

Досліджено інформаційні можливості нового методу для обробки та виділення об'єктів інтересу на слабоконтрастних зображеннях, який базується на проведенні віртуальних аналогій з методами фізичних вимірів і розгляду в якості інформативних параметрів простору еліпсометричних параметрів Стокса. Приведено результати перевірки працездатності методу на зображеннях різної фізичної природи (геофізичне поле, космоснімок, томограма)

Ключові слова: слабоконтрастне зображення, еліпсометричні характеристики, модуляційне перетворення, нормування, ортогоналізація, сингулярне перетворення

Исследованы информационные возможности нового метода для обработки и выделения объектов интереса на слабоконтрастных изображениях, основанного на проведении виртуальных аналогий с методами оптических физических измерений и рассмотрении в качестве информативных параметров пространства эллипсометрических параметров Стокса. Представлены результаты проверки работоспособности метода на изображениях различной физической природы (геофизическое поле, космоснимок, томограмма)

Ключевые слова: слабоконтрастные изображения, эллипсометрические характеристики, модуляционное преобразование, нормировка, ортогонализация, сингулярное разложение

УДК 004.93

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27667

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ ЭЛЛИПСО- МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТОКСА

И. М. Удовик

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра программного

обеспечения компьютерных систем

ГВУЗ «Национальный горный университет»

пр. Карла Маркса, 19,

г. Днепропетровск, Украина, 49000

E-mail: afs_matsuk@mail.ru

1. Введение

Задача выделения визуально неразличимых областей слабоконтрастных изображений имеет большое прикладное значение (рентгенограмма, термограмма, биофизические снимки, и т. д.). В последнее время увеличилось число задач, которые используют ансамбль многопараметровых изображений, например, в таких областях, как медицинская диагностика (анализ характеристик ЯМР, томограмм), дистанционное зондирование Земной поверхности, анализ геофизических полей и пр.

Достаточно широко распространены методы анализа на основе использования трех спектральных диапазонов с последующим их слиянием в одно результирующее RGB цветное изображение, с последующей сегментацией на основе использования цветовых признаков [1–5]. Однако этот подход весьма редко позволяет идентифицировать слабоконтрастные участки из-за незначительного изменения их отражательной способности (к сожалению, здесь невозможно привести цветные изображения демонстрирующие этот эффект), поэтому само по себе использование цветовых методов кодирования изображений не решает задачи повышения визуальной чувствительности процедуры сегментации.

Ключевой проблемой для осуществления чувствительной сегментации является формирование нового

пространства признаков на основе анализа локального контраста его элементов, который обеспечивают решение поставленной задачи.

При разработке новых методов анализа изображений возможно использование виртуальных аналогов физических методов обработки радиофизических и оптических сигналов и полей и их математических моделей.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Одним из наиболее востребованных направлений современных информационных технологий, которое затрагивает, в той или иной степени, все области техники, является обработка цифровых изображений. Они все чаще используются для представления информации в научных исследованиях, медицине, экологии, промышленности, например, для решения задач анализа геофизических полей [6, 7], обнаружения и идентификации малоразмерных замаскированных целей в военной области, анализа анатомической структуры с выделением участков потенциального интереса в медицинской диагностике [8, 9], визуальной биоидентификации в системах закрытого доступа и других.

Новое направление в области цифровой обработки изображений, предложенное в статье, заключается

в использовании моделей виртуальных физических методов, например, наиболее чувствительных методов оптических и радиофизических измерений (интерферометрия, голография, эллипсометрия). Впервые возможность проведения виртуальных аналогий с реальными физическими методами измерений при обработке слабоконтрастных изображений было приведено в работах [10–12]. Как хорошо известно, они обладают наибольшей чувствительностью к незначительным вариациям физических параметров исследуемых объектов, в частности, эллипсометрические методы измерений обладают наибольшей чувствительностью к вариациям толщины и диэлектрической проницаемости тонкослойных пленочных покрытий. Тогда, при проведении аналогии с изображениями (незначительные изменения яркости в слабоконтрастных изображениях) можно предполагать возможность повышения чувствительности анализа изображений. При этом следует отметить, что результаты представляются в специфической форме, что создает трудности при их интерпретации.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка информационной технологии, основанной на методе виртуальной цифровой эллипсометрии, которая обеспечивает повышение чувствительности, разрешающей способности и достоверности процедур сегментации и анализа как обычных, так и многопараметровых (мультиспектральных) изображений в условиях неопределенности системы их формирования, а также местоположения и вида объекта потенциального интереса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследование и разработка физико-математических моделей преобразования исходных слабоконтрастных изображений к виду, обеспечивающему возможность разработки информационной технологии, основанной на создании виртуальных аналогов цифровых методов.

2. Разработка моделей формирования новых признаков пространств цифрового метода в задачах синтеза изображений.

3. Синтез, обоснование и исследование информативных возможностей характеристик цифрового метода при анализе визуальной информации и обобщение разработанных моделей на область виртуальной эллипсометрии.

4. Разработка информационной технологии для обработки и анализа слабоконтрастных изображений на основе метода виртуальной цифровой эллипсометрии.

4. Материалы и методы исследований возможности проведения виртуальной аналогии с эллипсометрическими методами физических измерений

Возможность создания виртуального аналога эллипсометрических методов основана на свойствах поляризованной электромагнитной волны. Известно, что электрический вектор $\mathbf{E}=(E_x, E_y, 0)$ соответствует

волне, в комплексном представлении описываемой выражением (1).

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = a_x(x, y)e^{j(\omega t - kz)}\hat{x} + a_y(x, y)e^{j(\omega t - kz)}\hat{y}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота; $k = 2\pi / v$ – волновое число ($v = \frac{2\pi}{\lambda}$ – длина волны оптического излучения); a_x, a_y – амплитуды ортогональных составляющих.

Тогда в каждой точке пространства вектор \mathbf{E} описывает замкнутую кривую, являющуюся эллипсом, уравнение которого имеет вид [3, 4]

$$\frac{E_x^2}{|a_x|^2} + \frac{E_y^2}{|a_y|^2} - 2\frac{E_x E_y}{|a_x a_y|} \cos \delta = \sin^2 \delta, \quad (2)$$

где $a_x = |a_x| \exp(j\delta_x)$; $a_y = |a_y| \exp(j\delta_y)$; $\delta = \delta_y - \delta_x$. Если $|a_x| = |a_y|$ и $\delta = \pm\pi/2$, то эллипс вырождается в окружность (круговая поляризация), а если $\delta = 0, \pm\pi$, то он вырождается в прямую линию (линейная поляризация).

Таким образом, поле в каждой точке характеризуется плоскостью, в которой лежит его эллипс поляризации, который может быть полностью охарактеризован параметрами Стокса определяемыми как [5]

$$\begin{aligned} S_0 &= a_x^2 + a_y^2; \quad S_2 = 2a_x a_y \cos \delta; \\ S_1 &= a_x^2 - a_y^2; \quad S_3 = 2a_x a_y \sin \delta. \end{aligned} \quad (3)$$

Параметр S_0 пропорционален интенсивности анализируемого изображения, а S_1, S_2, S_3 можно интерпретировать как декартовы координаты точки на сфере радиусом S_0 (рис. 1), известной как сфера Пуанкаре.

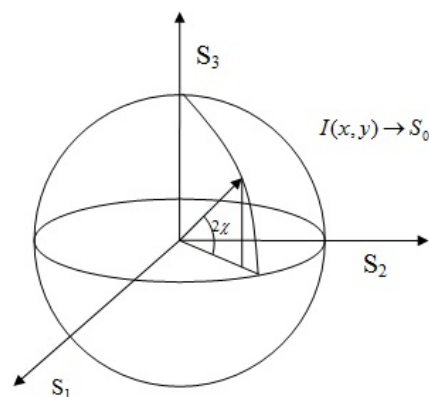


Рис. 1. Сфера Пуанкаре

Из выражения (3) следует, что, например, обычному яркостному изображению возможно сопоставление четырех новых синтезированных «эллипсометрических» изображений.

Структура алгоритма для реализации виртуального эллипсометрического метода для обычных (однопараметровых) изображений включает в себя следующие этапы.

1. Модуляционное преобразование исходного изображения $I(x, y)$

$$\vec{A}(x,y) = \text{Re} \left[A(\vec{x},y) \right] + j \text{Im} \left[A(\vec{x},y) \right] = \exp(j\pi I(x,y)) \tag{4}$$

позволяет сопоставить каждому пикселю анализируемого изображения две ортогональные компоненты векторного поля – действительная и мнимая части выражения

$$A(x,y) = R_x(x,y) + jR_y(x,y),$$

которые интерпретируем в виде аналога ортогональных составляющих a_x и a_y в выражениях (3) и (4), соответственно.

2. Фазовая компонента $\delta = \delta(x,y)$ вычисляется следующим образом:

$$\delta(x,y) = \exp(j\pi / [H(I(x,y)) + \alpha]), \tag{5}$$

где H – оператор эквализации (выравнивания) гистограммы исходного изображения $I(x,y)$, α – стабилизирующий параметр (выбирался равным 0.001).

3. Синтез четырех эллипсометрических характеристик $S_0(x,y)$, $S_1(x,y)$, $S_2(x,y)$ и $S_3(x,y)$ исходного изображения $I(x,y)$ на основе использования выражения (3).

4. Визуализация и анализ новых виртуальных изображений, полученных на основе эллипсометрических характеристик.

При представлении цветного изображения, каждому пикселю уже соответствует три параметра. Однако непосредственное их использование для подстановки в выражение (3) невозможно, поскольку они не соответствуют условию ортогональности. Поэтому алгоритм для анализа цветных (или трех-параметровых) изображений отличается от алгоритма анализа обычных яркостных изображений и состоит из следующих этапов.

1. Ансамбль анализируемых изображений $I = \{I_1, I_2, I_3\}$ размером $((M \times N) \times L, L = 3)$ представляется в виде прямоугольной матрицы G размером $(M \times N) \times L$.

2. Проводится сингулярное разложение матрицы G

$$G = UWV^T,$$

где $U = [U_1 U_2 \dots U_L]$ – матрица сингулярных векторов размерностью $(M \times N) \times L$, формирующих ортонормированный базис пространства натянутого на столбцы матрицы G .

3. Из матрицы сингулярных векторов U формируется ансамбль собственных изображений анализируемого ансамбля $\{I\}$, т. е.

$$U \Rightarrow \{I_{s1}, I_{s2}, I_{s3}\}.$$

Особенность ансамбля собственных изображений является то обстоятельство, что эти изображения являются ортогональными, что позволяет сопоставить, например, $I_{s1} \equiv a_x$ и $I_{s2} \equiv a_y$ в выражениях (1) и (2).

4. Особенность подхода заключается в способе вычисления фазового угла $\delta = \delta_z(x,y)$ между собственными изображениями I_{s1} и I_{s2} , определяемого как

$$\delta_z(x,y) = \exp(j\pi / (H[I_{s3}(x,y)] + \alpha)). \tag{6}$$

5. Синтез эллипсометрических характеристик ансамбля на основе использования выражений (3).

5. Результаты эффективности работы метода на примере изображений различной физической природы

На рис. 2 представлены эллипсометрические характеристики, полученные для геофизического потенциального электрического поля, из рассмотрения которых видно, что они являются очень чувствительными к изменению исходной яркости и обеспечивают высокую детализацию изображения. RGB кодирование на основе пространственных координат на основе эллипсометрических параметров Стокса (рис. 2 – RGB (S_1, S_2, S_3)) с одной стороны, позволяет уменьшить их количество за счет формирования интегрального образа, с другой стороны позволяет использовать дополнительный информативный параметр – цвет.

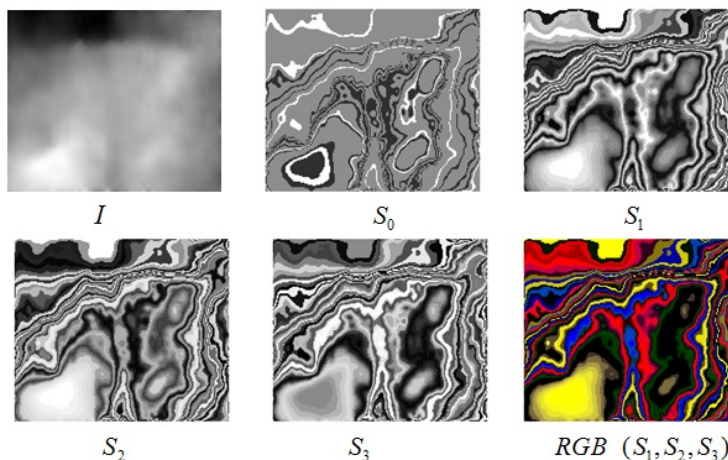


Рис. 2. Эллипсометрические характеристики геофизического поля

На рис. 3 приведен результат RGB кодирования на основе характеристик (S_1, S_2, S_3), полученных при обработке изображений другой физической природы – томограммы головного мозга непосредственно I_1 и с введенным рентгеноконтрастным веществом I_2 . В то время как изображения I_1 , при непосредственном рассмотрении практически не отличаются, цветные изображения, сформированные на основе эллипсометрических характеристик, имеют существенное отличие, которое выражается в выделении дополнительных областей и изменении конфигурации имеющихся.

Таким образом, отображение анализируемых слабоконтрастных изображений в пространстве самоорганизующихся эллипсометрических параметров Стокса обеспечивает дополнительные информационные возможности, которые повышают степень чувствительности и надежности анализа, в том числе и на основе цветового RGB кодирования эллипсометрических характеристик.

Как было указано выше, для задачи эллипсометрического синтеза необходимы три параметра, соответствующие двум ортогональным векторным характеристикам.

На рис. 4. представлено космическое изображение участка акватории Черного моря и соответствующие ему эллипсометрические характеристики.

Сопоставление исходного цветного изображения $I(x,y)$ и синтезированного на основе использования трех параметров Стокса RGB $[S_1, S_2, S_3]$ свидетельствует о значительном увеличении чувствительности степени детализации участков акватории морской поверхности.

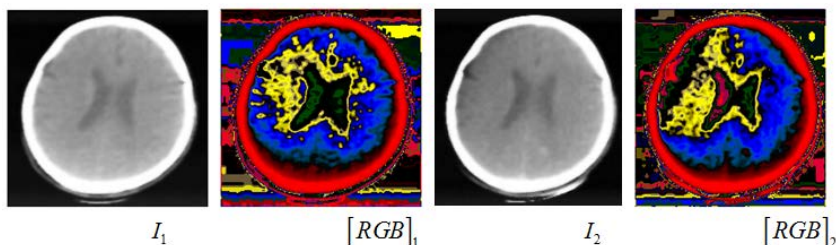


Рис. 3. Цветовое кодирование эллипсометрических характеристик томограммы головного мозга (I_1 – до введения рентгеноконтрастного вещества, I_2 – после его введения)

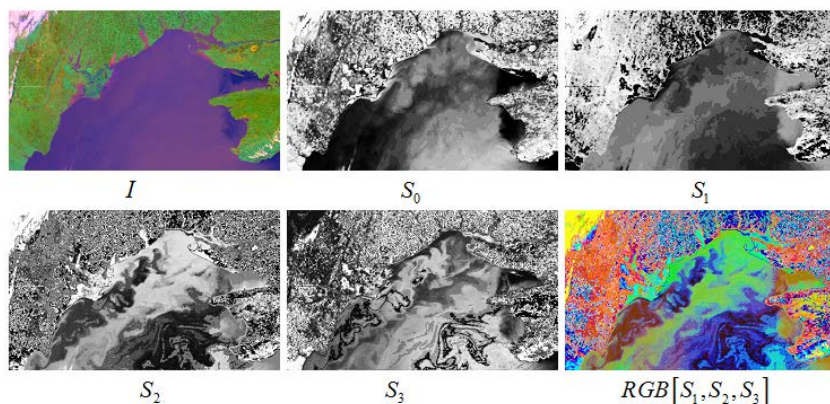


Рис. 4. Эллипсометрический синтез в пространстве параметров Стокса космического изображения участка Черного моря

6. Функциональная схема информационной системы и особенности работы с программой

При практической реализации полученных теоретических результатов была разработана система InterferenceImageProcessing, которая реализована на языке C# в среде Visual Studio 2010 с использованием платформы .NET Framework 4.0.

Функциональная схема информационной технологии обработки слабоконтрастных изображений в пространстве эллипсометрических параметров Стокса представлена на рис. 5.

Условно можно выделить следующие четыре основных этапа:

1. Ввод и предварительная обработка исходного изображения.
2. Определение параметров модуляционного преобразования.
3. Формирование пространства информативных признаков.

4. Формирование результирующего изображения и определение способа его визуализации.

Предварительная обработка исходного изображения определяется его типом и может включать различные шаги, например нормировку, эквализацию гистограммы, преобразование размерности и т. д. Цветное изображение (RGB – кодирование его частный случай) рассматривается как частный случай p -мерного, в тоже время только для него осуществляется рассмотрение каждой компоненты в отдельности. Для многомерного изображения обязательным шагом

является ортогонализация, которая существенно повышает чувствительность процедуры сегментации в фазовом пространстве (является составной частью используемых методов).

Этап определения параметров модуляционного преобразования является основополагающим, поскольку непосредственно влияет на информативность конечного результата.

В технологии реализована возможность управления степенью детализации слабоконтрастных участков на основе определения коэффициента преобразования λ . На первоначальной стадии анализа и для изображений, область потенциального интереса у которых определена априори, предложено использовать $\lambda=1$. Дальнейшая вариация параметра λ в пределах $(0.1 \div 1.0)$ позволяет управлять степенью детализации результата (с уменьшением его значения возрастает величина яркости выделяемого объекта).

В случаях, когда необходимо выделить на изображении объекты маленького размера или их детали, предлагается локально-адаптивный вариант определения параметра λ . В данном варианте вводятся два допол-

нительных параметра вычисления: размер рамки, который зависит от размера объекта интереса ($L=3$ или $L=5$) и стабилизационный коэффициент ($k \in [0.20 \div 0.40]$), который обеспечивает выявление особенностей изображения в пределах рамочной апертуры.

При необходимости выделения на изображении слабоконтрастных участков любой площади и произвольной формы на сложно-структурированном яркостном фоне, необходимо использовать самоорганизующийся вариант определения параметра λ .

Следующим этапом (этап 3) технологии обработки изображений является определение информативных параметров (S_0, S_1, S_2, S_3 – параметры Стокса). В зависимости от поставленной задачи и особенностей зрительного восприятия пользователя, возможно RGB-кодирование результата на основе их комбинаций. Визуализация результирующих изображений, полученная на основе информативных параметров, позволяет строить гистограммы и яркостно-пространственные срезы на их основе.

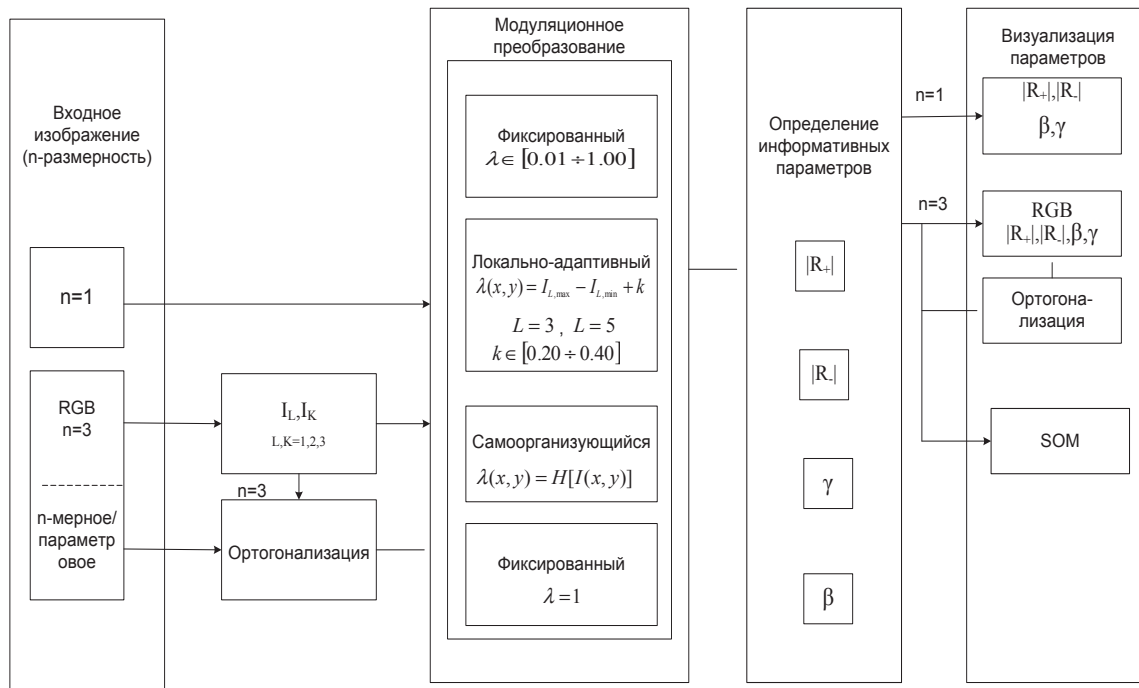


Рис. 5. Информационная технология обработки слабоконтрастных изображений на основе параметров Стокса

Выбор синтезируемого пространства информативных признаков (этап 3) и способ его визуализации (этап 4) содержат в себе достаточный элемент неопределенности, поскольку, с одной стороны, зависят от объективных причин и определяются типом изображения и поставленной задачей, а с другой стороны, являются достаточно субъективными, так как во многом зависят от представлений пользователя о результате и особенностях его зрительного восприятия.

7. Выводы

Метод анализа слабоконтрастных изображений в пространстве эллипсометрических параметров Стокса может быть применен для повышения чувствительности, как однопараметровых, так и многопараметровых слабоконтрастных изображений.

В рамках метода каждому пикселю анализируемого изображения сопоставляется четыре виртуальных параметра Стокса, что позволяет естественным способом осуществлять цветное RGB кодирование результатов, без использования процедуры псевдоцветового кодирования.

Проведенные эксперименты показали, что наиболее подходящим методом сжатия мультиспектрального ансамбля является метод сингулярного разложения, причем в качестве трех основных («собственных») изображений принимаются изображения, соответствующие первым трем максимальным сингулярным числам, при этом синтез эллиптических характеристик на основе этих «собственных» изображений обеспечивает более высокую степень детализации результирующего цветного эллиптического RGB кодирования по сравнению с прямым RGB кодированием трех «собственных» изображений.

Использование процедуры предварительной ортогонализации Грамма-Шмидта исходного мультиспектрального ансамбля, позволяет в качестве информативных параметров использовать как яркостно-резонансную, так и фазо-резонансную характеристики.

Представленные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об эффективности предложенных вариантов развития информационных возможностей эллипсометрического метода, как в теоретическом, так и в прикладном отношении.

Литература

1. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений [Текст] / Р. А. Шовенгердт; пер с англ. И. А. Громова. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Календер, В. А. Компьютерная томография. Основы, техника, качество изображений и области клинического использования [Текст] / В. А. Календер; пер. с англ. В. Н. Дмитриев, К. Д. Калантаров. – М.: Техносфера, 2006. – 334 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
4. Яне, Б. Цифровая обработка изображений [Текст] / Б. Яне; пер. с англ. А.М. Измайловой. – М.: Техносфера, 2007. – 583 с.
5. Форсайт, Д. Компьютерное зрение: современный подход [Текст] / Д. Форсайт, Ж. Понс; пер. с англ. А. В. Назаренко, И. Ю. Дорошенко. – М.; С.Пб.; К: Вильямс, 2004. – 926 с.

6. Kinoshenko, D. Metrical Properties of Nested Partitions for Image Retrieval [Text] / D. Kinoshenko, V. Mashtalir, E. Yegorova, V. Shlyakhov; C.-H. Wei, Y. Li (Ed.) // Machine Learning Techniques for Adaptive Multimedia Retrieval: Technologies Applications and Perspectives, 2010. – P. 18–49.
7. Кондратьев, А. А. Использование графических вычислителей в процессах обработки и распознавания изображений [Текст]: V Всер. науч.-тех. конф. / А. А. Кондратьев, И. П. Тищенко // Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». – М.: Радиотехника, 2012. – С. 92.
8. Старенький, В. П. Применение методов контурной сегментации томограмм для усовершенствования топометрической подготовки конформной лучевой терапии [Текст] / В. П. Старенький, Л. А. Аверьянова, Л. Л. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование. – 2012. – № 62 (968). – С. 194–199.
9. Абакумов, В. Г. Базовые методы обработки биомедицинских изображений [Текст] / В. Г. Абакумов, С. Г. Антошук, В. Н. Крылов // Электроника и связь. 2008. – Ч. 2. – С. 53–58.
10. Удовик, И. М. Самоорганизующийся интерференционный метод сегментации слабоконтрастных изображений [Текст] / И. М. Удовик, Л. Г. Ахметшина, А. М. Ахметшин // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 427–431.
11. Ахметшина, Л. Г. Фазовая сегментация мультиспектральных слабоконтрастных изображений [Текст] / Л. Г. Ахметшина, И. М. Удовик // Искусственный интеллект. – 2011. – № 3. – С. 200–206.
12. Удовик, И. М. Самоорганизующийся интерференционный метод фазовой сегментации мультиспектральных изображений [Текст]: межд. науч.-практ. конф. / И. М. Удовик // Информационные технологии и безопасность в науке, технике и образовании ИНФОТЕХ-2011. – Севастополь, 2011. – С. 164.

Розглянуто принципи побудови систем дистанційного тренування людини шляхом аналізу відеопотоку рухів, які виконує користувач системи та рухів, виконаних інструктором. Система базується на двохвимірній проективній точковій моделі руху людини. Для моделі обчислюються кінематичні параметри руху: координати характерних точок, їх миттєві швидкості та прискорення. Вірність закладених принципів перевірена шляхом програмної реалізації системи

Ключові слова: дистанційне тренування, модель рухів людини, характерні точки, скелетизація, міри близькості рухів

Рассмотрены принципы построения систем дистанционной тренировки человека путем анализа видеопотока движений, которые выполняет пользователь системы и движений, выполненных инструктором. Система базируется на двумерной проективной точечной модели движения человека. Для модели вычисляются кинематические параметры движения: координаты характерных точек, их мгновенные скорости и ускорения. Правильность заложенных принципов проверена путем программной реализации системы

Ключевые слова: дистанционная тренировка, модель движений человека, характерные точки, скелетизация, степень близости движений

УДК 004.942: 519.711.3

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28555

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ТРЕНУВАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДЕОПОТОКУ

Нгуєн Гуї Кіонг
Аспірант*

E-mail: cuongmits@gmail.com

В. О. Болтьонков

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: vaboltenev@mail.ru

Д. В. Малявін*

E-mail: dima_91@ukr.net

*Кафедра інформаційних систем

Одеський національний

політехнічний університет

пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

1. Вступ

Стрімкий розвиток систем комп'ютерного зору та інтелектуального аналізу зображень у відеопотоці визначив ряд нових напрямків практичного застосування таких систем. Зокрема таким напрямком є створення на впровадження систем дистанційного

тренування (СДТ), що керують рухами людей, які виконують різноманітні тренувальні вправи [1]. Одним з напрямків сучасної медичної практики є застосування СДТ при реабілітації пацієнтів з тривалим періодом відновлення. Особливо перспективний цей напрямок в системах реабілітації хворих з хворобами опорно-рухового апарату (наслідки важких будь-яких травм,