



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A61B 6/02 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2018117885, 16.10.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.10.2016

Дата регистрации:
24.04.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
16.10.2015 US 62/242,915

(43) Дата публикации заявки: 21.11.2019 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 24.04.2020 Бюл. № 12

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 16.05.2018

(86) Заявка РСТ:
US 2016/057254 (16.10.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2017/066731 (20.04.2017)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

СЕМЕНОВ, Сергей, И. (АТ)

(73) Патентообладатель(и):

ЭМТЕНЗОР ГМБХ (АТ)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2014276012 A1, 18.09.2014. US
2012083690 A1, 05.04.2012. US 2002017905 A1,
14.02.2002. L.MARIAPPAN et.al.
Magnetoacoustic tomography with magnetic
induction for high-resolution bioimpedance
imaging through vector source reconstruction
under the static field of MRI magnet., Med Phys.
2014 Feb; 41(2): 022902. S.Y.SEMENOV et al.
(см. прод.)

(54) ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ С РАСПОЗНАВАНИЕМ КАРТИН ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

(57) Реферат:

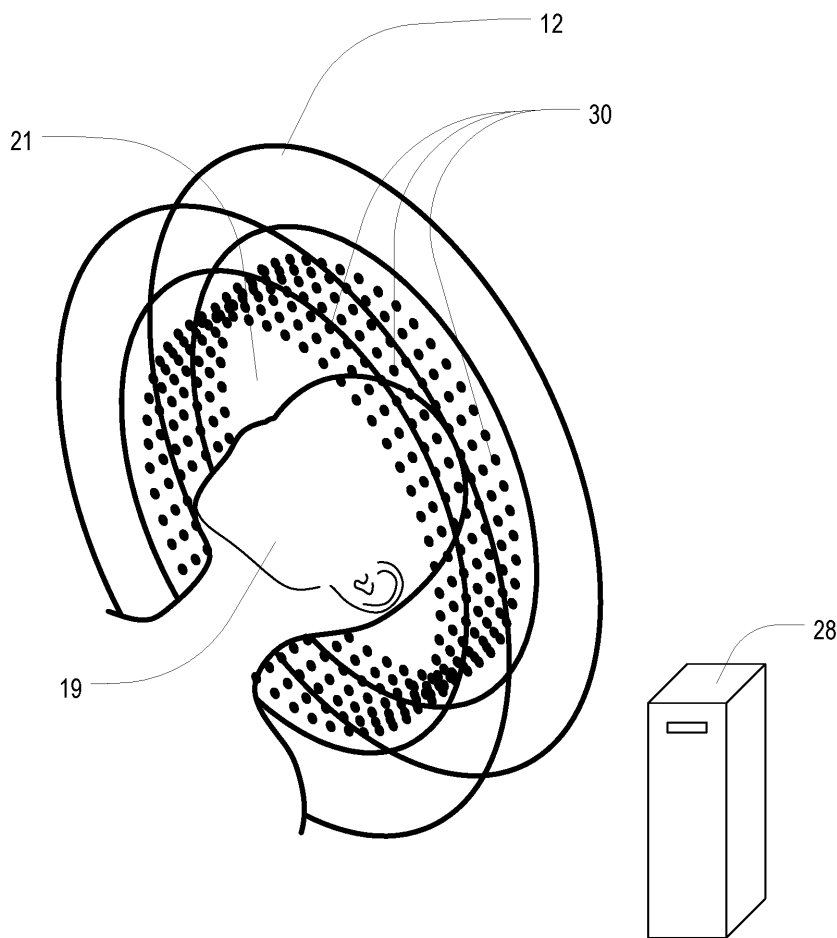
Изобретение относится к области медицины. Способ электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (EMIPRT) для использования в системе реконструкции изображения содержит генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и использование сгенерированных

данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом, с формированием невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознаванием картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формированием суперпозиционного изображения

путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции. Способ реконструкции изображения с использованием электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции содержит генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и использование сгенерированных данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом, с формированием невозмущенного

изображения электромагнитной интерференции, формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознаванием картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции, и формированием суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции. Технический результат заявленного изобретения состоит в увеличении точности представления изображений. 3 н. и 27 з.п. ф-лы, 8 ил.

10



ФИГ. 1

(56) (продолжение):

Microwave-Tomographic Imaging of the High Dielectric-Contrast Objects Using Different Image-Reconstruction Approaches. IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 53, no. 7, July 2005.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

A61B 6/02 (2020.02)(21)(22) Application: **2018117885, 16.10.2016**(24) Effective date for property rights:
16.10.2016Registration date:
24.04.2020

Priority:

(30) Convention priority:
16.10.2015 US 62/242,915(43) Application published: **21.11.2019 Bull. № 33**(45) Date of publication: **24.04.2020 Bull. № 12**(85) Commencement of national phase: **16.05.2018**(86) PCT application:
US 2016/057254 (16.10.2016)(87) PCT publication:
WO 2017/066731 (20.04.2017)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

SEMENOV, Serguei, Y. (AT)

(73) Proprietor(s):

EMTENSOR GMBH (AT)(54) **ELECTROMAGNETIC TOMOGRAPHY WITH IDENTIFICATION OF INTERFERENCE PATTERNS**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: invention relates to medicine. Method for electromagnetic tomography with recognition of interference patterns (EMIPRT) for use in an image reconstruction system comprises generating electromagnetic field data corresponding to an object in a visualization region by means of an electromagnetic tomography system, wherein electromagnetic field data are measured on plurality of receivers after creation thereof on plurality of transmitters and interaction with object; and using generated electromagnetic field data repeatedly, recursively, with formation of an undisturbed image of electromagnetic interference, generation of a disturbed image of electromagnetic

interference, based at least in part on the unperturbed electromagnetic interference image, recognition of patterns of electromagnetic interference in repeatedly generated disturbed images of electromagnetic interference and superposition image formation by reduction to zero or reduction of recognized patterns of electromagnetic interference from disturbed image of electromagnetic interference. Method for reconstructing an image using electromagnetic tomography with recognition of interference patterns comprises generating electromagnetic field data corresponding to an object in a visualization region by means of an electromagnetic tomography system, wherein electromagnetic field data are measured on

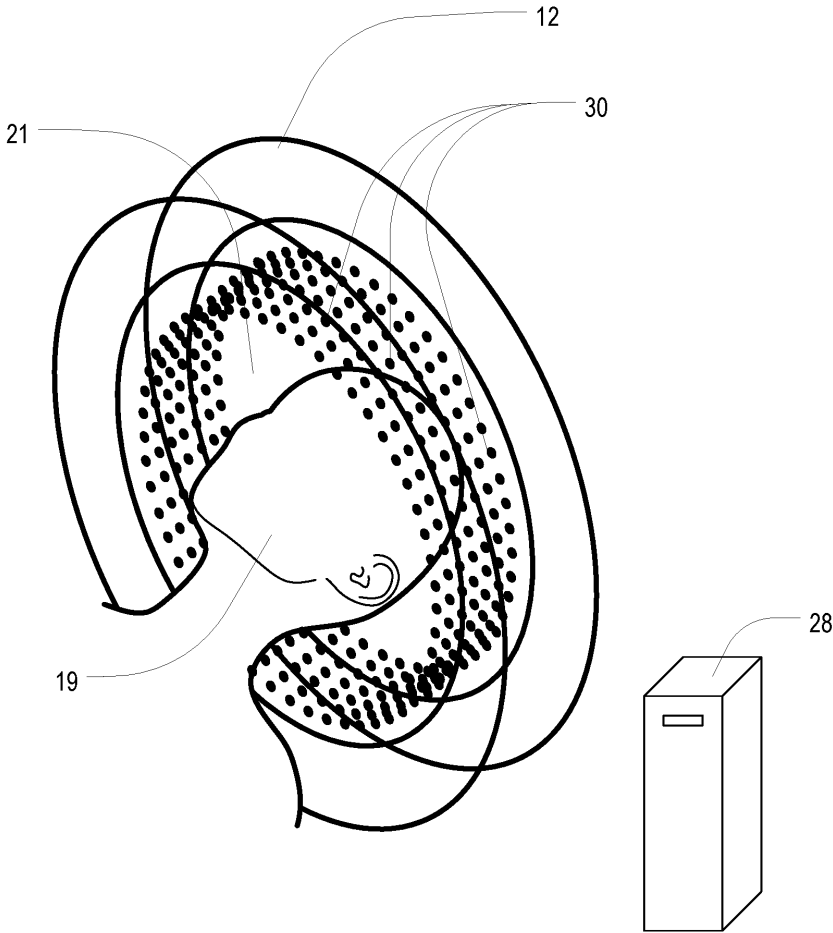
plurality of receivers after creation thereof on plurality of transmitters and interaction with object; and use of generated electromagnetic field data repeatedly, recursively, with formation of non-disturbed electromagnetic interference image, generating a disturbed electromagnetic interference image based at least in part on the unperturbed electromagnetic interference image, recognizing patterns of electromagnetic interference in repeatedly generated

disturbed electromagnetic interference images, and superposition image formation by reduction to zero or reduction of recognized patterns of electromagnetic interference from disturbed image of electromagnetic interference.

EFFECT: technical result of the disclosed invention is to increase the accuracy of displaying images.

30 cl, 8 dwg

10



ФИГ. 1

R U 2 7 2 0 1 6 1 C 2

R U 2 7 2 0 1 6 1 C 2

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА СВЯЗАННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] В отношении Соединенных Штатов настоящая заявка является обычной патентной заявкой США и испрашивает приоритет согласно 35 U.S.C. 119 (e) предварительной заявки на патент США с порядковым номером 62/242,915, поданной 16 октября 2015 года и озаглавленной «ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE PATTERN RECOGNITION TOMOGRAPHY», причем заявка '915 в полном объеме явно включена в настоящий документ по ссылке. Кроме того, каждый из следующих патентов, патентных заявок и публикаций патентных заявок включен в настоящий документ по ссылке в полном объеме:

(a) патент США № 9414749 Семенова, поданный 16 августа 2016 года и ранее опубликованный 5 июня 2014 как публикация патентной заявки США № 2014/0155740 A1, которая предназначена по меньшей мере для предоставления информации об уровне техники и технической информации в отношении систем и условий изобретений настоящей патентной заявки; а также

(b) публикация патентной заявки США № 2012/0010493 A1, которая была опубликована 12 января 2012 года на основе патентной заявки № 13/173,078 Семенова, поданной 30 июня 2011 года и озаглавленной «SYSTEMS AND METHODS OF ELECTROMAGNETIC TOMOGRAPHY (EMT) DIFFERENTIAL (DYNAMIC) FUSED IMAGING», которая предназначена для предоставления информации об уровне техники и технической информации в отношении 4D EMT визуализации.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

[0002] Все материалы в настоящей патентной заявке охраняются законодательством об авторских и смежных правах Соединенных Штатов Америки и других стран. Владелец авторских прав не возражает против факсимильного воспроизведения патентной заявки любым лицом или раскрытия патентной информации для отражения в государственных регистрационных документах, но в противном случае все прочие авторские права сохраняются за владельцем.

ПРЕДПОСЫЛКИ НАСТОЯЩЕГО ИЗОБРЕТЕНИЯ**Область настоящего изобретения**

[0003] Настоящее изобретение в целом относится к электромагнитной томографии и, в частности, к использованию стратегий распознавания картин электромагнитной интерференции для устранения усиленных искажений, вызванных повторяющимися картинками интерференции.

Уровень техники

[0004] Электромагнитная томография (ЭМТ) - сравнительно новая модальность визуализации с большим потенциалом как для биомедицинских, так и для промышленных применений. Биомедицинские применения включают в себя, но не ограничиваются, неинвазивной оценкой функциональных и патологических состояний биологических тканей. Промышленные применения включают в себя, но не ограничиваются, разведкой нефти и газа, поиском и оценкой мин и оценкой потока в неметаллических трубах. Используя ЭМТ, различаются объекты, такие как биологические ткани и, следовательно, могут быть отображены на основе различий в диэлектрических свойствах таких объектов. Считается, что ЭМТ обладает высоким потенциалом для биомедицинских применений, что основано на недавней демонстрации зависимости диэлектрических свойств ткани от различных функциональных и патологических состояний ткани, таких как содержание крови и кислорода, ишемия и злокачественное развитие инфаркта, отеки и другие.

[0005] В течение последнего десятилетия или более были разработаны двумерные

(2D), трехмерные (3D) и даже «четырёхмерные» (4D) системы ЕМТ и способы реконструкции изображений. Была продемонстрирована осуществимость технологии для различных биомедицинских и промышленных применений, например, для визуализации сердца и конечностей.

5 [0006] Как и при любой томографической визуализации классический сценарий визуализации ЭМТ состоит из циклов измерений сложных сигналов в зависимости от наличия исследуемого объекта, находящегося в так называемой области визуализации, создаваемых множеством передатчиков, расположенных в разных точках вокруг объекта и измеряемых на множестве приемников, расположенных в разных точках
10 вокруг объекта. Это проиллюстрировано на ФИГ. 1. Местоположения передатчиков и приемников могут быть в области визуализации, на границе области визуализации или вне области визуализации. Как указано в другом месте настоящего документа, измеренная матрица ЭМ-сигналов затем может использоваться способами реконструкции изображения для реконструкции 3D распределения диэлектрических
15 свойств объекта 19, т.е. для построения 3D изображения объекта. Компоненты оборудования, раскрытые и описанные в указанном выше патенте США № 9414749, могут использоваться для генерации необходимых ЭМ-сигналов для реконструкции 3D изображения объекта 19.

[0007] Как правило, для реконструкции изображения очень важно точно описать
20 распределение ЭМ поля по отношению к области 21 визуализации. Распределение ЭМ поля в камере визуализации - очень сложное явление, даже если внутри него нет исследуемого объекта.

[0008] Данное изобретение относится к использованию электромагнитных (ЭМ) полей для визуализации структуры объекта 19. Объект 19 может быть человеческим
25 телом или частью человеческого тела, таким как голова, туловище, рука или тому подобное, но также может быть любым объектом без металлического экранирования. Использование ЭМ полей для визуализации внутри сильно экранированного объекта (но экранированного не посредством металла) является проблемой высокой сложности. Одним из примеров такого применения является визуализация человеческого мозга.
30 Однако следует принимать во внимание, что другие такие приложения могут включать в себя визуализацию любой ткани человека, которая экранирована костной структурой. ЭМ визуализация мозга или других тканей, окруженных костью, представляет собой очень сложную проблему, учитывая высокий диэлектрический контраст. Задача состоит в том, чтобы реконструировать скрытые свойства глубоких тканей мозга, которые
35 эффективно экранированы экраном с высоким диэлектрическим контрастом, в том числе черепом (с диэлектрическими свойствами в диапазоне $16+j5$) и цереброспинальной жидкостью (с диэлектрическими свойствами в диапазоне $60+j30$). Хотя это изобретение, как указано выше, применимо для визуализации любых объектов, можно полагать, что оно особенно применимо для визуализации внутри сильно экранированных
40 объектов.

[0009] ЭМТ визуализация объектов с высоким диэлектрическим контрастом, в том числе биологических объектов, имеет очень сложную проблему так называемой «дифракционной томографии». Devaney A.J. «Current research topics in diffraction tomography», в *Inverse Problems in Scattering and Imaging*, M. B. Nattero и E.R. Pike, Eds, New
45 York: Adam Hilger, 1992, стр.47-58. Высокий диэлектрический контраст между тканями с высоким содержанием воды, такими как, мышечная ткань, но не ограничиваясь ею, и с низким содержанием воды, например, кость, но не ограничиваясь ею, является дополнительным осложнением при использовании ЭМ полей для визуализации. В

попытке решить проблему дифракционной томографии были разработаны различные подходы в 2D и 3D-геометрии с использованием скалярных и векторных аппроксимаций. Смотри Н. Harada, D. Wall, Т. Takenaka, и Т. Tanaka «Conjugate gradient method applied to inverse scattering problem», *IEEE Trans. Antennas and Propagations*, том. 43, 784-792, Aug. 1995; R.E. Kleinman, и P. M. van den Berg «A modified gradient method for two-dimensional problems in tomography», *J.Comput. Appl. Math.*, том 42, стр. 17-35, Январь 1992; A. Abubakar, P.M. van den Berg, и J.J. Mallorqui «Imaging of Biomedical Data Using A Multiplicative Regularized Source Inversion Method» *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, т. 50, стр.1761-1771, Июль 2002; N. Joachimowicz, J.J. Mallorqui, J. Ch. Bolomey, и A. Brouguetas, «Convergence and stability assessment of Newton-Kantorovich reconstruction algorithms for microwave tomography», *IEEE Trans. Medical Imaging*, том 17, стр.562-570, Авг. 1998; P. Lobel, R. Kleinman, Ch. Pichot, L. Blanc-Fraud, и M. Barlaud «Conjugate Gradient Method for Solving Inverse Scattering with Experimental Data», *IEEE Antennas & Propagation Magazine*, Том 38, стр. 48-51, Июнь. 1996; W.C. Chew, и Y.M. Wang «Reconstruction of two-dimensional permittivity distribution using the distorted Born iterative method», *IEEE Trans. Medical Imaging*, том 9, стр.218-225, Июнь 1990; P.M. Meaney, K.D. Paulsen, A. Hartov, и R.K. Crane «Microwave imaging for tissue assessment: Initial evaluation in multitarget tissue equivalent phantoms», *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, том 43, стр. 878-890, Сент. 1996.

[0010] В предыдущих работах были разработаны математические алгоритмы и соответствующие им системы и программные реализации, которые оказались очень надежными и производят изображения объектов разного размера от нескольких сантиметров в вырезаемом собачьем сердце до полноразмерного тела в 2D, 3D и 3D-векторных случаях. Смотри А.Е. Souvorov, А.Е. Bulyshev, S.Y. Semenov, R.H. Svenson, A.G. Nazarov, Y.E. Sizov, и G.P. Tatsis «Microwave tomography: A two-dimensional Newton iterative scheme», *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, том. 46, стр. 1654-1659, Ноябрь. 1998; А.Е. Bulyshev, А.Е. Souvorov, S.Y. Semenov, R.H. Svenson, A.G. Nazarov, Y.E. Sizov, и G.P. Tatsis «Three-dimensional microwave tomography. Theory и computer experiments in scalar approximation», *Inverse Problems*, том. 16, стр. 863-875, Июнь 2000; Bulyshev A.E., Souvorov A.E., Semenov S.Y., Posukh V.G., Sizov Y.E. «Three-dimensional Vector Microwave Tomography. Theory and Computational experiments», *Inverse Problems*, 2004, 20, 4, 1239-1259; Semenov S.Y., Bulyshev A.E., Souvorov A.E., Svenson R.H., Sizov Y.E., Borisov V.Y., Posukh V.G., Kozlov I.M., Nazarov A.G., Tatsis G.P. «Microwave Tomography: Theoretical and Experimental Investigation of the Iteration Reconstruction Algorithm», *IEEE Trans MTT*, 1998, 46, 2, 133-141; Semenov S.Y., Bulyshev A.E., Abubakar A., Posukh V.G., Sizov Y.E., Souvorov A.E., Van den Berg P., Williams T. «Microwave tomographic imaging of the high dielectric contrast objects using different imaging approaches», *IEEE Trans. MTT*, т. 53, № 7, стр. 2284-2294, 2005; Semenov S.Y., Kellam J.F., Althausen P., Williams T.C., Abubakar A., Bulyshev A., Sizov Y. «Microwave tomographic imaging of the high dielectric contrast objects using different imaging approaches», *Phys. Med. Biol.*, 2007, 52, 5705-5719; Semenov S.Y., Bulyshev A.E., Posukh V.G., Sizov Y.E., Williams T.C., Souvorov A.E. «Microwave tomography for detection/imaging of myocardial infarction. 1. Excised canine hearts», *Annals of Biomedical Engineering*, 2003, 31, 262-270. Однако ни один из вышеперечисленных способов, приведенный в этих предыдущих работах, не оказался эффективным при визуализации внутри сильно экранированных объектов. Новый подход необходим для точного представления объектов при визуализации ЭМТ, имеющих высокий диэлектрический контрастный экран, таких как мозг человека, но не ограничиваясь им.

СУЩНОСТЬ НАСТОЯЩЕГО ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0011] Некоторые примерные варианты осуществления настоящего изобретения могут преодолеть один или более из вышеупомянутых недостатков и других недостатков, не описанных выше, но настоящее изобретение не требуется для преодоления какого-либо особого недостатка, описанного выше, и некоторые примерные варианты осуществления настоящего изобретения могут не преодолевать какой-либо из недостатков, описанных выше.

[0012] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с одним из аспектов представляет собой способ использования электромагнитного поля так, что создается картина электромагнитной интерференции в области визуализации, выявляющая суперпозицию 3D диэлектрической структуры объекта вместе с картиной электромагнитной интерференции, в то время как картина электромагнитной интерференции была дополнительно распознана и применена к 3D электромагнитной суперпозиции, сводя на нет или уменьшая картину электромагнитной интерференции и выявляя 3D диэлектрическую структуру объекта.

[0013] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой способ 4D динамической томографии с распознаванием объединенных электромагнитных картин.

[0014] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой способ контроля жизнеспособности и функциональных состояний биологической ткани с использованием 4D динамической томографии с распознаванием объединенных электромагнитных картин.

[0015] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой, как показано и описано, способ электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (EMIPRT) для использования в системе реконструкции изображения.

[0016] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой способ электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (EMIPRT) для использования в системе реконструкции изображения, содержащий: генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на упомянутом множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и использование сгенерированных данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом, с: формированием невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознаванием картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формированием суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции.

[0017] В качестве признака этого аспекта этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования

невозмущенного изображения электромагнитной интерференции. Более конкретно,

фактор объекта определяется как $\frac{(\bar{E}_{ij}^{Sim} - \bar{E}_{ij}^{Exp})}{\bar{M}_{ij}}$, где E_{ij}^{Sim} или E_{ij}^{Exp} - экспериментально

5 смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником электромагнитного поля, где $\bar{M}_{ij}$ представлено в общем виде как

$\alpha * f(E_{ij}^{Exp}) + \beta * (\sum_{ij} \bar{E}_{ij} * \sum_{ij} E_{ij}) + \gamma * \Omega$, где α , β и γ являются коэффициентами

10 действительных ненулевых или нулевых значений, где Ω - оператор регуляризации, и где $f(E_{ij}^{Exp})$ является функцией ее аргумента; фактор объекта определяется как

15 $\frac{(E_{ij}^{Sim} - E_{ij}^{Exp})}{\max \| (E_{ij}^{Exp}) \|}$, где E_{ij}^{Sim} или E_{ij}^{Exp} - экспериментально смоделированное или измеренное

значение соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником электромагнитного поля, и где $\max \| E_{ij}^{Exp} \|$ - максимальная норма экспериментально измеренной z-компоненты

20 электромагнитного поля; фактор объекта определяется как $\frac{(E_{ij}^{Sim} - E_{ij}^{Exp})}{\max \| (E_{ij}^{Exp}) \|}$, где

E_{ij}^{Sim} или E_{ij}^{Exp} - экспериментально смоделированное или измеренное значение

25 соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником электромагнитного поля, и где $\| E_{ij}^{Exp} \|^{\theta}$ является нормой экспериментально измеренной z-компоненты электромагнитного поля, измеренной приемником j , когда передатчик i является источником электромагнитного поля мощности θ ; этап формирования возмущенного изображения электромагнитной

30 интерференции включает в себя расчет

$\sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{f_k, x, y, z}) * E_j(\overline{f_k, x, y, z}) * Object Factor_{i,j}(f_k)$, где $E_{i=1 \text{ до } N}(f_k, x, y, z)$ и

35 $E_{j=1 \text{ до } M}(f_k, x, y, z)$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x , y , z) от электромагнитных источников частоты f_k , расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятые как сопряженные значения, и где $Object Factor_{i,j}$ - « ij »-ая составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j ; этап распознавания картин электромагнитной

40 интерференции в повторно сформированных возмущенных изображений электромагнитной интерференции включает в себя вычисление сумм

$\sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{f_k, x, y, z}) * E_j(\overline{f_k, x, y, z}) * Object Factor_{i,j}(f_k)$, где $E_{i=1 \text{ до } N}(f_k, x, y, z)$ и

45 $E_{j=1 \text{ до } M}(f_k, x, y, z)$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x , y , z) от электромагнитных источников частоты f_k , расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятых как

сопряженные значения, и где $Object\ Factor_{i,j}$ - « ij »-ая составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j , и/или где этап распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции включает в себя вычисление, для итерации $i > 1$,

$$\sum_{i=1, N; j=1, M}^{на\ итерации\ i} E_i(\overline{x,y,z}) * E_j(\overline{x,y,z}) * Object\ Factor_{i,j} - \alpha * (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

$$* \sum_{i=1, N; j=1, M}^{на\ итерации\ i-1} E_i(\overline{x,y,z}) * E_j(\overline{x,y,z}) * Object\ Factor_{i,j} - (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

где для простоты частотные члены опущены, где $\overline{E}_i = (\overline{x,y,z})$ и $\overline{E}_j = (\overline{x,y,z})$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x,y,z) от электромагнитных источников, расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположениях физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятых как сопряженные значения, и где $Object\ Factor_{i,j}$ - « ij »-ая составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j .

[0018] В другом признаке этого аспекта способ дополнительно включает в себя этап, выполняемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

[0019] В другом признаке этого аспекта этот способ используется как часть способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений. Более конкретно, генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения; и/или способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используется как часть способа контроля жизнеспособности и/или функциональных состояний биологической ткани, используя 4D динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.

[0020] В другом признаке этого аспекта этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображений электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции выполняются последовательно.

[0021] В другом признаке этого аспекта, способ дополнительно включает в себя этап отображения суперпозиционного изображения посредством блока отображения.

[0022] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой способ реконструкции изображения с использованием электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции, содержащий: генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и использование сгенерированных данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом,

с: формированием невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознаванием картин электромагнитной
 5 интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формированием суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции.

[0023] В качестве признака этого аспекта этап формирования возмущенного
 10 изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями
 15 и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции.

[0024] В другом признаке этого аспекта способ дополнительно включает в себя этап, выполняемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

[0025] В другом признаке этого аспекта этот способ используется как часть способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений. Более конкретно, генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений
 20 включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения; и/или способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используется как часть способа контроля жизнеспособности и/или функциональных состояний биологической ткани, используя четырехмерную динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.
 25

[0026] В другом признаке этого аспекта этапы формирования невозмущенного
 30 изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных
 35 изображений электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции выполняются последовательно.

[0027] В другом признаке этого аспекта, способ дополнительно включает в себя этап
 40 отображения суперпозиционного изображения посредством блока отображения.

[0028] В широком смысле настоящее изобретение в соответствии с другим аспектом представляет собой систему реконструкции изображений с использованием электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции, содержащую:
 систему электромагнитной томографии, которая генерирует данные электромагнитного
 45 поля, соответствующие объекту в области визуализации, причем система электромагнитной томографии содержит множество передатчиков электромагнитных волн, множество приемников, которые измеряют электромагнитные данные после создания на упомянутом множестве передатчиков и взаимодействия с объектом, и

пограничное устройство; и центр обработки, который используя сгенерированные данные электромагнитного поля повторно рекурсивным образом: выполняет этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции.

[0029] В качестве признака этого аспекта этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции.

[0030] В другом признаке этого аспекта центр обработки дополнительно выполняет этап, выполняемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

[0031] В другом признаке этого аспекта этапы, выполняемые центром обработки, используются в качестве части способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений. Более конкретно, генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения; и/или способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используется как часть способа контроля жизнеспособности и/или функциональных состояний биологической ткани, используя четырехмерную динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.

[0032] В другом признаке этого аспекта этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции выполняются последовательно.

[0033] В другом признаке этого аспекта способ дополнительно включает в себя блок отображения, который отображает суперпозиционное изображение.

[0034] Прочие области возможного применения данного изобретения станут очевидными после ознакомления с подробным описанием, приведенным ниже. Подробное описание и конкретные примеры дают понимание наиболее предпочтительных областей использования изобретения, но приводятся исключительно в качестве иллюстрации и не призваны ограничивать объем изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0035] Дополнительные признаки, варианты осуществления и преимущества настоящего изобретения станут очевидными из следующего подробного описания со ссылкой на чертежи, на которых:

- 5 на ФИГ. 1 представлена упрощенная схематическая иллюстрация частей системы электромагнитной томографии (ЭМТ);
- на ФИГ. 2 представлена блок-схема способа электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (EMIPRT) в соответствии с одним или более предпочтительными вариантами осуществления настоящего изобретения;
- 10 на ФИГ. 3 представлено примерное невозмущенное изображение ЭМ интерференции для области визуализации, предназначенной для визуализации головы человека;
- на ФИГ. 4А и 4В являются примерными возмущенными изображениями ЭМ интерференции головы человека для двух случаев;
- на ФИГ. 5 представлена блок-схема одной стратегии распознавания картин и набор
- 15 уравнений для блока распознавания картин, показанного на Фиг. 2;
- на ФИГ. 7 представлена блок-схема одной возможной стратегии коррекции картины, которая может быть выполнена в блоке формирования суперпозиционного изображения для каждой из множества подобластей;
- на ФИГ. 8А представлено примерное выходное изображение головы жертвы
- 20 возможного инсульта из итерационного способа визуализации, аналогичного способу, показанному на ФИГ. 2, но где блок распознавания картин и его выходная информация не используются во время визуализации; и
- на ФИГ. 8В представлено примерное выходное изображение той же головы жертвы возможного инсульта, что и на ФИГ. 8А, но где блок распознавания картин и его
- 25 выходная информация используются блоком во время формирования суперпозиционного изображения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

- [0036] Следует отметить, что любой специалист в данной области, имеющий общее представление о предмете вопроса, легко поймет то, что данное изобретение имеет
- 30 большой спектр применения и потенциал. Кроме того, любой «предпочтительный» вариант рассматривается как часть наиболее оптимального способа использования, предусмотренного как инструмент для применения настоящего изобретения. Также в качестве дополнительных иллюстраций могут рассматриваться и другие варианты осуществления, что позволит предоставить полную и полезную с практической точки
 - 35 зрения характеристику изобретения. Следует понимать, что любой вариант осуществления может содержать только один или более вышеописанных аспектов изобретения и может дополнительно содержать только один или более вышеописанных признаков. Кроме того, многие варианты осуществления, такие как адаптации, вариации, модификации и аналогичные им изменения будут косвенно раскрыты в составе
 - 40 рассмотренных в настоящем документе вариантов осуществления, и они также входят в рамки настоящего изобретения.

- [0037] Соответственно, хотя настоящее изобретение подробно описывается в данном документе в виде одного или более вариантов осуществления, понимается, что данная информация является иллюстративной, представляет собой примеры
- 45 использования изобретения и приводится только для того, чтобы предоставить полное и полезное с практической точки зрения описание изобретения. Подробное раскрытие в настоящем документе информации в отношении одного или более вариантов осуществления не призвано и не может толковаться как ограничивающее объем

патентной защиты данного изобретения, объем такой защиты определяется патентными формулами и с учетом их эквивалентов. Не предполагается, что объем патентной защиты будет определяться с ограничением какой-либо формулы положениями настоящего документа, которые не вошли непосредственно в саму патентную формулу.

5 [0038] Таким образом, например, любая очередность и/или временная последовательность этапов в составе различных процессов или способов, которые описаны в настоящем документе, является иллюстративной и не носит характер ограничения. Соответственно, следует исходить из того, что хотя этапы в рамках различных процессов или способов могут быть показаны и описаны в качестве
10 некоторой последовательности или временного порядка, эти этапы в рамках такого процесса или способов не ограничиваются совершением их в какой-либо конкретной последовательности или порядке, если не указано иное. На самом деле, этапы в составе таких процессов или способов могут в целом осуществляться в различной очередности или последовательности, но все равно являться частью настоящего изобретения.
15 Соответственно предполагается, что объем патентной защиты данного изобретения определяется по прилагаемым патентным формулам, а не по описанию, приведенному в настоящем документе.

[0039] Кроме того, важно отметить, что каждый термин, используемый в настоящем документе, должен быть понят специалистом в данной области, как значение такого
20 термина в контексте его использования. Если значение какого-либо термина, используемого в настоящем документе (и понятого специалистом, с учетом его контекста), отличается каким-либо образом от конкретного словарного определения такого термина, то исходят из того, что приоритетный характер должно иметь значение, в котором этот термин понят специалисту.

25 [0040] Что касается применимости 35 U.S.C. §112, 6, элемент пункта формулы изобретения не должен рассматриваться в соответствии с настоящим предусмотренным законом положением, если только явная фраза «означает для» или «этап для» фактически не используется в таком элементе пункта формулы изобретения, после чего это нормативное положение предназначено для применения в интерпретации такого
30 элемента пункта формулы изобретения.

[0041] Кроме того, важно отметить, что при использовании в настоящем документе «какой-либо» и «какая-либо» в целом означают «по меньшей мере один/одна», и не исключают наличия множества таких объектов, если контекстом не продиктовано иное. Соответственно, ссылка на «корзину для пикника с яблоком внутри» является описанием
35 «корзины для пикника с по меньшей мере одним яблоком внутри», а также «корзины для пикника с яблоками внутри». И наоборот, ссылка на «корзину для пикника с одним яблоком внутри» является описанием «корзины для пикника с только одним яблоком внутри».

[0042] При использовании в настоящем документе в качестве союза для объединения
40 перечисляемых позиций «или» означает «по меньшей мере один из предметов», но не исключает допустимости наличия нескольких предметов из списка. Таким образом, ссылка на «корзину для пикника с сыром или крекерами внутри» является описанием «корзины для пикника с сыром, но без крекеров внутри», «корзины для пикника с крекерами, но без сыра внутри», и «корзины для пикника и с сыром, и с крекерами
45 внутри». И наконец, при использовании для объединения перечисляемых позиций «и» означает «все предметы из списка». Таким образом, ссылка на «корзину для пикника с сыром и крекерами внутри» является описанием «корзины для пикника с сыром внутри, а также корзины для пикника, внутри которой есть еще и крекеры», и описанием

«корзины для пикника с крекерами внутри, а также корзины для пикника, внутри которой есть еще и сыр».

[0043] Ниже рассматриваются схемы, на которых одинаковыми номерами обозначены одни и те же компоненты на различных изображениях, и описывается один или более вариантов осуществления данного изобретения. Приводимое далее описание одного или более предпочтительных вариантов осуществления является только примером по своему характеру и ни при каких обстоятельствах не должно ограничивать характер данного изобретения, его применение или формы использования.

[0044] На ФИГ. 1 представлена упрощенная схематическая иллюстрация частей системы 10 электромагнитной томографии (ЭМТ). В системе 10 пограничное устройство 12 окружает область 21 визуализации. Объект 19 (в этом примере, голова человека) помещается в область 21 визуализации. Множество ЭМ аппаратных устройств 30, обычно, но не обязательно всегда расположенных на пограничном устройстве 12, действуют как передатчики (источники) и/или приемники. (Как описано здесь, считается, что аппаратные устройства 30 обычно действуют и как передатчики, и как приемники, но будет понятно, что передатчики и приемники, которые отделены друг от друга, можно использовать дополнительно или альтернативно). Компьютерная система 28 служит в качестве центра обработки, где предварительно обрабатываются исходные данные, а изображения реконструируются и предварительно обрабатываются. По меньшей мере в некоторых вариантах осуществления ЭМТ система 10 дополнительно включает в себя фоновую или соответствующую текучую среду или другой носитель. Соответствующая среда представляет собой раствор или гель, который необходим или полезен внутри области визуализации, когда объект 19 визуализируется, для борьбы с электромагнитными проблемами согласования с телом и/или другими сложностями. По меньшей мере в некоторых вариантах осуществления компьютерная система 28 и ее функциональные средства обработки данных и программное обеспечение для визуализации непосредственно соединены с аппаратным устройствам 30 для передачи/приема ЭМ-полей, в то время как в других вариантах осуществления некоторые или все из компьютерной системы 28 дистанционно соединены посредством беспроводной технологии и/или высокоскоростных проводных соединений. Функционально большая часть работы ЭМТ системы 10 может быть аналогична работе, описанной в вышеупомянутом патенте США № 9414749, но здесь могут быть описаны различные конкретные варианты осуществления и признаки.

[0045] Как описано выше, ЭМТ визуализация объектов с высоким диэлектрическим контрастом, в том числе биологических объектов, включает в себя очень сложную проблему так называемой «дифракционной томографии». Высокий диэлектрический контраст между тканями с высоким содержанием воды, такими как, мышечная ткань, но не ограничиваясь ею, и с низким содержанием воды, например, кость, но не ограничиваясь ею, является дополнительным осложнением при использовании ЭМ полей для визуализации. На ФИГ. 2 представлена блок-схема способа 100 электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (EMIPRT) в соответствии с одним или более предпочтительными вариантами осуществления настоящего изобретения. Способ 100 EMIPRT может быть выполнен с использованием данных ЭМ-полей, сгенерированных с использованием некоторых или всех элементов системы 10 ЭМТ, кратко описанных в отношении ФИГ.1.

[0046] Способ 100 EMIPRT является итерационным процессом, где проверка сходимости (показанная на этапе 180) происходит после каждой итерации по различным процессам визуализации до тех пор, пока не будут получены соответствующие

результаты и предоставлены в качестве вывода 200 изображения. Первичными входными данными для способа 100 EMIPRT являются данные 110 области визуализации и экспериментально измеренные ЭМ данные 120. Данные 110 области визуализации включают в себя пространственное расположение источников ЭМ полевых аппаратных

5 устройств 30 на множестве пространственных местоположений и с K^{mi} частотами (k от 1 до K) ($E_{i=1 \text{ до } N}(f_{k=1 \text{ до } K})$) и приемников ЭМ полевых аппаратных устройств 30 на

множестве пространственных местоположений и с K^{mi} частотами (k от 1 до K) ($E_{i=1 \text{ до } N}(f_{k=1 \text{ до } K})$) по отношению к области 21 визуализации, где N - число источников

10 ЭМ полевых устройств 30, а M - число приемников ЭМ полевых устройств 30. Данные 110 области визуализации также включают в себя диэлектрические свойства

соответствующей среды (ϵ_0) внутри области 21 визуализации, и также могут включать в себя другую физическую или относящуюся к окружающей среде информацию/данные.

15 Экспериментально измеренные ЭМ данные 120 представляют собой матрицу, содержащую экспериментально измеренные ЭМ поля (например, как в форме амплитуды, фазы и поляризации, так и в форме реальной, мнимой и поляризационной форме) на точках приемников, представленных как $\{\bar{E}_{ij}^{Exp}(f_k)\}$. Точки приемников ЭМ

поля могут быть связаны с любым или всеми ЭМ полевыми устройствами 30.

20 [0047] В блоке 130 формируется «невозмущенное» изображение ЭМ интерференции. В начальном проходе формирование невозмущенного изображения ЭМ интерференции (показанного как вывод 135 блока 130 формирования невозмущенного изображения) получается только на основе данных 110 области визуализации способа 100 EMIPRT.

В последующих итерациях формирование невозмущенного изображения интерференции 25 предпочтительно также использует пространственное распределение диэлектрических свойств в области 21 визуализации. В зависимости от приложения пространственное распределение может быть 2D пространственным распределением или 3D

пространственным распределением. По меньшей мере в некоторых вариантах осуществления 3D пространственное распределение диэлектрических свойств

30 описывается как $\epsilon^*(x,y,z)$ в декартовой системе координат и получается во время предыдущей итерации в блоке 170 формирования суперпозиционного изображения, описанном ниже. 3D пространственное распределение диэлектрических свойств $\epsilon^*(x,y,z)$ можно охарактеризовать как изображение исследуемого объекта 19 по диэлектрической шкале.

35 [0048] Задача блока 130 формирования невозмущенного изображения ЭМ интерференции заключается в синтезе 2D изображения или 3D изображения (картины) интерференции 135 от упомянутого множества ЭМ источников/приемников 30, расположенных внутри или на границе области 21 визуализации. Во время процесса визуализации все ЭМ полевые устройства 30 ($i=1$ до N и $j=1$ до M) рассматриваются как

40 источники ЭМ поля. Определение (3D) невозмущенного изображения 135 ЭМ интерференции генерируется из следующей функции:

$$(1) \sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(f_k, x, y, z) * E_j(f_k, x, y, z),$$

45 где $E_{i=1 \text{ до } N}(f_k, x, y, z)$ и $E_{j=1 \text{ до } M}(f_k, x, y, z)$ представляют собой 3D распределение ЭМ полей (x, y, z) в области 21 визуализации от ЭМ полевых устройств 30 частоты f_k зондирования, расположенных в местоположении физических источников (от 1 до N) и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно и где W_k - это

частотная весовая функция, которая учитывает различный вклад частотно-зависимых изображений ЭМ интерференции в функцию (1). На ФИГ. 3 представлено примерное невозмущенное изображение 135 ЭМ интерференции для области 21 визуализации, предназначенной для визуализации головы человека. Изображение 135 было получено на определенной частоте, которая в этом случае составляла 1 ГГц. Изображение представляет собой двумерное поперечное сечение в плоскости X-Y, где шкалы X и Y измеряются в сантиметрах.

[0049] Обратимся к ФИГ. 2, следующей важной операцией в способе 100 EMIPRT является определение фактора объекта, как показано на этапе 145, для применения к изображению ЭМ интерференции. Фактор объекта предпочтительно является функционалом различий между измеренным (из блока 120) и имитированным (из блока 130) ЭМ полями для каждой пары от передающих (i =от 1 до N) к принимающим (j =от 1 до M) устройств 30 при некоторой частоте зондирования. Таким образом, первичные входы в блок 145 определения фактора объекта являются вторыми из двух основных вводов в способ 100 (экспериментально измеренные ЭМ поля в точках 120 приемников, описанных ранее) и входными данными 140 (рассчитанными или смоделированными ЭМ полями в точках 120 приемников), генерируемыми из блока 130 формирования невозмущенных изображений ЭМ интерференции. Эти два основных ввода в блок 145 определения фактора объекта являются матрицами данных. Первая матрица содержит экспериментально измеренные ЭМ поля, представленные как $\{\bar{E}_{ij}^{Exp}(f_k)\}$, а вторая матрица содержит моделируемые ЭМ поля, представленные как $\{\bar{E}_{ij}^{Sim}(f_k)\}$, где в обоих случаях $\bar{E}$ представляет собой комплексное векторное значение, представляющее электрические (E) и/или магнитные (H) компоненты ЭМ поля. Эти значения могут быть представлены как комплексное (действительная и мнимая части) значение каждой векторной компоненты E и/или H поля или скалярное значение E и/или H поля. Они также могут быть представлены как амплитуда и/или фаза каждой векторной компоненты E и/или H поля или скалярного значения E и/или H поля. По меньшей мере в одном варианте осуществления настоящего изобретения фактор объекта может быть представлен, вообще говоря, следующим образом:

$$(2) \quad \frac{(\bar{E}_{ij}^{Sim} - \bar{E}_{ij}^{Exp})}{\bar{M}_{ij}},$$

где E_{ij}^{Sim} или E_{ij}^{Exp} представляет собой экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z -компоненты ЭМ поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником ЭМ поля, где $\bar{M}_{ij}$ представляется в общем виде как:

$$(3) \quad \alpha * f(E_{ij}^{Exp}) + \beta * (\sum_{ij} \bar{E}_{ij} * \sum_{ij} E_{ij}) + \gamma * \Omega,$$

где α , β и γ - коэффициенты вещественных ненулевых или нулевых значений, Ω - оператор регуляризации, а $f(E_{ij}^{Exp})$ - функция ее аргумента.

[0050] В других вариантах осуществления настоящего изобретения фактор объекта может иметь другой состав. Это будет влиять на изображение ЭМ интерференции и его картину. Один пример альтернативного фактора объекта представлен ниже для $\alpha=1$, $\beta=0$ и $\gamma=0$:

$$(4) \frac{(Ez_{ij}^{Sim} - Ez_{ij}^{Exp})}{\max \| (Ez_{ij}^{Exp}) \|},$$

где Ez_{ij}^{Sim} или Ez_{ij}^{Exp} представляет собой экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты ЭМ поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником ЭМ поля, и где $\max \| Ez_{ij}^{Exp} \|$ - максимальная норма экспериментально измеренной z-компоненты ЭМ поля. Другой пример альтернативного фактора **145** объекта представлен ниже для $\alpha=1$, $\beta=0$ и $\gamma=0$:

$$(5) \frac{(Ez_{ij}^{Sim} - Ez_{ij}^{Exp})}{\| (Ez_{ij}^{Exp}) \|^{\theta}},$$

где Ez_{ij}^{Sim} или Ez_{ij}^{Exp} представляет собой экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты ЭМ поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником ЭМ поля, и где $\| Ez_{ij}^{Exp} \|^{\theta}$ - норма экспериментально измеренной z-компоненты ЭМ поля, измеренного приемником j , когда передатчик i является источником электромагнитного поля мощности θ . Мощность θ может, например, иметь значение 1 или 2, или 3, или 1/2 или даже какое-то другое значение.

[0051] Вывод из блока **145** определения фактора объекта и вывод из блока **130** формирования невозмущенного изображения ЭМ интерференции (то есть 2D или 3D невозмущенного изображения **135** интерференции) используются для формирования возмущенного изображения ЭМ интерференции, как показано на блоке **150**.

Изображение, сгенерированное в блоке **150**, представляет собой 2D или 3D изображение в зависимости от приложения. Формирование (3D) возмущенного изображения ЭМ интерференции в области **21** визуализации, как показано в блоке **150**, включает в себя расчет сумм, как показано, например, в уравнении (6):

$$(6) \sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{f_{k,x,y,z}}) * E_j(\overline{f_{k,x,y,z}}) * Object Factor_{ij}(f_k),$$

где $E_{i=1 \text{ до } N}(\overline{f_{k,x,y,z}})$ и $E_{j=1 \text{ до } N}(\overline{f_{k,x,y,z}})$ - 3D распределение ЭМ полей (x,y,z) от ЭМ источников **30** частоты f_k , расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятых как сопряженные значения, и $Object Factor_{ij}$ - это « ij »-ая составляющая выбранного фактора объекта от передатчика i к приемнику j , как определено в блоке **145**.

[0052] Вывод блока **150** формирования возмущенного изображения ЭМ интерференции представляет собой возмущенное изображение **155** ЭМ интерференции (или данные, его представляющие). В этом отношении ФИГ. 4А и 4В представляют собой примерные возмущенные изображения **155** ЭМ интерференции головы человека для двух случаев. Каждое изображение **155** представляет собой двумерное поперечное сечение в плоскости X-Y, где шкалы X и Y измеряются в сантиметрах. (Понятно, что, хотя ФИГ. 4А и 4В представляют собой 2D иллюстрации, 3D изображения могут быть получены путем дальнейшего применения того же процесса.) Альтернативный фактор объекта, показанный на (4), использовался для этих двух примеров. При сравнении невозмущенного ЭМ изображения **135** с ФИГ. 3 и возмущенных ЭМ изображений **155** с ФИГ. 4А и 4В суперпозиция диэлектрической структуры объекта **410**, **420** (поперечное

сечение X-Y головы человека) вместе с картиной 415, 425 ЭМ интерференции хорошо видна на ФИГ. 4А и 4В, где наружное темное кольцо на каждой иллюстрации представляет собой человеческий череп, а топологически подобные картины внутри такого темного кольца являются остальными картинами ЭМ интерференции.

5 [0053] После формирования возмущенного изображения ЭМ интерференции в блоке 150 изображение (данные) 155 отправляется как в блок 160 распознавания картин, так и в блок 170 формирования суперпозиционного изображения. Распознавание картин интерференции и его применения выполняется как двухэтапный процесс, где этап 1 -
10 картины к 2D или 3D суперпозиционному ЭМ изображению, сводя на нет или уменьшая картину ЭМ интерференции и выявляя 2D или 3D диэлектрическую структуру объекта 19. Эти два этапа представлены на ФИГ. 2 блоком 160 распознавания картин и блоком 170 формирования суперпозиционного изображения.

[0054] Могут использоваться различные подходы к распознаванию картин. Например,
15 на ФИГ. 5 представлена блок-схема одной стратегии 500 распознавания картин и набор уравнений для блока 160 распознавания картин, показанного на ФИГ. 2. На ФИГ. 5 используется 2D-пример, но будет понятно, что такое распознавание картин может быть применено к множеству поперечных сечений X-Y для создания 3D изображения. Что показано на ФИГ. 5.

20 [0055] Альтернативная стратегия распознавания картин, иногда называемая далее «2-ой Т оптимизацией», преимущественно позволяет вырабатывать гораздо более резкие картины на начальной или первой итерации блока 170 формирования суперпозиционного изображения и, как следствие, упрощает распознавание картин на последующих итерациях. Ключевой особенностью 2-ой Т оптимизации является
25 использование обобщения (6) на итерации $i > 1$ для формирования суперпозиционного изображения (где для простоты частотные члены опущены):

$$(7) \quad \sum_{i=1, N; j=1, M}^{\text{на итерации } i} E_i(\overline{x, y, z}) * E_j(\overline{x, y, z}) * Object Factor_{i,j} - \alpha * (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

$$* \sum_{i=1, N; j=1, M}^{\text{на итерации } i-1} E_i(\overline{x, y, z}) * E_j(\overline{x, y, z}) * Object Factor_{i,j} - (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

В некоторых вариантах осуществления коэффициент α может быть независимым от номера итерации (и может быть найден методом проб), в то время как в других
35 вариантах осуществления он может иметь зависимое от итерации значение, которое помогает ускорить процесс сходимости. В последнем случае одной из возможных стратегий является наличие значения коэффициента α на итерации $i+1$ как максимальной абсолютной разности между изображением на итерации i и изображением на итерации $i-1$:

$$(8) \quad \max \|\varepsilon(x, y, z)_i - \varepsilon(x, y, z)_{i-1}\|.$$

В других вариантах осуществления настоящего изобретения для поиска оптимального коэффициента α могут использоваться другие стратегии и/или алгоритм распознавания картин.

45 [0056] В некоторых вариантах осуществления одна и та же стратегия/процедура распознавания картин может выполняться на каждой итерации способа 100, тогда как в других вариантах осуществления стратегия/процедура распознавания картин может динамически обновляться после каждой последующей итерации.

[0057] Вывод из блока 160 распознавания картин и вывод из блока 150 формирования

возмущенного изображения ЭМ интерференции (то есть возмущенного изображения 155 ЭМ интерференции) выдаются в блок 170 формирования суперпозиционного изображения. Формирование 170 суперпозиционного изображения может быть выполнено путем распознавания картин посредством блока 160 путем сравнения их с возмущенными изображениями 155 ЭМ интерференции, а затем выполнением

корректировки картин. В блоке 170 данные анализируются для уменьшения или сведения к нулю картины ЭМ интерференции и выявления истинной 2D или 3D структуры объекта 19, представленного в качестве вывода 200 изображения.

[0058] Коррекция картины может быть выполнена следующим образом. Во-первых,

по меньшей мере в некоторых вариантах осуществления способа 100 вся область 21 визуализации может подразделяться на ряд характерных подобластей визуализации. В этом отношении ФИГ. 6 - изображение 600, иллюстрирующее разбиение области 21 визуализации на подобласти. Более конкретно, используя пример головы человека в качестве объекта 19, область 21 визуализации может быть подразделена на наружную (внешнюю) область 605, область 610 черепа, область 615 цереброспинальной жидкости (CSF), область 620 серого вещества и область 625 белого вещества. На ФИГ. 7

представлена блок-схема одной возможной стратегии 700 коррекции картины, которая может быть выполнена в блоке 170 формирования суперпозиционного изображения для каждой из множества подобластей. На этапе 705 вычисляется нормализованное $\int_V$

{значение (6) или (7)}, где V - объем конкретной подобласти. На этапе 710,

вычисляется нормализованное $\int_{L-pattern}$ {значение (6) или (7)}, где L - длина « ip »^{ой}

картины. Логика этапа 710 может быть легко понята при обращении к ФИГ. 3. Понятно, что имеются четкие круговые картины. Число этих круговых картин N_p равно числу ячеек сетки по радиусу. Таким образом, для простых круговых картин, как на ФИГ.

3, интеграция на этапе 710 проводится по каждой картине (" ip "^{ая} картине) от 1 до N_p по длине $2\pi R_{N_p}$. Аналогично, для более сложных картин объектов (например, нескольких кольцевых картин, представленных на ФИГ. 4А и 4В), этап 710 включает

в себя вычисление нормализованного $\int_{L-pattern}$ {значения (6) или (7)}, где L - длина « ip »^{ой}

картины. Затем на этапе 715 изображение по ip ^{ой} картине корректируется путем установки нового значения (6) или (7), равного сумме старого значения и $\{ \int_V \{ (6) \text{ или } (7) \} - \int_{L-картина} \{ (6) \text{ или } (7) \} \}$. Этапы 710 и 715 повторяются для каждой ip ^{ой} картины.

[0059] Понятно, что стратегия коррекции картин, показанная на ФИГ. 7 - не единственная стратегия коррекции картин, которая может быть использована; другие стратегии коррекции картин могут дополнительно или альтернативно использоваться без отклонения от объема настоящего изобретения.

[0060] После каждой итерации посредством блока 170 результат оценивается «на предмет сходимости» на этапе 180. При достижении сходимости формируется итоговое выходное изображение 200.

[0061] Важное преимущество внедрения представленной здесь технологии распознавания картин можно понять следующим образом. По мере того, как продвигается итеративный процесс, представленный на ФИГ. 2, влияние картин ЭМ интерференции имеет тенденцию существенно искажать результирующие изображения целевой 2D или 3D диэлектрической структуры. Это связано с усилением такой картины с помощью аналогичных картин ЭМ интерференции, полученных в следующих итерациях, и в результирующего искажения в изображениях, произведенных ими. В

этом отношении ФИГ. 8А является примерным выходным изображением головы 19 жертвы возможного инсульта из способа итеративной визуализации, аналогичного способу 100 на ФИГ. 2, но где блок 160 распознавания картин и его выходная информация не используются во время визуализации, тогда как на ФИГ. 8В - примерное
 5 выходное изображение 200 той же головы 19 жертвы возможного инсульта, что показано на ФИГ. 8А, но где блок 160 распознавания картин и его выходная информация используются в условиях блока 170 формирования суперпозиционного изображения. ФИГ. 8В ясно показывает область возможного инсульта 820 в правом нижнем углу изображения. Изображение на ФИГ. 8А, полученное без блока 160 распознавания
 10 картин интерференции и его применения в блоке 170, обнаруживается некоторое искажение изображения в области возможного инсульта 810, но без большей ясности можно только предположить, что искажение указывает область инсульта.

[0062] Также будет понятно, что, хотя описанная здесь методология (в том числе вариации и перестановки), была описана главным образом с точки зрения 2D и 3D
 15 изображений, считается, что она одинаково применима к технологии 4D ЭМТ (3D в пространстве плюс 1D во времени), где 4D динамические объединенные электромагнитные томографические изображения генерируются, как описано, например, в патентной заявке США 13/173 078, которая включена во всей полноте в настоящий документ по ссылке.

[0063] Исходя из изложенной выше информации, лицам, которые являются профессионалами в данной области, будет без труда понятно, что данное изобретение может широко применяться. Многочисленные варианты осуществления и адаптации
 20 данного изобретения, помимо тех, которые описаны в настоящей заявке, а также многочисленные вариации, модификации и эквивалентные действия, будут очевидны или разумно понятны на основе данного изобретения и приведенных выше его описаний,
 25 без отклонения от существа и объема данного изобретения.

[0064] Соответственно, несмотря на то, что данное изобретение было детально описано в настоящей заявке применительно к одному или более предпочтительным вариантам осуществления, следует понимать, что предоставленная информация носит
 30 исключительно иллюстративный характер и призвана дать представление о данном изобретении и приведена исключительно с целью предоставления полной и полезной с практической точки зрения информации об изобретении. Приведенная выше информация не должна толковаться как ограничивающая данное изобретение или иным образом исключая любые другие варианты осуществления, адаптации, вариации,
 35 модификации или эквивалентные действия; причем настоящее изобретение ограничивается только прилагаемыми патентными формулами изобретения их эквивалентами.

(57) Формула изобретения

40 1. Способ электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции (ЕМIPRT) для использования в системе реконструкции изображения, содержащий:
 генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на
 45 множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и
 использование сгенерированных данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом, с:
 формированием невозмущенного изображения электромагнитной интерференции,

формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции,

распознаванием картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формированием суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции.

2. Способ по п. 1, причем этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции.

3. Способ по п. 2, причем фактор объекта определяют как $\frac{(\bar{E}_{ij}^{Sim} - \bar{E}_{ij}^{Exp})}{\bar{M}_{ij}}$, где Ez^{Sim} или Ez^{Exp}

- экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j, когда передатчик i является источником электромагнитного поля, где $\bar{M}_{ij}$ представлено в общем виде как

$\alpha * f(E_{ij}^{Exp}) + \beta * (\sum_{ij} \bar{E}_{ij} * \sum_{ij} E_{ij}) + \gamma * \Omega$, где α , β и γ являются коэффициентами действительных ненулевых или нулевых значений, где Ω - оператор регуляризации, и где $f(E_{ij}^{Exp})$ является функцией ее аргумента.

4. Способ по п. 2, причем фактор объекта определяют как $\frac{(Ez_{ij}^{Sim} - Ez_{ij}^{Exp})}{\max \| (Ez_{ij}^{Exp}) \|}$, где

Ez_{ij}^{Sim} или Ez_{ij}^{Exp} - экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j, когда передатчик i является источником электромагнитного поля, и где $\max \| Ez_{ij}^{Exp} \|$ - максимальная норма экспериментально измеренной z-компоненты электромагнитного поля.

5. Способ по п. 2, причем фактор объекта определяют как $\frac{(Ez_{ij}^{Sim} - Ez_{ij}^{Exp})}{\| (Ez_{ij}^{Exp}) \|^{\theta}}$, где

Ez_{ij}^{Sim} или Ez_{ij}^{Exp} - экспериментально смоделированное или измеренное значение соответственно z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j, когда передатчик i является источником электромагнитного поля, и где $\| Ez_{ij}^{Exp} \|^{\theta}$ - норма экспериментально измеренной z-компоненты электромагнитного поля, измеренного приемником j, когда передатчик i является источником электромагнитного поля мощности θ .

6. Способ по п. 2, причем этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции включает в себя расчет

$$\sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{f_k, x, y, z}) * E_j(\overline{f_k, x, y, z}) * Object Factor_{i,j}(f_k)$$

где $E_i = 1 \text{ до } N(f_k, x, y, z)$ и $E_j = 1 \text{ до } M(f_k, x, y, z)$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x, y, z) от электромагнитных источников частоты f_k , расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятые как сопряженные значения, и причем $Object Factor_{i,j}$ - «ij»-я составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j.

7. Способ по п. 2, причем этап распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции включает в себя вычисление сумм

$$\sum_{k=1,N} W_k \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{f_k, x, y, z}) * E_j(\overline{f_k, x, y, z}) * Object Factor_{i,j}(f_k)$$

где $E_i = 1 \text{ до } N(f_k, x, y, z)$ и $E_j = 1 \text{ до } M(f_k, x, y, z)$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x, y, z) от электромагнитных источников частоты f_k , расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположении физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятых как сопряженные значения, и причем $Object Factor_{i,j}$ - «ij»-я составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j.

8. Способ по п. 2, причем этап распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции включает в себя вычисление, для итерации $i > 1$,

$$\sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{x, y, z}) * E_j(\overline{x, y, z}) * Object Factor_{i,j} - \alpha * (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

$$* \sum_{i=1,N; j=1,M} E_i(\overline{x, y, z}) * E_j(\overline{x, y, z}) * Object Factor_{i,j} - (\varepsilon^{i-1}(\overline{r}) - \varepsilon_{bkgd})$$

где для простоты частотные члены опущены, где $\overline{E_i} = (\overline{x, y, z})$ и $\overline{E_j} = (\overline{x, y, z})$ представляют собой 3D распределения электромагнитных полей (x, y, z) от электромагнитных источников, расположенных в местоположениях физических источников (от 1 до N) в системе электромагнитной томографии и в местоположениях физических приемников (от 1 до M) соответственно, взятых как сопряженные значения, и причем $Object Factor_{i,j}$ - «ij»-я составляющая фактора объекта от передатчика i к приемнику j.

9. Способ по п. 1, дополнительно содержащий этап, осуществляемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

10. Способ по п. 1, причем способ используют как часть способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений.

11. Способ по п. 10, причем генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения.

12. Способ по п. 11, причем способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используют как часть способа контроля жизнеспособности

и/или функциональных состояний биологической ткани, используя 4D динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.

13. Способ по п. 1, причем этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции осуществляют последовательно.

14. Способ по п. 1, дополнительно содержащий этап отображения суперпозиционного изображения посредством блока отображения.

15. Способ реконструкции изображения с использованием электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции, содержащий:

генерацию данных электромагнитного поля, соответствующих объекту в области визуализации, посредством системы электромагнитной томографии, причем данные электромагнитного поля измеряют на множестве приемников после его создания на множестве передатчиков и взаимодействия с объектом; и

использование сгенерированных данных электромагнитного поля повторно, рекурсивным образом, с:

формированием невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формированием возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении

электромагнитной интерференции,

распознаванием картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции, и формированием суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного

изображения электромагнитной интерференции.

16. Способ по п. 15, причем этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции.

17. Способ по п. 15, дополнительно содержащий этап, осуществляемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

18. Способ по п. 15, причем способ используют как часть способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений.

19. Способ по п. 18, причем генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения.

20. Способ по п. 19, причем способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используют как часть способа контроля жизнеспособности и/или функциональных состояний биологической ткани, используя 4D динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.

21. Способ по п. 15, причем этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции осуществляют последовательно.

22. Способ по п. 15, дополнительно содержащий этап отображения суперпозиционного изображения посредством блока отображения.

23. Система реконструкции изображений с использованием электромагнитной томографии с распознаванием картин интерференции, содержащая:

систему электромагнитной томографии, которая генерирует данные электромагнитного поля, соответствующие объекту в области визуализации, причем система электромагнитной томографии содержит:

множество передатчиков электромагнитных волн,

множество приемников, которые измеряют данные электромагнитного поля после его создания на упомянутом множестве передатчиков и взаимодействия с объектом, и пограничное устройство;

и центр обработки, который, используя сгенерированные данные электромагнитного поля, повторно рекурсивным образом осуществляет этапы:

формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции,

формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции,

основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении

электромагнитной интерференции,

распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции, и

формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции.

24. Система реконструкции изображения по п. 23, причем этап формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, включает в себя формирование возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на определении фактора объекта, который является функционалом разниц между экспериментальными электромагнитными полями и электромагнитными полями, вычисленными во время этапа формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции.

25. Система реконструкции изображения по п. 23, причем центр обработки дополнительно осуществляет этап, выполняемый после каждого повторного этапа формирования суперпозиционного изображения, определения того, была ли достигнута целевая сходимость.

26. Система реконструкции изображения по п. 23, причем этапы, выполняемые

центром обработки, используются в качестве части способа генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений.

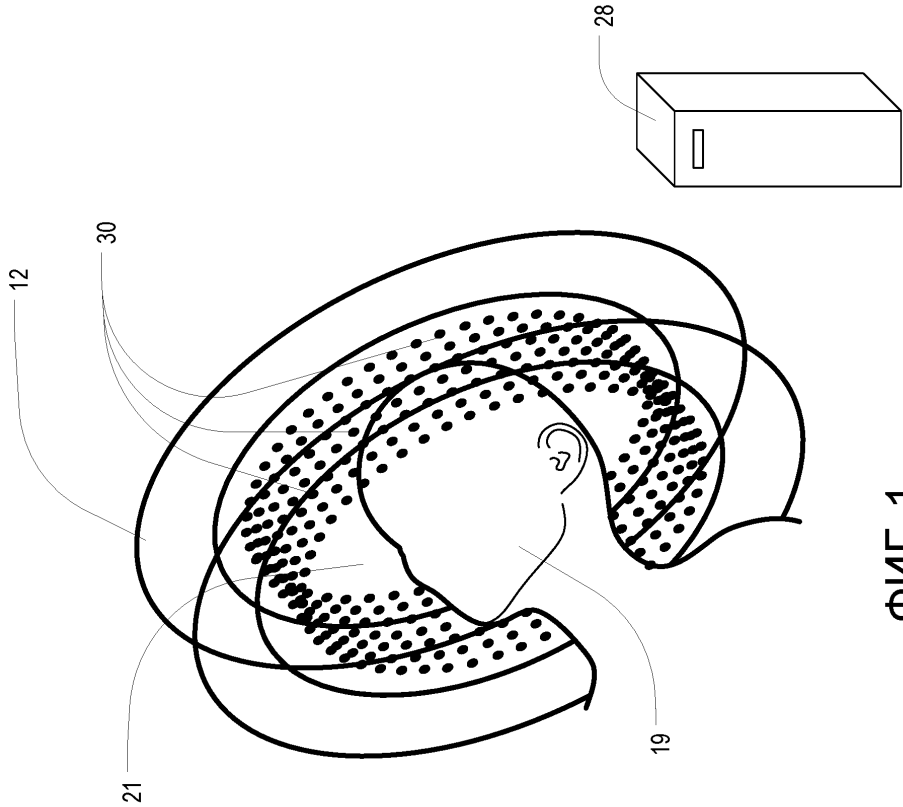
27. Система реконструкции изображения по п. 26, причем генерация 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений включает в себя объединение по меньшей мере одного последовательно сформированного изображения, указывающего на относительное физиологическое изменение, с базовым анатомическим изображением для отображения в виде единого слитного изображения.

28. Система реконструкции изображения по п. 27, причем способ генерации 4D дифференциальных (динамических) объединенных изображений используется как часть способа контроля жизнеспособности и/или функциональных состояний биологической ткани, используя 4D динамическую электромагнитную томографию с распознаванием объединенных картин.

29. Система реконструкции изображения по п. 23, причем этапы формирования невозмущенного изображения электромагнитной интерференции, формирования возмущенного изображения электромагнитной интерференции, основанного по меньшей мере частично на невозмущенном изображении электромагнитной интерференции, распознавания картин электромагнитной интерференции в повторно сформированных возмущенных изображениях электромагнитной интерференции и формирования суперпозиционного изображения путем сведения к нулю или уменьшения распознанных картин электромагнитной интерференции от возмущенного изображения электромагнитной интерференции осуществляются последовательно.

30. Система реконструкции изображения по п. 23, дополнительно содержащая блок отображения, который отображает суперпозиционное изображение.

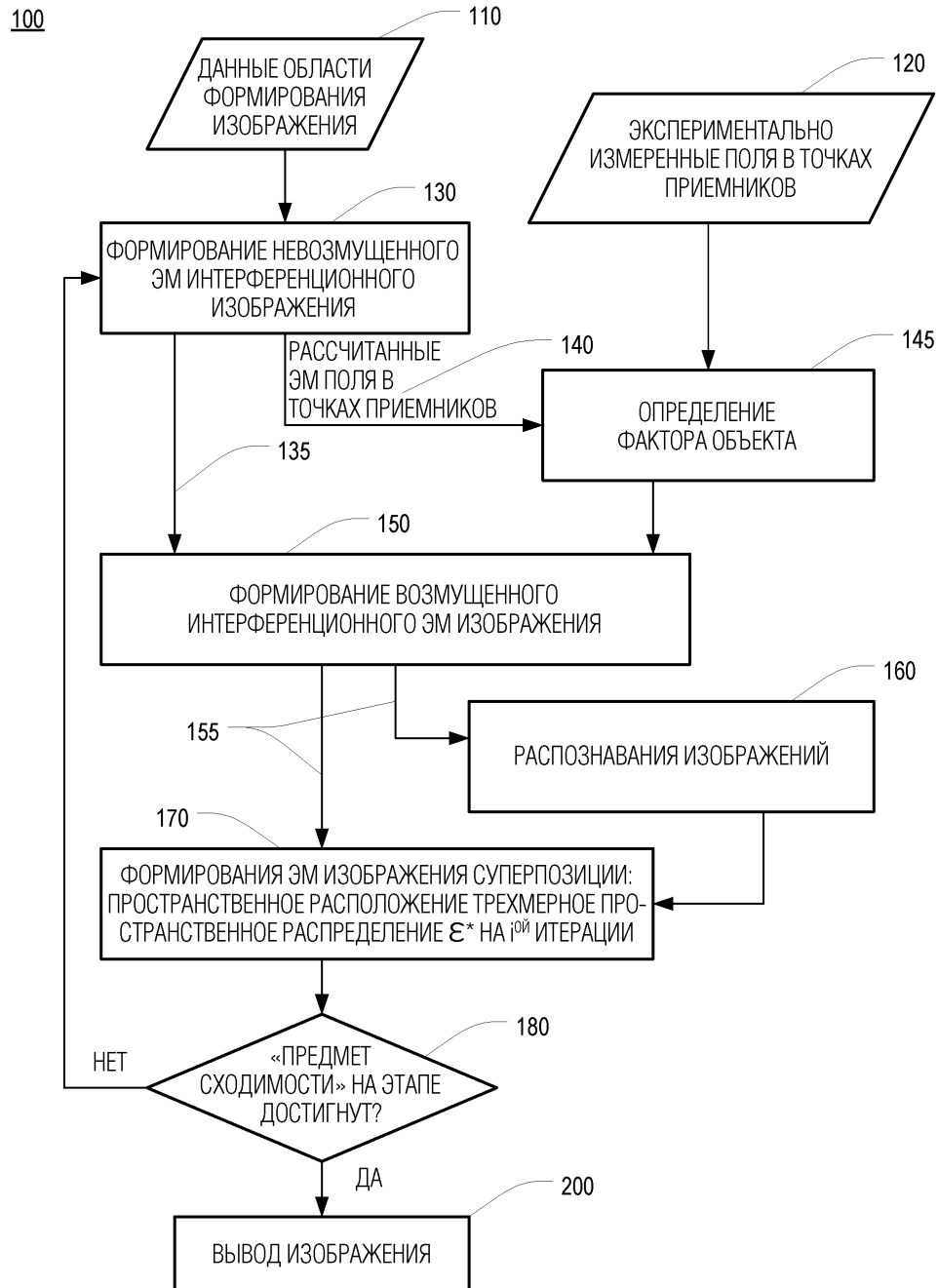
1/8



ФИГ. 1

10

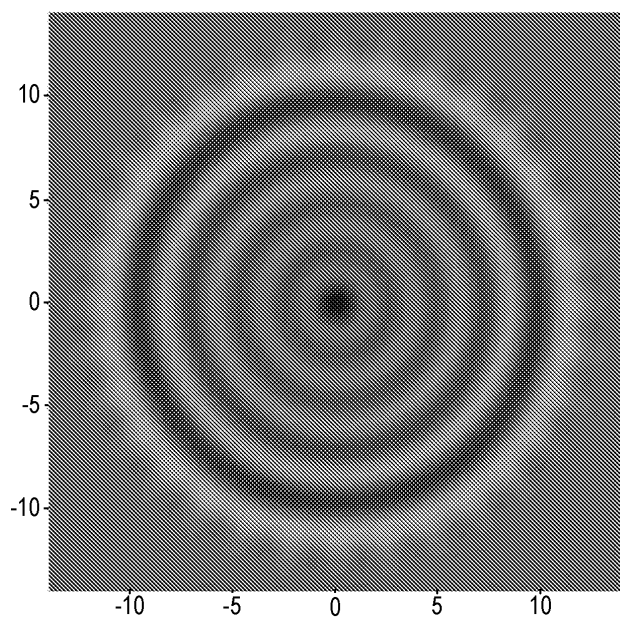
2/8



ФИГ. 2

3/8

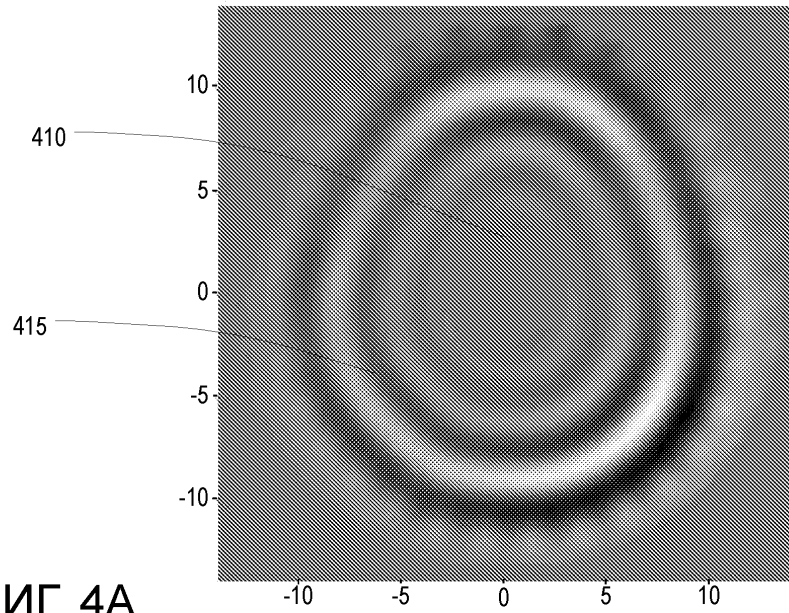
135



ФИГ. 3

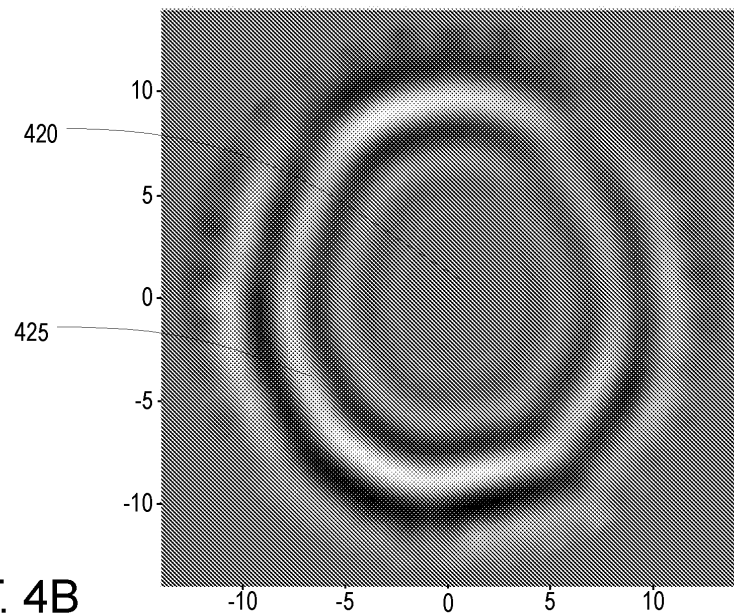
4/8

155



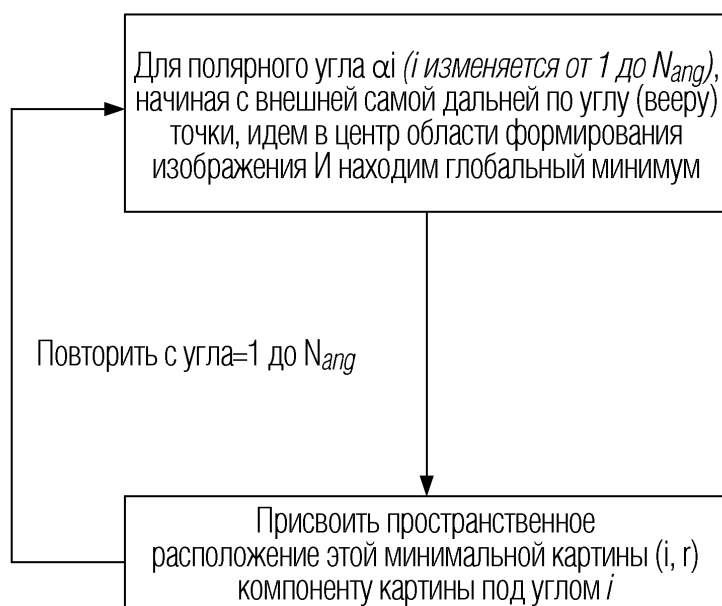
ФИГ. 4А

155



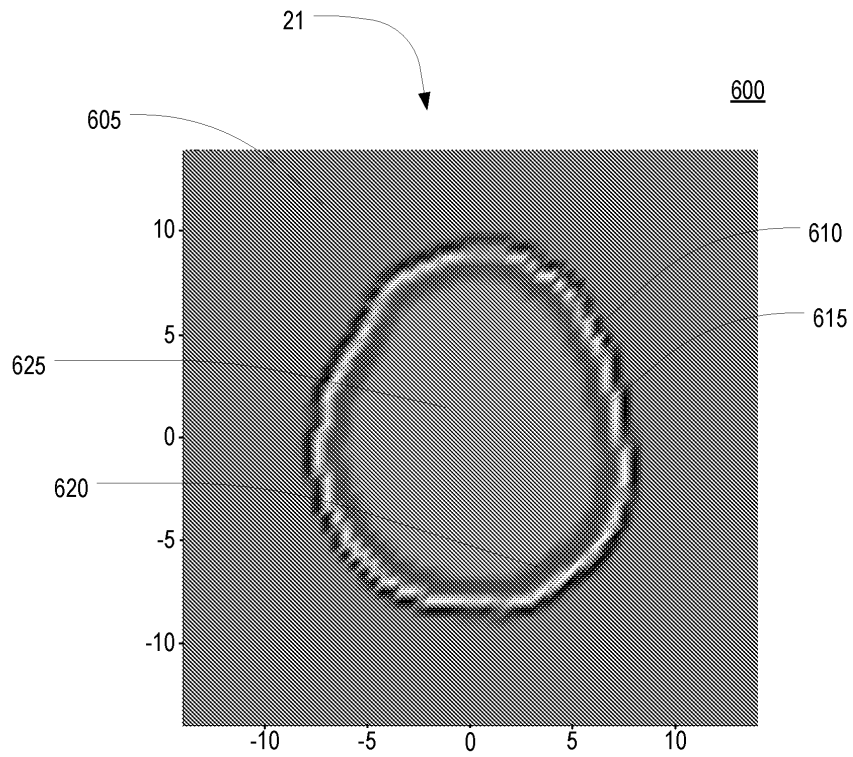
ФИГ. 4В

5/8

500

ФИГ. 5

6/8

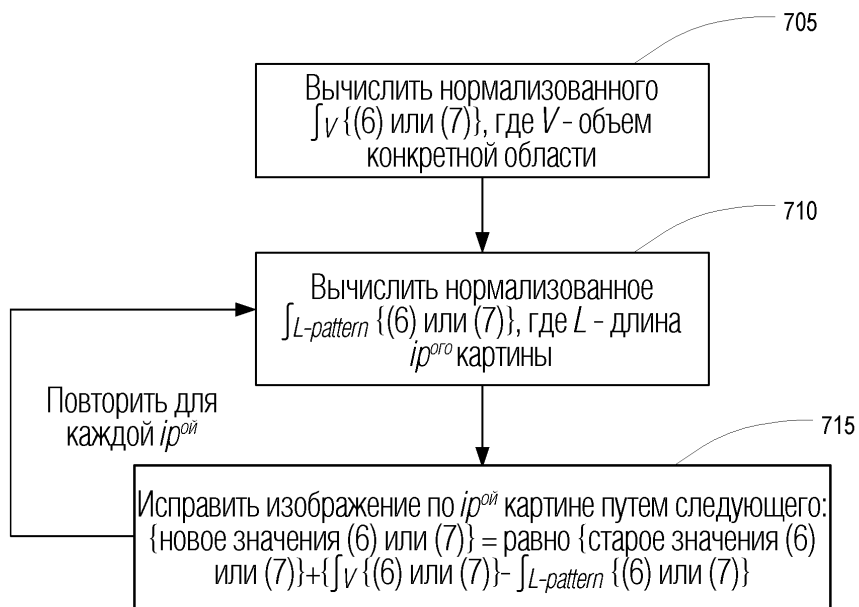


ФИГ. 6

7/8

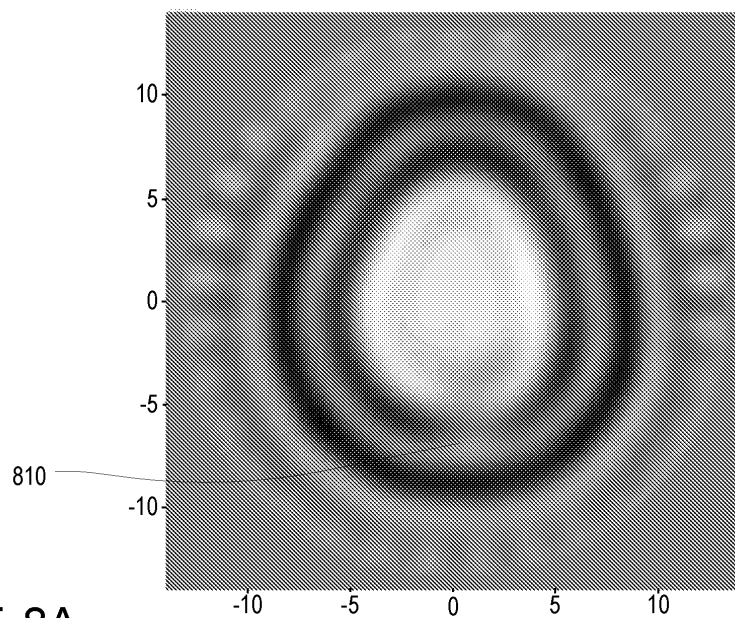
Повторить с угла=1 до N_{ang}

700



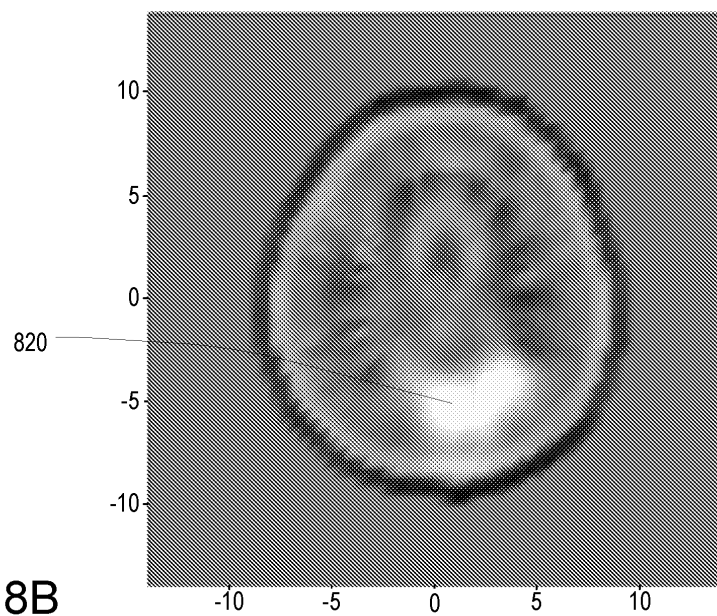
ФИГ. 7

8/8



ФИГ. 8А

200



ФИГ. 8В