

УДК 621.3:681.34

А. Н. ЗЕМЛЯЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

СЖАТИЕ СПЕКТРОГРАММ С ПОТЕРЯМИ

Разработаны методы оценки характеристик помех в спектральных данных. Проведено сравнительное исследование методов сжатия без потерь применительно к спектрограммам. Разработан метод сжатия спектрограмм с потерями, автоматически обеспечивающий уровень вносимых искажений, не превышающий требуемое значение. Применён метод сжатия массивов спектрограмм. Разработан метод сжатия спектрограмм с потерями в блоках дискретного косинусного преобразования адаптивного размера. Реализован метод сжатия разностей, который позволил значительно повысить коэффициент сжатия при сравнимых вносимых искажениях. Разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять сжатие спектрограмм в автоматическом режиме.

Ключевые слова: сжатие спектрограмм с потерями.

Введение

Спектроскопия является одним из самых информативных методов исследования вещества [1]. В основе спектрального анализа лежит способность материалов поглощать и отражать свет, т.е. предположение об однозначном соответствии отраженного сигнала (интенсивности) и состава отражающей поверхности для определенной длины волны. В последнее время широкое распространение получил гиперспектральный анализ [2, 3], проводимый для числа спектральных каналов (числа длин волн) от нескольких сотен до тысяч.

Одним из перспективных направлений дистанционного зондирования (ДЗ) Земли является гиперспектральный анализ. Съёмка производится с борта летательного аппарата, а в качестве источника освещения выступает Солнце. Основной особенностью гиперспектрального анализа является возможность привлечения для идентификации изображения его спектральных характеристик в широком диапазоне длин волн.

Использование высокого спектрального разрешения позволяет довольно точно определять тип и состав сканируемой поверхности: минералов, горных пород, растительности, почвы. Для решения данной задачи используются образцы спектрограмм различных материалов, которые, как правило, получены в лабораторных условиях. Такие образцы должны либо храниться в специальных библиотеках, либо передаваться по линиям связи (по запросу) в соответствующие пункты обработки принятых данных ДЗ.

Поскольку для каждого типа материала имеет место вариативность спектрограмм, разнообразие материалов, а число каналов может превышать сотни, то объем таких данных весьма велик. В связи с

этим возникает необходимость хранения и передачи баз (наборов) спектрограмм в сжатом виде. При этом возможно использовать как сжатие без потерь [4], так и методы сжатия с потерями при условии, что уровень вносимых искажений удовлетворяет определенным условиям (ограничениям).

Как показали исследования [5], при сжатии спектрограмм без потерь достигаемый коэффициент сжатия (КС) не превышает 1,4 при сжатии первичных данных и имеет несколько большие значения при сжатии набора спектрограмм, что для большинства приложений является недостаточным. Поэтому актуальной является задача разработки методов сжатия с потерями вследствие их способности обеспечить более высокие значения КС при условии обеспечения приемлемого качества (вносимой ошибки) восстановленных данных.

В связи с этим **целью данной статьи** является:

- анализ уровня присутствующих помех в спектрограммах;
- анализ эффективности сжатия спектрограмм как одномерных процессов;
- анализ эффективности применения методов сжатия спектрограмм как многомерных массивов данных;
- разработка автоматических методов сжатия с как можно большим КС при условии, что уровень вносимых при сжатии искажений не превышает требуемый.

1. Анализ структуры данных

Исследуемые данные представляют собой реальные спектрограммы для нескольких материалов (четыре типа растений, гексоген и почву). Все данные представлены в едином формате как реальные числа с плавающей запятой. Разрешающая способ-

ность по длине волны составляет 1 нм, диапазон длин волн – от 350 до 2500 нм. Для каждого типа материала существует несколько спектрограмм (от 5 до 57). Каждый файл имеет заголовок, содержащий информацию о длине волны.

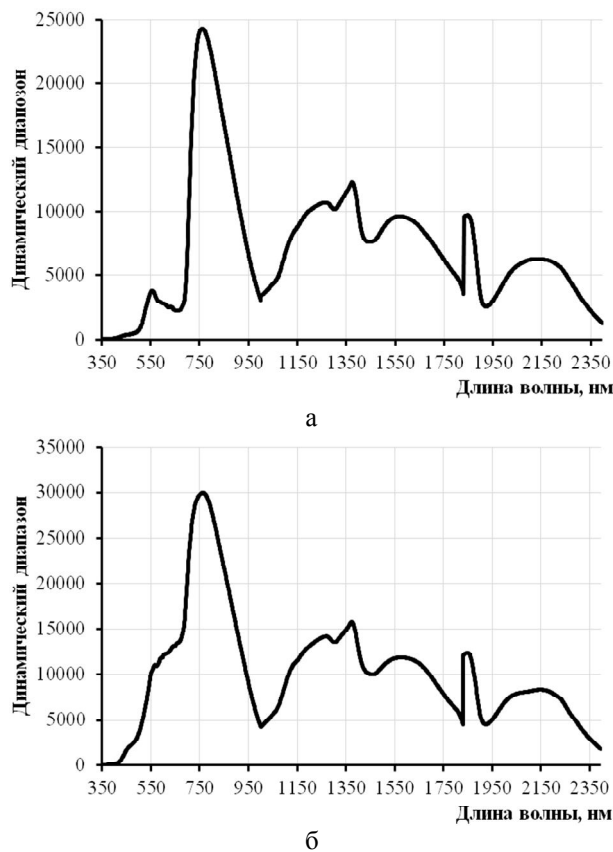


Рис. 1. Примеры спектрограмм для материалов дуб (а) и мох (б)

Визуальный анализ спектрограмм позволил выявить три основные закономерности поведения одномерных информационных процессов, являющихся важными при разработке и анализе эффективности методов сжатия:

- в целом, процессы имеют низкочастотный характер, т.е. для большинства участков имеет место медленное изменение значений (см. примеры на рис. 1);

- спектрограммы могут иметь один или два разрыва производных (резкие изменения значений), которые наблюдаются для различных длин волн в зависимости от материала. Разрыв для длины волны 1830 нм имеет место практически для всех материалов;

- для каждого из рассматриваемых материалов спектрограммы в наборе практически не отличаются между собой (например, набор Т1 для спектрограммы материала дуб), но для различных наборов разницы может быть существенной.

2. Инструментарий

Для проведения исследования был разработан программный комплекс, в котором реализованы:

- оценивание среднеквадратического отклонения (СКО) помех в области дискретного косинусного преобразования (ДКП) с возможностью варьирования размера блока ДКП от 2^3 до 2^{10} ;

- осуществление сжатия без потерь современными архиваторами (ZIP; NanoZIP версия 0.09 alpha; 7-ZIP версия 9.34 alpha; WinRAR версии 3.51, 4.20 и 5.11; RK версия 1.04.1 alpha; WinRK версия 3.1.2; FreeARK версия 0.67 alpha; PAQ версия 8kx_v7; ZPAQ версия 6.55);

- осуществление сжатия с вносимыми искажениями на основе ДКП (с обеспечением варьирования размера блока ДКП от 2^2 до 2^{11});

- осуществление сжатия с вносимыми искажениями с адаптивным выбором размера блока ДКП (обеспечивается возможность задания минимального и максимального значения размера блока);

- вычисление разностей с последующим их сжатием;

- отображение динамического диапазона как исходных данных, так и данных после обработки;

- возможность построения графиков КС, СКО и среднеквадратической ошибки (СКОш), а также времени, затрачиваемого на сжатие;

- вывод значений шага квантования (ШК), КС, СКО и СКОш в табличном виде для каждой спектрограммы набора с возможностью сохранения в файл формата xls;

- расчет минимальных и максимальных значений КС и СКОш, получаемых для набора обрабатываемых спектрограмм.

Снимок экрана с разработанным программным обеспечением приведен на рис. 2.

3. Анализ уровня искажений

Учёт уровня искажений необходим для реализации методов сжатия с потерями [6, 7]. Сжатие необходимо выполнять таким образом, чтобы вносимые искажения по критерию СКОш были того же порядка что и дисперсия искажений. Поэтому необходимо сначала провести оценку уровня искажений в спектрограммах.

Искажения могут быть как сигнально зависимыми, так и сигнально независимыми. Поэтому автоматическими методами [8, 9] оценивалось СКО в блоках размером 16, 32 и 64 отсчета. Оценивание осуществлялось в области ДКП с использованием устойчивых оценок масштаба.

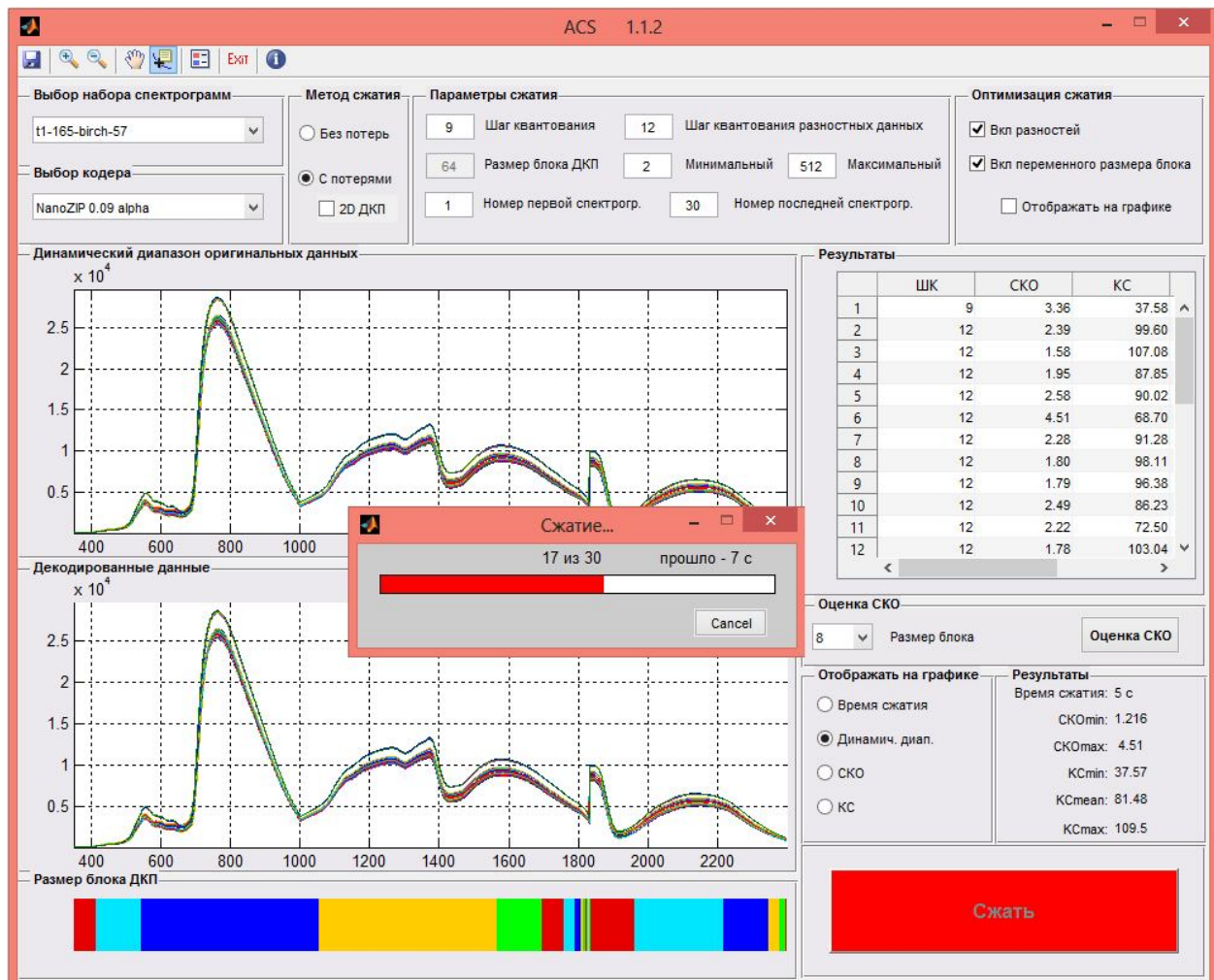


Рис. 2. Снимок экрана с разработанным программным обеспечением

Визуальный анализ спектрограмм свидетельствует о том, что отношение сигнал-шум достаточно большое (рис. 1). Поэтому СКО помех возможно оценить приблизительно и локально (в блоках относительно малого размера) при условии квазистационарности помех. Оценки, полученные для блоков, содержащих резкие изменения сигнальной составляющей, оказываются неточными вследствие влияния сигнальной составляющей на точность оценивания автоматическими методами [10].

Для блоков размерами 16, 32 и 64 отсчета были получены оценки СКО в спектральной области (см. рис. 3) согласно выражению:

$$\hat{\sigma}_i = 1,483 \text{med}\{D_{im} | m = 1, \dots, N_{bl} - 1\}, \quad (1)$$

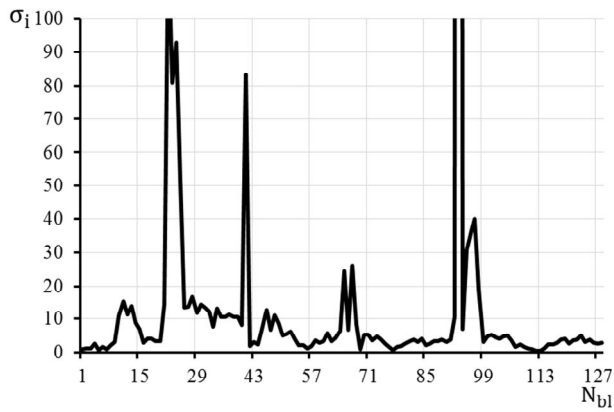
где D_{im} - m -й коэффициент ДКП для i -го блока, который включает N_{bl} отсчетов, которые начинаются с отсчета с индексом $(i-1)N_{bl} + 1$. Общее количество блоков равно N_s / N_{bl} , где N_s - число отсчетов в спектрограмме.

Анализ данных на рис. 3 а, полученных для материала дуб, показывает, что большинство оценок не превышают значение 15 и только для нескольких блоков в области скачков сигнальной составляющей оценки оказались аномальными.

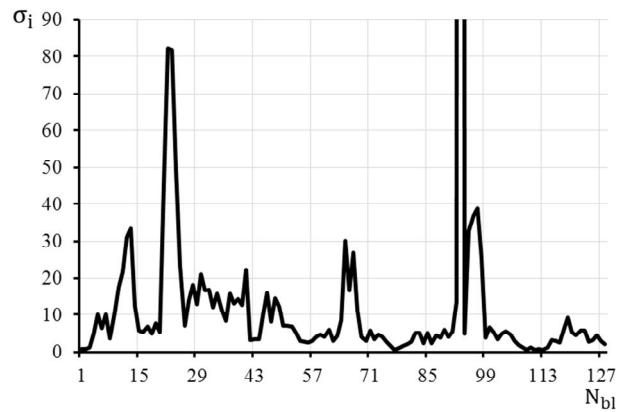
Оценки для двух других размеров блока ($N_{bl} = 32$ и $N_{bl} = 64$) (рис. 3 б, в) изменяются в меньшей степени, чем для блока $N_{bl} = 16$ (рис. 3 а), но все равно присутствуют аномальные оценки.

Для данных, полученных для материала мох (см. рис. 4), сохраняются такие же закономерности, как и для оценок, представленных на рис. 3.

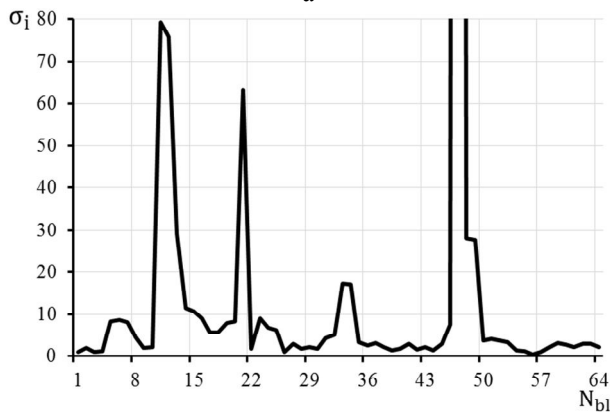
С целью исключения влияния аномальных оценок СКО в некоторых блоках к полученным оценкам для каждой спектрограммы применена медиана, и её значение принято за значение СКО для этой спектрограммы. Минимальные и максимальные значения оценок СКО, полученные для наборов спектрограмм разнообразных материалов, приведены в таблице 1. Данные значения лежат в пределах от 2,8 до 4,63.



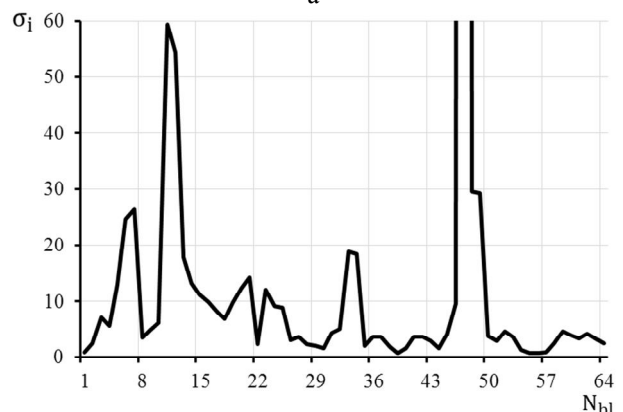
а



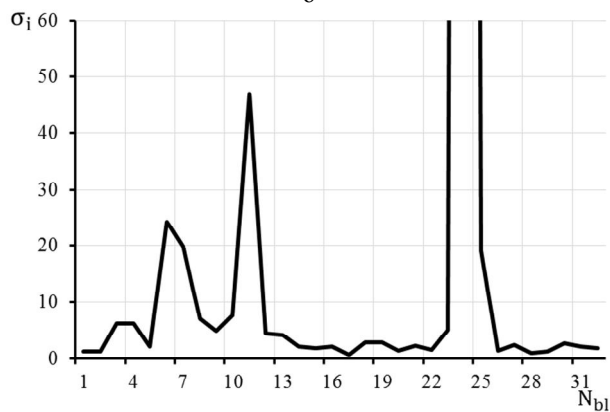
а



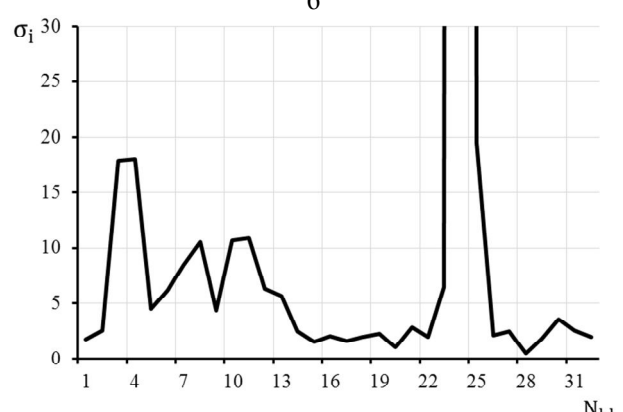
б



б



в



в

Рис. 3. Оценки $\hat{\sigma}_i$ при $N_{bl} = 16$ (а), $N_{bl} = 32$ (б) и $N_{bl} = 64$ (в) для материала дуб

Рис. 4. Оценки $\hat{\sigma}_i$ при $N_{bl} = 16$ (а), $N_{bl} = 32$ (б) и $N_{bl} = 64$ (в) для материала мох

Таблица 1

Значения оценок СКО для наборов спектрограмм при $N_{bl} = 32$

Набор спектрограмм	СКО _{мин}	СКО _{макс}
Soil T1 (грунт)	3,69	3,92
Birch T1 (береза)	2,81	3,60
Soil T7 (грунт)	2,94	3,25
Birch T7 (береза)	3,15	3,97
Oak T1 (дуб)	3,09	4,32
Hexogen T6 (гексоген)	4,45	4,53
Sorrel T7 (щавель)	3,76	4,63
Moss T7 (мох)	3,36	4,61

4. Сжатие с потерями

Возможно три подхода к сжатию наборов спектральных данных: без потерь, с минимальными (несущественными) потерями, с потерями. Сжатие спектрограмм без потерь рассмотрено в [5].

Сжатие спектрограммам с потерями выполнено с использованием ДКП в скользящем окне с последующим удалением избыточности (сжатием кодемами без потерь).

Для сжатия с достижением максимального КС при малом уровне вносимых искажений необходимо знать оптимальный размер блока ДКП и ШК.

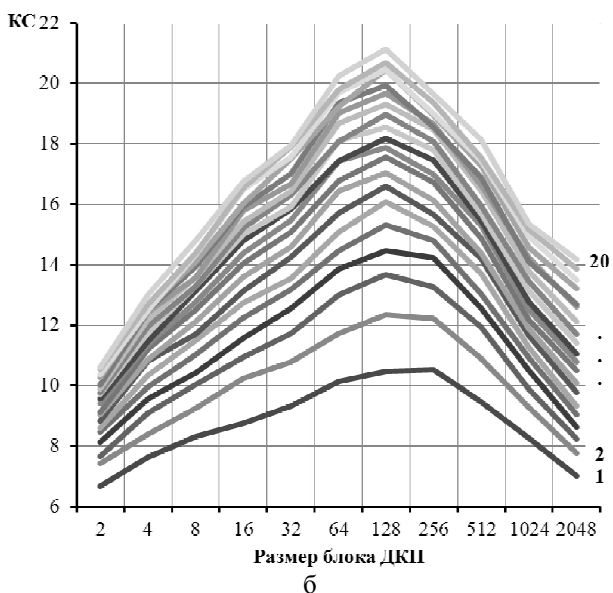
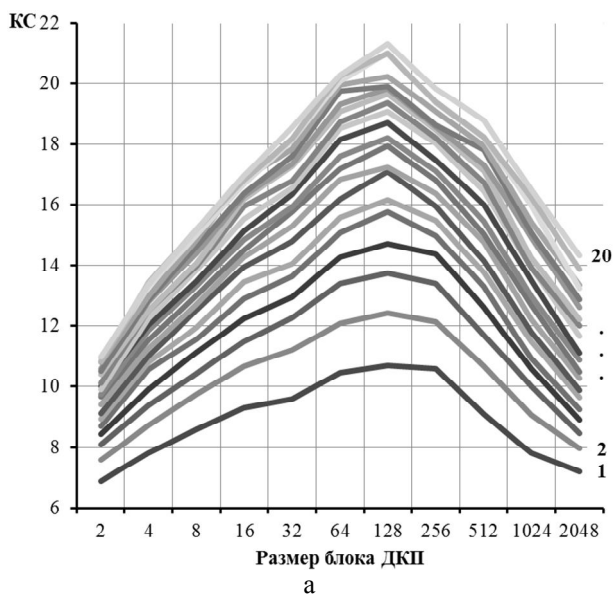


Рис. 5. Зависимость КС от размера блока для разных ШК на примере спектрограмм материалов дуб (а) и мох (б), сжатых кодером ZIP

С целью определения оптимального размера блока ДКП и ШК к спектрограммам вначале применено ДКП с размерами блоков от 2^1 до 2^{11} , затем полученные коэффициенты ДКП проквантованы с ШК от 1 до 20 (с шагом 1) (правый столбец на рис. 5 и 6) и сжаты кодером ZIP (см. данные на рис. 5). На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наибольшие значения КС при фиксированном ШК получены для размера блока 128 отсчетов для всех спектрограмм и всего диапазона изменений ШК. Зависимости, полученные при сжатии набора спектрограмм материала дуб (рис. 5 а), аналогичны полученным зависимостям для материала мох (рис. 5 б), что свидетельствует о возможности применения общих рекомендаций для разных материалов.

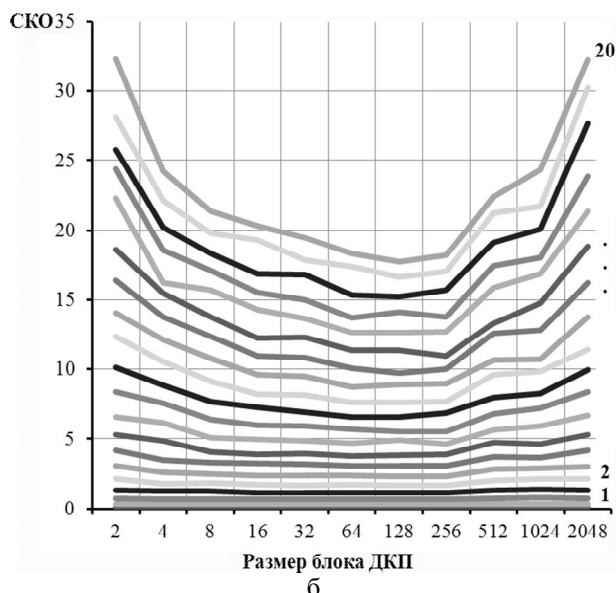
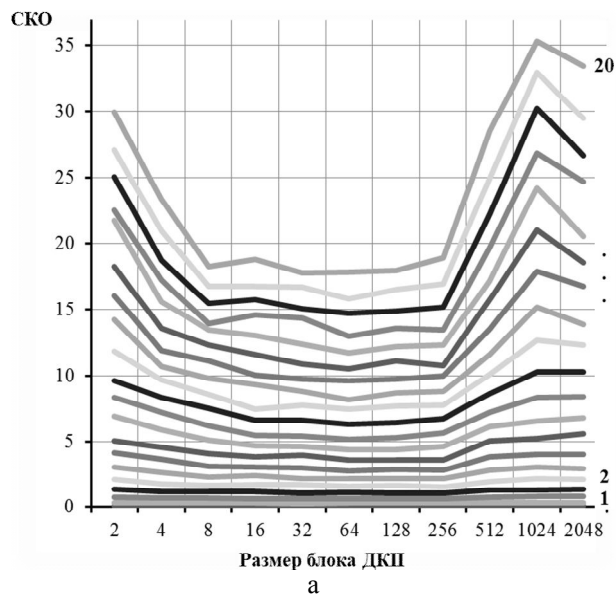


Рис. 6. Зависимость СКОш от размера блока ДКП для разных ШК на примере спектрограмм материалов дуб (а) и мох (б)

Для определения оптимального ШК, при котором осуществляется сжатие с минимальными внесимыми искажениями, оценена зависимость СКОш от ШК и размера блока ДКП (рис. 6). Полученные оценки СКОш позволяют рекомендовать выбор коэффициентов ШК при сжатии спектрограмм с потерями на основе ДКП.

Анализ данных на рис. 6 показывает, что СКОш менее 5 достигается при ШК ≤ 9 . При значении ШК ≤ 9 наилучшие размеры блока ДКП - 32, 64 и 128 отсчета. Исходя из полученных данных, при сжатии спектрограмм с минимальными искажениями необходимо выбирать ШК ≤ 9 и размер блока ДКП, равный $N_{\text{bl}} = 128$ отсчетов. КС для всех наборов спектрограмм, сжатых кодером ZIP, принимает значения от $КС_{\text{мин}} = 18$ до $КС_{\text{макс}} = 22$.

Для поиска, удовлетворяющего условиям кодера (наибольший КС при минимальном времени сжатия), рассмотрен большой набор как получивших широкое распространение, так и современных, преобладающих в стадии разработки кодеров.

Результаты одномерного сжатия набора спектрограмм материала мох (39 спектрограмм в наборе) приведены в табл. 2. Время сжатия взято как минимальное значение при трехкратном проходе. Сжатие осуществлялось на компьютере с конфигурацией: Core2Duo 8500 3,20 ГГц; ОЗУ 4 Гб.

Как видно из анализа данных в табл. 2, наибольшие КС получены для кодера PAQ (КС_{мин} ≈ 42, КС_{макс} ≈ 45), но при этом на сжатие затрачено очень большое время – 204 с. На втором месте по достигаемому КС находится кодер NanoZIP (КС_{мин} ≈ 30, КС_{макс} ≈ 32). При этом время, затрачиваемое на сжатие, не превышает 8 с. В дальнейшем будем использовать кодер NanoZIP, т.к. он позволяет обеспечить высокий КС при приемлемом времени сжатия.

Таблица 2

Значения КС и времени сжатия для набора спектрограмм материала мох при ШК=9 и N_{bl} = 128

Кодер	КС _{мин}	КС _{макс}	Время, с
ZIP	19,63	20,48	3
NanoZIP 0.09 alpha	29,62	31,87	8
7-ZIP 9.34 alpha	26,53	28,27	5
WinRAR 3.51	21,58	28,76	4
WinRAR 4.20	17,70	23,40	5
WinRAR 5.11	18,04	23,65	5
RK 1.04.1 alpha	27,86	30	24
WinRK 3.1.2	18,31	19,15	12
FreeARK 0.67 alpha	24,67	26,31	7
PAQ 8kx_v7	42,33	44,82	204
ZPAQ 6.55	18,37	19,26	7

5. Сжатие спектрограмм в блоках адаптивного размера

Анализ структуры данных, проведенный в разделе 1, показал, что для большинства участков имеет место медленное изменение значений и вместе с тем, существуют участки с резким изменением значений. Следовательно, для достижения большего КС при минимальном уровне вносимых искажений осуществлять сжатие участков с медленным изменением значений необходимо в блоках ДКП большего размера, а сжимать участки с резкими изменениями значений в блоках меньшего размера.

Расчет локально-оптимальных размеров блоков ДКП нами предложено выполнять на основе расчета целевой функции E [12].

Последовательность расчета оптимального размера блока ДКП заключается в следующем:

1. В блоке размером N₁^{raz-bl} = 1024 отсчета вычисляется ДКП и рассчитывается функция:

$$E_1 = \sum_{i=1}^{N_1^{raz-bl}} \ln(1 + |X_i| / \text{ШК}), \quad (2)$$

где N^{raz-bl} – размер блока ДКП;

X_i – i-й коэффициент ДКП.

2. Размер блока уменьшается в два раза (N₂^{raz-bl} = N₁^{raz-bl} / 2), и в полученных блоках вычисляется ДКП с последующим расчётом функции E₂:

$$E_2 = \sum_{i=1}^{N_2^{raz-bl}} \ln(1 + |X_i| / \text{ШК}) + \sum_{i=N_2^{raz-bl}}^{2 \times N_2^{raz-bl}} \ln(1 + |X_i| / \text{ШК}). \quad (3)$$

3. Если выполняется неравенство E₁ < E₂, то сжатие осуществляется в блоке размером N₁^{raz-bl}.

4. Если выполняется неравенство E₁ > E₂, то повторяется пункт 2, при присвоении значений N₁^{raz-bl} = N₂^{raz-bl}, E₁ = E₂.

5. Если размер блока N₂^{raz-bl} достигает значения 8 отсчетов, то осуществляется сжатие.

Размер блока вычисляется для каждой спектрограммы набора автоматически и адаптивно в зависимости от характера изменения данных.

Применение метода сжатия спектрограмм в блоках ДКП адаптивного размера позволяет повысить КС (см. данные на рис. 7) при вносимых искажениях меньшего уровня (см. данные на рис. 8), чем при сжатии с использованием блоков фиксированного размера.

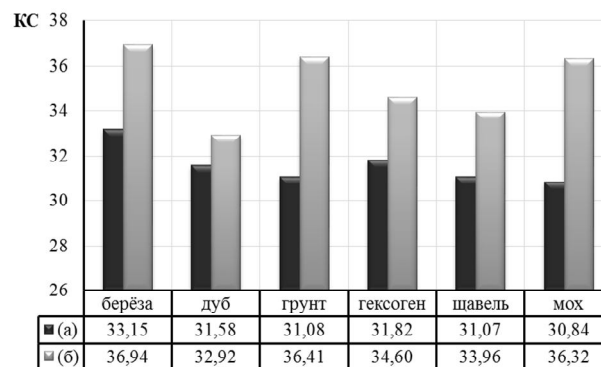


Рис. 7. Зависимость КС от типа материала для блоков ДКП фиксированного (а) и адаптивного размера (б)

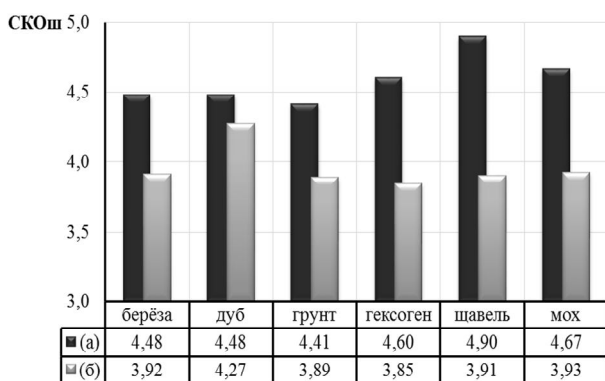


Рис. 8. Зависимость СКОш от типа материала для блоков ДКП фиксированного (а) и адаптивного размера (б)

6. Сжатие спектрограмм как многомерных данных

Процедура сжатия, приведенная в разделе 4, описывает покомпонентное сжатие без учета корреляции между спектрограммами одного набора. Однако наиболее эффективные методы сжатия гиперспектральных данных используют одновременно как спектральную, так и пространственную избыточность данных [4, 11].

Если в библиотеке есть несколько спектрограмм определенного материала, то их можно объединить в двумерный массив данных. Это позволит применить к спектрограммам двумерное ДКП и обрабатывать все спектрограммы в наборе совместно (метод 1). Метод 1 заключается в следующем:

1) спектральные данные формируются в один двумерный массив размером $n \times m$ (где n – количество спектрограмм в наборе; m – количество значений длин волн, то есть отсчетов спектрограммы);

2) к данным применяется двумерное ДКП в блоках размером $N^{\text{raz_bl}} \times n_{\text{max}}$;

3) коэффициенты ДКП квантуются с ШК=12 с округлением до ближайших целых;

4) к заголовку применяется дифференциальное кодирование, результат кодирования прибавляется к полученным данным и массив становится размером $(z+n) \times m$ (где z – заголовок, содержащий закодированную информацию о длине волны, параметрах сжатия и служебную информацию, использующуюся при декодировании);

5) осуществляется сжатие кодером без потерь NanoZIP.

В рамках второго подхода (метод 2) сжатие спектрограмм с потерями основывается на методе сжатия разностных данных [13]. Метод 2 заключается в следующем:

1) первая спектрограмма обрабатывается и

сжимается также, как и в методе, описанном в разделе 4;

2) для второй и последующих спектрограмм перед сжатием рассчитываются разности путем вычитания из предыдущей:

$$A_1 = B_1,$$

$$A_n = B_{n-1} - B_n, \quad (4)$$

где A – выходные данные;

B – первичные данные спектрограмм;

n – порядковый номер спектрограммы в наборе (n от 2 до n_{max});

3) к данным применяется ДКП в блоках размером $N^{\text{raz_bl}} \times 1$;

4) коэффициенты ДКП квантуются с округлением до ближайших целых. Для первой спектрограммы ШК=9 для второй и последующих (для разностных данных) ШК=12;

5) осуществляется сжатие кодером без потерь NanoZIP.

Для двух подходов к сжатию спектрограмм как многомерных массивов была рассмотрена возможность использования как фиксированного размера блоков ДКП ($N^{\text{raz_bl}} = 128$), так и адаптивного ($N^{\text{raz_bl}} = 2 \dots 512$).

Результаты тестирования данных методов на наборах спектрограмм приведены в табл. 3. Как видно из анализа приведенных данных, оба подхода обеспечивают довольно высокие КС значительно превышающие КС для предложенных выше подходов к сжатию спектрограмм как одномерных массивов.

Использование адаптивного подбора размера блока ДКП позволяет в большинстве случаев незначительно снизить СКОш для двух методов, однако КС не превышает, а в большинстве случаев и принимает меньшее значение, чем при использовании фиксированного размера блока. Следовательно, использование адаптивного размера блока при сжатии спектрограмм как многомерных массивов предложенными методами не приносит видимых преимуществ и увеличивает вычислительные затраты.

КС значительно зависит от обрабатываемой спектрограммы и принимает различные значения для двух предложенных методов (например, для набора Soil T1 КС_{ср} принимает значения для метода 1 – 83,7 раза, а для метода 2 – 59,3 раза; для набора Birch T7 КС_{ср} для метода 1 – 59,7 раза, а для метода 2 – 80 раз).

Такой эффект объясняется тем, что спектрограммы в одном наборе для некоторых материалов практически не отличаются (например, набор для

материала грунт). В случае вариативности спектрограмм в наборе предварительное получение разно-

стей и дальнейшее их сжатие с использованием двумерного ДКП даёт выигрыш в КС 6...20 раз.

Таблица 3

Значения КС при сжатии спектрограмм как многомерных данных для предложенных методов

Набор спектрограмм		Метод 1		Метод 2	
		$N^{\text{raz_bl}} = 128$	$N^{\text{raz_bl}} = 2...512$	$N^{\text{raz_bl}} = 128$	$N^{\text{raz_bl}} = 2...512$
Soil T1 (грунт)	КС _{ср}	83,73	80,80	59,32	58,70
	СКОШ _{мин}	3,09	3,09	4,62	4,19
	СКОШ _{макс}	4,39	4,35	5,93	6,05
Birch T1 (береза)	КС _{ср}	65,39	76,01	83,95	83,13
	СКОШ _{мин}	2,75	2,17	1,37	1,41
	СКОШ _{макс}	2,92	2,5	4,51	3,74
Soil T7 (грунт)	КС _{ср}	112,90	112,81	96,22	101,30
	СКОШ _{мин}	1,60	1,71	1,68	1,54
	СКОШ _{макс}	3,25	3,44	4,12	3,60
Birch T7 (береза)	КС _{ср}	59,92	67,88	80,02	78,90
	СКОШ _{мин}	2,96	2,40	1,40	1,42
	СКОШ _{макс}	3,40	2,85	4,48	3,64
Oak T1 (дуб)	КС _{ср}	63,44	61,03	77,05	80,65
	СКОШ _{мин}	3	3,62	1,66	1,5
	СКОШ _{макс}	3,38	4,48	5,39	3,92
Hexogen T6 (гексоген)	КС _{ср}	50,97	59,27	66	69,35
	СКОШ _{мин}	3,62	2,95	1,68	1,58
	СКОШ _{макс}	3,86	3,36	4,58	3,88
Sorrel T7 (щавель)	КС _{ср}	63	69,9	83,55	83,51
	СКОШ _{мин}	2,93	2,51	1,44	1,41
	СКОШ _{макс}	3,31	2,73	4,80	4,23
Moss T7 (мох)	КС _{ср}	64,79	60	89,26	92,95
	СКОШ _{мин}	2,95	3,72	1,28	1,19
	СКОШ _{макс}	3,50	4,57	4,87	4,04

Заключение

Проведен анализ свойств нескольких материалов спектрограмм, что позволило разработать методы сжатия спектрограмм как одномерных, так и многомерных массивов. Даны рекомендации по выбору ШК и метода сжатия, при которых достигаются высокие КС (порядка 80...100 раз) без существенного влияния на качество восстановленной информации.

Литература

1. Chang, C. *Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications [Text]* / Chein-I Chang. – Wiley-Interscience, 2007. – 440 p.

2. Kaarna, A. *Compression of Spectral Images [Text]* / A. Kaarna // *Vision Systems: Segmentation and Pattern Recognition - Vienna: I-Tech.* - 2007. - Vol. 1. - P. 269-298.

3. Yu, G. *Image compression systems on board satellites [Text]* / G. Yu, T. Vladimirova, M. Sweeting // *Acta Astronautica.* - 2009. - Vol. 64. - P. 988-1005.

4. Aiazzi, B. *Near-lossless compression of 3-D optical data [Text]* / B. Aiazzi, L. Alparone, S. Baronti // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* - Nov 2001. - Vol. 39. - P. 2547-2557.

5. Особенности сжатия гиперспектральных изображений поверхности Земли [Текст] / В. В. Луккин, А. Н. Земляченко, А. А. Зеленский, М. А. Попов, С. А. Станкевич, О. В. Титаренко // *ХМНПК*

«Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» - Київ - Харків - АР Крим, сентябрь 2011. – С. 92-100.

6. *Lossy compression of hyperspectral images based on noise parameters estimation and variance stabilizing transform [Text]* / A. N. Zemliachenko, R. A. Kozhemiakin, M. L. Uss, S. K. Abramov, N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // *Journal of Applied Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 8 (1). – 25 p. – doi: 10.1117/1.JRS.8.083571

7. *Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: A Comprehensive Study [Text]* / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. – 2010. – 13 p. – doi:10.1155/2010/976436.8.

8. Абрамов, С. К. Автоматическое оценивание дисперсии ошибок измерений при обработке одномерных информационных сигналов [Текст] / С. К. Абрамов, А. А. Зеленский, В. В. Лукин // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2003. – № 1. – С. 5-11.

9. *Blind methods for noise evaluation in multi-component images [Text]* / V. Lukin, B. Vozel, S. Abramov, N. Ponomarenko, M. Uss, K. Chehdi, J. Astola // *Multivariate image processing / J. Chanussot, C. Collet, K. Chehdi*. – ISTE Ltd, France, 2009. Chapter 9. – P. 263-301.

10. Анализ методов автоматического оценивания дисперсии помех по базе тестовых цифровых изображений [Текст] / В. В. Лукин, С. К. Абрамов, М. Л. Усс, В. В. Забродина, Н. Н. Пономаренко, А. А. Зеленский, Б. Возель, К. Шеди // *Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач / Под ред. В. И. Марчука*. – М. : Радиотехника, 2012. – С. 7-33.

11. *Toivanen, P. Correlation-based band-ordering heuristic for lossless compression of hyperspectral sounder data [Text]* / P. Toivanen, O. Kubasova, J. Mielikainen // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. – Jan. 2005. – Vol. 2. – P. 50-54.

12. *High Quality DCT Based Image Compression Using Partition Schemes [Text]* / N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, K. O. Egiazarian, J. T. Astola // *IEEE Signal Processing Letters*. – 2007. – Vol. 14. – P. 105-108.

13. Спосіб стиснення гіперспектральних аерокосмічних зображень з частковим придушенням шумів та урахуванням кореляції між спектральними зонами [Текст] : пат. UA 105236 С2 Україна : МПК G06K 9/40 (2006.01) / Попов М. О., Станкевич С. А., Лукин В. В., Земляченко О. М., Ковальчук С. П., Пономаренко М. М., Зеленський О. О., Татаренко О. О. ; заявитель и патентообладатель "Науковий центр аерокосмічних досліджень землі ІГН НАН України". – № а 2012 04133 ; заявл. 03.04.2012 ; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. – 10 с. : ил.

Поступила в редакцію 3.11.2014, рассмотрена на редколлегии 18.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. приема, передачи и обработки сигналов В. В. Лукин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

СТИСНЕННЯ СПЕКТРОГРАМ З ВТРАТАМИ

О. М. Земляченко

Розроблено методи оцінки характеристик завад у спектральних даних. Проведено порівняльний аналіз методів стиснення без втрат, який застосовано до спектрограм. Розроблено метод стиснення спектрограм з втратами, який автоматично забезпечує рівень внесених спотворень, що не перевищує задане значення. Застосовано метод стиснення масивів спектрограм. Розроблено метод стиснення спектрограм з втратами в блоках дискретного косинусного перетворення адаптивного розміру. Реалізовано метод стиснення різнице-вих даних, який дозволив значно підвищити коефіцієнт стиснення при порівняннях внесених спотвореннях. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати стиснення спектрограм в автоматичному режимі.

Ключові слова: стиснення спектрограм з втратами.

LOSSY COMPRESSION OF SPECTROGRAMS

A. N. Zemliachenko

Methods for noise parameters estimation in spectral data are developed. Comparative research of lossless compression methods conformably to spectrograms is carried out. It is developed the method of spectrograms with lossy compression which is automatically providing the level of the introduced distortions which isn't exceeding the required value. The method for spectrograms arrays compression is applied. It is developed the lossless compression method of spectrograms in adaptive size discrete cosine transform units. It is realized the compression method of differences which allowed to increase compression ratio at the comparable introduced distortions. The software allowing to carry out the compression of spectrograms in the automatic mode is developed.

Keywords: lossy compression of spectrograms.

Земляченко Александр Николаевич – аспирант каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина, e-mail: hagriel@ukr.net.