

В.И. Скурихин, Л.С. Файнзильберг, Т.П. Потапова

Инструментальная система СИДИГРАФ для синтеза информационных технологий обработки сигналов

Рассмотрена проблема построения информационных технологий обработки сигналов в виде «интеллектуальных датчиков» и «интеллектуальных индикаторов» в компьютерных системах принятия решений. Приведены характеристики инструментальной системы для синтеза таких технологий. Описаны две прикладные информационные технологии.

A problem of constructing information technologies for signal processing in the form of «intelligent sensors» and «intelligent indicators» in decision-making systems is considered. A set of integral characteristics of the tools for synthesis of such technologies is given. Two applications of such systems are described.

Розглянуто проблему побудови інформаційних технологій обробки сигналів у вигляді «інформаційних датчиків» та «інформаційних індикаторів» у системах прийняття рішень. Наведено характеристики інструментальної системи для синтезу таких технологій. Описано дві прикладні інформаційні технології.

Введение. Компьютерные системы принятия решений получают все большее распространение в различных областях человеческой деятельности. Эффективность этих систем в значительной степени определяется достоверностью и своевременностью первичной информации. В ряде случаев получение такой информации не представляет особого труда — имеются простые и надежные средства измерения (датчики), достаточно объективно отражающие текущее состояние объекта.

В то же время при решении ряда практически важных задач, требующих применения компьютерных систем принятия решений, возникает ситуация, когда либо отсутствуют необходимые датчики, либо существующие средства измерения не обеспечивают своевременность получения требуемой информации. В таких ситуациях информационной поддержкой систем принятия решений могут служить информационные технологии, которые позволяют на основе компьютерной обработки доступных для регистрации данных — сигналов, порождаемых объектом исследования, косвенно получать необходимую информацию об этом объекте (рис. 1).

Поскольку примеры довольно часто бывают более убедительными, чем общие рассуждения, рассмотрим один из них. При управлении сталеплавильным процессом возникает необходимость использования компьютерных систем принятия решений, обеспечивающих возможность получения металла заданного качества. Такой системе на входе нужна оперативная информация об основных технологических параметрах металла по ходу плавки, в частности — о процентном содержании

углерода. Однако агрессивность и высокая температура расплавленного металла препятствуют созданию датчиков для непосредственного определения химического состава металла, а данные контрольных анализов химической лаборатории поступают с большим запаздыванием и для принятия оперативных решений не могут быть использованы.



Рис. 1

Для получения оперативной информации о химическом составе жидкого металла по ходу плавки нами была создана прикладная информационная технология [1], в основу которой положена гипотеза, вытекающая из идей термического анализа. Для иллюстрации этого метода обратимся к рис. 2, на котором представлен простейший случай термического анализа железо-углеродистого расплава.

В левой части этого рисунка в координатах температура — содержание углерода ($T-C$) изображен участок известной диаграммы состояния $Fe-C$ -сплава, который содержит две линии — линию ликвидуса и линию солидуса. Выше линии ликвидуса металл находится в жидком состоянии (область L), ниже линии солидуса — в твердом

состоянии (область S), а между этими линиями — в переходном состоянии (область $L+S$).

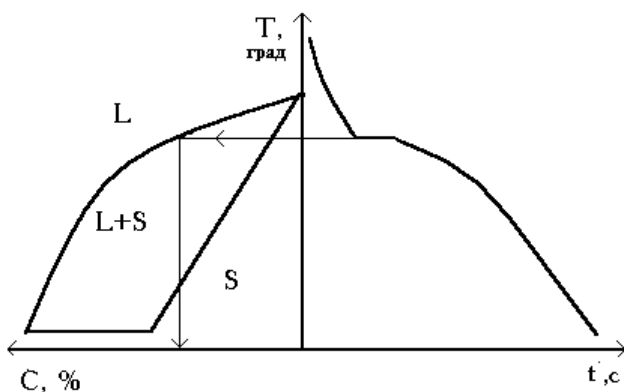


Рис. 2

Как видно из рисунка, линия ликвидуса не параллельна оси температур, а значит с изменением содержания углерода изменяется температура начала кристаллизации металла (температура ликвидуса) — чем выше содержание углерода, тем при более низкой температуре начинается процесс кристаллизации расплава.

Именно этот закономерный факт положен в основу термического контроля содержания углерода в расплаве по температуре ликвидуса. Однако возникает вопрос: каким образом определить саму температуру ликвидуса?

Природа пошла навстречу в разрешении этой проблемы. Дело в том, что в момент начала кристаллизации происходит экзотермическая реакция — выделение скрытой теплоты кристаллизации. Поэтому, если зарегистрировать процесс охлаждения расплава (см. правую часть рис. 2 в координатах $T-t$), то на графике процесса $T(t)$ (термограмме) при достижении температуры ликвидуса появляется своеобразный фрагмент в виде температурной остановки (площадки). Обнаружив на термограмме такой информативный фрагмент, можно определить температуру ликвидуса, а затем и процентное содержание углерода C в расплаве.

Дополнительные исследования показали [2], что одна лишь термограмма несет информацию о целом ряде других химических элементов расплава — содержании кремния Si , хрома Cr , фосфора P , марганца Mn , углеродного эквивалента Se , а также позволяет предсказать механические свойства металла, в частности — прочность на растя-

жение Rb и твердость Hb . На основе этих исследований нам как раз и удалось реализовать информационную технологию. Можно считать, что в информационной технологии обработки сигналов осуществляется последовательное преобразование исходного «сырья» (в данном случае — термограммы охлаждения расплава) в требуемый информационный «продукт» — информацию о химическом составе и механических свойствах выплавленного металла (рис. 3).

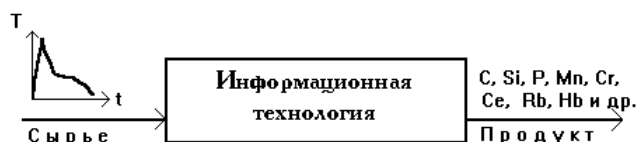


Рис. 3

Следует обратить внимание на то, что при построении различных прикладных информационных технологий обработки сигналов конструктор сталкивается с необходимостью решения по существу трех последовательных задач: предварительной обработки сигналов (нормировка, фильтрация, удаление тренда и т.п.), анализа сигнала на основе того или иного математического метода и, наконец, реализации некоторых математических моделей, интерпретирующих обрабатываемый сигнал для получения интересующей потребителя информации.

Настоящая работа развивает подход к построению инструментальной системы, обеспечивающей решение этих трех задач при синтезе прикладных информационных технологий обработки сигналов различной физической природы.

Основные термины и определения

К проблеме построения новых информационных технологий привлекается все большее внимание [3, 4]. Разработаны конкретные прикладные компьютерные системы, которые их авторами прямо или косвенно относятся к области информационных технологий. При этом само понятие «информационная технология» является далеко не устойчивым: одни авторы относят созданные ими конкретные прикладные системы к информационной технологии только лишь потому, что в этих системах происходит обработка информации, в других же случаях — наоборот, под информационной технологией понимается что-то весьма «аб-

страктное», способное, по мнению авторов, решить чуть ли не любую задачу.

Такая ситуация может в конечном итоге дискредитировать весьма перспективное в научном и практическом плане направление и снизить доверие потребителей к тем разработкам, в которых идет речь об информационной технологии.

Именно поэтому, прежде чем переходить к дальнейшему изложению, нам бы хотелось договориться о том, что мы будем понимать под информационной технологией обработки сигналов. Для этого, на наш взгляд, целесообразно в качестве «базового» определения использовать толкование исходного термина «технология», под которым, согласно [5], понимается искусство (мастерство, умение) в применении совокупности методов обработки и изменения состояния, свойств и формы исходного сырья, осуществляемых в процессе производства некоторого продукта. При этом задача технологии как науки представляет собой выявление закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных и экономных производственных процессов.

Следуя этим установившимся толкованиям терминов «технология» и «задача технологии», введем следующее определение.

Определение. Информационной технологией обработки сигналов будем называть искусство построения на основе имеющейся априорной информации наилучшей в некотором смысле цепочки перехода от порождаемого объектом исследования сигнала («сырье» технологии) к требуемой информации об этом объекте («продукт» технологии).

Ограничимся в дальнейшем рассмотрением двух задач синтеза информационных технологий обработки сигнала.

Постановка задач синтеза информационных технологий обработки сигнала

Задача 1. Синтез интеллектуального датчика. Пусть N -мерный вектор $z^{(N)} = (z_1, \dots, z_N)$ отражает некоторую количественную характеристику текущего состояния объекта исследования, необходимую для использования системой принятия решений, однако все (или какие-либо) компоненты этого вектора не могут быть непосредственно измерены из-за отсутствия соответствующих датчиков. Пусть далее в процессе своего функционирования объект порождает на выходе сигнал $x = x(t)$, кото-

рый может быть зарегистрирован на интервале времени $t \in [0, T]$. Допускается, что этот сигнал $x = x(t)$ несет информацию о векторе $z^{(N)}$.

В данном случае под синтезом информационной технологии будем понимать конструирование на базе некоторого набора вычислительных процедур и имеющейся априорной информации «интеллектуального» датчика (рис. 4), обеспечивающего путем обработки конкретной реализации сигнала $x = x(t)$ косвенную оценку текущего значения вектора $z^{(N)}$. Точность такого датчика будет характеризоваться некоторой мерой уклонения оценок $\hat{z}^{(N)}$ от истинных значений $z^{(N)}$, известных для контрольной выборки наблюдений на этапе синтеза информационной технологии.



Рис. 4

Задача 2. Синтез интеллектуального индикатора. Пусть качественная характеристика текущего состояния объекта исследований определяется его принадлежностью к одному из M классов конечного множества состояний $W = \{W_1, \dots, W_M\}$. Пусть также считается, что наблюдаемый на интервале $t \in [0, T]$ сигнал $x = x(t)$, который порожден объектом исследования, несет информацию о текущем классе объекта.

В данном случае под синтезом информационной технологии понимается проблема конструирования на базе некоторого набора вычислительных процедур и имеющейся априорной информации «интеллектуального» индикатора (рис. 5), обеспечивающего путем обработки конкретной реализации $x = x(t)$ принятие решения о текущем классе состояний объекта W_d ($1 \leq d \leq M$). Достоверность такого индикатора будет характеризоваться средней вероятностью ошибочных решений, принимаемых по контрольной выборке наблюдений на этапе синтеза информационной технологии.



Рис. 5

Для решения сформулированных задач возможны два альтернативных пути.

Первый из них предполагает глубокое и всестороннее изучение физических закономерностей процессов, которые происходят в исследуемом объекте и порождают сигнал $x(t)$. Конечной целью таких исследований является конструирование математических моделей, связывающих интересующие потребителя характеристики (класс состояний объекта W_d и вектор его параметров $z^{(N)}$) с характеристиками сигнала $x(t)$ на основе знания физических закономерностей.

Следует, однако, заметить, что при решении многих прикладных задач приходится сталкиваться с ситуацией, когда рассматриваемая проблема слабо структурирована и строгой формализации поддаются лишь ее отдельные элементы [6]. Исходные сведения о задаче зачастую неполны и/или противоречивы, поскольку для их получения используются не только строгие физические закономерности, но и экспертные оценки. Нередко физические закономерности процессов, происходящих в исследуемом объекте, настолько сложны, что получить адекватное описание порождаемого сигнала, пригодное для дальнейшего использования в диагностических и прогнозных моделях, не представляется возможным. И наконец, самое главное: обычно для упрощения изучения физических закономерностей процессов рассматривают «идеализированные» условия функционирования объекта, в результате чего полученные таким способом модели не адекватны условиям эксплуатации и их использование в реальных условиях приводит к значительным погрешностям.

Именно поэтому для слабоформализованных проблем более предпочтительным, а порой и един-

единственно возможным является второй путь решения задачи.

Этот альтернативный подход к синтезу информационных технологий обработки сигналов основан не столько на изучении физических закономерностей процессов порождения сигнала, сколько на глубоком анализе свойств самого этого сигнала. При этом предполагается, что в распоряжении конструктора имеется конечная выборка зарегистрированных реализаций $X = \{x_1(t), \dots, x_R(t)\}$, для которых известны соответствующие значения векторов $z_1^{(N)}, \dots, z_R^{(N)}$ и принадлежность к классам из множества $W = \{W_1, \dots, W_M\}$. Считается, что такие априорные сведения («указания учителя») могут быть получены с помощью каких-либо измерительных средств, которые, однако, по тем или иным причинам в дальнейшем нельзя использовать в качестве датчиков и индикаторов системы принятия решений.

Предлагаемая инструментальная система СИ-ДИГРАФ для синтеза информационных технологий как раз и реализует такой альтернативный подход.

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, приведем некоторые соображения, изложенные в [6].

В современной науке весьма распространена ситуация, когда некий Исследователь берется за трудную Проблему и решает ее или показывает, что она не может быть решена. Действия его в данном случае высоко оцениваются окружающими и выглядят чрезвычайно привлекательно.

Однако практика требует и других исследований. Актуальным и важным является не только разработка новых (оригинальных) алгоритмов, но и сравнительный анализ давно известных (традиционных) алгоритмов, методов и т.п. для того, чтобы сгруппировать их, наметить пути к упорядоченному, обоснованному исследованию и использованию.

Подобные методологические проблемы менее привлекательны и почитаемы, более того, нередко соответствующие исследования оцениваются по набившему оскомину стереотипу: ничего экстраординарного, объекты давно известны, просто переставлены по-иному.

Все же такие исследования необходимо проводить, ибо это не что иное, как попытки системного

анализа соответствующего научно-практического направления. Именно в результате подобной «инвентаризации» и могут обнаруживаться «белые пятна», нерешенные задачи и даже новые направления исследований.

Приведенные соображения в полной мере соответствуют представлениям авторов и явились хорошим стимулом при разработке инструментальной системы для синтеза информационных технологий обработки сигналов различной физической природы.

Инструментальная система СИДИГРАФ

Поскольку каждая конкретная прикладная информационная технология обработки сигналов реализует некоторую цепочку алгоритмов обработки данных, то на первый взгляд может показаться, что для синтеза такой технологии достаточно воспользоваться каким-либо универсальным пакетом программ обработки данных. Действительно, существует большое число таких пакетов, в частности — известные пакеты *ASSYST* фирмы *MacMillan*, *STATGRAF* фирмы *Statistical Research*, *DataEngine* фирмы *Management Intelligenten Technologien GmbH* и многие другие, в которых не только включен широкий набор программных средств анализа сигналов, написанных на высоком профессиональном уровне, но и реализован современный интерфейс пользователя, обеспечивающий удобство при проведении необходимых исследований.

В то же время большинство таких пакетов закрыты для пользователя в том смысле, что он, по существу, лишен возможности «извлечения» подходящей процедуры обработки сигнала, не говоря уже о возможности внесения необходимой модификации в какую-либо процедуру. Другими словами, даже если на этапе экспериментальных исследований с помощью подобных пакетов удается выбрать оптимальную технологическую цепочку обработки сигнала, то для ее реализации все равно приходится писать собственную программу.

Однако на этом этапе придется столкнуться не только с дополнительными затратами, но и с многочисленными проблемами, вызванными недостаточным пониманием профессиональных тонкостей и скрытых от пользователя *know how* того или иного вычислительного алгоритма. Довольно часто такие непредвиденные проблемы могут оказаться неразрешенными и попытка реализации приклад-

ной информационной технологии собственными силами терпит неудачу.

Именно поэтому основная концептуальная идея, положенная в основу инструментальной системы СИДИГРАФ, состоит в том, что эта система дает пользователю (конструктору «интеллектуального» датчика или индикатора) возможность не только провести комплекс необходимых исследований для выбора оптимальной технологической цепочки перехода от исходного «сырья» к «продукту» технологии, но и реализовать эту цепочку из готовых и доступных ему компонентов самой инструментальной среды. Образно говоря, результат синтеза конкретной информационной технологии представляет собой некоторую «проекцию» инструментальной системы, обусловленную спецификой решаемой прикладной задачи, а работа конструктора с системой в каком-то смысле может быть сравнима с мастерством скульптора, который путем удаления ненужных кусков преобразует в соответствии со своим замыслом бесформенную глыбу камня в произведение искусства.

Реализация этой концептуальной идеи базируется на двух основных принципах: модульности и единства формальной и неформальной технологии синтеза [7].

Первый из указанных принципов сводится к тому, что в распоряжение пользователя предоставляются готовые к применению алгоритмические модули, которые реализуют отдельные стадии информационной технологии. При этом сами эти модули, являющиеся «интеллектуальными» кирпичиками будущего здания (конкретной информационной технологии), реализованы не в виде отдельных программ, взаимодействующих посредством операционной системы, как это делается в большинстве известных пакетов обработки, а построены в виде библиотечных процедур со строго согласованными интерфейсами. Эти процедуры оверлейно подгружаются по запросу пользователя и взаимодействуют в единой информационной среде.

Второй принцип предполагает, что при решении недостаточно формализованных задач, когда отсутствуют строгие критерии выбора наилучшего модуля из имеющегося набора, пользователь действует неформально, полагаясь на свой предыдущий опыт и интуицию, мнение эксперта в рассматриваемой предметной области, а также максимально используя рекомендации и интеллекту-

альные «подсказки» самой инструментальной системы. Другими словами, в условиях ограниченной априорной информации о физических закономерностях порождаемых сигналов синтез информационной технологии осуществляется методом «проб и ошибок» путем диалогового взаимодействия конструктора с инструментальной системой в режиме «что будет, если для данной технологической операции будет применен тот или иной модуль?»

Разумеется, из сказанного вовсе не следует, что авторы отрицают необходимость формализации на этапе создания самих «интеллектуальных» кирпичей технологии. Более того, каждый такой модуль непременно должен быть ориентирован на строгую математическую модель обрабатываемого сигнала и удовлетворять некоторому формальному критерию оптимальности для данной модели. Речь идет совершенно о другом: в тех случаях, когда при решении конкретной практической задачи мы заранее не знаем модель реального сигнала, порождаемого объектом, то вместо решения промежуточной и трудоемкой задачи идентификации подходящей модели сигнала, не лучше ли методом «проб и ошибок» попытаться выбрать из имеющегося набора подходящий модуль?

Для реализации указанных принципов инструментальная система СИДИГРАФ (СИгнал+ДИалог+ГРАФик) имеет следующие основные подсистемы, объединенные общей виртуальной базой данных:

- подсистема ввода реальных сигналов;
 - — генерации тестовых сигналов;
 - — искажений сигналов;
 - — предварительной обработки сигналов;
 - — специальной обработки сигналов;
 - — анализа сигналов;
- подсистема интерпретации сигналов;
 - — визуального отображения;
 - — документирования;
 - — диалогового взаимодействия с пользователем.

Каждая из перечисленных подсистем охватывает широкий набор открытых для расширения модулей, реализующих соответствующие традиционные и нетрадиционные процедуры (рис. 6).

Очевидно, что при создании инструментальной системы далеко не тривиальным является вопрос выбора оптимального «размера» модулей. В самом

деле, как хорошо знают строители, если размер кирпича выбрать слишком большим (в нашем случае — «интеллектуального» кирпича), то он окажется непригодным для построения некоторых элементов здания. С другой стороны, слишком мелкие кирпичи затрудняют сам процесс построения здания.

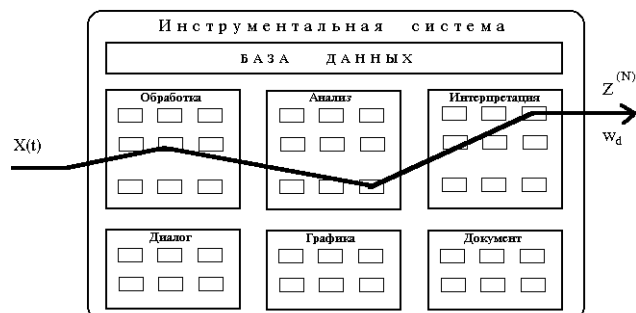


Рис. 6

Дадим краткую характеристику названным подсистемам.

Подсистема ввода реальных сигналов обеспечивает 16-канальный ввод однополярных аналоговых сигналов трех стандартных уровней: $0 \dots 2.5 \text{ V}$, $0 \dots 5.0 \text{ V}$ и $0 \dots 10.0 \text{ V}$, либо 8-канальный ввод биполярных сигналов уровней $-2.5 \text{ V} \dots +2.5 \text{ V}$, $-5.0 \text{ V} \dots +5.0 \text{ V}$, $-10.0 \text{ V} \dots +10.0 \text{ V}$. Преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму осуществляется с помощью быстродействующего 14-разрядного АЦП с временем преобразования 2 мкс.

В тех случаях, когда требуется вводить сигналы нестандартных уровней, в системе дополнительно используются нормирующие преобразователи.

Подсистема допускает также ввод последовательностей дискретных значений реальных сигналов, предварительно подготовленных в виде файлов различных форматов.

Подсистема генерации тестовых сигналов генерирует временные последовательности, которые можно использовать для имитации реальных сигналов при тестировании и сравнительной оценке различных вычислительных процедур. Подсистема включает имитаторы детерминированных и вероятностных процессов, реализующих различные математические модели сигналов, в том числе полигармонические сигналы, последовательности независимых одинаково распределенных величин с различными стандартными законами распределения (равномерный, нормальный, логнормальный, Коши, Парето, Максвелла, Релея и др.), а также генераторы стационарных и нестационарных случайных процессов.

Кроме того, в данной подсистеме предусмотрена генерация некоторых специальных сигналов, а также возможность формирования «смесей» и «щепочек» из выделенных фрагментов реальных и тестовых последовательностей.

Предусмотрен ручной ввод последовательности дискретных значений сигналов с помощью клавиатуры.

Подсистема искажений сигналов обеспечивает возможность «наложения» на реальные и тестовые сигналы различ-

ных помех и искажений с целью последующей проверки и сравнительной оценки вычислительных алгоритмов фильтрации и восстановления неискаженных сигналов. В состав этих средств включены, в частности, процедуры наложения аддитивных и мультипликативных помех (частотных и случайных) с различными характеристиками и искажений типа случайных «выбросов», низкочастотного «дрейфа» и многих других, с которыми приходится иметь дело при решении практических задач обработки сигналов.

Подсистема предварительной обработки сигналов содержит широкий набор процедур фильтрации (в частности, различные алгоритмы сглаживания данных и цифровые частотно-избирательные фильтры). Следует отметить, что в процессе создания данной подсистемы пришлось не только внести целый ряд полезных усовершенствований в традиционные алгоритмы цифровой фильтрации, но и включить в ее состав новые, нетрадиционные алгоритмы, которые в ряде случаев оказались более эффективными, нежели общеизвестные. Впрочем, аналогичная ситуация наблюдалась при разработке и других подсистем.

Кроме алгоритмов сглаживания и фильтрации в данной подсистеме реализованы некоторые весьма полезные процедуры операторных преобразований, в том числе — традиционные и нетрадиционные алгоритмы дифференцирования цифровых последовательностей в условиях помех, оригинальные алгоритмы сплайн-интерполяции и ряд других процедур.

Подсистема специальной обработки сигналов включает в себя набор некоторых специальных процедур обработки временных рядов, в частности, алгоритмы прогноза, выделения скрытых периодичностей, а также представления временных последовательностей в фазовом пространстве координат.

Подсистема анализа сигналов содержит набор традиционных и оригинальных процедур, позволяющих проводить корреляционный, спектральный, гармонический и статистический анализ предъявляемых для обработки временных сигналов.

Помимо перечисленных общепринятых методов анализа сигналов в подсистеме реализован подход [8], основанный на автоматическом поиске и распознавании информативных фрагментов (связных участков) сигналов различной природы, в соответствии с которым введено представление о трех типах таких фрагментов сигнала — фрагмент<свойство>, фрагмент<функция> и фрагмент<параметр>, подлежащие распознаванию на фоне возможных искажений. Оказалось, что при решении целого ряда прикладных задач можно использовать параметры сигнала на границах обнаруженных фрагментов в качестве аргументов моделей для косвенной оценки вектора $z^{(N)}$ и/или признаков диагностических моделей для оценки класса состояний W_d объекта исследования.

Подсистема интерпретации сигналов служит для построения математических моделей, описывающих взаимосвязь вектора $z^{(N)}$ и класса состояний W_d с параметрами обрабатываемого сигнала. Построение моделей ведется на основе имеющейся обучающей выборки с использованием современных методов структурной и параметрической идентификации [9, 10], а также алгоритмов обучения распознаванию образов по конечному числу наблюдений [11, 12]. Часть обучающей выборки (контрольная выборка) используется для оценки качества построенных моделей. Такая оценка основана не

только на формальных критериях, но и на специальных процедурах графической визуализации.

Подсистема визуального отображения имеет набор оригинальных средств визуального отображения и манипулирования с одно-, двух- и трехмерными графиками в рабочем окне системы. Эти средства совместно со средствами подсистемы диалогового взаимодействия позволяют конструктору информационной технологии проводить сравнительную оценку в процессе поиска подходящей технологической цепочки.

Так, например, после отображения в рабочем окне системы графиков, визуализирующих результат применения нескольких альтернативных процедур обработки сигнала, пользователь имеет возможность перемещать и масштабировать указанный им график на фоне остальных неподвижных графиков и путем их визуального совмещения оценить результат обработки. Оригинальность разработанных процедур состоит в том, что в отличие от аналогичных процедур, реализованных в известных графических редакторах, масштабирование графиков осуществляется не путем манипулирования с экранными точками, что может приводить к ряду искажений, а путем непосредственного обращения к данным, породившим соответствующий график.

Следует также отметить, что такая визуальная оценка расхождений результатов обработки порой бывает более наглядной и информативной, чем численная оценка расхождений, и, по крайней мере, существенно дополняет последнюю.

Для графиков трехмерных массивов дискретных значений дополнительно реализована возможность получения их соответствующих проекций при различных углах обзора (режим «поворот» графика в трехмерной системе координат). Этот режим активно используется при отображении сигналов в фазовом пространстве координат.

Когда рабочее окно системы перегружено большим числом графиков, пользователь может удалить с экрана ненужный график при сохранении остальных либо «свернуть» один или несколько в соответствующие пиктограммы. Для «свернутых» в пиктограммы графиков по-прежнему сохраняется возможность доступа к данным, породившим их, что позволяет через соответствующую пиктограмму передавать эти данные в вычислительные процедуры для дальнейшей обработки. В любой момент по желанию пользователя «свернутые» до пиктограмм графики могут быть представлены в исходном виде.

В подсистеме отображения реализованы также и другие функции работы с графиками: замена цвета отображения, просмотр участков графика в увеличенном масштабе («Лупа»), отображение дискретных отсчетов, породивших график («Решетка») и многие другие.

Подсистема документирования обеспечивает формирование необходимых документов в виде твердых копий текстовой и графической информации на принтере и плоттере, а также сохранение результатов обработки в файлах соответствующих форматов. Помимо этого предусмотрена возможность сохранения в специальном файле всей необходимой информации о текущем состоянии рабочего окна, благодаря чему при запуске системы пользователь сразу же может восстановить рабочую ситуацию предыдущего сеанса.

При разработке *подсистемы диалогового взаимодействия с пользователем* авторы, естественно, руководствовались концепциями построения современного пользовательского

интерфейса, изложенными в [13–15]. Однако для того, чтобы не перегружать систему рядом излишеств, реализация которых в современных продуктах свидетельствует скорее о следовании моде, нежели отвечает здравому смыслу, мы поставились ограничиться разумной достаточностью сервисных средств, направленных на главную цель — обеспечение удобного (дружелюбного) интерфейса пользователя с инструментальной системой при синтезе информационных технологий.

В подсистеме реализована библиотека процедур построения многоуровневых иерархических меню, работающих в графическом режиме монитора и обеспечивающих доступ к соответствующим пунктам меню с помощью манипулятора «мышь», клавиш управления курсором и «горячих» клавиш. Естественно, библиотека позволяет реализовать систему контекстно зависимых информационных (статусных) строк и окон помощи («интеллектуальных» подсказок конструктору). Имеется также библиотека процедур построения различных типов информационных и диалоговых окон, выполненных в соответствии с современными стандартами.

Язык диалога с пользователем реализует известный принцип *Point-and-Select* («Укажи и выбери») — в процессе синтеза информационной технологии для обеспечения доступа к данным достаточно указать на соответствующий график в рабочем окне, а для вызова требуемой вычислительной процедуры — выбрать соответствующий пункт меню и, если это необходимо, в раскрывающемся диалоговом окне указать требуемые параметры этой процедуры. Все удачные шаги пользователя при взаимодействии с системой могут быть сохранены в специальной списочной структуре данных («истории синтеза»), описывающих оптимальную для рассматриваемой прикладной задачи последовательность вычислительных алгоритмов.

Для организации взаимодействия компонентов инструментальной системы в единой информационной среде реализован оригинальный «носитель» информации (так называемое «рабочее тело» технологии), в качестве которого используется объект (структура) в виде тройки

$$Q = \langle D, G, A \rangle,$$

где D — поля собственно данных (одно-, двух- и трехмерные динамические массивы дискретных отсчетов), G — графические атрибуты (цвет графика, его месторасположение на экране монитора, коэффициенты масштабирования и т.п.), A — атрибуты данных (тип используемой процедуры, параметры настройки вычислительного алгоритма и т.п.).

Рис. 7 иллюстрирует схему взаимодействия объектов Q в процессе синтеза информационной технологии. При вызове очередной вычислительной процедуры порождается новый экземпляр объекта Q_{i+1} , который частично наследует соответствующие поля объекта-прародителя Q_i . Объединение (инкапсуляция) в объектах Q трех типов полей позволяет

с одной стороны, через экранные координаты графика обеспечить доступ к соответствующим полям данных, а с другой — привязку графика, отображающего результат обработки, к графику исходных данных.

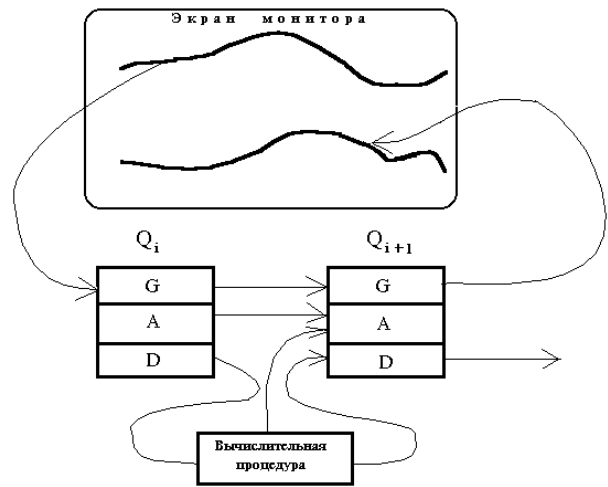


Рис. 7

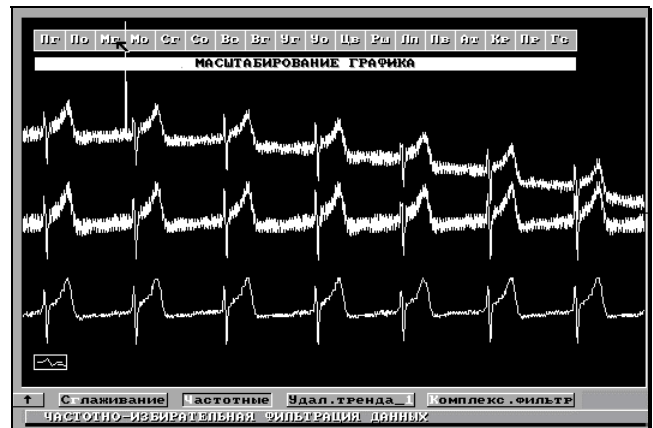


Рис. 8

Для иллюстрации на рис. 8 показано рабочее окно инструментальной системы на этапе решения задач предварительной обработки сигнала. В верхней части экрана расположено меню доступных графических средств, а в нижней — одно из меню подсистемы предварительной обработки. Верхний график в окне визуализирует исходный сигнал (электрокардиосигнал). Ниже приведен график сигнала после применения процедур медленной фильтрации (обеспечившей удаление случайных выбросов) и удаления низкочастотного

дрейфа. Нижний график отображает сигнал, полученный после применения процедуры узкополосной цифровой фильтрации — режекторного фильтра сетевой помехи. В левом нижнем углу изображена пиктограмма временно «свернутого» графика промежуточных этапов обработки.

Система СИДИГРАФ нашла применение при решении задач синтеза «интеллектуального» датчика технологических параметров железоуглеродистых расплавов (информационная технология ТЕРМОГРАФ) и «интеллектуального» индикатора патологий организма (технология САЛЮКС).

В технологии ТЕРМОГРАФ реализован метод косвенного термического контроля, основанный на компьютерной обработке сигнала о температуре охлаждения пробы расплава [1, 16–19]. Результаты испытаний этой технологии по данным Купянского литейного завода при контроле содержания углерода C , кремния Si , хрома Cr , марганца Mn , меди Cu , фосфора P , величины углеродного эквивалента CE , коэффициента эвтектического насыщения SC , прочности на растяжение Rb , твердости Hb , а также двух параметров отбела приведены в [1].

САЛЮКС использует нетрадиционный метод диагностики, основанный на эффекте биохилюминесценции — свечении организмов и биосубстратов за счет энергии экзотермических химических реакций, протекающих в тканях [20, 21]. Опыт эксплуатации разработанной технологии в одном из лечебно-профилактических учреждений Киева подтвердил ее высокую эффективность при массовых обследованиях пациентов и достоверность при дифференциальной диагностике заболеваний органов пищеварения (печень, желчевыводящие пути, поджелудочная железа, толстый и тонкий кишечник), определении секреторной функции органов, выявлении аллергии к пищевым продуктам и медикаментам, диагностике бактериальных и грибковых инфицированных и других патологий.

Заключение. Несмотря на то, что инструментальная система СИДИГРАФ позволила достаточно быстро провести необходимые исследования и синтезировать конкретные прикладные информационные технологии, авторы далеки от мысли считать данную работу завершённой. Безусловно, при решении других прикладных задач появится необходимость модифицировать отдельные компоненты системы и включить в ее состав новые

«интеллектуальные модули». Но это и не страшно — открытая для расширения архитектура инструментальной системы позволяет ее постоянно совершенствовать. Для интеграции в систему новых средств достаточно просто при написании вводимых программных модулей учесть ряд не очень обременительных ограничений на интерфейс вызываемых процедур.

Таким образом, внутренний «интеллект» инструментальной системы находится в постоянном развитии: существующие «интеллектуальные» модули помогают быстро и эффективно провести необходимые исследования при решении новой прикладной задачи, а возникающие при этом проблемы неизбежно порождают новые «интеллектуальные» модули. Сама же система используется как «полигон» в процессе разработки, исследований и сравнительной оценки оригинальных алгоритмов обработки сигналов.

Следует особо отметить, что при создании инструментальной системы авторы поставили перед собой цель получить компактный и патентно чистый программный продукт. Для этого все компоненты системы, в том числе компоненты графического отображения и диалогового взаимодействия, разрабатывались на языке программирования.

Инструментальная система СИДИГРАФ создана в лаборатории синтеза информационных технологий обработки сигналов Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины по заданию конкурсного проекта ГКНТП Украины 05.02.03/002-95. Система реализована на ПЭВМ класса *IBM* с процессором *Intel-486*, но может работать даже на компьютерах с процессором *Intel-286* под управлением *MS DOS* версии 3.3 и выше. В настоящее время СИДИГРАФ — это всего один загрузочный модуль объемом 120 Кбайт с файлом оверлеев объемом 430 Кбайт.

Авторы выражают благодарность В.К. Задираке и А.И. Березовскому за представленные в систему оригинальные алгоритмы обработки сигналов на основе БПФ и сплайн-интерполяции, а также другим своим коллегам, принимавшим участие в разработке программных модулей системы СИДИГРАФ.

1. Система компьютерной обработки термограмм / В.И. Скурихин, Л.С. Файнзильберг, Т.П. Потапова, Э.А. Шелковий // УСиМ. — 1990. — № 4. — С. 82–88.

2. *Jura St., Szelkowyj E.A., Maslennikow S.N.* Jak uzyskac wyzsza precyzyje oceny zawartosci pierwiastkow w zeliwie przy pomocy metody ATD. — Krzepnicie metali i stopow. — Gliwice, 1988. — S. 37–43.
3. *Поспелов Г.С.* Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. — М.: Наука, 1988. — 280 с.
4. *Гриценко В.И., Паньшин Б.Н.* Информационная технология: вопросы развития и применения. — Киев: Наук. думка, 1988. — 272 с.
5. *Советский энциклопедический словарь.* — М.: Сов. энциклопедия, 1988. — 736 с.
6. *Белкин А.В., Левин М.Ш.* Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. — М.: Наука, 1990. — 160 с.
7. *Скурихин В.И., Файнзильберг Л.С., Потапова Т.П.* Инструментальная система для синтеза информационных технологий обработки сигналов различной физической природы. — Сб. науч. тр. междунар. конф. «ЗНАНИЕ–ДиАЛОГ–РЕШЕНИЕ», (Ялта, 9–14 октября 1995 г.), 2. — С. 380–391.
8. *Скурихин В.И., Файнзильберг Л.С., Потапова Т.П.* Подход к построению информационной технологии компьютерного распознавания фрагментов случайных сигналов в задачах диагностики и косвенного контроля // Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии: Тез. докл. 1 Всес. конф. — Минск, 1991. — С. 131–134.
9. *Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П.* Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. — М.: Радио и связь, 1987. — 120 с.
10. *Алгоритмы и программы восстановления зависимостей /* Под ред. В.Н. Вапника. — М.: Наука, 1984. — 814 с.
11. *Нильсон Н.* Обучающиеся машины. — М.: Мир, 1967. — 180 с.
12. *Файнзильберг Л.С.* Об одном подходе к задаче обучения распознаванию двух классов по конечному числу наблюдений // Автоматика. — 1978. — № 5. — С. 46–50.
13. *Systems Application Architecture: Common User Access, Panel Design and User Interaction, SC26-4351-0, IBM Corporation (1987).*
14. *Wheeler E.F., Ganek A.G.* Introduction to Systems Application Architecture // IBM Systems Journal. — 1988. — 27, № 3. — P. 250–263.
15. *Bennett J.L.* Tools for building advanced user interfaces // Ibid. — 1986. — 25, №.3/4. — P. 354–368.
16. *Автоматическое определение в цифровой форме химического состава жидкого чугуна /* Л.С. Файнзильберг, Ю.В. Власенко, Э.Х. Тухин, Э.А. Шелковский // Литейное производство. — 1985. — № 8. — С. 23–24.
17. *Файнзильберг Л.С.* Новый подход к термическому анализу жидкой стали на углерод // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1980. — № 6. — С. 113–119.
18. *А.с. 787965 СССР.* Способ распознавания площади ликвидуса на термограмме / Л.С. Файнзильберг // Б.И. — 1980. — № 46.
19. *Патент № 4198679 США.* Method and device for discriminating thermal effects of phase transformation of metals and alloys in the process of their cooling / L.S. Fainzilberg. — Оpubл. 15.04.80.
20. *Тарусов Б.Н., Поливода А.И., Журавлев А.И.* Изучение сверхслабой спонтанной хемиллюминесценции животных клеток // Биофизика. — 1961. — № 6, вып. 4. — С. 490–492.
21. *А.с. 1532872 СССР.* Способ выявления пищевого аллергена / Н.И. Якуба // Б.И. — 1989. — № 32.

Поступила 24.06.96

Тел. для справок: (044) 267-60-23 (Киев)

© В.И. Скурихин, Л.С. Файнзильберг, Т.П. Потапова, 1996