

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДВОИЧНОЙ БИНОМИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА

DEVELOPMENT OF INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS BASED ON THE BINARY BINOMIAL CALCULATION SYSTEM

**V. Selin
I. Chernetskaya**

Summary. The article considers the peculiarities of the development of information and control systems based on the binary binomial calculation system. Separate attention is paid to the problem of data transmission and storage in information and control systems. A method for selecting the optimal parameters of matrix binomial components to ensure a given noise immunity with minimal hardware costs is also proposed.

Keywords: binomial numbers, system, failure, robustness.

Селин Владислав Игоревич

Аспирант, Юго-Западный государственный
университет
selinvlad1@yandex.ru

Чернецкая Ирина Евгеньевна

Доктор технических наук, доцент
Юго-Западный государственный университет

Аннотация. В статье рассмотрены особенности разработки информационно-управляющих систем на основе двоичной биномиальной системы расчета. Отдельное внимание уделено решению задачи передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах. Также предложен метод выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости при минимальных аппаратных затратах.

Ключевые слова: биномиальные числа, система, отказ, устойчивость.

Компьютерные системы и сети нашли свое широкое применение в различных сферах современной жизни. С их помощью решаются задачи управления, слежения, сбора, передачи, преобразования и хранения информации, а также многие другие [1]. Тенденции развития компьютерных систем заключаются в непрерывном увеличении их быстродействия, надежности, устойчивости, однако, задача оптимизации этих параметров до сих пор остается актуальной.

Для ее решения на сегодняшний день в области создания информационно-управляющих систем отмечается достаточно много разработок, которые используют информационную и аппаратную избыточность с целью повышения помехоустойчивости, а также методы резервирования, позволяющие обеспечить рост отказоустойчивости и надежности систем в целом. Все эти цели на практике достаточно эффективно достигаются с использованием позиционных систем исчисления, простейшими из которых являются однородные. Но применение однородных систем, не всегда может удовлетворить повышенные требования к производительности современных компьютерных сетей без снижения отказа их функционирования в режиме реального времени при минимальных дополнительных аппаратно-программных затратах [2].

На практике еще далеко не достигнут уровень, отвечающий все более растущему спросу на помехоустойчивые информационно-управляющие системы, защищенные от несанкционированного доступа. В данном контексте важным направлением дальнейшего развития компьютерных средств является использование для представления и обработки данных структурных систем исчисления. При этом структурные числовые системы могут либо полностью задавать все процессы функционирования компьютерных сетей и компонентов, либо быть задействованы локально в структуре аппаратного или программного обеспечения для решения отдельных информационных задач, например, таких как комбинаторная оптимизация, шифрование или сжатие информационных последовательностей.

Особо широкое распространение среди структурных числовых систем получили биномиальные, которые используют в своей основе биномиальные числа, получаемые с помощью биномиальных систем исчисления разных классов, двоичных, многозначных, линейных, линейно-циклических, матричных. Преимуществом таких чисел является то, что компоненты информационно-управляющих систем на их основе обладают повышенным быстродействием, которое является результатом подачи информации в виде матричной



Рис. 1. Концепция разработки информационно-управляющей системы, использующая биномиальную двоичную систему чисел

структуры и распараллеливания операций ее обработки [3].

С учетом вышеизложенного, особую актуальность на сегодняшний день приобретает концепция разработки специализированных информационно-управляющих систем на основе структурных биномиальных систем исчисления, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Особенности разработки компьютерных систем с использованием биномиальных схем Бернулли описаны в работах Билятдинова К.З., Печникова Д.А., Павельева А.В., Alba, Hernán; Morales, Marcel; Nguyen, P; Martini, Simone.

Перспективы применения чисел Фибоначчи для построения самоконтролирующих и самокорректирующих вычислительных и измерительных систем изучаются Насыровым И.К., Андреевым В.В., Масловым О.Н., Антамошкиным О.А., Choi, Junesang; Purohit, S.D., Wang, Xiaoyuan.

Разработке моделей и соответствующих методов синтеза матричных биномиальных компонентов

цифровых устройств с повышенным быстродействием и помехоустойчивостью посвятили свои труды Майструк А.В., Билятдинов К.З., Пономарева С.А., Stojmenovic, I., Stipulanti, Manon; Poblete, P.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд вопросов в данной предметной плоскости остается открытым. В частности, отдельного внимания заслуживает развитие методов обработки данных и усовершенствование концепции построения систем анализа информации на основе использования систем остаточных классов. Также в решении нуждаются трудности, которые связаны с отсутствием эффективных алгоритмов сравнения чисел и значительной трудоемкостью немодульных операций.

Таким образом, принимая во внимание отмеченные обстоятельства, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей разработки информационно-управляющих систем на основе двоичной биномиальной системы расчета.

Разработка современных информационно-управляющих систем, для увеличения производительности обработки информации без снижения отказоустойчиво-

$$\begin{aligned}
 V = & \sum_{q_i=0}^k \left(\sum_{q_j=q_i+1}^k \sum_{c=1}^{C_{n-k-1+q_i}^{q_i}} p(q_i, c) \sum_{t=0}^{G_1} C_{q_i}^t C_{n-k-1+q_j-q_i}^{q_j-q_i+t} p_{00}^{n-q_j-t-1} p_{01}^{q_j-q_i+1} p_{10}^t p_{11}^{q_i-t} + \right. \\
 & + \sum_{c=1}^{C_{n-k-1+q_i}^{q_i}} p(q_i, c) \sum_{t=1}^{G_2} C_{q_i}^t C_{n-k-1}^t p_{00}^{n-q_j-t-1} p_{01}^t p_{10}^t p_{11}^{q_i-t} + \\
 & + \sum_{q_j=0}^{q_i-1} \sum_{t=q_i-q_j}^{q_{min}} \sum_{s=1}^{C_{q_i-q_j}^{q_i}} \sum_{z=1}^{C_{(n-k-1+q_i)-(q_i-q_j)}^{q_i-t}} p(q_i, s, z) \sum_{f=q_i-q_j-t}^{q_{max}} C_{q_i-t}^{q_j-t-f} C_{n-k-1-(q_i-q_j-t)}^{q_j-(q_j-t-f)} \times \\
 & \times p_{00}^{n-q_j-t-f-1} p_{01}^{q_j-(q_i-t-f)} p_{10}^{t+f} p_{11}^{q_i-t-f}
 \end{aligned}$$

где

$$G_1 = \begin{cases} q_i & \text{при } k \leq n/2 \\ n - k - 1, & \text{при } k > n/2' \end{cases}$$

$$G_2 = \begin{cases} q_i & \text{при } k < (n - 1)/2 \\ n - k - 1, & \text{при } k \geq (n - 1)/2' \end{cases}$$

$$q_{min} = \begin{cases} 0 & \text{при } (q_i - q_j) \leq n - k - 1 \\ q_i - q_j - (n - k - 1), & \text{при } (q_i - q_j) > n - k - 1' \end{cases}$$

$$q_{max} = \begin{cases} q_i - t, & \text{при } t \geq q_i - (n - k - 1) \\ n - k - 1, & \text{при } t < q_i - (n - k - 1) \end{cases}$$

Рис. 2

сти при минимальных затратах на основе структурных биномиальных чисел, генерируемых биномиальными системами исчисления с двоичным алфавитом, базируется на двух теоретических концептах:

1. В структуре упорядоченного кодированного и преобразуемого множества можно выделить двоичную биномиальную систему исчисления, а кодовым последовательностям такого множества поставить во взаимно однозначное соответствие структурные биномиальные числа.

2. Из процесса решения задач нумерационного кодирования выделяется отдельный этап формирования биномиальных чисел, что приводит, с одной стороны, к универсализации самой задачи биномиальной нумерации, а с другой, к снижению аппаратно-программных и временных затрат при ее практической реализации [4].

Связующим звеном этих концептов является разработка машинной арифметики для биномиальных чисел, с помощью которых подается информация в компью-

терных средствах. С одной стороны, она позволяет реализовать целостность и функциональную полноту математического (и алгоритмического) обеспечения информационно-управляющих систем на основе биномиальных систем исчисления, а с другой — формирует основу для дальнейшего увеличения их производительности за счет новых перспективных методов биномиального кодирования и преобразования данных.

С учетом вышеизложенного, на рис. 1 представлена концепция разработки информационно-управляющей системы, которая использует двоичную биномиальную систему исчисления.

Представленная на рис. 1 концепция, в отличие от существующих технологии построения информационно-управляющих систем на традиционной двоичной системе исчисления, включает в себя новые последовательно выполняемые этапы по преобразованию и кодированию информации с целью решения типовых информационных задач.

На основе исследований помехоустойчивости матричных биномиальных чисел и с учетом того, что количество кодовых состояний системы N_c можно представить числами с разным соотношением параметров n и k , в рамках проводимого моделирования поставлена задача оптимизации параметров информационно-управляющей системы с целью уменьшения аппаратных затрат. Требования к матричным биномиальным компонентам описываются следующей системой [5]:

$$\begin{cases} C_{n+1}^k \geq N_3 \\ k \cdot (n - k + 1) \leq Q_3 \\ V \leq V_3 \end{cases}$$

где N_3 — заданное количество состояний компонента;

Q_3 — заданные аппаратные расходы;

V_3 — заданное значение вероятности необнаружения ошибки.

Задача состоит в выборе параметров n и k матричных биномиальных компонентов, удовлетворяющих выше представленной системе для заданных вероятностей ошибок одного разряда p_{01}, p_{10} .

Для оценки помехоустойчивости биномиальных кодов следующие соотношения позволяют вычислить вероятности искажения информации на выходе устройства под действием помех в зависимости от уровня ошибок p_{01}, p_{10} и параметров биномиального кода:

$$\prod = \sum_{q_i=0}^k \sum_{l=1}^{C_{n-k+q_i-1}^{q_i}} p(q_i, l) p_{11}^{q_i} p_{00}^{n-1-q_i}$$

и вероятность необнаружения ошибок (формулы на рис. 2).

Принимая во внимание обозначенное, предлагаем использовать следующий метод выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости при минимальных аппаратных затратах, который предполагает необходимость прохождения следующих этапов:

Шаг 1. Ввод значения вероятностей ошибок p_{01}, p_{10} одного разряда, ввод заданного значения вероятности необнаружения ошибки V_3 , ввод заданных аппаратурных затрат Q_3 и количества состояний N_3 .

Шаг 2. Оптимизация параметров. Вычисление минимальных аппаратурных затрат Q_{min} компонента цифрового устройства, обеспечивающего количество кодовых состояний N_c посредством биномиального прямоугольника.

Шаг 3. Проверка возможности построения матричного биномиального компонента с заданными аппаратурными затратами. При $Q_{min} > Q$ задача признается неразрешимой.

Шаг 4. Вычисление вероятности необнаружения ошибок V . При условии $V \leq V_3$ осуществляется переход к оптимальным параметрам n и k , и к следующему шагу 5. При условии $V > V_3$ выполняется оптимизация параметров n и k матричного компонента с целью увеличения помехоустойчивости и осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 5. Вывод оптимальных параметров n и k матричного биномиального компонента.

Эффективно решить задачу передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах можно благодаря применению двоичных (n, k) — биномиальных чисел X_j и методов сжатия. При этом используются следующие свойства и особенности биномиальных чисел X_j :

1) длина r для чисел X_j изменяется в пределах $\min(k, n-k) \leq r \leq n-1$ и может быть значительно меньше, чем количество разрядов преобразованных кодовых последовательностей A_j , где $A_j \in \{0, 1\}^n$;

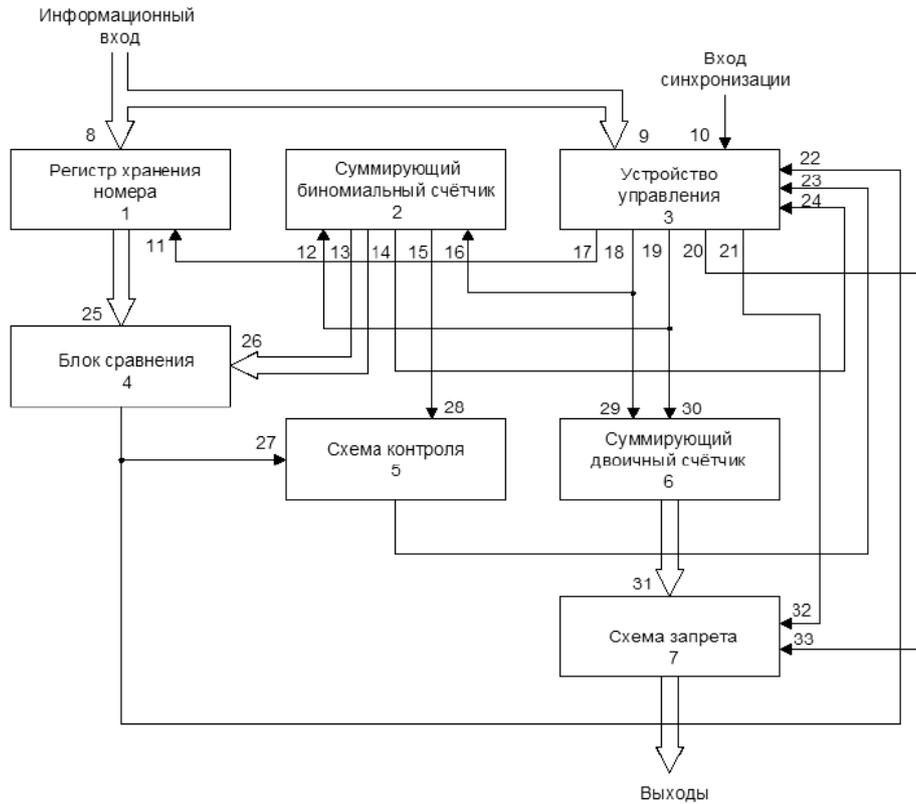


Рис. 2. Структурная схема биномиального преобразователя чисел [6]

- 2) выполняется свойство префиксности для биномиальных чисел X_j ;
- 3) осуществляются достаточно простые кодовые преобразования последовательностей A_j в биномиальные числа X_j и наоборот.

На рис. 2 в качестве примера приведена структурная схема биномиального преобразователя чисел.

Представленная на рис. 2 схема включает в себя регистр хранения биномиального числа, которое преобразуется 1, суммирующий биномиальный счетчик 2, устройство управления 3, блок сравнения 4, схему контроля 5, суммирующий двоичный счетчик 6 и схему запрета 7.

Алгоритм работы схемы биномиального преобразователя чисел может быть представлен следующим образом:

1. Осуществление записи биномиального числа, которое поступает на вход преобразователя, в регистр хранения.
2. Обнуление суммирующих биномиального и двоичного счетчиков.
3. Сравнение биномиального числа, которое находится в регистре хранения, с числом, поступаю-

щим с выходов биномиального суммирующего счетчика.

4. Если отмечается равенство сравниваемых биномиальных чисел в биномиальном счетчике и регистре, то суммирование чисел в обоих счетчиках останавливается.
5. В том случае, когда биномиальный счетчик прошел весь цикл, а сигнал равенства с содержимым регистра так и не был получен, тогда посылается сигнал об ошибке и работа устройства останавливается.
6. Если в числе, находящемся в биномиальном счетчике, появляется число единиц больше k или количество нулей до первой 1 справа превышает значение $n - k - 1$, то аналогично предыдущему этапу посылается сигнал ошибки, и работа останавливается.
7. При отсутствии сбоев в работе устройства с выхода схемы запрета на выход преобразователя подается двоичное число, которое является номером преобразуемого биномиального числа.
8. Остановка.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, отметим, что использование двоичной биномиальной системы расчета открывает широкие возможности для

повышения производительности информационно-управляющих систем, а также для обеспечения эффективности решения отдельных информационных задач с точки зрения увеличения быстродействия, сохранения отказоустойчивости и надежности передачи данных при минимуме аппаратно-программных затрат.

В процессе исследования обозначены теоретические концепты, составляющие базис процесса разработки современных информационно-управляющих систем на основе структурных биномиальных чисел, генерируемых биномиальными системами исчисления с двоичным алфавитом. Также отмечено, что связующим звеном этих концептов является разработка машинной арифметики для биномиальных чисел, с помощью которых подается информация в компьютерных средствах. С учетом вышеизложенного, в статье формализована концепция разработки информационно-управляющей системы, использующая биномиальную двоичную систему чисел. Отличительной чертой

данной концепции от уже существующих является то, что она включает в себя новые последовательно выполняемые этапы по преобразованию и кодированию информации с целью решения типовых информационных задач.

Отдельное внимание уделено методу выбора оптимальных параметров матричных биномиальных компонентов для обеспечения заданной помехоустойчивости информационной системы при минимальных аппаратных затратах. В рамках этого метода выделено и детализировано пять взаимосвязанных шагов.

Особое внимание акцентировано на том, что для эффективного решения задачи передачи и хранения данных в информационно-управляющих системах целесообразно использовать двоичные биномиальные числа и методы сжатия. Кроме того, представлен пример структурной схемы биномиального преобразователя чисел и описан алгоритм ее работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагапова Р. Ю. Разработка информационной системы для исследования моделей систем обработки данных // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2019. № 4. С. 13–15.
2. Probability with R: an introduction with computer science applications / Jane M. Horgan. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2020. 287 p.
3. Yeh, Cheng-Ta Optimal redundancy allocation to maximize multi-state computer network reliability subject to correlated failures // Reliability engineering & system safety. 2017. Volume 166; pp 138–150.
4. de León, José Alfredo Sánchez Calculation of Binomial and Multinomial Coefficients by Sequences of Summations // Mathematics in computer science. 2019. Volume 13: Number 3; pp 403–415.
5. Popuri, Sai K. Parallelizing computation of expected values in recombinant binomial trees // Journal of statistical computation and simulation. 2018. Volume 88: Number 4; pp 657–674.
6. Борисенко А. А. Методы преобразования биномиальных чисел / А. В. Иванчук, С. М. Маценко // Сборник научных трудов SWORLD — 2013. — V. 2. Т. 8 — С. 80–84.