

На правах рукописи

ПАНОВ Алексей Павлович

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИИС
НА ОСНОВЕ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
СИГНАЛОВ**

Специальности:

**05.11.16 - Информационно-измерительные и управляющие системы
(приборостроение),**

05.11.01 - Приборы и методы измерения (электрические величины)

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



ПЕНЗА 2004

Работа выполнена в Пензенском государственном университете на кафедре «Автоматика и телемеханика».

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Щербаков М. А.;
доктор технических наук, доцент
Мясникова Н. В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Цыпин Б. В.;
кандидат технических наук,
Солодимова Г. А.

Ведущая организация - ФГУП НИИ физических измерений,
г. Пенза.

Защита диссертации состоится 28 октября 2004 г., в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.186.02 в Пензенском государственном университете по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета.

Автореферат разослан 28 сентября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
К.Т.Н., профессор



Ю. М. Крысин

2005-9
21851

925280

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Решение проблемы создания новых технических средств привело к появлению информационно-измерительных систем (ИИС), предназначенных для автоматического сбора и обработки информации.

Большой вклад в разработку научного направления, связанного с совершенствованием ИИС и преобразователей информации, внесли Новицкий П. В., Орнатский П. П., Кавалеров Г. И., Темников А. С., Цапенко П. П., Стахов А. П., Филиппов Н. А. и многие другие.

В последние годы улучшение многих характеристик ИИС было достигнуто благодаря использованию микропроцессорной техники. Рассредоточение вычислительной мощности по различным уровням и блокам ИИС позволяет уменьшить потоки информации, сократить общее время обработки, повысить точность и надежность работы системы.

В ИИС широко используется многофункциональная обработка измерительной информации за счет рационального сочетания средств с жесткой структурой (аппаратная реализация) и гибкими перестраиваемыми алгоритмами работы (программная реализация).

Затраты временных и материальных ресурсов на хранение и обработку информации в ИИС в значительной степени зависят от способа выполнения операций дискретизации и квантования, а точность измерений во многом определяется рациональным выбором алгоритмов обработки первичной измерительной информации. Поэтому актуальна задача совершенствования систем в смысле повышения точности результатов и быстродействия. Эта задача решается на базе концепции единства модели представления дискретных данных (а значит, и аналого-цифрового преобразования) и цифровой обработки, а также совершенствования самих измерительных преобразователей на основе алгоритмического подхода.

Цель диссертационной работы заключается в совершенствовании ИИС на основе новых моделей представления дискретных сигналов в форме, удобной для решения целевой задачи, а также новых



алгоритмических решений и способов адаптивного сжатия-восстановления данных.

Основными задачами исследования, вытекающими из поставленной цели, являются следующие:

- построение моделей представления данных при разных способах дискретизации (по времени и по уровню);
- разработка и исследование алгоритмов адаптивной дискретизации;
- разработка методики преобразования и обработки данных с применением разных способов дискретизации;
- разработка способов сжатия измерительной информации;
- исследование возможностей алгоритмического подхода для повышения точности измерений;
- разработка программного обеспечения для моделирования ИИС.

Методы исследований.

При решении поставленных задач использовались теория информации, линейная теория дискретных сигналов, математическая статистика, дифференциальное исчисление, булева алгебра, имитационное моделирование.

Моделирование проводилось в среде Electronics Workbench. Результаты исследований анализировались с использованием пакета MathCad. Для создания специальной программы моделирования ИИС использовалась интегрированная среда Delphi.

Научная новизна.

В работе получены следующие научные результаты:

1. Предложена адаптивная дискретизация, которая осуществляется в моменты достижения сигналом квантованных уровней и математически может трактоваться как равномерная дискретизация по уровню.
2. Предложен способ и устройство аналого-цифрового преобразования на основе адаптивной дискретизации.

3. Предложен подход к созданию итерационного преобразователя для измерения величины с повышенной точностью на основе алгоритмического подхода к измерениям и его схемная реализация.

4. Предложен алгоритм сжатия-восстановления информации на основе использования экстремумов и выборочной гистограммы.

5. Предложен подход к моделированию и визуализации работы ИИС и ее узлов.

Практическая ценность работы.

Использование предложенных преобразователей информации, ориентированных на последующую цифровую обработку, и оригинальные алгоритмы целевой обработки сигналов позволяют повысить быстродействие и точность, сократить объем хранимой и обрабатываемой информации за счет адаптивной дискретизации и ограничения области изменения сигналов.

Разработанное программное обеспечение может использоваться для прогнозирования точности разрабатываемых ИИС, для визуализации работы ИИС и ее узлов в учебном процессе.

Реализация и внедрение результатов.

Основные теоретические положения внедрены при выполнении фундаментальной НИР «Теория и методы построения высокопроизводительных систем для обработки гетерогенной информации» 1.1.00Ф, а также прикладной НИР «Проблемы построения автоматизированных систем диагностики на основе непараметрических моделей» (при финансовой поддержке гранта Т02-03.2-3577). Разработанная модель ИИС внедрена в учебный процесс по дисциплинам «Динамические измерения» и «Вычислительные методы». Результаты диссертации в части моделирования датчиков механических величин использованы в электронном пособии.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Адаптивная дискретизация сигналов и модель дискретных данных, связанная с такой дискретизацией, представляющая собой динамическую гистограмму - двумерный массив, содержащий моменты пересечения сигналом каждого из уровней, а также алгоритмы обработки данных на основе такой модели.

2. Способ и устройство аналого-цифрового преобразования на основе дискретизации по уровню и квантования по времени.

3. Подход к созданию итерационного преобразователя с повышенной точностью измерения на основе использования алгоритмического подхода и его схемная реализация.

4. Способы сжатия и восстановления измерительной информации, использующие экстремальные значения сигнала и гистограмму для оптимизации каналов передачи данных.

5. Модель ИИС, позволяющая виртуально отображать функциональную модель объекта исследования, датчика, АЦП и итерационного преобразователя напряжения в код, а также исследовать погрешности классических и предложенных алгоритмов при различных методах дискретизации и квантования.

Апробация работы.

Основные положения докладывались на международных научно-технических конференциях «Методы и средства измерения механических параметров в системах контроля и управления» (г. Пенза, 1999, 2001, 2002), а также на конференциях профессорско-преподавательского состава, на Международном симпозиуме «Надежность и качество» (г. Пенза, 2003) и на 6-й Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права» (г. Сочи, 2003).

Публикации.

По материалам диссертационной работы опубликованы 10 печатных работ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка (81 наименование), приложений. Общий объем работы составляет 192 страницы машинописного текста, в том числе 21 страница приложений, и включает в себя 77 рисунков и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи исследования, дана общая характеристика выполненной работы, показаны актуальность и новизна решаемых задач.

В первой главе рассматриваются особенности построения современных ИИС, основные характеристики используемых в них сигналов и известные методы их обработки, проведена их систематизация и указаны пути совершенствования.

В настоящее время широкое распространение получили системы, в которых источником информации об объекте исследования являются измеренные величины, отражающие его свойства. Такие системы могут быть построены на основе единой структуры, включающей датчик, аналого-цифровой преобразователь и универсальный вычислитель. Целевая функция таких систем реализуется за счет программного обеспечения. Поступающую информацию можно хранить, передавать и обрабатывать как в виде непрерывных, так и в виде дискретных сигналов. На современном этапе развития информационной техники предпочтение отдается дискретным цифровым сигналам - для преобразования в такой вид сигнал подвергается операции дискретизации по времени и квантования по уровню.

В главе рассмотрены методы дискретизации (восстановления) сигналов и их классификация по разным признакам. Для решения поставленных задач наиболее существенным является принцип выбора шага.

Существуют три критерия выбора шага дискретизации: частотный критерий (В. А. Котельникова), корреляционный критерий (Н. А. Железнова), квантовый критерий (Ф. Е. Темникова). Последний из перечисленных позволяет решить задачу адаптивной дискретизации, в нем заложены большие возможности для совершенствования. Он определяет зависимость интервалов между отсчетами от величины ступени квантования по уровню и крутизны (первой производной) сигнала.

В развитии этого критерия предлагается вместо функции $x = f(t)$ рассматривать обратную функцию $t = \Phi(x)$. Тогда *мате-*

матически меняются местами дискретизация (по амплитуде) и квантование (по времени). Метод основан на том, что шаг дискретизации выбирается таким образом, чтобы значение дискретизируемого сигнала не могло измениться больше, чем на шаг квантования. При этом информацию о сигнале несут моменты пересечения сигналом квантованных уровней. На современном уровне развития техники временные параметры могут быть измерены достаточно просто и более точно, чем амплитудные. Такое преобразование соответствует дискретизации по уровню и квантованию по времени, в отличие от общепринятого, когда дискретизация осуществляется по времени, а квантование - по уровню. Этому методу соответствует модель данных $\{t_{j,l}\}$, представляющая собой двумерный массив значений моментов времени, соответствующих пересечениям сигналом уровней квантования $u_j, j = 0, 1, \dots, l$.

В дальнейшем будем называть такую дискретизацию адаптивной дискретизацией: отсчеты берутся часто (с маленьким шагом дискретизации), когда сигнал меняется быстро, и редко (с большим шагом дискретизации), когда сигнал меняется медленно.

Использование предложенного способа аналого-цифрового преобразования позволяет уменьшить трудоемкость вычисления статистических и спектральных характеристик как за счет сокращения избыточности, так и за счет ограничения области изменения дискретных сигналов.

Например, спектральные характеристики сигнала могут быть оценены по формуле $x(f) = \sum_{j=0}^{k-1} u_{ony} \sum_{i=0}^{m_j} e^{-j2\pi f t_{j,i}}$ (дискретный аналог интеграла Лебега). Трудоемкость снижается за счет уменьшения числа умножений, которое теперь определяется числом уровней квантования и не зависит от длины выборки.

Кроме того, результат аналого-цифрового преобразования может быть сразу представлен в виде гистограммы, так как все данные, соответствующие моментам времени пересечения сигналом одного уровня u , имеют одинаковые значения h_j и попадают в интервал

$$h_j - \frac{\Delta h}{2} \geq x > h_j + \frac{\Delta h}{2}. \text{ Поэтому такая дискретизация наиболее при-}$$

способлена к предложенному автором методу совершенствования каналов передачи данных на основе адаптивного сжатия-восстановления по экстремальным значениям и выборочной гистограмме.

В работе предложены решения, основанные на применении специализированных устройств тракта преобразования информации и программной реализации алгоритмов, что позволяет строить виртуальные средства измерения на основе компьютерных технологий.

Для сопоставления предложенного способа преобразования с известными, анализа его возможностей и отработки схемных и алгоритмических решений ставится и решается задача моделирования ИИС, что позволяет оценить общую погрешность всего тракта и визуально отображать процесс обработки информации.

Во второй главе рассмотрены вопросы сжатия информации и дискретизации сигналов по уровню с квантованием по времени, а также способы совершенствования измерительных подсистем ИИС.

Разработан метод предварительного сжатия исходной информации с одновременным преобразованием ее в форму, удобную для дальнейшей обработки и хранения. Метод строится на основе определения экстремумов (минимумов и максимумов). Экстремумы, как правило, позволяют аппроксимировать сигнал путем интерполяции или экстраполяции, но сложность таких вычислений требует больших затрат времени. Для устранения этой проблемы предложено использовать выборочную гистограмму, по которой нетрудно расположить значения в порядке убывания или возрастания между экстремумами. Для этого необходимо построить гистограмму и хранить ее значения как вторую (вспомогательную) характеристику процесса, дополняющую первую (ряд экстремумов).

Представлен алгоритм сжатия измерительной информации, включающий в себя две процедуры: выделение экстремумов и построение гистограммы. Последний алгоритм, как известно, связан с сортировкой данных по подынтервалам гистограммы. Однако задача построения выборочной гистограммы значительно упрощается при применении АЦП параллельного действия, так как для оценивания характеристики необходимо подсчитывать только число пересечений каждого уровня, а экстремумы уже несут информацию о диапазоне изменения измеряемой величины.

Рассмотрим алгоритм сжатия и восстановления информации. Сначала из исходного сигнала $X(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ выделяется последовательность экстремумов $X_E = \{x_{E1}, x_{E1}, \dots, x_{EM}\}$ с моментами $T_E = \{t_{E1}, t_{E1}, \dots, t_{EM}\}$ в соответствии с условием

$$(X[i-1] - X[i]) (X[i+1] - X[i]) > 0, i = 1, 2, \dots, N.$$

Определяется диапазон для построения выборочной гистограммы (X_{\min} и X_{\max}). Затем интервал изменения делится на k подынтервалов равной длины (или интервалы группировки). Для каждого отсчета исходного сигнала рассчитывается соответствующий номер столбца гистограммы по формуле

$$u = \text{int} \left(\frac{(x_i - X_{\min})k}{X_{\max} - X_{\min}} + 1 \right), \quad (1)$$

после чего инкрементируется число m_u попаданий на интервал группировки с данным номером u . Это повторяется до тех пор, пока не будет исчерпана выборка заданного объема.

Процесс восстановления производится в порядке, обратном процессу сжатия. При восстановлении информации два значения соседних экстремумов x_{Ej} и x_{Ej+1} из запоминаемой или передаваемой последовательности привязываются к соответствующим моментам времени t_{Ej} и t_{Ej+1} . По формуле (1) для каждого из этих экстремумов вычисляются номера столбцов гистограммы (a и b соответственно). Затем вычисляется количество отсчетов $\Delta = t_{Ej+1} - t_{Ej} - 1$, которое необходимо расположить между этими экстремумами, и количество интервалов группировки (или столбцов гистограммы) между столбцами $du = |b - a| - 1$, соответствующими соседним экстремумам. Далее число подынтервалов делится пополам. Результат деления dv представляет собой число столбцов между столбцом, соответствующим значению экстремума, и серединой на гистограмме, а значение остатка md указывает на существование общего среднего столбца между столбцами, соответствующими заданным экстремумам. После этого производится извлечение нового значения из соответствующего столбца следующим образом:

$$X_i^{\text{восст}} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} (\text{num} - 0,5) + X_{\min},$$

где $num = uu + dv + md$ - номер столбца гистограммы (в случае возрастания $uu = a$ и в случае убывания $uu = b$). Затем осуществляются уменьшение числа отсчетов $m_{num} = m_{num} - 1$ в данном столбце гистограммы и, соответственно, декрементирование числа отсчетов Δ . Такая процедура повторяется для следующих соседних столбцов слева ($-dv$) или справа ($+dv$) от середины до тех пор, пока число столбцов не будет равно нулю. После этого начинается процесс упорядочивания значений - сортировка, заключающаяся в ранжировании элементов значений по возрастанию или убыванию их значений. Усовершенствованный алгоритм учитывает, что рядом с экстремумом обязательно стоят близкие значения, так как скорость изменения сигнала на этом участке минимальна.

Рассмотрены способы схемной реализации устройства сжатия на основе АЦП параллельного преобразования, реализующего вышеописанный алгоритм сжатия.

Одним из путей повышения быстродействия ИИС является разработка новых моделей представления дискретного сигнала в форме, удобной для решения целевой задачи, например, вычисления спектральных или статистических характеристик.

Предложен метод адаптивной дискретизации для динамических измерений. Понятие «динамические измерения» трактуется как совместные измерения мгновенных значений сигнала и времени. Сформируем ряд уровней квантования, равноотстоящих друг от друга, как это сделано в АЦП параллельного действия. В то время, как в известном преобразователе измеряются амплитудные значения в заданные моменты времени, в предлагаемом преобразователе измеряется время, соответствующее пересечению сигналом квантованного уровня. Особенно просто это реализуется на основе счетчика, если сигнал преобразуется для последующей компьютерной обработки.

Применение адаптивной дискретизации позволяет снизить объем хранимой информации, тем самым, уменьшив ее избыточность.

Известно, что шаг дискретизации сигнала со спектром, ограниченным частотой f_{max} , обычно выбирают из соотношения

$$\Delta t = \frac{1}{2f_{max}m}. \text{ Это соответствует } 2m+1 \text{ точкам на период гармониче-}$$

ского сигнала. Таким образом, чтобы обеспечить «запас» при дискретизации по уровню для воспроизведения «быстрых» фронтов, необходимо иметь шаг квантования $h = \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$. Тогда число уровней

квантования будет меньше или равно $n = \text{int}\left(\frac{2}{\sin\left(\frac{\pi}{m}\right)} + 1\right)$, а число

точек на период сигнала равно $2n$. При достаточно большем значении m получим отношение $\frac{2m}{2n} \approx \frac{\pi}{2}$, показывающее, что за счёт

адаптивного шага дискретизации происходит сокращение числа дискретных отсчетов по сравнению с обычной дискретизацией примерно в 1,5 раза, что существенно при больших выборках.

Предложены 4 варианта схемной реализации АЦП для измерения моментов времени пересечения с уровнем.

Первый из предложенных вариантов, использующий «свое» ОЗУ на каждый уровень квантования, позволяет полностью реализовать преимущества способа - воспроизводить высокочастотный фронт сигнала за счет зафиксированного «одновременного» срабатывания нескольких компараторов. Однако он требует значительной доработки существующих АЦП. Второй вариант с запоминанием уровня и времени в момент смены кода на выходе АЦП можно реализовать непосредственно на базе типового АЦП параллельного действия. Третий вариант устраняет недостаток дешифрации уровня у второго варианта. Четвертый вариант позволяет непосредственно подключаться к микропроцессорной магистрали, за счет этого его можно использовать в микроконтроллерах для обработки сигналов.

В главе также исследовано влияние неравномерной дискретизации на закон распределения случайного сигнала.

Задача повышения точности ИИС решается на основе алгоритмического подхода с использованием итерационного преобразователя и вычислителя.

Алгоритмический подход к измерениям позволяет существенно уменьшить инструментальную погрешность без изменения цены деления прибора. Эффект достигается за счет использования процедуры сопоставления сначала на основе уравнения $x = nM \pm \Delta$. После этого мера M сопоставляется с остатком по формуле $M = n_1\Delta_0 + \Delta_1$ и аналогичным образом со следующими остатками $M = n_i\Delta_{i-1} + \Delta_i$, где Δ_i - остаток на i -м шаге итерации. При этом измеряемая величина также определяется итерационным путем (для метода «слева» - нижний знак, а для метода «справа» - верхний)

$$\begin{aligned}
 & M \mp \dots \frac{M}{n_k} \\
 & M \mp \frac{M}{n_3} \\
 & M \mp \frac{n_3}{n_2} \\
 x = n_0 M \pm \frac{n_2}{n_1} = & \\
 = n_0 M \pm \frac{M}{n_1} \mp \frac{M}{n_1 n_2} \pm \frac{M}{n_1 n_2 n_3} \mp \dots
 \end{aligned}$$

Так как остаток всегда уменьшается, а число вложений его в меру наоборот растет, то ряд представляет собой сходящуюся последовательность.

Метод имеет модификацию, в которой производится сравнение остатков на разных шагах итерации ($\Delta_i = \Delta_{i-2} - n_i \Delta_{i-1}$). Так как эти остатки представляют собой убывающую последовательность, то их сопоставление может происходить более быстро. Для метода «слева» («справа») получим

$$x = Mn_0 \pm \frac{M}{n_1 \pm \frac{1}{n_2 \pm \frac{1}{n_3 \pm \dots \frac{1}{n_m}}}}$$

Выбор меры $M = 2^n$ и коэффициентов $n - 2^m$, $m = 0, 1, \dots$, удобен для последующего представления результата в двоичном коде. Однако в этом случае, как показали исследования, не следует применять

метод «слева», так как он сходится гораздо медленнее, чем метод приближения «справа».

При этом форма представления числа отличается от привычной лишь тем, что разрядные коэффициенты входят со знаком + или -, и легко преобразуется в обычную. Например, на вход преобразователя подается величина $x = 11.2$, а $M = 2^2$. Тогда для случая приближения «слева» получим

$$2^3 + 2^2 - 2^1 + 2^{-3} - 2^{-4} + 2^{-5} - 2^{-6} + 2^{-7} - \dots \approx 11.578.$$

Преобразуем в систему двоичного счисления с плавающей точкой

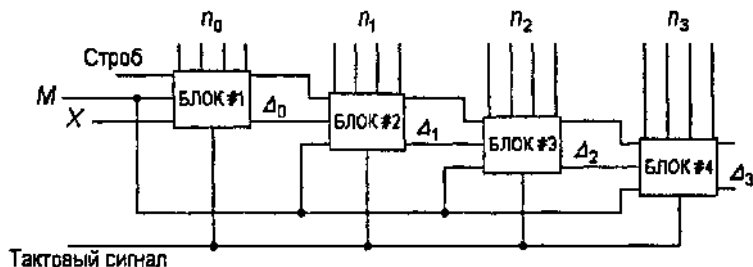
1100.00101010(со знаком «+»)

+ 1111.01101011(со знаком «-»)

$$1011.10010101, \text{ т. е. } 2^3 + 2^1 + 2^0 + 2^{-1} + 2^{-4} + 2^{-6} + 2^{-8} \approx 11.578.$$

Предложенный алгоритм измерения можно реализовать в виде прибора с адаптивной шкалой, в котором на разных шагах итерации меняется его шкала.

На этом принципе разработаны схемы итерационного преобразователя, проведено его моделирование, исследованы характеристики и оценены погрешности. На рис. 1,а показана структура преобразователя, а на рис. 1,б - АЦП на его основе. Модель данного преобразователя представляет собой последовательное соединение нескольких каскадов. В основу каждого каскада положены усилитель с изменяющимся коэффициентом усиления, вычитатель, счетчик, компаратор, преобразователь кода, арифметико-логическое устройство, сдвиговые регистры.



а

Рис. 1. Начало

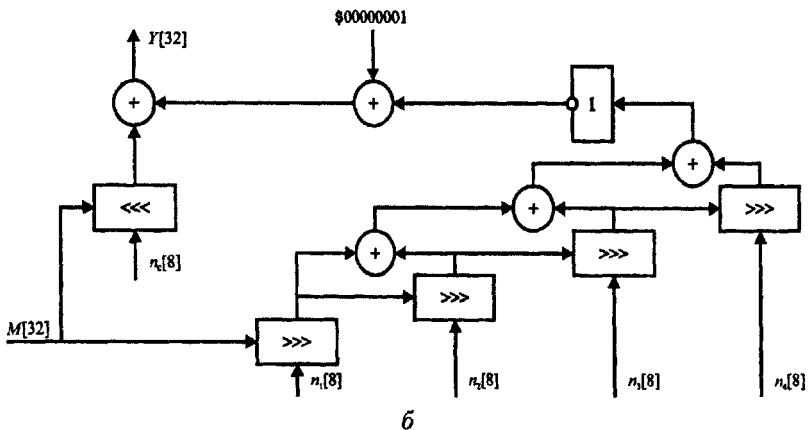


Рис. 1. Окончание

Первый вариант схемы дает результаты, требующие дальнейшей процессорной обработки, а второй - непосредственно код.

Результаты моделирования показали, что для получения результата с приемлемой точностью, как правило, требуется 4-5 каскадов. Очевидно, что при увеличении числа итераций погрешность постепенно уменьшается. Показано, что погрешность в десятки раз меньше, чем зона нечувствительности элемента сравнения.

В третьей главе предложены способы моделирования узлов ИИС и системы в целом. При моделировании ИИС можно выделить задачи моделирования аналоговых объектов и преобразователей информации, моделирование АЦП и моделирование цифровых устройств.

Наибольшую сложность представляет моделирование непрерывных объектов с заданными динамическими свойствами. В работе моделируется процесс (снимаемый датчиком с исследуемого объекта), в спектре которого можно выделить узкополосные составляющие, аддитивно смешанные с шумом. Такая модель описывает широкий класс сигналов - вибрации, пульсации давления, акустическое излучение, колебания и т. д.

Моделирование случайных процессов с заданными корреляционно-спектральными характеристиками (КСХ) производится путем формирования коррелированной последовательности случайных чисел, соответствующей выбранной спектральной модели процесса

$$S(\omega) = \frac{\alpha^{2n}}{(\alpha^2 + \omega^2)^{2n}}, n = 1, 2, \dots, N,$$

где α - параметр функции.

Аналоговая часть системы ИИС включает в себя первичные (датчики) и вторичные преобразователи. Из множеств видов первичных преобразователей рассмотрен датчик инерционного действия для измерения быстро протекающих процессов в виде сложных полигармонических колебаний. Этот датчик часто применяется в задачах измерения вибраций (в акселерометрах, сейсмических приборах и др.).

Рассмотрены математические и электрические модели датчиков 1-го, 2-го и 3-го порядков. Приведены решения дифференциальных уравнений при различных условиях. Показан подход к моделированию звеньев произвольного порядка на основе разностных уравнений. Результаты моделирования проиллюстрированы графическими схемами и временными характеристиками.

В качестве основы для построения моделей с соответствующими функциональными свойствами приняты модули, каждому из которых соответствует оператор (характеризующий выполняемую функцию линейного или вычислительного преобразования) и соответствующая ему схемная реализация, раскрывающая принцип построения модуля. Рассмотрены принципы моделирования линейных модулей - преобразователей формы представления информации, а также гибридных вычислительных модулей и устройств, которые функционально связаны в систему.

В основу построения модели АЦП положен идеальный дискретизатор с учетом методической погрешности, а также исследованы отличия реального преобразователя от идеального, которые существенно влияют на погрешность результата измерения как в статическом, так и в динамическом режиме. Степень общности модели достаточна для того, чтобы описать практически все разнообразие АЦП одним и тем же относительно небольшим набором модулей. Простейшая структура модели АЦП представляет собой последовательное соединение квантователя и временного дискретизатора. Данная модель отражает основные операции аналого-цифрового преобразования, причем существенное значение имеет порядок включения квантователя и дискретизатора, так как выполняемые ими операции

не обладают свойством коммутативности. Дискретизатор и квантователь целесообразно включить в обобщенную модель как самостоятельный структурный элемент. АЦП, помимо функций квантования и кодирования входного сигнала, должен выполнять функцию временной привязки (датирования) отсчетов. Датирование отсчетов производится по импульсному вспомогательному сигналу, подаваемому на АЦП или снимаемому с него. Время появления импульсов задается или измеряется.

Объективное математическое описание процесса аналого-цифрового преобразования, оформленное в виде алгоритма, необходимо для осуществления автоматизации структурного проектирования АЦП и связанного с ним цифрового моделирования.

Рассмотрены особенности компьютерного моделирования переносимых узлов, а также системы в целом. В модели используется реальное целевое программное обеспечение проектируемой системы, причем на разных стадиях разработки системы может использоваться модель сигнала (имитирующего объект), файл данных с реального объекта и, наконец, данные, регистрируемые в реальном масштабе времени. Аналогично могут быть использованы оцифрованные данные с реального датчика и АЦП или, например, при отработке новых технических решений, с моделируемых устройств. Таким образом, модель допускает произвольную комбинацию реального оборудования и моделируемого.

В этой же главе описан пакет прикладных программ, осуществляющий моделирование ИИС в целом. Разработанная программа позволяет отображать виртуально функциональную модель объекта исследования, датчика, АЦП и итерационного преобразователя напряжения в код, а также исследовать сигнал при цифровой обработке с использованием различных методов дискретизации или квантования. На рис. 2 приведена структура модели.

Для демонстрации работы модели ИИС на рис. 3 приведены скриншоты разработанной программы. В первом квадранте приведен результат моделирования датчика, во втором - моделирования АЦП параллельного преобразования, в третьем - разработанного итерационного преобразователя, а в четвертом - результаты цифровой обработки данных.

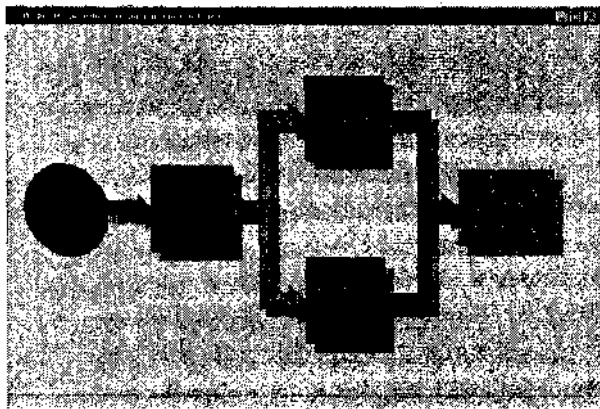


Рис. 2

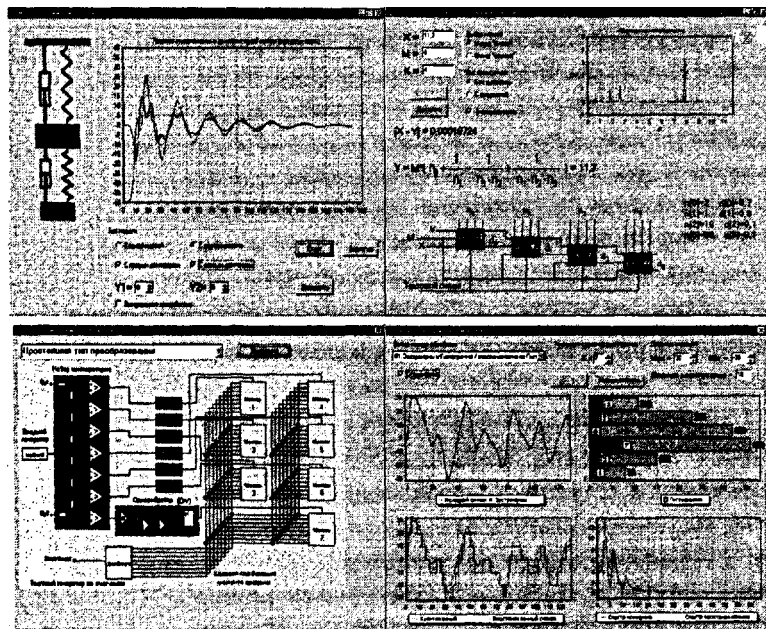


Рис. 3

Результаты моделирования позволяют оценить на предварительном этапе общую погрешность преобразования в системе и найти оптимальное соотношение схмотехнических и алгоритмических решений. В диссертационной работе результаты моделирования бы-

ли использованы для обработки предлагаемых схемотехнических и алгоритмических решений и оценки их эффективности.

В качестве критериев эффективности использовались быстродействие (при сохранении приемлемой точности), а также обобщенный параметр - временные затраты ^x погрешность. Минимизация этого критерия дает возможность построения систем, оптимальных по быстродействию и точности.

Дана оценка быстродействия и точности для нескольких способов обработки сигнала при различных числах уровней квантования. В качестве тестовых входных быстропеременных процессов были выбраны два сигнала с заданными характеристиками: случайный и полигармонический. Приведены графики зависимости быстродействия алгоритма и погрешности преобразования от числа уровней квантования при случайном и полигармоническом процессе для каждого из рассматриваемых пяти способов обработки сигнала.

Первый и второй способы осуществляют сжатие входного сигнала путем извлечения экстремумов и его последующее восстановление по ним и по выборочной гистограмме. Отличие этих способов в том, что во втором сначала выполняется квантование, а затем извлечение экстремумов.

Третий и четвертый способы осуществляют соответственно, дискретизацию по времени с квантованием по уровню и дискретизацию по уровню с квантованием по времени.

Пятый способ основан на четвертом способе с запоминанием моментов пересечений сигналом уровней квантования.

Первый и второй методы имеют максимальное быстродействие, но невысокую точность за счет потери информации в области неопределенности. Кроме выигрыша в быстродействии, этот метод позволяет уменьшить объем хранимой и передаваемой по каналам информации, допускающий, тем не менее, ее восстановление.

В третьем и четвертом способах погрешности при случайном входном процессе резко отличаются, а при гармоническом процессе отличаются незначительно и имеют одинаковое быстродействие. Это указывает на инвариантность, т. е. возможность дискретизации в одном случае по времени, а в другом - по уровню.

И, наконец, последний, пятый способ имеет высокую точность при любых сигналах за счет восстановления (или интерполяции) по значениям динамической гистограммы, но он реализуется не столь

быстро и уступает первому или второму методу по быстрдействию, значительно превосходя их по точности.

В результате проведенного исследования можно сделать выводы:

- наиболее быстродействующим является второй (или первый) способ;
- наиболее точным является пятый (или четвертый) способ;
- наибольшее сжатие информации обеспечивает второй способ;
- пятый способ является наименее трудоемким за счет преобразования Фурье-Лебега.

Исследования подтвердили, что при любом виде дискретизации сигнала его можно восстановить по экстремальным значениям и гистограмме. Поэтому можно передавать по каналам связи вместо сигнала - экстремумы, моменты времени их появления и гистограмму. В ряде случаев можно для восстановления иметь априорную гистограмму и передавать новую, лишь если произошли существенные изменения диапазона, моды и т. п.

В приложениях приведены описания и тексты программ, реализующих моделирование.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований показано, что совершенствование ИИС может быть достигнуто на основе единства дискретной модели сигнала, метода аналого-цифрового преобразования и метода цифровой обработки, причем выбор дискретной модели, определяющей остальные этапы обработки сигнала, обусловлен целевой задачей, решаемой в ИИС.

2. Показано, что, наряду с широко применяемой дискретизацией по времени (с квантованием по уровню), может использоваться и дискретизация по уровню с квантованием по времени. Такая модель и ее реализация в соответствующем АЦП приводит к существенному снижению трудоемкости вычисления спектральных характеристик на основе интеграла Лебега. Кроме того, такая дискретизация сразу дает выборочную гистограмму как число пересечений каждого из уровней квантования.

3. Предложены варианты схемы на основе совершенствования АЦП параллельного преобразования, реализующие дискретизацию

по уровню с запоминанием времени его пересечения. Применение такого АЦП позволяет воспроизводить фронты быстро меняющихся сигналов. Такая дискретизация соответствует адаптивной временной дискретизации и обеспечивает сокращение объема обрабатываемой и хранимой информации. Особенный эффект она может дать в испытательном оборудовании.

4. Разработан итерационный преобразователь, реализующий алгоритмический подход к измерениям и использующий сопоставление входной величины с заданной мерой. Подход позволяет уменьшить инструментальную погрешность при статических измерениях величины за счет адаптивной шкалы, формирующейся в процессе измерения. Предложено несколько вариантов построения этого преобразователя, и показаны их преимущества для обработки сигналов с повышенной точностью.

5. Показано, что сигнал с достаточной для практических нужд точностью может быть восстановлен по экстремальным значениям и по выборочной гистограмме. Разработана методика сжатия-восстановления, а также рассмотрен вопрос схемной реализации такого подхода.

6. Разработана программа моделирования ИИС и ее компонентов (объекта, первичного преобразователя, АЦП, блока обработки). Применение этой модели позволило отработать новые схемотехнические решения и алгоритмы обработки.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

1. Панов, А. П. Дискретизация сигналов при неравномерном шаге [Текст] / Н. В. Мясникова, А. П. Панов // Приборы и системы управления. - 1999. - № 12. - С. 47-53.

2. Панов, А. П. Итерационные измерительные преобразователи повышенной точности [Текст] / В. В. Пашенко, Н. В. Мясникова, А. П. Панов // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: сб. докл. Междунар. науч. конф. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. - С. 3-6.

3. Панов, А. П. АЦП комбинированного типа на основе дискретизации по уровню [Текст] / А. П. Панов // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: сб. докл. Междунар. науч. конф. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. - С. 108-110.

4. Панов, А. П. Метод исследования сигналов на основе экстремальных значений и выборочной гистограммы [Текст] / Н. В. Мясникова, А. П. Панов // Датчики систем измерения, контроля, управления: межвуз. сб. науч. тр. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. - Вып. 19 - С. 102-107.

5. Панов, А. П. Аналого-цифровой преобразователь комбинированного типа [Текст] /А. П. Панов // Датчики систем измерения, контроля, управления: межвуз. сб. науч. тр. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. - Вып. 20. - С. 65-68.

6. Панов, А. П. Обработка сигналов при квантовании по уровню [Текст] /А. П. Панов // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: сб. докл. Междунар. науч. конф. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. - С. 86-88.

7. Панов, А. П. Измерительный преобразователь повышенной точности [Текст] /А. П. Панов // Датчики систем измерения, контроля, управления: межвуз. сб. науч. тр. - Пенза: изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. - Вып. 22. - С. 51-55.

8. Панов, А. П. Компьютерное моделирование ИИС [Текст] / А. П. Панов // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: тр. Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. М. А. Щербакова. - Пенза: ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2002. - С. 73-76.

9. Панов, А. П. Совершенствование виртуальных средств измерения на основе адаптивной дискретизации [Текст] /А. П. Панов // Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права: науч. тр. науч.-практ. конф. - М., 2003. - С. 178-180.

10. Панов, А. П. Аналого-цифровой преобразователь повышенной точности на основе алгоритмического подхода приближения [Текст] /А. П. Панов // Датчики систем измерения, контроля и управления: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М. А. Щербакова. - Пенза: ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2003. - Вып. 23. - С. 103-107.

11. Панов, А. П. Преобразователь повышенной точности для динамического измерения [Текст] /А. П. Панов // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: сб. докл. Междунар. науч. конф. / под ред. М. А. Щербакова. - Пенза: ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2004. - С. 155-156.

ПАНОВ Алексей Павлович

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИИС
НА ОСНОВЕ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
СИГНАЛОВ**

Специальности:

- 05.11.16 — Информационно-измерительные и управляющие системы
(приборостроение),
05.11.01 — Приборы и методы измерения (электрические величины)

Редактор *Г. Н. Судовчихина*
Технический редактор *Н. А. Вьялкова*
Корректор *Ж. А. Лубенцова*
Компьютерная верстка *М. Б. Жучковой*

ИД № 06494 от 26.12.01

Сдано в производство 28.09.2004. Формат 60x84¹/16.

Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16.

Заказ № 611. Тираж 100.

Издательство Пензенского государственного университета.
440026, Пенза, Красная, 40.
Отпечатано в типографии ПГУ

№21606

РНБ Русский фонд

2005-4

21851