

МЕТОДИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

А. Ф. Алейников

Исключительна роль информационных технологий при проведении фундаментальных исследований, основной задачей которых является получение новых знаний, выявление взаимосвязей и закономерностей. Источником информации, во-первых, могут быть данные и сведения, полученные до нас. Это накопленный человечеством огромный массив информации. Поиск в массивах нужной информации – важнейшее направление информационной деятельности. Во-вторых, при проведении исследований необходимо получение текущей информации.

При получении новых знаний не обойтись без средств измерения (СИ), так как процедура измерения – это, в первую очередь, познавательный процесс.

В последнее время в России резко сократились разработка и производство СИ. Это связано с притоком импортных средств на рынок страны. На мой взгляд, попытки создания конкурентоспособных СИ, в которых используются импортная комплектация, и традиционные принципы их действия в северных странах обречена на неудачу. В стране с резко континентальным климатом затраты на их изготовления всегда будут превышать затраты на создания технических средств в Малайзии, Корее и других странах.

Существующее положение может исправить ориентирование на создание отечественных СИ, основанных на новых эффективных принципах измерений. Принципы измерений определяют стратегию будущего СИ. Совокупность физических явлений реализуется в аналоговой части СИ, включающей датчики.

Нами была поставлена задача: найти общие принципы совершенствования структуры чувствительного элемента датчика и разработать на их основе методику поиска принципов действия, неизвестных ранее, с использованием баз данных и знаний о физических эффектах и разработать эффективную методику поиска новых принципов измерений физических величин. Чувствительный элемент определяется как часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал.

Так как при разработке датчиков и СИ используются результаты многих научных направлений, уровень обобщённости при поиске их принципов должен быть достаточно высок.

Для осуществления такого поиска был предложен «вещественно энергетический» аспект обобщения.

Предполагается, что основой аналоговой информационно-измерительной техники являются не только традиционно рассматриваемые энергетические преобразования и обмен энергии, но и «вещественные» преобразования (преобразования вещества), происходящие в измерительных сигналах. Под вещественными преобразованиями понимается изменение любых свойств чувствительных элементов и веществ, присутствующих при проведении измерений. Необходимость рассмотрения таких преобразований вытекает как из философских, так и из физических понятий. Целесообразность рассмотрения энергетических преобразований обусловлена взаимосвязью энергии сигнала с измерительной информацией. Но и преобразование энергии вне вещества не происходит. Поэтому необходимость целенаправленного и совместного рассмотрения характерных особенностей преобразований энергии и вещества, происходящих при формировании измерительных сигналов, очевидна.

Разработка новых технических средства относится к проблеме синтеза новых решений, которая рассматривается в рамках методов поискового конструирования, принципов инженерного творчества, алгоритма изобретательских задач. Нередко задачи поискового проектирования и конструирования затруднительно или невозможно решить без использования вычислительной техники, например, при проектировании технических систем с новыми принципами действия, систем, которые сложны для мысленного моделирования. В нашей стране и за рубежом активно разрабатываются и используются программные продукты для поддержки решения задач поискового проектирования, поддержки творческой деятельности.

Разработка первых программных продуктов для информационной поддержки творческой деятельности началась в конце 1970-х гг. В нашей стране основу для создания таких программ заложили известные работы Г.С. Альтшуллера, А.И. Половинкина, Г.Я. Буша, В.В. Митрофанова и других исследователей, разрабатывавших алгоритмы решения нестандартных задач, преимущественно на основе теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). За рубежом

программы, предназначенные для облегчения поиска нестандартных решений, генерации новых идей и активизации творческих способностей человека обозначаются специальным термином Creativity Software. В нашей стране терминология для обозначения соответствующего класса программного обеспечения пока ещё не сложилась, в основном используется термин «системы поддержки творческих решений» (СПТР). Эти системы могут быть применимы везде, где требуется новое решение или новый способ использования привычных вещей. Разумеется, сами по себе СПТР не способны решать «творческие» задачи, они лишь помогают человеку в их решении. Широкое распространение СПТР получили в областях научно-технического творчества и изобретательства (более 10 лет СПТР используют инженеры и технологи крупнейших мировых компаний: Polaroid, General Electric, Procter & Gamble, Kodak и многие другие).

В отличие от отечественных разработок, построенных в основном на базе ТРИЗ и «рационализирующих» творческий процесс, зарубежные версии СПТР в целом более «иррациональны» и базируются на широком спектре методов решения творческих задач, используют принципы мозгового штурма, морфологического анализа, различные варианты синектических методов, методы случайного стимулирования ассоциаций и др. На зарубежном рынке ПО представлены, например, такие программные продукты, как Axon Idea Processor, Problem Solver, SeriousCreativity, Genius Handbook, BrainStormer, Brainstorming Toolbox, IdeaGenerator, Creativity Unleashed, Creativity Machine, Inspiration, MindMan, Idea Fisher и многие другие. Несмотря на относительную простоту и подчас «игровой» характер использования большинства названных программ, они, судя по опыту и оценкам специалистов, использующих такие программы на практике, достаточно эффективны.

Можно обозначить следующие функции, выполняемые такими программами:

1. оценка творческих способностей (как правило, тесты на «нестандартность» мышления) и возможность проследить их развитие по мере использования СПТР;
2. стимулирование творческих способностей (задачи, развивающие «нестандартное» мышление);
3. разрушение привычных представлений, стереотипов (визуальные, текстовые и проч. «подсказки» — стимулы, способствующие появлению у человека новых ассоциаций и генерированию новых идей);

4. составление «карт мышления» (mind mapping, concept mapping);
5. формирование (по задаваемым пользователем условиям) выборки решений из «банка идей» для их последующего усовершенствования, адаптации и применения;
6. комбинирование идей для получения новых;
7. сортировка и оценка идей на основе задаваемых критериев и выбор наиболее подходящих;
8. организация и протоколирование процесса генерации новых идей и их отбора;
9. пополнение существующего «банка идей».

Большинство программ этого класса построено на идеях ТРИЗ, разработанной Г. С. Альтшуллером, например, «Изобретающая машина», англоязычная разработка Invention Machine, «Машина открытий» В.В. Митрофанова (www.natm.ru/triz/news/mo_rekl.htm). Часто такие программы включают в себя дополнительные ресурсы, например, базы физико-технических эффектов, фонд решения изобретательских задач, тезаурусы, словари и т.п.

Основные положения предлагаемой методики поиска структур вещественных и энергетических преобразований измерительных сигналов в датчиках несложны и выражаются в следующем:

- а) выделяются механический, тепловой, акустический, электрический, магнитный, оптический, ионизационный и химический виды энергии;
- б) все виды энергии математически афинно-подобны и могут быть описаны эквивалентными формулами;
- в) сформированные сигналы отражают причинно-следственные связи протекающих преобразований в датчике;
- г) на основе анализа этих связей возможно построение эквивалентных математических уравнений, необходимых при описании преобразований различных по физической природе измерительных сигналов;
- д) методы измерения любых физических величин построены на общих закономерностях преобразований видов энергии и свойств веществ;
- е) в закономерностях преобразований в веществе видов энергии проявляются свойства однородности и изотропности преобразований.

При анализе эффективности синтезируемых принципов измерений использована теория

Виды энергии Э	Обобщённые величины					
	Напряжение (причина) U	Ток (следствие) I	Заряд q	Сопротивление R	Энергия Э	Поток энергии P
Электрическая Эе	U	$I = dq/dt$	$q = C \cdot U$	R	U·q	U·I
Магнитная Эh	Fh	$d\Phi/dt$	$\Phi = L \cdot I$	$Rh = \frac{Fh}{d\Phi/dt}$	Fh·Φ	Fh·dΦ/dt
Механическая Эf	F	$v = dl/dt$	$l = F/D$	$Rf = F/v$	F·l	F·v
Акустическая Эр	p	dV/dt	V	$Rp = \frac{p}{dV/dt}$	p·V	p·dV/dt
Тепловая Эт	gradT	$d(I \cdot C_T) / dt$	$I \cdot C_T$	$R_T = \frac{\Delta T}{V \cdot \lambda}$	gradT·I·C_T	gradT·I·vT
Оптическая Эi	H	$d(J/E) / dt$	$J = s \cdot E$	$R_i = \frac{\omega \cdot H}{s \cdot n}$	H·s	H·v_i
Ионизирующая Эr	Dn	dm/dt	m	$R_r = \frac{Dn}{dm/dt}$	Dn·m	Dn·dm/dt
Химическая Эс	$dz/dt \cdot V$	dN/dt	N	$R_c = \frac{dz/dt \cdot V}{dN/dt}$	$dz/dt \cdot V \cdot N$	$\frac{dz}{dt} \cdot \frac{dN}{dt}$

Рис.1. Систематизация обобщённых величин:

Fh – магнитодвижущая сила; Φ – магнитный поток; L – индуктивность; F – сила; s – площадь; v – скорость; l – перемещение; D – жёсткость; p – звуковое давление; V – объем; gradT – градиент температуры; ΔT – приращение температуры; C_T – теплоёмкость; λ – коэффициент теплопроводности; H – энергетическая экспозиция; J – сила света; E – энергетическая освещённость; ω – телесный угол; D_n – доза излучения; m – масса; dm/dt – поток ионизирующего излучения; χ – коэффициент диффузии; N – концентрация; n – поток фотонов.

измерительных преобразователей, представляемых в виде электрических четырёхполюсников. Произведена систематизация величин для различных видов энергии, в которой физическим величинам придавался смысл обобщённых напряжения, тока, заряда и сопротивления (рис. 1).

При изучении любого явления, проявляющегося во взаимодействии двух величин, допускается принять одну величину в качестве причины (воздействия), а другую – в качестве следствия (реакции). В первую очередь рассматривается процесс преобразований, происходящих в аналоговой части СИ, который характеризуют носители информации – потоки энергии сигналов. Эти потоки энергии представлены в виде двух величин: воздействия и реакции. Например, электрический поток энергии описывается произведением напряжения и тока. Напряжение рассматривается как воздействие, а ток как реакция. Под обобщённым же зарядом понимается способность материи к взаимодействию, к реагированию на различные воздействия во времени. Обобщённое сопротивление для любого вида энергии определялось отношением воздействия к вызванной реакции. Эта величина характеризует присущую материи способность оказывать сопротивление внешним воздействиям.

На основе такого подхода разработана методика автоматизированного поиска структур преобразований для 8 видов энергии и веществ (преобразователей энергии и параметрических преобразователей). Она включает (рис. 2):

- формирование принципа с помощью обобщающего алгоритма, найденного в результате анализа более 500 методов измерения физических величин и формализованных рабочих алгоритмов вещественных и энергетических преобразований измерительных сигналов (рабочий алгоритм описывал необходимое и достаточное количество преобразований энергии и свойств веществ, приводящее к формированию выходного сигнала любой физической природы);
- создание банка данных по физическим явлениям в форме, удобной для машинной обработки, при условии, что описание основано на вещественных и энергетических преобразованиях, включающих сведения о свойствах веществ;
- оценку свойств структур преобразований с использованием критерия согласования обобщённых сопротивлений, разработанного с привлечением законов теоретической механики, теории четырёхполюсников и теории аналогий и подобия.

Таким образом, автоматизируется поиск структур преобразований сигналов с подбором наиболее рациональных комбинаций физических явлений на основе использования базы знаний о свойствах материалов, в которых протекают эти явления. Разработку же конструкции датчиков по предложенной структуре производит автор.

Выведены базисные алгоритмы, определяющие закономерности протекания преобразований измерительных сигналов, характеризующие принципы действия аналоговых датчиков и СИ. Базисные алгоритмы содержат минимальное количество вещественных и энергетических преобразований измерительных сигналов, имеющих место в датчиках. На основе базисных алгоритмов разработаны и экспериментально подтверждены 5 путей (направлений) поиска новых совокупностей ФЯ:

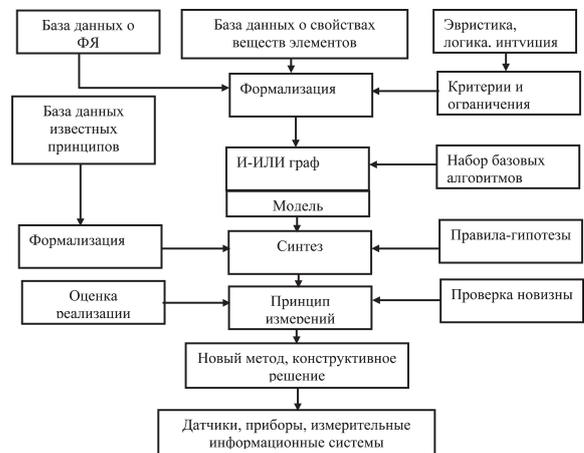


Рис.2 Методика автоматизированного поиска

- а) формирование новых совокупностей ФЯ с применением рабочих алгоритмов, не обнаруженных в известных методах;
- б) подстановка в известные рабочие алгоритмы ранее неиспользованных видов энергии и свойств веществ;
- в) увеличение числа известных рабочих алгоритмов;
- г) увеличение числа известных рабочих алгоритмов с подстановкой ранее неиспользованных видов энергии и свойств веществ;
- д) самостоятельное построение проектировщиком рабочего алгоритма на основе базисных алгоритмов, без ограничений количества цепей преобразования.

Проведённый автоматизированный синтез позволил создать более 30 новых принципов и методов измерений температуры, давления, влажности воздуха и почвы, площади листьев растений и др.

Рассмотренная методика автоматизированного поиска новых решений может применяться в любых технических областях.

Например, развитие космических исследований, появление новых сфер использования ядерной энергии, разработка систем противоядерной обороны требуют разработки и совершенствования электронной техники, надёжно работающей в экстремальных условиях.

Общеизвестно, что при взаимодействии излучения с полупроводниковыми кристаллами имеют место эффекты смещения и ионизации, приводящие к необратимым изменениям в полупроводниках и соответствующим радиационным дефектам в них. Изменение температуры окружающей среды до очень высоких и очень низких значений также приводит к необратимым изменениям полупроводниковых структур и невозможности правильного преобразования электрических сигналов. Использование современной микроэлектронной аппаратуры в таких условиях требует специальных мер защиты и сложной технологии её создания. Основой электронной аппаратуры, предназначенной для эксплуатации в экстремальных условиях, должны стать преобразователи сигналов различной физической природы, поскольку вид преобразования сигналов определяет устойчивость преобразователя к воздействиям окружающей среды.

Наиболее перспективными автор считают преобразователи тепловых сигналов. Это обусловлено тем, что использование теплового сигнала как носителя информации должно позволить учитывать внешние тепловые воздействия в экстремальных условиях. Именно анализ вариантов построения тепловых преобразователей будет взят в качестве примера использования баз данных физических эффектов.

Рассмотренные нами «вещественные» и энергетические преобразования измерительных

сигналов могут быть использованы при построении любых преобразователей сигналов.

На основе предлагаемой методики синтезирована модель теплового транзистора на основании алгоритма, полученного путём прямой аналогии с алгоритмом работы полупроводникового транзистора. В качестве нелинейного элемента используется диэлектрик. В диэлектриках свободных электронов практически нет. Теплота передаётся путём раскачки узлов кристаллической решетки по цепочкам связанных узлов – атомов. Чем выше температура внутри некоторой микрообласти, тем больше в ней амплитуда тепловых колебаний. Через квазиупругие связи эти колебания передаются соседним узлам (микрообластям) и т. д. В результате по кристаллу со звуковой скоростью распространяются тепловые (фононные) волны. В области очень низких температур тепловое сопротивление диэлектрика при нагревании сначала резко убывает по линейному закону (от 0 до 20°K), затем постепенно возрастает по закону обратной пропорциональности. Использование этой линейной зависимости теплового сопротивления от температуры в низкотемпературной области позволит наряду с другими элементами преобразователя создать логические элементы, где в качестве информационных сигналов используются тепловые волны – фононы.

Рассмотрим работу такого преобразователя по аналогии с принципом действия усилителя сигналов на полупроводниковом транзисторе (рис. 3). Преобразователь состоит из двух источников 1,2 и приёмника 3 теплового поля, источника теплового «смещения» 4, теплового диода 5, теплопроводов 6-9, слоя материала 10 с температурной зависимостью теплового сопротивления (нелинейный элемент) и теплоизолятора 11. Работа теплового преобразователя подобна работе усилителя на полупроводниковом транзисторе. При этом носителями информации являются тепловые сигналы. В данном случае по аналогии: источник входных сигналов – источник 1 (Q_{BX}); источник питающего напряжения – источник 2 (Q_0); источник смещения – источник 4 (Q_{CM}) и т.п. Работа теплового диода основана на принципе теплового расширения. При расположении «теплотронной» аппаратуры на борту космического корабля в качестве образцового теплового «смещения» Q_{CM} низкой температуры может быть использована естественная температура Космоса. Источником теплового поля Q_0 может быть использован естественный или искусственный источник со стабильной температурой. С помощью источника 2,4 и системы теплопроводов 7-9 происходит процесс изменения температуры в слое 10 (выбор «рабочей» точки). Этот кондуктивный теплообмен происходит во втором «плече» теплопровода 7. Выбором же значений температур источников 2,4, коэффициента деления теплового потока в плечах – «резисторах» теплопровода 7, материалов теплопроводов и их сечений

