

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Н.В. Барышников, В.Б. Бокшанский, В.Е. Карасик

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2011

УДК 621.375(075.8)

ББК 32.86-5

Б26

Рецензенты: *В.И. Алехнович, А.Б. Пнев*

Барышников Н.В.

Б26

Проектирование лазерных локационных систем : учеб. пособие / Н.В. Барышников, В.Б. Бокшанский, В.Е. Карасик. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 25, [3] с. : ил.

В пособии изложены элементы теории приема оптических сигналов, проанализированы статистические свойства сигналов и шумов, приведен расчет обнаружительных характеристик, исследованы точностные характеристики приемных каналов, осуществляющих обнаружение объектов и измерение их угловых координат, проанализированы методы цифровой обработки изображений.

Для студентов факультета «Радиоэлектроника и лазерная техника», изучающих курсы «Проектирование лазерных оптико-электронных приборов», «Приемники излучения», а также другие курсы аналогичной направленности.

УДК 621.375(075.8)

ББК 32.86-5

Предисловие

В настоящее время бурно развивается направление информационной техники, базирующееся на достижениях квантовой электроники и лазерной техники. Действительно, использование лазерного излучения в информационных системах позволяет значительно улучшить их основные характеристики. Например, лазерные локационные системы в отличие от радиотехнических локационных систем позволяют не только увеличить пространственное, временное и частотное разрешение, т. е. повысить точность определения координат и скорости движения объекта, но и извлечь качественно новую информацию о форме и об отражающих свойствах его поверхности.

Неотъемлемой частью любой оптической информационной системы является приемное устройство, показатели качества которого существенным образом влияют на рабочие характеристики всей системы в целом. Приемное устройство оптического диапазона представляет собой совокупность определенным образом соединенных между собой оптических и электронных узлов (блоков), с помощью которых выполняются следующие основные функции:

- концентрация принимаемого оптического излучения и обеспечение пространственной и спектральной селекции фоновых помех;
- преобразование оптического излучения в электрический сигнал;
- обнаружение оптического сигнала на фоне внутренних и внешних шумов;
- усиление электрического сигнала и его демодуляция, если полезная информация содержится в модулированной несущей;
- обработка полезного сигнала для достижения требуемых рабочих характеристик приемного устройства.

Рассмотрению указанных функций применительно к приемным устройствам прямого детектирования посвящено настоящее учебное пособие.

1. Элементы теории приема сигналов

В процессе работы лазерной локационной системы (ЛЛС) в приемную систему поступает смесь сигнала с шумом либо один шум, если сигнала нет. Система должна подвергнуть анализу принятую смесь и вынести решение о сигнале, т. е. определить его наличие или отсутствие. Решение может быть правильным или ошибочным. Принимается оно по определенному правилу, которое определяет методику обработки приходящей смеси сигнала с шумом. Таким образом, сущность проблемы обнаружения заключается в решении вопроса о наличии или об отсутствии искомого сигнала на некотором фоне шумов.

Обнаружение на фоне невозможно без знания признаков, характерных для сигнала и фона. Эта операция носит вероятностный характер, поскольку всегда есть возможность принять за искомый сигнал какую-либо составную часть фона или не заметить сигнал, замаскированный фоном.

Обычно признаки сигнала и фона не бывают известны определенно, априори известны лишь вероятности наличия признаков. Особенно важно знать априорную вероятность наличия сигнала, так как она связана с пороговым отношением правдоподобия $\Lambda_{\text{пор}}$.

В большинстве оптических приемных систем решение о наличии сигнала принимается, если выходной сигнал фотодетектора превышает некоторый заранее установленный порог решения. Оптимальный выбор порога определяется согласно теории решений отношением правдоподобия Λ , которое представляет собой отношение условных вероятностей получения на выходе фотоприемника данной реализации Y при наличии и при отсутствии в ней сигнала, т. е.

$$\Lambda = \frac{P(Y|S)}{P(Y|O)}, \quad (1)$$

где $P(Y|S)$ – вероятность появления реализации при наличии сигнала, $P(Y|O)$ – то же при отсутствии сигнала.

Апостериорная вероятность наличия сигнала при условии, что получена реализация Y , определяется по формуле

$$P(S|Y) = \frac{\wp(S)P(Y|S)}{\wp(S)P(Y|S) + \wp(O)P(Y|O)},$$

где $\wp(S)$ и $\wp(O)$ – априорные вероятности наличия и отсутствия сигнала соответственно.

Очевидно, что $\wp(S) + \wp(O) = 1$, так как сигнал может либо присутствовать, либо отсутствовать. Из тех же соображений

$$P(S|Y) + P(O|Y) = 1.$$

Тогда апостериорная вероятность $P(S|Y)$ связана с отношением правдоподобия Λ соотношением

$$P(S|Y) = \frac{\wp(S)\Lambda}{\wp(O) + \wp(S)\Lambda}.$$

Таким образом, отношение правдоподобия определяет вероятность наличия или отсутствия сигнала в реализации.

Если априорная вероятность наличия сигнала $\wp(S)$ неизвестна, а это типичный случай при обнаружении, то отношение правдоподобия содержит в себе всю доступную информацию, которую можно извлечь из опыта по обнаружению.

Для решения практических задач отношение правдоподобия удобно выразить через распределение плотностей вероятности реализации. Используя известные соотношения

$$P(Y|S) = w(Y|S)dY;$$

$$P(Y|O) = w(Y|O)dY,$$

где $w(Y|S)$, $w(Y|O)$ – условные плотности вероятности реализации Y для смеси сигнала с шумом и для одного шума, получим общепринятую запись

$$\Lambda = \frac{w(Y|S)}{w(Y|O)}.$$

Принятие решения о наличии или об отсутствии сигнала – задача, не свойственная системе наблюдения. Она определяется тем или иным искусственным критерием, называемым критерием обнаружения. Все критерии, по существу, сводятся к критерию отношения правдоподобия, согласно которому решение «сигнал есть» принимается при условии

$$\Lambda \gg \Lambda_{\text{пор}},$$

где $\Lambda_{\text{пор}}$ – пороговое значение отношения правдоподобия, устанавливаемое на основе опыта использования аппаратуры наблюдения в данной конкретной обстановке с учетом возможных ее изменений.

Аналогично решение «сигнала нет» принимается при условии $\Lambda < \Lambda_{\text{пор}}$, причем не учитывается, насколько Λ отличается от $\Lambda_{\text{пор}}$, т. е. не учитывается «степень правдоподобия», что приводит к некоторой потере информации.

Различные критерии дают для величины $\Lambda_{\text{пор}}$ различные значения. Согласно критерию идеального наблюдателя минимизируется полная вероятность ошибки:

$$P_{\text{пр}} + P_{\text{л.т}} \rightarrow \min,$$

где $P_{\text{пр}}$ – условная вероятность пропуска цели; $P_{\text{л.т}}$ – условная вероятность ложной тревоги.

Можно показать [1], что критерий идеального наблюдателя сводится к критерию отношения правдоподобия с порогом $\Lambda_{\text{пор}} = \frac{\wp(O)}{\wp(S)} = \frac{1 - \wp(S)}{\wp(S)}$, причем величина $\Lambda_{\text{пор}}$ обычно не определена.

В соответствии с критерием Неймана – Пирсона условная вероятность ложной тревоги задана, т. е. $P_{\text{л.т}} = C$, а минимизируется условная вероятность пропуска цели, т. е. $P_{\text{пр}} \rightarrow \min$.

Критерий Неймана – Пирсона является наиболее удобным для практического использования, особенно в тех случаях, когда априорные вероятности наличия сигнала не известны.

2. Статистические свойства сигналов и шумов

При проектировании приемных систем ЛЛС необходимо знать статистические характеристики оптического сигнала, шума и их смеси на выходе фотодетектора.

Фотодетектирование в оптическом диапазоне волн является квантовомеханическим процессом.

Наблюдаемый процесс на выходе фотодетектора – поток одноэлектронных импульсов, испускаемых им под действием узкополосного оптического излучения мощностью $\Phi(t)$. Вероятность обнаружения одиночного фотоэлектрона за бесконечно малый интервал времени dt равна

$$\frac{\eta}{h\nu_c} \Phi(t) dt,$$

где η – квантовая эффективность фотокатода.

Если интенсивность излучения постоянна, то распределение числа k фотоэлектронов за время τ подчиняется закону Пуассона

$$P(k, \tau) = \frac{\mu^k}{k!} \exp(-\mu), \quad (1)$$

где μ – среднее число фотоэлектронов, излучаемых за время τ . При средней мощности оптического излучения $\bar{\Phi}$ за время τ величина μ равна

$$\mu = \frac{\bar{\Phi}\tau}{h\nu_c} \eta.$$

В действительности интенсивность излучения представляет собой случайную функцию времени, а распределение $P(k, \tau)$ не является пуассоновским и в общем случае определяется формулой Мандела [2], полученной в результате статистического усреднения (1) по распределению интенсивности оптического излучения:

$$P(k, \tau) = \frac{1}{k!} \int_0^\infty \left(\frac{\eta}{h\nu_c} \bar{\Phi}\tau \right)^k \exp\left(-\frac{\eta}{h\nu_c} \bar{\Phi}\tau \right) P(\Phi) d\Phi. \quad (2)$$

Использование формулы (2) для нахождения распределения числа фотоэлектронов затруднительно по причине громоздкости вычислений. Однако для наиболее важных в практическом отношении случаев можно получить простые формулы для расчета $P(k, \tau)$ с учетом пространственно-временной когерентности сигнала.

Для низкоинтенсивного лазерного излучения распределение вероятностей отсчетов фотоэлектронов подчиняется пуассоновской статистике:

$$P(k_c \tau) = \frac{\mu_{c\tau}^k}{k!} \exp(-\mu_{c\tau}).$$

Низкоинтенсивное фоновое излучение также вызывает пуассоновское распределение фотоэлектронов:

- медианная фильтрация;
- корреляционная обработка изображений;
- сегментация и пороговая обработка;
- вычисление пространственных инвариантных моментов (например, энергетического центра тяжести) и др.

В рамках настоящего пособия рассмотреть все перечисленные алгоритмы затруднительно. Однако они хорошо освещены в широко распространенной литературе по цифровой обработке сигналов.

Литература

1. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем. М.: Высш. шк., 1983. 207 с.
2. Прайт В.К. Лазерные системы связи : Пер. с англ. М.: Связь, 1972. 232 с.

Оглавление

Предисловие	3
1. Элементы теории приема сигналов	4
2. Статистические свойства сигналов и шумов	6
3. Особенности разработки оптических систем приемных каналов ЛЛС	11
4. Основные принципы обработки сигнала в приемных каналах ЛЛС....	17
Литература.....	25