

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ И РЕНТГЕНОВСКИМИ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

[Текст] / Д.Г. Привезенцев, А.Л. Жизняков // - Методы и устройства передачи и обработки информации. Издательско-полиграфический центр ВлГУ. – 2010. – №12. – с. 54-58

7. Жизняков, А.Л. Классификация изображений на основе локальных признаков самоподобия. [Текст] / А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев, А.А. Фомин // - Ползуновский вестник. - 2011. - № 3, Ч. 1. - С. 12-14.
8. Привезенцев, Д.Г. Применение фрактальных методов в обработке изображений и сигналов [Текст] / Д.Г.Привезенцев, А.Л. Жизняков, А.А.

Баранов // - Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Издательско-полиграфический центр МИ ВЛГУ. – 2009. – Вып. 14. – с.133-141.

Зав. каф. «САПР ЭС», зам. директора по научной работе д.т.н., проф., А.Л. Жизняков - lvovich@newmail.ru; аспирант Д.Г. Привезенцев – dgprivezencev@mail.ru – 8(49234)77236, ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет» Муромский институт (филиал).

УДК 608.2

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ И РЕНТГЕНОВСКИМИ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В.И. Сырямкин, В.А. Бородин, А.В. Осипов

Рассматриваются алгоритмы обработки и анализа изображений опτικο-телевизионными и рентгеновскими диагностическими системами: фрактальные, на основе Вейвлет-преобразования, корреляционно-статистические.

Ключевые слова: обработка изображений, анализ изображений, диагностическая система, рентгеновская томография, корреляционный анализ, вейвлет, фрактальные алгоритмы

Введение

Практическое применение опτικο-телевизионных и рентгеновских диагностических систем требует решения задач обработки, анализа и распознавания полученных изображений материалов [1-4].

В статье описываются практические результаты применения алгоритмов обработки и анализа изображений в подобных системах [3, 4].

Процесс распознавания изображения традиционно разделяется на предобработку изображения, выделение информационных признаков (или сегментацию) изображения и отнесение изображения к определенному классу (распознавание) на основе данных, полученных на предыдущих этапах.

Ниже рассматриваются алгоритмы, использующиеся коллективом авторов для решения поставленных задач: спектральные на основе Вейвлет-преобразования (предобработка, сегментация и выделение информационных признаков), фрактальные (распознавание) и корреляционные статистические (распознавание).

Фрактальные алгоритмы аттестации и неразрушающего контроля

Применение фрактальной геометрии дает эффективный инструмент в изучении сильно неровных поверхностей. Она нашла особое применение в описании свойств поверхностей разрушения, где фрактальная размерность (ФР) была использована как количественный индикатор шероховатости разрушаемой поверхности или ее профиля.

Использование методов измерения ФР было вызвано главным образом потребностью в получении достоверной численной информации о механическом состоянии материала под нагрузкой. Подобный подход позволяет определять степень деформации с помощью численной характеристики, получаемой на основе анализа субструктуры, наблюдаемой на поверхности материала под нагрузкой.

Метод нормированного размаха (R/S-отношения)

Способ расчета фрактальной размерности методом нормированного размаха (R/S-отношения) базируется на положении о том, что многие временные ряды можно исследо-

вать с помощью статистического подхода – метода Херста.

Для каждого промежутка наблюдений определяется среднее значение интенсивности по формуле

$$\xi_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t),$$

где t – количество учитываемых отрезков в промежутке; $\xi(t)$ – средняя яркость в рассматриваемом отрезке.

Затем вычисляем накопившееся отклонение яркости от средней $\xi(\tau)$:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t \{ \xi(u) - \xi_{\tau} \}, \quad (2)$$

где $\xi(u)$ – значение интенсивности в каждом пикселе рассматриваемого участка.

Величину размаха находим как разность минимального и максимального отклонения:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau).$$

Теперь рассчитываем стандартное отклонение:

$$S = \left(\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \{ \xi(t) - \xi_{\tau} \}^2 \right)^{1/2}.$$

Показатель Херста H находим из соотношения

$$R/S = (\tau/2)^H.$$

Значение фрактальной размерности D будет равно

$$D = 2 - H.$$

В качестве временных рядов используются строки, столбцы и диагональные элементы исследуемого изображения. Значение фрактальной размерности вычисляется для каждого такого временного ряда с последующим ее усреднением по всему изображению. Расчет производится исходя из условия, что в каждом временном ряду может быть выделено восемь (для изображения 512x512 пикселей) или девять (для изображения 768x576 пикселей) различных выборок с длиной соответственно 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 и 576 (768) пикселей.

Затем вычисляются R/S-отношения по приведенным выше формулам для каждой выборки. После этого в логарифмическом масштабе строится зависимость R/S-отношения от величины выборки. Далее по методу наименьших квадратов производится аппроксимация полученной кривой и определение угла ее наклона по следующей зависимости:

$$y = a + b \cdot x,$$

где

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i - N \sum_{i=1}^N x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N x_i^2},$$

$$a = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i - b \sum_{i=1}^N x_i \right).$$

Коэффициент b , определяющий угол наклона аппроксимирующей кривой, также определяет и значение показателя Херста H . Погрешность аппроксимации вычисляется из следующего отношения:

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - (b \cdot x_i + a))^2}{(N-2) \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

Погрешность вычислений значения фрактальной размерности по всему изображению вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{\max_{1 \leq i \leq N} D(i) - \min_{1 \leq i \leq N} D(i)}{N}.$$

Основным недостатком данного метода является то, что при расчете значения ФР двумерное изображение заменяется набором некоторых временных рядов с последующим их усреднением.

Метод серии изображений

При определении фрактальной размерности данным методом необходимо иметь серию изображений участка поверхности, снятых при различных увеличениях.

Определение фрактальной размерности D производится по формулам:

$$L = L_0 \cdot \delta^{1-D'},$$

$$D = D' + 1,$$

где δ – масштаб изображения; L – длина профилей всех строк; L_0 – длина проекции профилей всех строк.

На практике данный расчет осуществляется следующим образом.

Сначала для каждого изображения, полученного при коэффициенте увеличения δ , рассчитывается длина профиля каждой строки. Затем вычисляется общая длина всех строк изображения L и находится ее отношение к длине проекций этих строк L/L_0 .

После этого строится график зависимости L/L_0 от δ в логарифмическом масштабе.

Примерный график такой зависимости приведён на рисунке 1.

Затем на графике выбирается участок, отстоящий на 15% от максимального и минимального значений этой функции, и производится аппроксимация данного участка методом наименьших квадратов (см. рис. 1).

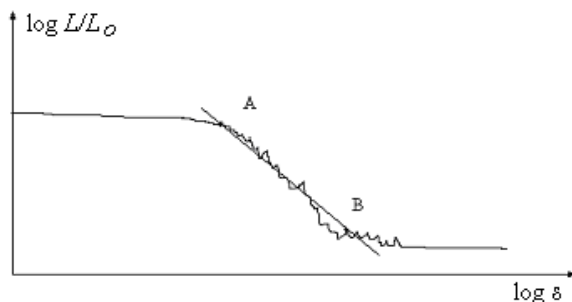


Рисунок 1 - График зависимости L/L_0 от масштаба измерения δ

Значение фрактальной размерности будет определяться углом наклона данной кривой.

Основным недостатком данного метода является то, что для расчета необходимо иметь серию изображений участка поверхности (что в ряде случаев недопустимо). Это обстоятельство также сильно увеличивает время вычислений, так как приходится обсчитывать сразу несколько изображений.

Метод масштабной сетки

Расчет значения ФР методом масштабной сетки основан на вычислении отношений длин профилей каждой строки (рассчитанных при разных масштабах) к их проекциям.

Сначала определяется значение ФР для каждой из строк. Это происходит следующим образом.

Для каждого масштаба измерения r (раствора циркуля) рассчитывается отношение длины профиля строки к ее проекции L/L_0 (рисунок 2).

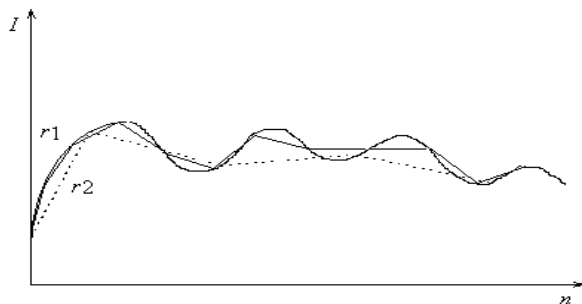


Рисунок 2 - К пояснению метода расчета длины профиля строки; r_1, r_2 – растворы циркуля; I – яркость пикселей в строке; n – количество пикселей в строке

Затем определение значения ФР строки производится тем же способом, что и в предыдущем методе, только здесь вместо L/L_0 всего кадра берется L/L_0 строки.

Значение ФР всего изображения вычисляется путем усреднения значений ФР каждой из строк.

Пример расчета ФР для изображения области разлома показан на рисунках 3 и 4.

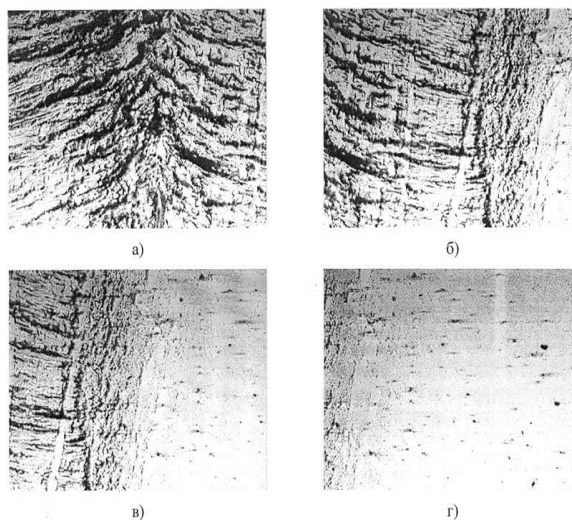


Рисунок 3 - Область разлома на разном расстоянии от места разрушения: 0 мм (а), 0.5 мм (б), 1 мм (в), 1.5 мм (г).

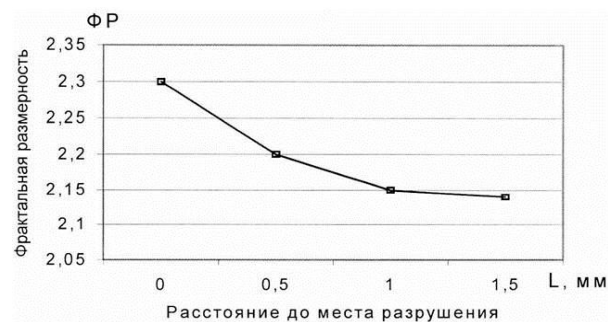


Рисунок 4 - Результат измерения фрактальной размерности изображения области разлома на различном расстоянии от места разрушения материала.

Вейвлет-преобразование

Для изображения размером $M \times N$ элементов каждая итерация вейвлет-преобразования реализуется в два этапа. Сначала с помощью фильтров G и H выполняются одномерные преобразования по всем строкам матрицы изображения, в результате получаются две матрицы, состоящие из низкочастотных и высокочастотных компонент, каждая размером $(M/2) \times N$. На втором этапе с помощью этих же фильтров выполняют преобразования столбцов обеих матриц изобра-

жений. В итоге после выполнения первой итерации вейвлет-преобразования получается изображение размера $M \times N$, условно разбитое на четыре квадранта:

LP1-LP1 – квадрант, представляющий собой уменьшенную и сглаженную по строкам и столбцам версию изображения – оригинала;

LP1-HP1 – квадрант, содержащий дифференциальную информацию об исходном изображении в горизонтальном направлении;

HP1-LP1 – квадрант, содержащий дифференциальную информацию об исходном изображении в вертикальном направлении;

HP1-HP1 – квадрант, содержащий дифференциальную информацию об исходном изображении в диагональном направлении.

Большая и важная часть информации, необходимая для восстановления исходного изображения, сконцентрирована в LP1-LP1 квадранте. Вейвлет-преобразование изображения содержит не только частотную информацию об исходном сигнале, но и пространственную, позволяя тем самым локализовать различные свойства исходного изображения.

В пространстве действительных функций полная энергия сигнала может быть записана через амплитуды вейвлет-преобразования, где плотность энергии сигнала характеризует энергетические уровни. К энергетическим характеристикам вейвлет-преобразования относятся мера локальной переменяемости спектра $I_w(a,t)$, и мера контраста $C_w(a,t)$, которые определяются следующими соотношениями:

$$I_w(a,t) = \frac{E_w(a,t)}{\langle E_w(a,t) \rangle_t},$$

$$C_w(a,t) = \frac{E_w(a,t)}{E_w'(a,t)},$$

где a – масштаб; t – время; E_w – энергия вейвлет-спектра в (a,t) ; $\langle E_w(a,t) \rangle_t$ – средняя энергия по времени, а величина E_w' удовлетворяет равенству вида

$$E_w'(a,t) = \int_{a'=0}^{a'=a} E_w(a',t).$$

Мера локальной переменяемости есть мера локальных отклонений от среднего поля спектров на каждом масштабе, она позволяет

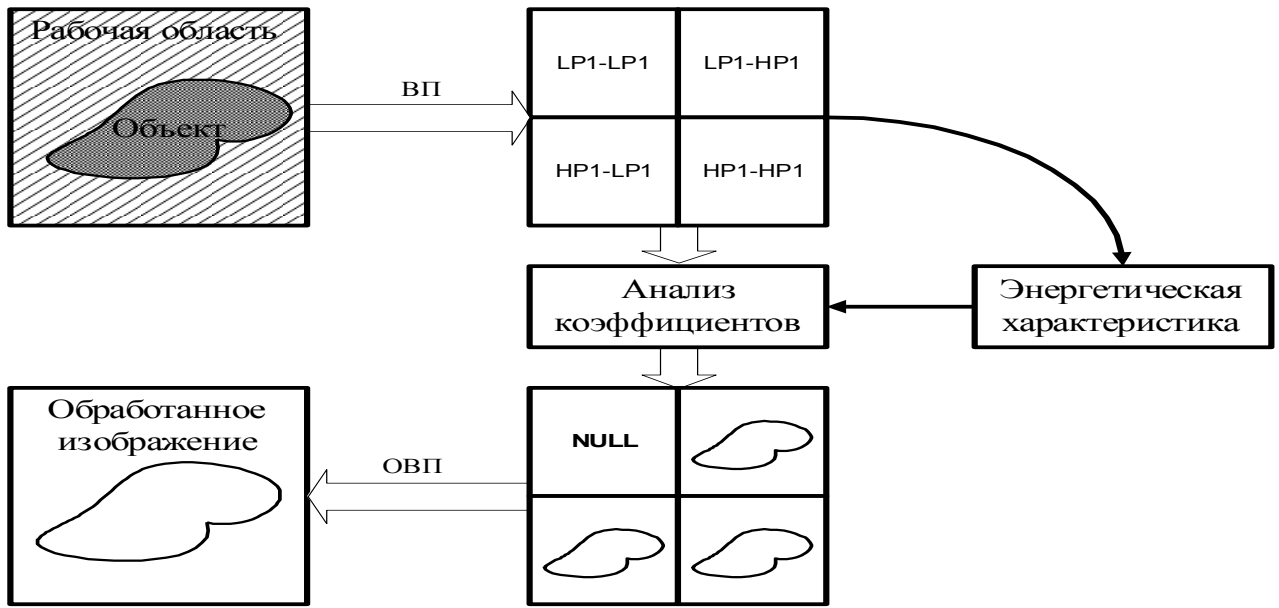
определить степень неравномерности распределения энергии по масштабам (угловыми скобками обозначено усреднение по t). Мера контраста позволяет определять даже малые изменения в сигнале, когда необходимо, например, выявить структурированность слабого сигнала или слабые вариации на фоне крупной структуры (встроенные структуры).

Сегментация изображений (выделение контурных линий)

Использование вейвлет-преобразования позволяет реализовать подходы и для решения задач сегментации. Применение меры локальной переменяемости позволяет выявить даже слабое отклонение энергии поля полезной составляющей по отношению к энергии фона. Для этого допустимый порог появления ложных выбросов устанавливается пропорциональным величине фоновой помехи в изображении, что позволяет выделять значимые коэффициенты, принадлежащие границе объект-фон (сегментация посредством разделения границ областей). Аналогично использование величины контраста позволяет выявить крупные структуры, принадлежащие объекту на изображении, так как их локальная составляющая отлична от составляющих фона (сегментация посредством разметки точек области). Схема работы алгоритма представлена на рисунке 5,а, полученные результаты – на рисунок 5,б,в.

Корреляционные статистические алгоритмы

Анализ поверхности осуществляется следующим образом. При помощи светового металлографического микроскопа снимаются эталонное изображение (ЭИ) исследуемого участка поверхности образца (до приращения деформации) и текущее изображение (ТИ) этого же участка (после приращения деформации). Изображения представляют собой совокупность пикселей, каждый из которых может иметь значение яркости от 0 до 255. ТИ и ЭИ разбиваются одинаково на равное число фрагментов (элементарных квадратных площадок). Каждый фрагмент ЭИ сравнивается с соответствующим фрагментом ТИ и определяется смещение фрагмента ТИ относительно фрагмента ЭИ (рис. 6). Выделим три основных алгоритма сравнения изображений: модифицированный корреляционный, разностный и разностный быстрый.



а

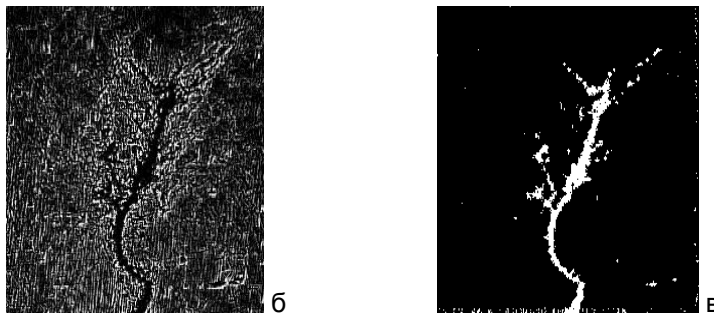


Рисунок 5 - Общий вид алгоритма сегментации с использованием прямого и обратного вейвлет-преобразований (а). Сегментация посредством выделения границ областей (б). Сегментация посредством разметки точек области (в)

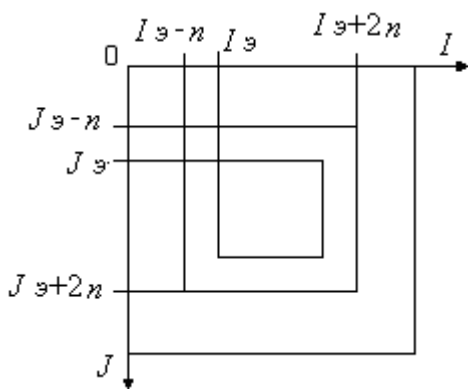


Рисунок 6 - К пояснению алгоритма сканирования фрагмента ЭИ по ТИ

При использовании модифицированного корреляционного алгоритма признаком нахождения фрагмента эталонного изобра-

жения в области поиска является максимум коэффициента корреляции.

Сканирование проводится построчно с интервалом в один пиксел.

В разностном алгоритме признаком нахождения фрагмента эталонного изображения в области поиска является минимум функции:

$$F = \left[\frac{\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n |Y_{1(Jэ+j)(Iэ+i)} - Y_{2(Jэ+j)(Iэ+i)}|}{n \times n} \right]^3$$

При использовании разностного быстрого алгоритма признаком нахождения фрагмента эталонного изображения в области поиска является минимум функции:

$$F = \frac{\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n |Y_{1(J+j)(I+i)} - Y_{2(J+j)(I+i)}|}{n \times n}.$$

Выбор определяется требованиями, предъявляемыми к системе.

В местах предразрушения материала в поле векторов можно обнаружить «вихри» (группы векторов разной длины и направленности). Анализируя серию таких изображений, снятых в процессе разрушения материала при проведении эксперимента, по длине и направлению векторов можно просмотреть динамику процессов разрушения и движение пластов поверхности (мезосубструктур). При этом важно точно определить масштаб измерений и промежуток времени записи изображений деформируемой поверхности с камеры в память ПЭВМ. При анализе файлов изображений можно уменьшить зависимость от этих факторов путем подбора размера элементарных площадок.

При помощи светового металлографического микроскопа снимаются эталонное изображение (ЭИ) исследуемого участка поверхности образца (до приращения деформации) и текущее изображение (ТИ) этого же участка (рисунок 7) (после приращения деформации). ТИ и ЭИ разбиваются одинаково на равное число фрагментов (элементарных квадратных площадок). Каждый фрагмент ЭИ сравнивается с соответствующим фрагментом ТИ и определяется смещение фрагмента ТИ относительно фрагмента ЭИ.

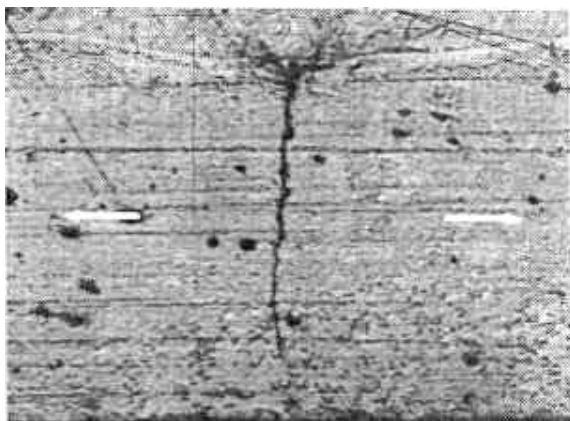


Рисунок 7 - Изображение поверхности деформируемого материала

На рисунке 8 показан результат работы программы при размерах площадки 16 (а) и 24(б) пикселей.

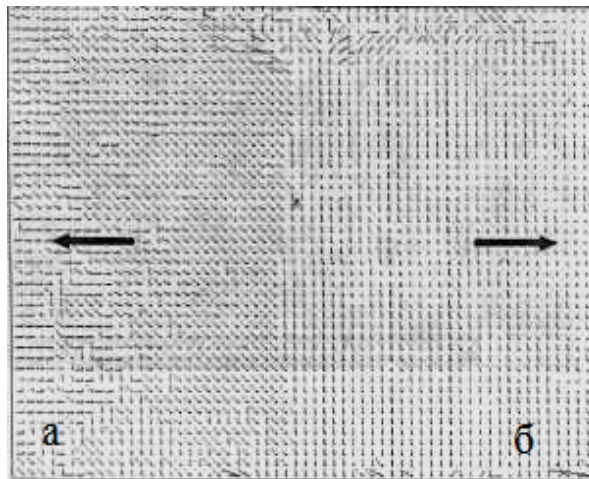


Рисунок 8 - Карты векторов смещения при различных размерах элементарной площадки

Места разрыва материала на картах смещения векторов можно обнаружить по характерным областям, называемым «вихрями». Эти области характеризуются разнонаправленностью векторов смещения и хаотичностью направления и величины векторов смещений. Как видно из рисунка, такие области расположены по центру изображения снизу вверх, и затем в стороны под углом 90°С. На исходном изображении (рис. 7) в этих местах видны деформации в виде темных областей.

Вывод

Сочетая рассмотренные алгоритмы, возможно полностью автоматизировать процесс обработки и анализа изображений в оптико-телевизионных и рентгеновских диагностических системах, последовательно или циклически проводя процедуры предобработки, выделения информационных признаков (сегментации) и классификации объектов, причем в различных прикладных задачах, таких, как медицинская диагностика, техническая диагностика или навигация могут изменяться как набор используемых алгоритмов, их параметры, так и последовательность их выполнения.

Работа выполнена по ФЦП РФ Г/К № 16.523.11.3009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырямкин, В.И. Системы технического зрения [Текст]: Справочник / В.И. Сырямкин, В.С. Титов/ – Томск, Изд-во МГП «РАСКО», 1992. – 367 с.: ил.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес., Р. Вудс / – М.: Изд-во Техносфера, 2005. – 1072 с.: ил.
3. Выскуб В.Г. Высокоточные системы автоматического управления [Текст] / В.Г. Выскуб, В.И. Сырямкин, В.С. Шидловский / – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. – 256 с.: ил.
4. Современные методы исследования материалов и нанотехнологий: научное издание [Текст] / М.А. Бубенчиков/ – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. – 366 с.: ил.

Д.т.н., проф. **В.И. Сырямкин** – vborodin@yandex.ru, аспирант **В.А. Бородин** – vborodin@yandex.ru, аспирант **А.В. Осипов** – avosipo@phys.tsu.ru.

УДК 334.02

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ ЗАЕМНЫХ СРЕДСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Т.Ю. Чернышева, О.В. Ожогова, Е.И. Лисачева

Рассмотрена задача выбора привлечения заемных средств предприятия. Предложено использовать комбинаторный метод для определения комбинации форм заемных средств (альтернатив) с максимальной эффективностью. Вектор приоритетов альтернатив определяется методом анализа иерархий.

Ключевые слова: заемные средства предприятия, комбинаторика, метод анализа иерархий, алгоритм.

Введение

На инновационных предприятиях в современных условиях хозяйствования объем используемых заемных финансовых средств чаще значительно превосходит объем собственного капитала. Таким образом, привлечение и использование заемных финансовых средств является важнейшим аспектом финансовой деятельности предприятия.

Можно выделить следующие основные формы заемных средств [1]:

- денежные средства;
- товарная форма (в виде поставок с отсрочкой платежа сырья, материалов, товаров);
- лизинг;
- иные формы (предоставление с отсрочкой платежа отдельных нематериальных активов и т. п.).

Актуальной является задача распределения ограниченных средств на обслуживание комбинации привлекаемых заемных средств предприятия. В частности, интерес представляют задачи комбинаторной оптимизации, самая простая из которых – определение комбинации альтернатив (проектов заим-

ствований), максимизирующей «общие выгоды» при ограничениях на издержки.

Общая постановка задачи определения комбинации альтернатив с максимальной эффективностью (или эффективностью на единицу требуемого ресурса) заключается в определении сочетаний альтернатив, удовлетворяющих целевым функциям (1-2) при выполнении одного из условий (3) [2].

$$\max \mathcal{E} = \max \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \quad (1)$$

$$\max \mathcal{E} / P_T = \max \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i / \sum_{i=1}^n P_{T_i} \right), \quad (2)$$

$$\min(P_u - P_T) = \min \left(\sum_{i=1}^n P_{u_i} - \sum_{i=1}^n P_{T_i} \right), \quad (3)$$

$$P_{u_i} - P_{T_i} \leq C; \text{ или } P_{u_i} \leq P_{T_i};$$

где \mathcal{E} – эффективность рассматриваемой комбинации альтернатив, полученной генерацией множества сочетаний с различным числом альтернатив;

\mathcal{E}_i – эффективность i -й альтернативы, входящей в рассматриваемую комбинацию из n альтернатив;