

тивность маммографического обследования (в том числе, при проведении скрининговых исследований), что дает возможность улучшить каче-

ство рентгенодиагностики в маммологии в масштабах всей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потрахов Н. Н. Метод и особенности формирования теневого рентгеновского изображения микрофокусными источниками излучения // Вестн. новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 167–169.

2. Потрахов Н. Н., Грязнов А. Ю. Технология микрофокусной рентгенографии в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии // Биотехносфера. 2009. № 3. С. 18–23.

3. Грязнов А. Ю., Потрахов Е. Н., Потрахов Н. Н. Цифровая микрофокусная рентгенография в клинической практике // Петерб. журн. электроники. 2008. № 2–3. С. 163–166.

4. Влияние размеров фокусного пятна рентгеновской трубки на разрешающую способность радиовизиографа / Н. Н. Блинов, А. Ю. Васильев, А. Ю. Грязнов и др. // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 2–4.

5. Потрахов Н. Н. Грязнов А. Ю., Барковский А. Н. Радиационная нагрузка при проведении рентгенодиагностических исследований методами микрофокусной рентгенографии // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 1. С. 1–5.

6. Грязнов А. Ю., Потрахов Н. Н. Метод расчета поглощенной дозы // Медицинская техника. 2006. № 4. С. 23–27.

7. Сравнительная оценка информативности цифровой микрофокусной рентгенографии с многократным увеличением изображения и радиовизиографии в эксперименте / В. Г. Алпатов, А. Ю. Васильев, Л. П. Кисельникова и др. // Институт стоматологии. 2010. Т. 1, № 46. С. 80–81.

8. Грязнов А. Ю. О возможности получения фазо-контрастных изображений на микрофокусных источниках рентгеновского излучения // Биотехносфера. 2010. № 1. С. 30–32.

9. Жамова К. К., Бессонов В. Б., Грязнов А. Ю. Возможности микрофокусной маммографии с прямым увеличением изображения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 71–72.

10. Трехмерные сканирующие системы на основе бинокулярного стереовидения для медицинской диагностики / М. В. Лавреев, А. А. Ухов, Н. Н. Потрахов и др. // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 5–8.

K. K. Zhamova

Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

METHODOLOGY OF A TWO-STAGE RADIOGRAPHY IN MAMMOLOGY

Discusses the use of mammography method with direct image magnification. A method to diagnose breast cancer at an early stage. Describes the advantages of this method compared with a contact shot.

Mammary gland, microcalcifications, a two-stage microfocus mammography

УДК 681.785.5

А. А. Ухов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Адаптивная фильтрация шумов оптических линейчатых спектров

Рассмотрен способ фильтрации сигнала фотоприемника при регистрации линейчатых оптических спектров, основанный на предварительной статистической обработке темного сигнала. Показана возможность снижения уровня шума путем замены нулевого уровня сигнала на усредненный темновой сигнал.

Оптический спектрометр, прибор с зарядовой связью, фильтрация спектрального сигнала

Малогобаритные оптические спектрометры с фотоприемниками на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) успешно применяются для реги-

страции и анализа спектров источников излучения различных типов [1]. Среди них имеются как источники с непрерывным спектром, такие как

лампы накаливания [2], источники с достаточно узкими спектральными интервалами, такие как светодиоды [3], [4], а также источники с линейчатыми спектрами, такие как газоразрядные лампы, либо излучение плазмы в технологической установке [5]. Линейчатые спектры зачастую имеют линии различной интенсивности, и в результате очень часто возникает необходимость регистрации линий малой интенсивности на фоне сильных линий [6]. Простота применения и низкая стоимость являются основными преимуществами приборов данного класса, однако при этом в малогабаритных спектрометрах обычно используются недорогие ПЗС-фотоприемники [7]. Основным недостатком таких фотоприемников связан с относительно высоким уровнем собственных шумов. Частично шумы фотоприемника можно минимизировать аппаратными способами [8], [9], однако в результате динамический диапазон и соотношение сигнал/шум все равно не достигают значений, характерных для специализированных дорогих ПЗС-фотоприемников. Также для снижения уровня шумов применяется статистическая обработка спектров путем многократной регистрации стационарного излучения и последующего усреднения полученных данных в спектрометре либо в персональном компьютере. Таким способом удастся существенно повысить соотношение сигнал/шум практически без искажения формы сигнала. Однако для этого необходимо, чтобы излучение не менялось в течение всего времени регистрации, что возможно далеко не во всех случаях. Кроме того, при статистическом накоплении и обработке данных существенно увеличивается время одного измерения, что также может оказаться неприемлемым, особенно для быстропротекающих процессов.

Уменьшить уровень шумов можно с помощью фильтрации уже зарегистрированного спектрального сигнала. На сегодняшний день известно достаточно большое количество алгоритмов фильтрации, предназначенных для снижения уровня шума. Для обработки спектральных данных наиболее популярен метод Савицкого–Голея [10], использующий цифровые полиномиальные фильтры, которые также называются сглаживающими фильтрами с минимальной квадратичной ошибкой. На рис. 1 приведен фрагмент исходного линейчатого спектра 1 и результат его фильтрации с помощью полиномиального фильтра 2.

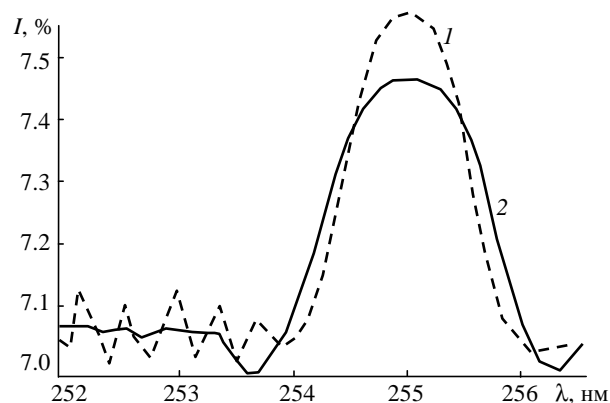


Рис. 1

Метод Савицкого–Голея, как правило, используется для фильтрации зашумленных сигналов с широким спектром, поскольку они лучше сохраняют высокочастотные компоненты сигнала. Однако данный метод фильтрации более эффективен при обработке относительно гладких непрерывных спектров, а его использование для фильтрации линейчатых спектров приводит к значительным искажениям формы сигнала. При этом снижается амплитуда спектральных пиков, а сами они расширяются.

Еще одним существенным недостатком такого рода фильтров является значительное искажение формы сигнала на границах спектральных линий, причем при большой амплитуде линий сигнал может уходить в отрицательные значения, что также негативно сказывается на анализе спектров. Таким образом, наилучшим вариантом для линейчатых спектров может стать адаптивный фильтр, в котором участки с малым изменением амплитуды сигнала и спектральные линии будут обрабатываться различными способами. Критерием выбора границы зон может служить уровень шума, а также значение темнового тока ПЗС-фотоприемника, который по сути определяет сдвиг нуля при отсутствии полезного сигнала.

Шум и темновой ток ПЗС-фотоприемника зависят от многих факторов, однако наибольший вклад в их уровень вносят:

- время накопления (чувствительность);
- температура.

Поскольку темновой ток уменьшается почти в два раза при каждом снижении температуры ПЗС-фотоприемника на 8...9 °С относительно температуры окружающей среды, то требуется стабилизация температуры фотоприемника для исключения дрейфа амплитуды шумовой составляющей сигнала и его нулевого смещения в про-

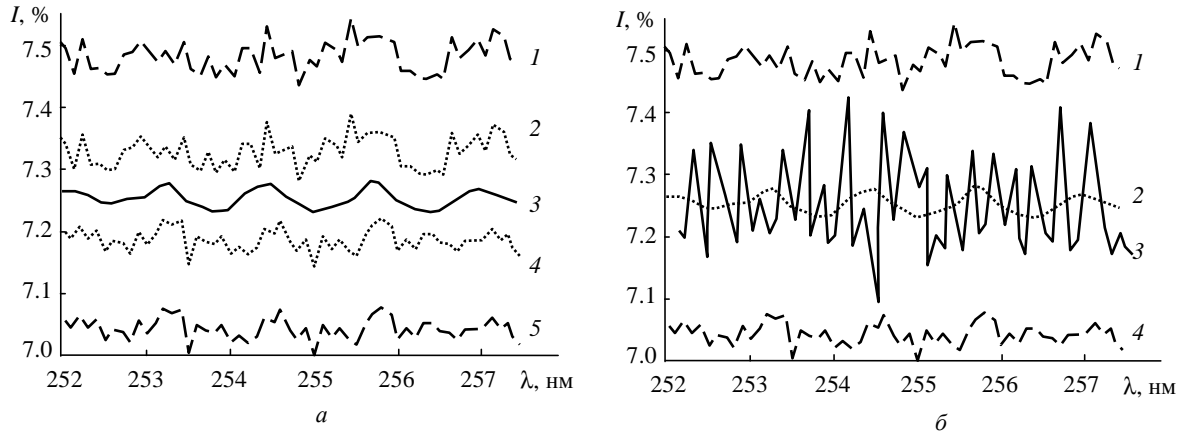


Рис. 2

цессе измерений. Наиболее простым техническим решением данной проблемы является использование холодильников Пельтье, конструктивно объединенных с фотоприемником.

При увеличении времени накопления уровень темнового тока также увеличивается и для его учета в спектрометре необходим оптический затвор, перекрывающий излучение на входе прибора. При закрытом оптическом затворе производится регистрация темнового сигнала фотоприемника в отсутствие полезного сигнала. Затем темновой сигнал вычитается из регистрируемого сигнала, компенсируя, таким образом, сдвиг уровня нуля при изменении чувствительности ПЗС-фотоприемника.

В линейчатых оптических спектрах, как правило, присутствуют отдельные узкие спектральные линии на фоне нулевого сигнала. Уровень нулевого сигнала при этом можно не подвергать фильтрации, а использовать данные предварительной статистической обработки темнового сигнала. Для этого при закрытом оптическом затворе производится многократная регистрация темнового сигнала и вычисляется его среднее значение 3, а также максимальное 2 и минимальное 4 среднеквадратичные отклонения σ (рис. 2, а). Исходя из того, что 99.9 % амплитуды шума приходится на диапазон $\pm 3.29\sigma$, для каждого пикселя задается верхний 1 и нижний 5 пороги по диапазону нулевого сигнала (рис. 2, а). В дальнейшем при регистрации спектрального сигнала 3 (рис. 2, б) производится его попиксельная проверка на нахождение внутри заранее вычисленного диапазона 1 и 4. В случае если текущий уровень сигнала не выходит за границы диапазона 1 и 4, он заменяется значением заранее вычисленного среднего уровня темнового сигнала 2.

При таком способе фильтрации даже при однократной регистрации спектра эффективность «сглаживания» нулевого сигнала будет соответствовать многократной регистрации с последующей статистической обработкой. Исходный зашумленный сигнал 3 проверяется попиксельно на нахождение в пределах заданного диапазона и заменяется предварительно усредненным нулевым уровнем 2 в случае, если он не выходит за верхнюю границу 1 (рис. 3). Проверка на нижнюю границу не имеет смысла, поскольку сигнал нулевой и появление в нем линий с «отрицательной» амплитудой невозможно. При превышении амплитуды верхнего граничного уровня значения сигнала остаются неизменными, и в результате итоговый сигнал 4 имеет спектральную линию без искажения формы и амплитуды.

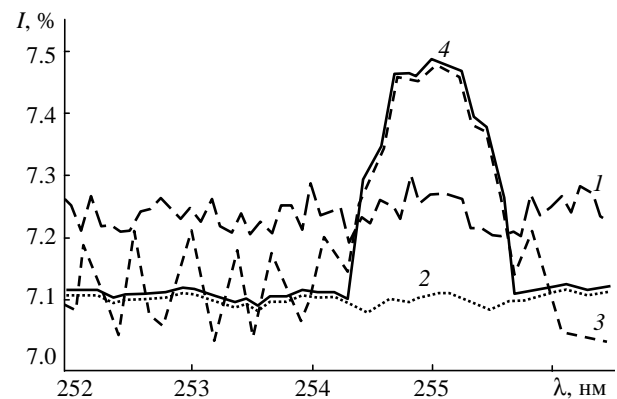


Рис. 3

Предложенный способ фильтрации был реализован в программном обеспечении (ПО) Aspect2010, предназначенном для управления спектрометрами ISM3600, разработанными в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на кафедре электронных приборов и устройств. В качестве примера результатов применения фильтра на рис. 4 приведены

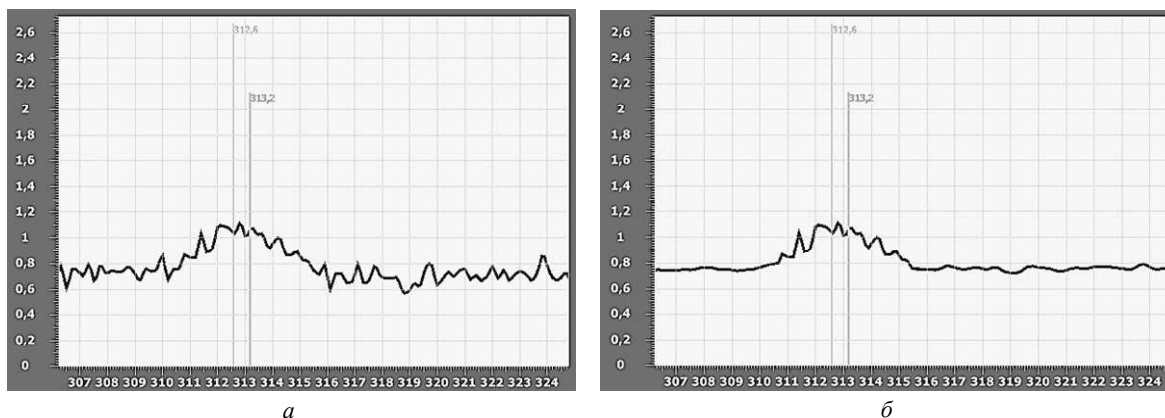


Рис. 4

снимки экрана программы при регистрации фрагмента спектра излучения ртутной лампы. На рис. 4, *а* приведен фрагмент спектра без статистической обработки и фильтрации. В центральной части приведенного фрагмента спектра имеется линия излучения малой интенсивности на длине волны 312 нм, что подтверждается информационными реперными линиями из соответствующей базы данных ПО. Результат применения адаптивного фильтра представлен на рис. 4, *б*. В данном случае также производилась однократная регистрация спектра без статистической обработки, но с заменой нулевого сигнала на предварительно усредненный темновой сигнал. Совершенно очевидно, что, даже несмотря на оставшийся шумовой сигнал, спектральная линия идентифицируется достаточно надежно.

Предложенный способ адаптивной фильтрации линейчатых оптических спектров позволяет при минимальных вычислительных затратах существенно повысить надежность идентификации спектральных линий, особенно малой интенсивности. Применение метода позволяет при термостабилизации фотоприемника и наличии в спектрометре оптического затвора получать при однократных измерениях уровень нулевого сигнала, соответствующий сигналу, обработанному статистическими методами, что существенно сокращает общее время проведения измерений. Однако необходимо принимать во внимание, что таким способом можно проводить фильтрацию только линейчатых спектров с относительно небольшим количеством спектральных линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колгин Е. А., Ухов А. А., Савушкин А. В. Спектрометры на основе полихроматора и одномерной ПЗС-матрицы: опыт разработки и применения // Петерб. журн. электроники. 2008. № 2–3. С. 120–126.
2. Герасимов В. А., Кострин Д. К., Ухов А. А. Методика и аппаратура для определения спектральных характеристик стекол и зеркал // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 8. С. 10–14.
3. Кострин Д. К., Ухов А. А. Аппаратно-программный спектрометрический комплекс для исследования параметров светоизлучающих диодов // Биотехносфера. 2013. № 3. С. 21–25.
4. Кострин Д. К., Ухов А. А. Метод контроля пространственного распределения световых и цветовых характеристик излучения светодиодов // Контроль. Диагностика. 2014. № 2. С. 65–68.
5. Комлев А. Е., Ухов А. А., Комлев А. А. Комплекс требований к оборудованию для осаждения пленок оксидов методом реактивного магнетронного распыления // Вакуумная техника и технология. 2012. Т. 22, № 4. С. 245–248.
6. Кострин Д. К., Ухов А. А. Обнаружение и компенсация ложных спектральных линий в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой // Контроль. Диагностика. 2013. № 6. С. 26–28.
7. Ухов А. А., Кострин Д. К. Оптимизация системы регистрации многоканального оптического спектрометра // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 4. С. 8–12.
8. Ухов А. А. Применение цифровой двойной коррелированной выборки для обработки сигнала линейного ПЗС-фотоприемника // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 7. С. 11–14.
9. Ухов А. А. Влияние тактовых импульсов на уровень шумов ПЗС-фотоприемника // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 6. С. 15–19.
10. Savitzky A., Golay M. J. E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures // Analytical Chemistry. 1964. Vol. 36. P. 1627–1639.

A. A. Uhov

Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

ADAPTIVE NOISE FILTERING OF THE OPTICAL LINE SPECTRUMS

The line optical spectra photo-sensor signal filtering method based on dark signal preliminary statistical processing is considered. Possibility of the noise level decreasing by replacing signal zero level by an average dark signal is shown.

Optical spectrometer, charge coupled device, spectral signal filtering
