

ПРИНЦИПЫ РАСШИРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА АКУСТООПТИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА

д.т.н., проф. А.И. Стрелков, к.т.н. В.И. Барсов, Ю.В. Рябкин

Проанализированы принципы расширения динамического диапазона акустооптического спектроанализатора и предложен вариант цифровой обработки сигналов с его выхода. Проведена оценка характеристик вычислительного устройства для реализации указанной обработки.

Постановка проблемы. Для успешного решения задачи электромагнитной совместимости большого числа существующих в настоящее время разнообразных комплексов связи, радионавигации и радиолокации необходимо максимально точно, в реальном в масштабе времени, определять параметры множества источников радиоизлучения. Для оперативного распознавания и определения параметров радиосигналов все чаще используются методы обработки, использующие акустооптическое взаимодействие. Это обусловлено специфическими возможностями таких методов: параллельностью, высокой скоростью и частотой обработки оптических сигналов и т.д. [1 – 3].

Вышеперечисленные возможности реализованы в акустооптических анализаторах спектра (АОАС), отличающихся простотой конструкции и параллельной обработкой сигналов в широкой полосе частот и практически в реальном масштабе времени [4 – 7]. В случае превышения энергии радиосигнала определенного порога на выходе спектроанализатора формируется сложный сигнал, по которому трудно определить частоту входного радиосигнала, что обусловлено нелинейным характером зависимости передаточной функции радиоканала и оптических элементов от мощности принимаемого радиосигнала. Возможности расширения динамического диапазона при обработке одиночных сигналов предложены в работах [9 – 11] за счет использования методов распознавания образов.

Достоинства использования АОАС для решения задач спектрального анализа при расширении динамического диапазона обуславливает необходимость более глубокого анализа возможностей по обработке потоков сигналов.

Анализ литературы. В работах [9 – 11], посвященных разработке методов и средств обработки сигналов с помощью акустооптических анализаторов спектра, рассматривались вопросы обработки одиночных сигналов. В [11] предложен алгоритм распознавания сигналов на выходе акустооптиче-

ского спектроанализатора, реализация которого возможна в цифровой форме. Однако в статье не рассматривались вопросы обработки потока сигналов.

Целью данной статьи является анализ принципов расширения динамического диапазона акустооптического спектроанализатора и возможностей цифровой обработки на его выходе.

Основные соотношения и формулировки. В [11] показано, что в случае большой мощности входного сигнала на выходе акустооптического спектроанализатора ему может соответствовать совокупность сигналов. Поэтому при обработке одиночных сигналов основным принципом расширения динамического диапазона является использование методов распознавания образов на основе многоальтернативной проверки гипотез относительно частоты входного сигнала. Второй принцип связан с необходимостью преодоления априорной неопределенности в отношении параметров распределения выходных сигналов акустооптического спектроанализатора, для чего целесообразно использовать этап начального обучения. Третий принцип связан с возможной неоднозначностью решений и требует использования специфических правил решения, в качестве которых в [11] предлагается наряду с традиционными оценочными функциями использовать анализ матриц связности, в которых содержится информация о попарной различимости сигналов. В зависимости от этого анализа решение может быть однозначным (определение единственной частоты входного сигнала), либо многозначным (частота входного сигнала не может быть определена с заданной достоверностью). При воздействии на вход акустооптического спектроанализатора одновременно нескольких сигналов вероятность получения многозначного решения увеличивается с ростом числа сигналов. Поэтому четвертый принцип расширения динамического диапазона связан с преодолением многозначности решений при различении многих сигналов и требует накопления их во времени с целью определения дополнительных параметров, таких, например, как период следования импульсов. Такая обработка может быть произведена с помощью спецвычислителя, осуществляющего обработку преобразованных в цифровую форму параметров временных последовательностей с выхода акустооптического спектроанализатора. Для анализа возможностей цифровой обработки будем полагать, что она производится при фиксированном положении антенны в одном частотном канале в течение одного такта.

В течение такта с выхода акустооптического спектроанализатора на вход спецвычислителя поступает совокупность преобразованных в цифровую форму данных об истинных и ложных сигналах. Во многих работах [3, 8] этот поток сигналов полагается пуассоновским. Следовательно, суммарное среднее число входных сигналов равно

$$N = \lambda + nn_{\text{и}}, \quad (1)$$

где λ – среднее число ложных входных сигналов, поступающих за время

такта; n – среднее число источников входных сигналов, обнаруженных в течение такта; n_i – среднее число импульсов от источника входных сигналов.

В реальных условиях работы обычно $\lambda \gg np_i$ и основную загрузку для вычислителя составляет обработка потока ложных сигналов. Будем для определенности полагать, что истинными сигналами являются последовательности импульсов с периодом повторения T_p .

Для дальнейшего анализа необходимо задать основные правила обработки сигналов. В основу построения алгоритма обработки положены следующие предпосылки.

1. Будем полагать, что в течение такта (T_T) может быть принято несколько импульсов с периодом повторения $T_p < T_T$ (т.е. для простоты полагаем период повторения меньшим такта обработки). Данные в алгоритме организуются в виде следующих списков:

а) список сигналов текущего такта (ССТТ) заполняется в каждом такте входными данными – данными о сигналах с выхода спектроанализатора; о каждом сигнале данные записываются в виде: pr_{ir} – признак однозначности распознавания (0 – однозначное, 1 – неоднозначное распознавание); f_{ir} – измеренное значение несущей частоты в случае однозначного распознавания; t_{ir} – время локации объекта (время, к которому привязан i -й сигнал в пределах такта с номером r); m_i – частотный диапазон, в котором обнаружен сигнал; T_i – тип сигнала;

б) список сформированных пачек сигналов (ССПС) заполняется и обновляется в каждом очередном такте (с учетом критерия обнаружения пачки). В списке хранятся данные о сигналах, составляющих пачку с периодом повторения T_{pi} (время начала и конца пачки, частота, частотный диапазон, период повторения и др.). При просмотре через некоторое время тех участков сектора обзора, где были обнаружены истинные сигналы, они могут быть опять обнаружены, поэтому информация в ССПС хранится до следующего периода обзора.

2. Решение об обнаружении пачки принимается путем попарного сравнения временного положения импульсов и при накоплении заданного числа P_0 . Конец пачки формируется по серии из K пропусков подряд.

В процессе обработки каждого нового сообщения из ССТТ оно сравнивается с данными о сформированных пачках из ССПС. Поскольку число поступающих сигналов случайно, то и число сравнений также случайно. Поэтому объем списков ССТТ и ССПС, а также время обработки сигнала из ССТТ являются случайными величинами, что должно учитываться при выборе параметров вычислителя.

Учитывая, что ССТТ заполняется без сжатия информации, его объем необходимо выбрать из условия

$$M_{\text{ССТТ}} = N + a\sqrt{N}, \quad (2)$$

где a – положительное число, выбираемое исходя из заданной вероятности переполнения ССТТ. При $N \gg 10$ пуассоновское распределение хорошо аппроксимируется нормальным, поэтому вероятность переполнения ССТТ можно вычислить по формуле [8]:

$$P_{\text{перССТТ}} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{M_{\text{ССТТ}} - N}{\sqrt{2N}} \right) \right], \quad (3)$$

где $\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \exp(-t^2) dt$ – функция Лапласа.

Подставляя условие (2) в (3) находим

$$P_{\text{перССТТ}} = 1/2 \cdot \left[1 - \Phi(a/\sqrt{2}) \right]. \quad (4)$$

Таким образом, задавая допустимую вероятность переполнения ССТТ можно найти a по формуле (4), а затем по (2) определить объем ССТТ.

Рассмотрим теперь соображения о загрузке ССПС. Рассмотрим сначала загрузку ложной информацией. При пуассоновском входящем потоке одиночных ложных сигналов вероятность обнаружения пачки с одинаковым периодом повторения крайне мала и её в практических приложениях можно не учитывать. Таким образом, ССПС будет заполняться в основном истинной информацией. В этом случае число элементов ССПС будет равно среднему числу источников сигналов, находящихся в зоне ответственности, анализируемой за время T_0 . Тогда объем ССПС должен выбираться исходя из следующей формулы:

$$M_{\text{ССПС}} = nT_0/T_T + a \sqrt{n(T_0/T_T)}, \quad (5)$$

где a определяется вероятностью переполнения ССПС, которая вычисляется аналогично по формуле (4). На рис.1, 2 приведены графики зависимости требуемого числа элементов ССПС от задаваемой вероятности переполнения при $M = nT_0/T_T = 100$ и 500 .

Аналогичный характер имеют зависимости и для числа элементов ССТТ. Заметим, что уменьшение объемов ССТТ и ССПС может привести к уменьшению вероятности обнаружения истинных сигналов.

В соответствии с отмеченными выше принципами обработки для выявления истинных сигналов необходимо производить циклическое вычисление временных интервалов между сигналами с целью обнаружения пачки по заданному критерию. Если в ССПС есть информация об обнаруженных ранее пачках, то необходимо вначале проверить наличие пачек с такими же параметрами. При отсутствии в ССПС сформированных пачек, обработка будет заключаться в сравнении между собой времени прихода всех сигналов с целью обнаружения пачек по заданному критерию. Время обработки всех сигналов, поступивших в одном такте, назовем временем об-

служивания. Оно зависит степени заполнения ССПС, от принятого критерия обнаружения и количества ложных сигналов между первым и последним импульсами каждой пачки, которое является случайной величиной. В общем случае найти закон распределения этой величины найти не удастся.

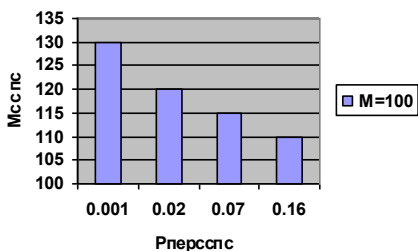


Рис. 1. Зависимость требуемого числа элементов ССПС от задаваемой вероятности переполнения при $M = 100$

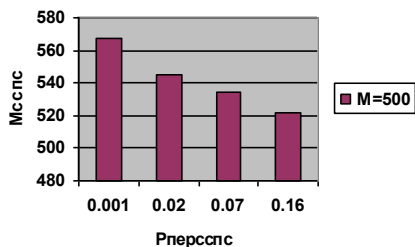


Рис. 2. Зависимость требуемого числа элементов ССПС от задаваемой вероятности переполнения при $M = 500$

Допустим далее, что путем предварительного моделирования получены \bar{M} (среднее число приведенных коротких операций) и $\bar{\tau}_{\text{обсл}}$ (среднее время обслуживания) для самых тяжелых условий работы, т.е. максимальном значении N . Тогда потребное быстродействие вычислителя для реализации рассмотренного алгоритма можно определить по формуле

$$\bar{\Pi} = \bar{M} / \bar{\tau}_{\text{обсл}}. \quad (6)$$

Таким образом, используя соотношения (2) – (6) можно определить характеристики вычислителя, реализующего алгоритмы обработки выходных сигналов акустического спектроанализатора при расширении его динамического диапазона.

Выводы. В статье рассмотрены принципы расширения динамического диапазона акустооптического спектроанализатора. При обработке одиночных сигналов такими принципами являются использование методов распознавания образов на основе многоальтернативной проверки гипотез относительно частоты входного сигнала, использование этапа начального обучения и использование специфических правил решения для учета возможной неоднозначности принимаемых решений. При воздействии на вход акустооптического спектроанализатора одновременно нескольких сигналов вероятность получения многозначного решения увеличивается с ростом числа сигналов. Поэтому следующий принцип расширения динамического диапазона связан с преодолением многозначности решений при различении многих сигналов и требует накопления их во времени с целью определения дополнительных параметров, таких, например, как период следования импульсов. Предложен

алгоритм обработки сигналов с выхода акустооптического спектроанализатора и произведена оценка характеристик реализующего его вычислителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парыгин В.Н., Балаковский В.И. *Оптическая обработка информации*. – М.: МГУ, 1987. – 142 с.
2. Акаев А.А., Майоров С.А. *Оптические методы обработки информации*. – М.: Высш. шк., 1988. – 237 с.
3. *Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени / Под ред. С.В. Кулакова*. – М.: Радио и связь, 1989. – 136 с.
4. Парыгин В.Н., Балакиев В.И., Волошинов В.Б. *Электрооптика, акустооптика и оптическая обработка информации на кафедре физики колебаний МГУ // Радиотехника и электроника*. – 2001. – Т. 46, № 7. – С. 775 – 792.
5. Lee Wei, Chen Shu-Hsia *Acousto-optical effect induced by ultrasound pulses in a nematic liquid-crystal film // Appl. Opt.* – 2001. – 40, № 10. – P. 1682 – 1685.
6. Магдич Л.Н. Молчанов В.Я. *Акустооптические устройства и их применение*. – М.: Сов. радио, 1989. – 112 с.
7. Кулаков С.В. *Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов*. – Л.: Наука, 1978. – 144 с.
8. Кузьмин С.З. *Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации*. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
9. Стрелков А.И., Карнаух В.В., Лытюга А.П. *Определение частоты радиолокационных сигналов при проявлении нелинейных эффектов в акустооптических анализаторах спектра // Сб. науч. трудов по мат. 1²⁰ междунар. радиоэлектронного форума “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития”*, МРФ-2002, ч. 1. – Х.: ХНУРЭ. – 2002. – С. 49 – 50.
10. Стрелков А.И., Писаренко Г.Г., Карнаух В.В. *Распознавание входных сигналов по нелинейному отклику акустооптического спектроанализатора // Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ. – 2002. – Вып. 6 (22). – 2002. – С. 357 – 363.
11. Стрелков А.И., Писаренко Г.Г., Карнаух В.В. *Алгоритм распознавания сигналов на выходе акустооптического спектроанализатора // Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 4. – С. 76 – 84.

Поступила 18.08.2004

СТРЕЛКОВ Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой Харьковского университета Воздушных Сил. В 1968 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – квантовая электроника, прикладная оптика, оптико-электронные средства, статистическая обработка оптических сигналов.

БАРСОВ Валерий Иванович, канд. техн. наук, зав. кафедрой УИПА. В 1979 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – системы связи и управления.

РЯБКИН Юрий Викторович – председатель правления акционерной холдинговой компании “Топаз”. Область научных интересов – радиотехнические средства контроля и мониторинга окружающего пространства.