

УДК 004.8/004.93/681.513.8;681.514

С.С. Анцыферов, Н.Н. Евтихийев

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Россия, antsyfer@yandex.ru

Адаптивные системы распознавания образов пространственно-временных полей

Предлагается методология проектирования адаптивных информационно-распознающих систем – систем с элементами искусственного интеллекта. Структурно-стохастический принцип обработки информации обеспечивает преодоление существенной априорной неопределенности и высокие показатели по достоверности результатов.

Вступление

При решении проблем, связанных с оценкой состояний широкого класса исследуемых объектов и выбором стратегии управления сложными процессами, все большее распространение получают методы, основанные на использовании информации пространственно-временных полей различной физической природы. По мере расширения круга решаемых задач и их усложнения к системам обработки информации полей предъявляются все более жесткие требования по основным показателям их эффективности: высокая достоверность при ограниченном времени получения конечных результатов, устранение фактора субъективности при принятии решений, быстрая адаптируемость к новым задачам.

Вместе с тем следует отметить, что физические поля большого числа объектов довольно разнообразны и сложны по своей структуре, а поэтому требуют для интерпретации и последующего принятия решений специалистов высокой квалификации. Высококвалифицированные специалисты при анализе информации полей быстро утомляются, что в условиях дефицита времени приводит к недопустимому возрастанию числа ошибочных решений. Особенно проблематична безошибочная интерпретация оператором изменяющихся во времени реализаций полей, т.е. при проведении динамических наблюдений. Создание же автоматизированных систем, требующих предварительной настройки параметров дискриминантных решающих функций по верифицированным выборкам в режиме обучения с учителем, связано с длительными по времени процессами изучения структурных особенностей полей и установления корреляционных связей между структурой полей и состояниями исследуемых объектов, т.е. с накоплением базы знаний. Как показывает практика, такой «ручной» способ накопления знаний крайне неэффективен и поэтому часто происходит отказ от решения той или иной практической задачи.

В связи с этим актуальна проблема разработки принципов адаптивного управления обработкой информации широкого класса физических полей, т.е. такого управления обработкой, которое обеспечивает выполнение указанных требований в условиях существенной априорной неопределенности как характера структуры текущих реализаций полей и числа образуемых ими диагностических классов, так и истинных состояний исследуемых объектов. Суть данной проблемы сводится к

созданию методологии проектирования систем принципиально нового класса – адаптивных информационно-распознающих систем (АИРС), обеспечивающих возможность быстрого приобретения новых знаний о малоизученных процессах. При этом физические поля, отражающие различные состояния исследуемых объектов, представляются в режиме адаптации без указания принадлежности к тому или иному классу, а используемые в АИРС принципы управления обработкой должны обеспечить определение числа и характеристик образов полей в пространстве их представления (описания). Кроме того, средства управления должны обеспечивать последующее распознавание образов полей практически в реальном масштабе времени. Указанная проблема является основной составной частью общей, фундаментальной проблемы, связанной с созданием систем с элементами искусственного интеллекта, и особую остроту она приобретает при обработке информации полей со значительными областями взаимного перекрытия их образов.

Цель работы

Целью данной работы является обоснование методологии и принципов построения адаптивных информационно-распознающих систем обработки информации, обеспечивающих возможность быстрого приобретения необходимых знаний о идентификационных свойствах пространственно-временных полей, а также способных функционировать в условиях значительной априорной неопределенности, взаимного перекрытия образов полей в пространстве исходного описания, ограниченного времени анализа и принятия решений.

Постановка задачи

Достижение поставленной цели связано с созданием систем, функционирующих на уровне «понимания» информации полей, т.е. с элементами искусственного интеллекта. Следует отметить, что задача создания искусственного интеллекта, полностью замещающего квалифицированного оператора, в принципе еще далека от своего решения. Поэтому целесообразно, видимо, говорить о возможных моделях, отражающих в той или иной степени отдельные функции интеллекта, связанные с управлением анализом двумерных реализаций полей (изображений) и последующим принятием решений. К распространенным моделям, широко обсуждаемым в литературе, можно отнести: метод сравнения с эталоном; метод логических решающих функций; метод персептрона; синтаксический метод; метод экспертных оценок. Сразу же следует отметить, что в большинстве случаев обработки информации сложных по своей структуре изображений практически ни один из перечисленных методов не обеспечивает высокой достоверности получаемых результатов, т.е. достоверности, позволившей бы полностью исключить из процесса обработки специалиста высокой квалификации либо существенно уменьшить его нагрузку. Кратко остановимся на основных причинах, ограничивающих возможности каждого из этих методов.

Метод сравнения с эталоном считается наиболее предпочтительным с точки зрения возможности его практической реализации. Однако применительно к задачам обработки изображений возникают такие вопросы, как выбор эталона в условиях априорной неопределенности, и если он все-таки выбран, то какую из структур реальных изображений считать эталонной и каким образом формализовать и интерпретировать малые отличия от эталона, учитывая, что они могут вызываться многими причинами, такими, как просто вариации структуры изоб-

ражения, искажения регистрирующей аппаратуры, отклонение состояния исследуемого объекта от нормы. Дать однозначные ответы на эти вопросы вряд ли представляется возможным, поэтому ожидать от этого метода приемлемой достоверности результатов не приходится.

В отличие от метода сравнения с эталоном в методе логических решающих функций задача сводится к выяснению принадлежности исследуемого изображения к некоторому обобщенному образу того или иного диагностического класса, получаемому как результат логического суммирования всех изображений данного класса. В свою очередь, каждое изображение является логическим произведением квантованных сигналов его элементов разложения. Однако даже при двухуровневом квантовании количество слагаемых в системе булевых канонических уравнений с логическими признаками в качестве переменных и обозначениями классов в качестве неизвестных оказывается равным примерно $(M \times N)^2$, где M и N – число элементов разложения изображения (либо отдельного анализируемого его участка) по строкам и столбцам соответственно. Значения M и N могут меняться в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен. Учитывая необходимость многоуровневого квантования при диагностике по изображениям, а кроме того, вообще нерешенность в математической логике проблемы приведения системы уравнений к минимальной дизъюнктивной форме, следует, по-видимому, признать данный метод пока малоперспективной моделью искусственного интеллекта.

Метод перцептронного моделирования элементов мышления основан на построении сетей из нейрообразных элементов, осуществляющих параллельную обработку информации. Такую модель часто называют нейроинтеллектом. Первой попыткой создания нейроинтеллекта следует считать работу У. Мак-Каллока и У. Питтса, в которой было показано, что при помощи систем из пороговых нейроподобных элементов можно реализовать исчисление любых логических функций. Другой широко известной работой по реализации сетей из нейроподобных элементов является перцептрон Розенблатта. Возможности перцептрона были всесторонне исследованы математически. Теперь так называемую теорему сходимости по праву можно считать одной из самых доказанных. Было предложено множество вариантов ее доказательства. Два из них, наиболее отвечающие существу дела, можно найти в работе Н. Нильсона. Согласно этой теореме, если существует множество значений весов (аналогично весам, используемым в линейных дискриминаторных функциях), которые обеспечивают конкретное различие образов, то в конечном счете алгоритм обучения приводит либо к этому множеству, либо к эквивалентному ему множеству, такому, что данное различие будет достигнуто. Вместе с тем М. Минский и С. Пейперт указали, что теорема сходимости гарантирует сходимость, но ничего не говорит о числе предъявлений, необходимом для этого, или о том, какие именно различия могут быть выявлены и что для достижения окончательного результата, возможно, потребуются исключительно тонкая «подгонка» значений весов. То есть строгая формулировка теоремы предполагает указания условий, которым должна удовлетворять последовательность входных образов. Как известно, она должна содержать выборки из конечного числа состояний, часть которых принадлежит, а часть не принадлежит рассматриваемому классу. Метод итераций последовательности должен быть таким, чтобы каждый образ мог появляться неограниченно часто в неограниченно длинной последовательности. В данном случае управление адаптацией перцептрона сводится к реализации процедуры типа «подкрепление – наказание», причем подкреплением за правильное распознавание образа служит отсутствие наказания. Иными словами, если распознавание правильное, то система подкрепляется

тем, что в вектор весов не вносятся никаких изменений. Если же распознавание не-правильное, то система «наказывается» изменением (увеличением или уменьшением, в зависимости от ситуации) значения вектора весов. В последующих работах было показано, что алгоритм адаптации персептрона сходится за конечное число итераций, если заданные классы линейно разделимы. Практика показывает, что адаптация персептронов проводится в режиме обучения, по существу, методом проб и ошибок, что требует большой затраты времени даже при решении довольно простых задач. В то же время нельзя не отметить, что модель персептрона (нейроинтеллекта) оказалась продуктивной при построении систем распознавания образов на уровне сенсорных модальностей, в частности произнесенных слов из небольшого словаря, работающих в условиях, когда при заданных входных сигналах можно «подогнать» систему под характеристики конкретного говорящего лица. Кроме того, нейробиологические исследования позволили уточнить механизмы организации принципиально параллельных структур. Особенно большой прогресс был достигнут в области изучения нейронных и молекулярных механизмов сенсорных процессов обучения и памяти. Таким образом, не умаляя указанных достижений в методе персептронного моделирования, тем не менее приходится заметить, что данный метод связан прежде всего с попыткой конструирования интеллекта всего лишь на сенсорном уровне, а не на уровне понимания, что требуется при решении задач приобретения новых знаний о состояниях многофункциональных объектов, получаемых посредством обработки информации сложных по своей структуре двумерных реализаций пространственно-временных полей. Кроме того, алгоритм адаптации персептрона может быть реализован преимущественно в режиме обучения «с учителем», что естественно требует априорной информации об истинных состояниях исследуемых объектов, которая как раз отсутствует и должна быть получена в результате обработки информации. И наконец, сходимость алгоритмов адаптации возможна только в случаях линейной разделимости диагностических классов, чего трудно ожидать, как уже было отмечено, при решении указанных проблем.

Синтаксический метод предполагает представление изображения с помощью набора некоторых терминалов (непроизводных элементов) и связей или отношений между ними, то есть при помощи некоторого синтаксического описания. Однако до настоящего времени область практической применимости синтаксического метода ограничивается описанием лишь простых сцен, главным образом простых графических изображений. Проблема же разработки алгоритмов формирования синтаксического описания сложных по структуре изображений остается на сегодня еще нерешенной. Кроме того, до сих пор не найдена и приспособленная для эффективной обработки на ЭВМ форма представления как самих непроизводных элементов, так и связей между ними.

Особое место в рамках рассматриваемого подхода занимает класс экспертных систем (ЭС), то есть вычислительных систем, использующих знания специалистов в конкретной, узкоспециализированной предметной области и способных в пределах этой области принимать решения на уровне эксперта-профессионала. Наряду с такими общими для систем искусственного интеллекта модулями, как база знаний и схема рассуждения, называемая системой логического вывода, ЭС имеют в своем составе и существенные отличия – модули отображения и пояснения решений, а также приобретения знаний. С помощью модуля отображения и объяснения решений происходит отображение промежуточных и окончательных решений и объяснение оператору действий системы путем ответа на вопросы типа «как достигнуто решение?» и «почему отброшены другие альтернативы?». Функция модуля приобретения знаний

состоит в поддержке процесса извлечения знаний о соответствующей узкоспециализированной предметной области, то есть процесса передачи опыта по решению некоторого класса задач от определенного источника знаний в программную систему. Это как раз и является наиболее узким местом при проектировании ЭС, в общем-то противоречащим самой постановке исходной задачи – приобретение знаний. И если все же в качестве источника знаний выступает эксперт, то и здесь возникает ряд трудностей принципиального характера, удовлетворительное решение которых до сих пор не найдено. К таковым, как правило, относят несоответствие способа формулирования знаний экспертом способу представления знаний в ЭС, невозможность передать все имеющиеся знания, ошибки при передаче знаний и другое. Поэтому считают, что радикальным решением было бы создание некоторой программы индуктивного или правдоподобного вывода, которая могла бы строить базу знаний, опираясь на те же источники, что и эксперт, то есть на прошлый опыт и специальную литературу. Однако решение задачи индуктивного вывода для общего случая автоматического формирования базы знаний даже теоретически пока не найдено.

Таким образом, ни одна из известных к настоящему времени моделей не приемлема для обработки информации сложных по своей структуре двумерных реализаций полей. Поэтому в основу функционирования АИРС был положен расчетно-логический принцип обработки, использующий свойства измеримости информации полей и основанный на методах теории автоматической классификации и распознавания образов.

Согласно данному принципу, в качестве общей математической модели, отражающей процесс формирования физических полей, могут быть использованы дифференциальные уравнения в частных производных. В соответствии с этими уравнениями идентификационные признаки состояний представляют собой изменяющиеся во времени совокупности пространственно ориентированных градиентов, образующие связные смысловые конфигурации на изображениях полей. При таком определении признаков становится возможной реализация принципа измеримости информации полей. При этом существует целый ряд факторов, оказывающих мешающее воздействие: возможность сочетания, неоднозначность и инверсный характер различных признаков; маскирующий эффект структуры реализаций полей. Действие перечисленных факторов приводит к образованию значительных областей взаимного перекрытия образов полей, что определяет вероятностный (стохастический) характер принципов формализации процедур управления адаптацией и распознаванием. Практическое применение дифференциального уравнения общей модели измерений связано с поиском апостериорного распределения вектора состояний исследуемого объекта. Это очень сложная задача, решение которой в общем случае пока не найдено. Теоретически, согласно методам теории стохастических дифференциальных уравнений, для нахождения оптимальных оценок распределения необходимо решить уравнение апостериорной плотности вероятности вектора состояния после получения результатов измерений. Решение о том, к какому из классов (образов) принадлежит данная реализация поля, обычно принимается по максимуму апостериорной вероятности. Однако следует отметить, что методов точного решения подобных уравнений пока не существует. Численное же их решение в практических задачах также оказывается невозможным из-за несуразно больших временных и вычислительных затрат. Применение приближенных методов ограничивается высоким порядком дифференциальных уравнений, при этом число уравнений быстро растёт с увеличением числа измеряемых параметров (до 10000 и более). Кроме того, в случаях стохастического (вероятностного) разделения полей на дискретное множество образов приходится сталки-

ваться с необходимостью формирования обучающих выборок несуразно больших размеров даже при относительно небольшом числе образов.

Структурно-стохастический принцип обработки информации в АИРС

Наиболее общей методологией решения поставленных задач является статистический синтез при априорной неопределённости и адаптации информационных систем. Важное место в рамках этой методологии занимает информационная теория идентификации, позволяющая определять близкие к оптимальным настраиваемые модели алгоритмов обработки информации. Вместе с тем данная методология не снимает вопроса многомерности. Выход видится в использовании элементов структурного подхода, согласно которому всё множество пространственных градиентов делится по свойствам измеримости и связности на непересекающиеся подмножества – элементарные компоненты, образующие ортогональный базис и являющиеся способом отражения (формализации) идентификационных признаков реализаций полей. Множество элементарных компонентов определяет, в свою очередь, допустимое множество образов полей. Каждый элементарный компонент измерим числом его элементарных составляющих и числом связей между ними. С помощью структурного подхода можно добиться существенного снижения требований к объёмам обучающих выборок, так как каждому конкретному компоненту соответствует существенно меньшее число алгоритмических констант, чем их возможному множеству.

На основании такой модели предложен многоуровневый иерархический метод структурного анализа реализаций полей, согласно которому происходит поочерёдное выделение компонентов с одновременным оцениванием их весовых коэффициентов и определением значений идентификационных параметров. В основу построения алгоритмов выделения элементарных компонентов положен принцип логической фильтрации. Результатом работы этих алгоритмов является принятие решения по каждому элементу изображения о его принадлежности к тому или иному компоненту. Обработка пространственно-временного поля производится на каждом такте, т.е. в каждый момент времени поступления очередной реализации поля. По окончании обработки выдается результат в виде некоторого сообщения. Для всей последовательности реализаций поля может быть построена марковская траектория изменения значений векторов сообщений во времени, представляющая стохастический образ поля. В качестве образа структурно-подобного подмножества полей выступает не отдельная траектория, а некоторая их совокупность – трубка близких (в некотором смысле) траекторий. Принципы и алгоритмы управления формированием стохастических образов реализаций полей основаны на определении градиента меры принадлежности опорной траектории к ее образу (трубке) и к прообразу, т.е. «следу», оставленному текущей траекторией на данном образе. Рассматривая каждую из полученных реализаций как некоторый случайный процесс, естественно использовать в качестве меры принадлежности (близости к образу) вероятностную меру – максимум апостериорной вероятности, обеспечивающий минимум средних потерь. Процедура распознавания в такой трактовке является составной частью процесса адаптации. Случай перекрывающихся трубок (образов) только подчеркивает стохастический характер задачи, а стохастическая модель образа структуры векторов сообщений оказывается полностью ему адекватной. Следствием взаимного перекрытия трубок

траекторий является изменение уровня (меры) информативности векторов сообщений. Аппроксимация потока векторов сообщений марковским процессом определяет вид стохастического образа динамики этого потока. Наличие этого образа полностью раскрывает механизм селекции сообщений, что обеспечивает устойчивость режимов обработки информации.

Далее рассмотрим наиболее перспективные принципы практической реализации (построения) АИРС.

Принципы практической реализации АИРС

Аппаратно-программный принцип основан на использовании таких аппаратных средств, как ЭВМ общего назначения (универсальные) и персональные компьютеры (ПК). Эти средства имеют большое число команд, обеспечивают обработку целых чисел, чисел с плавающей запятой, десятичных чисел, логических данных и текстовой информации. В их основе лежит программное управление, заключающееся в представлении алгоритма обработки в виде композиции операторов, обеспечивающих преобразование данных, и операторов, анализирующих признаки логических условий с целью изменения естественного порядка выполнения операторов первого типа. Математическое обеспечение ЭВМ и ПК позволяет использовать такие, удобные с точки зрения обработки больших массивов данных, языки программирования, как ассемблер и СИ, а также языки высокого уровня типа паскаль. Тем не менее, несмотря на преимущества средств данного класса, следует отметить их почти полную несогласованность с параллельным характером информационных потоков в АИРС, т.е. двумерной природой реализаций полей, что при определенных условиях, например при повышении достоверности результатов обработки за счет увеличения пространственно-временного разрешения, приобретает решающее значение. Причиной несогласованности является последовательный характер действия рассматриваемых средств: последовательная адресация ячеек памяти, последовательно выполнение команд и последовательны каналы передачи данных. Данная несогласованность приводит к непомерному увеличению времени обработки двумерных реализаций полей, что особенно сказывается при проведении динамических исследований.

В перспективе возможно применение аппаратно-программных средств с более современной архитектурой, которые уже начали появляться на рынке. Среди них следует выделить последовательные компьютеры повышенного быстродействия, достигаемого за счет вовлечения в работу большего числа функциональных блоков одиночного процессора на каждой фазе выполнения команды, а также компьютеры параллельного действия. Что касается компьютеров первого типа, то одним из приемов увеличения быстродействия является использование памяти с расслоением, то есть памяти, состоящей из небольшого числа запоминающих устройств с независимым доступом. В этом случае можно одновременно обращаться сразу к нескольким запоминающим устройствам по отдельным каналам связи и одновременно извлекать требующиеся для обработки данные. Другой способ увеличения быстродействия связан с многократным повторением одной и той же арифметической операции и состоит в построении процессора по принципу конвейерной организации, когда по выполнению шага операции над одной парой чисел другая пара поступает для выполнения того же шага, не дожидаясь, пока первая пара пройдет все этапы операции. Оба указанных приема целесообразно было бы использовать в разрабатываемых системах, например, при выполнении такой наиболее сложной с вычислительной точки зрения операции, как двумерная свертка. Так, обычная двумерная свертка

с ядром размером 4×4 для получения одного элемента изображения требует выполнения 16 операций умножения и 15 операций сложения. Выполнение этих операций для изображения размером 1024×1024 элементов в реальном масштабе времени потребует вычислительной мощности порядка 100 современных ПК. Еще сложнее обстоит вопрос при использовании сверток типа логических апертур. Конвейерный принцип организации будет, по-видимому, эффективен и при определении мер принадлежности к образам, когда вектор параметров реализации поля умножается на вектор образа, то есть одна и та же операция (скалярное умножение) выполняется над каждым элементом вектора. Еще один прием увеличения быстродействия компьютеров основан на использовании «длинного командного слова», когда из памяти извлекается сразу несколько команд, сгруппированных в одном «слове». Выбранные команды выполняются одновременно, сразу несколькими функциональными блоками процессора, и в результате процессор действует как параллельная машина. Подобным образом в системе могут определяться значения сразу нескольких идентификационных или классификационных параметров. Однако даже при совершенствовании технологии сверхскоростных интегральных схем производительность $10^8 - 10^9$ операций в секунду может оказаться пределом для систем с последовательной архитектурой. Так, несмотря на то, что на основе СБИС-технологии реализованы суперЭВМ, способные выполнять сотни миллионов операций в секунду (к ним можно отнести такие, как Cray $\frac{1}{2}$, Cyber 206 и NEP в США, Fujitsu VP 200, Hitachi S-810/20, NEC SX-2 в Японии), тем не менее, с точки зрения обработки изображений операционные системы этих универсальных суперЭВМ расходуют значительное время на управление вычислениями и ресурсами. Типичные же значения требуемой производительности при анализе изображений находятся в пределах $10^{10} - 10^{13}$ операций в секунду. Поэтому более радикальным решением вопроса, связанного с достижением высокой степени согласованности процесса обработки с характером информационных потоков в АИРС, а следовательно, и высокой производительности, представляется в перспективе использование компьютеров параллельного действия. Однако следует отметить, что существующие параллельные компьютеры и их программное обеспечение находятся пока в зачаточном состоянии, терминология их классификации еще не установилась, окончательно не определены конкретные архитектуры и уровни быстродействия.

Принцип многопроцессорности связан с созданием высокопроизводительных вычислительных систем с перестраиваемой (реконфигурируемой) в зависимости от типа решаемых задач архитектурой. С точки зрения структуры построения АИРС целесообразно интерпретировать как многопроцессорную систему, в которой каждый из блоков рассматривается как самостоятельно функционирующий процессор. В таком случае происходит декомпозиция общей задачи на ряд отдельных подзадач, что создает предпосылки для одновременного исполнения каждой подзадачи автономно функционирующим процессором по типу конвейерной (поточковой) обработки. Суть такой обработки состоит в том, что при распределении заданий между процессорами каждому из них дается такое задание, которое может загрузить процессор работой, не требующей его взаимодействия с другими процессорами. Главным объектом распараллеливания при этом являются циклы и вложенные системы циклов. Передача результатов по обработке циклов от процессора к процессору происходит с перекрытием, т.е. без ожиданий (линейный конвейер).

Управление вычислениями в таких системах может носить централизованный, распределенный или смешанный характер. Каждый из указанных видов управления

имеет свои преимущества и недостатки. Централизованное управление обеспечивает возможность полного управления как над системой в целом, так и над каждым блоком в отдельности и, кроме того, позволяет снизить нагрузку на блоки, связанную с обменом информацией. Вместе с тем централизованное управление относится к разряду жестких управлений, что противоречит требованию высокого уровня адаптируемости информационно-распознающих систем. Данному требованию удовлетворяют системы с распределенным управлением. Однако в этом случае становится практически невозможным контроль всей системы в целом без специального блока, собирающего информацию с каждой из автономных подсистем управления отдельными блоками. Кроме того, существенно усложняется структура блоков за счет необходимости увеличения вычислительных ресурсов, требуемых для обработки запросов от всех остальных блоков и передачи им своих. В связи с этим представляется целесообразным использование смешанного управления с осуществлением взаимодействия между блоками через общую память. В системах с общей памятью одно (единое) пространство памяти совместно используется всеми блоками (процессорами), при этом все пространство памяти разбивается на множество подпространств, которые соединяются с процессорами при помощи некоторой связи. Число процессоров (блоков), которое можно использовать для реализации многопроцессорного варианта АИРС с общей памятью, в принципе ограничивается конфликтами при доступе к общей памяти. Поэтому для предотвращения конфликтов процессор должен иметь свою, локальную память. Архитектура подобных систем в значительной степени определяется архитектурой общей памяти: архитектура с совместно используемым физическим пространством, в котором независимые логические виртуальные пространства отображаются на одно физическое пространство памяти (типа мультиплексной виртуальной памяти или двумерного пространства памяти); архитектура с совместно используемым логическим пространством, предназначенная для параллельной обработки, в которой используется несколько процессоров для совместной обработки в пределах одного логического пространства. При таком построении основным способом структурирования программной части АИРС является объектно-ориентированное проектирование. В его основу положена процедура декомпозиции, позволяющая уменьшать размеры программных частей за счет повторного использования общих механизмов. В объектно-ориентированном проектировании возможно использование динамической, статической, логической и физической моделей. Семантическая насыщенность и высокая универсальность этих моделей в совокупности обеспечивают возможность эффективного анализа и формирования (синтеза) структуры (архитектуры построения) АИРС. Реализация данных моделей возможна на любом объектно-ориентированном языке программирования типа LISP и PROLOG.

Весьма перспективной разновидностью данного принципа с точки зрения достижения высокого быстродействия, малой стоимости и габаритов является мультипроцессорный принцип построения АИРС с использованием программируемых БИС и СБИС. В работах Э.В. Евреинова, Ю.Г. Косарева и В.В. Корнеева дано теоретическое обоснование построения массово-параллельных систем из элементарных вычислительных машин (базовых вычислительных элементов) на основе транспьютерных микропроцессоров (ТМП). Транспьютерный микропроцессор – это микрокомпьютер с собственной внутренней памятью и встроенными каналами межпроцессорного обмена. Система команд микропроцессоров ориентирована на поддержку языка параллельного программирования (ОССАМ), позволяющего задавать параллельные вычисления в соответствии с моделью взаи-

модействующих асинхронно протекающих последовательных процессов. Под процессом понимается ход исполнения программного кода некоторой программы или ее фрагмента. Взаимодействие между процессами реализуется путем обмена данными. Причем обмен происходит только в тот момент, когда каждый из двух взаимодействующих процессов достигает одной из двух команд – передачи или приема данных. Процесс, первым достигший команды обмена, независимо от того, передает он данные или принимает, ставится в ожидание вплоть до достижения другим процессом соответствующей команды приема или передачи данных. В микропроцессоре данная модель параллельных вычислений поддерживается благодаря наличию аппаратно реализованного диспетчера. Диспетчер обеспечивает выполнение параллельных процессов в режиме квантования времени. При этом количество одновременно выполняемых процессов не ограничено.

Характерная особенность программирования мультипроцессорных систем состоит в том, что модель параллельных вычислений одинакова как для отдельного ТМП, так и для всей мультипроцессорной системы. Это, в свою очередь, означает, что программа, разрабатываемая для всей системы, может быть отлажена на одном ТМП, после чего перенесена на сеть ТМП без каких-либо существенных преобразований. В зависимости от семейства ТМП состоит из 32-или 16-разрядного центрального процессора, интерфейса внешней памяти, 2 или 4 двунаправленных каналов обмена, внутреннего ОЗУ емкостью 2 или 4 кБайт, блока режимов работы каналов обмена, блока системных функций. Некоторые модели могут содержать 64-разрядное устройство операций с плавающей точкой и контроллеры внешних устройств, таких, как жесткие диски, мониторы, сетевые адаптеры. Каналы обмена могут осуществлять обмен данными одновременно с вычислениями, практически не снижая производительность центрального процессора. ТМП позволяют создавать системы, содержащие, в зависимости от сложности решаемых задач, от нескольких сотен до нескольких тысяч процессоров. В настоящее время ТМП серийно выпускаются фирмами Inmos, Hewlett-Packard, Alpha и др. Примером подобных отечественных разработок являются транспьютерные микропроцессоры серии «Квант». Это семейство 32-разрядных ТМП с оригинальной архитектурой, сочетающей концепцию RISC (Reduced Instruction Set Computer) с методикой длинного командного слова. Семейство характеризуется высоким внутренним параллелизмом процессов обработки, конвейерным выполнением команд, гарвардской архитектурой памяти (раздельная память для команд и данных), наличием последовательных каналов обмена.

Аппаратурный принцип построения АИРС связан прежде всего с использованием современных и перспективных БИС и СБИС со сложными программируемыми и репрограммируемыми структурами. БИС, СБИС с программируемой структурой – это кристалл, содержащий множество логических блоков и элементов, межсоединения для которых определяют разработчики, т.е. программируют структуру интегральной схемы соответственно заданному проекту системы. В настоящее время идет интенсивная разработка методов программирования связей между блоками и элементами кристалла. И если какое-либо аппаратно-программное средство, включая микропроцессор (МП), реализует последовательную обработку информации, выполняя большое число отдельных действий, соответствующих командам, то в микросхемах с программируемой структурой обработка информации происходит без разбиения этого процесса на последовательно выполняемые элементарные действия. Задача решается «целиком», ее характер определяет структуру устройства, сложность которого адекватна сложности решаемой задачи. В аппаратно-программных средствах слож-

ность задачи влияет лишь на программу, но не на аппаратные средства. По-существу, с учетом развитого программного обеспечения можно констатировать, что аппаратно-программные средства способны решать задачи неограниченной сложности, в то время как микросхемы с программируемой структурой способны с высокой скоростью решать задачи, сложность которых ограничена уровнем интеграции микросхем. Вместе с тем быстрый рост уровня интеграции делает данный принцип построения сложных систем доминирующим. Разработкой БИС и СБИС с программируемой структурой занимаются десятки фирм, главным образом в США: Xilinx, Altera, Actel, Atmel, AMD (Vantis), Lattice и др. Важно заметить, что на указанных схемах могут строиться не только отдельные блоки, но и системы в целом, включая память и процессоры. Важным аспектом являются возможности отработки на отдельной схеме прототипа создаваемой системы и создание мелкосерийных систем быстрыми и эффективными способами.

Вместе с тем, учитывая необходимость обработки в АИРС двумерных массивов данных (реализаций полей) с высокой скоростью, следует иметь в виду использование специализированных ЭВМ или процессоров, ориентированных на реализацию одной конкретной операции. Такая четкая специализация позволяет сократить время выполнения операции более чем в сотни раз. Например, специализированный процессор фирмы Goodyear Aerospace Corp. с клеточной логикой типа Massive Parallel Processor (MPP) представляет собой матрицу из 128x128 процессорных элементов, каждый из которых имеет собственную локальную память с объемом до 8192 байт и соединен со своими ближайшими соседями. Процессор MPP выполняет $6,5 \cdot 10^9$ сложений, $1,8 \cdot 10^9$ умножений и $1,6 \cdot 10^9$ делений восьмиразрядных целых чисел в секунду. Однако процессор MPP весьма сложен, дорог и относится к разряду уникальной аппаратуры. Более доступными считаются матричные процессоры, также с клеточной логикой, типа CLIP (Cellular Logic Image Processor), разработанные в Великобритании. Оба указанных процессора функционируют в режиме ОКМД «один поток команд – множественные потоки данных», когда единый поток команд сообщается одновременно всем процессорам и на каждой фазе вычислений каждый процессор либо выполняет ту же команду, что и все остальные, либо бездействует. Перспективно совместное использование суперЭВМ и специализированных (матричных) процессоров с распределением функций между ними. В случае использования такой структуры в проектируемых системах суперЭВМ могла бы осуществлять общую координацию обработки, определение значений идентификационных параметров и распознавание образов, а также управление базой данных в режиме адаптации (обучения) и, что самое главное, быстрый обмен с матричным процессором. Параллельный же матричный процессор мог бы с огромной скоростью осуществлять подготовку изображений элементарных компонентов, необходимых для определения значений идентификационных параметров.

Выводы

Предложенная методология, в основу которой положены системные принципы структурно-стохастического управления обработкой информации пространственно-временных полей, позволяет создавать адаптивные информационно-распознающие системы [1-11], способные функционировать в условиях значительной априорной неопределенности и пересеканности образов полей. Применение методологии обеспечивает высокий уровень достоверности результатов и существенное ускорение

процессов приобретения новых знаний о связях между состояниями исследуемых объектов и их физическими полями. В основу практической реализации АИРС положены принципы аппаратно-программной обработки с общей памятью и централизованно-распределенным управлением. Вместе с тем, учитывая динамику развития и внедрения БИС и СБИС с программируемой структурой, в ближайшей перспективе вне конкуренции может оказаться аппаратный принцип построения АИРС. На основе разработанной методологии созданы адаптивные системы, прошедшие экспериментальную проверку при решении задач ранней диагностики опухолевых заболеваний молочной железы в ОНЦ РАМН им. Н.Н. Блохина с целью проведения массовых профилактических обследований. Результаты экспериментов показали высокую эффективность разработанной методологии, позволившей повысить достоверность диагностики почти на 20 %.

Литература

1. Куртев Н.Д., Анцыферов С.С. Структурно-стохастический метод обработки и распознавания информации тепловых изображений // Оптический журнал. – 1997. – Т. 64, № 2. – С. 35-37.
2. Kurtev N.D., Antsyferov S.S. Structural-stochastic method of processing and recording information in thermal images // J. Opt. Technol. – 1997. – Vol. 64 (2). – P. 102-104.
3. Анцыферов С.С. Формирование спектра тепловых изображений объектов и распознавание их образов // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 12. – С. 44-48.
4. Antsyferov S.S. Forming the spectrum of thermal images of objects and recognizing their patterns // J. Opt. Technol. – 1999. – Vol. 66 (12). – P. 1047-1049.
5. Анцыферов С.С., Голубь Б.И. Принципы проектирования адаптивных широкоспектральных информационно-распознающих тепловизионных систем // Тепловидение / Под ред. А.С. Сигова. – М.: МИРЭА, 2000. – № 13. – С. 3-26.
6. Евтихийев Н.Н., Анцыферов С.С., Голубь Б.И. Адаптация информационно-распознающих биомедицинских систем // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001. – № 1. – С. 5-9.
7. Колесов С.Н., Анцыферов С.С., Голубь Б.И., Ширяев С.В. Построение медицинских систем распознавания тепловизионных образов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001. – № 1. – С. 36-38.
8. Евтихийев Н.Н., Анцыферов С.С., Голубь Б.И. Технология адаптивной обработки информации тепловых широкоспектральных полей // Научно-технологические проблемы. – 2002. – Т. 3, № 4. – С. 45-50.
9. Анцыферов С.С. Метрология виртуальных систем // Измерительная техника. – 2003. – № 5. – С. 17-21.
10. Евтихийев Н.Н., Анцыферов С.С. Методология оценки состояний организма по физическим полям // Доклады 5-й Междунар. конф. «Радиоэлектроника в медицине». – М.: ИРЭ РАН. – 2003. – С. 3-5.
11. Евтихийев Н.Н., Анцыферов С.С. Методология стохастической диагностики заболеваний по физическим полям // Доклады 6-й междунар. науч.-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2004). – Владимир: ВГУ. – 2004. – С. 163-166.

С.С. Анцыферов, М.М. Евтихийев

Адаптивні системи розпізнавання образів просторово-часових полів

Пропонується методологія проектування адаптивних інформаційно-розпізнавальних систем – систем з елементами штучного інтелекту. Структурно-стохастичний принцип обробки інформації забезпечує подолання істотної апріорної невизначеності й високі показники за вірогідністю результатів.

Adaptive Systems Recognized Patterns Space-Time Fields

Methodology synthesizes adaptive informational recognized systems, i.e. the systems with elements of artificial intelligence is present. The structural-stochastic principle of analyze information ensures overcoming of essential a priori indeterminacy and assures high parameters on a reliability of results.

Статья поступила в редакцию 29.06.2004.