



ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.397

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ СУБПОЛОСНОГО АНАЛИЗА-СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ¹
С.Н. МАЛИКОВ²

¹ *Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет*

² *ОАО «НИИ суперЭВМ», г. Москва*

e-mail:
chernomorets@bsu.edu.ru
sergej.malikov@bk.ru

В работе предложено для программно-аппаратной реализации методов и алгоритмов субполосного анализа-синтеза изображений применять унифицированные электронные модули, разработанные в «НИИ супер ЭВМ».

Ключевые слова: обработка изображений, субполосный анализ-синтез, вычислительная сложность, унифицированные электронные модули

Решение проблемы повышения эффективности процедур обработки изображений, в частности, изображений земной поверхности, в настоящее время приобретает особую актуальность, поскольку существенное развитие получили технические средства регистрации снимков земной поверхности, а также методы их обработки, прежде всего, средства дистанционной регистрации изображений земной поверхности в оптическом и инфракрасных диапазонах длин волн электромагнитных излучений с использованием соответствующих датчиков, устанавливаемых на летательных аппаратах, включая спутниковые системы, методы повышения качества изображений на основе увеличения четкости контуров, масштабирования отдельных фрагментов и фильтрации помех; восстановления и реконструкции изображений; автоматической классификация и распознавания объектов на изображениях; сжатия изображений при их хранении и передаче.

На основе изображений земной поверхности с целью принятия соответствующих решений осуществляется мониторинг различных процессов естественного и искусственного происхождения, для чего необходимо обеспечить высокий уровень достоверности интерпретаций (дешифрирования) анализируемых снимков. Основными инструментами мониторинга являются: сопоставление изображений, получаемых в различные моменты времени, для чего необходимо осуществлять их хранение и передачу по каналам связи; классификация объектов на земной поверхности, то есть объединение их в группы на основе некоторого принципа; распознавание объектов, в том числе обнаружение новых, на основе сопоставления их характеристик с набором признаков, определяющих заданные классы.

Современные процедуры мониторинга реализуются с применением компьютерных технологий обработки, хранения и передачи данных, что в принципе позволяет реализовать вычислительные и логические процедуры любой сложности. Указанные выше задачи, в большинстве случаев, требуют значительных вычислительных затрат. Следовательно, для их реализации, в частности, в режиме реального времени, необходимо использовать как общедоступные персональные компьютеры, так и специализированные программно-аппаратные комплексы.



Вычислительные эксперименты показывают, что при анализе изображений необходимо использовать методы и приемы их обработки, которые адекватно отражают как специфику данных, так и специфику решаемых задач, сохраняют информацию о наиболее важных с точки зрения мониторинга свойствах земной поверхности. Опыт показывает наличие на земной поверхности квазициклических компонент естественного (овраги и т.п.) и искусственного (строения, дороги т.п.) происхождения. Таким образом, прежде всего, необходимо разработать оптимальные методы выделения наиболее значимых квазициклических компонент.

В качестве количественной меры значимости квазициклических компонент целесообразно использовать доли энергий изображений, которые попадают в выбранные подобласти пространственных частот. Рассмотрим это определение подробнее [1]. Пусть f_{ik} , $i = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, M$, означает отсчеты изображения в точках регистрации, трансформанта Фурье которого определяется соотношением

$$F(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} \exp(-ju(i-1)) \exp(-jv(k-1)). \quad (1)$$

Здесь u, v - нормированные круговые частоты, для которых выполняются неравенства

$$-\pi \leq u, v \leq \pi, \quad (2)$$

так что справедливо так называемое частотное представление (обратное Фурье- преобразование)

$$f_{ik} = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(u, v) \exp(ju(i-1)) \exp(jv(k-1)) dudv / 4\pi^2, \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N,$$

и равенство Парсеваля

$$\|f\|^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik}^2 = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |F(u, v)|^2 dudv / 4\pi^2, \quad (4)$$

которое можно представить в виде

$$\|f\|^2 = \sum_{m=1}^{R_1} \sum_{n=1}^{R_2} P_{mn}, \quad (5)$$

где P_{mn} - часть энергии изображения

$$P_{mn} = \int_{(u,v) \in V_{mn}} |F(u, v)|^2 dudv / 4\pi^2, \quad (6)$$

попадающая в двумерную область пространственных частот вида

$$V_{mn} = [-\alpha_{m2} \leq u < -\alpha_{m1}] \cap [-\beta_{n2} \leq v < -\beta_{n1}] \cup [-\alpha_{m2} \leq u < -\alpha_{m1}] \cap [\beta_{n1} \leq v < \beta_{n2}] \cup$$

$$\cup [\alpha_{m1} \leq u < \alpha_{m2}] \cap [-\beta_{n2} \leq v < -\beta_{n1}] \cup [\alpha_{m1} \leq u < \alpha_{m2}] \cap [\beta_{n1} \leq v < \beta_{n2}], \quad (7)$$

$$m = 1, 2, \dots, R_1, \quad n = 1, 2, \dots, R_2.$$

Здесь для простоты предполагается, что размеры двумерных подобластей пространственных частот одинаковы, то есть имеют место равенства

$$\alpha_{m2} - \alpha_{m1} = \pi / R_1, \quad \beta_{n2} - \beta_{n1} = \pi / R_2. \quad (8)$$

С этими подобластями пространственных частот можно связать соответствующие квазициклические компоненты z_{ik}^{mn} , трансформанты Фурье которых

$$Z^{mn}(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M z_{ik}^{mn} \exp(-ju(i-1)) \exp(-jv(k-1)) \quad (9)$$

в идеальном случае должны удовлетворять следующим условиям

$$Z^{mn}(u, v) = \begin{cases} F(u, v), & (u, v) \in V_{mn}; \\ 0, & (u, v) \notin V_{mn}. \end{cases} \quad (10)$$

Значимость квазициклических составляющих определяется долями энергий изображений, попадающих в соответствующие подобласти пространственных частот, то есть

$$S_{mn} = P_{mn} / \|f\|^2. \quad (11)$$

Характерной особенностью изображений земной поверхности является сосредоточенность их подавляющей доли энергии в двумерных подобластях пространственных частот, суммарная



площадь которых мала по сравнению с квадратом площадью $2\pi * 2\pi$ (площадь всей области определения трансформанты Фурье).

Очевидно, что выделение квазициклических компонент, наилучшим в смысле некоторого критерия образом удовлетворяющих равенству (10), является оптимальной частотной фильтрацией. Поэтому соответствующая процедура позволяет очистить изображение от ненужных или вредных с точки зрения восприятия компонент, улучшив тем самым визуальное качество.

В качестве критерия оптимальности целесообразно использовать меру погрешности аппроксимации условия (10), и прежде всего в смысле среднеквадратического отклонения. Тогда вариационный принцип выделения квазициклических компонент имеет вид [2]

$$\int_{(u,v) \in V_{mn}} |F(u,v) - Z^{mn}(u,v)|^2 dudv / 4\pi^2 + \int_{(u,v) \notin V_{mn}} |Z^{mn}(u,v)|^2 dudv / 4\pi^2 = \min$$

Важно отметить, что решение этой вариационной задачи оно реализуется непосредственно в области пространственных данных без необходимости вычислений трансформант Фурье изображений.

Оптимальное выделение квазициклических компонент позволяет также осуществлять на них разнообразные воздействия в целях сжатия [3] или повышения визуального качества. В частности при сжатии совокупности изображений удаленные квазициклические компоненты в одних из них можно замещать квазициклическими компонентами, сформированными на основе фрагментов других. При этом выполнение условия вида (10) позволяет обеспечить ортогональность, что целесообразно с точки зрения дальнейших восстановлений исходных изображений.

В работе [4] уже отмечалась роль оценок производных для градиентной обработки с целью повышения четкости контуров отдельных фрагментов изображений, что важно для задач дешифрирования объектов на земной поверхности. Ясно, что задачу численного дифференцирования изображений можно свести к дифференцированию значимых квазициклических компонент. Это позволяет получить устойчивые к воздействиям шумов оценки производных изображений для улучшения их визуального качества.

Изменение масштабов изображений или их фрагментов также можно реализовать на основе интерполяции квазициклических компонент.

Таким образом, необходимо разработать оптимальные (вариационные) методы целенаправленных воздействий на квазициклические компоненты изображений, включая фильтрацию, дифференцирование и интерполяцию при решении проблемы повышения их визуального качества.

Представляется естественным перечисленные и возможные другие процедуры обработки изображений на основе выделения и замещения квазициклических компонент именовать процедурами субполосного анализа/синтеза.

Отметим, что применяемые в настоящее время методы частотной обработки (Фурье-анализа и синтеза) на основе дискретного преобразования Фурье либо КИХ-фильтрации не позволяют точно вычислить интегралы вида (6) и не позволяют выделить квазициклические компоненты, которые определяются только энергией изображения, попадающей в заданную подобласть пространственных частот.

Создаваемые в работах [1-5] оптимальные в том или ином смысле (вариационный принцип) методы и алгоритмы субполосного анализа/синтеза изображений, а именно, сжатие данных, выделение квазициклических компонент, повышение визуального качества, масштабирование, автоматическую классификацию и распознавание объектов, свободны от этих недостатков и являются оптимальными по точности, что и определяет их существенное преимущество. Вычислительные эксперименты показали их вычислительную сложность порядка $O(M^2 N^2)$ и, следовательно, необходимость использования вычислительных средств, обеспечивающих выполнение требуемых расчетов за приемлемое с точки зрения решаемых задач время.

В качестве таких вычислительных средств авторами предложено использовать разработанные в ОАО «НИИ супер ЭВМ» унифицированные электронные модули [6, 7], являющиеся универсальным инструментом создания систем сбора и цифровой обработки сигналов и изображений. Унифицированные электронные модули способствуют резкому сокращению времени обработки изображений на основе использования современных достижений математики и электроники, апробированных в других областях знаний.

Различные сочетания модулей на основе ПЛИС VIRTEX-6 и submodule стандарта FMC (рис. 1) позволяют построить эффективные системы для решения различных прикладных задач анализа-синтеза изображений. Широкие и разнообразные возможности создаваемых на их основе систем по приему, оцифровке, обработке, хранению и формам визуализации оцифрованного материала позволяют использовать их для модернизации и расширения функциональных возможностей существующего технологического оборудования. В частности, подобные системы могут оказаться полезны при внедрении новейших методов обработки изображений, переходе на технологию высокого и сверхвысокого разрешения.



При построении системы на основе унифицированных электронных модулей предусмотрена возможность использования универсальных ЭВМ. Ввод-вывод данных и управляющих сигналов может быть реализован по шине сРСИ, каналам Giga Ethernet, дуплексным каналам связи на основе медных и оптоволоконных соединителей. Такая система позволяет передавать пакеты данных на расстояния от нескольких сантиметров до сотен километров со скоростью от единиц байт до десятков гигабайт в секунду, что обеспечивает возможность распараллеливания решения задач обработки изображений на удаленных компьютерах.

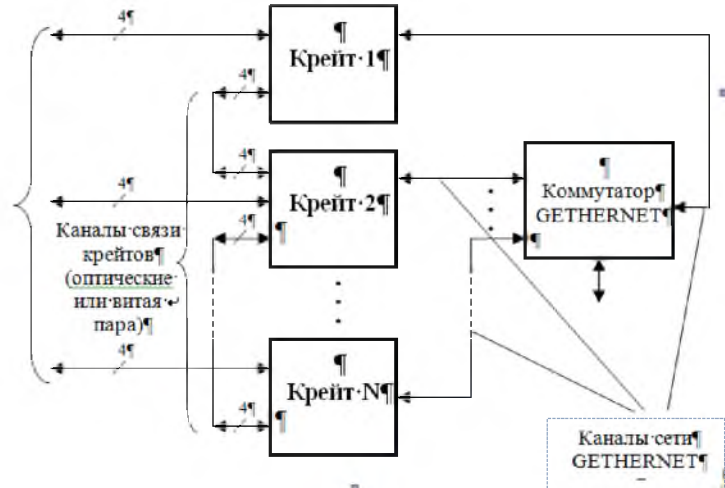


Рис. 1. Пример построения вычислительной сети на основе унифицированных электронных модулей (внешние оптоволоконные каналы)

Модульная структура вычислительных устройств на основе унифицированных электронных модулей (рис. 2) обеспечивает построение вычислительных систем высокой масштабируемости.

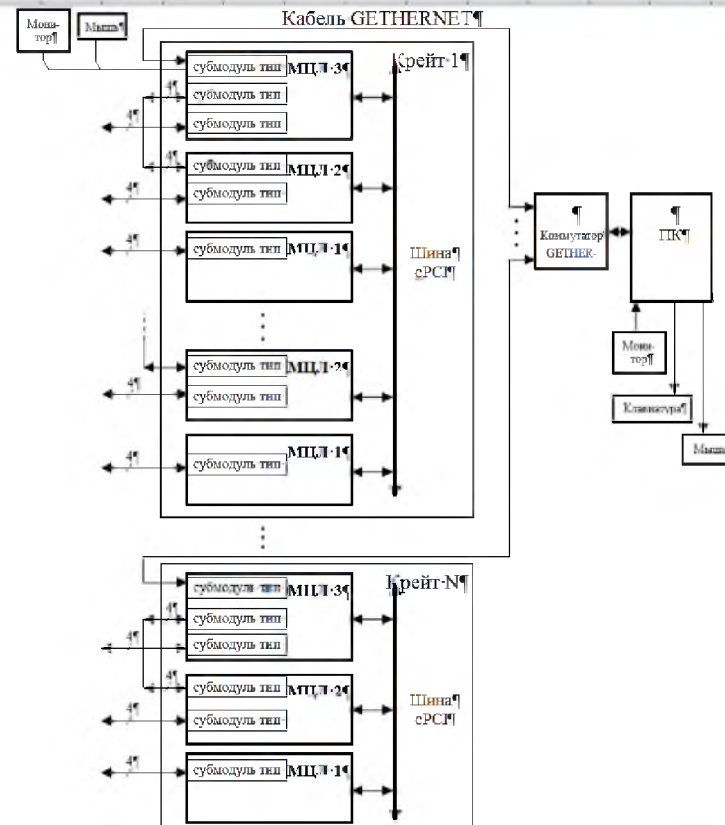


Рис. 2. Структура унифицированных электронных модулей



Также возможна загрузка параметров настройки системы, что позволяет адаптировать ее для решения различных текущих задач.

Использование на каждом этапе вычислений своей разрядности операндов позволяет обеспечить необходимую точность результатов. Технические характеристики типовой конфигурации унифицированных электронных модулей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики типовой конфигурации устройства

Конструктивный стандарт	Евромеханика 6U
Количество модулей	3
Количество мезонинных плат FMC	4
Скорость потока входной информации	Не менее 500 Мбайт/сек на мезонинную плату FMC
Количество волоконно-оптических каналов связи (SFP+)	8
Количество каналов связи по медной витой паре (SFP+)	4
Производительность модулей для операции БПФ	Не менее 125 Гфлопс
Интерфейсы	Gigabit Ethernet, HDMI, MiniUSB, JTAG, RS232/485
Энергопотребление	Не более 150 Вт

Высокая производительность вычислительных устройств на основе унифицированных электронных модулей цифровой обработки изображений достигается использованием современных модификаций алгоритмов цифровой обработки сигналов с динамическим изменением структуры вычислительной среды, оптимально сочетающей параллельные и потоковые вычисления. Таким образом, возможности практического использования унифицированных электронных модулей для решения задач цифровой обработки изображений земной поверхности в реальном масштабе времени могут быть значительно расширены, возникает возможность получать ранее недоступную дополнительную информацию в реальном масштабе времени.

Литература

1. Жилияков, Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники – Сер. РЛГ, 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.
2. Жилияков, Е.Г. Оптимальная фильтрация изображений на основе частотных представлений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2008. – Вып. 1. – С. 118-131.
3. Жилияков, Е.Г. Метод сжатия изображений, основанный на разложении квазициклических компонент изображения по собственным векторам соответствующих субполосных матриц [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, В.А. Голощапова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 13 (108). – Вып. 19/1. – С. 191-195.
4. Жилияков, Е.Г. О выделении контуров объектов на изображениях земной поверхности [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 1 (96). – Вып. 17/1. – С. 196-200.
5. Жилияков, Е.Г. Вариационные методы анализа/синтеза изображений земной поверхности в задачах их дешифрирования: монография [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин, А.А. Барсуку, А.Ю. Лихошерстный. – Белгород: ООО «ГиК», 2012. – 204 с.
6. Баранов, Л.Д. Реализация цифровой обработки сигналов в медицине [Текст] / Л.Д. Баранов, М.В. Лапшин, С.Н. Маликов // Вопросы радиоэлектроники. – 2012. – Вып. 2. – С. 60-65.
7. Зотов, В. Особенности архитектуры нового поколения высокопроизводительных ПЛИС FPGA фирмы Xilinx серии Virtex-6 // «Компоненты и технологии» –2009. – №8. – С. 78-85.

IMPLEMENTATION OF IMAGE SUBBAND ANALYSIS-SYNTHESIS BASED ON UNIFIED ELECTRONIC MODULES

A.A. CHERNOMORETS¹
S.N. MALIKOV²

¹Belgorod State National Research University

²ОАО «SRI super Computers»

e-mail:
chernomorets@bsu.edu.ru
sergej.malikov@bk.ru

In this work for the hardware and software implementation of methods and algorithms of image subband analysis-synthesis we proposed the used unified electronic modules developed in the "SRI super Computers".

Keywords: image processing, subband analysis-synthesis, computational complexity, unified electronic modules