

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ВИДЕНИЯ НА НАКЛОННЫХ ТРАССАХ

В. А. Горобец, Б. Ф. Кунцевич, И. Н. Пучковский, С. С. Шавель

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by

В последнее время большое внимание уделяется разработке активно-импульсных систем видения (АИСВ) применительно к решению ряда конкретных задач в воздушной среде и под водой, а также дальнейшему расширению их функциональных возможностей (получение трехмерных изображений и другие вопросы) (см., например, [1–4]). Напомним, что действие АИСВ основано на импульсном подсвете объектов лазерным излучением и синхронизированным с ним включением с определенной задержкой $\Delta t_{\text{зад}}$ на короткое время (стробированием) приемной части. В приемной части в качестве усилителя и быстродействующего затвора обычно используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП).

Несмотря на сравнительно длительный период развития, в литературе практически отсутствуют систематические и всесторонние исследования закономерностей формирования изображения в АИСВ и основанные на их результатах рекомендации по алгоритмам точного определения расстояний до объектов. Исключение составляют публикации [5, 6], где такие исследования выполнены для двух частных случаев при наблюдении на горизонтальной трассе. Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей формирования изображения в АИСВ при наблюдении на наклонных трассах.

При наблюдении на наклонных трассах, аналогично случаю горизонтальных трасс [5, 6], можно в пределах лазерного пучка подсветки выделить четыре характерных луча (рис. 1): $L_{\text{нач}}$ и $L_{\text{кон}}$ – длины лучей до начальной (ближней) и конечной (дальней) точек зоны видимости на поверхности земли; $L_{\text{нач-100\%}}$ и $L_{\text{кон-100\%}}$ – длины лучей до начальной (ближней) и конечной (дальней) точек, соответствующих регистрации 100% энергии лазерного импульса подсветки, достигшего приемной системы после отражения от объекта (поверхности земли).

Физическое объяснение образования характерных лучей дано на рис. 2. С помощью прямоугольников 1 условно изображен приемный блок (ЭОП). Прямоугольники 2 со стрелкой соответствуют отдельным элементарным лучам лазерного пучка подсветки, которые отразились от определенных точек зоны видимости и возвращается в приемную систему. Штриховая линия X_0 обозначает начало отсчета расстояния и совпадает с поверхностями излучающей и приемной частей системы. Бли-

жайшая штриховая линия удалена от X_0 на расстояние $c\Delta t_{\text{ЭОП}}$, где c – скорость света, $\Delta t_{\text{ЭОП}}$ – длительность строб-импульса. Штриховая линия L_i соответствует расстоянию $L_i = c\Delta t_{\text{зад-упр}}/2$, которое обычно отображается на пульте управления. Отметим, что $\Delta t_{\text{зад}} = \Delta t_{\text{зад-упр}} + \Delta t_{\text{зад-х}}$, где $\Delta t_{\text{зад-упр}}$ – известная величина, определяемая управляющими импульсами, а $\Delta t_{\text{зад-х}}$ – как правило неизвестно. На рис. 2 все случаи соответствуют моменту времени $t_{\text{ЭОП-вкл}}^{\text{упр}}$, а $\Delta t_{\text{зад-х}} = 0$.

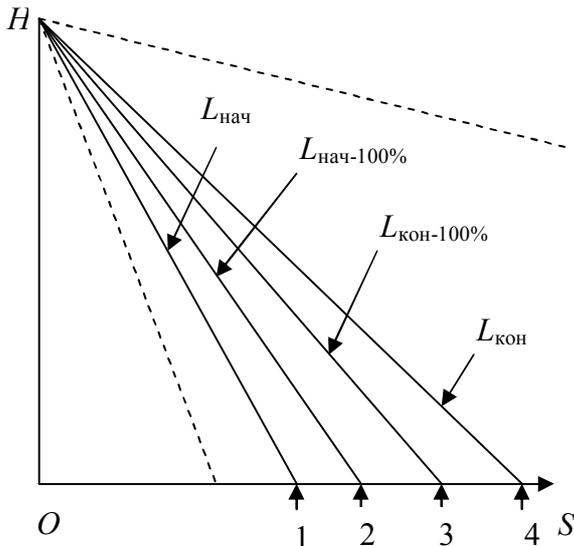


Рис. 1. Характерные элементарные лучи (сплошные линии) лазерного импульса подсветки. Пунктирные линии изображают угол лазерной подсветки, который равен углу зрения приемной системы

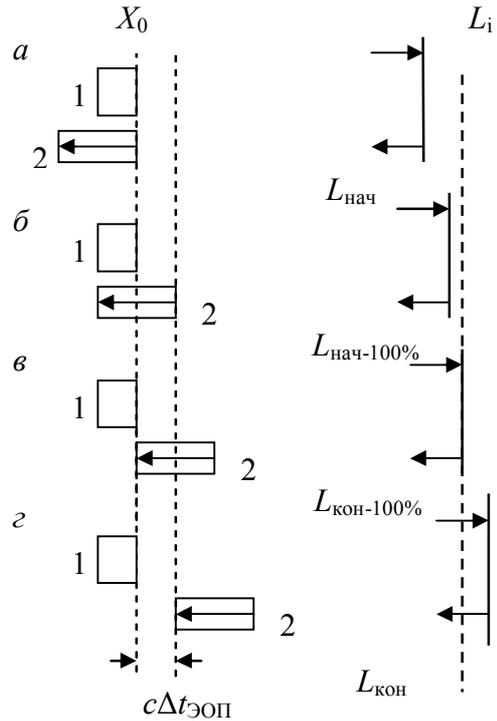


Рис. 2. Схема для пояснения образования характерных лучей

Из геометрии рис. 2, а для переднего фронта лазерного луча можно записать: $L_{\text{нач}} + L_{\text{нач}} + c\Delta t_{\text{лаз}} = c(\Delta t_{\text{зад-упр}} + \Delta t_{\text{зад-х}})$, где $\Delta t_{\text{лаз}}$ – длительность импульса лазерной подсветки. Учитывая, что $c\Delta t_{\text{зад-упр}} = 2L_i$, получаем: $L_{\text{нач}} = L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$. Для рис. 2, б: $L_{\text{нач-100\%}} + L_{\text{нач-100\%}} - c\Delta t_{\text{ЭОП}} + c\Delta t_{\text{лаз}} = c(\Delta t_{\text{зад-упр}} + \Delta t_{\text{зад-х}})$. Отсюда получаем: $L_{\text{нач-100\%}} = L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{ЭОП}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$. Изображенная на рис.2, в предельная ситуация соответствует случаю: $L_{\text{кон-100\%}} + L_{\text{кон-100\%}} = c(\Delta t_{\text{зад-упр}} + \Delta t_{\text{зад-х}})$, откуда: $L_{\text{кон-100\%}} = L_i + c\Delta t_{\text{зад-х}}/2$. В пределе конечной точке зоны видимости соответствует си-

туация, приведенная на рис. 2, c : $L_{\text{кон}} + L_{\text{кон}} - c\Delta t_{\text{ЭОП}} = c(\Delta t_{\text{зад-упр}} + \Delta t_{\text{зад-х}})$. Из данного выражения следует: $L_{\text{кон}} = L_i + c(\Delta t_{\text{ЭОП}} + \Delta t_{\text{зад-х}})/2$. В таблице приведены полученные аналогичным образом выражения для характерных расстояний для различных соотношений между $\Delta t_{\text{лаз}}$ и $\Delta t_{\text{ЭОП}}$, а также длины характерных участков $\Delta L_{\text{ЗВ}} = L_{\text{кон}} - L_{\text{нач}}$, $\Delta L_{100\%} = L_{\text{кон-100\%}} - L_{\text{нач-100\%}}$, $\Delta L_{\text{фр}} = L_{\text{нач-100\%}} - L_{\text{нач}}$, $\Delta L_{\text{сп}} = L_{\text{кон}} - L_{\text{кон-100\%}}$

Таблица

Формулы для расчета характерных расстояний и длин участков

	$\Delta t_{\text{лаз}} > \Delta t_{\text{ЭОП}}$	$\Delta t_{\text{лаз}} < \Delta t_{\text{ЭОП}}$	$\Delta t_{\text{лаз}} = \Delta t_{\text{ЭОП}}$
Характерные расстояния (дистанции)			
$L_{\text{нач}}$	$L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$
$L_{\text{нач-100\%}}$	$L_i - c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{ЭОП}} - \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$L_i + c\Delta t_{\text{зад-х}}/2$	$L_{\text{нач-100\%}} = L_{\text{кон-100\%}} =$
$L_{\text{кон-100\%}}$	$L_i + c\Delta t_{\text{зад-х}}/2$	$L_i + c(\Delta t_{\text{ЭОП}} - \Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$= L_i + c\Delta t_{\text{зад-х}}/2$
$L_{\text{кон}}$	$L_i + c(\Delta t_{\text{ЭОП}} + \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$L_i + c(\Delta t_{\text{ЭОП}} + \Delta t_{\text{зад-х}})/2$	$L_i + c(\Delta t_{\text{ЭОП}} + \Delta t_{\text{зад-х}})/2$
Длины характерных участков			
$\Delta L_{\text{ЗВ}}$	$c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{ЭОП}})/2$	$c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{ЭОП}})/2$	$c(\Delta t_{\text{лаз}} + \Delta t_{\text{ЭОП}})/2$
$\Delta L_{100\%}$	$c(\Delta t_{\text{лаз}} - \Delta t_{\text{ЭОП}})/2$	$c(\Delta t_{\text{ЭОП}} - \Delta t_{\text{лаз}})/2$	–
$\Delta L_{\text{фр}}$	$c\Delta t_{\text{ЭОП}}/2$	$c\Delta t_{\text{лаз}}/2$	$c\Delta t_{\text{лаз}}/2$
$\Delta L_{\text{сп}}$	$c\Delta t_{\text{ЭОП}}/2$	$c\Delta t_{\text{лаз}}/2$	$c\Delta t_{\text{ЭОП}}/2$

Для проверки аналитических выражений для характерных расстояний, приведенных в таблице, были выполнены их экспериментальные измерения с помощью АИСВ. Анализ показал качественное и количественное их совпадение с точностью 1–2 пространственных шага стробирования.

Таким образом, аналитически и экспериментально показано, что при наблюдении на наклонной трассе в пределах пучка лазерной подсветки можно выделить четыре характерных луча определенной длины: $L_{\text{нач}}$, $L_{\text{нач-100\%}}$, $L_{\text{кон-100\%}}$ и $L_{\text{кон}}$. Дана физическая интерпретация их возникновения. Экспериментальные измерения подтвердили справедливость полученных аналитических выражений.

1. Белоконев В. М., Волков В. Г., Саликов В. Л. // Прикл. физика. 2013. № 4. С. 16–22.
2. Laurenzis M. and Bacher E. // Applied Optics. 2011. Vol. 50. P. 3824–3828.
3. Xinwei Wang, Li Youfu, and Zhou Yan. // Applied Optics. 2013. Vol. 52. P. 7399–7406.
4. Piszczek M. // Acta Physica Polonica. 2013. Vol. A 124. P. 546–549.
5. Горобец В. А., Кабанов В. В., Кабашиников В. П. и др. // ЖПС. 2014. Т. 81, № 2. С. 283–291.
6. Горобец В. А., Кабанов В. В., Кабашиников В. П. и др. // ЖПС. 2015. Т. 82, № 1. С. 68–75.