

ОЦЕНКА КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ДИСКРЕТНОМ ИЗОБРАЖЕНИИ ПРИ СРЕДНЕМ ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ КАДРА

Саваневич¹ В.Е., Брюховецкий² А.Б.

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники

²Национальный центр управления и испытаний космических средств

61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ТКС, тел. (057) 702-13-20,

E-mail: domsv1@rambler.ru; факс (057) 702-13-20

Equalization of maximal likelihood verisimilitude for estimation of position of single locomotive object from data of opticelectronic mean of supervision, taking into account presence of effect of moving of object in times of display of shot and fact of sampling of image of object is got.

Введение. При оценке положения одиночного движущегося объекта по данным оптикоэлектронного средства (ОЭС) наблюдения с ПЗС–матрицей [1, 2, 3] часто пренебрегают как эффектом перемещения объекта за время экспозиции кадра так и фактом дискретизации изображения объекта. В статье угловая скорость движения космического объекта считается таковой, что при среднем времени экспозиции кадра изображение объекта на выходе ПЗС–матрицы уже не является размытой точкой, а представляет собой протяженный объект.

Постановка задачи. Предполагается, что объект находится в контролируемой области пространства, а его изображение действительно присутствует в кадре. Объект в картинной плоскости ОЭС движется равномерно по каждой координате:

$$\begin{aligned}\alpha_{\tau} &= \alpha_0 + V_{\alpha}\tau; \\ \beta_{\tau} &= \beta_0 + V_{\beta}\tau,\end{aligned}\tag{1}$$

где τ – время; $\alpha_{\tau}, \beta_{\tau}$ – координаты объекта на момент времени τ ; α_0, β_0 – координаты объекта на начальный момент времени $\tau = 0$; V_{α}, V_{β} – скорость объекта по координатам α и β соответственно.

Координаты падения сигнальных фотонов объекта на ПЗС–матрицу имеют круговое нормальное распределение с изменяющимися во времени математическими ожиданиями (1) и СКО.

Объект одиночный: его изображение в кадре не пересекается с изображением какого-либо другого объекта.

Изображение объекта является протяженным: за время экспозиции объект проходит расстояние, которым нельзя пренебречь.

При этом наблюдению, регистрации доступны напряжения на выходе $N_{\text{ПЗС}}$ дискрет ПЗС–матрицы, которые легко можно привести к опытным относительным частотам попадания фотонов в ik -й дискрет ПЗС–матрицы в t -м кадре v_{ikt}^* . Теоретическим аналогом опытных относительных частот являются вероятности попадания фотонов в ik -й дискрет ПЗС–матрицы с границами α_{ni}, α_{ki} по координате α и β_{nk}, β_{kk} – по координате β на t -м кадре за время экспозиции t -го кадра:

$$v_{ikt}(\Theta) = \frac{1}{\Delta} \int_{\alpha_{ni}}^{\alpha_{ki}} \int_{\beta_{nk}}^{\beta_{kk}} \int_{\tau_t - \Delta/2}^{\tau_t + \Delta/2} f(\alpha, \beta, \tau) d\alpha d\beta d\tau,\tag{2}$$

где Δ – время экспозиции кадра; τ_t – время привязки t -го кадра.

Напряжения на выходе дискрет ПЗС–матрицы независимы.

Итак, необходимо на основе совокупности значений v_{ikt}^* и принятых моделей движения объектов и их изображения на ПЗС–матрице ОЭС синтезировать процедуру максимально правдоподобной оценки местоположения объекта на t -м кадре. Совокупность

оцениваемых параметров Θ включает в себя прежде всего параметры местоположения объекта α_t, β_t на момент привязки кадра τ_t . Также, в множество оцениваемых параметров могут быть внесены скорости объекта V_α, V_β .

Разработка решающего правила оценки местоположения объекта на дискретном изображении. Общий вид уравнений, входящих в систему уравнений максимального правдоподобия известен:

$$\sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} \frac{v_{ikt}^*}{v_{ikt}(\Theta)} \frac{\partial v_{ikt}(\Theta)}{\partial \theta_m} = 0 \quad (3)$$

где θ_m – m -й оцениваемый параметр.

При использовании процедур численного интегрирования выражения для вероятностей и производных, входящих в систему уравнений максимального правдоподобия (3), примут вид:

$$\begin{aligned} v_{ikt} &= \frac{1}{\Delta} \int_{\tau_t - \Delta/2}^{\tau_t + \Delta/2} F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau); \sigma_\alpha^2) d\tau = \\ &= \frac{1}{\Delta} \frac{\Delta}{N} \sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau_n); \sigma_\alpha^2) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{dv_{ikt}}{d\alpha_t} = \frac{1}{\Delta \sigma_\alpha^2} \frac{\Delta}{N} \sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau_n); \sigma_\alpha^2) (m_{\alpha_i}^{лок} - \alpha_t - V_\alpha(\tau_t - \tau_n)) \quad (5)$$

$$\frac{dv_{ikt}}{d\beta_t} = \frac{1}{N \sigma_\beta^2} \sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau_n); \sigma_\alpha^2) (m_{\beta_i}^{лок} - \beta_t - V_\beta(\tau_t - \tau_n)) \quad (6)$$

$$\frac{dv_{ikt}}{dV_\alpha} = \frac{1}{N \sigma_\alpha^2} \sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau); \sigma_\alpha^2) (\tau_t - \tau_n) (m_{\alpha_i}^{лок} - \alpha_t - V_\alpha(\tau_t - \tau_n)) \quad (7)$$

$$\frac{dv_{ikt}}{dV_\beta} = \frac{1}{N \sigma_\beta^2} \sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau); \sigma_\alpha^2) (\tau_t - \tau_n) (m_{\beta_i}^{лок} - \beta_t - V_\beta(\tau_t - \tau_n)) \quad (8)$$

где

$$m_{\alpha_i}^{лок} = \frac{1}{F_{\alpha i}(m_{\alpha_i}; \sigma_\alpha^2)} \int_{\alpha_{hi}}^{\alpha_{ki}} \alpha N_\alpha(m_\alpha; \sigma_\alpha^2) d\alpha = m_{\alpha_i} + \frac{\sigma_\alpha^2}{F_{\alpha i}(m_{\alpha_i}; \sigma_\alpha^2)} (N_{\alpha_{ki}}(m_{\alpha_i}; \sigma_\alpha^2) - N_{\alpha_{hi}}(m_{\alpha_i}; \sigma_\alpha^2)) -$$

локальное математическое ожидание случайной величины α на интервале $[\alpha_{hi}, \alpha_{ki}]$; $\tau_n = \tau_t + \Delta(n/N - 0.5)$ – начало интервала численного интегрирования по времени; N – количество интервалов численного интегрирования по времени; ψ_n – коэффициент численного интегрирования.

С учетом (4), (5), (6), уравнения максимального правдоподобия для оценки координат положения объекта можно записать:

$$\alpha_t = \sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (m_{\alpha_i}^{лок} - V_\alpha(\tau_t - \tau_n)), \quad (9)$$

$$\beta_t = \sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (m_{\beta_i}^{лок} - V_\beta(\tau_t - \tau_n)), \quad (10)$$

где

$$g_{ik} = \frac{\psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau_n); \sigma_\alpha^2)}{\sum_{n=0}^N \psi_n F_{\beta k}(\beta_t + V_\beta(\tau_t - \tau_n); \sigma_\beta^2) F_{\alpha i}(\alpha_t + V_\alpha(\tau_t - \tau_n); \sigma_\alpha^2)}. \quad (11)$$

В свою очередь, с учетом (4), (7), (8), уравнения максимального правдоподобия для внутрикадровой оценки линейных скоростей объекта можно записать в виде:

$$V_{\alpha} = \frac{\sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (m_{\alpha_i}^{лок} - \alpha_t)(\tau_t - \tau_n)}{\sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (\tau_t - \tau_n)^2}, \quad (12)$$

$$V_{\beta} = \frac{\sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (m_{\beta_i}^{лок} - \beta_t)(\tau_t - \tau_n)}{\sum_{i,k}^{N_{ПЗС}} v_{ikt}^* \sum_{n=0}^N g_{ik} (\tau_t - \tau_n)^2}. \quad (13)$$

Выводы. Научная новизна предложенных результатов заключается в определении системы уравнений максимального правдоподобия оценки параметров местоположения одиночного объекта по данным оптико-электронного средства наблюдения с ПЗС-матрицей при среднем времени экспозиции кадра и линейной модели движения объекта в картинной плоскости оптического прибора ОЭС с известной дисперсией координат падения фотонов, состоящей из уравнений (9), (10), (12), (13). Практическая значимость полученных результатов определяется возможностью более точного определения координат космических объектов за счет учета факта протяженности их дискретных изображений путем решения системы уравнений методом последовательных приближений. Дальнейшие исследования предполагается сконцентрировать на экспериментальных исследованиях свойств получаемых оценок.

Литература

1. Саваневич В.Е. Определение координат статистически зависимых объектов на дискретном изображении // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 1. – С. 4 – 8.
2. Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Шульга А.В. Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. – М.: ИНАСАН, 2000. – С. 361 – 371.
3. Козырев Е.С., Сибирякова Е.С., Шульга А.В. Регулярные наблюдения геостационарных спутников комбинированным ПЗС – методом // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 5. – С. 39 – 45.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТРОПОСФЕРЫ И ОСВЕЩЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ

И.В. Луценко

Институт радиофизики и электроники им. А.Я.Усикова НАН Украины,

61085, Харьков, ул.Академика Проскуры, тел.: (8093) 123-18-85;

E-mail: irene-lutsenko@ukr.net

In this project the basic opportunity of using the radiation of TV-stations and navigation satellites GPS for the troposphere diagnostic, and the radiation of broadcasting stations SW band for illumination of the air situation, has been shown

Введение. Эффективность работы радиотехнических систем различного назначения зависит от условий распространения радиоволн, определяемых состоянием атмосферной рефракции. Основой для определения параметров приземного слоя тропосферы может быть метод радио просвечивания [1]. Предпосылкой метода является связь между искажениями параметров сигнала при движении источника и мерой атмосферной рефракции. При работе над морем, из-за сильных отражений от поверхности раздела, используется интерференционный вариант метода, при котором принятый от ИСЗ сигнал приобретает лепестковый характер в виде чередующихся максимумов и минимумов.

Сложнее обстоят дела при диагностике тропосферной рефракции над поверхностью суши, которая отличается от морской поверхности существенно большей неоднородностью, из-за изменчивости ее электрофизических характеристик и наличия растительности, а также обладает существенной шероховатостью. На море наличие провалов в интерференционной структуре поля определяется взаимодействием прямого сигнала, зеркально отраженного от поверхности моря и приподнятых инверсионных слоев. Над сушей поле в точке приема формируется, кроме того, еще случайными, диффузными отражениями от ее неровностей. При движении спутника по орбите может происходить смена диффузных рассеивателей, что усложняет получаемую интерференционную картину поля и делает невозможным по ней восстановление профиля коэффициента преломления.

Метод радиопросвечивания атмосферы с использованием излучения ИСЗ обеспечивает измерение параметров тропосферы с периодом обсервации спутников. Использование сигналов, излучаемых телевизионными центрами, позволяет осуществить непрерывный контроль состояния тропосферы, являясь хорошим дополнением к спутниковым методам диагностики.

В настоящей работе приводятся примеры использования излучений телевизионных центров [2], искусственных спутников Земли [3], для диагностики приземного слоя тропосферы и сигналов вещательных станций для освещения воздушной обстановки [4].

1. Использование сигналов телевизионных центров и ИСЗ для оценки состояния тропосферы. Существует большое количество теоретических и экспериментальных работ по исследованию множителя ослабления ЭМ поля на загоризонтных трассах и влияния на него состояния тропосферы. Однако для оценки рефракционных показателей тропосферы основной интерес представляет решение обратной задачи: определение эффективных градиентов коэффициента преломления по множителю ослабления ЭМ поля. Часто для определения напряженности поля a , следовательно, и множителя ослабления в области тени, с учетом параметров подстилающей поверхности, используют метод Введенского. Установлено, что в диапазоне УКВ при не слишком малых высотах расположения антенн экспоненциальный характер зависимости множителя ослабления V характерен не только для зоны тени, но и для зоны до радиогоризонта $R_{\text{пр}}$. Удовлетворительную оценку V в этих областях дает соотношение [5]:

$$V[\text{дБ}] = V_0[\text{дБ}] - 17,1\sqrt{Y_1} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right)(\xi - 1), \quad (1)$$