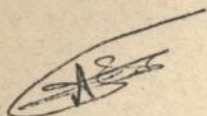


КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи



Гним Антун
/ Сирия /

УДК 681.324

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.13 - Вычислительные машины, комплексы
системы и сети

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1994 г.



00756404 (Q)

AB 30.050

вычислительных машин, комплексов,

систем и сетей Киевского политехнического института

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Симоненко В.П.

Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент Соляниченко Н.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Додонов А.Г.
кандидат технических наук,
доцент Щербина А.А.

Ведущая организация : Институт проблем моделирования в энергетике

Защита состоится "13" июня 1994 г. в 14.30 часов на заседании специализированного совета Д 068.14.09. Киевского политехнического института по адресу: 252 056, г. Киев, проспект Победы, 37, корп. 18, ауд. 306.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу : 252 056, г. Киев-56, проспект Победы, 37, Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института.

Автореферат разослан "5" мая 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
доктор техн. наук

Бузовский О. В.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АВ - 30.050

А Н Н О Т А Ц И Я

Целью диссертационной работы является разработка и исследование различных методов кодирования, повышающих достоверность приема, передачи, хранения и обработки информации в специализированных вычислительных системах.

Основные задачи диссертационной работы определяются поставленной целью и состоят в следующем:

1. Определение критериев и разработка системного кода, позволяющего с единых позиций осуществлять контроль за правильностью информации на всех этапах ее прохождения по СВС / на этапах сбора, передачи, обработки, хранения, отображения / с учетом используемого волоконно-оптического канала связи и выбранной стратегии исправления ошибок.

2. Доказательство возможности получения различных, с заранее установленными свойствами кодовых изображений чисел, представленных в МЭ-коде /форм МЭ-кода /.

3. Выбор оптимальной формы МЭ-кода на основе оценок ее ошибкообнаруживающей способности, спектральных характеристик, свойств самосинхронизации и синхронизации информационных потоков, возможности выполнения и контроля арифметико-логических операций.

4. Разработка алгоритмов и структур арифметико-логических устройств обработки информации для выбранной формы МЭ-кода.

Автор защищает следующие положения и результаты:

- методы повышения достоверности обработки информации в специализированных вычислительных системах за счет использования единого системного кода - кода с иррациональным отрицательным основанием / МЭ-кода /;
- оценки достоверности обработки информации в специализированных вычислительных системах для различных кодовых форм представления чисел в МЭ-коде;
- алгоритмы выполнения основных арифметико-логических операций для различных кодовых форм представления чисел в МЭ-коде;
- структурную организацию основных арифметических устройств для R -формы МЭ-кода.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время проблема обеспечения высокой достоверности обработки информации в специализированных вычислительных системах / СВС / становится одной из центральных.

Повышение информационной надежности СВС достигается как путем увеличения технологической надежности структурных компонент так и введением в проектируемые системы структурной и кодовой избыточности / резервирование, мажорирование, парафазная логика, арифметические коды, числовой и кодовый контроль по модулю, системы остаточных классов и т.д. / .

Однако в состав специализированных вычислительных систем входит большой набор, различных по своему назначению, устройств. Это выдвигает на передний план проблему организации такого способа контроля, который позволил бы охватить единым методом все информационные процессы: передачу и промежуточное хранение информации, арифметические, логические и управляющие операции, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразования, запись информации на внешние носители /например на магнитную ленту / и т.д.

Одним из возможных путей решения указанной проблемы является введение избыточности на самом раннем этапе проектирования специализированных вычислительных систем - на этапе выбора системы счисления, в которой будет представлена передаваемая и обрабатываемая информация.

В этой связи новым и перспективным направлением является использование систем счисления с иррациональным основанием / коды Фибоначчи и коды золотой пропорции /, основы которых разработаны А.П. Стаховым.

Эти системы счисления являются двоичными по количеству цифр / 0, 1 /; используемых для изображения чисел, что позволяет применять имеющуюся элементную базу.

Использование этих систем позволяет значительно повысить интегральную ошибкообнаруживающую способность, упростить диагностические процедуры поиска неисправностей, организовать асинхронный режим обработки информации, улучшить метрологические характеристики и повысить "живучесть" отдельных узлов и устройств. При этом сохраняются и все достоинства традиционного двоичного способа кодирования: простота представления положительных и отрицательных чисел и выполнение над ними арифметических и логических операций, возможность сравнения чисел и их округления, однородность реализующих цифровых устройств и т.д.

Однако проводимы ранее исследования рассматривали, в основном, только минимальную форму представления чисел в коде Фибоначчи и коде золотой пропорции и особенности технической реализации устройств, функционирующих в этих кодах.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ сформировался под влиянием следующих причин. Анализ отечественной и зарубежной литературы показал устойчивый интерес разработчиков информационно-вычислительных систем к использованию в них в качестве канала связи - волоконно-оптического канала. При этом следует считаться с особенностями передачи цифровой информационной последовательности по аналоговому каналу. Это приводит к использованию специальных методов кодирования - декодирования. В то же время обработка информации в узлах системы выполняется по своим алгоритмам, требует своих методов защиты и имеет свои особенности. Это же относится и к конечному оборудованию и запоминающим устройствам.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При решении поставленных задач были использованы аппарат комбинированного анализа, теории чисел, булевой алгебры, конечных автоматов, теории вероятностей. Для подтверждения основных теоретических результатов применялся эксперимент и моделирование на ЭВМ.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА проведенных исследований заключается в следующем:

- доказана возможность получения единого системного кода, позволяющего эффективно и единообразно обнаруживать ошибки различной кратности на всех этапах прохождения информации в СВС;
 - исследованы теоретико-числовые свойства МФ-кода, позволяющие получить семейство базовых форм представления информации;
 - определены особенности, алгоритмы получения и даны сравнительные характеристики различных форм представления информации в МФ-коде;
 - разработаны способы кодовой оптимизации спектров информационных посылок и самосинхронизации информационных потоков в СВС на базе волоконно-оптических линий связи при использовании различных форм представления информации в МФ-коде;
 - разработаны алгоритмы выполнения арифметических и логических операций для различных форм представления информации в МФ-коде.
- ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ** работы:
- оценки ошибок обнаруживающих, спектральных и самосинхронизирующихся свойств различных форм представления информации в МФ-коде;
 - алгоритмы получения и перехода между различными формами представления информации в МФ-коде;
 - структуры арифметико-логических устройств обработки информации, представленной в различных формах МФ-кода;
 - набор прикладных программ, позволяющих моделировать основные

устройства СВС.

А П Р О Б А Ц И Я Р А Б О Т Ы. Основные результаты докладывались на республиканских и региональных научно-технических семинарах и конференциях.

П У Б Л И К А Ц И И. Основные результаты работы отражены в четырех публикациях.

С Т Р У К Т У Р А И О Б Ъ Е М Р А Б О Т Ы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, приложения, заключения, списка использованной литературы из 78 наименований. Работа содержит 165 страниц машинописного текста, 24 рисунков на 24 страницах и 24 таблиц на 25 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе рассмотрен общий подход к построению специализированной вычислительной системы, исследованы преимущества и недостатки различных кодов, используемых в системах передачи информации, проведен анализ различных каналов связи с точки зрения обеспечения высокой информационной надежности, определены требования к кодам для СВС.

Во второй главе проведен анализ возможности представления информации с использованием минус-фибоначчиевых кодов, доказана возможность представления в них целых положительных и отрицательных чисел, введено понятие минимальной формы для этих кодов, получен алгоритм "взвешивания", определены условия проведения операций свертки-развертки, позволяющих переходить от одной формы представления к другой, проведены расчеты ошибкообнаруживающей способности при использовании различных форм представления.

В третьей главе обосновывается выбор в качестве физической среды специализированной вычислительной системы / СВС / - волоконно-оптической связи / ВОЛС /, дан анализ известных методов кодирования для ВОЛС, получены спектральные характеристики определенных ранее форм представления и предложены более эффективные формы представления, исследованы свойства самосинхронизации и определена форма представления, позволяющая организовать иерархические системы синхронизации.

В четвертой главе рассмотрены вопросы построения устройств обработки информации, представленной в различных формах минус-фибоначчиевого кода, определен базовый набор микроопераций, предложены алгоритмы и структурные схемы устройств сложения, вычитания, умножения, деления, преобразования в двоичный код и обратно, а также устройств, выполняющих логические операции, доказана целесообразность использования R -формы и даны контрольные соотношения.

В приложении проведено машинное моделирование указанных устройств, выполнен расчет коэффициента обнаружения ошибок различной кратности и коэффициента самосинхронизации для *RSA*-формы.

СО Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы

Наиболее характерной областью применения СВС являются системы управления. Отказ вычислительной системы, построенной на ЭВМ или комплексы общего назначения может не иметь катастрофических последствий для пользователя. Отказ же специализированной вычислительной системы имеет несравненно более высокую цену.

Поэтому повышенные требования к надежности функционирования и достоверности выдаваемых результатов являются основными при проектировании как отдельных блоков и узлов, так и специализированных вычислительных систем в целом.

СВС для системы управления выполняет ряд обобщенных функций:

- сбор измерительной информации об управляемом объекте, о состоянии внешней среды и аппаратуры, входящей в состав системы;
- преобразование, при помощи аналого-цифровых преобразователей, измерительной информации к виду, удобному для дальнейшей обработки;
- вычисление управляющих воздействий по заданным алгоритмам;
- передача информации от датчиков и специализированных вычислительных модулей к органам управления и отображения;
- преобразование информации в форму, удобную для восприятия объектом управления и выработка управляющего воздействия;
- преобразование информации в форму, удобную для восприятия человеком - оператором;
- долгосрочное хранение информации, используемое для анализа работы управляемого объекта во времени, для целей статистики и т.д.

Было определено, что все известные методы исправления ошибок вносимых физическим каналом в звено передачи данных можно подразделить на две большие группы: использующих обратную связь и не использующих обратную связь.

При использовании процедур с информационной обратной связью по обратному каналу передается вся принятая n -последовательность или ее некоторое отображение / свертка / .

Если канал обратной связи не используется, то есть пользователь располагает только симплексным каналом связи, то обеспечение качества передачи в огромной степени зависит от выбора того или иного помехоустойчивого кода, корректирующего ошибки.

Таким образом перед разработчиками специализированной вычислительной системы появляется две возможности: либо использовать обратную связь и "мощные" коды по обнаружению ошибок, либо использовать симплексный канал и "мощные" коды по обнаружению и исправлению ошибок.

Для ответа на этот вопрос в первой главе диссертационной работы проведен анализ известных помехоустойчивых кодов, позволяющих обнаруживать И/ИЛИ исправлять ошибки различного действия и кратности.

Сравнительный анализ большого количества этих кодов показал, что каждый из них ориентирован на свой класс ошибок, имеет здесь преимущества перед другими кодами, но в других случаях недостаточно эффективен.

Это позволило сделать вывод о том, что конструирование кода для специализированной вычислительной системы / СВС /, одинаково хорошо обеспечивающего защиту информации на этапе ее сбора, хранения, передачи и обработки вполне целесообразно.

Для окончательного определения требований к коду, который может быть использован в специализированной вычислительной системе, необходимо было провести анализ его свойств относительно особенностям среды передачи.

Успехи в технологии получения световодов с малыми потерями и создание интегрально-оптических устройств обработки информации обуславливают выбор в качестве физического канала связи для специализированной вычислительной системы / СВС / - волоконно-оптического канала.

Все это позволяет сформировать следующие требования к коду, который может быть использован в волоконно-оптических линиях связи / ВОЛС / :

- энергетический спектр сигнала в полосе пропускания должен быть достаточно узким и не иметь постоянной составляющей, что может быть достигнуто путем ограничения длин серий подряд идущих нулей или единиц и определенной дисперсностью информационных посылок;

- возможность извлечения из принятого сообщения сигналов синхронизации, что может быть достигнуто использованием кода с более частыми переходами из нуля в единицу и наоборот;

- возможность оперативного контроля качества передаваемой информации без прерывания процедуры передачи;

- достаточно простые процедуры кодирования и декодирования в канальный код с учетом характеристик оптического волокна.

Проведенный обзорный анализ практических результатов и тенденций в области повышения надежности специализированной вычислительной системы / СВС / позволил выделить вопросы, требующие дальнейшего решения и привел к постановке следующих задач, рассмотренных в диссертации:

1. Разработать системный код, обладающий значительным коэффициентом обнаружения ошибок, и исследовать его потенциальные возможности и пригодность для выполнения арифметико-логических операций, для преобразования, хранения, сбора и отображения информации, а также для передачи сообщений по волоконно-оптическим каналам связи с использованием выбранной стратегии исправления ошибок.
2. Исследовать спектральные свойства разработанного кода при передаче по волоконно-оптическим линиям связи /ВОЛС/, его способность к самосинхронизации и к синхронизации информационного потока на его основе; определить процедуры кодирования, декодирования и обнаружения ошибок.
3. Разработать алгоритмы выполнения арифметико-логических операций и синтезировать соответствующие структуры.

В диссертационной работе проводятся исследования основных теоретико-числовых свойств минус-Фибоначчиевых кодов.

Определяется, что веса разрядов этого кода вычисляются по следующему рекуррентному соотношению:

$$\varphi_S(\ell) = \begin{cases} 0, & \text{при } \ell < 0 \\ 1, & \text{при } \ell = 0 \\ -1, & \text{при } \ell = 1 \\ \varphi_S(\ell-S-1) - \varphi_S(\ell-1), & \text{при } \ell > 1 \end{cases} \quad / I /$$

где S - параметр, определяющий "глубину" зависимости последующих разрядов от предыдущих и принимающий значение из ряда нечетных целых положительных чисел $/S = 1, 3, 5, 7, \dots /$.

Наибольший практический интерес представляет минус-Фибоначчиевый код с параметром $S = 1$ / МФ-код /.

Анализ рекуррентного соотношения / I / показывает, что одно и то же число $\varphi_3(\epsilon)$ может быть представлено различными наборами чисел из этого ряда с номерами, меньшими чем ϵ . Это является важнейшим свойством, которым обладают коды с иррациональным основанием и, в частности, МФ-коды, т.к. появляется возможность выделения некоторых специальных способов представления чисел.

Подобные представления могут быть получены для всех действительных чисел и их совокупность образует множество рабочих или запрещенных кодовых комбинаций. Все остальные будем считать запрещенными и их появление будет свидетельствовать об ошибке.

Этот принцип можно в дальнейшем положить в основу сквозного контроля всех устройств и блоков, передающих, обрабатывающих, хранящих и отображающих информацию.

Показано, что для заданного целого $S > 0$ и любого натурального $n > 1$ имеет место соотношение :

$$\varphi_S(S+n) = (-1)^n \varphi_S(S+n-1) - \varphi_S(n-2) - \varphi_S(n-3-S) - \varphi(S+n-k(S+1)-1) \quad / 2 /$$
 где k - целое число, при котором функция $f = S+n-k(S+1)-1 \geq S$, имеет наименьшее значение.

Из / 2 / следует, что любое число, положительное или отрицательное число T может быть представлено в виде

$$T = \varphi_S(S+1) \pm \epsilon$$

где $0 < \epsilon \leq \varphi_S(1)$, если T - положительное число и
 $0 \leq \epsilon \leq \varphi_S(i-1)$, если T - отрицательное число.

Очевидно, что в силу / I / существует несколько способов последовательного разложения остатка ϵ . Каждая из этих различных последовательностей дает свою форму представления.

Для установления возможности подобного получения, были сформулированы требования к формам представления и исследованы алгоритмы их формирования. Была также доказана теорема о том, что для любого положительного или отрицательного числа M при некотором целом i существует представление M в виде:

$$M = a_k \varphi_S(k) + a_{k-1} \varphi_S(k-1) + \dots + a_1 \varphi_S(1) + a_0 \quad / 3 /$$

где $a_j \in \{1, -1\}$, $a_j \in \{1, 0, -1\}$ для всех $0 \leq j < k$, а $\varphi_S(n)$, где $0 \leq n \leq k$, вычисляется по рекуррентному соотношению :

$$\varphi_S(n) = \begin{cases} 0, & \text{при } n < 0 \\ 1, & \text{при } n = 0 \\ \varphi_S(n-1) + \varphi_S(n-2), & \text{при } n > 0 \end{cases}$$

Алгоритм получения данной формы по / 3 / аналогичен алгоритму взвешивания неизвестной величины на рычажных весах, когда уравновешивающие гири разрешается располагать на двух чашках, причем, гири со знаком, равным знаку взвешиваемого объекта, располагаются на противоположной чашке, а гири с противоположным знаком на чашке, где находится взвешиваемый объект.

При подобной процедуре следующий разряд либо включается, либо нет в отличие от известной процедуры поразрядного уравновешивания, когда следующий разряд включается, а затем, в зависимости от результатов сравнения, либо выключается, либо нет.

В работе показано, что переход от формы представления чисел, в которой имеется не менее одного нуля между ближайшими единицами и определенной как М-форма МФ-кода, к любой другой осуществляется при помощи специфических микроопераций - свертки и развертки.

Сверткой двоичных разрядов a_{p+s+1} и a_{p+1} в двоичный разряд a_p определим операцию, протекающую в соответствии со следующими условиями: если в момент времени t $a_p(t) = 0$, а $a_{p+s+1}(t) = a_{p+1}(t) = 1$, то в момент времени $t+1$ происходит инвертирование значений этих разрядов, т.е. $a_p(t+1) = 1$, а $a_{p+1}(t+1) = a_{p+s+1}(t+1) = 0$.

Разверткой двоичного разряда a_p в двоичные разряды a_{p+1} и a_{p+s+1} будем называть операцию, протекающую противоположно операции свертки.

Как показано в работе, отличительным свойством описанных выше микроопераций от аналогичных микроопераций в p -кодах Фибоначчи является, во-первых, их противоположная направленность, а во-вторых, число различных форм представления в МФ-кодах значительно больше числа форм представления в p -кодах Фибоначчи.

Важно еще раз подчеркнуть, что обе указанные операции не приводят к изменению величины отображаемого числа.

Целенаправленное использование указанных операций позволяет получить формы представления чисел с заранее заданными свойствами.

Так, если однократно развернуть каждую единицу исходной М-формы МФ-кода, то получим форму, в которой число единиц четно. Данная форма, определяемая в дальнейшем как Е-форма МФ-кода аналогична классическому двоичному представлению с контролем по четности, однако не требует специального разряда.

Соотношение / 1 / позволяет получить форму, содержащую признак четности или нечетности не числа единиц в форме МФ-кода, а признак четности или нечетности самого числа, отображаемого этой формой. Дей-

ствительно, модули чисел, получаемых из этого соотношения образует ряд Фибоначчи, в котором за каждым двумя подряд идущими нечетными числами следует четное число. Это позволяет ввести определение четности числа в зависимости от того, в каких разрядах находятся единицы. Подобная форма определена как Р-форма МФ-кода.

Последовательное чередование микроспераций свертки и развертки позволяет получить формы, в которых устанавливается определенное соотношение между количеством нулей и единиц. Наиболее эффективными свойствами обладает форма, в которой при четном количестве разрядов /включая и разряд с весом "0"/ число единиц равно числу нулей. Подобная форма определена как R-форма МФ-кода.

В данной главе определены также формулы и произведен расчет ошибкообнаруживающей способности при использовании различных форм МФ-кода. Установлено, что наивысший интегральный коэффициент обнаружения ошибок имеет М-форма МФ-кода. Если же учитывать кратность обнаруживаемой ошибки, то М-форма МФ-кода позволяет крайне плохо обнаруживать ошибки малой кратности.

R-форма имеет несколько худшие показатели по интегральному коэффициенту обнаружения ошибок, который можно оценить по формуле:

$$S_{обн} = 1 - \frac{C_n^{1/2}}{2^n}$$

однако позволяет в случае симметричного канала обнаруживать все ошибки нечетной кратности и частично ошибки четной кратности ξ за исключением "вертушек" /равное количество переходов $0 \rightarrow 1$ и $1 \rightarrow 0$ /.

Для асимметричного канала R-форма МФ-кода является совершенной, т.е. позволяет обнаруживать ошибки любой кратности.

В диссертационной работе проведено исследование МФ-кода при передаче его по волоконно-оптическим линиям связи.

Была определена специфика во взаимодействии между аналоговым каналом и цифровой информацией, передаваемой по этому каналу, с учетом того факта, что цифровой канал характеризуется статистикой потока битов и кодированием, которое к нему может быть применено, а аналоговый канал характеризуется импульсными сигналами и их спектрами.

Дан анализ известных методов кодирования для ВОЛС. Было определено, что наилучшие интегральные показатели имеют бифазные коды типа Манчестер-1 и Манчестер-2 и коды типа $11V11V$, хотя последние относятся к классу табличных и делают невозможной процедуру вариации разрядности информационных посылок без изменения кода. Эти коды также не позволяют выполнять в них арифметические операции.

Было установлено, что использование волоконно-оптического

тракта позволяет не накладывать ограничения на ширину спектра кодовых посылок, однако электронно-оптические приемно-передающие узлы накладывают ограничения на полосу пропускания в области низких и высоких частот. Поэтому структура информационного потока, т.е. последовательность нулей и единиц в каждой из передаваемых кодовых посылок, продолжает играть для ВОЛС существенную роль.

В этой связи был продолжен поиск эффективных форм представления для МФ-кода.

В начале был проведен анализ при использовании описанных ранее различных форм с учетом максимальной и текущей диспаратности D . При этом тот способ кодирования будет лучше с точки зрения спектральных характеристик, который позволяет получить $D_{max} = 0$ и $D_{текущ}$ лежащее в минимальном диапазоне.

Установлено, что М-форма, M_{ax} -форма, Е-форма и Р-форма в этом отношении далеки от совершенства.

Для R-формы $D_{max} = 0$, однако $D_{текущ}$ имеет разброс от 0 до $n/2$ /где n -разрядность кодовой посылки/.

Уменьшение длин серий одноименных импульсов ведет соответственно к уменьшению количества тактовых интервалов, составляющих кодовые посылки R-формы МФ-кода на величину $1/n/2 - 2 \cdot \mathcal{E}$. Если добиться, чтобы длина серий одноименных импульсов не превышала трех, то в кодовых посылках будут присутствовать только три типа временных интервалов: \mathcal{E} , $2\mathcal{E}$ и $3\mathcal{E}$.

Было доказано, что путем последовательного применения микроопераций свертки и развертки возможно получение форм с длинами серий нулей и единиц не более трех.

Данная форма определена как RS-форма МФ-кода. Разработана блок-схема алгоритма получения этой формы из М-формы через R-форму.

Современные СВС на базе ВОЛС являются в большинстве случаев многоканальными. Поэтому проведено исследование способности RS-формы МФ-кода к самосинхронизации, что позволяет организовать иерархические системы синхронизации, обеспечивающие надежное восстановление информации, уплотнение и разделение каналов.

Полученные результаты показывают, что RS-форма МФ-кода позволяет достигнуть коэффициента самосинхронизации близкого к коэффициенту самосинхронизации кода Манчестер.

В разрабатываемой СВС, как и в большинстве известных, кодовые информационные посылки передаются одна за другой без специальных

разделителей. Поэтому на их границах могут возникнуть серии из шести подряд идущих нулей или единиц, что может в два раза увеличить диапазон изменения текущей диспаратетности.

Для исключения подобной ситуации разработана специальная *RSP*-форма, в которой накладываются ограничения на начало и конец каждой кодовой комбинации.

Установлено, что каждая кодовая комбинация должна начинаться только одной из последовательностей символов: $110 \dots$, $01 \dots$, $10 \dots$; а заканчиваться: $\dots 01$, $\dots 10$.

В таблице I приведены примеры всех исследованных форм.

Проблему цикловой синхронизации предлагается решать за счет выбора маркера из подмножества чисел, модуль которых лежит в диапазоне: $|\varphi_2(n+1)| \geq N > |\varphi(n)|$.

В работе определено подмножество маркерных *RSP*-форм МФ-кода, позволяющих сделать равным нулю вероятность сбоя по синхронизации.

В диссертационной работе рассматриваются вопросы разработки арифметических и логических устройств, позволяющих обрабатывать информацию, представленную в МФ-коде. В составе СВС они выполняют функции сбора, преобразования, обработки и промежуточного / конечного / хранения информации, поступающей как от первичных источников, так и от других вычислительных устройств/узлов/ системы.

При проектировании арифметических устройств стремятся, как правило, к получению минимального набора микроопераций. В то же время необходимо обеспечить на этих микрооперациях реализацию, достаточно большого числа арифметико-логических операций.

Один из основных приемов, являющийся компромиссом между этими противоречивыми требованиями, заключается в применении одних и тех же микроопераций и использования одного и того же оборудования для различных арифметико-логических операций.

В качестве возможного, функционально полного, набора таких микроопераций для МФ-кода выбраны микрооперации свертки и развертки над кодовым представлением чисел.

В диссертационной работе доказывается не только возможность выполнения операций сложения, вычитания, умножения, деления, логических операций для различных форм МФ-кода, но и возможность их выполнения на основе микроопераций свертки и развертки.

Наибольшее внимание уделено разработке структурных схем для *RSP*-формы МФ-кода. Это представляется наиболее целесообразным, т. к. анализ, проведенный в предыдущих главах показал, что она является наиболее эффективной при передаче информации по ВОЛС.

Таблица I.

$\varphi(l) = \begin{cases} 0, & \text{при } l < 0 \\ 1, & \text{при } l = 0 \\ -1, & \text{при } l = 1 \\ \varphi(l-2) - \varphi(l-1), & \text{при } l > 1 \end{cases}$		$\begin{array}{c} \dots 1 \ 0 \ 0 \ \dots \rightarrow \dots 0 \ 1 \ 1 \ \dots \\ \text{развертка} \\ \dots 0 \ 1 \ 1 \ \dots \rightarrow \dots 1 \ 0 \ 0 \ \dots \\ \text{свертка} \end{array}$
Веса разрядов Число	89 -55 34 -21 13 -8 5 -3 2 -1 1 0	Формы
$N = 5$	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0	M-форма, с минимальным кол-м единиц
$N = 5$	1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1	Max-форма, с минимальным кол-м нулей
$N = 5$ $N = -32$ $N = 21$	1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	R-форма, с одинаковым кол-м нулей и единиц
$N = 5$ $N = -32$ $N = 21$	1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1	RS-форма, с одинаковым кол-м нулей и единиц и ограничениями по длинам серий.
$N = 5$ $N = -32$ $N = 21$	1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1	RSP-форма, с одинаковым кол-м нулей и единиц с ограничениями по длинам серий и началом/концом кодовой комбинации
$N = -32$ $N = 21$	0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1	E-форма, с четным кол-м единиц P-форма, с контролем по четности числа

Для сумматора *RSP*-форм МЭ-кода разработан алгоритм сложения, позволяющий контролировать не только исходные операнды и сумму, но и промежуточные результаты при сложении по алгоритму с перемещением единиц.

При этом при выполнении одной операции свертки количество единиц в кодовой комбинации уменьшается на одну, а при выполнении операции развертки - на одну увеличивается.

Поэтому для слагаемого, в которое производится перемещение единиц, можно установить соотношение:

$$Neg = N_{cb} = const = \frac{n}{2} \quad / 4 /$$

где *n* - разрядность кода /четное число/, *Neg* - число единиц в коде слагаемого при наличии перемещения единиц из второго слагаемого, *N_{cb}* - количество выполненных операций свертки.

Таким образом, каждое перемещение единицы должно вызывать выполнение одной операции свертки. Тогда результат сложения всегда будет в *R*-форме, а конечное число операций свертки должно быть равно *n/2*. Затем производится перевод *R*-формы в *RSP*-форму.

Операция вычитания может выполняться в МЭ-коде как операция непосредственного вычитания. Здесь используются микрооперации свертки, развертки и микрооперация "стирания", заключающаяся в уничтожении единиц в одноименных разрядах обоих операндов.

В таблице 2 приведен пример выполнения операции вычитания для чисел *A* = -29 и *B* = 53, представленных в *R*-форме МЭ-кода.

Таблица 2.

Веса разрядов	89	-55	34	-21	13	-8	5	-3	2	-1	1	0
Операнды												
<i>B</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A</i>	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
<i>A₁</i>	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
<i>A₂</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
<i>A₃</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	
<i>A₄</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	
<i>A₅</i>	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	
<i>A₆</i>	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	

Результат выполнения операции вычитания равен $A - B = /-29/ - /+ 53/ = - 82$.

Данный пример показывает следующие отличия в выполнении операции вычитания для R -формы МТ-кода:

- в каждом такте производится только одна операция "стирания";
- после выполнения операции "стирания" производится операция развертки, причем управление этой операцией осуществляется с использованием информации о местонахождении единиц в коде числа B .

Таким образом, на каждом такте работы сохраняется свойство равновесности для уменьшаемого и, в конечном итоге, для результата.

Время вычитания может быть определено по следующей формуле :

$$T_{\text{выч}} = T_{\text{инв.}} + T_{\text{разв.}} + T_{\text{конт.}}$$

где $T_{\text{инв.}}$ - время необходимое для инвертирования единиц в одноименных разрядах;

$T_{\text{разв.}}$ - время необходимое для анализа, выбора разряда, единица в котором подлежит развертке, и проведение операции развертки;

$T_{\text{конт.}}$ - время необходимое для контроля результата на равновесность.

Время инвертирования не зависит от вида кодов операндов, т.к. при подобном вычитании всегда происходит инвертирование половины всех разрядов кода, т.е. $T_{\text{инв.}} = \frac{n}{2} T_{\text{инв.}}^{\text{одн}}$, где n -четно и равно разрядности кода, а $T_{\text{инв.}}^{\text{одн}}$ - время выполнения одной элементарной операции инвертирования.

Для наиболее неблагоприятного случая, когда необходимо производить развертку над всеми разрядами кода, время развертки может быть оценено по следующей формуле:

$$T_{\text{разв. так}} \approx \frac{n}{2} (T_{\text{ан.}} + T_{\text{р.}})$$

где $T_{\text{ан.}}$ - время выполнения элементарной операции выбора разряда, содержимое которого подлежит развертке;

$T_{\text{р.}}$ - время необходимое для выполнения одной элементарной операции развертки.

Аналогичным образом выполняется контроль остальных арифметических операций.

Для всех арифметико-логических операций получены алгоритмы выполнения для RSP -формы и синтезированы основные структурные схемы.

Для взаимодействия с устройствами, работающими в традиционной двоичной системе счисления, разработаны требуемые преобразователи кодов.

В приложении проведено машинное моделирование арифметических устройств, при использовании различных форм МЭ-кода, выполнен расчет коэффициента обнаружения для ошибок различной кратности, и расчет коэффициента самосинхронизации для *RSP*-формы МЭ-кода.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Доказана возможность использования МЭ-кода как системного кода, позволяющего единообразно осуществлять контроль за правильностью информации на всех этапах её прохождения по СВС.

2. Доказана возможность получения различных, с заранее установленными свойствами кодовых изображений чисел, представленных в МЭ-коде.

3. Оценки ошибкообнаруживающей способности, спектральных характеристик и свойств самосинхронизации делает предпочтительными использование при передаче по ВОЛС *RSP*-форму МЭ-кода.

4. Определены простые правила перехода от одной формы МЭ-кода к другой с использованием специфических фибоначчиевых микроопераций - свертки и развертки над кодовым представлением.

5. Установлено, что *R*-форма МЭ-кода позволяет осуществлять контроль на промежуточных этапах выполнения арифметических операций. Аппаратурные затраты на реализацию вычислительных устройств при использовании *R*-формы МЭ-кода ниже, чем при использовании *RSA*-формы МЭ-кода.

6. Контроль логических операций возможно проводить только на уровне контроля за формой входных операндов.

7. Получены прикладные программы, позволяющие производить моделирование арифметических устройств, функционирующих в МЭ-коде для различных форм этого кода.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Лысенко Г.Л., Гним А. и др., Схемотехника оптоэлектронных логических элементов. Киев, Укр. НИИТИ, 1991 - 20 с.

2. Лысенко Г.Л., Гним А. и др., Схемотехника оптоэлектронных триггерных элементов. Киев, Укр. НИИТИ, 1991 - 29 с.

3. Гним А., Подход к построению надежной локальной вычислите-

льной сети. Киев, 1993 - 8 с. / ГНТБ Украины / .

4. Гним А., Об одном классе кодов для локальной вычислительной сети. Киев, 1993 - 15 с. / ГНТБ Украины / .

Подписано в печать 04.05.94г формат 60x84/16

Бумага писчая. Усл. печ.л. 1,0. Тираж 100экз. Заказ № 746

Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г. Киев, Сахсаганского, 1

451145

AB 30.050
AB 30.050