

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УРОВНЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ (АЦП) ДЛЯ УСТРОЙСТВ КОМПРЕССИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. П. Иванов, Д. А. Сикорский, С. В. Гилевский, БГУ, г. Минск

УДК 681.3

Аннотация

Исследована возможность улучшения качества компрессии изображений для космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) путем нелинейного преобразования уровней квантования аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Введено понятие важности уровней квантования АЦП и разработан метод построения закона нелинейного преобразования с использованием функции важности уровней квантования АЦП. Экспериментально доказана возможность улучшения качества компрессии для алгоритма JPEG2000 в наиболее важных областях изображений. Улучшение в отношении сигнал/шум составило от 6 до 8 дБ при схожем ухудшении в менее важных областях изображений.

Введение

В настоящее время в космической области особо актуальна проблема компрессии цифровых изображений (ЦИ) на борту космического аппарата (КА). Это связано с увеличением объема данных, получаемых космическими оптико-электронными системами дистанционного зондирования Земли (КОЭС ДЗЗ).

Существует множество алгоритмов компрессии видеоизображений. На сегодняшний день для сжатия видеоинформации на борту КА используются алгоритмы JPEG, JPEG2000, JPEG-LS и ДИКМ, обрабатывающие информацию с 8- и 12-битных АЦП.

Алгоритмы компрессии не учитывают разницу в важности уровней квантования АЦП и в случае компрессии с потерями вносят одинаковые для всех уровней потери. Уменьшить потери для наиболее важных уровней можно за счет их увеличения для менее важных уровней с использованием АЦП более высокой разрядности и нелинейного преобразования уровней АЦП.

Введем понятие важности уровня квантования АЦП. Она определяется долей полезной информации, приходящейся на этот уровень.

Важность уровней квантования АЦП для видеоизображений, получаемых КОЭС ДЗЗ, в общем случае является различной по двум причинам: из-за шумов оптико-электронного тракта (ОЭТ) и задачи, выполняемой КОЭС, определяющей наиболее важные объекты съемки.

Определение важностей уровней квантования АЦП

Для построения нелинейного закона преобразования необходимо определить важности уровней квантования АЦП.

На рис. 1 представлены значения альbedo пяти классов отражающих поверхностей [1, 2]. В зависимости от задачи КОЭС, та или иная область альbedo считается более важной. Так, при зондировании почвы и растительности можно выделить наиболее важную

область от 7% до 40% альbedo, неважные области от 0% до 7% альbedo и от 80% до 100% альbedo. Важность же области от 45% до 80% уменьшается постепенно с увеличением альbedo.

Зависимость важностей уровней АЦП от их значений будем называть функцией важности. Допустим, что аппаратура КОЭС ДЗЗ настроена таким образом, что 100% альbedo соответствует полной шкале уровней квантования АЦП. Тогда для задачи зондирования почвы и растительных покровов нормированная функция важности для 12-битного АЦП будет иметь вид, представленный на рис. 2.



Рис. 1. Распределение альbedo различных типов отражающих поверхностей

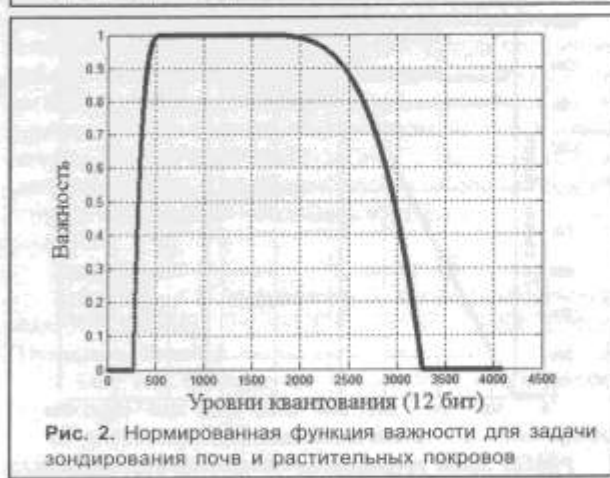


Рис. 2. Нормированная функция важности для задачи зондирования почв и растительных покровов

Нормированная функция важности (рис. 2) показывает долю полезных бит информации в пикселе. Так, если важность равна 0,5 при разрядности АЦП 12 бит, то только 6 старших бит являются важными.

Исходя из функции важности, можно построить такой закон нелинейного преобразования, после применения которого все уровни квантования будут иметь одинаковую важность. Закон нелинейного преобразования, соответствующий функции важности, представленной на рис. 2, приведен на рис. 3.

Линейный участок соответствует преобразованию без потерь. В переходной области потери возрастают с увеличением уровня квантования АЦП.

Учет неравномерности шумов ОЭТ

Большинство современных КОЭС используют фотоприемные приборы с зарядовой связью (ФПЗС). В таком ОЭТ можно выделить три основных вида шумов [3, 4, 5]:

1) фотонный шум, который зависит от числа накопленных электронов и подчиняется пуассоновскому закону распределения;

$\sigma_f = \sqrt{N}$, где N – среднее количество информационных электронов;

2) собственный аддитивный шум ФПЗС и электронного тракта, $\sigma_{\text{эл}}$, который не зависит от уровня квантования;

3) шум квантования АЦП, $\sigma_{\text{кв}}$, не зависящий от уровня квантования.

Тогда суммарный шум в системе можно выразить следующим образом:

$$\sigma_{\Sigma}(N) = \sqrt{\sigma_f^2(N) + \sigma_{\text{эл}}^2 + \sigma_{\text{кв}}^2}.$$

Зная среднеквадратичные отклонения (СКО) шумов системы, можно рассчитать количество шумовых бит в сигнале.

Распределение шумов в системе представлено на рис. 4.

Вычтя из разрядности АЦП количество шумовых бит, получим количество бит полезной информации. Разделив количество полезных бит полезной информации на разрядность АЦП, получим долю полезной информации в уровне квантования (рис. 5).

Представленная на рис. 5 зависимость является функцией важности, учитывающей шумы ОЭТ.



Рис. 3. Закон преобразования уровней квантования

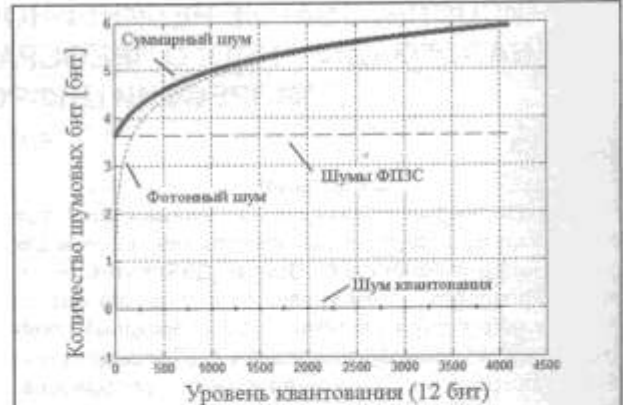


Рис. 4. Зависимость количества шумовых бит в отсчетах разрядностью 12 бит от уровня квантования

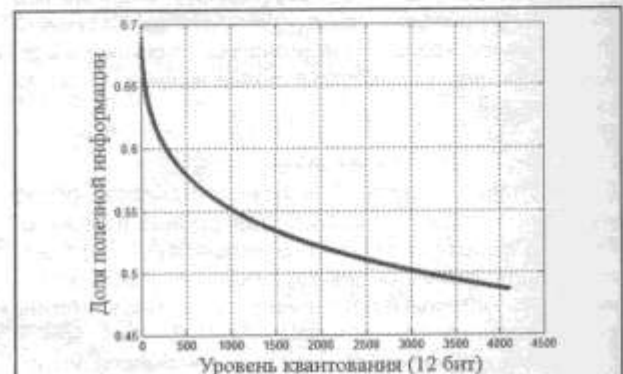


Рис. 5. Доля полезной информации, приходящейся на уровень квантования

Результирующую функцию важности можно найти как произведение функции важности (рис. 2) и доли полезной информации (рис. 5). Результирующая функция важности будет иметь вид, показанный на рис. 6. Она представляет собой произведение относительной доли информации на функцию важности.

Аналогично закону преобразования, представленному на рис. 3, можно построить закон преобразования, соответствующий результирующей функции важности.

Пример такого закона преобразования приведен на рис. 7.



Рис. 6. Результирующая функция важности

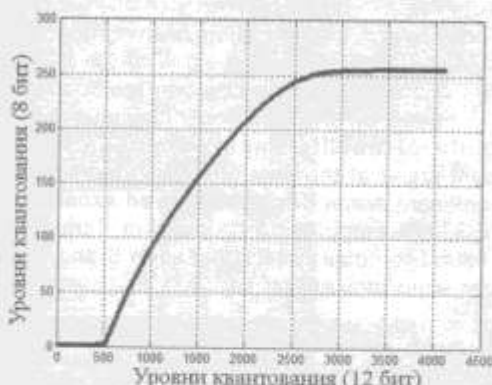


Рис. 7. Пример закона нелинейного преобразования уровней квантования 12-битного АЦП

Результаты экспериментов

Экспериментальная проверка проводилась для преобразования из 12 в 8 бит по нелинейному закону, приведенному на рис. 7. 8-битное АЦП моделировалось линейным преобразованием 12-битного изображения в 8-битное. Наиболее важной является область от 7% до 40% значений альbedo. Менее важной – от 40% до 80%. Остальные области считались неважными. Моделирование проводилось с использованием 36 изображений высокого пространственного разрешения (<1м) разрядности 12 бит. Изображения отдельно подвергались преобразованиям линейному, что соответствует квантованию 8-битным АЦП, и нелинейному, после чего сжимались алгоритмом JPEG2000 с заданным коэффициентом компрессии.

После восстановления изображений до исходной разрядности 12 бит, наиболее и наименее важные области сравнивались с теми же областями исходных изображений по отдельности. В результате сравнения получены отношения сигнал/шум. После усреднения оценок по всем изображениям найдена разность отношений сигнал/шум между линейным и нелинейным преобразованиями в наиболее и наименее важных областях. Результаты эксперимента представлены на рис. 8. Наиболее важные области обозначены сплошной заливкой, наименее важные – штриховой.

Как видно из рис. 8, замена линейного преобразования уровней квантования АЦП нелинейным дает

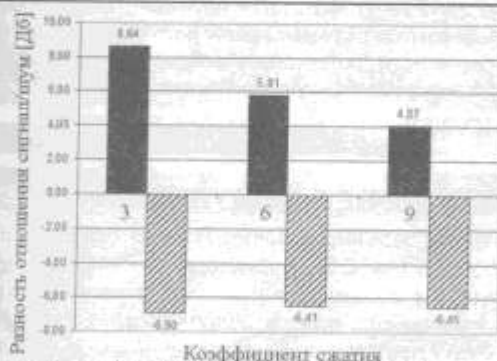


Рис. 8. Изменение отношения сигнал/шум при нелинейном преобразовании относительно линейного

возможность значительно уменьшить потери в наиболее важной области за счет их увеличения в менее важных областях.

На рис. 9, 10, 11 приведен пример на реалистичном монохромном изображении. На рис. 10 и 11 приведены преобразованные и сжатые в 9 раз алгоритмом JPEG2000 области оригинального изображения. На оригинальном изображении эти области выделены прямоугольником.

Заметно уменьшение искажений микромасштаба важных объектов (постройки) при использовании АЦП большей разрядности и нелинейного преобразования (на рис. 10, 11 обозначено цифрой 3) и более точная передача границ объектов (на рис. 10, 11 обозначена цифрами 1, 2).

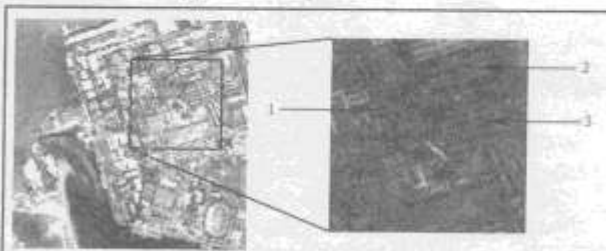


Рис. 9. Оригинальное изображение (слева) и увеличенный фрагмент оригинального изображения (справа)



Рис. 10. Фрагмент линейно преобразованного из 12 в 8 бит изображения



Рис. 11. Фрагмент нелинейно преобразованного из 12 в 8 бит изображения

Заключение

В работе предложен оригинальный метод построения закона нелинейного преобразования уровней квантования АЦП для улучшения качества сжатия изображений. Экспериментально доказана возможность улучшения качества сжатия изображений для алгоритма JPEG2000 при наличии разности в важностях уровней квантования. Исследования, проведенные для алгоритма JPEG2000, показали, что при коэффициенте сжатия 3 выигрыш в отношении сигнал/шум составляет 8,64 Дб, при увеличении коэффициента сжатия до девяти выигрыш уменьшается до 4,07 Дб. Абсолютное значение проигрыша в менее важных областях также уменьшается с увеличением коэффициента сжатия от трех до девяти с -6,9 до -6,45 Дб, что говорит о большей эффективности метода при небольших коэффициентах сжатия.

Литература:

- Ahrens, C. D. Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. Eighth Edition. Thompson, Brooks/Cole. United States, 2006. – 537 pp.
- Oke, T. R. Boundary Layer Climates. Second Edition. Routledge. New York, 1992. – 435 pp.
- Носов, Ю. Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. – М.: Наука, 1986. – 318 с.



4. Порфирьев, Л. Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. Учебник для приборостроительных специальностей вузов. – Л.: Машиностроение, 1989. – 387 с.

5. Пресс, Ф. П. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1981. – 136 с.

Abstract

The possibility of image compression quality improvement for Earth observation systems by the

means of analog to digital converter (ADC) quantization levels nonlinear transformation is investigated. The term of ADC quantization level significance is invented and the transformation rule creation method is given, which is based on the function of significance. The possibility of quality improvement in the most significant areas at the cost of quality decrease in the less significant areas has been proved experimentally for JPEG2000 compression algorithm. Improvement in the sound-to-noise ratio is between 6 and 8 dB for the most important areas.