

ОШИБКИ ДЕНСИТОМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В. С. Рылов

Точность денситометрии зависит не только от фотографического шума, но и от инструментальных ошибок измерительного прибора. Рассматриваются условия для конкретных типов фотоэмульсий, при которых инструментальный шум практически не влияет на измерение почернения. Из приведенных расчетов следуют выводы о требованиях к денситометру или микрофотометру по измерительной точности.

The accuracy of densitometry depends not only on the photographic noise but also on the instrumental errors of a measuring device. The conditions are considered for specific types of emulsions under which the instrumental noise does not practically effect on the blackening measurement. From the calculations presented the inference can be made on the claims to a densitometer or a microphotometer as to the measuring accuracy.

В астрономической практике все большее значение приобретают критерии точности обработки негативов в связи с автоматизацией этого процесса на базе современных ЭВМ. Автоматическая обработка фотографических данных позволяет быстро и объективно проводить трудоемкую операцию по определению спектральной светочувствительности, фотографического шума, преобразование пропусканий в интенсивности, фильтрацию шумов и вычисление отношения сигнала к шуму, т. е. точности измерения интенсивности.

Для извлечения максимального объема информации из фотоснимка в измерительный прибор (микрофотометр или денситометр) должен обладать предельной точностью измерения сигнала, т. е. не должен вносить в измерение собственных ошибок, так называемого инструментального шума. В этом случае предельная точность будет ограничена только фотографическим шумом.

Пусть σ_μ — среднеквадратичная дисперсия числа проявленных зерен на площадке S фотометрирования. Инструментальный шум, вносимый денситометром, проявится в том, что σ_μ возрастает в p раз. Пусть σ_i — инструментальный шум для той же площадки S , причем $\sigma_i = \alpha \sigma_\mu$, где $\alpha < 1$. Тогда шум σ эмульсии и прибора равен $\sigma = p\sigma_\mu = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_i^2}$. Отсюда находим

$$\alpha \leq \sqrt{p^2 - 1}. \quad (1)$$

Для вычисления σ_i воспользуемся по [1] выражением

$$\sigma_\mu = \sqrt{\mu_0 T (1 - T)}, \quad (2)$$

где μ_0 — общее число неперекрытых проявленных зерен на площадке S . Отсюда средняя площадь проявленного зерна $S_1 = S/\mu_0$. Формула (2) в допустимых пределах удовлетворяет экспериментальным данным [2]. Если среднее число проявленных зерен для данного пропускания T равно $\mu = \mu_0 (1 - T)$, то относительная ошибка измерения сигнала μ равна

$$\delta_i = \sigma_i/\mu = \alpha \sqrt{T/\mu_0 (1 - T)} \quad (3)$$

без учета фотографического шума. Под сигналом подразумевается число μ проявленных зерен фотоэмульсии на площадке S . В практике фотометрии пользуются другими параметрами, а именно пропусканием T и плотностью почернения D . Соответствующие им инструментальные ошибки следующие:

$$\Delta T/T = \sigma_i/\mu_0 T = \delta_i (1 - T)/T \psi \pm \Delta D = 0.5 \left[\lg \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right) - \lg \left(1 - \frac{\Delta T}{T} \right) \right]. \quad (4)$$

При вычислении инструментального шума имелось в виду, что для каждой площадки S имеется предельное T_{\min} , которое соответствует только одному непроявленному зерну, т. е. $T_{\min} = 1/\mu_0$. Отсюда также следует, что для данной фотоэмульсии в силу дискретности носителей изображения (зерен серебра) максимальная плотность почернения зависит от S , т. е. $D_{\max} = \lg \mu_0$.

ТАБЛИЦА 1

D	T	S = 4000			500			100			25 МКМ ²		
		$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$
0.10	0.795	2.2	0.6	0.003	6.2	2	0.009	14	4	0.018	28	7	0.031
0.19	0.65	1.5	0.8	0.004	4.3	2.5	0.011	10	5	0.022	19	10	0.044
0.31	0.50	1.1	1.1	0.005	3.2	3	0.014	7	7	0.031	14	14	0.06
0.52	0.30	0.7	1.7	0.008	2.1	5	0.022	5	10	0.044	9	22	0.1
1.0	0.10	0.4	3.3	0.015	1.1	10	0.044	2.5	22	0.1	5	42	0.2]
1.3	0.05	0.3	5	0.022	0.7	14	0.06	1.6	31	0.14			
1.7	0.02	0.2	8	0.036	0.5	22	0.1	1.1	44	0.2			
2.0	0.01	0.01	11	0.05	0.3	31	0.14						
3.0	0.001	0.04	35	0.16									

ТАБЛИЦА 2

D	T	S = 500			100			25			5 МКМ ²		
		$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$	$\delta_i, \%$	$\Delta T/T, \%$	$\pm \Delta D$
0.02	0.954	3.5	0.2	0.001	7.9	0.4	0.002	16	0.8	0.004	36	1.7	0.008
0.05	0.893	2.2	0.3	0.002	5.0	0.6	0.003	10	1.2	0.006	23	2.7	0.011
0.10	0.795	1.5	0.4	0.002	3.4	0.9	0.004	6.8	1.8	0.008	15	4.0	0.018
0.19	0.65	1.1	0.6	0.003	2.4	1.3	0.006	4.7	2.5	0.011	11	5.7	0.025
0.31	0.50	0.77	0.8	0.004	1.7	1.7	0.008	3.5	3.5	0.015	8	7.8	0.035
0.52	0.30	0.51	1.2	0.006	1.1	2.6	0.012	2.3	5.3	0.024	5	12	0.053
1.0	0.10	0.26	2.3	0.010	0.6	5.2	0.024	1.2	10	0.044	2.6	24	0.11
1.3	0.05	0.18	3.4	0.015	0.4	7.6	0.034	0.8	15	0.066	1.8	34	0.15
1.6	0.025	0.12	4.8	0.021	0.3	11	0.048	0.6	22	0.092	1.2	55	0.27
2.0	0.01	0.08	7.7	0.036	0.2	17	0.075	0.3	34	0.15			
2.3	$5 \cdot 10^{-3}$	0.06	11	0.048	0.1	24	0.11	0.2	49	0.23			
3.0	10^{-3}	0.02	24	0.11	0.05	55	0.27						
3.6	$2.5 \cdot 10^{-4}$	0.01	48	0.23									

В таблицах даны значения допустимых инструментальных шумов, вычисленных по (3), (4) для астрономических эмульсий (табл. 1) типа Кодак ПаО, 10ЗаО, 10ЗаD, А-500 и ядерных эмульсий (табл. 2) типа ПР-2 или Ильюфорд L-4, применяемых в электронной фотографии. Сечения проявленных зерен астроэмульсий $S_1 \approx 2$ мкм² [3], ядерных эмульсий типа ПР-2 $S_1 \approx 0.12$ мкм² [4]. В расчетах принят коэффициент $p=1.1$, т. е. доля инструментального шума должна составлять 10% фотографического. Из (1) получим $\alpha \approx 0.5$.

Из таблиц следует, что требования к прибору снижаются с уменьшением площадки фотометрирования; фотометрирование следует вести с уче-

том таких параметров, как фотографический шум, размер площадки и измерительная точность прибора. Например, в практике часто $S = 4 \cdot 10^3$ мкм² и более. При таких S существующие микрофотометры или денситометры не обеспечивают необходимой точности для плотностей $D < 0.5$, вносят значительные инструментальные ошибки, искажающие результат. Особенно высокие требования к инструменту предъявляют измерения ядерных эмульсий, используемых в электронной фотографии (табл. 2). Выполнение их представляется реальным, если прибор может фотометрировать на площадках не более 10 мкм².

Для проверки полученных в табл. 1 и 2 данных были сделаны аналогичные расчеты по экспериментальным значениям σ_{μ} , приведенным в [5] для тех же эмульсий. До плотности $D=1$ результаты оказались близкими к расчетным и отклонялись не более чем на 30%. Для плотности $D > 1$ экспериментальные значения σ_{μ} отягощены большими ошибками и не могут быть использованы в расчетах.

Список литературы

1. Гуревич С. Б. Эффективность и чувствительность телевизионных систем. М.—Л., «Энергия», 1964. 344 с.
2. Брейдо И. И., Гаврилов Г. А., Гуревич С. Б., Маркелова А. А. Фотографические шумы и отношение сигнал/шум различных фотоматериалов. — ЖНПФК, 1963, 8, № 4, с. 284—292.
3. Рылов В. С. О проникающей способности спектральной аппаратуры. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1970, 2, с. 121—134.
4. Перфилов Н. А., Новиков Н. Р., Захаров В. И. Особомелкозернистые фотоэмульсии для ядерных исследований. — ЖНПФК, 1973, 18, № 3, с. 220—230.
5. Брейдо И. И. Фотографические шумы, отношение сигнал/шум и число градаций, передаваемых фотоматериалами. — Изв. ГАО, 1964, 24, вып. 1, № 177, с. 171—179.