varphi_{ij}\|_{n \times m}$ .

Отсюда задача обеспечения отказоустойчивости через ФМ  $\subseteq$  ФР имеет следующую формулировку.

Пусть задан набор ФМ  $\subseteq$  ФР, представленный в виде матрицы  $\|\varphi_{ij}\|_{n \times m}$ , который задает объем и возможности функциональных ресурсов, состоящих из ФМ, где элемент которой  $\varphi_{ij} = 1$ , если j-й ФМ способен выполнить прикладную бизнес-функцию  $f_i$ , в противном случае  $\varphi_{ij} = 0$ .

Требуется на основе  $\|\varphi_{ij}\|_{n \times m}$  определить такие варианты размещения ФМ  $\subseteq$  ФР по узлам РИВС (или централизованно), которые могут обеспечить наибольшую отказоустойчивость РИВС и выполнение требования  $(W_1 \in W') \ \& \ (W_2 \rightarrow \max)$ .

Варианты размещения ФМ  $\subseteq$  ФР по узлам РИВС (или централизованно) назовем стратегией размещения ФМ.

Таким образом, задача сводится к определению такой стратегии размещения ФР, которая максимально удовлетворяет требования сформулированной задачи и которая в конце концов является требованием к решению прикладной бизнес-задачи.

Эффективную стратегию распределения ФМ для каждого случая следует искать среди возможных распределений.

В качестве стратегий распределения или назначения ФР, состоящей из  $m$  ФМ, каждый из которых имеет  $n$ -функций  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , можно брать такие стратегии распределения ФМ по прикладным бизнес-функциям, которые приведены в таблице.

Стратегия распределения функциональных элементов (ресурсов) РИВС

№ п/п	Актуальная одиночная ( $f_i$ ) или группа ( $F_i$ ) функций	Количество ФМ, которые могут выполнить $f_i$ или $F_i$	Количество потенциальных функций, имеющих каждый ФМ	Тип стратегии назначения ФР	Тип отношения между (Ф <sub>а</sub> и ФМ), (ФМ и Фп)
1	$f_i$	1	1	СР:[1/1/1]	(1:1),(1:1)
2	$f_i$	L	1	СР:[1/L/1]	(1:n),(1:1)
3	$f_i$	1	$1 \div d$	СР:[1/1/vd]	(1:1),(1:m)
4	$f_i$	1	d	СР:[1/1/cd]	(1:1),(1:m)
5	$f_i$	L	$1 \div d$	СР:[1/L/vd]	(1:n),(1:m)
6	$f_i$	L	d	СР:[1/L/cd]	(1:n),(1:m)
7	$F_i$	1	$1 \div d$	СР:[1g/1/vd]	(1:1),(1:m)
8	$F_i$	1	d	СР:[1g/1/cd]	(1:1),(1:m)
9	$F_i$	L	$1 \div d$	СР:[1g/L/vd]	(1:n),(1:m)
10	$F_i$	L	d	СР:[1g/L/cd]	(1:n),(1:m)

Обозначения, использованные в таблице, имеют следующий смысл:  $\Phi_a$  – количество актуальных функций ( $f_i, F_i$ );  $\Phi_p$  – количество потенциальных функций, имеющих в каждом ФМ.

Итак, в работе установлены структура задачи надежности распределенных информационно-вычислительных систем и стратегии их решения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ускенбаева Р.К.* Проблемы повышения надежности системы поддержки учебно-образовательных процессов // Сб. научн. статей IV международного форума «Информатизация образования Казахстана и стран СНГ». Алматы, 2006. С. 208-212.

2. *Шарипбаев А.А., Ускенбаева Р.К.* Задача оперативного управления сложной вычислительной системой в режиме нарушения ее функционирования // Вестник КазНТУ им. К. И. Сатпаева. 2006. №4(54). С. 136-142.

#### Резюме

Тарамдалган ақпарат жүйесінің беріктік мәселелері қарастырылған. Тарамдалган ақпарат жүйесінің беріктік мәселелері бірнеше есепке бөлініп, олардың шешу әдістері ұсынылады. Берілген шешімдердің тиімділігі зерттелген.

#### Summary

The structure of a task of reliability of the distributed information systems and their decisions are established.

*Поступила 27.03.06г.*