

П.А. Бакут, В.Н. Лексина, А.Д. Ряхин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ КВАНТОВАНИЯ
НА ТОЧНОСТЬ МЕТОДОВ ПЯТЕННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

Рассмотрено влияние шумов, обусловленных конечным числом уровней квантования изображений, на точность восстановления по серии искаженных атмосферой изображений. Получена рабочая формула, связывающая минимальное число уровней квантования с контрастом искаженных изображений. Представлены результаты моделирования на ЭВМ.

В последние годы значительное внимание уделяется исследованию возможностей методов пятенной интерферометрии, основанных на последовательной обработке серии искаженных атмосферой изображений астрономического объекта с целью получения оценки его неискаженного изображения. В настоящее время синтезированы оптимальные алгоритмы подобной обработки, а также определены их потенциальные возможности [1]. На повестке дня стоит задача исследования устойчивости этих методов к различного рода дополнительным (по отношению к атмосферным) искажениям регистрируемых изображений. В данной статье рассматривается влияние шумов, обусловленных конечным числом уровней квантования изображений.

В системах цифровой регистрации одноцветных изображений с применением импульсно-кодовой модуляции каждому отсчету ставится в соответствие двоичная кодовая комбинация, и при этом число уровней квантования L определяется из условия $L = 2^b$, где b — число двоичных разрядов, отведенных под кодирование.

При наиболее типичном равномерном квантовании это соответствует замене реального значения отсчета интенсивности J значением $l\Delta J$, где $\Delta J = J_{\max}/L$ — шаг квантования; J_{\max} — максимальная квантуемая интенсивность; $l = [J/\Delta J + 0,5]$ — поставленный в соответствие J уровень; $[\cdot]$ — целая часть числа. Дисперсия ошибки подобной замены равна $(\Delta J)^2/12$ [2]. Практический интерес представляет определение минимального числа разрядов b , при котором ошибками квантования можно пренебречь.

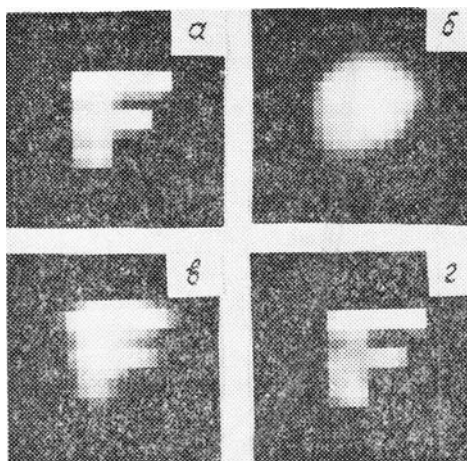


Рис. 1. Результаты восстановления по 80 изображениям: a — по неквантованным; b , v , z — по квантованным соответственно на 4, 8 и 16 уровней

Детальный анализ показывает, что информация о тонкой структуре изображения наблюдаемого объекта закодирована в распределениях флуктуаций интенсивности регистрируемых искаженных изображений относительно их среднего распределения $\langle J \rangle$.

Контраст флуктуаций K , определяемый как отношение их дисперсий к $\langle J \rangle^2$, аппроксимируется выражением [3] $K = K_\lambda \cdot K_T \cdot K_0$, где $K_\lambda = \frac{\Delta\lambda_k}{\Delta\lambda_k + \Delta\lambda}$, $K_T = \frac{T_k}{T_k + T}$, $K_0 = \frac{S_T}{S_0 + S_T} \cdot \frac{S_0}{S_a + S_0}$ — соответственно спектральная, временная и пространственная компоненты контраста. Здесь $\Delta\lambda$ — ширина используемого спектрального диапазона светового излучения; T — время экспозиции каждого изображения; $\Delta\lambda_k$ и T_k — спектральный и временной интервалы корреляции атмосферных искажений

(оптимальный режим регистрации изображений в пятенной интерферометрии предполагает $\Delta\lambda \lesssim \Delta\lambda_k$, $T \lesssim T_k$); S_0 — угловая площадь наблюдаемого объекта; $S_T = (\lambda/D)^2$ — разрешение используемого телескопа диаметром D ; $S_a = (\lambda/r_0)^2$ — среднее разрешение атмосферы; λ — длина волны; r_0 — параметр Фрида. Поскольку рассматриваемые методы обработки основаны на извлечении информации об объекте путем определения статистических характеристик этих флуктуаций [1], то качественно ясно, что дисперсия ошибок квантования должна быть заметно (в γ раз) меньше дисперсии флуктуаций, т.е.

$$(\gamma/12) (J_{\max}/L)^2 \leq K \langle J \rangle.$$

Отсюда минимальное число уровней квантования можно определить как

$$L_{\min} = (J_{\max}/\langle J \rangle) \sqrt{\gamma/12 K}. \quad (1)$$

Поскольку, как показывает эксперимент, для обработки существенна область изображения, в которой $\langle J \rangle \geq 0,1 \langle J \rangle_{\max}$, то для определения эффективного числа уровней L в (1) можно положить

$$\langle J \rangle = 0,1 \langle J \rangle_{\max}.$$

С целью проверки этой качественной зависимости и оценки величины γ было проведено моделирование процесса формирования изображения. В качестве исходного изображения использовалось изображение буквы «F». Моделировались случайные искажения этого изображения, обусловленные турбулентностью атмосферы, при значениях контраста $K_T = K_\lambda = 1$, $K_0 \approx 1/14$ ($S_0 = 13 S_T$, $S_a = 120 S_T$). Полученные таким образом изображения подвергались квантованию на 4, 8, 16, 64 и 128 уровней. Серии из 20, 40, 60, 80 квантованных изображений обрабатывались с помощью алгоритма, описанного в [1]. Наиболее характерные восстановленные оценки неискаженных изображений представлены на рис. 1.

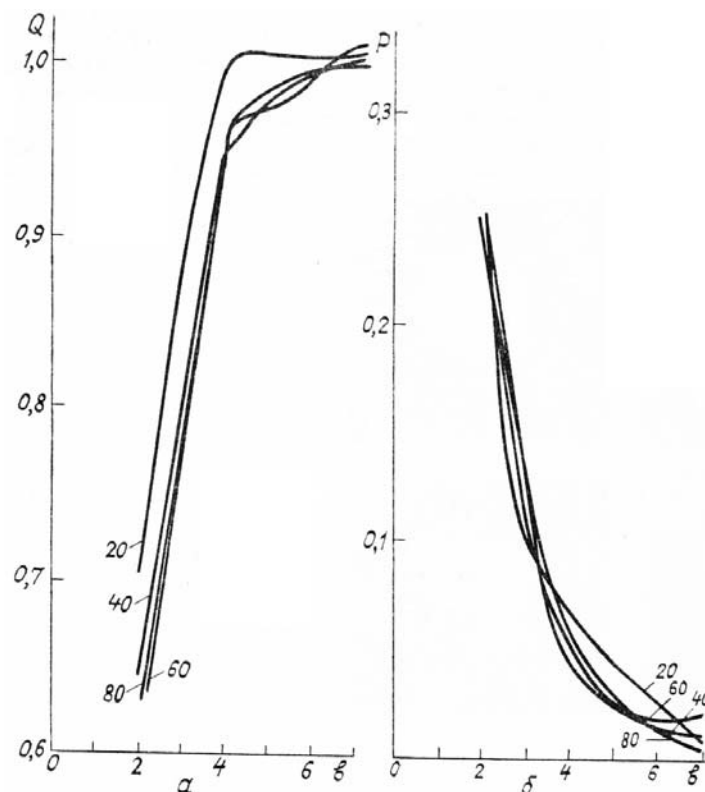


Рис. 2. Зависимость точности восстановления от числа разрядов квантования: a — степень корреляции; b — среднеквадратическая ошибка

Для определения количественной зависимости точности восстановления от числа уровней квантования эти оценки сравнивались с эталонными изображениями. В качестве меры сходства изображений рассматривались степень корреляции Q и нормированная среднеквадратическая ошибка P ,

$$Q = C \sum_{kl} O_{kl} \cdot I_{kl} / \sum_{kl} O_{kl}^2;$$

$$P = \left[\sum_{kl} (O_{kl} - CI_{kl}) \right]^2 / \sum_{kl} O_{kl}.$$

где O_{kl} и I_{kl} — соответственно интенсивности эталонного и восстановленного изображений в одном дискретном элементе (kl). Суммирование осуществлялось по всем элементам изображения, а коэффициент C вычислялся из условия равенства средних интенсивностей, как

$$C = \sum_{kl} O_{kl} / \sum_{kl} I_{kl}.$$

На рис. 2 представлены зависимости величин Q и P от числа уровней квантования. Здесь для выявления «чистой» зависимости, свободной от некоторой неточности самого алгоритма, результаты восстановления по квантованным сериям изображений сравнивались с аналогичными результатами, полученными по тем же самым, но не квантованным изображениям.

Проведенные исследования показывают, что удовлетворительное качество восстановления изображения достигается при квантовании по 16-ти уровням, что соответствует значению $\gamma = 2$.

В результате мы получаем рабочую формулу для расчета вида

$$L_{\min} = 4 \sqrt{K},$$

где K — контраст регистрируемых изображений. Отсюда, в частности, следует, что при типичных условиях наблюдения протяженных объектов: $S_0 \gg S_a$, $D/r_0 \sim 10$, $K_0 \approx 0,01$, $K_T \cdot K_\lambda = 0,2$, необходимо не менее 128 уровней (7 разрядов).

1. Бакут П.А., Ряхин А.Д., Свиридов К.Н. //Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33. № 7. С. 1446–1452.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982.
3. Бакут П.А., Ряхин А.Д., Свиридов К.Н., Устинов Н.Д. //Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 3. С. 274–280.

Научно-производственное объединение «Астрофизика»,
Москва

Поступило в редакцию
30 мая 1989 г.

P. A. Bakut, V. N. Leksina, A. D. Ryakhin. Investigation of the Quantization Noise on the Precision of Speckle Interferometry Methods.

The influence of noise caused by the finite number of quantization levels of images on the precision of image reconstruction from a series of images perturbed by the atmosphere are considered. The formula relating the minimum number of quantization levels with the contrast of perturbed images is derived. The results of computer simulations are also represented.