



УДК 528.8.044.6

В. С. Горяинов, А. А. Бузников
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

В. И. Черноок
ОАО «Гипрорыбфлот» (Санкт-Петербург)

Алгоритм сортировки лидарных эхосигналов

Рассматривается простой алгоритм предварительной автоматизированной оценки информативности лидарного эхосигнала, основанный на аппроксимации лидарных данных суммой гауссовых функций. Алгоритм позволяет разграничивать между собой шум, неискаженные сигналы и сигналы, искаженные ограниченным динамическим диапазоном приемного тракта лидарной системы.

Лидары, удаленное зондирование водной среды, обработка сигналов

Высокое пространственное и временное разрешение, присущее лидарным системам, приводит к необходимости обработки значительных объемов информации. Так, частота повторения зондирующих импульсов 2.5 Гц означает, что за 10 мин работы системы будет зафиксировано 1200 эхосигналов, а при частоте 30 Гц – 18 000. Умножив эти значения на число приемных каналов системы, можно получить представление об общих объемах данных, требующих рассмотрения.

Очевидно, не все зафиксированные эхосигналы несут полезную информацию [1]. Изменение ситуации в поле зрения лидарной системы, дрейф внешних и внутренних параметров могут вывести ее за пределы рабочего режима, снижая информативность зондирования.

Вопросам обработки лидарных эхосигналов посвящен ряд публикаций [2]–[4]. В данной статье не ставится задача полной автоматизации обработки лидарного сигнала. Вместо этого ограничимся разработкой алгоритма автоматического, без оценки человеком, разделения сигналов по их вероятной информативности.

При разработке алгоритма использовались данные, полученные в ходе морских испытаний судового лидара [5].

В качестве примера рассмотрим некую обобщенную лидарную систему, поле зрения которой направлено на водную среду достаточной глубины (отражением сигнала от дна пренебрежем). Практика показывает, что, не принимая во внимание длину волны и поляризацию принимаемых эхосигналов, можно разделить их на три основные категории. На рис. 1 представлена зависимость напряжения на выходе электронного усилительного тракта лидарной системы (в относительных единицах) от времени для трех категорий сигналов.

Наиболее близок к идеальному сигнал 1: в его форме ясно наблюдается плавное нарастание сигнала и последующее затухание, обусловленное отражением от все более глубоко лежащих слоев среды.

Сигнал 2 получен в аналогичных условиях, однако ввиду ограниченного динамического диапазона приемного канала максимум кривой оказался «срезан», искажая сигнал. Работа приемного канала в подобном режиме позволяет получить более подробные сведения о глубоких слоях среды, однако теряется часть эхосигнала, соответствующая приповерхностному слою.

Наконец, сигнал 3 демонстрирует пример шума, зафиксированный в отсутствие зондирующих импульсов.

U , о. е.

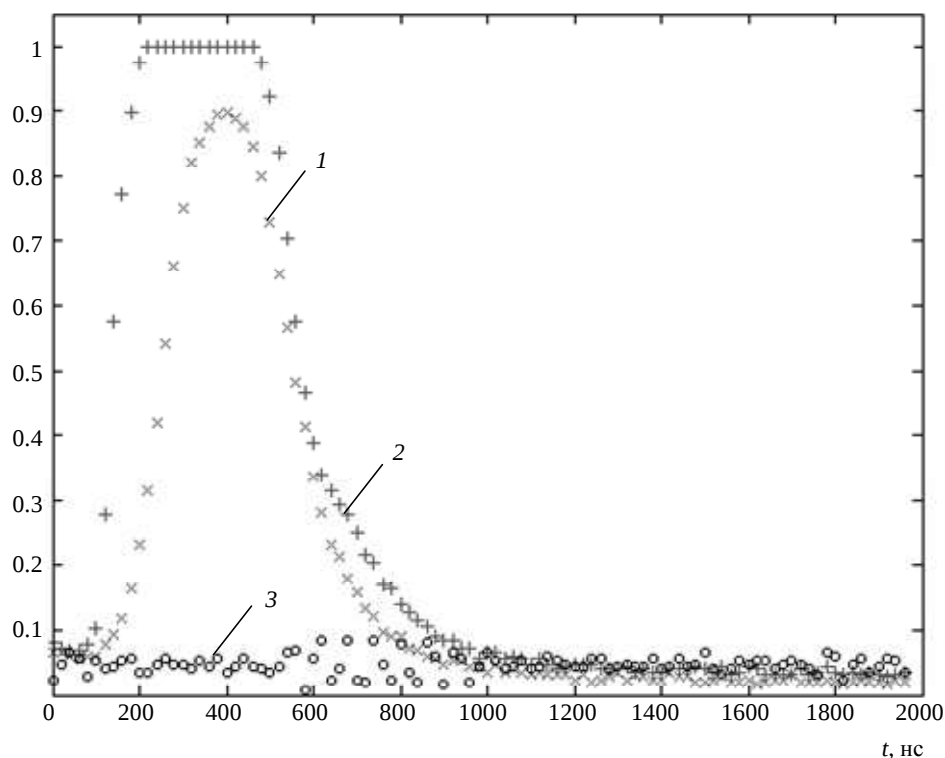


Рис. 1

Серия численных экспериментов показывает, что неискаженный сигнал достаточно легко может быть аппроксимирован суммой гауссовых кривых:

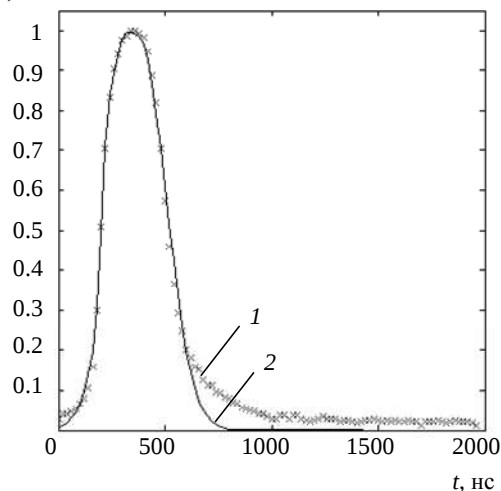
$$U(t) \approx \hat{U}(t) = a_1 \exp\left[-\frac{t-b_1}{c_1}\right] + \dots + a_m \exp\left[-\frac{t-b_m}{c_m}\right],$$

где $a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_m, c_1, \dots, c_m$ – набор констант. Оптимальным при этом представляется $m = 3$.

Меньшие значения m не позволяют повторить форму эхосигнала, а более высокие не дают значительного выигрыша в точности, но увеличивают время, необходимое для обработки каждого сигнала.

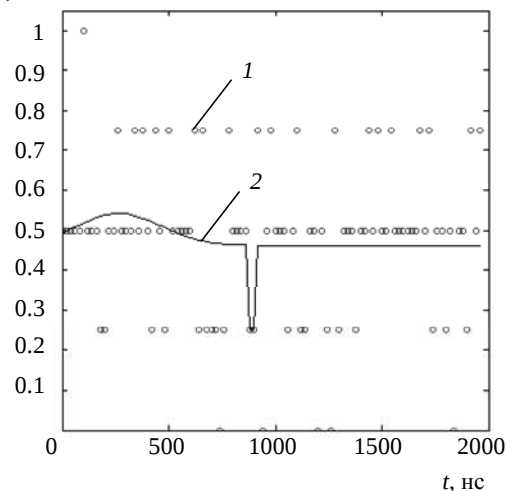
На рис. 2 приведены примеры эхосигналов (наборы значений напряжения U на выходе электронного усилительного тракта) с наложенными аппроксимирующими функциями (1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая).

U , о. е.



а

U , о. е.



б

Рис. 2

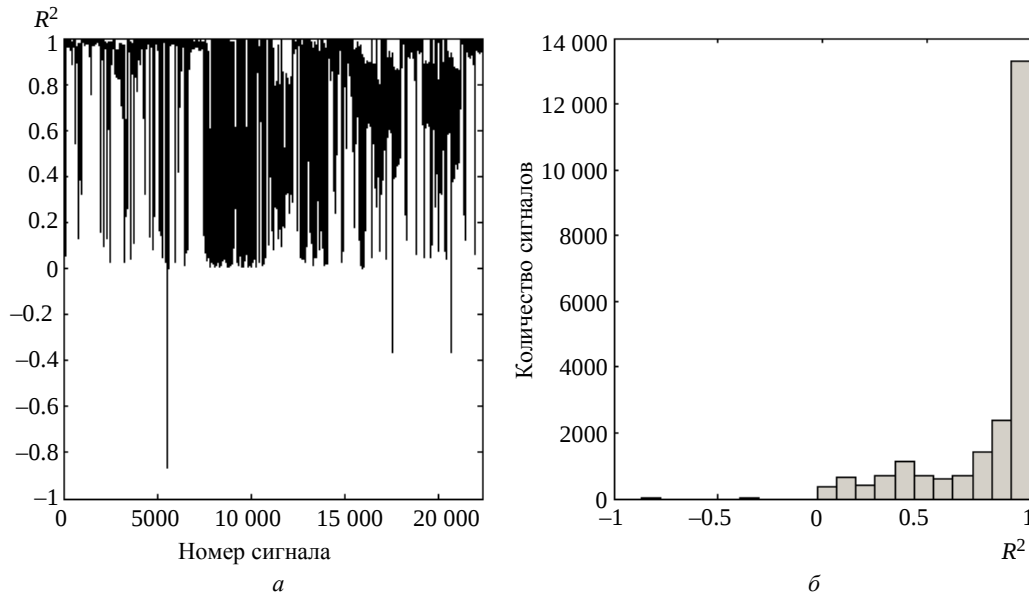


Рис. 3

Для оценки совпадения эхосигнала с наложенной функцией используется величина R^2 , называемая коэффициентом детерминации и определяемая следующим образом [6]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (U_j - \hat{U}_j)^2}{\sum_{j=1}^n \left(U_j - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \right)^2},$$

где n – число точек аппроксимации, выделяемых на каждом сигнале (определяется частотой дискретизации системы); U_j , U_i – значения эхосигнала в очередной точке аппроксимации; $\hat{U}_j$ – значения аппроксимирующей функции в точке аппроксимации.

Эхосигналу, приведенному на рис. 2, *a*, соответствует значение $R^2 = 0.997$. В то же время, очевидно, для «шумового» набора значений подобную аппроксимацию произвести не удастся, и

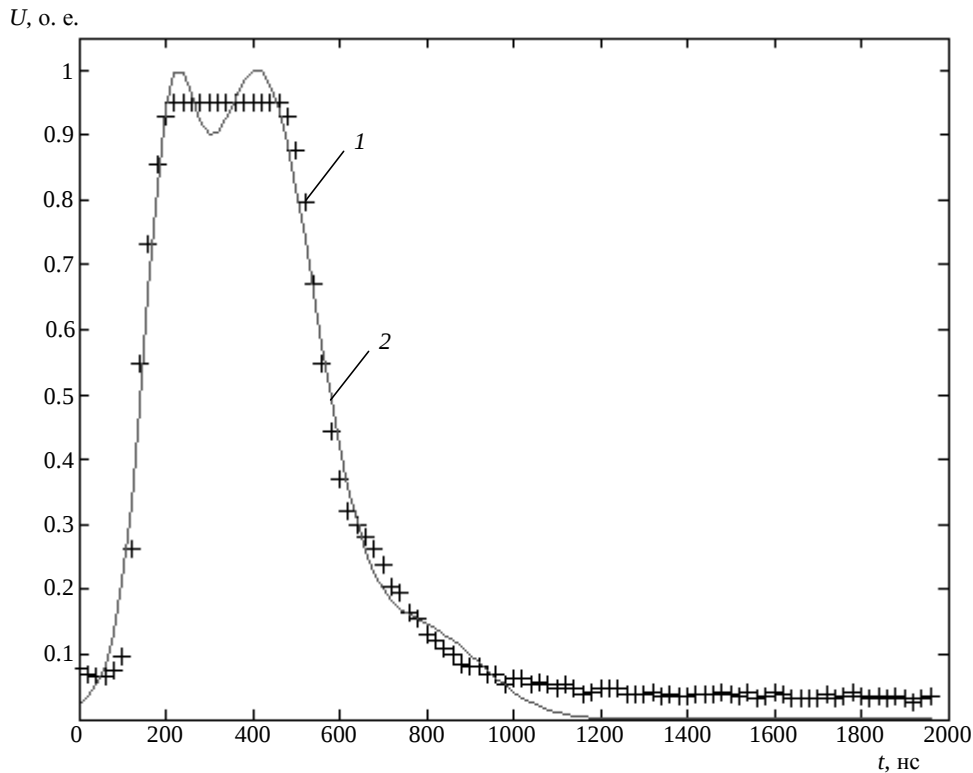


Рис. 4

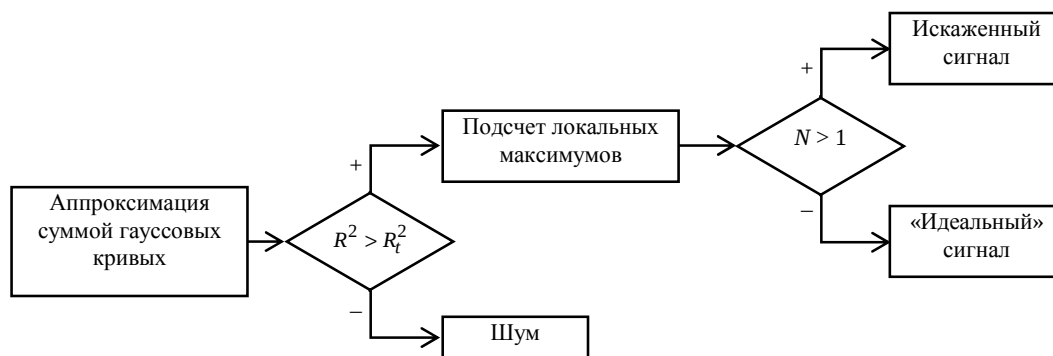


Рис. 5

коэффициент детерминации окажется значительно ниже. Действительно, для случая на рис. 2, б имеем $R^2 = 0.041$.

На рис. 3, а показано временное распределение коэффициента детерминации внутри массива эхосигналов, а на рис. 3, б – распределение той же величины в виде гистограммы по частоте, с которой встречается то или иное значение. Подобное представление позволяет выбрать некоторое пороговое значение R_t^2 и отбрасывать все эхосигналы, для которых $R^2 < R_t^2$, как шум.

Описанный метод позволяет отсеивать эхосигналы, заведомо не несущие полезной информации. Тем не менее, на рис. 4 приведен пример сигнала с $R^2 = 0.988$ (1 – экспериментальные данные, 2 – аппроксимирующая кривая), не удовлетворяющего требованиям к форме, поставленным авторами ранее. Как видно, данный сигнал искажен ограниченным динамическим диапазоном приемного тракта и его часть вблизи максимума утеряна.

Очевидно, наиболее простой признак, по которому такие сигналы отличаются от близких к идеальным (см. рис. 2, а), – наличие двух локальных максимумов с минимумом между ними. Такая форма обусловлена попыткой аппроксимировать горизонтальную вершину сигнала, в то время как близкие к идеальным сигналы аппроксимируются гладкой кривой, имеющей только один максимум. Таким образом, предложенное условие сводится к подсчету количества «пиков» N на аппроксимирующей кривой.

В соответствии с изложенным предложенный здесь алгоритм сортировки сигналов может быть

изображен в виде схемы (рис. 5). Сортировка проходит в два этапа, на первом из которых отбрасывается шум, на втором – искаженные эхосигналы.

Алгоритм был реализован средствами системы численных вычислений MATLAB. Для оценки точности алгоритма произведен визуальный контроль формы первых 1000 сигналов из массива на рис. 3. При пороговом значении $R_t^2 = 0.95$ на первой стадии работы алгоритма было отсеяно 279 сигналов, визуально не являющихся шумом. Такой результат говорит о необходимости адаптивного выбора R_t^2 в зависимости от того, какие сигналы необходимо исключить из дальнейшей обработки. На второй стадии работы алгоритма был «пропущен» 21 искаженный эхосигнал, ошибочно исключено 25 неискаженных.

Следует отметить, что большинство сигналов, отброшенных на первой стадии, не удовлетворяли поставленным условиям эксперимента: на значительной их части наблюдались вторые и третьи максимумы, соответствующие отражению от дна водоема либо погруженной цели.

Предложенный алгоритм, таким образом, позволяет автоматически выделять среди лидарных данных эхосигналы, несущие полезную информацию и не искаженные приемным трактом лидарной системы. Работоспособность алгоритма подтверждена пробной обработкой данных лидарного зондирования водной среды с визуальным контролем результатов. Предметом дальнейших экспериментов являются аппроксимация и распознавание сигналов более сложной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод повышения точности определения расстояния с помощью ультразвукового датчика / А. А. Ухов,

В. А. Герасимов, Д. К. Кострин и др. // Датчики и системы. 2014. № 8. С. 22–25.

2. Improvement of the signal to noise ratio of Lidar echo signal based on wavelet de-noising technique / Z. Zhou, D. Hua, Y. Wang et al. // Optics & Lasers in Engineering. 2013. Vol. 51, № 8. P. 961–966.

3. A method of background noise reduction in lidar data / N. Cao, C. Zhu, Y. Kai, P. Yan // Applied Physics B: Lasers & Optics. 2013. Vol. 113, № 1. P. 115–123.

4. Mao J. Noise reduction for lidar returns using local threshold wavelet analysis // Optical & Quantum Electronics. 2012. Vol. 43, № 1–5. P. 59–68.

5. Испытания судового лидара для рыбопромыслового мониторинга морей / В. И. Черноок, Ю. А. Гольдин, А. Н. Васильев и др. // Тр. XII Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб.: Нестор-История, 2014. С. 305–308.

6. Draper N. R., Smith H. Applied Regression Analysis. Hoboken: Wiley-Interscience, 1998. 709 p.

V. S. Goryainov, A. A. Buznikov
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

V. I. Chernook
JSC «Giprorybflot» (Saint-Petersburg)

A SORTING ALGORITHM FOR LIDAR RETURNS

In this paper a simple algorithm for automated preliminary assessment of lidar signal informativeness based on the approximation of lidar data by a sum of Gaussian functions is considered. The algorithm allows distinguishing between noise, undistorted signal and signal distorted by limited dynamic range of lidar system's reception tract.

Lidars, remote sensing of water, signal processing

УДК 621.386.2

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

Методика двухэтапной рентгенографии в маммологии

Рассматривается использование в маммографии способа с прямым увеличением изображения, который позволяет диагностировать рак молочной железы на ранней стадии образования опухоли. Также показаны преимущества данного способа по сравнению с контактной съемкой.

Молочная железа, микрокальцинаты, двухэтапная микрофокусная маммография

Одной из важнейших проблем современного здравоохранения является сохранение здоровья женщины, так как это оказывает непосредственное влияние на здоровье нации в целом. Из социально значимых заболеваний на первое место среди злокачественных опухолей у женщин вышел рак молочной железы, при этом число ошибок в диагностике достигает 38 %, а в первой стадии заболевания выявляется лишь в 13 % случаев.

Для обеспечения ранней диагностики рака груди необходимо существенное повышение точности и информативности существующих мето-

дов, а также систематическое применение скрининг-тестов для выявления патологий, позволяющих предположить рак. В настоящее время существует множество методов диагностики рака молочной железы, но общепризнано, что наиболее эффективным методом ранней диагностики является рентгеновская маммография.

В современных маммографах традиционно реализуется метод контактной съемки. В таких маммографах источником излучения служит мощная рентгеновская трубка с протяженным фокусным пятном, размер которого за последние годы