

На правах рукописи

ГЕРОН Сергей Валентинович

**АЛГОРИТМЫ ГОЛОСОВАНИЯ
В РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (промышленность)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2008

Работа выполнена на кафедре вычислительной техники и защиты информации
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель д-р техн. наук, проф.
Фрид Аркадий Исаакович

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.
Крымский Виктор Григорьевич
канд. техн. наук
Распопов Евгений Викторович

Ведущая организация ОАО НИИ «Солитон», г. Уфа

Защита состоится 31 октября 2008 г. в 14 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 30 сентября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В. В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для удовлетворения высоким требованиям, предъявляемым к надежности аппаратуры и программного обеспечения в современных информационных системах, часто используется метод многократного резервирования.

Примерами резервированных систем обработки информации, рассматриваемых в данной работе, являются:

1. Системы с параллельным и независимым выполнением одной и той же задачи несколькими вычислителями, отличающимися друг от друга вплоть до наборов системной логики и фирмы изготовителя.

2. Системы, спроектированные разными группами инженеров с использованием различных языков и технологий программирования и работающие на основе параллельного выполнения нескольких функционально идентичных программных модулей, разработанных по одной спецификации.

3. Системы, использующие несколько различных физических каналов при передаче информации в сетях связи специального назначения.

4. Системы, в которых измерение некоторой физической величины осуществляется с использованием нескольких датчиков, основанных на различных принципах.

В перечисленных примерах в заданных контрольных точках необходимо принимать решение о выборе одного результата из нескольких, полученных функционально идентичными, но максимально отличными в остальном резервными модулями. Для решения данной проблемы хорошо зарекомендовали себя алгоритмы голосования, значительный вклад в развитие которых внесли такие отечественные и зарубежные ученые как Ю. И. Журавлев, П. Р. Лорцзак, М. А. Воук и др.

Наибольшее внимание в мировой науке было уделено алгоритмам голосования, выбирающим между результатами, принадлежащими целочисленному множеству малой мощности. Вместе с тем, в современной практике все чаще возникает необходимость выбора между ответами, принадлежащими множеству вещественных чисел. Вследствие большой мощности таких множеств задача голосования приобретает неопределенность и становится трудноформализуемой. Одним из решений этой задачи является алгоритм голосования с использованием нечеткой логики, предложенный Д.Ф.Макалистером, который впоследствии был развит в работах В.А.Морозова.

Однако, существующие алгоритмы голосования не в состоянии обеспечить высокую достоверность результатов на всем пространстве параметров распределения ответов, что объясняется недостаточной изученностью и проработкой поставленной проблемы. При решении трудноформализуемых задач нашли широкое применение методы искусственного интеллекта, в частности нечеткая логика и нейронные сети. Поэтому представляется целесообразным изучение возможности применения нечеткой логики и нейронных сетей для

решения задачи голосования в системах, результаты функционирования которых принадлежат множеству вещественных чисел.

Алгоритм голосования определяет результат работы всей резервированной системы в целом, поэтому ошибка на этапе голосования может привести к значительным материальным, финансовым и людским потерям. Таким образом, задача исследования и разработки алгоритмов голосования с целью повышения достоверности результатов работы резервированных систем, является актуальной.

В данной работе предложено дальнейшее развитие алгоритмов голосования на основе нечеткой логики и проведены исследования по разработке новых алгоритмов голосования на основе нейронных сетей.

Объект диссертационного исследования – блок принятия решений (голосования) в резервированных системах обработки информации.

Предмет диссертационного исследования – алгоритмы голосования на основе нечеткой логики и нейронных сетей.

Целью диссертационной работы является повышение достоверности алгоритмов голосования в резервированных системах обработки информации, результаты работы которых принадлежат множеству вещественных чисел.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе **сформулированы следующие задачи:**

1. Разработать программное обеспечение, позволяющее проводить численные эксперименты и анализировать достоверность алгоритмов голосования при наличии ошибочных результатов от резервных модулей.

2. Разработать алгоритм голосования на основе нечеткой логики.

3. Разработать алгоритм голосования на основе нейронных сетей, предложить методику подготовки исходных данных для повышения достоверности голосования.

4. Исследовать достоверность предложенных алгоритмов голосования методом численного моделирования и разработать методику голосования на основе алгоритмических композиций.

Методы исследования основаны на использовании методов системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории нечетких множеств, нейроинформатики, теории планирования эксперимента, имитационного моделирования, теории информационных систем и обработки данных.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующем:

1. Разработан алгоритм голосования на основе нечеткой логики, отличающийся введением блока вычисления суммарной меры подобия, что позволяет отказаться от необходимости выбора порога дефаззификации λ и допуска ε , субъективно влияющих на эффективность голосования и используемых традиционно в алгоритмах на основе нечеткой логики.

2. Предложен алгоритм голосования на основе многослойного персептрона, отличающийся методикой подготовки результатов работы модулей для осуществления голосования с предварительным ранжированием по их взаим-

ному расположению на декартовой оси координат и последующим вычислением разностей координат между ними, что позволяет повысить достоверность голосования в резервированных системах обработки информации.

3. Разработана методика голосования на основе алгоритмической композиции в соответствии с областью компетенции каждого из рассмотренных алгоритмов, позволяющая повысить достоверность голосования на всем пространстве параметров распределения ответов резервных модулей.

Практическая ценность диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработаны алгоритмы на основе нечеткой логики и нейронных сетей, позволяющие повысить достоверность результатов голосования на 1-2%, что приводит к уменьшению количества отказов в условиях моделируемого примера на 30-40%.

2. Разработана методика голосования на основе алгоритмической композиции алгоритмов голосования в соответствии с их областью компетенции, позволяющая повысить достоверность выбора ответов на всем пространстве их параметров распределения на 1-2%, что приводит к уменьшению количества отказов в условиях моделируемого примера на 30-40%.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в ОАО НИИ «Солитон» при разработке аппаратуры каналообразования и коммутации с адаптивным конфигурированием и высокой помехообрывоустойчивостью для сетей связи специального назначения.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм голосования на основе нечеткой логики для использования в резервированных системах обработки информации, результаты которых принадлежат множеству вещественных чисел.

2. Алгоритм голосования на основе многослойного персептрона, отличающийся методикой подготовки результатов работы модулей для осуществления голосования с предварительным ранжированием по их взаимному расположению на декартовой оси координат и последующим вычислением разностей координат между ними.

3. Результаты анализа разработанных алгоритмов на основе численного моделирования и методика голосования на основе алгоритмической композиции известных алгоритмов голосования.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на: 10-й Международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2004); 2-й Всероссийской научно-технической конференции «Искусственный интеллект в XXI веке» (Пенза, 2004); Международной научной конференции «XXXII Гагаринские чтения» (Москва, 2006); 14-м Всероссийском семинаре «Нейроинформатика и ее приложения» (Красноярск, 2006); семинарах молодых ученых и аспирантов УГАТУ (Уфа, 2007–2008); VII – IX Международных семинарах по компьютерным наукам и информационным технологиям (CSIT) (Уфа, 2005, 2007; Карлсруэ, 2006); Всероссийских научно-технических конференциях «Нейроинформатика» (Москва, 2006–2007).

Публикации. Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 16 работах, включая 3 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, 12 публикаций в журналах, материалах Всероссийских и Международных конференций и в 1 свидетельстве о регистрации программы для ЭВМ в Роспатенте.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка использованной литературы из 115 наименований, содержит 66 рисунков и 9 таблиц. Общий объем диссертации составляет 142 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации обосновывается актуальность темы, формулируется цель работы и задачи исследования, обсуждается новизна и практическая ценность выносимых на защиту результатов.

В первой главе проводится анализ существующих алгоритмов голосования, выявляются их достоинства и недостатки. Обосновывается необходимость применения нечеткой логики и нейронных сетей в алгоритмах голосования.

Известным способом введения избыточности является использование нескольких функционально идентичных, но отличных в остальном и независимых резервных модулей (рис. 1).

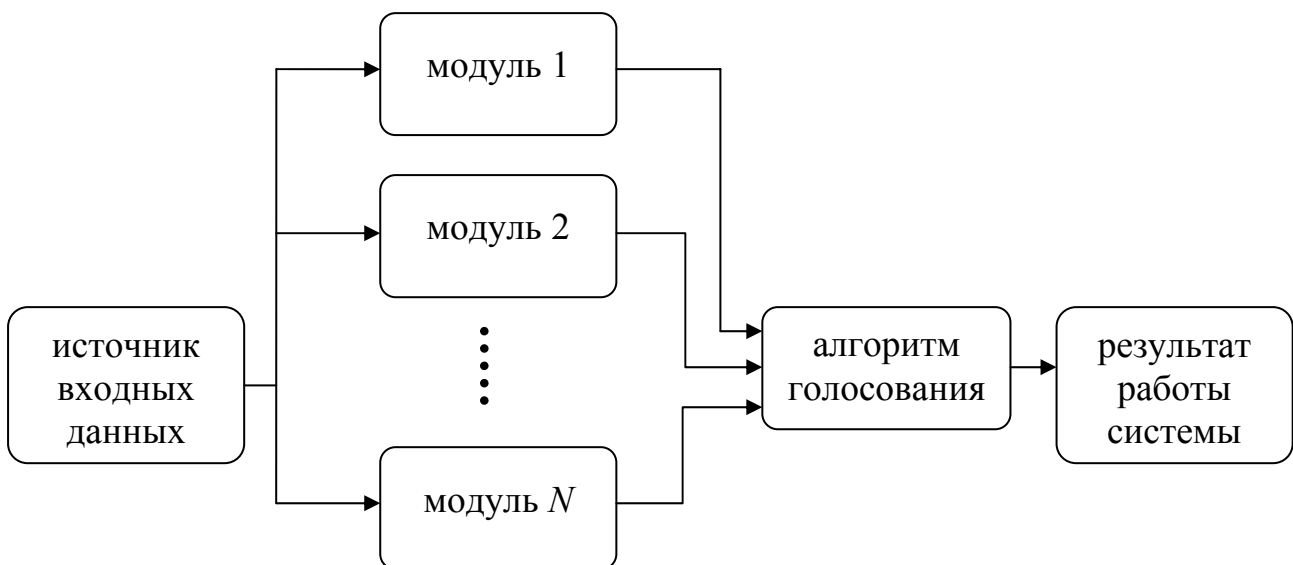


Рисунок 1 – Модель резервированной системы обработки информации

Особенностью таких систем является то, что они позволяют маскировать неисправности в отдельных резервных модулях за счет того, что каждый из них функционально эквивалентен остальным, но отличается от них своей конструкцией, устройством и принципами работы. Поэтому предполагается, что ошибки, проявившиеся в одном модуле, будут отсутствовать в остальных.

Рассматриваются особенности резервированных систем обработки информации, ответы которых принадлежат множеству вещественных чисел. При-

водится анализ эффективности наиболее распространенных алгоритмов голосования, используемых в таких системах: вычисление среднего, выбор медианы, выбор 2-из- N , вычисление взвешенного среднего с использованием различных алгоритмов определения веса каждого ответа, дискретные и нечеткие алгоритмы голосования на основе разбиения множества ответов на подмножества эквивалентных элементов.

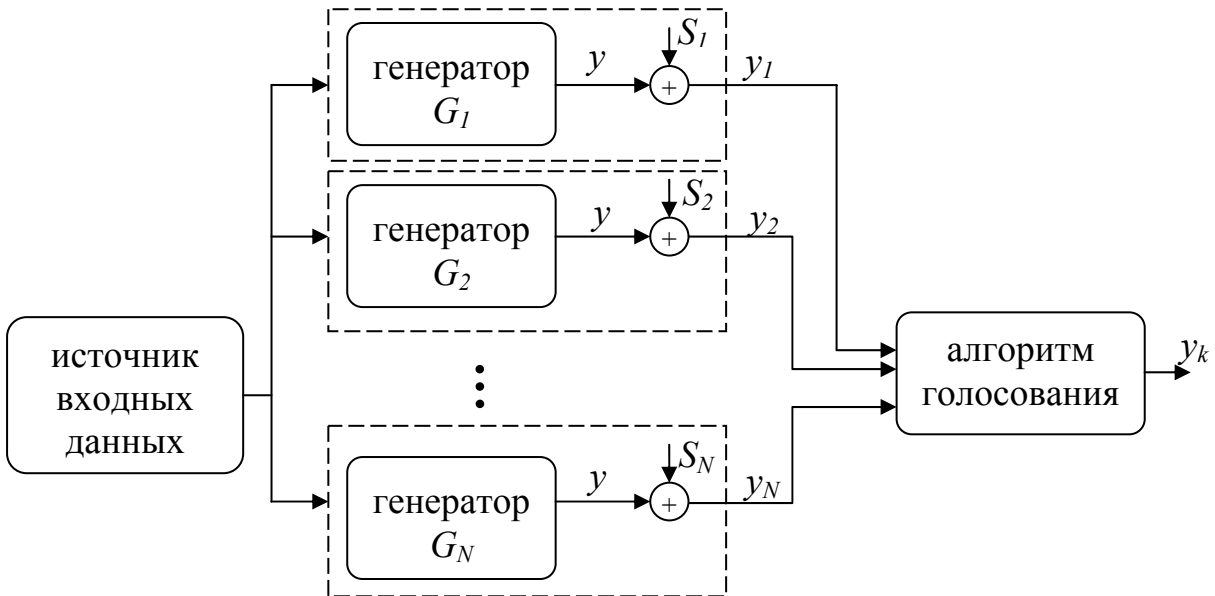


Рисунок 2 – Структура программной модели функционирования резервированной системы

С целью проведения численных экспериментов для сравнительного анализа существующих алгоритмов голосования разработана программная модель функционирования резервированной системы, позволяющая исследовать поведение алгоритмов голосования в условиях одного или нескольких ошибочных ответов при различных параметрах распределения последних (рис. 2). Результат работы каждого модуля представляется в виде истинного результата y , генерируемого генераторами $G_i (i = \overline{1, N})$, и аддитивного шума S_i . В качестве истинного результата моделируется функция $y = k(1 + \sin(t))$, где t – время, k – масштабный коэффициент. Аддитивный шум представляет собой последовательность случайных чисел с нормальным или равномерным законом распределения. Задавая величину среднеквадратичного отклонения ($\text{СКО}_{\text{корр}}$), получаем результат y_i , такой что $y - \varepsilon \leq y_i \leq y + \varepsilon$, где ε – величина допуска, в рамках которого работа модуля считается корректной. Задавая величину среднеквадратичного отклонения ($\text{СКО}_{\text{некорр}}$), получаем результат y_i , такой, что $y_i \leq y - \varepsilon$ или $y + \varepsilon \leq y_i$, при этом работа i -го модуля считается некорректной (вследствие сбоя, отказа или действия помехи). Полученные ответы подаются на вход алгоритма голосования. Если результат голосования находится в интервале $[y - \varepsilon, y + \varepsilon]$, то голосование признается успешным, иначе считается, что произошел отказ системы. Описанная методика реализована в виде разработанного алгоритма и программного обеспечения.

Пример функций плотности распределения вероятностей ответов представлен на рис. 3. Моделирование повторяется 1000000 раз для каждого известного алгоритма голосования, таким образом собирается статистика достоверности голосования при заданных параметрах распределения ответов $СКО_{кор}$ и $СКО_{некор}$, которые выражаются в единицах относительно ε . Достоверность голосования определяется как процентное отношение количества успешных голосований к общему количеству повторений.

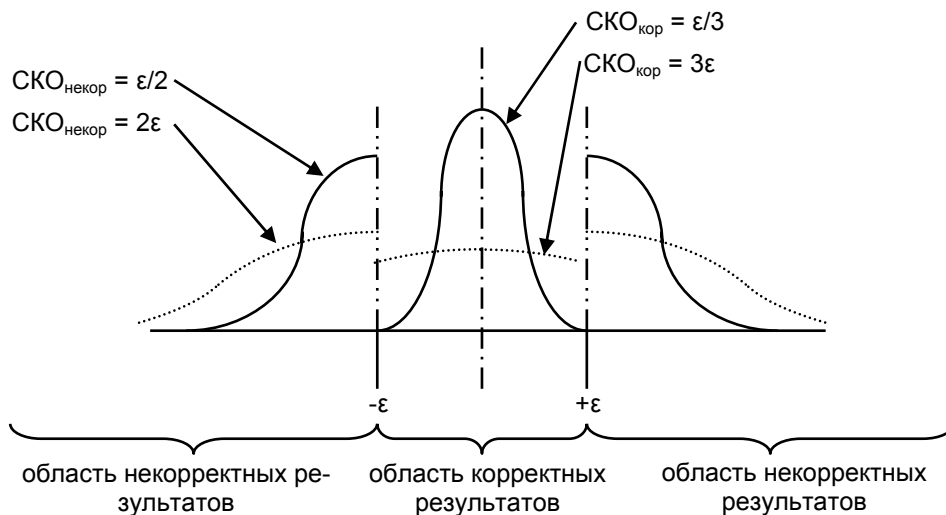


Рисунок 3 – Пример функций плотности распределения корректных и некорректных ответов при различных $СКО_{кор}$ и $СКО_{некор}$

Как видно из рис. 3, при изменении $СКО_{кор}$ и $СКО_{некор}$ изменяется характер расположения на декартовой оси корректных и некорректных ответов, что позволяет исследовать работу алгоритмов голосования в различных условиях эксплуатации при всевозможных помехах и отказах в резервных модулях.

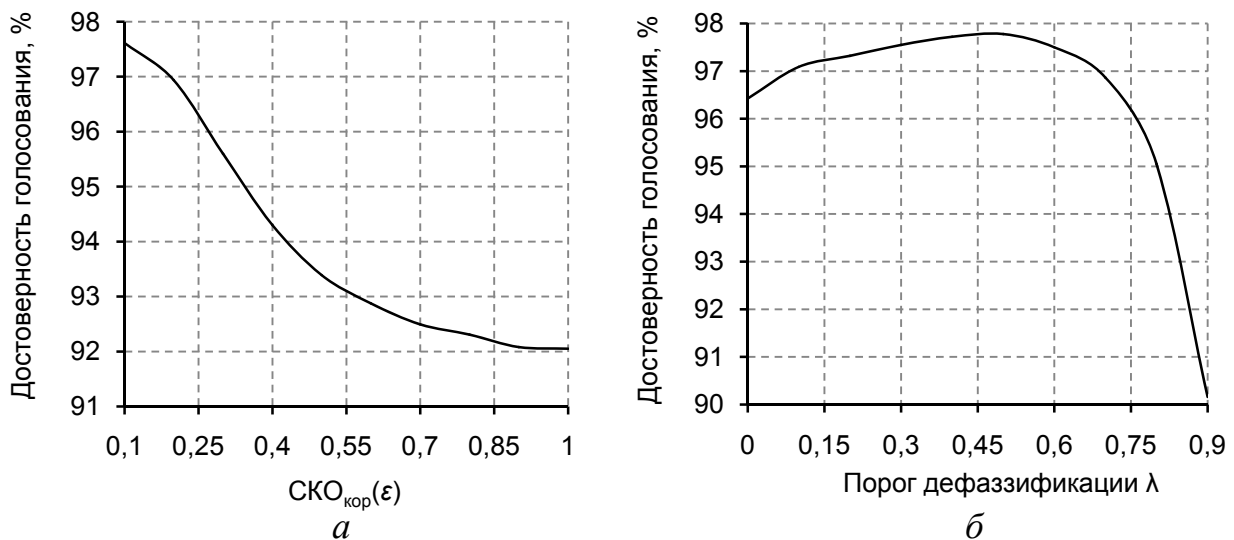


Рисунок 4 – Изменение достоверности существующего алгоритма голосования на основе нечеткой логики при: *a* – постоянных λ и ε в зависимости от $СКО_{кор}$; *б* – постоянных $СКО_{кор}$ и ε в зависимости от λ

Проведен анализ достоверности существующих алгоритмов голосования на основе нечеткой логики и выявлен их основной недостаток: необходимость выбора порога дефаззификации λ и допуска ε , используемого в качестве основания функций принадлежности, что не позволяет обеспечить одинаково высокую эффективность на всем диапазоне изменения ответов. Например, на рис. 4 продемонстрировано изменение достоверности алгоритма голосования при:

- а) увеличении $\text{СКО}_{\text{кор}}$ и постоянных λ и ε ;
- б) различных λ и постоянных $\text{СКО}_{\text{кор}}$ и ε .

Видно, что каждому значению $\text{СКО}_{\text{кор}}$ соответствует свое оптимальное значение λ , обеспечивающее максимальную достоверность алгоритма голосования, поэтому предлагается разработать алгоритм, позволяющий отказаться от выбора порога дефаззификации λ и допуска ε .

Вторая глава посвящена разработке нового алгоритма голосования на основе нечеткой логики, позволяющего отказаться от необходимости выбора порога дефаззификации λ и допуска ε , используемого в качестве основания функций принадлежности.

Один из наиболее известных алгоритмов голосования на основе нечеткой логики был предложен Д. Ф. Макалистером. Однако он обладает существенным недостатком – наличием двух параметров, которые необходимо задавать эксперту: допуском ε и порогом дефаззификации λ . Автором разработан алгоритм голосования, не требующий предварительного задания величины допуска ε и порога дефаззификации λ .

Пусть на входе алгоритма голосования имеются ответы $x_1 \dots x_N$ от N резервных модулей:

1. Каждому модулю $j=1 \dots N$ для учета предыстории голосования ставится в соответствие коэффициент доверия K_j , изначально равный 1.

2. Для каждой пары ответов рассчитывается мера подобия S_{ij} ($i, j = 1 \dots N; i \neq j$) следующим образом: каждому ответу задается функция принадлежности, формируемая равнобедренным треугольником высотой, равной 1, и основанием равным разности между максимальным и минимальным значением элементов ($x_{\max} - x_{\min}$) (рис. 5). Мера подобия двух ответов определяется как площадь, образованная пересечением соответствующих им функций принадлежности:

$$S_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \frac{|x_i - x_j|}{x_{\max} - x_{\min}}\right)^2, & x_{\max} - x_{\min} \neq 0, \\ 1 & , x_{\max} - x_{\min} = 0. \end{cases}$$

3. Каждому элементу ставится в соответствие суммарная мера подобия Sum_i , определяемая как сумма произведений коэффициента доверия остальных элементов K_j ($j=1 \dots N; j \neq i$) на соответствующую меру подобия с ними S_{ij} :

$$\text{Sum}_i = \sum_{j=1}^N (S_{ij} \times K_j).$$

4. В качестве результата голосования выбирается ответ $x_{i_{\text{рез-та}}}$, которому соответствует максимальная суммарная мера.

5. Для каждого резервного модуля коэффициент доверия K_j , увеличивается на меру подобия его ответа с результатом голосования: $K_j = K_j + S_{j i_{\text{рез-та}}}$, где $S_{j i_{\text{рез-та}}}$ – мера подобия между j -м ответом и результатом голосования. Периодически необходимо проводить нормализацию коэффициентов доверия для предотвращения их неограниченного роста.

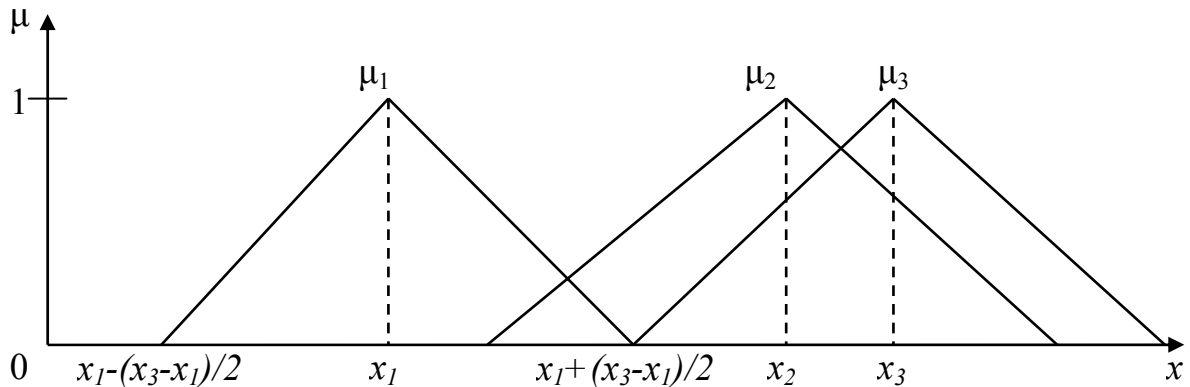


Рисунок 5 – Пример функций принадлежности ответов резервных модулей при $x_{\max} = x_3$ и $x_{\min} = x_1$

Проведенный сравнительный анализ показал значительное уменьшение количества немаскированных отказов в резервированной системе при применении разработанного алгоритма голосования на основе нечеткой логики в сравнении с известными алгоритмами голосования на основе нечеткой логики (рис. 6).

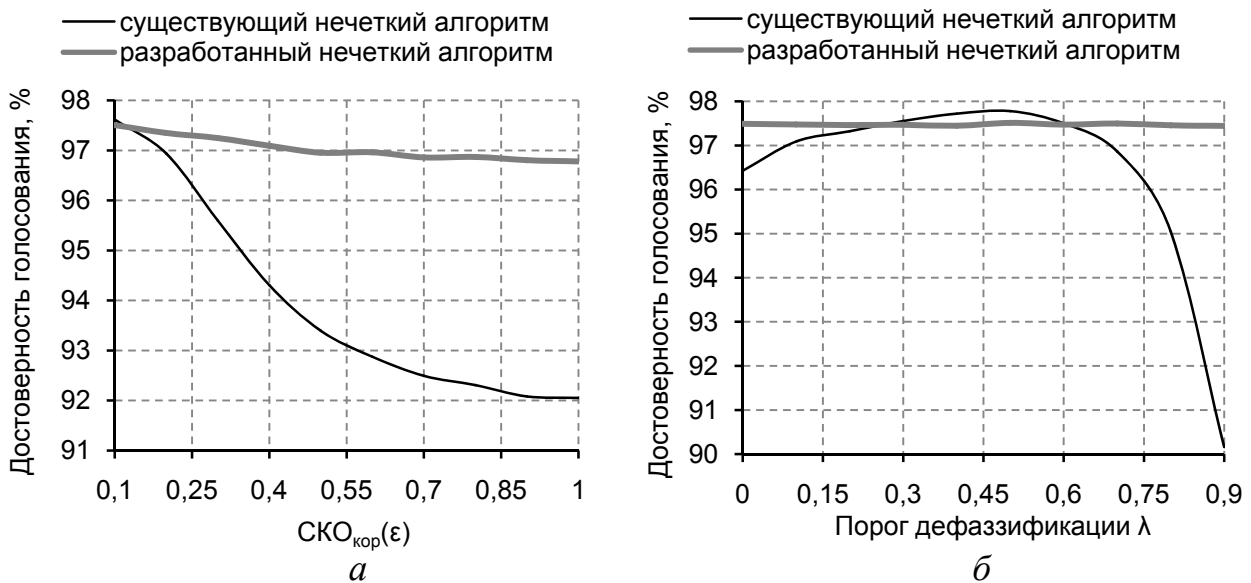


Рисунок 6 – Сравнение изменения достоверности алгоритмов голосования на основе нечеткой логики при: a – постоянных λ и ϵ в зависимости от $\text{СКО}_{\text{кор}}$; b – постоянных $\text{СКО}_{\text{кор}}$ и ϵ в зависимости от λ

Третья глава посвящена разработке нового алгоритма голосования на основе нейронных сетей. Основную сложность составляет выбор структуры нейронной сети, обучающей выборки и методики предварительной подготовки ответов перед входом в нейронную сеть.

Путем экспериментального подбора структуры сети прямого распространения для реализации голосования на примере системы из 5 резервных модулей был выбран многослойный персептрон со следующими характеристиками:

1. Входных сигналов: $N-1=4$.
2. Нулевой слой: содержит 4 псевдонейрона т.е. заменен на матрицу весовых коэффициентов.
3. Первый(скрытый) слой: состоит из 30 нейронов с тангенциальной активационной функцией. Пример выбора количества нейронов в скрытом слое приведен на рис. 7.
4. Выходной слой: состоит из $N=5$ нейронов с сигмоидальной активационной функцией.

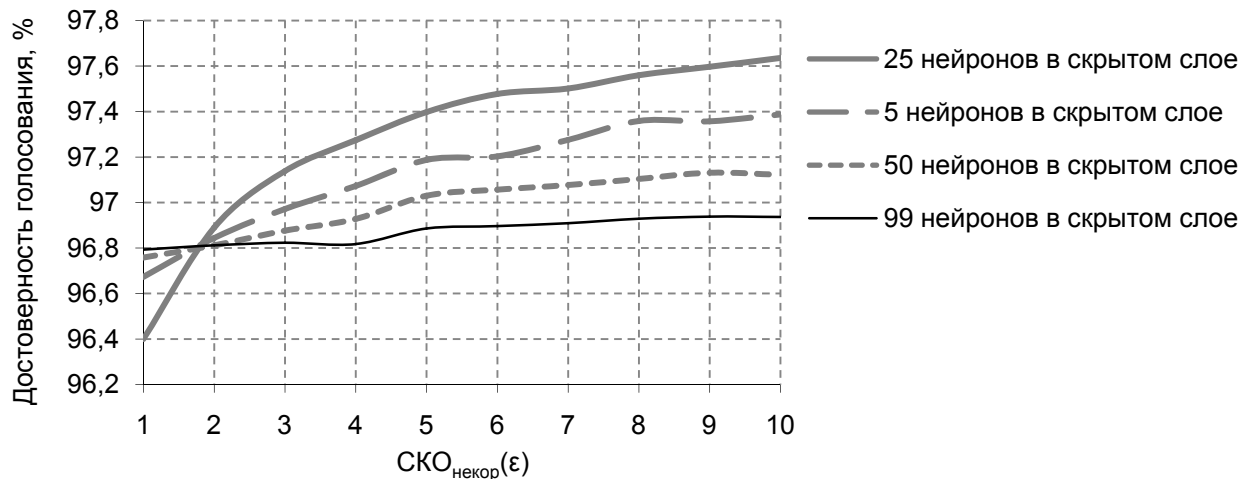


Рисунок 7 – Достоверность алгоритма голосования на основе нейронной сети при изменении количества нейронов в скрытом слое

Обучение осуществляется методом обратного распространения с помощью выборки, состоящей не менее чем из 1000 примеров, характеризующих работу системы при отказах в резервных модулях. Результатом голосования считается ответ того резервного модуля, соответствующий выходной нейрон которого генерирует максимальный уровень сигнала.

Выбор количества входных сигналов на 1 меньше общего количества резервных модулей обусловлен необходимостью предварительной обработки ответов перед входом в нейронную сеть. Разработанная методика подготовки ответов состоит из следующих этапов:

1. Ответы резервных модулей ранжируются по возрастанию: $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \leq x_5$, где x_i – ответ i -го резервного модуля.
2. Для каждой пары соседних по рангу ответов определяется разность между ними: $E_1 = |x_1 - x_2|$, $E_2 = |x_2 - x_3|$, $E_3 = |x_3 - x_4|$, $E_4 = |x_4 - x_5|$.

3. Вектор разностей: $I_i = E_i / \sqrt{\sum_{i=1}^4 E_i}$.

4. На вход нейронной сети подаются не сами ответы, а нормализованный вектор разностей между ответами $I_1 \dots I_4$.

Применение данной методики позволяет значительно повысить достоверность голосования (рис. 8).

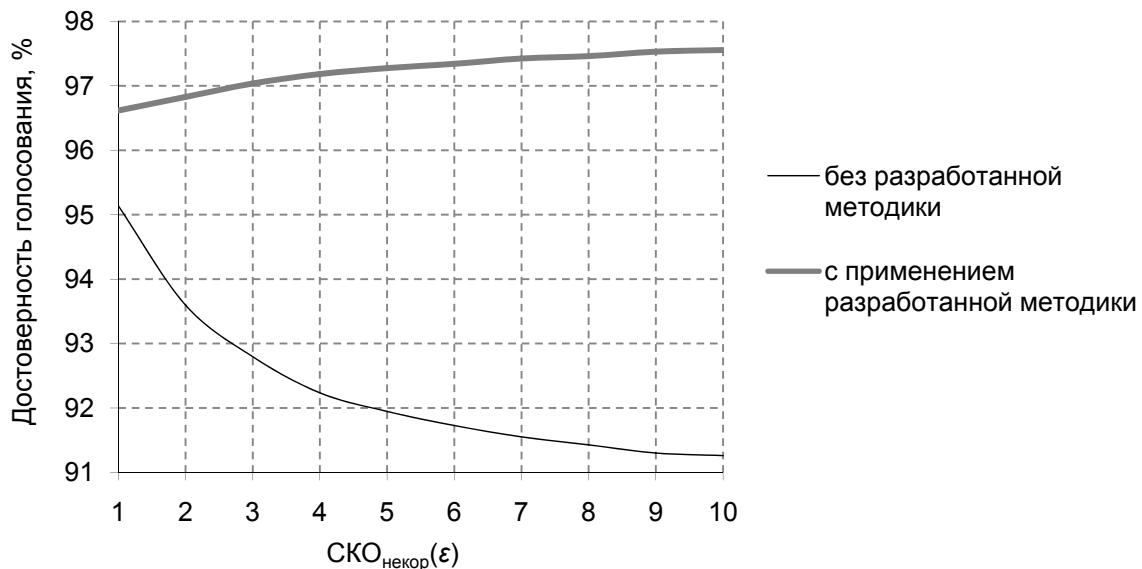


Рисунок 8 – Достоверность алгоритма голосования на основе нейронной сети с и без применения разработанной методики подготовки ответов

Следует отметить, что структура нейронной сети прямого распространения, т.е. число нейронов, выбрана на примере системы из 5 резервных модулей. При другом количестве модулей должна быть использована другая структура сети, т.е. число нейронов сети пропорционально количеству резервных модулей.

В четвертой главе исследуется достоверность предложенных алгоритмов голосования методом численного моделирования, предлагается методика голосования на основе алгоритмических композиций.

Анализ алгоритмов голосования показал, что каждому значению параметров распределения ответов соответствует свой алгоритм, обеспечивающий наибольшую достоверность результатов голосования. Например, на рис. 9 показано сравнение алгоритмов голосования при постоянном $СКО_{кор} = 0.3ε$ и различных $СКО_{некор}$.

Видно, что достоверность голосования каждого алгоритма изменяется при изменении параметров распределения ответов резервных модулей. Так при $СКО_{некор} = 1ε$ нейросетевое голосование повышает достоверность голосования на 0.8% относительно вычисления взвешенного среднего значения, однако при $СКО_{некор} = 10ε$ уже вычисление взвешенного среднего значения обеспечивает на 0.5% большую достоверность относительно нейросетевого голосования. Аналогично, нечеткое голосование обеспечивает повышение достоверности на 1.3% и

0.6% в сравнении с вычислением взвешенного среднего значения при $СКО_{некор} = 1\epsilon$ и $СКО_{некор} = 10\epsilon$, соответственно. Это, в соответствии с рис. 9, означает уменьшение количества отказов на $[(100-96.5) - (100-97.8)] * 100\% / (100-96.5) = 37\%$ для $СКО_{некор} = 1\epsilon$ и 37.5% для $СКО_{некор} = 10\epsilon$.

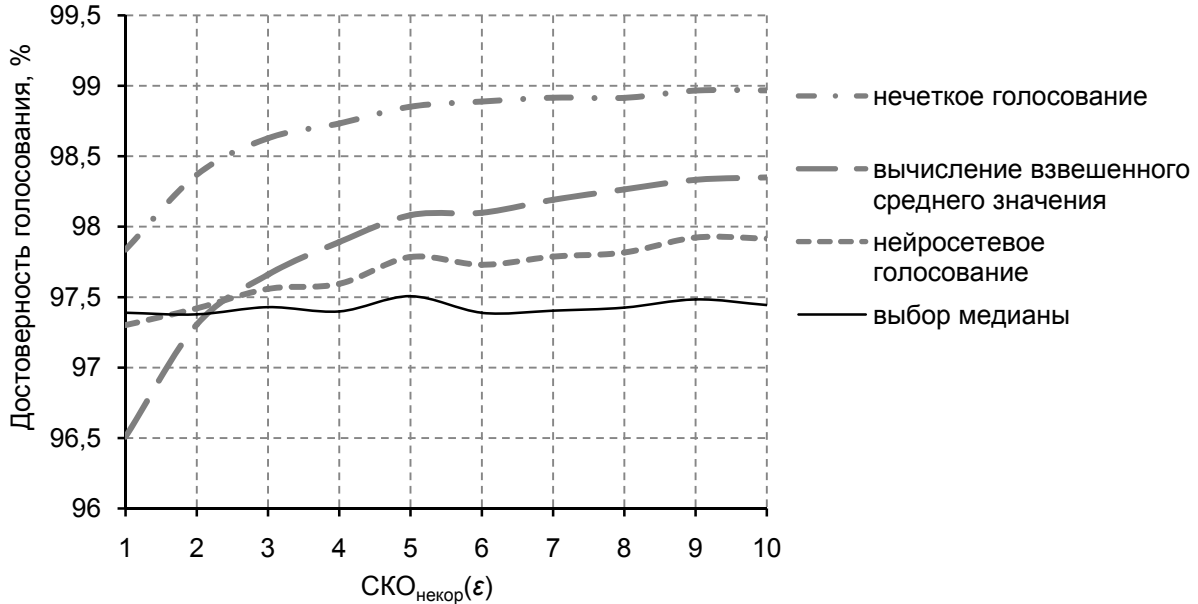


Рисунок 9 – Сравнение алгоритмов голосования при постоянном $СКО_{кор} = 0.3\epsilon$ в зависимости от $СКО_{некор}$

Таким образом, ни один из существующих алгоритмов голосования не является универсальным на всем пространстве параметров распределения ответов. Данное утверждение подтверждается на рис. 10, в котором показано сравнение алгоритмов голосования при отличающемся от предыдущего $СКО_{кор} = \epsilon$.

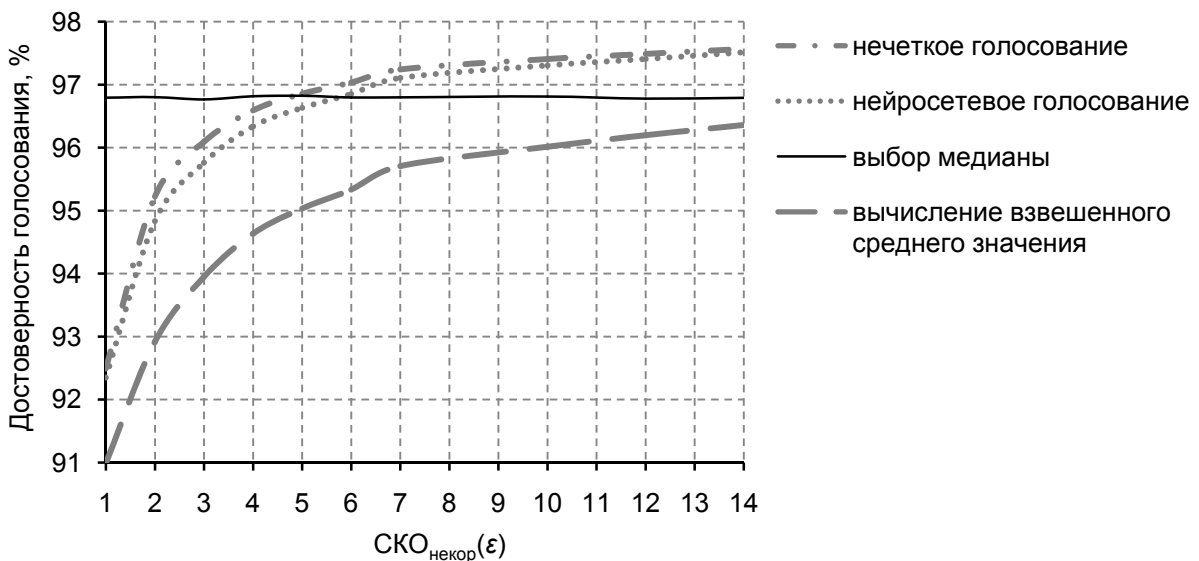


Рисунок 10 – Сравнение алгоритмов голосования при постоянном $СКО_{кор} = \epsilon$ в зависимости от $СКО_{некор}$

Видно, что в отличие от предыдущего сравнения нейросетевое голосование повышает достоверность голосования уже на 1.5% и 1.2% относительно вычисления взвешенного среднего значения при $СКО_{некор}$ равном 1ϵ и 10ϵ соответственно. Аналогично, нечеткое голосование обеспечивает повышение достоверности на 2% в сравнении с вычислением взвешенного среднего значения при $СКО_{некор} = 3\epsilon$. При этом алгоритм выбора медианы является наиболее достоверным из представленных при $СКО_{некор} < 5\epsilon$.

Аналогично, результаты исследований показали, что для системы, состоящей из 3 резервных модулей, пространство параметров распределения ответов делится на две части. При $СКО_{некор} < СКО_{кор}$ самым достоверным является алгоритм вычисления арифметического среднего значения, во всех остальных случаях наибольшую эффективность демонстрирует разработанный алгоритм голосования на основе нечеткой логики. Предложенный алгоритм голосования на основе нейронной сети показал хорошие результаты, незначительно уступая алгоритму голосования на основе нечеткой логики.

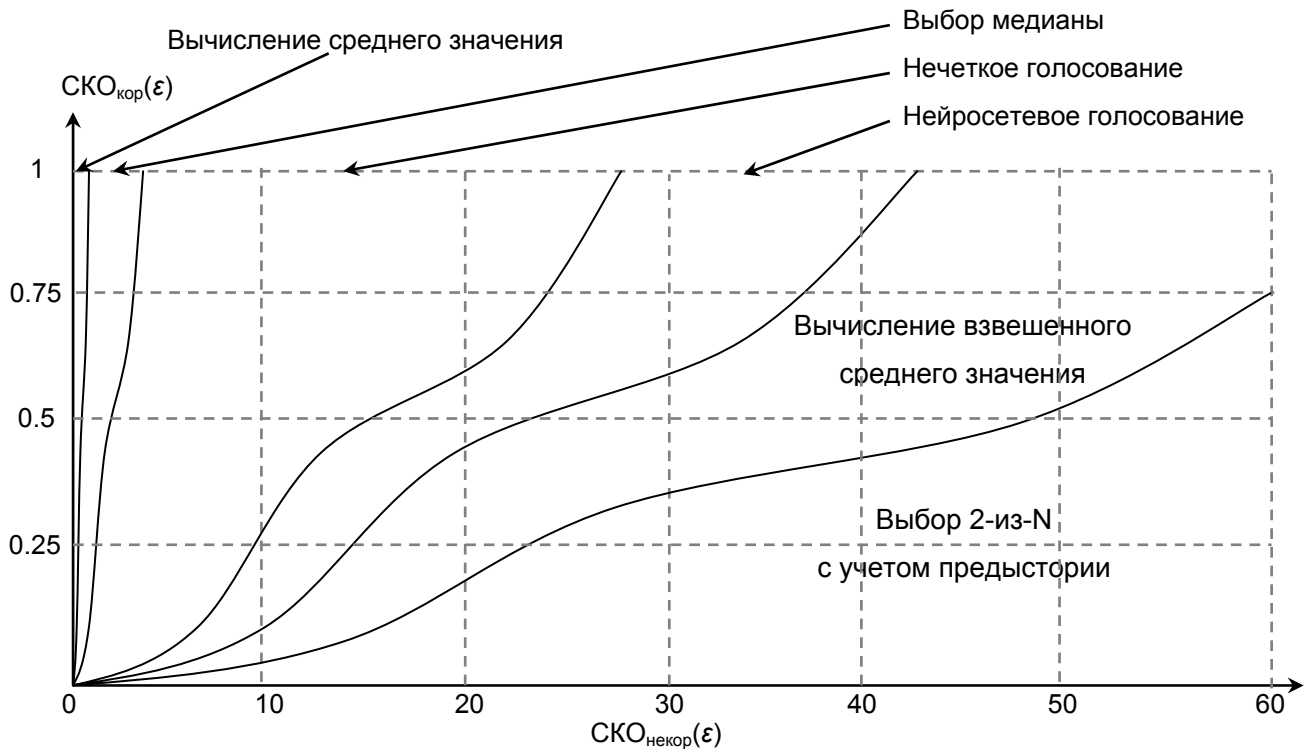


Рисунок 11 – Области наибольшей достоверности алгоритмов голосования в системе из 5 резервных модулей

На рис. 11 проиллюстрировано пространство параметров распределения ответов для системы из 5 резервных модулей. Если голосование используется при малой абсолютной величине помех, сравнимых по амплитуде с допуском ϵ , то целесообразно применение алгоритма вычисления арифметического среднего значения. При увеличении амплитуды ошибок в ответах наиболее эффективен алгоритм выбора медианы. При еще большем увеличении ошибок предпочтение следует отдать алгоритмам на основе нечеткой логики или нейронной се-

ти, а также вычислению взвешенного арифметического среднего значения или 2-из- N алгоритмам голосования.

Одним из широко применяемых методов при наличии нескольких алгоритмов, показывающих различную эффективность на различных участках некоторого пространства параметров, является алгоритмическая композиция.

Предложенная методика выбора алгоритмов голосования заключается в следующем:

1. Предварительно формируется массив исходных данных – ответов резервных модулей.

2. Данные массива анализируются и выявляются параметры распределения ответов – $СКО_{кор}$ и $СКО_{некор}$.

3. В соответствии с полученными значениями $СКО_{кор}$ и $СКО_{некор}$ по рис. 11 выбирается алгоритм голосования, который обеспечит максимальную достоверность результатов.

Разработанные алгоритмы голосования внедрены в ОАО НИИ «Солитон» при построении аппаратуры каналообразования и коммутации с адаптивным конфигурированием и высокой помехообрывоустойчивостью ведомственной распределенной сети связи (ВРСС). Основой обеспечения отказоустойчивости ВРСС является наличие разветвленной структуры каналов передачи данных, обеспечивающих более одного маршрута прохождения информации от источника к получателю. В ходе эксплуатации ВРСС возникает задача определения наиболее качественного и надежного маршрута передачи информации от источника к получателю.

Одним из параметров, характеризующих качество каналов и линий связи, является остаточное усиление/затухание сигнала, отражающее важную информацию об изменениях качества каналов и линий связи, обусловленную внешними факторами, изменяющими диэлектрическую проницаемость и амплитудно-частотные характеристики кабелей передачи данных, такими как, температура окружающей среды, нагрузка на прилегающих линиях электропередач, влажность и т.д. Для получения информации о том или ином параметре к источнику подключается генератор, а к получателю – анализатор сигнала. Сетевой администратор измеряет остаточное усиление/затухание сигнала и устанавливает качество канала, которое тем выше, чем больше остаточное усиление/затухание соответствует номиналу. Недостатком данного метода является то, что определение остаточного усиления/затухания возможно только вручную. В данной работе предложен автоматический способ, заключающийся в том, что есть возможность постоянного подключения анализатора к каналам связи у получателя. Таким образом, информация о сигналах, прошедших разными маршрутами от источника к получателю, доступна для анализа в реальном масштабе времени. Данная проблема формализована как задача голосования в резервированной системе обработки информации.

Предполагаемая система выбора наилучшего канала работает следующим образом. Информация об уровне сигнала в каждом из резервных каналов подается на вход алгоритма голосования. На основании этих данных алгоритм голо-

сования принимает решение о наиболее вероятном уровне сигнала в точке отправления. Наилучшим считается тот из резервных каналов (маршрутов передачи сигнала), уровень сигнала в котором наиболее близок к уровню сигнала на выходе алгоритма голосования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе поставлена и решена актуальная задача повышения достоверности алгоритмов голосования в резервированных системах обработки информации на основе нечеткой логики и нейронных сетей. В ходе проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Разработано программное обеспечение, позволяющее проводить численные эксперименты и сравнивать достоверность алгоритмов голосования при наличии ошибочных ответов от резервных модулей. Проведен анализ существующих алгоритмов голосования, в ходе которого выявлены их достоинства и недостатки. Показано, что достоверность существующих алгоритмов голосования на основе нечеткой логики очень чувствительна к правильному установлению порога дефаззификации λ и допуска ε , поэтому предложено разработать алгоритм независимый от данных параметров.

2. Разработан алгоритм голосования, основанный на нечеткой логике, отличающийся использованием предыстории голосования и отсутствием проблемы выбора порога дефаззификации λ и допуска ε , это позволяет исключить влияние субъективного фактора на выбор порога дефаззификации и допуска и в отдельных случаях повысить достоверность голосования в резервированных системах обработки информации на 1-2%, что приводит к уменьшению количества отказов в условиях моделируемого примера на 30-40%.

3. Предложен алгоритм голосования, основанный на нейронных сетях, заключающийся в подготовке результатов работы модулей и использовании их в качестве входных данных многослойного персептрона, обученного выбору наиболее близкого к истинному ответа при различных параметрах распределения входных данных. Разработана методика подготовки результатов работы модулей для голосования, заключающаяся в их ранжировании в соответствии с расположением на декартовой оси координат и последующим вычислением разностей координат между ними, которые используются в качестве входных данных многослойного персептрона. Это позволяет повысить достоверность алгоритма голосования в резервированных системах обработки информации на 1-2%, что приводит к уменьшению количества отказов в условиях моделируемого примера на 30-40%.

4. Исследована достоверность предложенных алгоритмов методом численного моделирования и разработана методика голосования на основе алгоритмических композиций, заключающаяся в определении статистических характеристик ответов резервных модулей, выборе конкретного алгоритма голосования, основанного на полученных в работе результатах анализа достоверности голосования в зависимости от параметров распределения исходных данных,

позволяющая корректно выбирать наиболее подходящий алгоритм в зависимости от сферы применения. Разработанные в диссертации рекомендации нашли практическое применение в ОАО НИИ «Солитон» при построении аппаратуры каналообразования и коммутации с адаптивным конфигурированием и высокой помехообрывоустойчивостью.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Способ голосования в N -кратно резервированной вычислительной системе / С. В. Герон, А. И. Фрид // Информационные технологии. 2007. №4. С. 2–6.
2. Нейронное голосование в N -кратно резервированной вычислительной системе / С. В. Герон, А. И. Фрид // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2007. №7. С. 30–34.
3. Голосование в N -кратно резервированных системах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Вестник УГАТУ: серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2007. Т.9. №2(20). С. 42–49.

В других изданиях

4. Оценка нечеткого выбора при N -кратном программировании / С. В. Герон, А. И. Фрид // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : матер. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М. : МЭИ, 2004. Т. 1. С. 360–361.
5. Нечеткий выбор при N -кратном программировании / С. В. Герон, А. И. Фрид // Искусственный интеллект в XXI веке : сб. ст. II Всерос. науч.-техн. конф. Пенза, 2004. С. 70–72.
6. Оценка возможности применения нечеткой логики и нейронных сетей в задаче выбора при N -модульном проектировании / С. В. Герон, А. И. Фрид // Компьютерные науки и информационные технологии, CSIT'2005 : сб. науч. тр. 7-й Междунар. конф. Уфа, 2005. Т. 2. С. 191–196. (На англ. яз.).
7. Применение нейронных сетей к голосованию в N -кратно резервированных системах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Нейроинформатика-2006 : сб. науч. тр. 8-й Всерос. науч.-техн. конф. М. : МИФИ, 2006. Ч. 1. С.73–80.
8. Программа моделирования N -кратно резервированной системы / С. В. Герон, А. И. Фрид. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ №2006610855. М. : Роспатент, 2006. Зарег. 28.02.2006.
9. Использование нейронных сетей в качестве мажоритарного элемента / С. В. Герон, А. И. Фрид // Гагаринские чтения : науч. тр. 32-й Междунар. молодежн. науч. конф. М. : МАТИ, 2006. Т. 4. С. 11–13.
10. Нейронный голосователь в системах с избыточностью / С. В. Герон, А. И. Фрид // Компьютерные науки и информационные технологии, CSIT'2006 : сб. науч. тр. 8-й Междунар. конф. Карлсруэ, Германия, 2006. Т. 1. С. 97–102. (На англ. яз.).

11. Нейросетевое голосование в N -кратно резервированных системах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Нейроинформатика и ее приложения : матер. 14-го Всерос. сем. Красноярск, 2006. С. 29–30.

12. Сравнительный анализ нейронных и классических методов голосования в N -кратно резервированных системах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Нейроинформатика-2007 : сб. науч. тр. 9-й Всерос. науч.-техн. конф. М. : МИФИ, 2007. Ч. 1. С. 114–122.

13. Анализ области применения методов голосования на основе нечеткой логики и нейронных сетей в N -кратно резервированных системах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Интеллектуальные системы обработки информации и управления : сб. ст. 2-ой Рег. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа : Технология, 2007. Т.2. С. 98–103.

14. Нейронные сети в задаче повышения точности определения искомой величины при многократных экспериментах / С. В. Герон, А. И. Фрид // Компьютерные науки и информационные технологии, CSIT'2007 : сб. науч. тр. 9-й Междунар. конф. Красноусольск, 2007. Т.2. С. 49–51. (На англ. яз.).

15. Динамическая реконфигурация сети ведомственного оператора связи для повышения надежности передачи данных на базе нечеткого голосователя / С. В. Герон, А. И. Фрид // Информатика, управление и компьютерные науки : сб. ст. 3-й Всерос. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа : Диалог, 2008. Т.1. С. 280–287.

16. Нейросетевые алгоритмы обработки информации для динамической реконфигурации сети связи / С. В. Герон, А. И. Фрид // Техника и технология. 2008. №2. С. 29–33.

ГЕРОН Сергей Валентинович

АЛГОРИТМЫ ГОЛОСОВАНИЯ
В РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 23.09.08. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.- отт. 1,0. Уч.- изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 404.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12