

**Анализ критериев качества в растровых системах  
объемного изображения**

Артюхина Н. К., Зайцева Е. Г., Михаленок Е. В.  
Белорусский национальный технический университет

Получение объемного изображения хорошего качества всегда являлось одной из наиболее сложных задач растровой фотографии и проекции. По поводу факторов, влияющих на качество изображения в течение многих лет высказывались самые разнообразные точки зрения, в том числе и абсолютно полярные. Основным фактором, определяющим качество ИИ, является разрешающая способность фотослоя или, точнее, системы ЛЭ-фотослой. Оказалось, что разрешающую способность  $R$  в ИИ можно непосредственно связать с легко определяемой величиной фотографической разрешающей способности  $R_\Phi$  системы ЛЭ-фотослой на стадии съемки простой зависимостью

$$R = K_B K_H V R_\Phi, \quad (1)$$

где  $K_B$  – коэффициент, учитывающий влияние схемы восстановления ИИ;  $K_H$  – коэффициент, учитывающий влияние наложения элементарных изображений при восстановлении ИИ;  $V$  – увеличение линз раstra для данного сечения ИИ.

Данная формула проста и удобна для предварительных расчетов, однако недостатком её является то, что в ней слишком большой вес придается коэффициентам  $K_B$  и  $K_H$  экспериментальное определение которых трудоемко.

Последние работы в этой области показали, что хорошее совпадение результатов расчетных и экспериментальных оценок качества ИИ как места пересечения пучков лучей, идущих от различных линзовых элементов и изображающих эту точку. Исследования последних лет позволили предположить, что наиболее важным параметром многозвенного процесса ИФ (интегральной фотографии) является фотографическая разрешающая способность системы элемент раstra-фотослой, а также ряд величин, определяемых расстоянием от плоскости наводки раstra до анализируемой плоскости объекта съемки. Важно то, что фотографическая разрешающая способность системы элемент раstra-фотослой является комплексным критерием, зависящим от многих параметров ПФС, таких, как дифракция и аберрации

ЛЭ растра, технология изготовления последнего, характеристики фотослоя и точность расположения его относительно растра.

Определим поперечный размер  $\delta_x(z)$  пятна нерезкости, являющегося ИИ точечного объекта  $A$  (рис.1). Пусть РФС (растровая фокусирующая система) фотографируется точечный объект  $A'$ . При этом растр сфокусирован на плоскость наводки  $H'$ , а объект лежит в произвольной плоскости. Величину  $\delta_x(z)$  можно определить пересечением двух пучков и для идеальной РФС она не зависит от их числа.

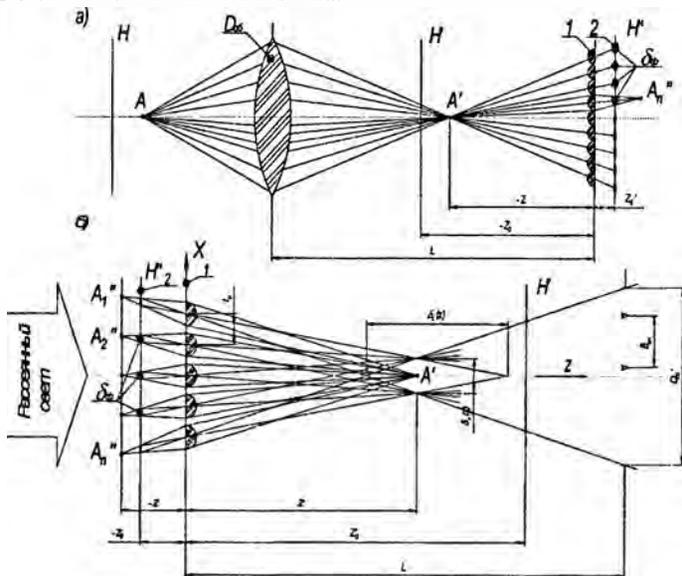


Рисунок 1 – Формирование точечного объекта:

а – этап съемки; б – этап восстановления;

1 – растр; 2 – фотослой;  $H, H', H''$  – сопряженные плоскости;

$D_{об}$  – объектив;  $D'_{об}$  – ИИ выходного зрчка объектива

На стадии восстановления каждое микроизображение проецируется в плоскость наводки  $H'$  (рис.1, б). При этом оказывается, что в плоскости, где при съемке находился точечный объект  $A'$ , локализуется наиболее узкое место пересечений пучков, идущих от разных ЛЭ, которое глаз принимает за ИИ точки  $A$ .

Тогда размер кружка нерезкости  $\delta_x(z)$  в ИИ можно вычислить по формуле

$$\delta_x(z) = \delta_\phi V = \delta_2 V + VK_1 K_2 / R_D = \delta_2 \gamma + \gamma Z', \quad (2)$$

где  $V = Z' / (-Z_0)$  – увеличение растра для данного сечения ИИ, причем  $Z_0$  – расстояние между плоскостью растра и фотослоем,  $Z'$  – расстояние между плоскостью растра и анализируемой плоскостью.

При этом суммарная угловая разрешающая способность съемочной и проекционной растровых систем определяется из выражения:

$$\gamma = K_1 K_2 / [R_D (-Z_0)]. \quad (3)$$

Поскольку при восстановлении происходит дополнительное размытие ИИ связанное как с расширением каждого отдельного пучка, так и с неточностями суммирования этих пучков, то слабое  $VK_1 / R_D$  следует умножить на коэффициент  $K_2$ , учитывающий эти явления, т.е. оно будет равно  $VK_1 K_2 / R_D$ .

Важной особенностью формул (2) и (3) является то, что все входящие в них переменные легко вычисляются или определяются экспериментально в отличие от выражений аналогичного типа, предлагавшихся другими авторами. Зная величину  $\delta_x(z)$ , можно приступить к нахождению разрешающей способности в сечениях ИИ. Назовем такую зависимость распределением разрешающей способности по пространству ИИ. В результате окажется, что границы наиболее узких мест пересечений этих пучков, т.е. поперечные размеры  $\delta_x(z)$  кружков нерезкости, лежат на поверхности пространственной фигуры, образованной вращением ломаной  $BCDE$  (рис.2, а) вокруг оси  $z$ . Ломаная будет состоять из прямых  $BC$ ,  $CD$  и  $DE$ , описываемых соответствующими уравнениями, из которых следуют зависимости, определяющие распределение разрешающей способности по пространству ИИ:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0.5[d - z'(0.5\gamma + d/z'_0)]^{-1} & \text{при } z' < 0; \\ R_2 &= 0.5[d + z'(0.5\gamma + d/z'_0)]^{-1} & \text{при } 0 < z' < z'_0; \\ R_3 &= 0.5[-d + z'(0.5\gamma - d/z'_0)]^{-1} & \text{при } z' > z'_0. \end{aligned} \quad (4)$$

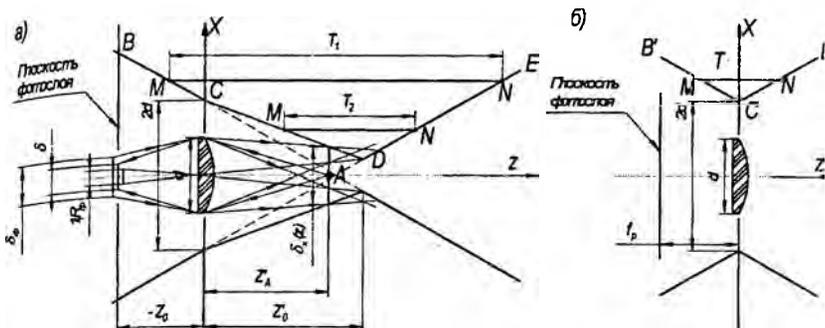


Рисунок 2 – Определение величины кружка нерезкости и глубины резко изображаемого пространства в ИФ:  
 а – случай фокусировки ЛЭ на конечном расстоянии;  
 б – случай фокусировки ЛЭ на бесконечность

Следует подчеркнуть, что описанный анализ проводился для наиболее общего случая фокусировки ЛЭ раstra на конечное расстояние. Для частного случая расположения фотослоя в фокальной плоскости раstra выражение для вычисления  $R_\infty$  принимает вид

$$R_\infty = [z'\gamma + 2d]^{-1}. \quad (5)$$

Поскольку для достижения предельной величины  $R$  необходимо производить фокусировку раstra на объект съемки (а это возможно только при реализации метода ИФ), то из вышеизложенного следует, что качество растрового объемного изображения, формируемого методом ИФ, всегда выше, чем при применении других методов растровой фотографии. Зная уравнение ломаной  $BCDE$  и задаваясь величиной разрешения  $R$  в сечении объемного изображения плоскостью, перпендикулярной оси  $z$  (см. рис.2, а), нетрудно определить зону пространства объемного изображения с гарантированным разрешением  $R$  в любом сечении. Если данное разрешение  $R$  будет соответствовать допустимому, то эта зона будет представлять собой глубину резко изображаемого пространства (ГРИП). Решая уравнения (5) совместно с уравнением прямой  $MN$   $x - 1/(2R) = 0$ , можно определить координаты точек пересечения этой прямой с пря-

мыми  $BC$  и  $DE$  [если  $d \leq 1/(2R)$ ] или  $CD$  и  $DE$  [если  $d \geq 1/(2R)$ ].

Расстояние между этими точками и будет представлять собой ГРИП. В случае, если растр сфокусирован на бесконечность, ГРИПП будет определяться пересечением прямой  $MN$  с прямыми  $B'C'$  и  $C'D'$  (см. рис.2, б).

В итоге были получены следующие зависимости:

$$T_1 = \frac{2z'_0}{R(2d + \gamma z'_0)} \quad \text{при } d \leq 1/(2R); \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{4dz'_0(1 - \gamma Rz'_0)}{R(4d^2 - z_0'^2 \gamma^2)} \quad \text{при } d \geq 1/(2R); \quad (7)$$

$$T_\infty = \frac{2(1 - 2Rd)}{R\gamma} \quad \text{при } d \leq 1/(2R), \quad (8)$$

где  $T_1$  – ГРИП в случае наводки растра на конечное расстояние при  $d \leq 1/(2R)$ ;  $T_2$  – ГРИП в случае наводки растра на конечное расстояние при  $d \geq 1/(2R)$ ;  $T_\infty$  – ГРИП при наводке растра на бесконечность.

Из зависимостей (6–8) можно сделать выводы:

1. В интегральной фотографии ГРИП зависит от диаметра линзового элемента, углового разрешения системы растр-фотослой, расстояния от растра до плоскости наводки и допустимого разрешения в сечениях объемного изображения, т.е. способность к воспроизведению малых деталей в определенной ГРИП в изображении является функцией самой РФС.

2. Границы ГРИП располагаются сравнительно симметрично по обе стороны плоскости наводки. Таким образом, для максимального охвата изображения объекта резко изображаемым пространством следует располагать плоскость наводки растра приблизительно в середине пространства предметов или его промежуточного изображения, а именно в той плоскости, которую следует передать наиболее резко.

3. При наводке растра на конечное расстояние ГРИП при тех же параметрах растра превышает ГРИП при паводке растра на бесконечность, т.е. для получения предельно возможных величин разрешений и ГРИП в объемном изображении необходимо осуществлять фокусировку растра на конечное расстояние.

4. В случае фокусировки раstra на бесконечность для увеличения  $T_{\infty}$  следует уменьшить диаметр ЛЭ или увеличивать  $\gamma$ , что, однако, не всегда возможно по технологическим причи-

УДК 681.7.023.72

**Исследование показателей качества и производительности  
формообразования прецизионных сферических  
поверхностей**

Таболина Е. С., Козерук А. С., Кузнечик В. О.  
Белорусский национальный технический университет

В традиционной технологии приборостроения формообразование линз с прецизионными исполнительными поверхностями происходит на шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станках мод. ШП и ПД в условиях свободного притирания инструмента и заготовки через слой абразивной суспензии определенного состава. На данном технологическом оборудовании движениями резания являются вращение шпинделя станка и возвратно-вращательное перемещение выходного звена его исполнительного механизма (штанги), в качестве которого служит шарнирный четырехзвенник. При этом интенсивность съема припуска определяется формулой Ф. Престона

$$I = kpl,$$

где  $k$  – технологический коэффициент, зависящий от марки стекла, состава и зернистости абразивной суспензии, материала инструмента, температуры и других факторов;  $p$  – давление в зоне соприкосновения инструмента и детали;  $l$  – путь трения (резания), который проходит произвольно выбранная опорная точка на поверхности детали относительно инструмента за время обработки.

Для прогнозирования общей и локальной погрешностей, а также производительности процесса рассчитывали характер распределения пути трения и давления в непрерывно изменяющейся по величине зоне контакта инструмента и детали. С этой целью на обрабатываемой поверхности выделяли  $M_j$  опорных точек, представляющих собой пересечение  $i$ -й концентрической