

УДК 621.391.812.3; 621.371.3; 681.7.08

Б.И. Авдоченко

Моделирование уровня инфракрасного подсвета по трассе наблюдения телевизионного датчика

Разработана модель изменения уровня подсвета на сложной трассе наблюдения телевизионного датчика.

Ключевые слова: инфракрасная подсветка, сложные условия наблюдения, коэффициент обратного отражения.

Введение

При проектировании различных активно-импульсных систем видеонаблюдения, предназначенных для работы в сложных метеоусловиях, необходимо определить мощность источника инфракрасного подсвета для равномерного освещения объектов наблюдения, находящихся в разных условиях и на разных расстояниях от места установки телевизионного датчика [1]. Из-за отражения и рассеяния оптического сигнала от микрочастиц тумана, дыма, дождевых капель и т.д. уровень освещенности снижается, соответственно с увеличением расстояния от точки наблюдения должна быть повышена мощность импульса подсвета. Критерием требуемой зависимости необходимой мощности импульса подсвета от расстояния является уровень и динамический диапазон яркостей от объектов наблюдения. Фоновая составляющая видеоизображения, определяемая отражением от оптических неоднородностей до зоны наблюдения, существенно зависящая от метеоусловий, может быть скомпенсирована при использовании метода пространственной селекции.

Установка уровня необходимой мощности импульса подсвета на основе анализа яркости кадра изображения, соответствующего изменяющейся дальности наблюдения, не является оптимальной. Требуется установка необходимого динамического диапазона яркостей только для объекта наблюдения, а не от всех объектов, находящихся в данном кадре.

Необходимая зависимость мощности источника подсвета от расстояния до зоны наблюдения определяется затуханием инфракрасного (ИК) сигнала и может быть определена путем измерения уровня отраженного ИК-сигнала до зоны наблюдения. Разрабатываемая модель отражает связь коэффициента обратного отражения с затуханием ИК-сигнала при прохождении по трассе наблюдения и используется при проектировании телевизионных датчиков.

Модель оптических свойств трассы наблюдения

Рассмотрим упрощенную схему прохождения ИК-сигнала подсвета объекта по трассе, приведенную на рис. 1.

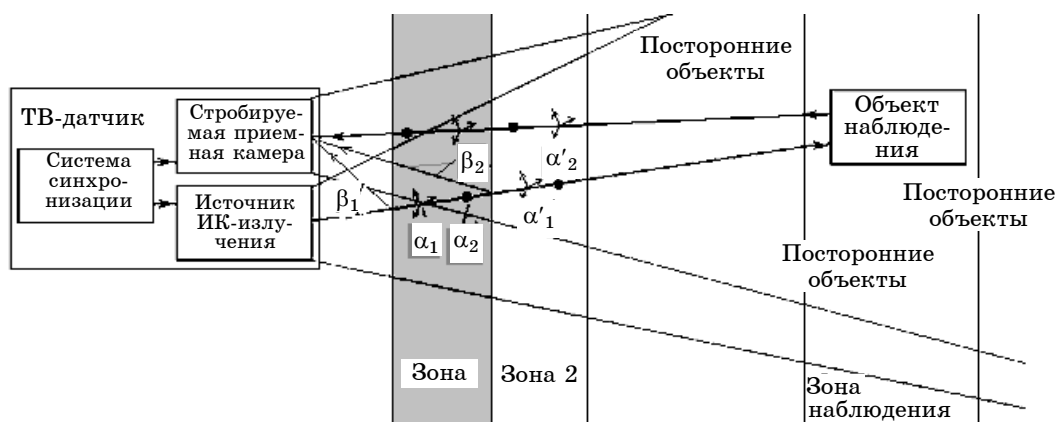


Рис. 1. Схема прохождения импульса подсвета по трассе наблюдения

Проходя по среде распространения, при входе в зону 1 ИК-сигнал отражается от оптических неоднородностей и возвращается к телевизионному (ТВ) датчику с коэффициентом обратного отражения β , где может быть измерен. Трассовая зависимость коэффици-

ента обратного отражения определяется по временной зависимости уровня отраженного сигнала.

Затухание ИК-сигнала в зоне 1 зависит от коэффициента потерь в среде α , определяемого коэффициентом рассеяния от микрочастиц α_1 и коэффициентом поглощения α_2 . Все эти коэффициенты взаимосвязаны и определяются размерами и количеством аэрозольных частиц. При известном размере неоднородностей по уровню отраженного сигнала β можно определить коэффициент рассеяния α_1 и коэффициент поглощения α_2 .

В ближнем ИК-диапазоне ослабление уровня излучения вызвано в основном аэрозольным рассеянием, а аэрозольным поглощением, молекулярным рассеянием и молекулярным поглощением можно пренебречь [2]. С незначительной погрешностью можно установить однозначную связь между коэффициентом обратного отражения β и коэффициентом рассеивания [2]

$$\beta = \frac{\alpha_1}{4\pi}.$$

Коэффициент ослабления уровня излучения за счет аэрозольного рассеяния зависит от длины волны λ и расстояния l до объекта наблюдения

$$K(\lambda, l) = \exp \alpha_1(\lambda, l).$$

В случае постоянных метеоусловий на трассе наблюдения величина коэффициента потерь среды α ориентировочно может быть определена без проведения экспериментальных измерений, по метеорологической дальности видимости S_M в зоне наблюдения [2]:

$$\alpha = \frac{3,91}{S_M} \left(\frac{550}{\lambda} \right)^{0,585 \times \sqrt[3]{S_M}},$$

где метеорологическая дальность S_M , измеренная на длине волны 550 нм, выражена в километрах; длина волны ИК-излучения λ – в нанометрах; коэффициент потерь α – в обратных километрах.

При расчете истинных значений коэффициентов обратного отражения необходимо учитывать влияние потерь и расстояния до точки отражения. Протяженность зоны 1 и потери на аэрозольное рассеяние ИК-сигнала в этой зоне определяются временем прохождения до следующей оптической неоднородности (зоны 2, рис. 1), в которой потери определяются с другими коэффициентами.

Изменение коэффициента обратного отражения с расстоянием в случае однократного рассеяния описывает основное лидарное уравнение [3]

$$S(l) = \frac{S_0 A(l) Q(l) \exp(-2\alpha \cdot l)}{l^2}, \quad (1)$$

где S_0 – сигнал от поверхности тест-объекта; $A(l)$ – эффективная апертура передающего канала; $Q(l)$ – геометрический форм-фактор поля зрения и зондирующего пучка; l – расстояние до поверхности тест-объекта, находящегося в непосредственной близости от лидара.

Коэффициенты S_0 и $Q(l)$ для имеющейся измерительной системы несложно определить методом калибровки при расположении тест-объекта с известными отражающими свойствами на фиксированном расстоянии.

Если схема зондирования идеальная ($\alpha = 0$, $Q(l) = 1$) и тест-объект находится на дистанции, для которой $A(l) = 1$, то выражение (1) преобразуется к виду

$$S(l) = \frac{S_0}{l^2}.$$

В реальных условиях зоны с постоянными значениями коэффициентов обратного отражения и рассеяния встречаются редко, чаще всего на трассе работы ТВ-датчика наблюдаются плавные изменения коэффициентов. Значения коэффициентов ослабления при прохождении такой трассы на расстоянии R определяются на основе интегральных соотношений:

$$\alpha(R) = 4\pi \int_0^R \beta(\lambda, l) dl$$

или путем ступенчатой аппроксимации зависимости $\beta(l)$.

Моделирование затухания ИК-сигнала

В качестве основы разрабатываемой модели положена зависимость уровня отраженного оптического сигнала от времени, полученная с помощью импульсного инфракрасного передатчика и приемника на лавинном фотодиоде с усилителем электрического сигнала. Подобная измерительная система является упрощенным вариантом лидара, поэтому при расчетах справедливы соотношения, полученные при лазерных зондированиях атмосферы.

На рис. 2 приведена структурная схема измерения оптических неоднородностей на трассе наблюдения.

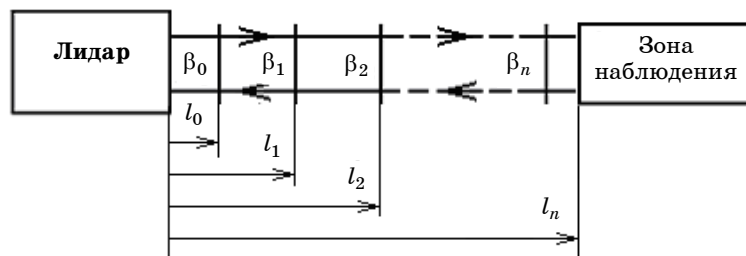


Рис. 2. Структурная схема измерения оптических неоднородностей: $\beta_0 \dots \beta_n$ – коэффициенты обратного отражения, $l_0 \dots l_n$ – расстояние от лидара до неоднородностей

Калибровка измерительной системы производится путем установки на расстоянии l_0 мишени, размеры и отражающие свойства которой известны. Производятся измерения уровня отраженного сигнала от поверхности тест-объекта и определение коэффициента обратного отражения β_0 , которому соответствует переходная характеристика на выходе фотоприемника лидара $h_0(t + T_0)$. Здесь временная задержка $T_0 = \frac{2l_0}{C}$, где C – скорость света. Калибровка позволяет исключить из дальнейших измерений оптические и электрические характеристики инфракрасного приемопередатчика. После калибровки снимается нормированная временная характеристика отражающих свойств трассы $\hat{h}(t)$ путем регистрации уровня отраженного обратно сигнала.

Как показано в [3], для аппроксимации временной характеристики трассы в качестве ортогональной функции используется временное окно

$$Q_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } i\Delta t \leq t < (i+1)\Delta t, \\ 0 & \text{при } t < i\Delta t \text{ или } t \geq (i+1)\Delta t. \end{cases}$$

Для этого временной интервал, соответствующий расстоянию до зоны наблюдения, разбивается на n интервалов длительностью Δt , затем, используя функцию $Q_i(t)$, последовательно определяются значения переходной характеристики и изменения переходной характеристики в виде

$$\hat{h}_{i+1}(t) = \hat{h}_i(t) + \Delta \hat{h}_{i+1}(t),$$

где $\Delta \hat{h}_{i+1}(t) = \hat{h}_{i+1}(t) - \hat{h}_i(t)$ – изменение переходной характеристики при переходе от временного интервала i к интервалу $i+1$.

Проведя нормировку полученной рефлектограммы относительно значения переходной характеристики в момент времени t_0 , что соответствует расположению зеркально отражающей плоскости вблизи измерительной системы, получим временную зависимость коэффициента отражения среды в следующем виде:

$$\Delta \hat{h}_k(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \hat{h}_0(t + t_n).$$

Отметим, что полученное выражение позволяет учесть не только атмосферные условия, но и наличие любых предметов на трассе, уменьшающих освещенность в зоне наблюдения.

Действительное значение коэффициента обратного отражения с учетом расстояния и рассеяния на неоднородностях определяется из основного лидарного уравнения (1):

$$\Delta \hat{h}_i(t_i) = \beta_i(l_i) \exp(-2\alpha_{i-1} \cdot l_{i-1} / l_i^2),$$

где $l_i = C \cdot t_i / 2$, $\alpha_{i-1} = \alpha(l_{i-1})$, $\alpha_i = 4\pi\beta_i$, откуда находим

$$\beta_i(l_i) = \Delta \hat{h}_i(t_i) \cdot C^2 t_i^2 \exp 2\alpha_{i-1} l_{i-1}. \quad (2)$$

По этим выражениям можно построить структурную модель, описывающую свойства среды до зоны наблюдения, приведенную на рис. 3.

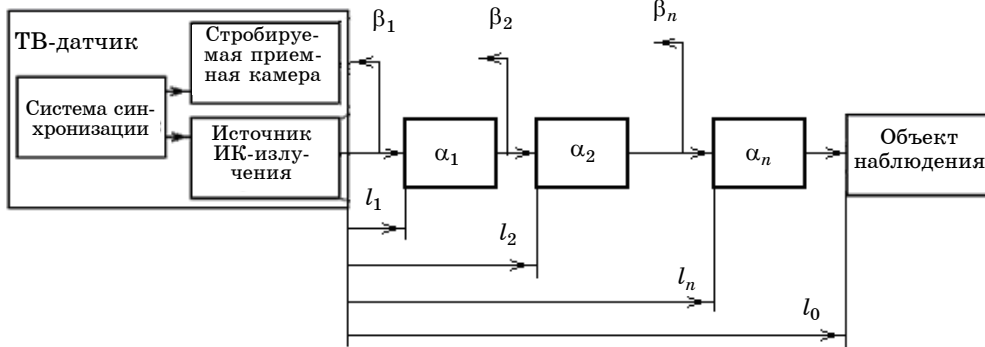


Рис. 3. Структурная модель среды распространения импульса подсвета

Достоинством рассматриваемой модели является возможность рассмотрения независимого влияния каждого элемента модели на результирующую характеристику.

В качестве иллюстрации рассмотрим временную зависимость отраженного сигнала от времени, построенную с учетом потерь на трассе, приведенную на рис. 4.

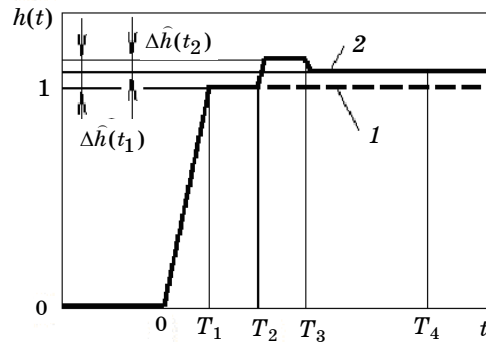


Рис. 4. Зависимость сигнала на выходе фотоприемника от времени

Временной интервал от 0 до T_1 используется для калибровки лидара. Время перехода от уровня 0 до уровня 1 соответствует свёртке переходной характеристики оптического импульса излучения с переходной характеристикой фотоприемника, уровень 1 соответствует динамическому диапазону устройства. На интервале времени $T_1 - T_2$ потери на трассе отсутствуют, интервал времени $T_2 - T_3$ соответствует прохождению участка трассы с густым туманом, а интервал $T_3 - T_4$ соответствует участку трассы со слабым туманом. Граница расположения объекта наблюдения соответствует времени T_4 .

Аппроксимируя внутри каждого временного интервала Δt изменения переходной характеристики $\Delta h(t)$ ступенчатой функцией с постоянными значениями внутри интервала, получим выражение

$$\hat{h}(t) = \hat{h}_0(t) + \Delta \hat{h}_1(t - T_2) + \Delta \hat{h}_2(t - T_3).$$

По результатам проведенных измерений, с учетом формулы (2), строится математическая модель затухания на трассе. Для расстояния до зоны наблюдения, соответствующего времени T_4 , затухание описывается следующим выражением:

$$\alpha_4 = \prod_{i=1}^3 4\pi \Delta \hat{h}_i(t_i) \cdot C^2 t_i^2 \exp 2\alpha_{i-1} l_{i-1}.$$

Заключение

Разработана модель изменения уровня инфракрасного подсвета при сложной трассе наблюдения телевизионного датчика. Модель позволяет по уровню обратного отражения от неоднородностей трассы определить затухание и протяженность каждой зоны с разными метеословиями и общее затухание до зоны наблюдения.

Литература

1. Пустынский И.Н. К оценке чувствительности и разрешающей способности телевизионных датчиков / И.Н. Пустынский, Ю.Р. Кирпиченко // Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 5–9.
2. Савин А.В. Доплеровские метеолидары для систем обеспечения вихревой безопасности полетов / А.В. Савин, М.А. Коняев // Метеоспектр. – 2008. – № 1. – С. 147–152.
3. Арумов Г.П. Проблемы использования уравнения переноса излучения в задачах дистанционного зондирования рассеивающих сред / Г.П. Арумов, А.В. Бухарин, Н.С. Ерохин. – Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/vol2/015-019.pdf, свободный.
4. Ильюшенко В.Н. Пикосекундная импульсная техника / В.Н. Ильюшенко, Б.И. Авдоченко, В.Ю. Баранов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.

Авдоченко Борис Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-33-65

Эл. почта: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru

B.I. Avdochenko

Infra-red illuminate level modeling on supervision line of the television gauge

The model of the level of illumination change at the complex route tracking of the TV sensor is developed.

Keywords: complex weather conditions, infrared illumination signal, back-reflection-factor.
