

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПАРАЛЛЕЛЬНО - ИЕРАРХИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

Существующие методы и средства обработки изображений в ближайшее время не в состоянии удовлетворить указанные потребности и требуют принципиально новых подходов к обработке изображений. Основой в решении поставленных проблем предлагается использовать разработанную теорию параллельно - иерархического преобразования, методологические системно и схемотехнические основы анализа и синтеза ПИВС с динамической многофункциональностью.

Современная обработка сигналов характеризуется усилением взаимодействия нескольких областей науки и техники: анализа сигналов, теории систем и численного анализа. Сегодня становится ясно, что начинается новая эра в развитии техники цифровой обработки данных и происходит возвращение к концепции специализированного вычислительного устройства. Однако сейчас большинство специалистов в узких областях обработки сигналов, предпочитают использовать универсальные вычислительные средства для разработки собственного программного обеспечения.

Так как электронные устройства вплотную приблизились к своему физическому пределу быстродействия, решение задач параллельной обработки информации в реальном времени всецело зависит от разработки новых высокоскоростных и полностью параллельных цифровых процессоров. Сейчас не вызывает сомнения, что резкое сокращение времени вычислений возможно только на основе параллельной обработки, тогда в значительной степени используются особенности структурной организации данных пространственно-временных (ПВ) сигналов и параллелизма, свойственный большинству алгоритмов их обработки. Для достижения большого быстродействия, достаточного для обработки изображений в реальном времени, единственно возможная альтернатива заключается в использовании массовой параллельной обработки [1, 10].

Поэтому в конце 90-х годов эта тенденция получила реальное воплощение в различных специализированных устройствах. Ярким примером последних является процессор визуального восприятия GVPP, разработанный французскими специалистами бюро BEV. GVPP выделяет интересующий объект, определяет скорость и направление движения каждого из них и затем их отслеживает, распознавая статические и подвижные объекты в режиме реального времени [2, 28].

Все возрастающая потребность в новых, эффективных методах преобразования и обработки зрительной информации связана с необходимостью разрешения усугубляющегося разрыва между требуемыми объектами обрабатываемой информации и возможностями последовательных процедур традиционно применяемых в цифровых средствах вычислительной техники.

С уверенностью можно констатировать, что "идеальным" устройством преобразования оптической информации параллельного типа является глаз – самая уникальная из сенсорных систем человека [3]. Поэтому целесообразно рассмотреть особенности организации зрительной системы с позиций анализа выполненных ею алгоритмических операций. Оптическая система глаза проецирует изображение зрительного мира на слой фоторецепторов сетчатки. Рельеф возбуждения рецепторов близок, хотя и не совпадает с распределением освещенности на них, поскольку самое первое преобразование информации совершается триадой: фоторецептор - горизонтальная клетка - биполяр, в которой действуют обратные связи[3]. Среднее значение просуммированного в горизонтальных клетках сигнала вычитается с помощью обратной связи из сигналов, идущих от рецепторов к биполяркам. Благодаря этому свойству выполняется ряд алгоритмических операций преобразования зрительного сигнала. Анализируя механизм прохождения сигналов в нейронных системах: фоторецептор - горизонтальная клетка - биполяр и биполяр - амакрин - ганглиозная клетка. Можно сделать вывод, что основной функциональной операцией является операция сравнения с последующим пространственным сдвигом информации. Очевидно, что огромное количество информации, имеющееся на сетчатке, мозг не может использовать. Конечное описание в высших отделах зрительной системы содержит на несколько порядков меньше информации, чем то, которое существует на сетчатке.

В настоящее время конкурируют два подхода о природе такого переописания: детекторный и пространственно-частотный [4]. Детекторный подход предполагает существование операторов, выделяющих наиболее часто встречающиеся элементы изображения, т.е. позволяет осуществлять переход от поточечного описания по более крупным элементам изображения, что дает возможность существенно снизить избыточность. Пространственно-частотный подход предполагает, что в зрительной коре происходит переход к описанию квазиголографического типа, т.е. кодируется значение сигнала не в одной отдельно взятой точке, а распределенное по какой-то ее окрестности.

Процесс восприятия сенсорных сигналов органов чувств человека можно представить как взаимосвязанный итерационный процесс параллельного ПВ сравнения множества сигналов и выделения из данного множества подмножеств общих и различных признаков-сигналов (ПС) [4]. В сенсорных системах характерна иерархическая организация анализа и синтеза перерабатываемой информации. На структурном уровне процесс нейроподобной обработки можно представить как параллельно-иерархический и взаимосвязанный процесс анализа информации в ряде сенсорных зон с иерархическими уровнями все более высокого порядка, наивысшие из которых формируют совокупности максимально общих и различных ПС.

В этой работе предлагается и исследуется сетевая структура, позволяющая имитировать принцип действия распределенной нейронной сети [1, 16]. Такая сеть состоит из совокупности подсетей формирования признаков о состояниях ПВС, структура которых однородна и состоит из ряда взаимосвязанных иерархических уровней. Алгоритм работы сети универсальный и заключается в параллельно-иерархическом формировании совокупностей общих и различных ПС о состояниях

ПВС. Обобщение всех видов сенсорной информации происходит на самом конечном этапе преобразования вне иерархической обработки каждого вида сенсорной информации. Предложенный и исследуемый в работе сетевой метод, сочетает два описанных конкурирующих подхода природы переописания сигналов - детекторный и пространственно-частотный и описывает изображение, разлагая его по адаптивной системе базисных функций, формирование которых зависит от структуры самого изображения. Сетевые преобразования являются нелинейными преобразованиями, ядра которых можно представить в виде сетевой модели. В результате прямого сетевого параллельно-иерархического преобразования матрицы изображения $\mu(i, j)$ размера $S \times n_s$ образуется одномерная матрица $\varphi(t, p)$, элементы которой определяются так:

$$\text{Если } \mu(i, j) = \sum_{i=1}^{n_s} a_i^j, \text{ а число уровней } k = \sum_{p=0}^c (3p+2), \text{ где } c = 0, 1, 2, \dots, \text{ тогда}$$

$$\Phi \left[\sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(i, j) \right] = \sum_{i=2}^k a_{i_1}, \text{ где } \sum_{i=2}^k a_{i_1} = \varphi(t, p)$$

Среди существующих методов анализа параллельных процессов можно отметить сети Петри [5]. Использование сетей Петри в данной работе сдерживают трудности, возникающие при маркировке ПИ сети.

Принципиальным вопросом является объем цифрового представления сенсорных сигналов, от которого зависит сложность цифровых средств обработки. Преобразование сенсорных сигналов в цифровые осуществляют чаще всего в виде последовательности элементарных процедур - дискретизации и поэлементного квантования. Дискретизация производится обычно как разложение преобразования сигнала по некоторым базисным функциям [1, 20]. Разработаны быстрые алгоритмы для преобразования Фурье, четного косинусного, синусного, Адамара, Хаара.

Для большинства одномерных унитарных преобразований порядок требуемого числа арифметических операций равен $N \log_2 N$. Однако для унитарных преобразований не известен общий метод построения эффективных вычислительных алгоритмов [1, 21].

За последние 30 лет очень много усилий было направлено на разработку цифровых систем кодирования изображений. Кодирование на основе преобразования - косвенный метод. Изображение подвергается унитарному математическому преобразованию, а полученные в результате коэффициенты преобразования квантуются и кодируются для передачи по каналу связи. Среди преобразований, обеспечивающих минимальную среднеквадратическую ошибку кодирования, но требующих знания статистических характеристик ансамбля передаточных характеристик, следует отметить преобразование Карунена-Лоэва.

Все преимущества кодирования одноцветных изображений с использованием преобразований вытекают из особенностей распределения энергии среди коэффициентов преобразования, благодаря которым двумерный спектр изображения более удобен для кодирования, чем изображений в исходном пространственном представлении [1, 22].

Известны два способа отбора спектральных коэффициентов: зональный и пороговый. Первый из них состоит в выделении совокупности коэффициентов, занимающих некоторые заранее очерченные фиксированные области спектра. Второй

способ отбора сохраняет лишь те коэффициенты, величина которых превышает заранее установленный порог. Однако, зональное кодирование значительно лучше противостоит вредному действию помех, чем пороговое кодирование с его чувствительностью к ошибкам в указании позиций коэффициентов, прошедших пороговый отбор [1, 23].

Тенденции развития специализированных средств информационной и вычислительной техники, функционирующих в реальном масштабе времени, указывают на перспективность применения аппаратных способов выполнения операций, которые традиционно пытаются решать программным путем.

В то же время в вычислительных структурах действуют ограничения на линейные размеры, наложенные предельными значениями скорости распространения сигналов. Использование электромагнитных колебаний оптического диапазона открывает новые пути построения сверхбыстродействующих вычислительных структур, в которых путем нормирования временных задержек на ВОЛС временной сдвиг имитирует выполнение простейших арифметических и логических операций со скоростью близкой к скорости света [1, 24].

При массовой обработке изображений использование только суперкомпьютеров, обладающих необходимой производительностью, не может считаться решением проблемы. Синтез и анализ изображений в настоящее время в основном реализуется с помощью алгоритмической обработки на ПК. В связи с тем, что изображения становятся массовой продукцией в промышленности и науке, а их обработка, распознавание и анализ - массовым поточным производством, - цифровая обработка изображений становится экономически выгодной и необходимой везде, где она технически возможна.

Решение проблем обработки и преобразования больших массивов информации путем применения классических приемов программного управления оказывается затруднительным, особенно при вводе и выводе изображений в быстроменяющихся ситуациях.

Можно предложить, что образное мышление, присущее человеку и основанное на оптическом сравнении, имеет мало общего с законами булевой алгебры и алгоритмами вычислений современных вычислительных машин. Ему свойственны принципы картинной логики, разгадать которые до конца, возможно, главная задача современной науки. Известно, что самую сложную картину человек распознает в мгновение, в то время как простейшие арифметические операции представляют для него определенные трудности. Для разрешения этого несоответствия перспективно применение при оптическом вводе информации операции сравнения. Для этого необходимо использовать такую элементную базу, которая позволит совмещать параллельный ввод-вывод, преобразование, обработку информации с непосредственной визуализацией результатов вычислений. При этом нужны новые принципы построения вычислительных систем и сред с мощной структурной поддержкой и гибкой архитектурой, более богатая в функциональном отношении элементная база, допускающая, кроме элементной, и функциональную интеграцию [1, 27].

Традиционно информационное поле представляется в ЭВМ двумя способами - поэлементным и табличным. Так как адресация в большинстве машин

последовательная, то данные, находящиеся в памяти, упорядочены абсолютными значениями адресов. Поэтому любой массив, находящийся в памяти "развернут" в одномерную последовательность элементов и нарушится исходная топология массива. Особенностью доступа к видеоданным является необходимость выборки из памяти связанных фрагментов изображений или элементов одинаковой текстуры. После развертки массива эти элементы, скорее всего, окажутся в ячейках, адреса которых значительно различаются. Время обработки существенно зависит от того, находится ли весь массив в ОЗУ, где доступ к ячейке произвольный или часть массива находится во внешней памяти ЭВМ, время доступа к которой на порядки ниже времени обращения к ОЗУ. Поэтому способ развертки массива оказывает существенное влияние на время обработки. Таким образом, способ организации, хранения и поиска элемента многомерного массива должен обеспечивать наибольшую вероятность обнаружения соседних элементов массива или пространственно-связанных элементов или элементов одинаковой текстуры на одной и той же странице памяти. Кроме организации хранения существенным является объем памяти. Так, для хранения только одного изображения $512 \times 512 \times 8$ элементов требуется 256 Кбайт. А для высококачественной обработки требуются массивы не менее $4096 \times 4096 \times 8$ элементов, для которых объем ОЗУ должен составлять 16 Мбайт. Поэтому становится актуальным создание таких структур параллельной памяти, в которых сохранение информации о топологии и текстуре информационного поля сочетается с существенным сокращением объема памяти.

В последние годы определилась тенденция к росту объемов преобразования, обработки передачи и хранения видеoinформации. Отсюда актуальной оказалась разработка эффективных методов и средств интеграции устройств визуализации и отображения информации с подсистемой ее предварительной обработки, процессоров для ввода и преобразования видеoinформации, информационно-поисковых систем, работающих в картинных и образных категориях.

В этой связи разрабатываемая в работе проблема хорошо согласуется с известной японской программой Real-World Computing Program и включает целый конгломерат исследований в таких областях, как компьютеры с высокой степенью параллелизма и нейронные сети, работающие аналогично мозгу. Причем, программа предусматривает работы над тремя новыми типами компьютеров. Первый из них - компьютеры с высокой степенью параллелизма обработки информации, в которых десятки или сотни тысяч процессоров, действуя одновременно, выполняют сложные вычисления с молниеносной скоростью. Ко второму типу относятся компьютеры с нейронными сетями, работающие аналогично тому, как по нашим представлениям, функционирует мозг. Третий тип - это компьютеры, в которых вместо электронных сигналов для передачи информации используется свет. Считается, что использование света может облегчить создание компьютеров с высокой степенью параллелизма и нейронных сетей.

В связи со всем выше сказанным, очевидно, что существующие методы и средства обработки изображений в ближайшее время не в состоянии удовлетворить указанные потребности и требуют принципиально новых подходов к обработке изображений. Основой в решении поставленных проблем предлагается использовать разработанную теорию параллельно - иерархического преобразования,

методологические системно и схемотехнические основы анализа и синтеза ПИВС с динамической многофункциональностью. Актуальность работ в этой области обусловлена необходимостью исследования принципиально новых возможностей, открывающихся в создании ПИВС с нейроподобной обработкой информации в информационной и вычислительной технике.

Список использованных источников

1. Тимченко Л.И., Мельников В.В, Кокряцкая Н.И. и др. Метод организации параллельно-иерархической сети для распознавания образов // Кибернетика и системный анализ.— 2011. — №1.— с. 152-163.
2. Смалий Смогут ли компьютеры видеть, и можно ли управлять системой одним лишь взглядом? Компьютерное обозрение. - К., — 1998. — № 2. — С. 28—29.
3. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. - М.: Мир, .— 1990. — с. 239.
4. Тимченко Л.И. Конвергентні та дивергентні процеси в реальних та штучних нейронних мережах.- Вісник ВПІ, — 1997, — N1, — с. 5-10.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ.- М.: Мир, — 1984. — С. 264.