

Косяков А.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

Обнаружение объекта на изображении в присутствии фона и шумовых помех

В настоящее время большое внимание уделяется системам видеонаблюдения в оптическом и инфракрасном диапазонах.[1] Особенности современного противовоздушного боя является непрерывное ведение противником радиоэлектронной разведки в сочетании с интенсивным применением искусственных помех оптического и радиодиапазонов, средств высокоточного оружия и проведением боевых действий в темное время суток. Эффективность зенитно-ракетных комплексов в этих условиях в значительной степени определяется возможностями информационных каналов. Современные зенитно-ракетные комплексы имеют оптические каналы, работающие в видимом или инфракрасном диапазонах длин волн. В исследованиях будем ориентироваться на работу инфракрасного комплекса наблюдения в составе перспективной управляемой ракеты с головкой самонаведения, которая предназначена для поражения высокоскоростных воздушных целей.

Цель доклада – рассмотреть принцип обнаружения яркостного точечного слабоконтрастного объекта на фоне нестационарного коррелированного фона при стабилизации вероятности ложной тревоги в условиях воздействия дополнительных шумов.

При синтезе статистически оптимальных устройств необходимо определить критерий, в соответствии с которым будет оптимизирована система. При фиксированном времени наблюдения наиболее используемым критерием на практике является критерий Неймана – Пирсона. В этом критерии предположений об априорных распределениях параметра θ (индикатор наличия или отсутствия сигнала) не делается. Задаётся вероятность ложной тревоги $F=F_3$ и максимизируется вероятность правильного обнаружения D . В соответствии с этим критерием оптимизации обеспечивается поиск решающего правила δ^* , которое использует наблюдаемый процесс $U^{(K)}$ с фиксированным объемом K ,

$$\delta^* \rightarrow \begin{cases} D = \max, \\ F \leq F_3 \end{cases}$$

Можно показать, что критерий Неймана-Пирсона приводит к следующему решающему правилу:

$$\delta^* \rightarrow \begin{cases} d_1, \\ d_0, \end{cases}$$

где решение d_1 об обнаружении сигнала принимается в случае, если

$$\Lambda = w(U/\theta = 1)/w(U/\theta = 0) \geq h_{NP};$$

решение d_0 принимается в том случае, когда $\Lambda < h_{NP}$; h_{NP} - порог обнаружителя при использовании критерия Неймана-Пирсона; $w(U/\theta)$ - апостериорные плотности распределения вероятностей при различных гипотезах.

Таким образом, при реализации оптимальный по Нейману-Пирсону обнаружитель должен сформировать отношение правдоподобия Λ и сравнить его с порогом h_{NP} . Порог обнаружения определяется из условия обеспечения заданной вероятности ложной тревоги F_3 .

Конкретизируем общие алгоритмы для задачи обнаружения теплового сигнала на фоне помех и шума в рамках одного кадра с номером K

$$U_{ij}^{(K)} = \theta S_{ij} + V_{ij} + \xi_{ij},$$

где θ - индикатор наличия или отсутствия сигнала, $\theta = 0$ в случае отсутствия сигнала или $\theta = 1$ при его наличии; S_{ij} - полезный сигнал; V_{ij} - коррелированная помеха; ξ_{ij} - широкополосный шум, аппроксимирующий некоррелированную составляющую наблюдаемого сигнала.

Прежде всего заметим, что помеха V_{ij} является нестационарным коррелированным процессом, у которого изменяется как среднее значение, так и дисперсия. Поэтому в качестве интервала наблюдения возьмем интервал времени, на котором этот процесс можно считать стационарным. К формированию этого интервала можно подойти с двух позиций: 1) при

построчной развертке последовательно считываем сигнал, соответствующий пикселю, т.е. рассматриваем последовательно развивающийся в реальном времени процесс $U_{ij}^{(K)}$; 2) сигнал принимается в буферное запоминающее устройство в течение всего кадра, а затем данный кадр доступен для обработки в виде матрицы $U^{(K)}$.

Фрагмент разворачивающегося по строкам напряжения приведен на рис. 1. Сигналу текущей точки (пикселя) с координатами i, j предшествуют пиксели строк $0, 1, \dots, j-1$ и часть текущей j -ой строки с пикселями $0, 1, \dots, i-1$. Стрелкой показано направление развития процесса (вдоль строки). Фрагмент зафиксированного в процессе наблюдения кадра приведен на рис. 2. В данном случае пиксель с координатами i, j окружен всеми имеющимися в кадре пикселями, координаты которых не совпадают с рассматриваемыми.

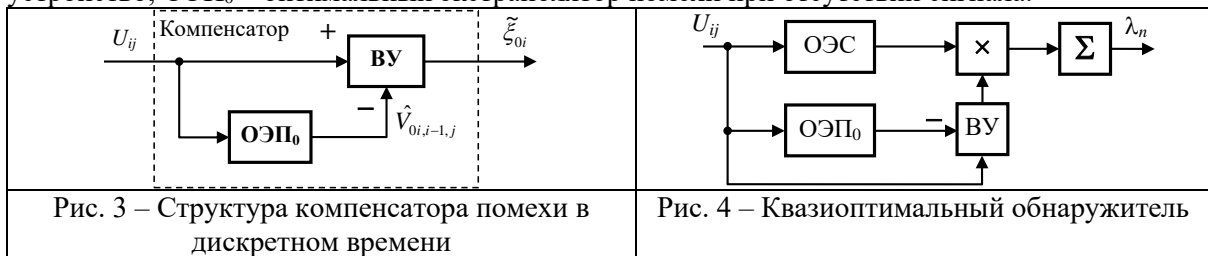
<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$j-2, i-3$</td><td>$j-2, i-2$</td><td>$j-2, i-1$</td><td>$j-2, i$</td><td>$j-2, i+1$</td></tr> <tr><td>$j-1, i-3$</td><td>$j-1, i-2$</td><td>$j-1, i-1$</td><td>$j-1, i$</td><td>$j-1, i+1$</td></tr> <tr><td>$j, i-3$</td><td>$j, i-2$</td><td>$j, i-1$</td><td style="background-color: #e0f0ff;">j, i</td><td></td></tr> </table> →	$j-2, i-3$	$j-2, i-2$	$j-2, i-1$	$j-2, i$	$j-2, i+1$	$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$	$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	j, i		<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td>$j-1, i-3$</td><td>$j-1, i-2$</td><td>$j-1, i-1$</td><td>$j-1, i$</td><td>$j-1, i+1$</td></tr> <tr><td>$j, i-3$</td><td>$j, i-2$</td><td>$j, i-1$</td><td style="background-color: #e0f0ff;">j, i</td><td>$j, i+1$</td></tr> <tr><td>$j+1, i-3$</td><td>$j+1, i-2$</td><td>$j+1, i-1$</td><td>$j+1, i$</td><td>$j+1, i+1$</td></tr> </table>	$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$	$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	j, i	$j, i+1$	$j+1, i-3$	$j+1, i-2$	$j+1, i-1$	$j+1, i$	$j+1, i+1$
$j-2, i-3$	$j-2, i-2$	$j-2, i-1$	$j-2, i$	$j-2, i+1$																											
$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$																											
$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	j, i																												
$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$																											
$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	j, i	$j, i+1$																											
$j+1, i-3$	$j+1, i-2$	$j+1, i-1$	$j+1, i$	$j+1, i+1$																											
Рис. 1 – Расположение пикселей в реальном времени	Рис. 2 – Расположение пикселей в фиксированном кадре																														

Рассматриваемый алгоритм имеет оценочно-корреляционно-компенсационный характер, так как в нем предусматривается оценивание помехи в двух возможных ситуациях: при наличии сигнала и при его отсутствии. После компенсации помехи осуществляется корреляция оценки и некомпенсированных остатков помехи с наблюдаемым процессом U_{ij} .

Одной из основных операций полученных алгоритмов является оценивание помехи и ее компенсация. Алгоритм компенсатора помехи при дискретном времени наблюдения может быть представлен соотношением

$$\tilde{\xi}_{0i} = U_{ij} - \hat{V}_{0i,i-1,j}$$

а его структурная схема представлена на рис. 3, где обозначено: ВУ – вычитающее устройство; ОЭП₀ – оптимальный экстраполятор помехи при отсутствии сигнала.



В рассматриваемом случае фон имеет большое отношение фон-шум (более 25...30 дБ), поэтому при выборе структуры обнаружителя воспользуемся условием высокой апостериорной точности.

Структурная схема данного обнаружителя представлена на рис. 4. Основу схемы составляет компенсатор помехи и устройство оптимальной оценки сигнала. В блоке ОЭП₀ формируется экстраполяционная оценка помехи при $\theta = 0$. Блок ОЭС производит на основе наблюдения U_{ij} оценивание сигнала при условии, что $\theta = 1$. Снижение уровня помехи осуществляется путем вычитания ее оценки \hat{V}_{0k} из наблюдаемого процесса. Оценка сигнала коррелируется с остатками компенсации, после чего осуществляется накопление статистики обнаружения и сравнение с порогом для выявления полезного сигнала.

В результате проведенной работе по анализу описанных выше алгоритмов была получена структурная схема квазиоптимального обнаружителя, способного выделять яркие точечные слабоконтрастные объекты на фоне в условиях воздействия дополнительных шумов.

Литература

1. Якушенков Ю.Г., Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. - М.: Логос, 2004. - 430 с.