

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038389**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.20

(51) Int. Cl. **G06F 7/02 (2006.01)**
G06F 7/72 (2006.01)

(21) Номер заявки
202090736

(22) Дата подачи заявки
2020.04.14

(54) **УСТРОЙСТВО СРАВНЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАКА ЧИСЕЛ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ
В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ**

(43) **2021.08.19**

(96) **2020000040 (RU) 2020.04.14**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "СЕВЕРО-
КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

(56) **RU-C2-2503992
RU-C1-2557444
WO-A1-2013176852
US-B1-10387122
US-A1-20080155004**

(72) Изобретатель:
**Дерябин Максим Анатольевич,
Бабенко Михаил Григорьевич,
Кучуков Виктор Андреевич, Назаров
Антон Сергеевич, Кучеров Николай
Николаевич (RU)**

(74) Представитель:
Лиховид А.А. (RU)

(57) Изобретение относится к вычислительной технике и предназначено для вычисления позиционной характеристики и ранга числа с последующим сравнением чисел и определением знака числа, представленного в системе остаточных классов. Техническим результатом заявляемого изобретения является расширение функциональных возможностей, а именно сравнение чисел, представленных в системе остаточных классов, определение знака и ранга числа. Устройство содержит входы первого и второго числа, вход знака, регистры хранения, блоки умножения, сумматоры, блоки определения знака по первому и второму числу, решающий блок, а также выходы рангов, знаков чисел, а также результата сравнения.

038389
B1

038389
B1

Изобретение относится к вычислительной технике и предназначено для вычисления позиционной характеристики и ранга числа с последующим сравнением чисел и определением знака числа, представленного в системе остаточных классов.

Известно устройство для сравнения чисел в системе остаточных классов (патент RU 2698413, опубл. 26.08.2019), использующее целочисленные интервалы, при этом не требующее выполнения медленных циклов вычислений в формате с плавающей точкой. Для этого в устройство включены следующие специфические блоки: блоки параллельного модулярного умножения на константу, многоходовые (параллельные) двоичные сумматоры, двухходовые двоичные сумматоры, блок поразрядного сравнения модулярных чисел, блоки проверки правильности целочисленных интервальных характеристик и блоки сравнения целочисленных интервальных характеристик.

Известно устройство для сравнения чисел в системе остаточных классов на основе интервально-позиционных характеристик (патент RU 2557444, опубл. 20.07.2015), также основанное на интервально-позиционной характеристике. Устройство содержит группы входных регистров для хранения сравниваемых модулярных чисел, блоки вычисления интервально-позиционной характеристики, блок поразрядного сравнения модулярных чисел, блоки проверки правильности интервально-позиционных характеристик, блок сравнения интервально-позиционных характеристик, двухходовой двоичный дешифратор.

Недостатком данных устройств являются многоступенчатый алгоритм сравнения, недостижимость результата в ряде случаев и ограниченные функциональные возможности, в частности невозможность работы с отрицательными числами.

Наиболее близким к заявленному изобретению является устройство для сравнения чисел, представленных в системе остаточных классов (патент RU 2503992, опубл. 10.01.2014), выбранное в качестве прототипа. Данное устройство содержит входные регистры для хранения чисел, которые поступают по шинам данных, схемы определения знаков первого и второго числа, схемы сдвига полярности первого и второго числа, просмотрные таблицы для умножения на константу для первого и второго числа, сумматор, логический элемент "исключающее ИЛИ", схему анализа знака с соответствующими выходами.

Недостатком данного патента являются ограниченные функциональные возможности, такие как отсутствие возможности вывода знака числа и его ранга, а также низкая точность, связанная с представлением чисел в формате с плавающей точкой, а именно с ошибками округления.

Техническим результатом заявляемого изобретения является расширение функциональных возможностей, а именно сравнение чисел, представленных в системе остаточных классов, определение знака и ранга числа.

Данный технический результат достигается тем, что в устройство для сравнения чисел, представленных в системе остаточных классов (СОК), содержащее входы первого и второго чисел, представленных в виде остатков от деления чисел на модули СОК p_1, p_2, \dots, p_n , регистры хранения первого и второго числа, блок умножения первого числа, блок умножения второго числа, сумматор первого числа, блоки определения знака первого и второго числа, сумматор первого числа, решающий блок, выходы "первое число меньше второго", "первое и второе числа равны", "первое число больше второго", в котором входы первого и второго числа подключены к соответствующим входам регистра хранения первого и второго числа, выходы которых подключены к соответствующим входам блоков умножения первого и второго числа, выходы блока умножения первого числа подключены ко входам сумматора первого числа, первый выход которого подключен к первому входу решающего блока, первый-третий выходы которого являются выходом "первое число меньше второго", выходом "первое и второе числа равны" и выходом "первое число больше второго" соответственно, введен вход знака, сумматор второго числа, входы остатков по первому модулю входов первого и второго числа подключены соответственно к пятому и шестому входам решающего блока, вход знака подключен к первым входам блоков определения знака первого и второго чисел, выходы блока умножения второго числа подключены к сумматору второго числа, первый выход сумматора первого числа дополнительно подключен ко второму входу блока определения знака первого числа, второй выход сумматора первого числа является выходом ранга первого числа, первый выход сумматора второго числа подключен ко второму входу блока определения знака второго числа и четвертому входу решающего блока, второй выход сумматора второго числа является выходом ранга второго числа, выходы блоков определения знака первого и второго чисел подключены соответственно ко второму и третьему входам решающего блока и одновременно являются выходами знака первого и второго числа, при этом на входы первого и второго чисел подаются остатки от деления этих чисел на модули p_1, p_2, \dots, p_n , где n - количество модулей СОК, в блоках умножения первого и второго числа происходит умножение каждого из остатков СОК на соответствующее значение функции ядра от ортогональных базисов

$$\text{СОК } C(B_i) = \frac{B_i \cdot C_P}{P} - \frac{w_i}{p_i},$$

где

$$B_i = P_i \cdot |P_i^{-1}|_{p_i}, \quad P_i = P/p_i, \quad |P_i^{-1}|_{p_i} - \text{мультипликативная инверсия,}$$

$P = \prod_{i=1}^n p_i$ - рабочий диапазон СОК,

при этом функция ядра $C(X) = \left| \sum_{i=1}^n C(B_i) \cdot x_i \right|_{C_P}$ подбирается из условия монотонности и от-

сутствия критических ядер, где $C_P = 2^N$ - максимальный диапазон функции ядра, а веса w_i характеризуют конкретную функцию ядра, на первые выходы сумматоров первого и второго чисел подаются младшие N бит сумм произведений остатков и функции ядра от ортогональных базисов СОК, оставшиеся биты данных сумм подаются на соответствующие выходы ранга первого и второго чисел, блоки определения знака первого и второго чисел в случае поступления сигнала с входа знака сравнивают значения со вторых входов со значением функции ядра от середины диапазона СОК, а решающий блок на основании сравнения значений функции ядра первого и второго чисел, а также сравнения остатков по первому модулю первого и второго чисел выводит результат на соответствующий выход решающего блока.

Сущность изобретения основана на следующем математическом аппарате. В системе остаточных классов любое число $X < P$ однозначно представляется набором остатков x_i от деления числа X на взаимно простые модули СОК p_i , где

$$x_i \equiv X \pmod{p_i},$$

$P = \prod_{i=1}^n p_i$ - рабочий диапазон СОК, $i = \overline{1, n}$.

Восстановление числа X из СОК в позиционную систему счисления может быть произведено, как в прототипе, с использованием Китайской теоремы об остатках

$$X = \left| \sum_{i=1}^n B_i \cdot x_i \right|_P = \sum_{i=1}^n B_i \cdot x_i - r \cdot P,$$

где $B_i = P_i \cdot |P_i^{-1}|_{p_i}$ - ортогональные базисы СОК,

$P_i = P/p_i, |P_i^{-1}|_{p_i}$ - мультипликативная инверсия,

r - ранг числа, показывающий во сколько раз сумма произведений остатков на ортогональные базисы превосходит динамический диапазон СОК.

Достоинством СОК является возможность выполнения сложения и умножения независимо по каждому остатку, что позволяет повысить производительность вычислительных систем за счет параллельной обработки данных и операндов меньшей размерности, по сравнению с исходными данными.

Однако существует ряд операций, выполнение которых к СОК затруднено. К ним относятся определение знака числа и сравнение чисел. Знак в системе остаточных классов чаще всего вводится разбиением диапазона на две части, тогда с учетом динамического диапазона P в СОК можно представить числа

$$-\frac{P-1}{2} \leq X \leq \frac{P-1}{2}, \text{ если } P \text{ нечетное,}$$

$$-\frac{P}{2} \leq X \leq \frac{P}{2} - 1, \text{ если } P \text{ четное.}$$

Тогда

X - положительное, если $0 \leq X \leq \frac{P}{2} - 1$, если P - четное, $0 \leq X \leq \frac{P-1}{2}$, если X - нечетное,

X - отрицательное, если $\frac{P}{2} \leq X < P$, если P - четное, $\frac{P+1}{2} \leq X < P$, если X - нечетное.

Поскольку СОК является непозиционной системой счисления, то для сравнения чисел и определения знака, т.е. нахождения положения числа на числовой прямой, вычисляют позиционную характеристику. Примером позиционной характеристики может служить Китайская теорема об остатках с дробями, использованная в прототипе. Другой позиционной характеристикой может быть введенная И.Я. Акушским функция ядра:

$$C(X) = \sum_{i=1}^n w_i \left| \frac{X}{m_i} \right|,$$

Числа w_i , называемые весами, в данной формуле могут быть в определенном смысле произвольными. Именно они определяют каждую конкретную функцию ядра и могут меняться в зависимости от задачи. Базовым свойством функции ядра является то, что ее максимальный диапазон может меняться и может быть значительно меньше числа P в зависимости от выбора весов. Например, мы можем в качестве $C(P)$ использовать некоторое произвольное значение C_P , обладающее необходимым для решения конкретной задачи свойствами. Значения функции ядра $C(X)$, заданной весами w_1, w_2, \dots, w_n , при условии

$$0 \leq C(X) < C_P, X \in [0, P),$$

можно вычислить с использованием формулы

$$C(X) = \left| \sum_{i=1}^n c_i x_i \right|_{C_P},$$

где $c_i = C(B_i)$. Однако в общем случае функция ядра не обладает монотонностью, необходимой для сравнения чисел.

Для построения функции ядра с заданными свойствами воспользуемся алгоритмом.

Алгоритм 1. Подбор параметров функции ядра специального вида для заданного набора модулей.

Входные данные.

Набор модулей СОК p_1, p_2, \dots, p_n . Требуется построить функцию ядра с модулем специального вида с $C_P = R(N)$ и неотрицательными коэффициентами.

Выходные данные: коэффициенты w_1, w_2, \dots, w_n построенной функции ядра.

1. Положим, вначале

$$N = \lceil \log_2 P_n \rceil.$$

2. Для заданной величины N рассчитать

$$\omega_i^* = \left| R(N) \cdot P_i^{-1} \right|_{P_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

и

$$C_P^* = P \cdot \sum_{i=1}^n \frac{w_i^*}{p_i}, \quad \text{где } R(N) = 2^N.$$

3. Рассчитать Q по формуле

$$Q = \frac{R(N) - C_P^*}{P}.$$

4. Если $Q < 0$, то положить $N = N + 1$ и перейти к шагу 2. Иначе, перейти к шагу 5.

5. Подобрать q_i так, чтобы

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n.$$

Рассчитать

$$w_i = q_i \cdot p_i + w_i^*$$

для

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

6. Проверить условия: отсутствие критических ядер снизу

$$C(p_k) = \sum_{i=1}^k w_i \left\lfloor \frac{p_k}{p_i} \right\rfloor \geq 0$$

и отсутствие критических ядер сверху

$$\sum_{i=1}^n \left(\left\lfloor \frac{p_k}{p_i} \right\rfloor + 1 \right) w_i - w_k > 0,$$

для всех $k = 1, 2, \dots, n$. Если не выполняется, то положить $N = N + 1$ и перейти к шагу 2.

Конец алгоритма 1.

Тогда функция ядра, с заданными свойствами будет задана выражением

$$C(X) = \left| \sum_{i=1}^n C(B_i) \cdot x_i \right|_{C_P}, \quad (1)$$

где

$$C(B_i) = \frac{B_i \cdot C_P}{P} - \frac{w_i}{p_i} \quad \text{и} \quad B_i = P_i \cdot \left| P_i^{-1} \right|_P.$$

Использование

$$C_P = 2^N$$

позволит эффективно выполнять операции деления и нахождения остатка от деления.

Ранг вычисляется по следующей формуле

$$r = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot C(B_i)}{C_P} \right\rfloor. \quad (2)$$

Для сравнения чисел воспользуемся следующим алгоритмом.

Алгоритм 2. Сравнение чисел, представленных в СОК, с использованием функции ядра с неотрицательными коэффициентами. Входные данные:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{и} \quad Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

1. Вычислить $C(X)$ и $C(Y)$.

2. Сравнение

(a) Если $C(X) < C(Y)$, то $X < Y$ (b) Если $C(X) > C(Y)$, то $X > Y$ (c) Если $C(X) = C(Y)$, то1) если $x_k < y_k$, то $X < Y$ 2) если $x_k > y_k$, то $X > Y$ 3) если $x_k = y_k$, то $X = Y$

Конец алгоритма 2.

В данном случае взяты неотрицательные коэффициенты

 w_1, w_2, \dots, w_n и $w_k \neq 0$ – первый не равный нулю коэффициент.

Для определения знака числа, необходимо построить такую функцию ядра, чтобы $C(X) \leq C(K)$ для положительных чисел и $C(X) > C(K)$ для отрицательных, где $K=P/2$, если P - четное, $K=(P-1)/2$, если P - нечетное). K является серединой диапазона СОК. Т.е. воспользоваться алгоритмом 2 для X и K .

Рассмотрим пример. Возьмем в качестве СОК $\{11,13,17,19\}$. Тогда $P = 46189$,

$$P_1 = 4199, P_2 = 3553, P_3 = 2717, P_4 = 2431, P_1^{-1} = 7, P_2^{-1} = 10, P_3^{-1} = 11, P_4^{-1} = 18,$$

$$B_1 = 29393, B_2 = 35530, B_3 = 29887, B_4 = 43758.$$

Воспользовавшись алгоритмом 1, получим $N = 17, w_1 = 16, w_2 = 8, w_3 = 5, w_4 = 9$.Тогда вспомогательные значения $C(B_i)$ будут равны

$$C(B_1) = 83408, C(B_2) = 100824, C(B_3) = 84811, C(B_4) = 124173.$$

И функция ядра примет вид

$$C(X) = |83408 \cdot x_1 + 100824 \cdot x_2 + 84811 \cdot x_3 + 124173 \cdot x_4|_{2^{17}}.$$

Срединой диапазона СОК будет $K=24094$, для которого $C(K)=65517$. Определим знаки, ранги и сравним два числа, представленные в СОК: $A=(8, 10, 4, 7)$ и $B=(7, 7, 14, 17)$. По формуле (2) получим

$$r_A = 22, r_B = 35.$$

По формуле (1) найдем значения функции ядра:

$$C(A) = 375, C(B) = 399.$$

Из алгоритма 2, т.к. $C(A) < C(B) < C(K)$, то оба числа положительные и $A < B$. Поскольку $A=140, B=150$, то вычисления корректны.

Изобретение поясняется чертежом, на котором изображена структурная схема устройства сравнения и определения знака чисел, представленных в системе остаточных классов. Устройство содержит входы первого 1 и второго 3 чисел, при этом количество входов для каждого числа равно количеству модулей СОК p_1, p_2, \dots, p_n . Вход знака 2 указывает на режим работы устройства (использование только положительных чисел или положительных и отрицательных). Числа с входов первого 1 и второго 3 чисел поступают соответственно в регистры хранения первого 4 и второго 5 чисел, где сохраняются остатки первого и второго чисел по каждому модулю. Остатки по первому модулю p_1 с первых входов первого 1 и второго 3 чисел подключены дополнительно к пятому и шестому входу решающего блока 12. Далее хранимые остатки из регистров хранения первого 4 и второго 5 чисел поступают соответственно в блоки умножения первого 6 и второго 7 чисел, где происходит умножение остатка на значение функции ядра от базисов B_i СОК, т.е. $C(B_i)$, где функция ядра $C(X)$ подбирается из условия монотонности и отсутствия критических ядер (по алгоритму 1). При этом блоки умножения 6 и 7 могут быть реализованы как с помощью умножителей, напрямую перемножая числа, так и табличным методом, когда в зависимости от значения входа на выход подается предвычисленное значение произведения. Далее полученные произведения складываются в соответствующих сумматорах первого 8 и второго 9 чисел. На первые выходы сумматоров первого 8 и второго 9 чисел подаются младшие N бит суммы, где N соответствует максимальному диапазону функции ядра $C_P = 2^N$, таким образом реализуется нахождение остатка по модулю C_P по формуле (1). На вторые выходы сумматоров 8 и 9 подаются оставшиеся биты суммы, что соответствует формуле (2), полученные значения поступают на выходы ранга первого 13 и второго 19 чисел. На первые входы блоков определения знака первого 10 и второго 11 чисел с входа знака 2 поступает сигнал наличия отрицательных чисел. Если в работе устройства используются отрицательные числа, то в блоке определения знака 10 первого числа значение функции ядра первого числа, поступающее на второй вход блока определения знака 10 первого числа с первого выхода сумматора 8 первого числа, сравнивается с $C(K)$ - функцией ядра от середины диапазона СОК K , где $K=P/2$, если $P = \prod_{i=1}^n p_i$ - четное и $K = (P - 1)/2$, если P - нечетное; в блоке определения знака 11 второго числа значение функции ядра

второго числа, поступающее на второй вход блока определения знака 11 второго числа с первого выхода сумматора 9 второго числа сравнивается с функцией ядра от середины диапазона СОК К, и если число меньше, чем $C(K)$, то сравниваемое значение положительное, иначе отрицательное, и на выход соответствующего блока определения знака подается знак числа. Если в работе устройства не используются отрицательные числа, то на выход соответствующего блока определения знака под действием сигнала с входа знака 2 подается, что числа положительные. Выход блока определения знака 10 первого числа является выходом знака 14 первого числа и дополнительно подключен ко второму входу решающего блока 12, первый вход которого подключен к первому выходу сумматора 8 первого числа. Выход блока определения знака 11 второго числа является выходом знака 18 второго числа и дополнительно подключен к третьему входу решающего блока 12, четвертый вход которого подключен к первому выходу сумматора 9 второго числа. Решающий блок 12 на основе знаков первого и второго числа, поступающих на второй и третий входы, принимает решение сразу, если числа имеют разные знаки, в случае одинаковых знаков происходит сравнение по алгоритму 2, т.е. сначала сравниваются значения функции ядра первого и второго числа, поступающие с первого и четвертого входов, а в случае их равенства остатки по первому модулю, подаваемые на пятый и шестой входы с входов первого 1 и второго 3 чисел. Результат сравнения подается на один из выходов блока сравнения 12: на выход 15 "первое число меньше второго", на выход 16 "первое и второе числа равны", на выход 17 "первое число больше второго".

На основе предыдущего примера рассмотрим работу устройства. На вход знака 2 поступает, что числа могут быть отрицательные. На входы 1 первого числа поступают числа (8, 10, 4, 7), которые сохраняются в регистр хранения 4 первого числа. Далее остатки (8, 10, 4, 7) с выходов регистра хранения 4 первого числа поступают на соответствующие первый-четвертый входы блока умножения 6 первого числа, где происходит их умножение на значения функции ядра от базиса

$$C(B_1) = 83408, C(B_2) = 100824, C(B_3) = 84811, C(B_4) = 124173.$$

Далее значения произведений $8 \cdot 83408, 10 \cdot 100824, 4 \cdot 84811, 7 \cdot 124173$ поступают на вход сумматора 8 первого числа, где получают число 2883959, что соответствует двоичному числу 10001100000000110001111. Младшие $N=17$ бит, что равно 375, поступают на второй вход блока определения знака 10 первого числа и на первый вход решающего блока 12. Оставшиеся биты суммы 10110, что соответствует числу 22, поступают на выход ранга 13 первого числа.

Одновременно с этим на входы 3 второго числа поступают числа (7, 7, 14, 17), которые сохраняются в регистр хранения 5 второго числа. Далее остатки (7, 7, 14, 17) с выходов регистра хранения 5 второго числа поступают на соответствующие первый-четвертый входы блока умножения 7 второго числа, где происходит их умножение на значения функции ядра от базиса

$$C(B_1) = 83408, C(B_2) = 100824, C(B_3) = 84811, C(B_4) = 124173.$$

Далее значения произведений $7 \cdot 83408, 7 \cdot 100824, 14 \cdot 84811, 17 \cdot 124173$ поступают на вход сумматора 9 второго числа, где получают число 4587919, что соответствует двоичному числу 10001100000000110001111. Младшие $N=17$ бит, что равно 399, поступают на второй вход блока определения знака 11 второго числа и на четвертый вход решающего блока 12. Оставшиеся биты суммы 100011, что соответствует числу 35, поступают на выход ранга 19 второго числа.

Поскольку с входа знака 2 поступает сигнал, что СОК содержит отрицательные числа, то необходимо сравнить значения функции ядра чисел со значением функции ядра середины диапазона $C(K)=65517$. В блоке определения знака 10 первого числа происходит сравнение 375 и 65517, и поскольку $375 < 65517$, то на выход блока определения знака 10 подается сигнал, что первое число положительное. В блоке определения знака 11 второго числа происходит сравнение 399 и 65517, и поскольку $399 < 65517$, то на выход блока определения знака 11 подается сигнал, что второе число положительное. Если бы число было больше $C(K)$, то оно было бы отрицательным. В случае если со входа знака 2 поступил бы сигнал отсутствия отрицательных чисел, то на выход блока определения знака независимо от чисел поступает, что число положительное.

С выхода блока определения знака 10 первого числа на выход знака 14 первого числа и на второй вход решающего блока 12 поступает сигнал, что первое число положительное. С выхода блока определения знака 11 второго числа на выход знака 18 второго числа и на третий вход решающего блока 12 поступает сигнал, что второе число положительное.

Поскольку оба числа положительные, в решающем блоке 12 происходит сравнение значений функции ядра от первого и второго числа, поступающих на первый и четвертый входы, и так как $375 < 399$, то первое число меньше второго и сигнал поступает на выход 15 "первое число меньше второго". В случае когда значения функции ядра равны, происходит сравнение остатков по первому модулю, поступающих с входа первого числа 1 и входа второго числа 3 соответственно на пятый и шестой входы решающего блока 12, и если первый остаток первого числа больше первого остатка второго числа, то на выходе 17 "первое число больше второго" формируется сигнал. Равенство остатков по первому модулю говорит о равенстве чисел, и сигнал поступает на выход 16 "первое и второе число равны".

Реализация всего устройства возможна с использованием программируемых логических интеграль-

ных схем (ПЛИС) и может использоваться как отдельное устройство, так и как сопроцессор для выполнения немодульных операций.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство сравнения и определения знака чисел, представленных в системе остаточных классов, содержащее входы первого и второго чисел, представленных в виде остатков от деления чисел на модули СОК p_1, p_2, \dots, p_n , регистры хранения первого и второго числа, блок умножения первого числа, блок умножения второго числа, сумматор первого числа, блоки определения знака первого и второго числа, сумматор второго числа, решающий блок, выходы "первое число меньше второго", "первое и второе число равны", "первое число больше второго", в котором входы первого и второго числа подключены к соответствующим входам регистра хранения первого и второго числа, выходы которых подключены к соответствующим входам блоков умножения первого и второго числа, выходы блока умножения первого числа подключены ко входам сумматора первого числа, первый выход которого подключен к первому входу решающего блока, первый-третий выходы которого являются выходом "первое число меньше второго", выходом "первое и второе числа равны" и выходом "первое число больше второго" соответственно, отличающееся тем, что в него введены вход знака, сумматор второго числа, вход остатков по первому модулю входа первого и второго числа подключены соответственно к пятому и шестому входам решающего блока, вход знака подключен к первым входам блоков определения знака первого и второго чисел, выходы блока умножения второго числа подключены к сумматору второго числа, первый выход сумматора первого числа дополнительно подключен ко второму входу блока определения знака первого числа, второй выход сумматора первого числа является выходом ранга первого числа, первый выход сумматора второго числа подключен ко второму входу блока определения знака второго числа и четвертому входу решающего блока, второй выход сумматора второго числа является выходом ранга второго числа, выходы блоков определения знака первого и второго чисел подключены соответственно ко второму и третьему входам решающего блока и одновременно являются выходами знака первого и второго чисел, при этом на входы первого и второго чисел подаются остатки от деления этих чисел на модули p_1, p_2, \dots, p_n , где n - количество модулей СОК, в блоках умножения первого и второго числа происходит умножение каждого из остатков СОК на соответствующее значение функции ядра от ортогональных базисов

$$\text{СОК } C(B_i) = \frac{B_i \cdot C_P}{P} - \frac{w_i}{p_i}, \quad \text{где } B_i = P_i \cdot |P_i^{-1}|_{p_i}, \quad P_i = P/p_i, \quad |P_i^{-1}|_{p_i} - \text{ мультипликативная инвер-$$

сия, $P = \prod_{i=1}^n p_i$ - рабочий диапазон СОК, при этом функция ядра $C(X) = |\sum_{i=1}^n C(B_i) \cdot x_i|_{C_P}$ подбирается из условия монотонности и отсутствия критических ядер, где $C_P = 2^N$ - максимальный диапазон функции ядра, а веса w_i характеризуют конкретную функцию ядра, на первые выходы сумматоров первого и второго чисел подаются младшие N бит сумм произведений остатков и функции ядра от ортогональных базисов СОК, оставшиеся биты данных сумм подаются на соответствующие выходы ранга первого и второго чисел, блоки определения знака первого и второго чисел в случае поступления сигнала с входа знака сравнивают значения со вторых входов со значением функции ядра от середины диапазона СОК, а решающий блок на основании сравнения значений функции ядра первого и второго чисел, а также сравнения остатков по первому модулю первого и второго чисел выводит результат на соответствующий выход решающего блока.

Структурная схема устройства

