

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДАННЫХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Аннотация. Рассмотрены два метода диагностирования данных, которые представлены в системе остаточных классов (СОК). Показано, что основным недостатком этих методов, является значительное время диагностирования данных в СОК. Предложенный метод позволяет уменьшить время диагностирования ошибок данных, представленных в СОК, что повышает его оперативность. Использование метода оперативного диагностирования данных увеличивает общую эффективность, что указывает на целесообразность его применения в вычислительных системах непозиционных кодовых структур в СОК.

Ключевые слова: система остаточных классов, контроль данных, оперативность диагностирования данных, непозиционная кодовая структура, альтернативная совокупность числа.

ВВЕДЕНИЕ

В общем случае под диагностированием данных в системе остаточных классов (СОК) будем понимать процесс определения искаженных остатков в избыточной непозиционной кодовой структуре (НКС) вида $A_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || a_i || a_{i+1} || \dots || a_n || \dots || a_{n+k})$, где n и k — количество соответственно информационных и контрольных оснований m_i ($i = 1, n+k$) в упорядоченной ($m_i < m_{i+1}$) СОК. Диагностирование НКС проводится после контроля данных для последующей возможной коррекции ошибок.

Для осуществления контроля, диагностирования и коррекции ошибок в НКС необходимо ввести определенную информационную избыточность. Степень R информационной избыточности, которая обуславливает корректирующие способности кода, оценивается величиной $d_{\min}^{(\text{СОК})}$ минимального кодового расстояния (МКР). В СОК значение МКР определяется соотношением $d_{\min}^{(\text{СОК})} = k + 1$ [1]. При одном контрольном основании значение МКР $d_{\min}^{(\text{СОК})} = 2$. В соответствии с теорией кодирования при МКР $d_{\min}^{(\text{СОК})} = 2$ в кодовой структуре достоверно определяется факт искажения только одного из остатков (однократная ошибка) кодового слова в СОК. Для исправления (коррекции), например, однократной ошибки необходимо обеспечить условие, когда $d_{\min}^{(\text{СОК})} = 3$.

Как отмечается в [2–5], в силу влияния свойств СОК на процесс обработки данных в некоторых случаях имеется возможность проводить коррекцию однократных (в одном остатке НКС) ошибок данных при введении минимальной ($k = 1$) информационной кодовой избыточности. Одним из случаев коррекции, обусловленной таким свойством СОК, как независимость остатков НКС, есть коррекция ошибок только конечного результата вычисления [1, 2]. Типичным примером этого является возможность реализации процедуры коррекции ошибок данных при наличии одного контрольного основания без останова процесса промежуточных вычислений (в динамике вычислительного процесса (ДВП)). Для реализации такой процедуры необходимо проведение диагностирования промежуточных результатов вычислений с использованием понятия альтернативной совокупности (АС) числа в СОК [1].

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДАННЫХ В СОК
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СОВОКУПНОСТИ ЧИСЕЛ

Под понятием АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || \dots || a_{n+k})$ в СОК будем понимать совокупность $\{m_{l_\kappa}\}$ ($\kappa = \overline{1, \rho}$) из ρ оснований, по которым правильная (неискаженная) НКС $A_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || a_i || a_{i+1} || \dots || a_n || \dots || a_{n+k})$ может только в одном из остатков отличаться от совокупности возможных неправильных чисел. Отметим, что предполагается возникновение только однократной ошибки (только в одном остатке a_i , $i = \overline{1, n+1}$). В этом случае искаженная НКС в СОК представится в виде $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$.

Если в процессе решения задачи в ДВП в качестве промежуточных результатов вычислений получим совокупность значений чисел A_j ($j = \overline{1, n+1}$)

в СОК, то под условной альтернативной совокупностью (УАС) $\bar{W}(\tilde{A}) = W(\tilde{A}_1) \wedge W(\tilde{A}_2) \wedge \dots \wedge W(\tilde{A}_j)$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ будем понимать совокупность оснований, по которым возможны ошибки вычислений, с учетом характера АС предшествующих неправильных результатов вычислений в ходе решения задачи. Или другими словами, под УАС понимается совокупность оснований СОК, общая для каждой АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$. Последовательное вычисление УАС позволяет уменьшить количество оснований, по которым возможны ошибки. В [1] утверждается, что при достаточной длине цепи вычислений существует такое значение ρ , при котором выполняется условие $\bar{W}(\tilde{A}_j) = \{m_i\}$, где m_i — конкретное основание

СОК, по которому имеет место ошибка в остатке \tilde{a}_i неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$. Далее при необходимости проводится коррекция (исправление) остатка \tilde{a}_i числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ по модулю m_i известными в СОК методами. Исходя из изложенного, суть диагностирования данных в СОК состоит в нахождении АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || \dots || a_{n+k})$.

Таким образом, при диагностировании промежуточных результатов вычислений существует необходимость в их частом диагностировании, т.е. в частом определении АС чисел. Основное требование к процессу контроля данных — высокое быстродействие реализации процедуры диагностирования, в случае диагностирования в СОК — это высокая оперативность диагностирования, т.е. высокое быстродействие определения АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ чисел в СОК.

Рассмотрим два основных метода диагностирования данных, представленных в СОК [1, 2].

Первый метод диагностирования. Альтернативную совокупность $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ можно определить последовательной проверкой каждого основания m_i ($i = 1, n$) СОК следующим образом. Определяется совокупность чисел, имеющих одинаковое значение остатков по всем основаниям СОК, что и число \tilde{A} , кроме одного определенного основания, и отличающихся лишь значениями возможных остатков по этому основанию. Среди этой совокупности чисел либо может не существовать ни одного правильного числа, либо может быть только одно правильное число. В последнем случае полученное число входит в АС проверяемого неправильного числа \tilde{A} . Рассматриваемый метод предполагает последовательное проведение аналогичных проверок для каждого информационного основания СОК (контрольное основание всегда входит в совокупность оснований АС). Результат таких последовательных проверок полностью и достоверно определяет АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$. Недостаток рассмотренного метода — низкая оперативность определения АС. Это обусловлено значительным временем последовательного проведения диагностирования данных в СОК.

Второй метод диагностирования. С помощью данного метода также можно определить АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$. При этом процедура диагностирования НКС проводится на одновременном параллельном вычислении всех возможных проекций $\tilde{A}_i \text{СОК} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ и последующем их сравнении со значением величины $M = \prod_{i=1}^n m_i$ информационного числового интервала (промежутка) $0 \div M - 1$ для заданной СОК. В [1] доказано, что необходимым и достаточным условием вхождения оснований СОК в АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ является правильность $(\tilde{A}_i \text{СОК} < M)$ его проекции $\tilde{A}_i \text{СОК} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$.

Распараллеливание процедуры вычисления всех возможных проекций $\tilde{A}_i \text{СОК} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ повышает оперативность определения АС.

Рассмотрим пример диагностирования данных на основе использования второго метода. Пусть необходимо определить АС числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0 || 0 || 0 || 0 || 5)$, заданного в СОК информационными $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7$ и контрольным $m_k = m_5 = 11$ основаниями, при этом $M = \prod_{i=1}^n m_i = \prod_{i=1}^4 m_i = 420$ и $M_0 = M \cdot m_{n+1} = 420 \cdot 11 = 4620$. Ортогональные базисы B_i ($i = 1, n+1$) СОК следующие:

$$\begin{aligned} B_1 &= (1 || 0 || 0 || 0 || 0) = 1540, \quad \bar{m}_1 = 1; & B_2 &= (0 || 1 || 0 || 0 || 0) = 3465, \quad \bar{m}_2 = 3; \\ B_3 &= (0 || 0 || 1 || 0 || 0) = 3696, \quad \bar{m}_3 = 4; & B_4 &= (0 || 0 || 0 || 1 || 0) = 2640, \quad \bar{m}_4 = 4; \\ B_5 &= (0 || 0 || 0 || 0 || 1) = 2520, \quad \bar{m}_5 = 6. \end{aligned}$$

Предварительно проведем контроль числа $A_{\text{СОК}} = (0||0||0||0||5)$. В соответствии с процедурой контроля [1, 4] определим значение исходного числа в позиционной десятичной системе счисления (ПСС)

$$\begin{aligned} A_{\text{ПСС}} &= \left(\sum_{i=1}^{n+1} a_i \cdot B_i \right) \bmod M_0 = \left(\sum_{i=1}^5 a_i \cdot B_i \right) \bmod M_0 = \\ &= (a_1 \cdot B_1 + a_2 \cdot B_2 + a_3 \cdot B_3 + a_4 \cdot B_4 + a_5 \cdot B_5) \bmod M_0 = \\ &= (0 \cdot 1540 + 0 \cdot 3465 + 0 \cdot 3696 + 0 \cdot 2640 + 5 \cdot 2520) \bmod 4620 = \\ &= (5 \cdot 2520) \bmod 4620 = 12600 \bmod 4620 = 3360 > 420. \end{aligned}$$

Таким образом, в процессе контроля определено, что $A_{\text{ПСС}} = 3360 > M = 420$. В этом случае при предположении возникновения только однократных ошибок делается вывод о том, что рассматриваемое число $\tilde{A}_{3360} = (0||0||0||0||5)$ неправильное, т.е. искажен один из остатков числа. Далее определим АС числа $\tilde{A}_{3360} = (0||0||0||0||5)$. В соответствии со вторым методом диагностирования данных определим АС, составив возможные проекции \tilde{A}_j ($j = \overline{1,5}$) числа $\tilde{A}_{3360} = (0||0||0||0||5)$: $\tilde{A}_1 = (0||0||0||0||5)$, $\tilde{A}_2 = (0||0||0||5)$, $\tilde{A}_3 = (0||0||0||5)$, $\tilde{A}_4 = (0||0||0||5)$ и $\tilde{A}_5 = (0||0||0||0)$.

Формула для вычисления значений $\tilde{A}_{j\text{ПСС}}$ проекций числа в ПСС имеет вид [1]

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{j\text{ПСС}} &= \left(\sum_{\substack{i=1; \\ j=1, n+1}}^n a_i \cdot B_{ij} \right) \bmod M_j = \\ &= (a_1 \cdot B_{1j} + a_2 \cdot B_{2j} + \dots + a_n \cdot B_{nj}) \bmod M_j. \end{aligned} \quad (1)$$

В соответствии с формулой (1) вычислим все значения $A_{j\text{ПСС}}$. Далее проведем $(n+1)$ -е сравнение чисел $\tilde{A}_{j\text{ПСС}}$ и числа $M = M_0 / m_{n+1}$, где $M_0 = \prod_{i=1}^{n+1} m_i$.

Если среди проекций $\tilde{A}_{i\text{ПСС}}$ есть числа, не находящиеся внутри информационного $[0, M)$ числового интервала (т.е. $\tilde{A}_{k\text{ПСС}} \geq M$), содержащего k правильных чисел, значит, эти k остатков числа $\tilde{A}_{\text{СОК}}$ не искажены. Ошибочными могут являться только остатки, находящиеся среди остальных $[(n+1) - k]$ остатков числа $\tilde{A}_{\text{СОК}}$. Набор рассчитанных в [4] частных рабочих оснований и частных B_{ij} ортогональных базисов СОК представлены соответственно в табл. 1 и 2. В этом случае имеем, что

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{1\text{ПСС}} &= \left(\sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i1} \right) \bmod M_1 = (a_1 \cdot B_{11} + a_2 \cdot B_{21} + a_3 \cdot B_{31} + a_4 \cdot B_{41}) \bmod M_1 = \\ &= (0 \cdot 385 + 0 \cdot 616 + 0 \cdot 1100 + 5 \cdot 980) \bmod 1540 = 280 < 420. \end{aligned}$$

Делаем вывод, что \bar{a}_1 — возможно искаженный остаток и

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{2\text{ПСС}} &= \left(\sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i2} \right) \bmod M_2 = \\ &= (a_1 \cdot B_{12} + a_2 \cdot B_{22} + a_3 \cdot B_{32} + a_4 \cdot B_{42}) \bmod M_2 = \\ &= (0 \cdot 385 + 0 \cdot 231 + 0 \cdot 330 + 5 \cdot 210) \bmod 1155 = 1050 > 420. \end{aligned}$$

Таблица 1. Набор частных рабочих оснований СОК

Номер проекции числа в СОК	Номер основания заданной СОК				
	m_1	m_2	m_3	m_4	M_j
1	4	5	7	11	1540
2	3	5	7	11	1155
3	3	4	7	11	924
4	3	4	5	11	660
5	3	4	5	7	420

Таблица 2. Частные ортогональные базисы B_{ij} СОК

Номер проекции числа в СОК	Номер основания заданной СОК			
	1	2	3	4
1	385	616	1100	980
2	385	231	330	210
3	616	693	792	672
4	220	165	396	540
5	280	105	336	120

Таким образом, получаем, что a_2 — достоверно неискаженный остаток и

$$\tilde{A}_3 \text{ ПСС} = \left(\sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i3} \right) \text{mod } M_3 = (a_1 \cdot B_{13} + a_2 \cdot B_{23} + a_3 \cdot B_{33} +$$

$$+ a_4 \cdot B_{43}) \text{mod } M_3 = (0 \cdot 616 + 0 \cdot 693 + 0 \cdot 792 + 5 \cdot 672) \text{mod } 924 = 588 > 420.$$

Получаем, что a_3 — достоверно неискаженный остаток и

$$\tilde{A}_4 \text{ ПСС} = \left(\sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i4} \right) \text{mod } M_4 = (a_1 \cdot B_{14} + a_2 \cdot B_{24} + a_3 \cdot B_{34} +$$

$$+ a_4 \cdot B_{44}) \text{mod } M_4 = (0 \cdot 220 + 0 \cdot 165 + 0 \cdot 369 + 5 \cdot 540) \text{mod } 660 = 60 < 420.$$

Таким образом, \bar{a}_4 — возможно искаженный остаток и

$$\tilde{A}_5 \text{ ПСС} = \left(\sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i5} \right) \text{mod } M_5.$$

Поскольку $M_5 = M = 420$, остаток \bar{a}_5 по модулю $m_k = m_5$ всегда будет в совокупности возможно искаженных остатков числа в СОК.

Таким образом, для числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0||0||0||0||5)$ определены достоверно неискаженные остатки $a_2 = 0$ и $a_3 = 0$. Ошибочными могут являться остатки по основаниям m_1, m_4 и m_5 , т.е. остатки $a_1 = 0, a_4 = 0$ и $a_5 = 5$. В этом случае для числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0||0||0||0||5)$ АС будет равна совокупности оснований СОК $W(\tilde{A}) = \{m_1, m_4, m_5\}$.

Применение второго метода диагностирования данных позволяет несколько ускорить процесс определения АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1||a_2||\dots||a_{i-1}||\tilde{a}_i||a_{i+1}||\dots||a_n||a_{n+1})$ за счет возможности параллельно во времени определять значения проекций \tilde{A}_j неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1||a_2||\dots||a_{i-1}||\tilde{a}_i||a_{i+1}||\dots||a_n||a_{n+1})$. Однако отметим, что для второго метода процедура определения АС числа содержит такие основные операции: перевод числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1||a_2||\dots||a_{i-1}||\tilde{a}_i||a_{i+1}||\dots||a_n||a_{n+1})$ из СОК в ПСС, перевод проекций $\tilde{A}_i \text{ СОК} = (a_1||a_2||\dots||a_{i-1}||a_{i+1}||\dots||a_n||a_{n+1})$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}}$ из СОК в ПСС и сравнение их чисел с величиной M . В СОК перечислен-

ные операции относятся к непозиционным, требующим значительных временных и аппаратных затрат на реализацию. Техническая реализация процедуры контроля рассмотрена в [6–9].

Недостатки второго и первого методов диагностирования данных аналогичны: значительное время определения АС. Таким образом, не решена важная и актуальная задача повышения оперативности диагностирования данных в СОК.

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДАННЫХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В СОК

Отметим, что для всех существующих методов диагностирования данных в СОК АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ определяется во всем интервале $[jM, (j+1)M)$ числовой оси $0 \div M_0$, в котором содержится исходное число $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$. В этом случае АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ будет идентичной каждому из чисел $\tilde{A}_l \in [jM, (j+1)M)$, находящихся в этом интервале. Таким образом, при определении АС $W(\tilde{A})$ числа \tilde{A} учитывается только местоположение интервала $[jM, (j+1)M)$ на числовой оси $0 \div M_0$, в котором лежит число \tilde{A} , и не учитывается местоположение числа \tilde{A} внутри интервала $[jM, (j+1)M)$. Это приводит к тому, что АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ может содержать избыточное количество оснований. Последнее обуславливает необходимость привлечения и использования дополнительных временных и аппаратных ресурсов для реализации необходимых этапов определения УАС. Данное обстоятельство в первую очередь обуславливает значительное время диагностирования данных в СОК. Таким образом, для повышения оперативности диагностирования данных, представленных в СОК, необходимо избавиться от части содержащихся в АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ избыточных оснований.

Суть предлагаемого метода повышения оперативности диагностирования данных в СОК заключается в том, что АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ определяется не во всем интервале $[jM, (j+1)M)$, содержащем неправильное число $\tilde{A}_{\text{СОК}}$, а только в меньшем по величине числовом интервале $\Delta A^{(H)} = (\tilde{A} - \tilde{A}^{(H)}) < M$, где $A_{\text{СОК}}^{(H)} = (0 || 0 || \dots || 0 || \gamma_{n+1})$ — нулевизированное число в СОК. Процедура нулевизации чисел в СОК состоит в переходе от исходного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ к числу $A^{(H)} = (0 || 0 || \dots || 0 || \gamma_{n+1})$ с помощью такой последовательности преобразований, при которой не происходит выход промежуточного числа за рабочий $0 \div M - 1$ диапазон. Процедура нулевизации реализуется посредством различных методов [1]. Суть всех методов нулевизации заключается в последовательном вычитании из исходного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || \dots || a_{n+k})$ некоторых минимальных чисел $KH^{(i)}$, называемых константами нулевизации (КН), таких, что число $\tilde{A}_{\text{СОК}}$ преобразуется в число вида $A^{(H)} = (0 || 0 || \dots || 0 || \gamma_{n+1})$ без выхода значения числа $\tilde{A}_{\text{СОК}}$ за числовой диапазон $[0, M)$. Геометрически операция нулевизации соот-

ветствует смещению исходного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ на левый край $j \cdot M$ числового интервала $[jM, (j+1)M)$ его нахождения. Таким образом, для устранения избыточности АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ за счет сокращения длины интервала нахождения числа $\tilde{A}_{\text{СОК}}$ предлагается определить значения $A^{(H)} = (0 || 0 || \dots || 0 || \gamma_{n+1})$ и $\Delta A^{(H)} = (\tilde{A} - \tilde{A}^{(H)})$. В соответствии с распределением ошибок по интервалам рабочего диапазона $[0, M)$ [1] предварительно для каждого интервала $[jM, (j+1)M)$ составляются двуходовые таблицы соответствий $\overline{W}(\tilde{A}) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$. В этом случае АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ определяется не во всем интервале $[jM, (j+1)M)$, содержащем неправильное число \tilde{A} , а только в числовом интервале $\Delta A^{(H)}$.

Рассмотрим метод оперативного диагностирования данных, представленных в СОК.

1. Составляется двуходовая (двукоординатная) таблица $\overline{W}(\tilde{A}) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$ содержимого значений АС. Каждой паре значений: γ_{n+1} и $\Delta A^{(H)}$, соответствует определенная совокупность оснований АС.

2. Посредством совокупности КН⁽ⁱ⁾ исходное неправильное число $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ преобразуется (нулевизируется) в число вида $A^{(H)} = (0 || 0 || \dots || 0 || \gamma_{n+1})$. Получаем значение γ_{n+1} первой координаты таблицы $\overline{W}(\tilde{A}) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$.

3. Определяется разность $\Delta A^{(H)} = \tilde{A} - \tilde{A}^{(H)}$. В этом случае получаем значение $\Delta A^{(H)}$ второй координаты таблицы соответствий $\overline{W}(\tilde{A}) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$.

4. По полученным значениям двух координат: $\Delta A^{(H)}$ и γ_{n+1} , используя двуходовую таблицу соответствий $\overline{W}(\tilde{A}) = \Phi(\gamma_{n+1}, \Delta A^{(H)})$, определяем конкретное значение АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ неправильного числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (a_1 || a_2 || \dots || a_{i-1} || \tilde{a}_i || a_{i+1} || \dots || a_n || a_{n+1})$ в СОК.

Приведем пример диагностирования НКС $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0 || 1 || 2)$ предложенным в данной статье методом оперативного диагностирования данных при использовании результата операции определения АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_\rho}\}$ исходного числа. Рассматриваемая СОК представлена основаниями $m_1 = 2, m_2 = 3, m_3 = m_{n+1} = 5; M = 2 \cdot 3 = 6; M_0 = 2 \cdot 3 \cdot 5 = 30$. В табл. 3 приведены кодовые слова в ППС и СОК. В табл. 4, 5 представлены значения КН, использование которых позволяет привести исходное число $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0 || 1 || 2)$ к числу вида $\tilde{A}^{(H)} = (0 || 0 || \gamma_{n+1})$. В табл. 6 приведен полный перечень значений АС $W(\tilde{A})$ чисел \tilde{A} для данной СОК, здесь Z_i ($i = \overline{1, 4}$) обозначены номера входов таблицы значений АС $W(\tilde{A})$.

Альтернативная совокупность $\overline{W}(\tilde{A})$ числа $\tilde{A}_{\text{СОК}} = (0 || 1 || 2)$ определяется следующим образом. Разность $\Delta A^{(H)} = (\tilde{A} - \tilde{A}^{(H)}) = (0 || 1 || 4)$ в десятичном коде равна четырем (см. табл. 3), где $\tilde{A}^{(H)} = (0 || 0 || 3)$. По полученным значениям

$\Delta A^{(H)} = 4$ и $\gamma_{n+1} = 3$ (см. табл. 6) определим АС $\overline{W}(\tilde{A}) = \{m_2, m_3\}$. Поскольку для данной СОК максимальное значение АС $W(\tilde{A}) = \{m_1, m_2, m_3\}$, очевидно следующее неравенство $W(\tilde{A}) > \overline{W}(\tilde{A})$.

Таким образом, количество оснований в АС $\overline{W}(\tilde{A}) = \{m_2, m_3\}$ по сравнению с максимально возможным уменьшается приблизительно на 30%. Данное обстоятельство позволяет сократить количество проверок оснований СОК для определения искаженного остатка в числе $\tilde{A}_{СОК} = (0||1||2)$, что снижает время диагностирования НКС и повышает оперативность диагностирования данных в СОК. Техническая реализация процедуры диагностирования представлена в [10].

Таблица 3. Кодовые слова в СОК и ПСС

Число A в ПСС	Число A в СОК			Число A в ПСС	Число A в СОК		
	$m_1 = 2$	$m_2 = 3$	$m_3 = 5$		$m_1 = 2$	$m_2 = 3$	$m_3 = 5$
0	0	0	0	15	1	0	0
1	1	1	1	16	0	1	1
2	0	2	2	17	1	2	2
3	1	0	3	18	0	0	3
4	0	1	4	19	1	1	4
5	1	2	0	20	0	2	0
6	0	0	1	21	1	0	1
7	1	1	2	22	0	1	2
8	0	2	3	23	1	2	3
9	1	0	4	24	0	0	4
10	0	1	0	25	1	1	0
11	1	2	1	26	0	2	1
12	0	0	2	27	1	0	2
13	1	1	3	28	0	1	3
14	0	2	4	29	1	2	4

Таблица 4. Константы нулевизации в СОК по ее первому основанию

a_1	КН
0	(0 0 0)
1	(1 1 1)

Таблица 5. Константы нулевизации в СОК по ее второму основанию

a_2	КН
0	(0 0 0)
1	(0 1 4)
2	(0 2 2)

Таблица 6. Значения АС $W(\tilde{A})$

Числовой интервал изменения величины ΔA		Значение остатка числа по контрольному основанию (γ_{n+1})			
		Входы Z_1		Входы Z_2	
		1	2	3	4
Входы Z_3	0	m_3	m_2, m_3	m_1, m_3	m_2, m_3
	1	m_3	m_2, m_3	m_1, m_3	m_2, m_3
	2	m_3	m_2, m_3	m_1, m_2, m_3	m_3
Входы Z_4	3	m_3	m_1, m_2, m_3	m_2, m_3	m_3
	4	m_2, m_3	m_1, m_3	m_2, m_3	m_3
	5	m_2, m_3	m_1, m_3	m_2, m_3	m_3

Приведем конкретные оценки сложностей временной и обусловленной количеством оборудования (памяти) рассмотренных методов диагностирования данных в СОК. Оперативность диагностирования данных является важной характеристикой для предложенного в настоящей статье метода оперативного диагностирования данных. В связи с этим основное внимание уделим оценке временной сложности процесса диагностирования данных в СОК.

В СОК существует возможность оценивать временную сложность метода оперативного диагностирования данных. По сравнению с описанными ранее известными методами формула для оценки повышения (в процентах) оперативности (ОПО) стягивания АС чисел в СОК к одному ошибочному основанию имеет вид

$$\text{ОПО} = \frac{1-1/M}{n+1} \cdot 100\%.$$

Приведем примеры конкретной оценки временной сложности для различных СОК.

Для СОК с информационными основаниями $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7$ и контрольным $m_{n+1} = m_5 = 11$, а также с величиной $M = \prod_{i=1}^4 m_i = 420$ и $n = 4$ име-

ем, что $\text{ОПО} = \frac{1-1/420}{5} \cdot 100\% \approx 20\%$.

Для СОК с информационными основаниями $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11$ и контрольным $m_{n+1} = m_6 = 13$, а также с величиной $M = \prod_{i=1}^5 m_i = 4620$ и

$n = 5$ имеем, что $\text{ОПО} = \frac{1-1/4620}{6} \cdot 100\% \approx 15\%$.

Проведем оценку сложности оборудования (второстепенной характеристики) для реализации методов диагностирования данных в СОК. Для всех методов диагностирования необходимо иметь приблизительно одинаковый объем памяти для хранения КН. Известные методы диагностирования требуют значительного дополнительного количества оборудования для реализации непозиционных операций преобразования чисел из СОК в ПСС и обратно. Кроме этого, требуется дополнительное количество оборудования для реализации непозиционной операции сравнения чисел в СОК.

Для предлагаемого метода оперативного диагностирования необходимо дополнительное оборудование для реализации одной позиционной операции вычитания вида $\tilde{A} - \tilde{A}^{(n)}$ и требуется ОЗУ для однократной выборки значения АС, размерностью $(m_{n+1} - 1) \cdot M$.

Определим количество элементов памяти в узлах ОЗУ (объем ОЗУ) для рассматриваемых СОК. Для первой СОК количество элементов памяти равно $(m_{n+1} - 1) \cdot M = 10 \cdot 420 = 4200$ (элементов), для второй СОК — $(m_{n+1} - 1) \cdot M = 12 \cdot 4620 = 55440$ (элементов). Данное количество элементов памяти вполне приемлемо при существующей элементной базе (СБИС, ПЛИС и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье разработан метод оперативного диагностирования ошибок данных, представленных в СОК. Суть предложенного метода диагностирования состоит в сокращении количества оснований СОК, по которым возможна ошибка. Это приведет к сокращению количества этапов определения УАС, что позволит уменьшить время стягивания АС $W(\tilde{A}) = \{m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_p}\}$ к одному оши-

бочному основанию. Время диагностирования данных по сравнению с известными методами уменьшается, во-первых, за счет исключения из известных методов диагностирования процедуры перевода чисел из СОК в ПСС и операции позиционного сравнения чисел; во-вторых, за счет сокращения количества оснований СОК, по которым возможна ошибка; в-третьих, за счет использования табличной выборки значения АС чисел в СОК за один такт. Предложенный метод позволяет уменьшить время диагностирования ошибок данных, представленных в СОК, что повышает его оперативность. Использование предложенного метода оперативного диагностирования данных повышает общую эффективность, что подтверждает целесообразность его применения в вычислительных системах непозиционных кодовых структур СОК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акушкин И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. Москва: Сов. радио, 1968. 440 с.
2. Торгашов В.А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ. Москва: Сов. радио, 1973. 118 с.
3. Мороз С.А., Краснобаев В.А. Методы контроля, диагностики и коррекции ошибок данных в информационно-телекоммуникационной системе, функционирующей в классе вычетов. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. № 2. С. 60–78.
4. Краснобаев В.А., Кошман С.А., Маврина М.А. Метод исправления однократных ошибок данных, представленных кодом класса вычетов. *Електронне моделювання*. 2013. Т. 35, № 5. С. 43–56.
5. Краснобаев В.А., Кошман С.А., Маврина М.А. Метод повышения достоверности контроля данных, представленных в системе остаточных классов. *Кибернетика и системный анализ*. 2014. Т. 50, № 6. С. 167–175.
6. Пристрій для контролю даних комп'ютерних пристроїв телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків ДП на корисну модель: пат. 79673 Україна: МПК G06F11/08. № у 2012 13145; заявл. 19.11.2012; Краснобаев В.А., Маврина М.О., Кошман С.О., Тиртишніков О.І., Бульба Є.М.; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8. 7 с.
7. Пристрій для контролю та корекції помилок даних комп'ютерних пристроїв комутаційно-комунікаційного вузла телекомунікаційної мережі, що функціонують у класі лишків: пат. 105436, Україна: МПК G06F11/08 (2006.01); № а 2013 00476; заявл. 14.01.2013; Краснобаев В.А., Маврина М.О., Кошман С.О., Тиртишніков О.І., Слюсарь І.І.; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. 12 с.
8. Пристрій для контролю даних комп'ютерних пристроїв телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків: пат. № 105455, Україна: МПК G06F11/08 (2006.01); № а 2013 07289; заявл. 10.06.2013; Краснобаев В.А., Маврина М.О., Кошман С.О., Тиртишніков О.І., Орищенко С.А.; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. 10 с.
9. Пристрій для контролю помилок даних у комп'ютерних пристроях комутаційно-комунікаційного вузла інформаційно-телекомунікаційної системи, що функціонують у класі лишків: пат. № 105742, Україна: МПК G06F11/08 (2006.01); № а 2013 08773; заявл. 12.07.2013; Краснобаев В.А., Маврина М.О., Кошман С.О., Тиртишніков О.І., Курчанов В.М.; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. 8 с.
10. Пристрій для контролю та діагностики даних, що представлені у системі залишкових класів: пат. № 112731, Україна: МПК G06F11/08 (2006.01); № а 2015 10904; заявл. 09.11.2015; Власенко А.М., Краснобаев В.А., Янко А.С., Кошман С.О., Рассомахин С.Г., Лавровська Т.В.; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19. 12 с.

Надійшла до редакції 03.04.2017

В.А. Краснобаев, С.О. Кошман

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДАНИХ, ЩО ПРЕДСТАВЛЕНІ У СИСТЕМІ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Анотація. Розглянуто два методи діагностування даних, які представлені у системі залишкових класів (СЗК). Показано, що основним недоліком даних методів, є значний час діагностування даних у СЗК. Запропонований метод дозволяє зменшити час діагностики помилок даних, представлених у СЗК, що підвищує його оперативність. Використання методу оперативного діагностування даних збільшує загальну ефективність, що доводить доцільність його застосування в обчислювальних системах непозиційних кодових структур у СЗК.

Ключевые слова: система залишкових класів, контроль даних, оперативність діагностування даних, непозиційних кодова структура, альтернативна сукупність числа.

V.A. Krasnobayev, S.A. Koshman

THE METHOD OF OPERATIONAL DATA DIAGNOSING REPRESENTED IN THE RESIDUE NUMBER SYSTEM

Abstract. Two main methods for data diagnosis, which are presented in the residue number system (RNS) are considered in the paper. It is shown that the main problem of these methods is the considerable time of data diagnosis in RNS. The proposed method makes it possible to reduce the errors diagnosis time for the data presented in the RNS, which increases the efficiency of the diagnosis. The use of the proposed method of operational data diagnosis increases the overall effectiveness and expediency of its application in computer systems of non-position code structures in RNS.

Keywords: residue number system, data control, speed of data diagnostics, position-independent code structure, alternative aggregate of the number.

Краснобаев Виктор Анатольевич,

доктор техн. наук, профессор кафедры Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, e-mail: krasnobayev_va@rambler.ru.

Кошман Сергей Александрович,

кандидат техн. наук, доцент кафедры Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко, e-mail: s_koshman@ukr.net.