

УДК 534.141

ОЦЕНИВАНИЕ РАЗМЕРА СТРУКТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭХО-СИГНАЛА

© 2023 г. Т. В. Яковлева^{1,*}, Н. С. Кульберг¹, Д. В. Леонов²

Представлено академиком РАН Ю.Г. Евтушенко

Поступило 06.12.2022 г.

После доработки 16.12.2022 г.

Принято к публикации 20.12.2022 г.

В работе рассматривается принципиально новый подход к решению задачи определения размеров структурных образований при ультразвуковой диагностике, в основе которого лежит теоретически обоснованная возможность оценивания размеров неоднородностей исследуемой среды посредством анализа статистических характеристик рассеянного на этих неоднородностях ультразвукового сигнала. Эта возможность обусловлена тем, что статистическое распределение данных, формирующих ультразвуковое изображение, варьируется от распределения Рэлея до распределения Райса в зависимости от соотношения между размером области когерентности рассеянного сигнала и шириной луча. Работа направлена на развитие нового метода статистического анализа данных, который позволит эффективно выявлять значительную когерентную составляющую в эхо-сигнале и тем самым будет использоваться как математический инструмент оценивания размера неоднородностей среды при ультразвуковой визуализации. Такой подход к анализу ультразвуковых изображений обеспечит возможность количественного оценивания структурных образований и тем самым – существенное повышение информативности ультразвуковой диагностики и возможность выявления патологий на ранней стадии их образования, открывая перспективы повышения эффективности лечения.

Ключевые слова: рассеяние, дифференциация тканей, Релей, Райс, ультразвуковая диагностика

DOI: 10.31857/S2686954322600744, **EDN:** CSNGDL

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы методы статистической обработки сигналов широко используются в различных областях науки как эффективный инструмент анализа стохастических данных различной природы. При этом существенное значение имеет характер статистического распределения, которому подчиняются анализируемые данные. Стохастические данные, получаемые при ультразвуковой визуализации в рамках рассматриваемой в данной работе задачи, адекватно описываются статистической моделью Райса [1].

Распределение Райса и его частный случай – распределение Рэлея – в ультразвуковой визуализации соответствуют распределению амплитуды изображения в режиме В-mode при достаточно однородном составе отражателей и их высокой плотности, причем изображение формируется огибающей радиочастотного сигнала (RF image). При этом в отсутствие когерентной компоненты сигнала мы имеем дело с распределением Рэлея [2]. Что касается распределения Райса, то оно также соответствует случаю высокой плотности случайных отражателей, формирующих диффузную составляющую сигнала, но при этом в составе сигнала присутствует и заметная когерентная составляющая [3]. Распределение Райса широко используется применительно к задачам ультразвуковой визуализации [4]. Так, в работе [5] рассматривается использование особенностей этого распределения для улучшения качества сонограммы посредством борьбы с шумами.

Как известно, применимость рэлеевского и райсовского распределений к рассеянному ультразвуковому сигналу (эхо-сигналу) признается многими авторами, (см., напр., [7]). Однако ре-

¹ Федеральный исследовательский центр “Информатика и управление” Российской академии наук, Москва, Россия

² Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы” (ГБУЗ “НПКЦ ДиТ ДЗМ”), Москва, Россия

*E-mail: tan-ya@bk.ru

шение задачи количественного оценивания размера неоднородностей среды на основании выявления заметной когерентной составляющей в эхо-сигнале при переходе рэлеевского распределения в райсовское является принципиально новым.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ РАЗМЕРА СТРУКТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И СУТЬ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА К ЕЕ РЕШЕНИЮ

В основе предлагаемого подхода к оцениванию размеров неоднородностей среды посредством ультразвуковой визуализации лежит зависимость степени когерентности рассеянного ультразвукового сигнала от соотношения геометрических параметров ультразвукового луча и рассеивающих неоднородностей. А именно: по мере приближения к фокальной плоскости и сужения луча количество некоррелированных между собой рассеивателей, попадающих в область луча, уменьшается, и при этом рэлеевское распределение, характеризующее рассеяние звука многими некоррелированными неоднородностями, переходит в распределение Райса, характеризующее эхо-сигнал со значительной когерентной составляющей, когда в области луча оказывается практически всего один рассеиватель. Такой переход от рэлеевского распределения эхо-сигнала к райсовскому имеет место на той глубине, где ширина луча соответствует размеру рассеивающей неоднородности, и соответствует переходу от полностью некогерентного рассеяния к появлению значительной когерентной составляющей в эхо-сигнале. Таким образом, выявление факта такой трансформации одного распределения в другое может стать эффективным инструментом оценивания размера структурных неоднородностей исследуемой среды как величины, соотносимой с размером области когерентности при рассеянии ультразвуковой волны.

Таким образом, основополагающим теоретическим инструментом, определяющим суть предлагаемого подхода, является анализ характера статистического распределения эхо-сигнала, которое определяется степенью когерентности эхо-сигнала.

Рассматривается неоднородная биологическая среда, в которой рассеивающие ультразвук неоднородности имеют примерно одинаковый размер и одинаковую плотность, что является характерной особенностью ряда исследуемых биологических тканей, таких, например, как печень. В результате рассеяния ультразвука на структурных образованиях исследуемой среды формируется ультразвуковое диагностическое изображение. При этом исследуемый процесс рассеяния ультразвука в биологической среде характеризуется наличием большого числа однородных рас-

сеивателей, что соответствует условиям рэлеевского и райсовского статистических распределений амплитуды эхо-сигнала.

Распространение ультразвуковой волны в среде описывается основным уравнением акустики, конкретное решение которого однозначно определяется свойствами рассеивающей неоднородной среды, в первую очередь – флуктуациями плотности и сжимаемости. Записанное относительно Фурье-преобразования $P(\vec{R}, \omega)$ пространственно-временной функции давления $p(\vec{R}, t)$, данное уравнение имеет следующий вид [7]:

$$\begin{aligned} \Delta P + \frac{\omega^2}{c^2} P + 2i\gamma(\omega, \vec{R}) P = \\ = \frac{\omega^2}{c^2} \hat{\beta}(\vec{R}) P + \nabla(\hat{\rho}(\vec{R})) \nabla P, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω – частота, t – время, $c = (\rho_0 \beta_0)^{-1/2}$ – скорость звука в среде с плотностью ρ_0 и сжимаемостью β_0 , $\frac{\rho(\vec{R})}{\rho_0}$ – относительное изменение плотности, $\frac{\beta(\vec{R})}{\beta_0}$ – относительное изменение сжимаемости среды, $\gamma(\omega, \vec{R})$ – преобразование Фурье функции поглощения звука в среде, \vec{R} – пространственная координата рассматриваемой точки среды. Как правило, выше приведенное уравнение для спектральной плотности функции давления $P(\vec{R}, \omega)$ решается в борновском приближении.

Функция давления как основная характеристика процесса распространения звука в среде представляет собой комплексную величину и характеризуется амплитудой и фазой. В процессе распространения по неоднородной среде величина рассеянного сигнала неизбежно искажается спекл-шумом, образованным суммированием многих независимых компонент от рассеяния звуковой волны точечными отражателями и поэтому обладающим гауссовской статистикой. Результирующая функция давления и, соответственно, значение эхо-сигнала может быть представлена как сумма некоторой детерминированной величины и искажающей его шумовой компоненты с гауссовской статистикой.

Рассмотрим искомую комплексную величину пространственно-временной функции давления $p(\vec{R}, t)$ в конкретной точке пространства \vec{R} и в момент времени t : $p(\vec{R}, t) = p_{Re} + ip_{Im}$ как случайную величину, формируемую некой изначально детерминированной составляющей и гауссовским шумом с дисперсией σ^2 . Обозначим амплитуду детерминированной компоненты функции дав-

ления в конкретной точке $p(\bar{R}, t)$ как A . При этом действительная p_{Re} и мнимая p_{Im} части измеряемого и анализируемого комплексного сигнала искажаются гауссовским шумом независимо. Тогда действительная p_{Re} и мнимая p_{Im} компоненты анализируемой комплексной величины представляют собой независимые гауссовские величины с одинаковыми дисперсиями σ^2 и ненулевыми математическими ожиданиями, в то время как амплитуда $p = \sqrt{p_{Re}^2 + p_{Im}^2}$ результирующего сигнала, как известно, подчиняется распределению Райса с параметрами A и σ^2 . Функция плотности вероятности распределения Райса определяется выражением [1]:

$$f(p|A, \sigma^2) = \frac{p}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{p^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{pA}{\sigma^2}\right). \quad (2)$$

Оба параметра статистического распределения Райса в выражении (2) имеют конкретный физический смысл: σ^2 – это дисперсия искажающего сигнала гауссовского шума, а параметр A совпадает с величиной амплитуды исходного детерминированного сигнала, с чем связана значимость задачи как можно более точного оценивания этого параметра при анализе данных. Задача совместного определения обоих параметров сигнала A и шума σ на основе выборочных измерений p_i ($i = 1, 2, \dots, n$) суммарного сигнала p может быть эффективно решена методами двухпараметрического анализа данных [8–11]. Именно эти методы используются в качестве математического инструмента статистического анализа эхо-сигнала при решении поставленной задачи определения размера неоднородности среды.

В качестве примера приведем формулы для вычисления искомых райсовских параметров двухпараметрическим методом моментов, основанным на анализе данных выборочных измерений 2-го и 4-го моментов и в силу этого обозначаемого как ММ24. Известно, что для 2-го и 4-го начальных моментов случайной величины p , подчиняющейся распределению Райса с параметрами (A, σ^2) , справедливы следующие формулы:

$$\begin{aligned} \overline{p^2} &= 2 \cdot \sigma^2 + A^2, \\ \overline{p^4} &= 8 \cdot \sigma^4 + 8 \cdot \sigma^2 \cdot A^2 + A^4. \end{aligned} \quad (3)$$

Эти формулы представляют собой простую систему двух уравнений для двух неизвестных A и σ^2 . В решении данной системы и состоит метод ММ24, [9, 10]. Для определения искомых пара-

метров A и σ^2 данным методом нетрудно получить следующие выражения:

$$\begin{aligned} A^2 &= \overline{p^2} \sqrt{1 - \tau}, \\ \sigma^2 &= \overline{p^2} (1 - \sqrt{1 - \tau}) / 2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\tau = \overline{p^4} / (\overline{p^2})^2 - 1$. Нетрудно видеть, что для любой случайной величины p в силу стохастичности величины p^2 выполняется условие $\overline{p^4} - (\overline{p^2})^2 > 0$,

так как разность $\overline{p^4} - (\overline{p^2})^2$ определяет дисперсию случайной величины p^2 . Поэтому введенный параметр τ растет с ростом стохастичности процесса и удовлетворяет соотношению: $0 < \tau \leq 1$. Предельный случай $\tau = 1$ соответствует частному случаю распределения Райса – распределению Рэлея, когда присутствует гауссовский шум, а детерминированная составляющая сигнала отсутствует ($A = 0$).

Таким образом, рассчитывая по формуле (4) параметры статистического распределения эхо-сигнала на основе его выборочных измерений, и, прежде всего – величину амплитуды A , мы можем определить, какое именно распределение – Райса или Рэлея – характеризует эхо-сигнал, формирующий ультразвуковое изображение, и таким образом выявить момент перехода от одного распределения к другому. Соответствующий данному моменту размер фокальной перетяжки будет характеризовать искомый размер структурных неоднородностей исследуемой среды.

Физическая сущность предлагаемого подхода состоит в следующем. Большинство схем построения изображения в приборах ультразвуковой визуализации основаны на регистрации импульса, рассеянного в обратном направлении, причем в диагностических приборах, как правило, имеется возможность перемещения фокальной плоскости вглубь среды. Рисунок 1 схематически иллюстрирует процесс рассеяния на неоднородностях среды. Плоскость, на которой в данный момент сфокусировано излучение, обозначена буквой f . Для примера показаны две другие плоскости в рассеивающей среде, обозначенные цифрами 1 и 2. Они находятся вне фокуса, и в этих плоскостях расфокусированный падающий луч имеет достаточно большую ширину, так что в пределах луча помещаются несколько рассеивающих неоднородностей. Плоскость излучения и приема ультразвуковых сигналов условно показана в правой части рисунка и обозначена цифрой 3 (конструктивные детали, такие как линзы, отдельные датчики излучающей и принимающей сигналы фазовой решетки в данной схематичной иллюстра-

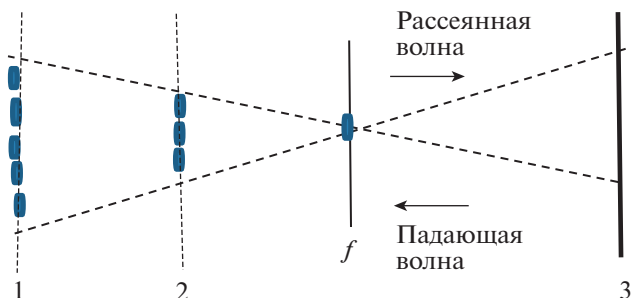


Рис. 1. Схематическое представление процессов рассеяния ультразвука от неоднородностей, находящихся в фокальной f и других (1 и 2) плоскостях исследуемой среды.

ции не детализированы, а условно объединены в плоскости 3).

Очевидно, что статистические особенности регистрируемого приемником рассеянного сигнала определяются взаимодействием сигналов, рассеянных отдельными неоднородностями среды, и их взаимной когерентностью: сигнал, регистрируемый с плоскости 1, находящейся на значительном расстоянии от фокальной плоскости f , будет формироваться рассеянием от большого количества неоднородностей, которые, как правило, являются независимыми, раскоррелированы по фазам, и поэтому результаты рассеяния различными неоднородностями, находящимися в плоскости 1, будут “гасить” друг друга, и результирующий рассеянный ими сигнал будет подчиняться распределению Рэлея. По мере уменьшения в зоне луча количества рассеивающих неоднородностей рассеяние от каждой из них все в меньшей степени будет “гаситься” рассеянием от соседних неоднородностей. При этом результирующий сигнал из рэлеевского будет трансформироваться в райсовский, имеющий ненулевую детерминированную составляющую амплитуды. И, наконец, если в зоне луча будет находиться только одна рассеивающая неоднородность (что возможно достичь в фокальной плоскости или на некотором расстоянии от нее, когда размер луча сужается до размера рассеивателя), то рассеяние от этой неоднородности вообще не будет “гаситься” соседними рассеивателями, и яркость соответствующих точек на изображении, формируемом рассеянным излучением, будет заметно выше. В этом случае рассеянный сигнал подчиняется статистическому распределению Райса как сигнал, имеющий отличную от нуля детерминированную составляющую амплитуды, превышающую уровень фонового спекл-шума, неизбежно возникающего в ходе распространения этого сиг-

нала от плоскости рассеяния до плоскости приемника. Такой спекл-шум присутствует в излучении, рассеянном и от других плоскостей, но детерминированная составляющая от рассеяния на неоднородности в фокальной плоскости будет в нем превалировать именно в случае соответствия размера неоднородности размеру фокальной перетяжки луча.

Из выше представленного следует, что усиление яркости изображения в фокальной плоскости, связанное с наличием в отраженной волне сильной когерентной составляющей, свидетельствует о переходе рэлеевского статистического распределения амплитуды эхо-сигнала в райсовское, и размер структурных неоднородностей исследуемой среды при этом можно оценить как величину фокальной перетяжки луча, соответствующую такому переходу.

Представленные теоретические соображения относительно зависимости яркости ультразвукового изображения в области фокальной плоскости от степени когерентности отраженной ультразвуковой волны подтверждаются результатами проведенного тестового физического эксперимента. В ходе эксперимента с помощью ультразвукового прибора Medison Sonoace 8000 EX Prime с линейным датчиком L5-9EC было проведено исследование отражения ультразвука в В-режиме на несущей частоте 7.5 МГц при глубине зондирования до 40 мм и фокальном расстоянии 28 мм. Исследование проводилось в фантоме с однородной структурой рассеивателей размером примерно 0.2 мм. Для расчета по формуле (4) использовалась область сонограммы, центр которой находился на фокальной глубине, равной 28 мм.

Как видно из представленного ниже изображения (рис. 2), в зоне ультразвукового изображения, соответствующей рассеянию сигнала от области, расположенной вблизи фокальной плоскости, действительно наблюдается повышение яркости. При расчете по формуле (4) значение параметра τ составляло 0.5. При этом второй и четвертый моменты амплитуды величины p рассчитывались как средние по выборкам значения соответствующих степеней измеренных значений этой величины. Для расчета размера неоднородностей использовалась наиболее яркая область ультразвукового изображения как соответствующая появлению заметной когерентной составляющей сигнала. Для приведенного на рис. 2 изображения рассчитанные значения отношения сигнала к шуму составляли величины в диапазоне 2.5–3.1 дБ. Полученное соотношение сигнала и шума позволяет выявить факт перехода рэлеев-

ского распределения в райсовское, когда значение сигнала заметно превосходит уровень шума.

Тем самым экспериментально подтверждается гипотеза, которая лежит в основе предлагаемого в работе теоретического метода характеристики рассеивающих неоднородностей. Такое повышение яркости, несмотря на уменьшение рассеивателей при сужении пучка по мере приближения к фокальной зоне, наблюдалось для определенного размера рассеивающих неоднородностей, который соответствовал размеру луча в фокальной перетяжке, что подтверждает возможность определения размеров неоднородностей предлагаемым методом статистического анализа эхо-сигнала.

Из вышеизложенного следует, что результирующий эхо-сигнал, формирующий диагностическое изображение, можно рассматривать как сумму некогерентной составляющей, которая подчиняется статистическому распределению Рэлея, и когерентной составляющей, которая подчиняется статистическому распределению Райса. Соотношение этих двух компонент определяет степень когерентности. Ввиду того, что распределение Рэлея является частным случаем распределения Райса, а также в силу устойчивости распределения Райса, строго доказанной в работе [11], можно утверждать, что амплитуда результирующего эхо-сигнала, независимо от степени его когерентности, подчиняется распределению Райса. Это означает применимость к решению задачи методов анализа райсовских данных, независимо от степени когерентности эхо-сигнала. Эти методы позволяют с высокой точностью рассчитать составляющие сигнала и шума в анализируемых данных без каких-либо априорных предположений, лишь на основании выборочных измерений.

Очевидно, что, когда параметр райсовского распределения, соответствующий величине сигнала, сравнивается с параметром шума и превышает его, можно говорить о наличии значительной когерентной составляющей в результирующем эхо-сигнале, т.е. о том, что рэлеевское распределение переходит в чисто райсовское, и, соответственно, размер рассеивающей ультразвуковую волну неоднородности становится сопоставим с шириной луча. Экспериментальные данные продемонстрировали превышение сигналом уровня шума на 2.5–3.1 дБ.

Если оценить ширину фокальной перетяжки, соответствующую увеличению яркости в вышеприведенном эксперименте, по известной формуле:

$$W \approx \frac{F\lambda}{D}, \quad (5)$$

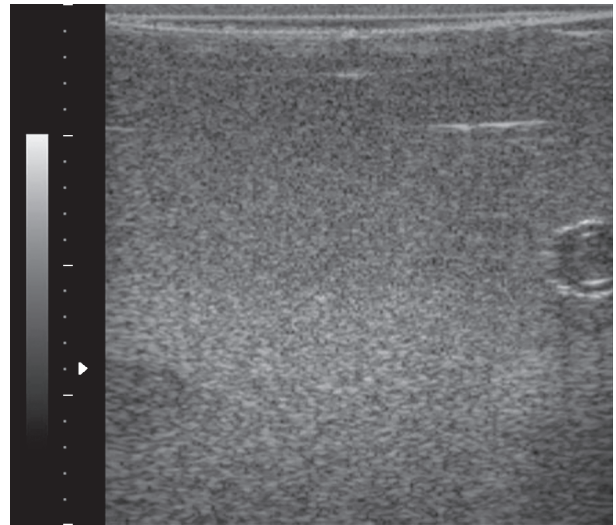


Рис. 2. Изображение фантома, полученное в тестовом режиме ультразвуковой визуализации и иллюстрирующее факт повышения яркости эхо-сигнала за счет появления когерентной составляющей (перехода рэлеевского распределения в райсовское).

где F – расстояние от апертуры до фокальной позиции, в нашем случае, равное 28 мм, λ – длина волны, равная 0.2 мм, D – ширина апертуры, равная 37 мм, то получаем для размера структурных образований, формирующих ультразвуковое изображение, величину порядка 0.15 мм.

Таким образом, физический эксперимент, проведенный с целью апробации предлагаемого подхода к определению размеров структурных образований в среде, исследуемой посредством ультразвуковой визуализации, подтвердил реализуемость данного подхода.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе развита концепция принципиально нового подхода к решению задачи определения размера структурных образований при ультразвуковой визуализации. В основе данного подхода лежит изучение характера статистического распределения анализируемых в задаче данных.

В представленном подходе к количественному оцениванию размеров рассеивателей при ультразвуковой визуализации основным математическим инструментом определения степени когерентности эхо-сигнала являются анализ статистического распределения амплитуды эхо-сигнала и выявление момента перехода от рэлеевского распределения к райсовскому. Соответствующий такому переходу диаметр фокальной перетяжки луча можно считать соответствующим оцениваемому

размеру рассеивающих ультразвук неоднородностей исследуемой биологической среды.

Таким образом, подход к определению размеров неоднородностей среды состоит из следующих этапов:

- на основе выборочных измерений амплитуды эхо-сигнала методами двухпараметрического анализа райсовских данных рассчитывают значения райсовских параметров сигнала и шума;
- определяют глубину, которой соответствует эхо-сигнал с наибольшей яркостью;
- определяют поперечные размеры луча, соответствующие данной глубине;
- характерный размер неоднородностей, рассеяние на которых формирует эхо-сигнал максимальной яркости, принимается соответствующим поперечному размеру луча на глубине, с которой приходит эхо-сигнал максимальной яркости.

Развиваемый в работе подход к количественному анализу структуры рассеивающей среды будет способствовать разработке более совершенных ультразвуковых медицинских диагностических приборов нового поколения. В частности, следует отметить перспективу использования результатов работы в развитии ультразвуковой диагностики легочных патологий, вызванных заболеванием COVID: как показано в работе [12], ультразвуковая визуализация легких, не реализуемая в условиях других заболеваний, становится возможной при COVID именно ввиду особенностей патологий, вызванных данным заболеванием и означает возможность ультразвуковой диагностики состояния легких при COVID.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе развита концепция и представлены теоретические основы принципиально нового подхода к определению размера структурных образований при ультразвуковой визуализации посредством статистического анализа эхо-сигнала. Разработанный в рамках данного подхода математический метод является эффективным инструментом при решении задач количественной ультразвуковой диагностики, что подтверждается результатами проведенной апробации предлагаемого подхода путем физического эксперимента.

Основополагающим теоретическим инструментом при определении размеров неоднородностей в условиях поставленной в работе задачи является выявление момента перехода распределения эхо-сигнала от рэлеевского к райсовскому методами статистического анализа эхо-сигнала при изменении ширины луча. Как обосновано в

работе, такой переход от райсовского распределения к рэлеевскому происходит, когда размер рассеивателя ультразвукового излучения соответствует ширине луча и может быть выявлен путем статистического анализа амплитуды эхо-сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rice S.O.* Mathematical Analysis of Random Noise // Bell Syst. Tech. Journal. 1944. V. 23. P. 282–322.
2. *Cai R.* Statistical Characterization of the Medical Ultrasound Echo Signals. Sci Rep. 2016. V. 6. P. 39379.
3. *Parker K.J.* Shapes and distributions of soft tissue scatterers. Physics in Medicine and Biology. Volume 64, Issue 17, 5 September 2019, article number 175022.
4. *Mohana Shankar P.* A general statistical model for ultrasonic backscattering from tissues // IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control. 2000. V. 47. № 3. P. 727–36. <https://doi.org/10.1109/58.842062>
5. *Martínez-Graullera O., Yagüe-Jiménez V., Romero M. P. and Ibáñez Rodríguez A.* Improving ultrasonic medical image quality by attenuation of the secondary lobes // IEEE International Ultrasonics Symposium. 2019. P. 1286–1289. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2019.8926260>
6. Physical Principles of Medical Ultrasonics, 2nd ed, C.R. Hill (Editor), J.C. Bamber (Editor), G.R. ter Haar (Editor), ISBN: 978-0-471-97002-6, 2004, 528 P.
7. *Yakovleva T.V., Kulberg N.S.* Noise and Signal Estimation in MRI: Two-Parametric Analysis of Rice-Distributed Data by Means of the Maximum Likelihood Approach. American Journal of Theoretical and Applied Statistics. 1013. V. 2. № 3. P. 67–79.
8. *Яковлева Т.В.* Теоретическое обоснование математических методов совместного оценивания параметров сигнала и шума при анализе райсовских данных // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т. 8. № 3. С. 445–473. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2016-8-3-445-473>
9. *Яковлева Т.В., Кульберг Н.С.* Методы математической статистики как инструмент двухпараметрического анализа магнитно-резонансного изображения // Информатика и ее применения. 2014. Т. 8. Вып. 3. С. 79–89.
10. *Yakovleva T.* Peculiarities of the Rice Statistical Distribution: Mathematical Substantiation // Applied and Computational Mathematics. 2018. V. 7. № 4. P. 188–196. Science Publishing Group. <https://doi.org/10.11648/j.acm.20180704.12>
11. *Vetsheva N.N., Reshetnikov R.V., Leonov D.V., Kulberg N.S., Mokienko O.A.* Diagnostic value of lung ultrasound in COVID-19: systematic review and meta-analysis // Digital Diagnostics. 2020. V. 1. № 1. P. 13–26. <https://doi.org/10.17816/DD46834>

ESTIMATION OF THE SIZE OF STRUCTURAL FORMATIONS IN ULTRASOUND IMAGING THROUGH STATISTICAL ANALYSIS OF THE ECHO SIGNAL

T. V. Yakovleva^a, N. S. Kulberg^a, and D. V. Leonov^b

^a *Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b *Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, MPEI, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS Yu.G. Evtushenko

The paper considers a fundamentally new approach to solving the problem of determining the size of structural formations in ultrasonic diagnostics, based on the theoretically justified possibility of estimating the size of inhomogeneities of the studied medium by analyzing the statistical characteristics of the ultrasonic signal scattered on these inhomogeneities. This possibility is conditioned by the fact that the statistical distribution of the ultrasound image data varies from Rayleigh distribution to Reiss distribution depending on the relation between the coherence area size of the scattered signal and the beamwidth. The work aims at the development of a new method of statistical data analysis, which will effectively detect a significant coherent component in the echo signal and thereby be used as a mathematical tool to estimate the size of medium inhomogeneities in ultrasound imaging. Such approach to the analysis of ultrasound images would provide a possibility of quantitative estimation of structural formations and thereby would increase significantly the information value of ultrasound diagnostics and possibility of pathology detection at early stages of its formation that opens perspectives for treatment efficiency increase.

Keywords: scattering, tissue differentiation, Rayleigh, Rice, ultrasonic diagnostics