

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СЖАТИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ

А.Н.Раушкин, А.В.Соловых, И.А.Сотников.

Руководитель О.О. Евсютин, кандидат техн. наук, доцент кафедры БИС

Введение

Цифровые изображения занимают большие объемы памяти. Для экономии пространства на носителе и уменьшении времени передачи изображений их необходимо сжимать. Существует 2 вида сжатия изображений: сжатие с потерями качества и сжатие без потерь [1]. Методы сжатия изображений без потерь качества сохраняют значение пикселей исходного изображения, но дают низкий уровень сжатия. Сжатие с потерями качества позволяет увеличить уровень сжатия, но искажает изображение. В нашей работе мы рассматриваем метод сжатия изображений с потерями качества на основе векторного квантования [2]. Цель работы – получение эффективной алгоритмической реализации данного метода сжатия, с последующим использованием полученных изображений в качестве стеганографических контейнеров, для обеспечения безопасной передачи конфиденциальной информации [3, 4].

1 Сжатие цифровых изображений на основе векторного квантования

При использовании метода векторного квантования изображение делится на равные блоки пикселей, которые называются векторами. У кодера имеется список таких же блоков, называемый кодовой книгой. Кодовая книга может генерироваться для каждого изображения при его сжатии, либо может быть сгенерирована на выборке изображений и использоваться для сжатия множества изображений. Сжатие состоит в том, что все блоки изображения заменяются наиболее похожими на них блоками кодовой книги. Процесс поиска наиболее похожего блока заключается в расчете значения Евклидова расстояния от блока изображения до каждого из блоков кодовой книги, наиболее похожим блоком будет тот, значение расстояния до которого будет минимальным. После чего в выходной файл записывается указатель на блок кодовой книги. Поскольку число бит, используемых для представления указателя, всегда меньше чем число бит, используемых для представления вектора, количество информации, необходимое для представления изображения, уменьшается.

2 Алгоритм сжатия

Перед тем как перейти к алгоритму сжатия, нужно подготовить для него кодовую книгу. Подготовка кодовой книги происходит в два этапа: инициализация и уточнение.

Рассмотрим алгоритм инициализации кодовой книги [2]:

На вход алгоритма подается изображение, количество записей кодовой книги n , которое необходимо получить на выходе и размер блока.

Шаг 0: Разбиваем изображение на векторы B_i , и вычисляем усредненный вектор, который становится начальной записью кодовой книги.

Шаг 1: На каждой итерации разделяем запись кодовой книги C_i на $C_i \pm e$, где e – фиксированный вектор ошибки и $i = \overline{1, n}$.

Шаг 2: Если количество записей в кодовой книге равняется k , останавливаем процесс деления записей и завершаем алгоритм. Полученный набор записей кодовой книги будет использоваться как начальный набор для алгоритма уточнения кодовой книги LBG [5].

После того, как кодовая книга была инициализирована, переходим непосредственно к алгоритму LBG:

На вход алгоритма подается изображение, инициализированная кодовая книга, количество записей в кодовой книге n и значение точности D . Обозначим блоки изображения как B_i . Установим начальное значение k равным 0, k возрастает с каждой итерацией.

Шаг 1: Найдем все значения векторов B_m , которые удовлетворяют неравенству

$$d(B_m, C_i) < d(B_m, C_j) \text{ для всех } j \neq i, \text{ где } i, j = \overline{1, n}$$

Этот набор обозначим как P_i^k . Повторим для всех значений i .

Шаг 2: Рассчитаем расстояние D_i^k между каждой записью кодовой книги C_i^k и набором векторов P_i^k , затем рассчитаем среднее расстояние. Расстояние D_i^k рассчитывается по формуле Евклидова расстояния $d(C_i^k, B_m)$ для всех блоков B_m из набора P_i^k .

Шаг 3: Если выполняется $(D^{(k-1)} - D^{(k)})/D^{(k)} \leq D$, завершаем алгоритм. Полученная уточненная кодовая книга может использоваться для сжатия. В противном случае переходим к шагу 4.

Шаг 4: Вычисляем новые записи кодовой книги C_i^k , они будут равны средним векторам из набора P_i^k , и переходим к шагу 1.

Заменяем блоки изображения на соответствующие блокам кодовой книги указатели.

3 Вычислительные эксперименты

Так как рассматриваемый алгоритм осуществляет сжатие с потерями качества, необходимо оценить степень искажения сжатых изображений. Для этого используется значение PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio – пиковое отношение сигнал/шум) [6], чем больше значение PSNR, тем меньше искажения. На уровень искажения сжатого изображения влияют параметры алгоритма. Чтобы отследить степень влияния каждого из параметров, была проведена серия экспериментов.

3.1 Описание тестовой базы

В качестве базы для тестирования реализованного алгоритма была взята выборка изображений в оттенках серого, разрешением 512×512 , включающая изображения следующих типов:

- 1) Контрастные изображения;
- 2) Изображения с крупными объектами;
- 3) Изображения с мелкими объектами.

Данная выборка приведена в Приложении А.

3.2 Результаты экспериментов при генерации кодовой книги для отдельных изображений

Алгоритм сжатия был применен к тестовым изображениям (Приложение Б, Рис. 1–2) с различными значениями точности и размерами кодовой книги. По результатам экспериментов были построены графики (Приложение В, Рис. 1–2), на основе которых можно сделать выводы:

1) Максимальное значение PSNR, в серии тестов с фиксированным размером кодовой книги, получается при минимальном значении точности D , независимо от размера кодовой книги. Но при одинаковых значениях точности значение PSNR будет больше у изображения с большим размером кодовой книги.

2) Чем больше размер кодовой книги, тем больше размер файла сжатого изображения.

3.3 Результаты экспериментов при генерации кодовой книги на основе выборки изображений

Кодовая книга была сгенерирована на выборке изображений (Приложение А, Рис. 2) с параметрами: размер кодовой книги – 2048, точность $D = 0.05$.

Алгоритм сжатия с полученной кодовой книгой был применен к изображениям, входящим в данную выборку (Приложение Б, Рис. 3–6) и к изображениям, которые в нее не входили (Приложение Б, Рис. 7–10).

Сравним изображения, полученные при сжатии с кодовой книгой для отдельных изображений и с кодовой книгой на основе выборки изображений

Результаты сравнения отражены в таблице 1. Тестовые изображения 1–6 входили в выборку, по которой генерировалась кодовая книга, тестовые изображения 7–10 не входили в нее.

Таблица 1 – Сравнение полученных результатов для разных типов кодовой книги

| Тестовое изображение № | Кодовая книга, генерируемая для каждого изображения | | Кодовая книга, сгенерированная на выборке изображений | |
|------------------------|---|--------------|---|--------------|
| | PSNR | Размер файла | PSNR | Размер файла |
| 1 | 33.47436362361033 | 103424 | 32.56699035852142 | 97557 |
| 2 | 28.52128702039615 | 142981 | 26.883021676419425 | 129201 |
| 3 | 30.866403006718897 | 118477 | 29.909607028113086 | 116436 |
| 4 | 28.32656650679334 | 145767 | 27.6938027704117 | 141028 |
| 5 | 30.956242600860932 | 110947 | 30.526140863465972 | 105507 |
| 6 | 28.01514334089587 | 160571 | 27.85107378511669 | 156626 |
| 7 | 30.700675500399143 | 109750 | 29.383571078233807 | 110834 |
| 8 | 32.35547241868811 | 137088 | 31.863822932145318 | 138648 |
| 9 | 29.46377647502984 | 144387 | 28.588316112293203 | 134571 |
| 10 | 24.785969741706335 | 159410 | 23.16453298193195 | 161411 |

По результатам экспериментов можно сделать вывод, что при сжатии изображения с кодовой книгой, генерируемой для одиночного изображения значение PSNR больше, но и больше получается размер файла сжатого изображения. Так же стоит отметить, что скорость сжатия изображений заметно выше, при использовании кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений.

Заключение

В ходе работы был реализован алгоритм сжатия цифровых изображений с потерями качества на основе векторного квантования. Был проведен ряд экспериментов с данным алгоритмом на выборке полутоновых изображений. В ходе экспериментов генерация кодовой книги для осуществления векторного квантования производилась как на основе одиночных изображений, так и на основе выборки изображений, включающей изображения различного типа.

В результате было установлено, что для изображений с большим количеством мелких деталей, уровень искажения всегда больше чем для изображений с крупными объектами. Уровень искажений при сжатии с кодовой книгой, сгенерированной на выборке изображений, незначительно отличается от уровня искажений при сжатии с кодовой книгой, сгенерированной на одиночных изображениях. Но скорость сжатия с кодовой книгой сгенерированной на выборке изображений выше (более чем в 2 раза). Полученная реализация алгоритма сжатия будет использована для создания стеганографического алгоритма защиты конфиденциальной информации, использующего в качестве стеганографических контейнеров сжатые цифровые изображения.

Литературные источники:

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Salomon D. Data Compression. The Complete Reference. 3rd edition. – N.Y.: Springer – Verlag, 2004. – 1093 p.
3. Tu T.-Y. Reversible data hiding with high payload based on referred frequency for VQ compressed codes index / T.-Y. Tu, C.-H. Wang // Signal Processing. – 2015. – Vol. 108. – P. 278–287.
4. Cheng P.-H. A reversible data hiding scheme for VQ indices using histogram shifting of prediction errors / P.-H. Cheng, K.-C. Chang, C. -L. Liu // Multimedia Tools and Applications. – 2015. – Vol. 75, № 23. – P. 1 – 20.
5. Linde Y. An Algorithm for Vector Quantizer Design / Y. Linde, A. Buzo, R.M. Gray // IEEE Transactions on Communications. – 1980. – Vol 28. – P 84 – 95.
6. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

Приложение А Выборки изображений



Рисунок А.1 – Тестовая база



Рисунок А.2 – Выборка изображений для генерации кодовой книги

Приложение Б

Примеры сжатия изображений

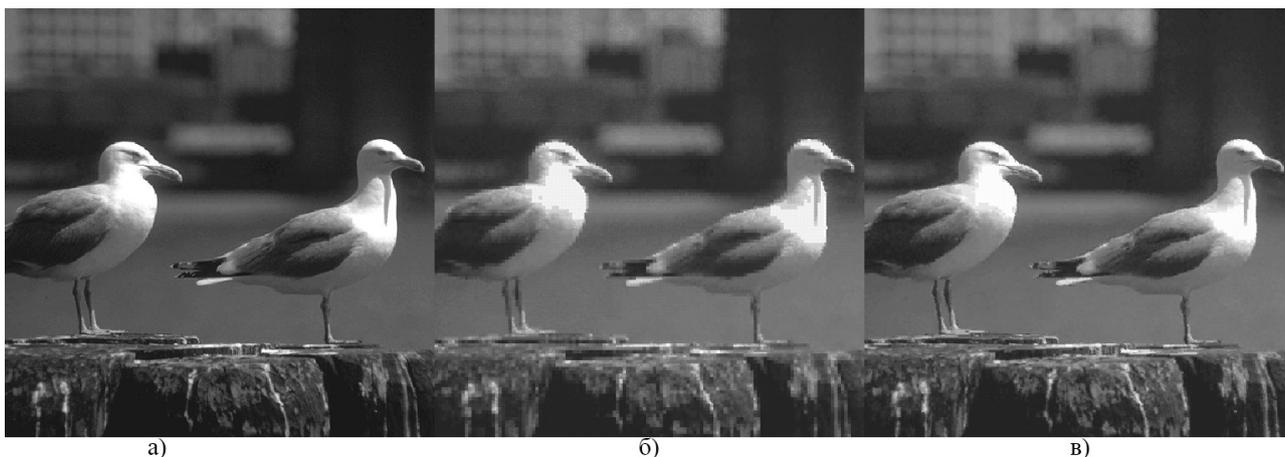


Рисунок Б.1 – Тестовое изображение 1 (а – оригинал, б – минимальное значение PSNR, в – максимальное значение PSNR)



Рисунок Б.2 – Тестовое изображение 2 (а – оригинал, б – минимальное значение PSNR, в – максимальное значение PSNR)



Рисунок Б.3 – Тестовое изображение 3 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)



Рисунок Б.4 – Тестовое изображение 4 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)



Рисунок Б.5 – Тестовое изображение 5 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)

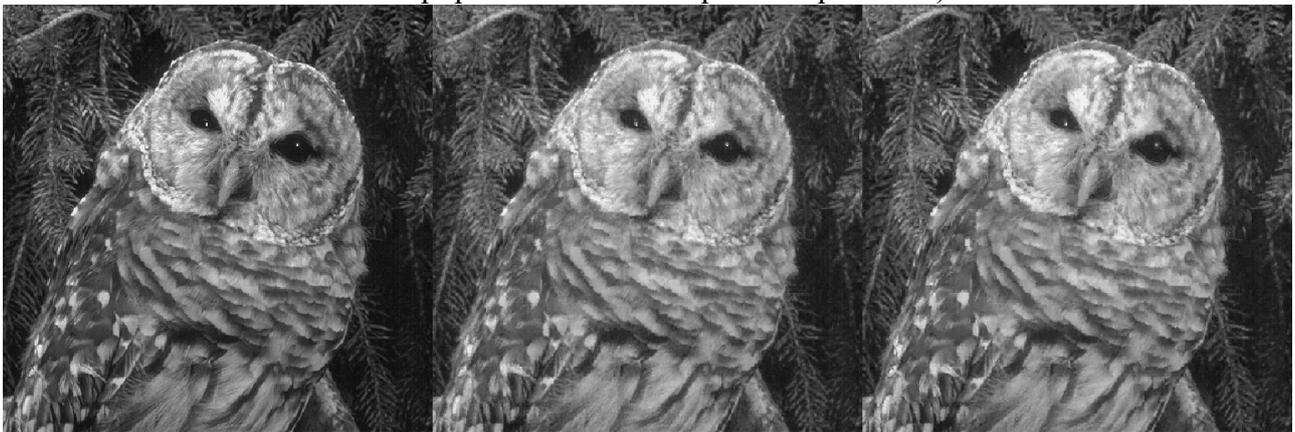


Рисунок Б.6 – Тестовое изображение 6 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)



Рисунок Б.7 – Тестовое изображение 7 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)



Рисунок Б.8 – Тестовое изображение 8 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений)

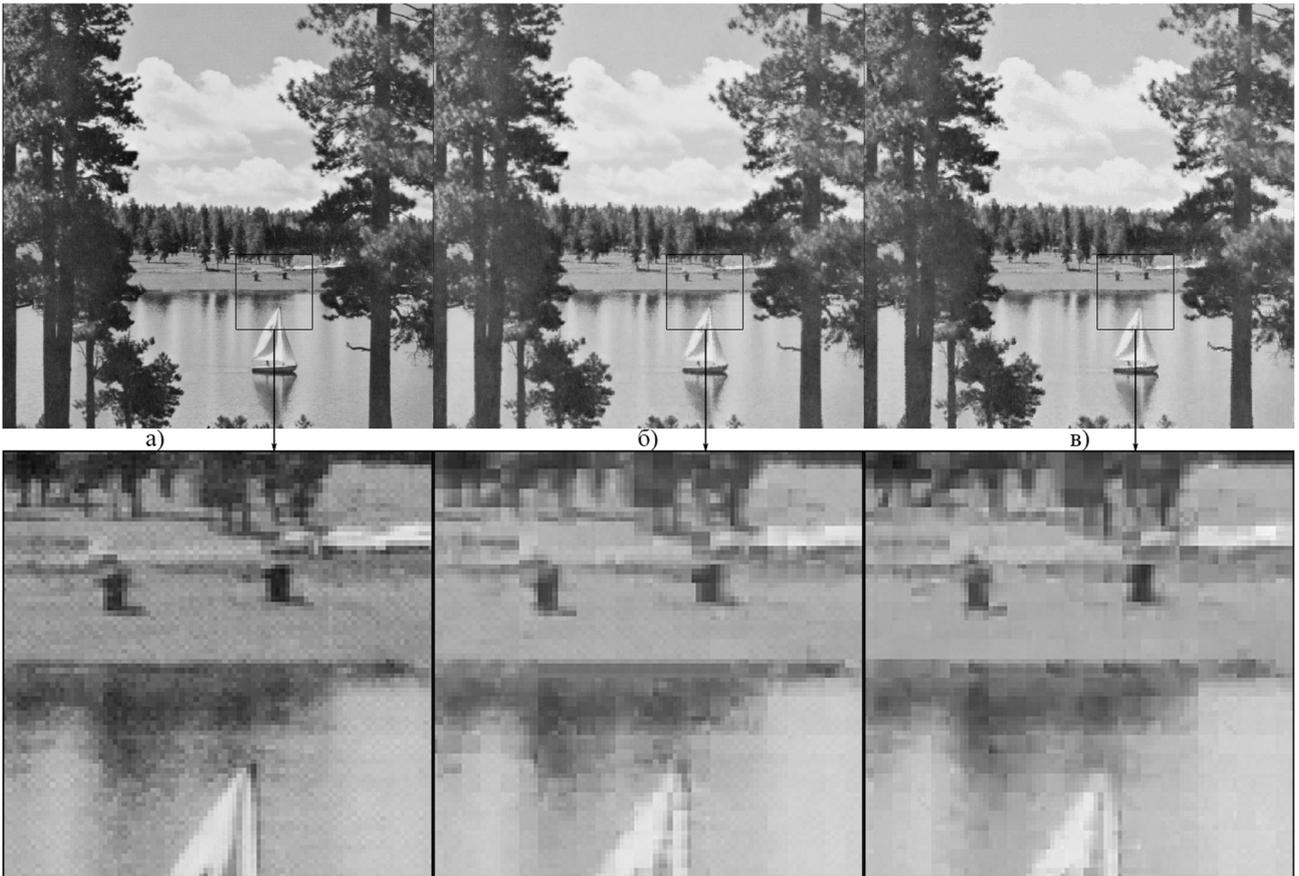


Рисунок Б.9 – Тестовое изображение 9 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений). Снизу представлены увеличенные фрагменты изображений.

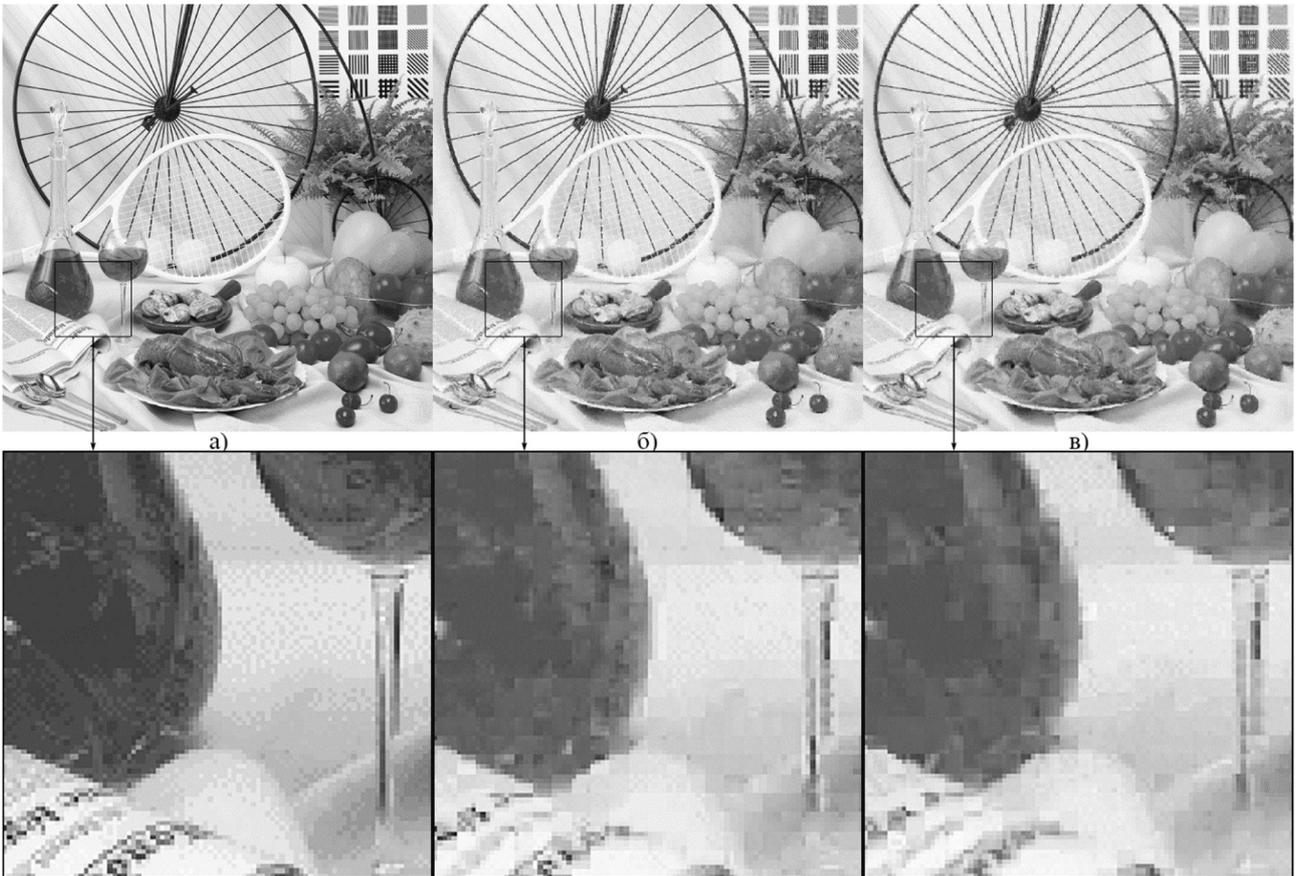


Рисунок Б.10 – Тестовое изображение 10 (а – оригинал, б – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на отдельном изображении, в – сжатое при помощи кодовой книги, сгенерированной на выборке изображений). Снизу представлены увеличенные фрагменты изображений.

Приложение В Графики

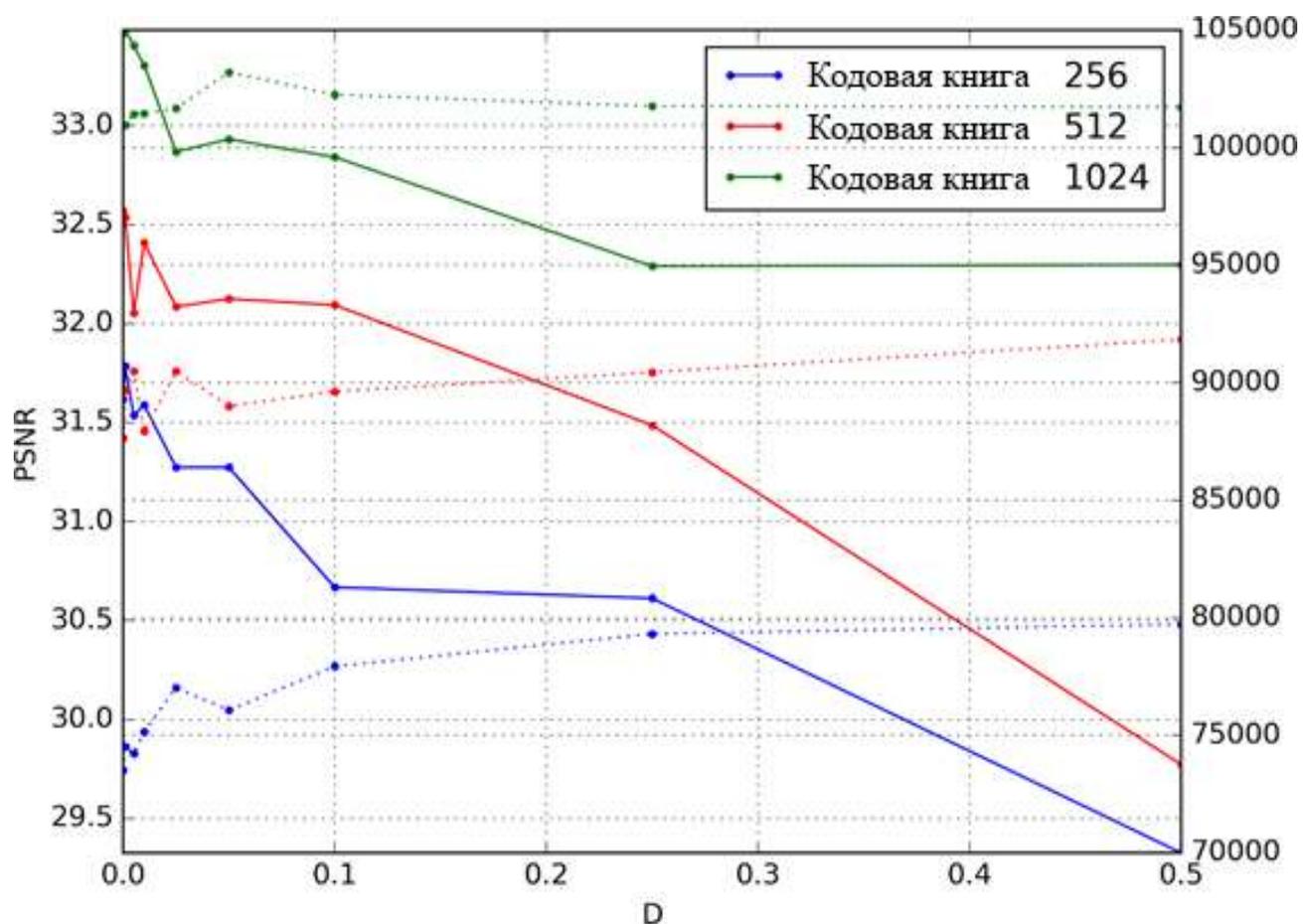


Рисунок В.1 – График зависимости PSNR(сплошная) и размера файла в байтах(пунктир) от точности D для тестового изображения 1

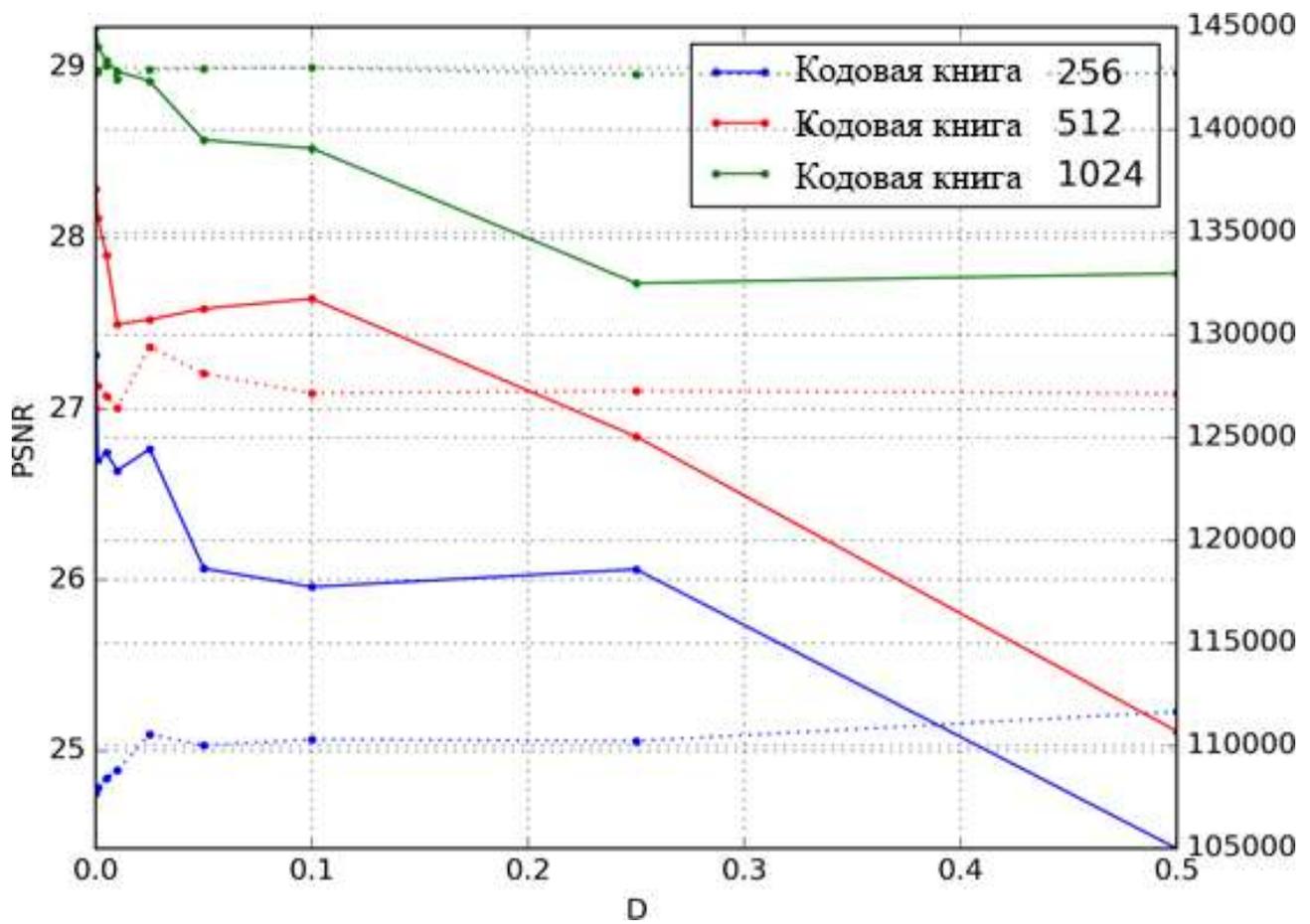


Рисунок В.2 – График зависимости PSNR(сплошная) и размера файла в байтах(пунктир) от точности D для тестового изображения 2