

Методика выбора базовой архитектуры реконфигурируемой вычислительной системы на основе методов теоретико-игровой оптимизации

А.А. Андреев

На сегодняшний день наиболее распространёнными в мире многопроцессорными вычислительными системами (далее МВС) являются так называемые кластерные вычислительные системы (далее КВС), которые применяются в основном для решения сложных задач. Отличительной особенностью таких систем являются высокие показатели пиковой производительности, однако КВС имеют ряд недостатков, связанных с относительно низкой скоростью процедур межпроцессорного обмена, ограниченной пропускной способностью сети передачи данных, необходимостью синхронизации множества взаимосвязанных последовательных процессов, каждый из которых выполняется на отдельном процессоре и т.д. Всё это приводит к тому, что реальная производительность КВС при решении «сильносвязных» задач, требующих интенсивного информационного обмена, составляет 5–10% от заявленной пиковой производительности вычислительной системы. Столь низкие показатели являются следствием неадекватности данной конкретной аппаратной составляющей КВС информационной структуре решаемой задачи. Эти недостатки КВС позволяет преодолеть концепция создания МВС с динамически перестраиваемой (программируемой, реконфигурируемой) элементной базой. Такие системы на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) названы реконфигурируемыми вычислительными системами (РВС) [1,2,4,6].

Они получили практическое применение в качестве вычислительных систем в специальных комплексах, например, в гидроакустических. Так, для решения задач, стоящих перед современными и перспективными гидроакустическими комплексами, их вычислительные системы должны

обладать производительностью 10^{12} - 10^{13} операций в секунду [9]. При этом основная вычислительная нагрузка приходится на алгоритмы пространственно-частотно-временной обработки сигналов.

Вычислительная система таких комплексов в каждом режиме работы решает задачу над периодически повторяющимся потоком различных входных данных, поступающих от множества чувствительных элементов, поэтому структура вычислений остаётся неизменной в течение достаточно длительного времени.

Практика применения РВС (например, представленная в статье [8]) показывает, что для создания оптимальной вычислительной системы специального назначения необходим подробный анализ выполняемых алгоритмов и особенностей элементной базы разрабатываемого вычислителя с учётом их взаимного влияния друг на друга.

Кроме того, поскольку выбор состава аппаратной части осуществляется на этапе проектирования прикладной РВС, а в процессе её применения по назначению решаемые специальные задачи зависят от внешних неопределённых факторов, то такой анализ требуется проводить с их учётом.

В качестве неопределённых факторов могут быть рассмотрены факторы, влияющие как на надёжность РВС, так и на вычислительную сложность решаемых ею задач. При этом, если отсутствует полное вероятностное описание указанных факторов, то обоснованным является применение теоретико-игрового подхода.

Таким образом, разработка методики выбора базовой архитектуры реконфигурируемой вычислительной системы, обеспечивающей требования по вероятности выполнения поставленной задачи и минимальной стоимости на основе теоретико-игровой оптимизации, является актуальной задачей.

Для её решения рассмотрим следующие частные задачи:

1. Введение понятийного аппарата архитектурно-структурно-функционального описания РВС.

2. Построение математической модели РВС в рамках полученного описания с возможностью получения оценок вероятности выполнения поставленной задачи в условиях действия неопределённых факторов.

3. Формирование методики выбора базовой архитектуры реконфигурируемой вычислительной системы минимальной стоимости, обеспечивающей требования по вероятности выполнения поставленной задачи.

Исходя из сущности РВС, следует считать, что фактически в них аппаратная составляющая вычислительной системы представлена фиксированной частью (назовём её базовой архитектурой) и переменной частью – вычислительными структурами, реализуемыми в решающем поле, выполненном на совокупности ПЛИС, соответствующими алгоритму решаемой задачи.

Рассмотрим построение математической модели РВС в рамках принятого подхода к их описанию с возможностью формирования оценок вероятности выполнения поставленной задачи в условиях действия неопределённых факторов.

Введём обозначения:

i^a – номер базовой архитектуры РВС, $i^a = \overline{1, I^a}$;

$i_{i^a}^s$ – номер структуры РВС (вычислительную структуру (проблемно-ориентированный вычислитель) созданный в рамках архитектуры РВС (базового модуля) и адекватный структуре информационного графа задачи (или части задачи) решаемой в текущий момент времени средствами РВС),
 $i_{i^a}^s = \overline{1, I_{i^a}^s}$;

Пусть для каждой $i_{i^a}^s$ -ой структуры ($i_{i^a}^s = \overline{1, I_{i^a}^s}$) связанной с i^a -ой архитектурой ($i^a = \overline{1, I^a}$) каждого j -го неопределённого фактора ($j = \overline{1, J}$) определены конечные множества её состояний:

$$S^{ji^a i^s} = \left\{ S_1^{ji^a i^s}, S_2^{ji^a i^s}, \dots, S_k^{ji^a i^s}, \dots, S_{K_{ji^a i^s}}^{ji^a i^s} \right\}. \quad (1)$$

Положим, что на основе анализа функционирования РВС для каждого комплекса условий может быть получен граф состояний

$$\Gamma^{ji^a i^s} = \left(S^{ji^a i^s}, U^{ji^a i^s} \right), \quad (2)$$

где $U^{ji^a i^s}$ – множество дуг графа для рассматриваемого комплекса условий,

с интенсивностями переходов из состояния в состояние $\lambda_{kk_1}^{ji^a i^s}$

$((k, k_1) \in \bar{K} = \left\{ (k, k_1) \mid k=1, \overline{K_{ji^a i^s}}, k_1=1, \overline{K_{ji^a i^s}}, m_{k, k_1} \in U^{ji^a i^s} \right\})$, учитывающими действие случайных

факторов.

Тогда, при условиях, определяющих возможность существования стационарных вероятностей нахождения системы в соответствующих состояниях (представленных, например, в [3]), для их нахождения необходимо решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} -P_k^{ji^a i^s} \sum_{\substack{k_1=1 \\ (k, k_1) \in \bar{K}}}^{K_{ji^a i^s}} \lambda_{kk_1}^{ji^a i^s} + \sum_{\substack{k_1=1 \\ (k_1, k) \in \bar{K}}}^{K_{ji^a i^s}} P_{k_1}^{ji^a i^s} \lambda_{k_1 k}^{ji^a i^s} = 0, \\ k = \overline{1, K_{ji^a i^s}}; \\ \sum_{k=1}^{K_{ji^a i^s}} P_k^{ji^a i^s} = 1. \end{array} \right. \quad (3)$$

Если из множества состояний системы $S^{ji^a i^s}$ можно выделить хотя бы одно из его подмножеств $S_E^{ji^a i^s}$ (подмножество желательных состояний) или $S_{\bar{E}}^{ji^a i^s}$ (подмножество не желательных состояний), то показатель оценки качества функционирования РВС для i^a -ой базовой архитектуры ($i^a = \overline{1, I^a}$) в

условиях действия j -го неопределённого фактора ($j = \overline{1, J}$) (для $S_E^{j^a i^a s}$) можно представить в виде некоторой функции скаляризации векторного предпочтения:

$$F_{i^a j} \left(\left\{ F_{i^a j}^{j^a i^a s} \left(\left\{ P_k^{j^a i^a s}, k \in S_E^{j^a i^a s} \right\} \right), i^a s = \overline{1, I_{i^a}^s} \right\}, C_{i^a} \right), \quad (4)$$

где C_{i^a} – стоимость реализации i^a -ой базовой архитектуры РВС.

Для подмножества $S_E^{j^a i^a s}$ выражение (4) имеет аналогичную структуру.

Полученная таким образом матрица $\|F_{i^a j}\|_{I^a, J}$ может рассматриваться как матрица игры (матрица платежей или потерь в зависимости от выбранной стороны конфликта).

Для решения задачи, прежде всего, необходимо определить к какому классу матричных игр она относится. Для этого проанализируем полученную матрицу $\|F_{i^a j}\|_{I^a, J}$ (матрицу игры) и определим нижнее ω_n и верхнее ω_b значение игры $\omega_n = \max_{i^a} \min_j a_{i^a j}$ и $\omega_b = \min_j \max_{i^a} a_{i^a j}$.

На основе этих значений, любую игру можно отнести к одному из трёх видов игр, представленных на рисунке 1.

Рассмотрим каждый из случаев более подробно:

$\omega_n = \omega_b$ – нижнее и верхнее значения игры равны. В этом случае возникает ситуация равновесия (в игре есть седловая точка), т.е. ситуация в которой игрокам (конкурентам) не выгодно отклоняться от чистых стратегий обеспечивающих равенство $\omega_n = \omega_b$.

$\omega_n \neq \omega_b$ – нижнее и верхнее значения игры не равны, при этом игра имеет большое число реализаций. Для решения такой игры использую модели смешанного расширения матричных игр классического типа.

$\omega_n \neq \omega_b$ – нижнее и верхнее значения игры не равны, при этом игра имеет произвольное число реализаций. Для решения такой игры использую модели смешанного расширения матричных игр неклассического типа [17].

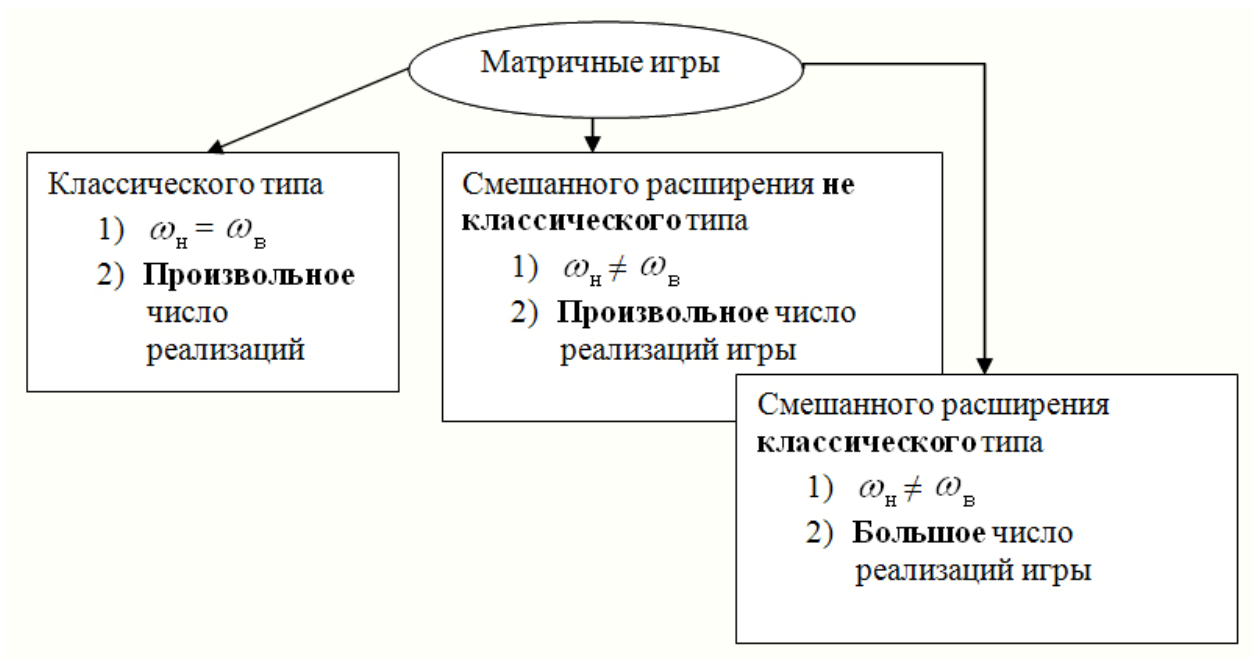


Рис. 1. – Виды антагонистических матричных игр

Для решения смешанного расширения матричной игры, необходимо определить оптимальную смешанную стратегию первого игрока Str_a^* . $Str_a^* = (p_1^* \ p_2^* \ \dots \ p_{I_a}^*)$, где $p_1^*, p_2^*, \dots, p_{I_a}^*$ – вероятности применения соответствующих чистых стратегий первого игрока $(A_1, A_2, \dots, A_{I_a})$, при условии, что $p_1^* + p_2^* + \dots + p_{I_a}^* = 1$.

Для нахождения вероятностей применения чистых стратегий игроком, составим систему линейных неравенств следующего вида:

$$\begin{cases} a_{11}p_1^* + a_{21}p_2^* + \dots + a_{I_a,1}p_{I_a}^* \geq v, \\ a_{12}p_1^* + a_{22}p_2^* + \dots + a_{I_a,2}p_{I_a}^* \geq v, \\ \dots \\ a_{1n}p_1^* + a_{2n}p_2^* + \dots + a_{I_a,n}p_{I_a}^* \geq v. \end{cases}$$

Далее введём новые переменные, для этого разделим каждое из неравенств на число $v > 0$:

$$x_1 = p_1^* / v, \ x_2 = p_2^* / v, \ \dots, \ x_{I_a} = p_{I_a}^* / v, \ \text{тогда система примет вид:}$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1^* + a_{21}x_2^* + \dots + a_{l_1 1}x_{l_1}^* \geq 1, \\ a_{12}x_1^* + a_{22}x_2^* + \dots + a_{l_2 2}x_{l_2}^* \geq 1, \\ \dots \\ a_{1n}x_1^* + a_{2n}x_2^* + \dots + a_{l_n n}x_{l_n}^* \geq 1, \end{cases}$$

$$\text{при } z = x_1^* + x_2^* + \dots + x_{l_a}^* \rightarrow \min.$$

Цель первого игрока — максимизировать свой гарантированный выигрыш. Разделив на $v \neq 0$ равенство $p_1^* + p_2^* + \dots + p_{l_a}^* = 1$, получаем, что переменные x_i (где $i = 1, 2, \dots, l_a$) удовлетворяют условию: $x_1^* + x_2^* + \dots + x_{l_a}^* = 1/v$. Максимизация цены игры v эквивалентна минимизации величины $1/v$, поэтому задача может быть сформулирована следующим образом: определить значения переменных $x_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, l_a$, так, чтобы они удовлетворяли линейным ограничениям описанным выше и при этом линейная функция $z = x_1^* + x_2^* + \dots + x_{l_a}^*$, обращалась в минимум. Это задача линейного программирования, решая которую находим распределение вероятностей на множестве чистых стратегий первого игрока и соответственно оптимальную стратегию Str_a^* , опираясь на которую можно сделать выбор базовой архитектуры РВС функционирующей в условиях действия разумного противника (конкурента, природы), тем самым обеспечив высокий уровень надёжности РВС. При малом числе реализаций игровой ситуации следует применять подход, описанный в [17].

Рассмотрим задачу выбора базовой архитектуры РВС на основе теории принятия решений и методов теоретико-игровой оптимизации. Опираясь на уравнения (1) – (2) определим множество состояний РВС, связанных с показателем надёжности, развивающих подход, рассмотренный в работах

[11] – [13]: $S_E^{ji^a l_a^s} = \left\{ S_1^{ji^a l_a^s}, S_2^{ji^a l_a^s}, S_3^{ji^a l_a^s} \right\}$, где $S_1^{ji^a l_a^s}$, $S_2^{ji^a l_a^s}$, $S_3^{ji^a l_a^s}$ – некоторые

состояния системы, например работоспособное, неработоспособное и

состояние ремонта, с распределением интенсивностей перехода между

$$\text{состояниями в виде матриц } L(S^{j_i^a l_i^s}) = \begin{Bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{Bmatrix}.$$

Пусть на основе дополнительных исследований получены следующие оценки реальных значений интенсивностей перехода РВС из состояния в состояние:

$$L(S^{111}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.35 & 0 \\ 0.05 & 0 & 0.25 \\ 0.11 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{211}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.22 & 0 \\ 0.1 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{311}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.32 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{112}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.4 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0.2 \\ 0.23 & 0.18 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{212}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.37 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.13 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{312}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.57 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.27 \\ 0.21 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{113}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.63 & 0 \\ 0.11 & 0 & 0.78 \\ 0.15 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{213}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.33 & 0 \\ 0.11 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{313}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.31 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.31 \\ 0.22 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{121}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.18 & 0 \\ 0.12 & 0 & 0.35 \\ 0.22 & 0.12 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{221}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.78 & 0 \\ 0.1 & 0 & 0.42 \\ 0.2 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{321}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.29 & 0 \\ 0.18 & 0 & 0.42 \\ 0.19 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{122}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.42 & 0 \\ 0.17 & 0 & 0.32 \\ 0.11 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{222}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.42 & 0 \\ 0.25 & 0 & 0.62 \\ 0.35 & 0.32 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{322}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.39 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.01 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{123}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.4 & 0 \\ 0.27 & 0 & 0.13 \\ 0.21 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{223}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.1 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.34 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{323}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0.41 \\ 0.15 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{131}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.5 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.11 \\ 0 & 0.19 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{231}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.42 & 0 \\ 0.35 & 0 & 0.42 \\ 0.31 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{331}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.11 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{132}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.28 & 0 \\ 0.27 & 0 & 0.42 \\ 0.36 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{232}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.75 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0.39 \\ 0.08 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{332}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.31 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$L(S^{133}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.32 & 0 \\ 0.23 & 0 & 0.42 \\ 0.12 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{233}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.37 & 0.18 \\ 0.23 & 0 & 0.37 \\ 0.21 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix} \quad L(S^{333}) = \begin{Bmatrix} 0 & 0.37 & 0 \\ 0.15 & 0 & 0.31 \\ 0.37 & 0.22 & 0 \end{Bmatrix}$$

Решая систему линейных алгебраических уравнений (3) получим значения стационарных вероятностей нахождения РВС ϵ в соответствующих состояниях:

Таблица № 1

Вероятности нахождения РВС в соответствующих состояниях

			Неопределённые факторы					
			1		2		3	
Архитектура РВС	1	Проблемно-ориентированный вычислитель (Структура)	1	0,18	1	0,49	1	0,47
			2	0,31	2	0,44	2	0,28
			3	0,18	3	0,40	3	0,42
	2	Проблемно-ориентированный вычислитель (Структура)	1	0,49	1	0,16	1	0,39
			2	0,25	2	0,42	2	0,18
			3	0,39	3	0,38	3	0,30
	3	Проблемно-ориентированный вычислитель (Структура)	1	0,23	1	0,44	1	0,52
			2	0,52	2	0,15	2	0,48
			3	0,35	3	0,37	3	0,38

Используем аддитивную функцию скаляризации векторного предпочтения (4) по архитектурам (индекс i^a) и структурам (индекс i^s) со значениями весовых коэффициентов:

Таблица № 2

Весовые коэффициенты функции скаляризации векторного предпочтения

		$j=1, 2, 3$		
		$(i^s = 1)$	$(i^s = 2)$	$(i^s = 3)$
a		$(i^s = 1)$: 0,31		
		$(i^s = 2)$: 0,28		
		$(i^s = 3)$: 0,41		
		$(i^s = 1)$: 0,43		
		$(i^s = 2)$: 0,17		
		$(i^s = 3)$: 0,40		
		$(i^s = 1)$: 0,25		
		$(i^s = 2)$: 0,46		
		$(i^s = 3)$: 0,29		

Используя функцию скаляризации векторного предпочтения (4) с заданными весовыми коэффициентами, получим матрицу игры A с элементами a_{ij} , $i = \overline{1,3}$ и $j = \overline{1,3}$

Таблица № 3

Матрица игры A

0,22	0,44	0,40
0,41	0,29	0,32
0,40	0,29	0,46

В рассматриваемой задаче РВС противостоит разумному противнику (природе). Во первых найдём верхнее и нижнее значение игры равное $\omega_1 = \max_{i^a} \min_j a_{i^a j}$ и $\omega_2 = \min_j \max_{i^a} a_{i^a j}$, для матрицы A $\omega_H = 0,29$ $\omega_B = 0,41$. Т.к. $\omega_H \neq \omega_B$ – в

игре отсутствует «седловая точка», следовательно, решения игры в чистых стратегиях нет. Для решения рассматриваемой игры условимся, что игра имеет большое число реализаций, тогда, для решения такой игры используют модели смешанного расширения матричных игр классического типа.

Для решения смешанного расширения матричной игры, необходимо определить оптимальную смешанную стратегию первого игрока Str_a^* . $Str_a^* = (p_1^* \ p_2^* \ \dots \ p_{I_a}^*)$, где $p_1^*, p_2^*, \dots, p_{I_a}^*$ – вероятности применения соответствующих чистых стратегий первого игрока $(A_1, A_2, \dots, A_{I_a})$, при условии, что $p_1^* + p_2^* + \dots + p_{I_a}^* = 1$.

Для нахождения вероятностей применения чистых стратегий игроком, составим задачу линейного программирования следующего вида:

$$\begin{cases} 0.22p_1^* + 0.41p_2^* + 0.40p_3^* \geq v, \\ 0.44p_1^* + 0.29p_2^* + 0.29p_3^* \geq v, \\ 0.40p_1^* + 0.32p_2^* + 0.46p_3^* \geq v. \end{cases}$$

Далее введём новые переменные, для этого разделим каждое из неравенств на число $v > 0$:

$x_1 = p_1^* / v, x_2 = p_2^* / v, \dots, x_{I_a} = p_{I_a}^* / v$, тогда система примет вид:

$$\begin{cases} 0.22x_1^* + 0.41x_2^* + 0.40x_3^* \geq 1, \\ 0.44x_1^* + 0.29x_2^* + 0.29x_3^* \geq 1, \\ 0.40x_1^* + 0.32x_2^* + 0.46x_3^* \geq 1. \end{cases}$$

при $z = x_1^* + x_2^* + \dots + x_{I_a}^* \rightarrow \min$.

в результате решения получим следующее распределение вероятностей на множестве чистых стратегий: $p_1^* = 0,352941$; $p_2^* = 0,647059$; $p_3^* = 0$; следовательно, оптимальная чистая стратегия первого игрока - A_3 .

Если дополнительно известно, что игровая ситуация будет иметь малое число реализаций, то для поиска решения необходимо использовать модели смешанного расширения матричных игр неклассического типа, решение которых описано в [17].

Так, для игры $\bar{\Gamma}_A(HL^2_\beta)$ с функцией выигрыша $\bar{H}_{HL^2}(X, Y, \beta) = \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \eta_j a_{ij} \xi_i + (1 - \beta) \sum_{j=1}^m \eta_j \max_i a_{ij}$ и с матрицей игры A , характеризующей выигрыш первого игрока решение основано на построении следующей задачи линейного программирования:

найти $\max_z z$

в условиях ограничений :

$$\sum_{i=1}^n \left(\beta a_{ij} + (1 - \beta) \max_i a_{ij} \right) \xi_i - z \geq 0, \quad j = \overline{1, m}.$$

$$\sum_{i=1}^n \xi_i = 1, \quad \xi_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}.$$

Положим значение β равное 0,5, что соответствует условиям относительно небольшого числа реализаций игровой ситуации.

Для условий рассматриваемого примера составим систему ограничений

$$\begin{cases} 0.315 \xi_1 + 0.41 \xi_2 + 0.405 \xi_3 - z \geq 0 \\ 0.44 \xi_1 + 0.365 \xi_2 + 0.365 \xi_3 - z \geq 0 \\ 0.43 \xi_1 + 0.39 \xi_2 + 0.46 \xi_3 - z \geq 0 \end{cases}$$

$$\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1,$$

$$\xi_1 \geq 0, \xi_2 \geq 0, \xi_3 \geq 0,$$

тогда в результате решения задачи линейного программирования получим

$$\xi_1 = 0,264708; \quad \xi_2 = 0,735294; \quad \xi_3 = 0,$$

которые представляют собой оптимальную смешанную стратегию первого игрока в условиях относительно небольшого числа реализаций игровой ситуации.

Сравнение полученных решений позволяет сделать вывод о том, что при учёте малости числа реализаций игровой ситуации вероятность получения результата меньшего нижнего значения игры в единичной реализации уменьшается со значения 0,15 до значения 0,04. Таким образом,

повышается надёжность принимаемого решения за счёт применения адекватной реальным условиям модели игровой ситуации.

Таблица № 4

Результаты решения игры

β	ξ_1	ξ_2	ξ_3	η_1	η_2	η_3	z	s	$P(\omega \leq \omega_n)$
0,1	0	1	0	0	1	0	0,41	0,44	0
0,3	0,15	0,85	0	0,31	0,69	0	0,4	0,41	0,04
0,5	0,26	0,74	0	0,39	0,60	0	0,38	0,4	0,10
0,7	0,32	0,68	0	0,43	0,57	0	0,37	0,37	0,13
0,9	0,34	0,66	0	0,45	0,55	0	0,35	0,35	0,15

Заключение

Разработанная методика выбора базовой архитектуры РВС минимальной стоимости, обеспечивающей требования по вероятности выполнения поставленной задачи на основе теоретико-игровой оптимизации, позволяет увеличить надёжность, а также снизить стоимость разработки подобных вычислительных систем. Дальнейшее развитие и широкое применения рассмотренного подхода для построения аппаратно-программных комплексов решения различных вычислительно-трудоемких задач, например, задач поиска объектов [14] – [16], является актуальным и внесёт существенный вклад в повышение надёжности и снижении стоимости таких комплексов.

Литература:

1. Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. - М.: Янус-К, 2003. – 380 с.
2. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / И.А.Каляев, И.И.Левин, Е.А.Семерников, В.И.Шмойлов.- М.:ЮНЦ РАН, 2008. – 320 с.

3. ГОСТ Р 51901.15-2005 Менеджмент риска. Применение марковских методов. – М.: Стандартинформ, 2005.

4. Сорокин Д.А. Методика синтеза параллельно-конвейерных программ решения задач с существенно переменной интенсивностью потоков данных на реконфигурируемых вычислительных системах [Текст] // В сб. «Суперкомпьютерные технологии (СКТ-2012) [Текст] // Материалы 2-й Всероссийской научно-технической конференции. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 410 с». – С. 188 – 192.

5. Оуэн Г. Теория игр. – М.: Мир, 1971. – 230 с.

6. И.А. Каляев, И.И. Левин. Реконфигурируемые мультikonвейерные вычислительные системы для решения потоковых задач обработки информации и управления [Текст] // Журнал «Информационные технологии и вычислительные системы» №2 2011 г. – С.12-22

7. Сайт Научно-исследовательского центра супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://superevm.ru> (доступ свободный)

8. Кириченко Е.В., Семерников Е.А. Вычислительные системы гидроакустических комплексов на основе ПЛИС семейства Virtex [Текст] // в сб. Суперкомпьютерные технологии. Материалы 2-й Всероссийской научно-технической конференции. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – С.225 – 229.

9. Шафранюк А.В., Юхта П.В. Пути создания и требования к спецвычислителю в интересах первичной обработки сигналов в гидроакустической системе широкополосной пеленгации [Текст] // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб: Наука, 2012. – С. 162 – 164.

10. Дмитренко Н.Н., Каляев И.А., Левин И.И., Смерников Е.А. Реконфигурируемые вычислительные системы для решения вычислительно трудоёмких задач [Текст] // Научный сервис в сети Интернет: Труды

Всероссийской научной конференции (22-27 сентября 2008 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2008. – С. 265 – 270. (<http://agora.guru.ru/abrau2008/pdf/122.pdf>)

11. Строцев А.А., Сеницын С.В., Шухардин О.Н., Оганесян А.Л. Применение смешанного расширения матричных игр неклассического типа в задачах определения технического состояния сложных систем [Текст] // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2007. Т. 50. № 9. С. 42-51.

12. Строцев А.А., Сеницын С.В., Жадько А.А. Методика теоретико-игровой оптимизации алгоритма контроля сложной системы на основе модели смешанного расширения матричной игры с ограничениями [Текст] // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2008. Т. 88. № 11. С. 66-70.

13. Строцев А.А., Сеницын С.В., Кушнир М.А. Применение матричных игр к задачам оптимизации программ контроля функционирования сложных систем на стадиях испытаний и начального периода эксплуатации [Текст] // Контроль. Диагностика. 2009. № 1. С. 51-57.

14. Строцев А.А. Совместное оптимальное управление поиском и наблюдением за условно детерминированными динамическими объектами в импульсной многоканальной измерительно-поисковой системе [Текст] // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2004. Т. 47. № 9. С. 22-29.

15. Строцев А.А. Оптимизация поиска и наблюдений многоканальной импульсной радарной станции в составе многопозиционной комплексной измерительно-поисковой системы [Текст] // Автоматика и вычислительная техника. 2004. № 3. С. 12.

16. Строцев А.А., Иващенко И.Л. Синтез оптимального управления многопозиционной информационной системой при поиске группы динамических объектов [Текст] // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2005. Т. 48. № 10. С. 37-45.

17. Строцев А.А. Построение смешанного расширения матричных игр «неклассического» типа [Текст] // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 1998. № 3. С. 119 – 124.
18. Строцев А.А., Андреев А.А. Оценка нахождения реконфигурируемой вычислительной системы в состояниях эффективного функционирования [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник дона», 2012, №4 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1212> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
19. Строцев А.А., Макаров Ю.Н. Методика теоретико-игрового обоснования условия проведения конкурса [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник дона», 2012, №3 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/914> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
20. Hodges Jr.J.L., Lehmann E.L. The use of previous experience in reaching statistical Decision // Ann. Math. Statistics. – 1952. – № 23. – P. 396–407.
21. Lukas W.F. Some recent development in N-person game theory // SIAM Rev. – 1971. – v.13. – №4. – P. 491–523.
22. Robinson J. An iterative method of solving a game // Ann. of Math. – 1951. – v. 54. – № 2. – P. 296–301.