

Методология позиционирования высот рельефа изображений в изотопах

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба
Каменец-Подольский национальный университет*

1. Введение

Развитие инфраструктуры различных производств выдвигает на первый план вопросы, связанные с организацией обеспечения обработки и передачи данных, по существующим телекоммуникационным системам на большие расстояния с заданным уровнем достоверности за требуемые временные сроки. Наиболее прогрессирующей формой предоставления информации являются видеоданные, на представление которых затрачивается большое количество двоичных разрядов. Отсюда для достоверной и своевременной обработки и передачи видеоданных требуется использование высокопроизводительных информационно-телекоммуникационных технологий (ИТТ). Однако существующие ИТТ имеют ограниченные возможности. Следовательно, существует **научно-прикладная задача**, состоящая в сокращении суммарного времени на обработку и передачу видеоданных в телекоммуникационных системах. Одно из направлений решения данной задачи заключается в использовании методов компактного представления оцифрованных изображений. Анализ существующих подходов относительно сжатия и восстановления оцифрованных изображений [1 - 4] выявил, что они не обеспечивают выдвигаемых к ним требований. Одна из причин состоит в том, что сокращение избыточности изображений проводится за счет выявления локальных закономерностей изображений [1 - 4]. При этом для различных классов изображений свойственно наличие распределенных областей серий одинаковых элементов. Однако подходы и методы, обеспечивающие сжатия видеоданных, за счет сокращения данных видов избыточности не получили необходимой проработки в теории информации и кодирования. Таким образом **актуальной тематикой исследований** является обоснование подхода относительно выявления интегрированных структурных характеристик изображений различных классов для обеспечения возможностей повышения степени сжатия видеоданных с заданным уровнем достоверности.

2. Основной материал исследований

Наиболее широко распространенной цветовой моделью представления оцифрованных изображений является трехцветная модель. Данная модель позволяет рассматривать как полноцветные изображения, так и одноцветные (256 градаций серого). Каждая плоскость $A^{(r)}$ трехцветной модели (r - индекс плоскости цветопредставления изображения, $r=3$) представляет собой двумерный массив элементов a_{ij} изображения. Плоскость изображения можно рассматривать как рельеф некоторой поверхности.

Значение элемента изображения соответствует высоте поверхности от начального уровня. Начальным уровнем считается элемент изображения равный цветовой координате черного цвета ($a_{ij}=0$). Координаты ($i; j$) элемента изображения на плоскости (i – номер строки, j – номер столбца) соответствуют координатам высоты поверхности спроецированной на горизонтальную плоскость.

Определение 2.1. Под рельефом изображения понимается конечная совокупность вершин, высоты которых определяются значениями элементов плоскости изображения, расположенных на соответствующих координатах.

Чем больше количество вершин, тем более точно реальные объекты описываются рельефом изображения (увеличивается разрешающая способность кадра изображения).

В зависимости от типа характеристики a_{ij} плоскости изображения будет соответствовать определенная физическая интерпретация рельефа. Рельефный подход к представлению изображения можно рассматривать как обобщение большого числа различных моделей изображений.

В общем случае рельеф изображения имеет сложную нестационарную форму, представляющую собой неравномерно-распределенную совокупность впадин и возвышенностей, имеющих неправильную структуру, а также импульсных выбросов или резкое снижение высоты в отдельной дискретной позиции.

Впадина рельефа изображения наблюдается тогда когда наблюдается тенденция монотонного уменьшения значения высоты рельефа хотя бы по одному направлению. В этом случае относительно высоты a_{ij} выполняется *одно из условий*:

$$\begin{aligned} a_{ij} \leq a_{i-1, j-1}; a_{ij} \leq a_{i-1, j}; a_{ij} \leq a_{i-1, j+1}; a_{ij} \leq a_{i, j-1}; a_{ij} \leq a_{i, j+1}; a_{ij} \leq a_{i+1, j-1}; \\ a_{ij} \leq a_{i+1, j}; a_{ij} \leq a_{i+1, j+1}. \end{aligned} \quad (1)$$

В частном случае для одного из направлений существует монотонно убывающая последовательность $a_{ij} \geq a_{\xi\zeta}$, $\xi \geq i$ и $\zeta \geq j$. Параметрами впадины, описывающими ее структуру, являются: глубина, площадь, объем.

Глубина впадины Δd_{\min} находится как разность между самой нижней высотой впадины a_{\min} и максимальной из высот a_{\max} , для которых выполняется условие (1):

$$\Delta d_{\min} = a_{\max} - a_{\min}. \quad (2)$$

Площадь $S_{\min}^{(\hbar)}$ впадины оценивается как количество $v_{\min}^{(\hbar)}$ высот, имеющих значения в заданном диапазоне глубины $\Delta d_{\min} = \hbar$, $\hbar \leq \Delta d_{\min}$.

Объем $V_{\min}^{(\hbar)}$ впадины равен суммарному количеству высот по всем направлениям, для которых выполняется одно из условий (1). В этом случае $\hbar = \Delta d_{\min}$.

Возвышенность рельефа задается одним или одновременно несколькими условиями:

$$\begin{aligned} a_{ij} \geq a_{i-1, j-1}; a_{ij} \geq a_{i-1, j}; a_{ij} \geq a_{i-1, j+1}; a_{ij} \geq a_{i, j-1}; a_{ij} \geq a_{i, j+1}; a_{ij} \geq a_{i+1, j-1}; \\ a_{ij} \geq a_{i+1, j}; a_{ij} \geq a_{i+1, j+1}. \end{aligned} \quad (3)$$

По аналогии с понятием впадины рельефа для структурного описания возвышенности используются параметры: глубина Δd_{\max} , площадь $S_{\max}^{(\hat{h})}$ и объем $V_{\max}^{(\hat{h})}$ возвышенности.

Импульсное изменение значения высоты свойственно как для реалистических, так и для искусственных изображений. Для реалистических изображений такие изменения в основном вызваны не точностью аппаратуры формирования и оцифровки изображения. Для искусственных изображений (в том числе карты) определяются наличием резких перепадов между смежными цветовыми уровнями. В этом случае для задания импульсного всплеска и импульсного понижения должны выполняться соответственно одновременно все условия (1) и одновременно все условия (3). Понятно, что параметром импульсного изменения является величина его отклонения от текущего уровня высот рельефа поверхности изображения.

Рассмотренные характеристики рельефа (впадины, возвышенности и импульсные отклонения) являются локальными и зависят от направления обхода элементов изображения для его анализа. Данные характеристики не позволяют оценить интегрированность содержания изображения. Для реалистических изображений свойственна нестационарность как структурных так и статистических свойств. Нестационарность проявляется в неоднородном и интенсивном перемешивании впадин, возвышенностей и импульсных отклонений. Отсюда следует повышение информативности отдельно анализируемых фрагментов изображения. Тогда выявление закономерности в кадре изображения на основе заранее выбранного признака может привести к увеличению информативности описания локального фрагмента. Последствием чего будет снижение степени сжатия видеоданных вплоть до увеличения первоначального объема изображения. Для выхода из данной ситуации могут использоваться следующие направления:

1) увеличение количества признаков и повышение разнообразия их природы. Например, проводить анализ локального фрагмента на основе одновременного выявления закономерностей относительно закона распределения вероятностей появления элементов изображения и относительно структурных форм. В этом случае появляется возможность снизить степень информативности фрагментов изображения. Однако такое направление имеет такие недостатки: сложность построения методов, реализующих кодирующие и декодирующие процессы; резко увеличивается количество операций на обработку;

2) организовывать выявление интегрированных признаков для фрагментов и для всего кадра изображения.

Реализацию второго направления для рельефной модели изображения предлагается проводить на основе формирования изотопных уровней. Под изотопным уровнем понимается горизонтальная плоскость, проходящая через высоты рельефа, расположенные на одном уровне.

Определение 2.2. Изотопное описание рельефа изображения заключается в рассечении поверхности изображений горизонтальными плоскостями (горизонталями) и формировании кодового описания совокупностей горизонталей и их высот h_u :

$$A^{(r)} \rightarrow \{H^{(u)}\}, u = \overline{1, U}, \quad (4)$$

где $H^{(u)}$ - совокупность высот рельефа изображения, имеющих значения h_u ; U - количество изотопных уровней рельефа; u – индекс, задающий номер изотопного уровня поверхности изображения.

В случае изотопного описания рельефа изображения основными характеристиками являются количество U изотопных уровней и количество Ω_u высот, принадлежащих каждому уровню.

Один изотопный уровень может включать несколько горизонтальных плоскостей, т.е.:

$$H^{(z)} = \bigcup_{u=\phi_z}^{\Phi_z} H^{(u)}, \quad (5)$$

где $H^{(z)}$ - z -й изотопный уровень, содержащий Φ_z горизонтальных плоскостей.

Согласно выражению (5) изотопный срез (уровень) включает высоты рельефа, принимающие значения на следующем отрезке $[h_\phi; h_\Phi]$.

Изотопный уровень, содержащий несколько горизонтальных плоскостей рельефа, формирует усеченную изотопную пирамиду. Нижним и верхним основаниями усеченной пирамиды являются соответственно ϕ -я и Φ -я горизонтальные плоскости.

Для варианта описания рельефа изображения на основе усеченных изотопных пирамид информационными характеристиками будут являться количество усеченных пирамид Z , количество Φ_z изотопных плоскостей, принадлежащих каждой пирамиде и количество Ω_z высот, содержащихся в пирамиде. Поскольку усеченные пирамиды не имеют общих высот (иначе возникали бы случаи потери информации), то выполняется равенство

$$\sum_{z=1}^Z \Omega_z = \sum_{u=1}^U \Omega_u, \quad Z \leq U. \quad (6)$$

Достоинством формирования усеченных изотопных пирамид является компактность описания рельефа. Сокращается количество информации, необходимой для описания уровней рельефа. С другой стороны проявляется недостаток, состоящий во внесении погрешностей обработки и соответственно снижению качества восстанавливаемых изображений.

Горизонтальные сечения для построения усеченных призм проводятся в соответствии с максимальными и минимальными диапазонными уровнями в разных частях изображения с шагом Δh . Величина шага Δh равна количеству высот рельефа, содержащихся в усеченной изотопной пирамиде. Если формирование усеченных изотопных пирамид осуществляется равномерно, величина Δh будет постоянной для любого среза

$$\Delta h = \Phi. \quad (7)$$

В обратном случае, когда высоты усеченных пирамид являются неравномерными, то они содержат различное количество Φ_z горизонтальных плоскостей. Тогда величина шага будет неравномерной и зависящей от индекса пирамиды

$$\Delta h_z = \Phi_z, \quad (8)$$

где Δh_z - шаг квантования для z -й усеченной пирамиды.

Расположение впадин и подъемов (низин и пиков) на рельефе изображения имеет нестационарный характер, а также различные значения объемов в различных частях кадра.

Поэтому неравномерность величины шага Δh позволяет сформировать изотопные срезы, содержащие равномерное количество высот рельефа или равномерное количество элементов изображений. Тогда для обеспечения заданного значения пикового отношения сигнал/шум потребуется меньшее количество различных изотопных уровней. Отсюда величина Δh_z гибко настраивается для более точного описания неровностей рельефа, т.е. $\Delta h = \text{var}$.

Процесс рассечения поверхности изображения горизонталями через неравномерные интервалы Δh_z можно интерпретировать как дополнительное неравномерное квантование цветовой (яркостной) компоненты a_{ij} . Для непрерывного случая фрагмент изображения можно рассматривать как фигуру $a=f(z, x, y)$ в трехмерном пространстве, где первая координата z определяет уровень элемента изображения, а остальные две координаты (x, y) его расположение в фрагменте. Тогда процесс оцифровки непрерывного изображения и рассечение его изотопными плоскостями ассоциируется с трехмерным векторным неравномерным квантованием. Для этого случая h_u - является уровнем квантования по высоте рельефа, а Δh - шагом квантования. По аналогии со стандартным понятием квантования для выбора величин h_u и Δh необходимо знать диапазон изменения значений элементов изображений в фрагментах $A^{(v)}$, а также требуется учитывать степень неровностей фрагмента изображения.

Таким образом, построено изотопное описание рельефа изображения. Изотопное представление организовывается на основе формирования горизонтальных плоскостей, проходящих через высоты рельефа. В отличие от описания рельефа изображения локальными характеристиками его поверхности (структурные параметры впадины, возвышенности и импульсных отклонений) изотопное описание является интегрированной характеристикой, позволяющей оценить особенности рельефа одновременно в разных частях изображения. К основным информативным характеристикам изотопного описания относятся количество изотопных срезов, их высота и количество высот рельефа, находящихся между его нижним и верхним уровнями. Изотопные характеристики имеют большую информативность в условиях нестационарности локальных свойств поверхности рельефа. Следовательно, изотопное описание изображений обладает потенциальной возможностью для увеличения количества сокращаемой избыточности.

Возможны два подхода организации изотопных уровней:

1) количество изотопных уровней равно мощности алфавита элементов фрагмента изображения (всего кадра). Высота наиболее высокого изотопного уровня соответствует величине динамического диапазона фрагмента изображения. Данный подход соответствует полному включению всех высот рельефа, т.е. полное содержание всех элементов изображения;

2) строятся усеченные изотопные пирамиды, объединяющие в себе несколько горизонтальных плоскостей. Сокращается количество изотопных срезов относительно предыдущего подхода. Допускается описание не всех высот рельефа. Это приводит к повышению компактности описания рельефа изображения. Но в тот же час допускаются потери качества восстановленных изображений. Для

учета не стационарности распределения высот рельефа по горизонтальным плоскостям высота усеченных пирамид выбирается неравномерной. Обеспечивается равномерное распределение высот по изотопным срезам.

Для кодового представления рельефной модели изображения необходимо разработать метод кодирования изотопных структур. Причем для исключения потери информации должно существовать взаимнооднозначное соответствие между изотопными кодами N_u и множеством Ω_u .

2. Выводы

1. Построена рельефная модель описания изображений, которая позволяет обобщить различные форматы оцифрованного представления изображений. Данное описание учитывает сложную нестационарную форму, представляющую собой неравномерно-распределенную совокупность впадин и возвышенностей, имеющих неправильную структуру, а также импульсных выбросов или резкое снижение высоты в отдельной дискретной позиции в результате формирования совокупности вершин, высоты которых определяются значениями элементов плоскости изображения, расположенных на соответствующих координатах.

Такая форма описания относительно реалистических изображений имеет высокую информативность, что обусловлено с одной стороны локальностью характеристик поверхности рельефа, а с другой стороны нестационарностью свойств изображений. Это приводит к увеличению цифрового объема оцифрованных изображений.

2. Разработано мультиизотопное представление рельефного описания изображений на основе выделения уровней, представляющих собой горизонтальные плоскости, проходящие через высоты рельефа, расположенные на одном уровне. Это позволяет выявить интегрированные признаки для отдельных фрагментов и для всего кадра изображения. Интегрированные характеристики позволяют оценить особенности рельефа одновременно в разных частях изображения. К основным информативным характеристикам изотопного описания относятся количество изотопных срезов, их высота и количество высот рельефа, находящихся между его нижним и верхним уровнями. Изотопное описание изображений обладает потенциальной возможностью для увеличения количества сокращаемой избыточности.

Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. / Дж. Уолрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Ватолин В.И. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. / В.И. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Королев А.В. Версификационная избыточность изображений / А.В. Королев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 2. – С. 26 – 30.
4. Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием / В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. - №1. – С. 17 – 25.