

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ СЕРТИФИКАЦИИ АППАРАТУРЫ НАБЛЮДЕНИЯ

к.т.н. С.В. Чёрный, С.А. Кибиткин
(представил д.т.н., проф. И.И. Зима)

В статье приведены результаты исследования статистических характеристик группы экспертов визуального анализа при выполнении сертификации аппаратуры наблюдения.

Постановка проблемы. На сегодняшний день сертификация самолетов по договору «Открытое небо» проводится в соответствии с методиками специальной консультативной комиссии по «Открытому небу» (ККОН), которая определяет способы оценки разрешающей способности аппаратуры воздушной разведки.

Оценка основной характеристики оптических систем наблюдения – их разрешающей способности, проводится группой экспертов из состава делегации разных государств, участников этого договора, в процессе сертификации аппаратуры наблюдения.

При визуальном анализе наблюдатели должны определить последнюю разрешенную группу полос мира, на ее фотоснимке, полученном оптической аппаратурой наблюдения.

Разрешающая способность оптических фотоаппаратов устанавливается на основе визуального анализа экспертами изображения проверочной миры на оригинале негатива. В существующей методике вычисляется среднее значение разрешения по данным всех экспертов, которое признается абсолютным и принимается без учета погрешности его определения. Вместе с тем, в практике работы экспертов встречаются грубые ошибки, основанные на неадекватности трактования экспертами понятия разрешающей способности. Это приводит к большому разбросу значений средней разрешающей способности в случае повторной оценки группой изображения миры и большим отклонениям оценок экспертов от среднего. Эта методика дает субъективную оценку, погрешность которой никак не учитывается.

Для каждого эксперта последней группой разрешенных полос является группа полос, непосредственно предшествующая первой группе нераз-

решенных полос. Группа полос считается неразрешенной, если ее основные составные компоненты не могут быть различимы наблюдателем.

Разрешающая способность на местности определяется путем визуального анализа изображения проверочной миры как вдоль, так и поперек направления полета, причем для дальнейшего расчета принимается то значение, которое имеет наименьшее значение сдвига изображения. Как правило, наименьшим является значение поперек направления полета, хотя при коротких выдержках эти значения существенного отличия не имеют.

Анализ литературы. В [1] договор по «Открытому небу» представлена правовая основа для наблюдения за территориями тех стран, которые подписали этот договор. В [2] рассмотрено классические определения математического ожидания, а также и дисперсии, которые использовались в качестве основы для расчета значений разрешающей способности. В [3] и [4] рассмотрено понятие распределения функции от случайной величины. В [5] и [6] представлена информация по математическому моделированию, построение графиков и проведение математических расчетов.

Цель статьи. На сегодняшний день опротестовать работу экспертов нельзя, хотя в их работе бывают ошибки. Например, в ходе сертификации самолетов наблюдения у экспертов может теряться острота зрения по ряду причин. Поэтому необходима разработка методики контроля работы экспертов.

Решение этой задачи видится в изучении закономерностей статистического распределения оценок экспертов, в аппроксимации результатов разрешающей способности с использованием одного из известных законов распределения случайной величины, а также оценки достоверности работы экспертов на основе анализа параметров использованного закона распределения.

Основной материал исследований. Для аппроксимации результатов оценки разрешающей способности целесообразно использовать один из известных законов распределения случайных величин (Гаусса, Пуассона и др.).

Закон распределения случайной величины по Гауссу наиболее удобен для аппроксимации случайных величин типа ошибок измерения.

Существо подхода состоит в изучении закона распределения работы экспертов и создании статистической модели визуальной оценки разрешающей способности работы экспертов. Группа по визуальному

анализу составляет всего 10 экспертов, поэтому оценка разрешающей способности является статистически некорректной.

Предлагается рассматривать группу экспертов как некую измерительную систему с определенной случайной погрешностью. Одной из задач является изучение распределения этой погрешности.

Рассмотрим методику построения математической модели результатов визуального анализа разрешения аппаратуры наблюдения.

В качестве исходных данных используем разрешение на местности – l_n , а также количество случаев – m_n выявления этого разрешения по данным экспертов. Анализ гистограмм распределения мнений экспертов показывает, что закон распределения является сложной функцией и не соответствует идеальному распределению Гаусса. Для математического описания гистограммы распределения мнений экспертов используем нормальный закон распределения, а именно нормальный многомодальный Гауссовский закон распределения – G:

$$M = \begin{pmatrix} l_1 & m_1 \\ \vdots & \vdots \\ l_n & m_n \end{pmatrix}; \quad N = M^{(1)}; \quad G = \sum_{j=1}^n N_j e^{-\frac{(R-R_j)^2}{(2\sigma_j)^2}}, \quad (1)$$

где R – вектор текущих значений разрешения; R_j – параметр максимума j -й моды; N_j – амплитуда j -й моды; σ_j – среднеквадратическое отклонение j -й моды.

Исследуем два варианта расчета значения разрешающей способности:

– вычисление медианы, полученной после аппроксимации фигуры, ограниченной кривой распределения на бесконечном интервале:

$$M_{\phi} = \left(\int_{-\infty}^{x_0} G_1(x) dx - \int_{x_0}^{\infty} G_1(x) dx \right)^2, \quad \text{где } x_0 = 25; \quad (2)$$

– вычисление медианы, полученной после аппроксимации кривой распределения, усеченной по крайним точкам реальных данных:

$$M_{y\phi} = \left(\int_{l_1}^{x_1} G_1(x) dx - \int_{x_1}^{l_n} G_1(x) dx \right)^2, \quad \text{где } x_1 = 25. \quad (3)$$

Оценка точности аппроксимации гистограммы моделью проводится по величине средней ошибки – I , а также среднего значения ошибки по горизонтальной оси:

$$E_j = G_j - N_j ; \quad I = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_j^T E_j ;$$

$$|g_j| = \frac{d}{dR} N_0 e^{-\frac{(R-R_0)^2}{(2\sigma_0)^2}} + \frac{d}{dR} N_1 e^{-\frac{(R-R_1)^2}{(2\sigma_1)^2}} + \frac{d}{dR} N_2 e^{-\frac{(R-R_2)^2}{(2\sigma_2)^2}} ;$$

$$G_{R_j} = \left(\frac{1}{|g_j|} \sqrt{|E_j|} \right) ; \quad S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n G_{R_j} , \quad (4)$$

где E – вектор ошибок аппроксимации; I – критерий точности аппроксимации (дисперсия средней ошибки); g – градиент функции в точках; G_{R_j} – вектор погрешности определения моделью линейного разрешения; S – средняя ошибка.

Графики, полученные при аппроксимации с использованием функции Гаусса одно- и многомодальным законом распределения (рис. 1), позволяют аттестовать качество работы экспертов.

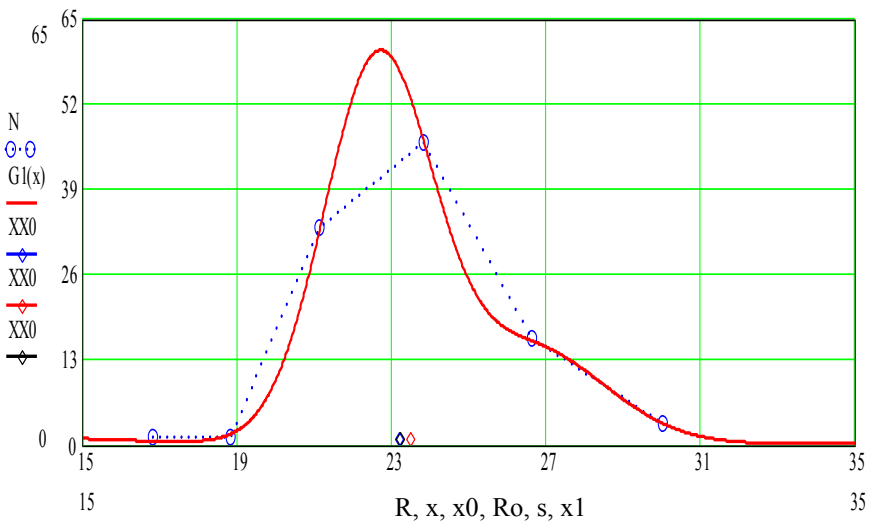


Рис.1. Аппроксимация данных визуального анализа

Вычисление среднего значения разрешения может выполняться двумя способами: по среднему положению моды, а также по среднему положению полученной фигуры. Оценку работы экспертов предполагается вести по дисперсии полученного закона распределения. Необ-

ходимо изучение способов ее определения. Так возникает вопрос вычисления этой дисперсии и сравнение ее со значением дисперсий отдельных мод, сложенных между собой. Результаты аппроксимации представлены в виде табл. 1, в которой показаны значения параметров закона распределения – N_j , R_j , σ_j , оценка относительной погрешности – σ_j/R_j , суммарной дисперсии $\sum \sigma_j^2$, а также расчет средней дисперсии σ_ϕ и $\sigma_{y\phi}$.

Расчет дисперсии производится по формулам:

$$\sigma_\phi = \sum_{j=1}^n (l_j - M_\phi)^2 p_j; \quad \sigma_{y\phi} = \sum_{j=1}^n (l_j - M_{y\phi})^2 p_j, \quad (5)$$

где $p_j = \left(\frac{m_j}{50}\right)$, $\sum_{j=1}^n p_j = 1$.

Таблица 1

Параметры модели

Параметр Номер графика	N0	R0	σ_0	σ_0/R_0	N1	R1	σ_1	σ_1/R_1	N2	R2	σ_2	σ_2/R_2	σ_ϕ	$\sigma_{y\phi}$	$\sum \sigma_j^2$
	1	25,1	25,7	1,47	0,06	2,1	20,5	2,2	0,11	-	-	-	-	7,11	7,13
2	50,1	37,7	1	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	992	-	1
3	16,9	25,2	1,18	0,05	7,5	26	4	0,15	-	-	-	-	6,28	6,27	5,16
4	50,1	37,7	1	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	992	-	1
5	23,9	27,9	1,06	0,04	12	30	2,1	0,07	-	-	-	-	6,15	6,17	3,12
6	40	22,6	1,03	0,05	1	23,8	2	0,08	-	-	-	-	2,46	2,5	3,03
7	20,5	38,4	2,18	0,06	10	29,8	1,3	0,04	2	80,7	3,8	0,05	26,9	24,9	7,21
8	16,5	28,5	1,06	0,04	7	33	1,7	0,05	6,4	30,4	3,6	0,12	12,2	12,2	6,33
9	10,7	26,3	0,6	0,02	9,5	28,7	5,4	0,19	-	-	-	-	14,8	14,7	6,05
10	28,1	28,9	1,17	0,04	1,8	18,5	3	0,16	9,4	38,9	3,1	0,08	15,1	16,7	7,29
11	52,2	17,9	0,86	0,05	5,6	21,4	2	0,09	-	-	-	-	3,04	2,19	2,84
12	9,78	32,7	0,92	0,03	1	14	2	0,14	15	38	3,4	0,09	20,9	20,9	6,3
13	26,7	16,2	0,61	0,04	7,8	10,9	1	0,1	15	18,7	0,5	0,03	5,06	4,98	2,2
14	19,9	13,5	0,64	0,05	9,9	16,8	0,9	0,05	1,2	9,94	3,1	0,31	4,61	4,3	4,59

Всего обработано 243 случая, содержащих экспериментальные данные работы экспертов визуального анализа.

Выводы.

1. При аппроксимации кривых распределения данных визуального анализа можно использовать нормальный многомодальный закон распределения.

2. Число мод этого закона распределения не совпадает с числом экстремумов и точек изгиба реальных кривых.

3. Большая часть кривых представляет собой один главный экстремум и второй явно несглаженный, но имеющий меньшую амплитуду.

4. В использованных случаях при хорошей аппроксимации в точках экспериментальных данных на промежутках между ними аппроксимирующая кривая может существенно превышать их единичные значения (иметь экстремум).

5. Обнаруженный фактор многомодальности требует дальнейшего изучения, в частности сопоставления суммарной дисперсии с дисперсиями мод.

6. Полученные результаты требуют дальнейшего анализа с позиций выработки критерия достоверности работы экспертов, в частности изучения дисперсии закона распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирк У. Клар, Стивен Е. Блок. Договор «Открытое небо». – Агентство по уменьшению угрозы. Отдел истории 45045 Aviation Drive Dulles International Airport Dulles, VA 20166 – 7517, 1999. – 70 с.
2. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1982. – 236 с.
3. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1984. – 384 с.
4. Солодовников А.С. Теория вероятностей. – М.: Просвещение, 1983. – 286 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. Издание 13, исправленное. – М.: Наука, 1986. – 386 с.
6. Дьяконов В. «MathCad 2000»: учебный курс. – М.: Питер, 2001.
7. Дьяконов В. «MathCad 8/2000»: наиболее полное справочное руководство. – М.: Питер, 2001. – 586 с.

Поступила 30.04.2003

ЧЁРНЫЙ Сергей Вячеславович, начальник кафедры инженерно-авиационного факультета Харьковского института военно-воздушных сил. В 1977 году окончил Киевское высшее военное авиационное инженерное училище. Области научных интересов – теория дифракции, оптико-электроника, теория измерений, навигация.

КИБИТКИН Сергей Александрович, адъюнкт кафедры инженерно-авиационного факультета Харьковского института военно-воздушных сил. В 1999 году окончил Киевский институт военно-воздушных сил. Область научных интересов – увеличение точности разрешающей способности аппаратуры наблюдения на этапе ее сертификации.