

### ФОРМИРОВАНИЕ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ ВЫБОРОК В ПОИСКОВО-ОБЗОРНЫХ ОЭС ПЕЛЕНГАЦИИ

В ряде случаев наземным поисково-обзорным оптико-электронным системам (ОЭС) обнаружения летательных аппаратов приходится просматривать всю небесную полусферу. При этом возникает задача оптимизации сетки отсчетов яркости небосвода с целью уменьшения потока цифровой видеoinформации направляемого, на дальнейшее хранение и обработку.

Рассмотрим поисково-обзорную систему, использующую линейку фотоприемников на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) и осуществляющую сканирование небесной полусферы путем вращения оптической системы в вертикальной и горизонтальной плоскостях, как показано на рис. 1.

В вертикальной плоскости оптическая система вращается быстро, а скорость сканирования по азимуту выбирается такой, чтобы существовало незначительное перекрытие получаемых изображений в соседних полосах. При сканировании зависимость направления главной оптической оси объектива от времени в сферической системе координат описывается выражением

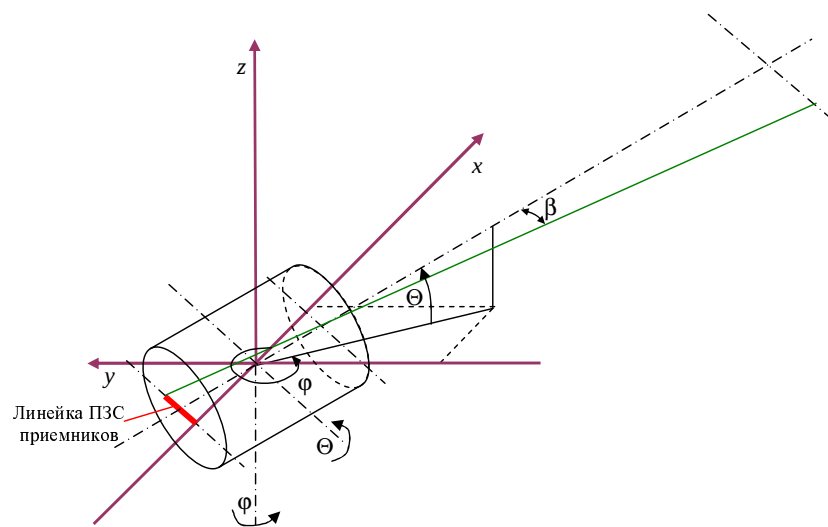


Рис. 1. Схема сканирования небосвода оптической системой с ПЗС линейкой

$$\Psi_0(t_i) = \begin{cases} \Theta(t_i) = \omega_\Theta t_i \\ \varphi(t_i) = \omega_\varphi t_i \end{cases}, \quad (1)$$

а положение оси мгновенного поля зрения  $j$ -го приемника линейки —

$$\Psi_j(t_i) = \begin{cases} \Theta(t_i) = \omega_\Theta t_i \\ \varphi_j(\omega_\varphi, \omega_\Theta, \beta_j, t_i) \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\omega_\Theta$  и  $\omega_\varphi$  — угловые скорости вращения объектива в вертикальной и горизонтальной плоскостях,  $\beta_j$  — угол отклонения направления мгновенного поля зрения  $j$ -го приемника от направления главной оптической оси объектива.

Для получения аналитической зависимости  $\varphi_j(t_i)$  найдем проекции точек выборок каждым из приемников для единичной сферы на плоскость  $xOy$ . На рис. 2 в декартовой и сферической системах координат штриховыми линиями показаны пути (трассы), совершаемые мгновенными полями зрения крайних и центрального приемников линейки по внутренней поверхности сферы с радиусом  $R$  при повороте оптической

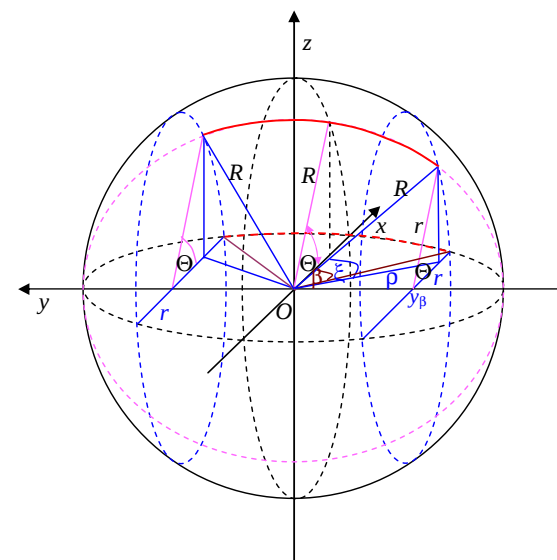


Рис. 2. Изменения положений осей мгновенного поля зрения крайних приемников линейки при вращении объектива только вокруг горизонтальной оси  $Oy$

системы только в вертикальной плоскости. Приемники при вращении объектива вокруг горизонтальной оси просматривают сферу по окружностям, перпендикулярным оси  $Oy$ . Радиусы этих окружностей  $r$  можно найти, если учесть, что  $r_j = R \cos(\beta_j)$ . Величина вектора  $\rho_{ij}$ , описывающего расстояние от центра сферы до  $i$ -й проекции оси  $j$ -го приемника, зависит от  $\Theta_i$  и описывается соотношением

$$\rho = \sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \Theta}. \quad (3)$$

Проекция текущей выборки яркости небосвода на оси декартовой системы координат:  $x_\xi = \rho \cos \xi$ ,  $y_\xi = \rho \sin \xi$ ,  $z_\xi = r \sin \Theta$ . При отсутствии поворота по азимуту  $y_\xi = \text{const} = y_\beta$ . Это позволяет выразить угол  $\xi$  через отношение  $x_\xi / y_\beta$

$$\begin{aligned} \xi &= \text{arccctg} \left( \frac{x_\xi}{y_\beta} \right) = \text{arccctg} \left[ \frac{r \cdot \cos \Theta}{R \cdot \sin \beta} \right] = \\ &= \text{arccctg}(\text{ctg} \beta \cdot \cos \Theta) \end{aligned} \quad (4)$$

и однозначно определить положение оси мгновенного поля зрения  $j$ -го приемника линейки относительно направления главной оптической оси объектива двумя углами:  $\Theta_i$  и  $\xi_{ij}$ . Если система начнет вращаться еще и вокруг вертикальной оси против часовой стрелки, то необходимо к углу  $\xi_{ij}$  добавить угол  $\Delta\varphi$ , соответствующий углу поворота главной оптической оси по азимуту, тогда

$$\Psi_j(t_i) = \begin{cases} \Theta(t_i) = \omega_\Theta t_i \\ \varphi_j(\omega_\varphi t_i) = \text{arccctg}(\text{ctg} \beta_j \cdot \cos \omega_\Theta t_i) + \omega_\varphi t_i \end{cases}. \quad (5)$$

На рис. 3 приведены графические зависимости изменения положения осей крайних и центрального приемников в процессе сканирования, причем масштаб по оси  $Oy$  растянут в 10 раз, что позволило представить траектории движения осей приемников по небосводу в удобном для восприятия виде. Если получаемые отсчеты яркости небосвода записывать по соответствующим координатам, то при сканировании вокруг двух осей получаемая полоса отсчетов будет иметь вид, напоминающий ромб, поскольку координаты выборок по азимуту все время смещаются. Для хранения получаемых значений яркости с целью последующего сравнения между собой кадров, что требуется при обнаружении удаленных объектов, необходимо формировать массивы с удобной координатной сеткой отсчетов.

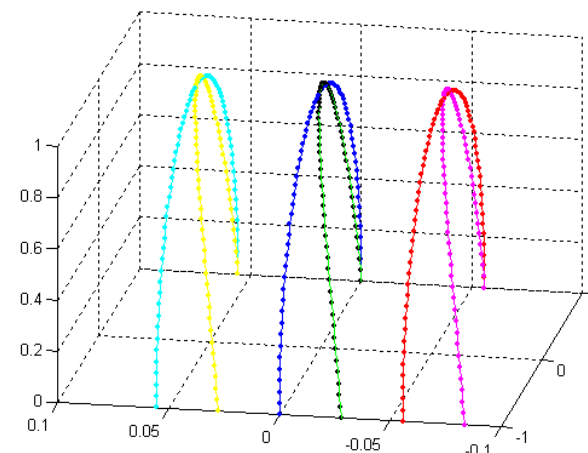


Рис. 3. Изменения осей мгновенного поля зрения крайних и центрального приемников линейки во времени за один полупериод развертки по  $\Theta$  в случаях отсутствия и наличия сканирования по азимуту

Процесс получения данных во время сканирования и последующее их размещение по сетке отсчетов схематично иллюстрирует рис. 4. При приближении к зениту при каждом проходе данные обновляются все в большем диапазоне углов. Поэтому при оптимизации объема хранимых в течение нескольких кадров отсчетов нужно выбирать из текущей полосы получаемых данных только те, которые лежат внутри области ограниченной соответствующими меридианами, как показано на рис. 4, и размещать их в узлах сетки отсчетов, сформированной на полусфере. Использование такого подхода позволяет в  $\pi/2$  раза уменьшить объем требуемой памяти по сравнению с хранением отсчетов в цилиндрической координатной сетке.

Для получения координатной сетки можно полусферу поделить на слои одинаковой толщины, которые расположены параллельно плоскости  $xOy$ , и вычислить соответствующие значения  $\Theta_i$ . Далее каждый слой необходимо поделить по углу  $\varphi$  так, чтобы на сферической поверхности слоя образовывались квадратные площадки, т. е. положить, что длина стороны каждой площадки  $\Delta l = R \Delta \varphi = R \Delta \Theta$  одинакова по всей поверхности полусферы. Тогда число разбиений для каждого слоя будет определяться выражением

$$n_i = \frac{2\pi r}{\Delta l} = \frac{2\pi R \cos \Theta_i}{R \cdot \Delta \Theta} = \frac{2\pi \cos \Theta_i}{\Delta \Theta}, \quad (6)$$

и величина  $\Delta \Phi$  будет зависеть от  $\Theta_i$  следующим образом:

$$\Delta \Phi_i = 2\pi / n_i = \Delta \Theta / \cos \Theta_i. \quad (7)$$

На рис. 5 показан результат создания координатной сетки таким способом, при разбиении полусферы на 21 слой. Количество площадок в каждом слое уменьшается с ростом  $\Theta_i$  и оказывается равным: 82, 81, 80, 79, 77, 75, 72, 69, 65, 61, 57, 52, 47, 42, 36, 31, 25, 19, 13, 6, 1. Видно, что при этом наблюдается сдвиг площадок по азимуту в соседних слоях полусферы.

Из стереометрии известно, что не существует правильных многогранников с числом граней большим 20. Поэтому точно разделить полусферу на многогранники с одинаковыми размерами не удастся. Более упорядоченную структуру сетки отсчетов по сравнению с вышеуказанной можно создать, представив поле обзора с помощью набора гексагонально расположенных элементов. Вписав в сферу икосаэдр и деля проецируемые на его грани поверхности полусферы на четыре одинаковых треугольника, можно разбить поверхность полусферы на 40 треугольных площадок. Продолжая разбивать на одинаковые треугольники уже их и размещая в центрах образующихся на поверхности сферы треугольников узлы сетки отсчетов, получим упорядоченную структуру, пример которой приведен на рис. 6.

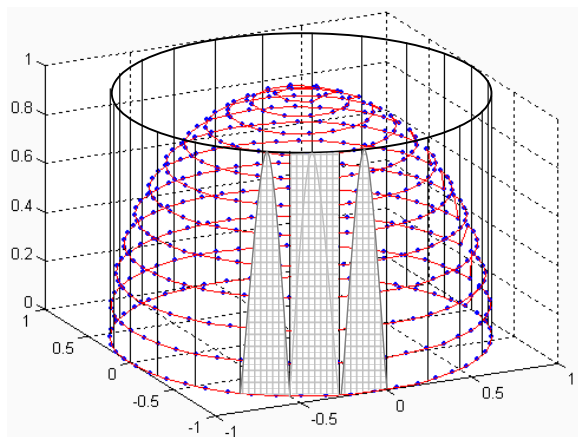


Рис. 4. Изображение небесной полусферы и полос отсчетов яркости, получаемых за четверть периода сканирования по  $\Theta$

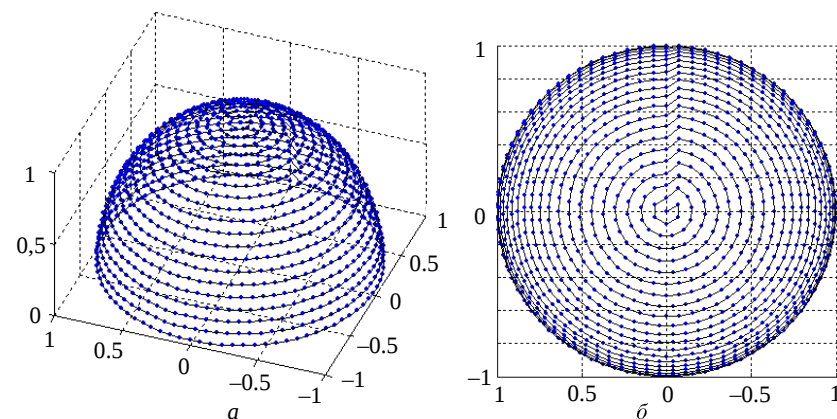


Рис. 5. Пример создания сетки отсчетов при разбиении поверхности полусферы на 21 слой и площадки с одинаковыми размерами ( $a$  – вид сбоку,  $b$  – вид сверху)

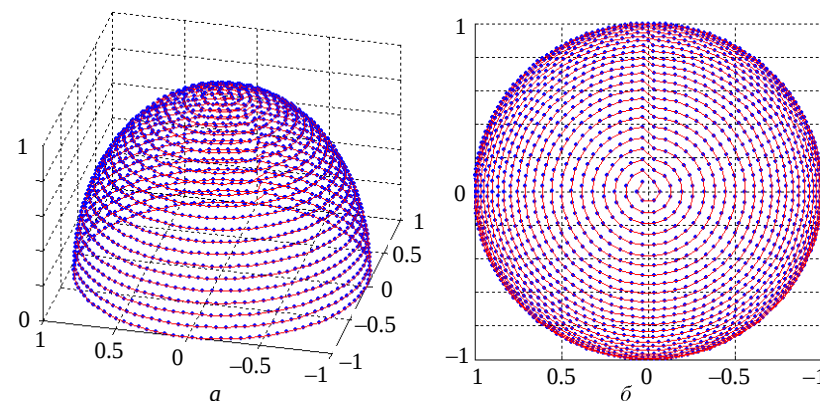


Рис. 6. Сетка отсчетов с упорядоченной структурой ( $a$  – вид сбоку,  $b$  – вид сверху)

Таким образом, размещая получаемые при сканировании отсчеты яркости небосвода в ближайшие узлы сетки с упорядоченной структурой, можно хранить их при минимальном объеме требуемой памяти. Также при упорядоченной структуре упрощается пространственная фильтрация получаемых изображений.