



(51) МПК
G01J 5/10 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)
G06T 7/40 (2006.01)
G01V 8/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01J 2005/0077 (2019.05); *G06T 7/00* (2019.05); *G06T 7/40* (2019.05); *G06T 2207/10048* (2019.05); *G01V 8/005* (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019105359, 26.02.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.02.2019

Дата регистрации:
14.10.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.02.2019

(45) Опубликовано: 14.10.2019 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

125009, Москва, ул. Моховая, 11, корп. 7, ИРЭ
им. В.А. Котельникова РАН, Патентный отдел

(72) Автор(ы):

Морозов Алексей Александрович (RU),
Мурашов Дмитрий Михайлович (RU),
Мурашов Фёдор Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт радиотехники
и электроники им. В.А. Котельникова
Российской академии наук (RU),
Федеральное государственное учреждение
"Федеральный исследовательский центр
"Информатика и управление" Российской
академии наук" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: CN 105069805 A, 18.11.2015. CN
106778899 A, 31.05.2017. RU 2371735 C2,
27.10.2009. CN 206114926 U, 19.04.2017. WO
2005119214 A1, 15.12.2005. CN 106094050 A,
09.11.2016.

(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ПРЕДМЕТОВ НА ТЕРАГЕРЦЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

(57) Реферат:

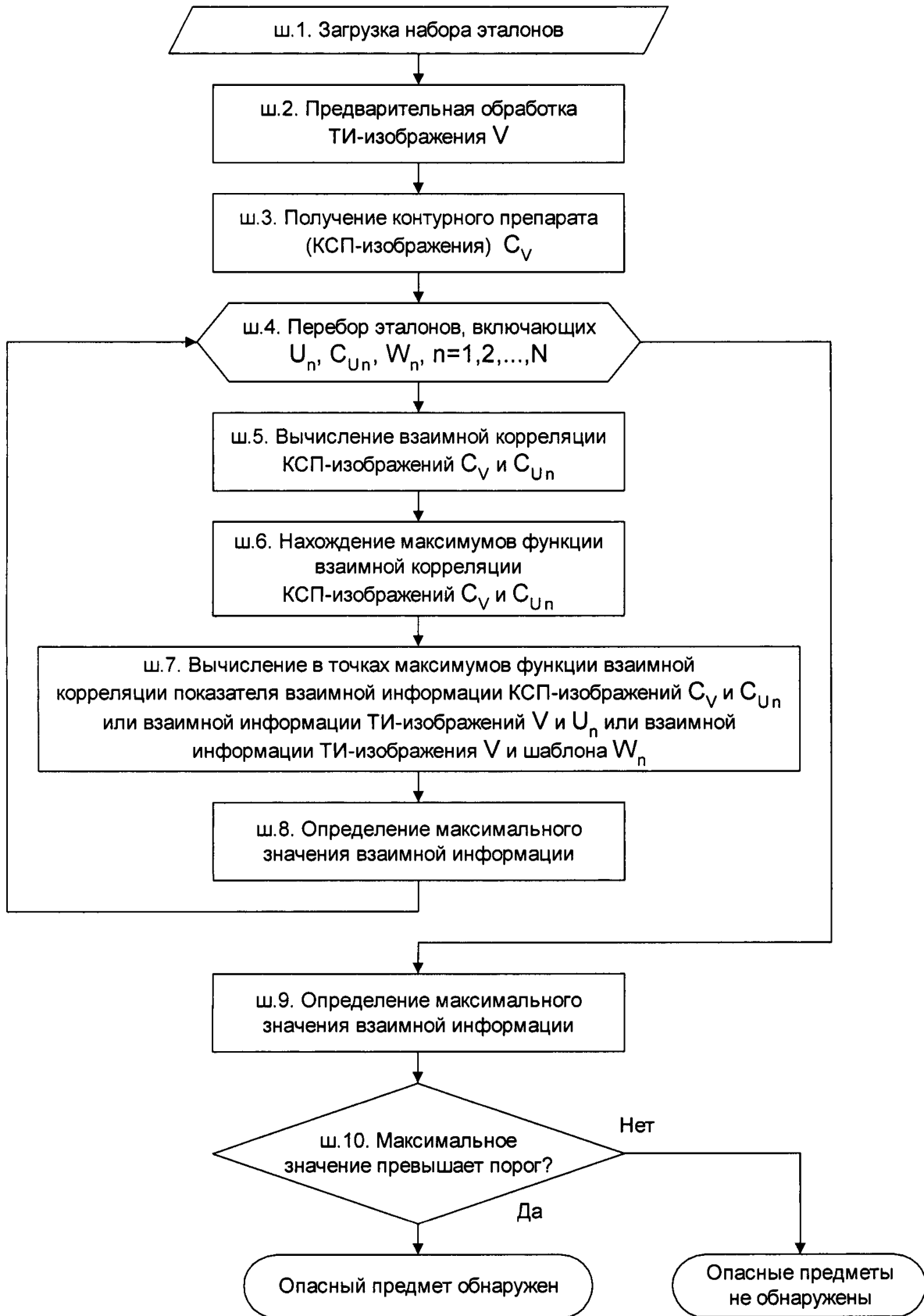
Способ обнаружения скрытых предметов на теле человека включает регистрацию собственного теплового излучения (ТИ) человека в терагерцевом диапазоне электромагнитных волн с последующей цифровой обработкой анализируемого ТИ-изображения. Формируют набор эталонов, каждый из которых включает в себя: ТИ-изображение скрываемого опасного предмета; контурный препарат (КСП-изображение) этого ТИ-изображения; бинарный черно-белый шаблон этого ТИ-изображения; повернутые и зеркально отраженные варианты ТИ-изображения, КСП-изображения и бинарного шаблона ТИ-изображения.

Обнаружение скрытых предметов на предъявленных (анализируемых) ТИ-

изображениях проводят путем сравнения анализируемых ТИ-изображений с эталонами, для чего определяют точки локальных максимумов функции взаимной корреляции, вычисляют величину взаимной информации в упомянутых точках локальных максимумов функции взаимной корреляции, определяют максимальное значение взаимной информации среди вычисленных значений, а факт наличия на изображении скрытого предмета устанавливают путем сравнения вычисленного максимального значения взаимной информации с заданным пороговым значением. Технический результат - улучшение качества распознавания скрытых на теле человека предметов, а также сокращение вычислительных затрат за счет устранения этапа

формирования признаков описаний изображений предметов, устранения этапа обучения алгоритма распознавания и уменьшения

количества позиций на анализируемом изображении, в которых вычисляется величина взаимной информации. 8 з.п. ф-лы, 9 ил.



RU 2702913 C1

RU 2702913 C1

Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01J 5/10 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)
G06T 7/40 (2006.01)
G01V 8/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01J 2005/0077 (2019.05); *G06T 7/00* (2019.05); *G06T 7/40* (2019.05); *G06T 2207/10048* (2019.05); *G01V 8/005* (2019.05)

(21)(22) Application: **2019105359, 26.02.2019**

(24) Effective date for property rights:
26.02.2019

Registration date:
14.10.2019

Priority:

(22) Date of filing: **26.02.2019**

(45) Date of publication: **14.10.2019 Bull. № 29**

Mail address:

**125009, Moskva, ul. Mokhovaya, 11, korp. 7, IRE
im. V.A. Kotelnikova RAN, Patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Morozov Aleksej Aleksandrovich (RU),
Murashov Dmitrij Mikhajlovich (RU),
Murashov Fedor Dmitrievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
uchrezhdenie nauki Institut radiotekhniki i
elektroniki im. V.A. Kotelnikova Rossijskoj
akademii nauk (RU),
Federalnoe gosudarstvennoe uchrezhdenie
"Federalnyj issledovatel'skij tsentr "Informatika
i upravlenie" Rossijskoj akademii nauk" (RU)**

(54) **METHOD OF DETECTING HIDDEN OBJECTS ON TERAHERTZ IMAGES OF A HUMAN BODY**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method for detecting hidden objects on a human body involves detecting intrinsic heat radiation (HR) of human in terahertz range of electromagnetic waves with subsequent digital processing of analyzed HR image. A set of standards is formed, each of which includes: HR is an image of a concealed dangerous object; contour preparation (CSP image) of this HR image; binary black-and-white template of this HR image; turned and mirror images versions HR image, CSP image and a binary pattern HR image. Detecting hidden objects on presented (analyzed) HR-images are carried out by comparing analyzed HR-images with standards, for which points of local maximums of the cross-correlation function are determined, calculating the mutual information value

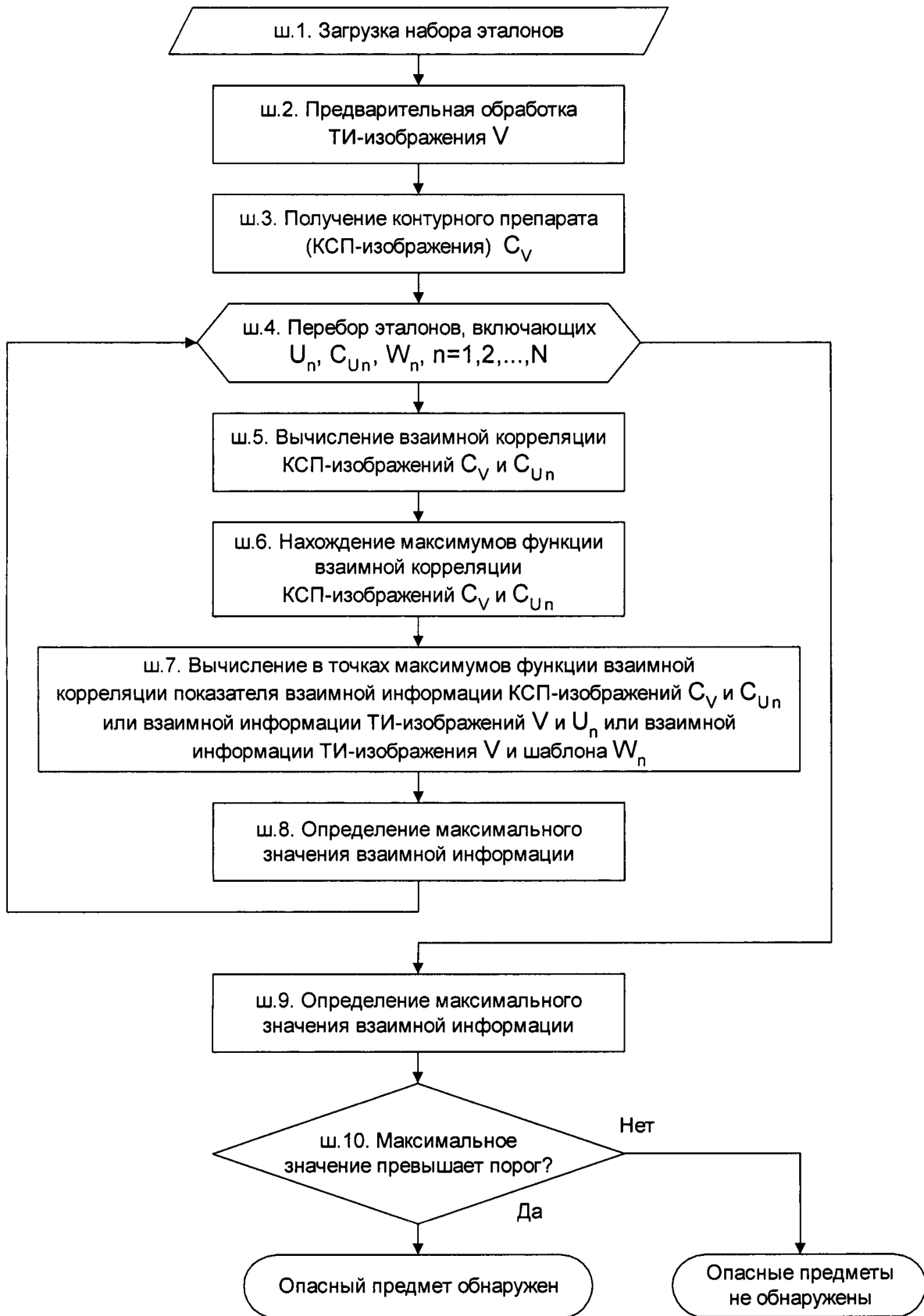
in said points of local maxima of the cross-correlation function, determining the maximum value of mutual information among the calculated values, and presence of latent object on image is established by comparing calculated maximum value of mutual information with preset threshold value.

EFFECT: improved quality of recognition of objects hidden on the human body, as well as reduced computational costs by eliminating the stage of formation of feature descriptions of images of objects, eliminating the learning phase of the recognition algorithm and reducing the number of positions on the analyzed image, in which the mutual information value is calculated.

9 cl, 9 dwg

RU 2 702 913 C1

RU 2 702 913 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к цифровой обработке изображений и может быть использовано в системах безопасности для обнаружения и распознавания скрытых опасных предметов.

Известно, что одно из направлений создания систем безопасности связано с разработкой систем обнаружения скрытых предметов по изображениям, получаемым в терагерцевом диапазоне электромагнитных волн (примерно 100 ГГц - 3 ТГц). Как правило, такие изображения характеризуются низким отношением сигнал/шум, небольшим количеством отсчетов, невысоким разрешением, низкой контрастностью, нечеткостью изображений объектов. Эти особенности терагерцевых изображений усложняют распознавание скрытых предметов.

Один из подходов к решению задачи обнаружения скрытых предметов по терагерцевым изображениям состоит в сегментации изображений, формировании признаков описаний изображений объектов и построении в признаковом пространстве разделяющих поверхностей между классами рассматриваемых объектов. Многие из предложенных ранее методов сегментации базируются на предположении о наличии на терагерцевом изображении трех областей (фона, тела человека и скрытых предметов), характеризующихся своими диапазонами радиометрической температуры, которым соответствуют диапазоны уровней серого тона. Для описания исследуемых изображений применяются, в частности, модели на основе гауссовых смесей. Такие модели являются основой для разработки алгоритмов многоуровневой сегментации: [1] Shen X. Detection and segmentation of concealed objects in terahertz images / X. Shen, C.R. Dietlein, E. Grossman, Z. Popovic, F.G. Meyer // IEEE Transactions on Image Processing. - 2008. - Vol. 17, No. 12. - PP. 2465-2475; [2] Lee D.S. Automatic image segmentation for concealed object detection using the expectation-maximization algorithm / D.S. Lee, S. Yeom, J.-Y. Son, S.-H. Kim // Optics express. - 2010. - Vol. 18, No. 10. - PP. 10659-10667; [3] Martinez O. Concealed object detection and segmentation over millimetric waves images / O. Martinez, L. Ferraz, X. Binefa, I. Gómez, C. Dorransoro // Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). - IEEE, 2010. - PP. 31-37. С целью ослабления влияния шума и характеристик фона могут комбинироваться изображения, полученные в разных спектральных диапазонах. В работе [4] (Antsiperov V.E. Automatic target recognition algorithm for low-count terahertz images // Computer Optics. - 2016. - Vol. 40, No. 5. - PP. 746-751) для распознавания скрытых предметов предложен алгоритм на основе метода максимального правдоподобия, структура которого также близка к EM-алгоритмам.

Свойства терагерцевых изображений, такие как низкое отношение сигнал/шум и низкое разрешение, затрудняют их сегментацию. Поэтому для распознавания предметов на терагерцевых изображениях предпочтительно использовать методы, не требующие сегментации изображения и формирования признаков описаний изображений предметов. Альтернативный подход к задаче обнаружения предметов на терагерцевых изображениях заключается в использовании методов сопоставления эталонного изображения предмета и предъявленного изображения. Эти методы не требуют априорных знаний о связи между предъявленным изображением и эталоном, а также не требуют информации о статистических характеристиках изображений. В частности, существует метод обнаружения скрытых предметов на основе максимизации значения функции взаимной корреляции [5] (Trofimov V.A. Concealed object detection using the passive THz image without its viewing / V.A. Trofimov, V.V. Trofimov, I.L. Shestakov, R.G. Blednov // Passive and Active Millimeter-Wave Imaging XIX. - International Society for Optics and Photonics, 2016. - Vol. 9830. - P. 98300E). Недостатком метода корреляционного сопоставления терагерцевых изображений является то, что он не обеспечивает

приемлемое качество распознавания, что приводит к ошибкам распознавания.

Патентуемое изобретение основано на использовании математической меры сходства «взаимная информация», которая вычисляется непосредственно по совместному распределению яркости сопоставляемых изображений и более полно, чем

5 корреляционные показатели, учитывает данные, содержащиеся в изображениях.

Известно, что математическая мера сходства «взаимная информация» является количественной характеристикой статистической связи изображений и широко применяется при обработке изображений и распознавании образов. В частности, описано устройство для адаптивного распознавания образов, использующее взаимную

10 информацию для выявления взаимосвязанных признаков распознаваемых объектов непосредственно в процессе обработки информации [US 3588823 (A), IBM, 28.06.1971]. Однако возможность распознавания изображений скрытых предметов на терагерцевых изображениях в этом устройстве не предусмотрена. Описан метод наложения изображений с использованием взаимной информации в качестве критерия правильного

15 позиционирования одного изображения относительно другого [US 7639896 (B2), CARESTREAM HEALTH, INC., 29.12.2009]. Однако описанный метод не решает задачу распознавания скрытых предметов на терагерцевых изображениях.

Известен метод ускоренного вычисления величины взаимной информации в целях сравнения изображений [CN 106778899 (A), XI'AN PEIHUA UNIV, 31.05.2017], однако

20 возможность использования этого метода для обнаружения скрытых предметов на терагерцевых изображениях также не предусмотрена. Описан метод обнаружения движущихся целей на инфракрасном видеоизображении в условиях движущейся камеры, использующий взаимную информацию для устранения смещения изображения вследствие изменения положения камеры в пространстве [CN 107909608 (A), BEIJING AEROSPACE

25 FUDAO HIGH TECH CO LTD, 13.04.2018]. Этот метод также не предназначен для обнаружения скрытых предметов и не учитывает особенности изображений в терагерцевом диапазоне частот.

В патенте [RU 2371735 C2, БАТТЕЛЛЕ МЕМОРИАЛ ИНСТИТЬЮТ (US), 27.10.2009] описана система для определения скрытых подозрительных объектов под одеждой

30 человека. Система получает изображения человека с помощью излучения и приема отраженного электромагнитного сигнала в диапазоне от 200 МГц до 1 ТГц. Параметры изображения, включающие интенсивность отраженного излучения, разностную карту глубины отражающей поверхности и пространственные частоты изображения, обрабатываются для обнаружения подозрительных скрытых объектов. В изобретении

35 не предусмотрена возможность использования собственного излучения тела человека, т.е. осуществления пассивного терагерцевого видеонаблюдения.

Наиболее близким к патентуемому является способ обнаружения скрытых объектов на теле человека с использованием сегментации пассивного терагерцевого изображения [CN 105069805 (B), CHINA ACADEMY OF AEROSPACE AERODYNAMICS, 01.06.2018 -

40 прототип]. Способ включает следующие этапы: Шаг 1 - получение пассивного терагерцевого двумерного изображения человека. Шаг 2 - предварительная обработка для уменьшения шума в составе двумерного изображения. Шаг 3 - на изображении выделяются контуры скрытых под одеждой металлических предметов. Шаг 4 - определяется, присутствуют ли на изображении контуры предметов, и, если

45 присутствуют, делается вывод, что человек скрывает под одеждой металлический предмет.

Недостаток способа-прототипа состоит в том, что он не позволяет отличить запрещенные предметы, скрытые под одеждой человека, от других предметов, которые

могут находиться под верхней одеждой, и поэтому не может быть применен для автоматического, без участия человека, анализа терагерцевых изображений. Невозможность автоматического анализа терагерцевых изображений приводит к невозможности массового применения терагерцевого видеонаблюдения, так как требует

5 постоянного участия в анализе терагерцевых изображений специально обученного человека-оператора системы терагерцевого видеонаблюдения.

Патентуемое изобретение направлено на решение проблемы повышения качества автоматического распознавания скрытых на теле человека опасных предметов.

Способ обнаружения скрытых предметов на теле человека включает регистрацию

10 собственного теплового излучения (ТИ) человека в терагерцевом диапазоне электромагнитных волн с последующей цифровой обработкой анализируемого ТИ-изображения.

Отличие состоит в том, что формируют набор эталонов, каждый из которых включает в себя: ТИ-изображение скрываемого опасного предмета; контурный препарат (КСП-изображение) этого ТИ-изображения; бинарный черно-белый шаблон этого ТИ-

15 изображения; повернутые и зеркально отраженные варианты ТИ-изображения, КСП-изображения и бинарного шаблона ТИ-изображения.

Обнаружение скрытых предметов на предъявленных (анализируемых) ТИ-изображениях проводят путем сравнения анализируемых ТИ-изображений с эталонами,

20 для чего определяют точки локальных максимумов функции взаимной корреляции, вычисляют величину взаимной информации в упомянутых точках локальных максимумов функции взаимной корреляции, определяют максимальное значение взаимной информации среди вычисленных значений, а факт наличия на изображении скрытого предмета устанавливают путем сравнения вычисленного максимального

25 значения взаимной информации с заданным пороговым значением.

Способ может характеризоваться тем, что цифровая обработка анализируемого ТИ-изображения включает, но не исчерпывается методами сглаживания изображения, медианной фильтрации и вычитания фона.

Способ может характеризоваться и тем, что при сравнении анализируемых ТИ-

30 изображений с эталонами используют ТИ-изображения, входящие в состав эталонов, а также тем, что при сравнении анализируемых ТИ-изображений с эталонами используют КСП-изображения, входящие в состав эталонов, а также тем, что при сравнении анализируемых ТИ-изображений с эталонами используют бинарные шаблоны, входящие в состав эталонов.

Способ может характеризоваться, кроме того, тем, что анализируемые КСП-

35 изображения формируют с использованием маски стохастических градиентов для отношения сигнал/шум $SNR=1$.

Способ может характеризоваться и тем, что обнаружение скрытых предметов на анализируемых ТИ-изображениях проводят путем сравнения анализируемых ТИ-

40 изображений с эталонами, а также анализируемых КСП-изображений с КСП-изображениями эталонов с помощью многослойных нейронных сетей и/или математического аппарата нечеткой логики и/или математического аппарата вероятностной логики.

Способ может характеризоваться и тем, что вычисление повернутых и зеркально

45 отраженных вариантов ТИ-изображений, бинарных шаблонов и КСП-изображений скрываемых предметов осуществляют на этапе загрузки набора эталонов.

Способ может характеризоваться также тем, что перечень скрываемых опасных предметов включает, но не исчерпывается следующими предметами: огнестрельное,

газовое и холодное оружие, электрошокеры, муляжи оружия, боеприпасы, стеклянные бутылки, наручники, ножницы, штопоры, спицы, топоры, кусачки, консервные банки, ножи, максимальный размер которых много меньше роста человека.

Технический результат - улучшение качества распознавания скрытых на теле человека предметов, а также сокращение вычислительных затрат за счет устранения этапа формирования признаков описаний изображений предметов, устранения этапа обучения алгоритма распознавания и уменьшения количества позиций на анализируемом изображении, в которых вычисляется величина взаимной информации. Это позволяет обеспечить массовое и автоматическое, без участия человека, обнаружение опасных предметов, скрытых под одеждой людей в общественных местах.

В основе патентуемого способа лежит сопоставление изображений с помощью математической меры сходства «взаимная информация», вычисляемой по двумерным гистограммам яркости эталона и анализируемого изображения. Анализируется изображение собственного теплового излучения (ТИ) человека в терагерцевом диапазоне электромагнитных волн. Для этой цели формируется набор эталонных изображений предметов, которые должны быть обнаружены под одеждой людей, проверяемых с помощью пассивного терагерцевого комплекса. Объекты, которые видны на изображении, должны быть сопоставлены с эталонами, и необходимо принять решение об их идентичности или отличии.

Имеется N эталонных ТИ-изображений опасных предметов U_n , $n=1, 2, \dots, N$. Для анализа предъявляется ТИ-изображение V . Нужно определить, какое из эталонных ТИ-изображений U_n присутствует на анализируемом ТИ-изображении V . Обозначим $J(U_n, V)$ критерии, используемый в качестве меры сходства эталона и объектов на анализируемом ТИ-изображении V . Задачу поиска изображений скрытых опасных предметов можно сформулировать следующим образом. Требуется найти ТИ-изображение U_m , которое обеспечивает максимальное значение меры сходства $J(U_n, V)$:

$$U_m = \arg \max \{J(U_n, V)\}, n = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Взаимная информация является количественной характеристикой статистической связи изображений; большее сходство эталона и предъявляемого изображения дает большее значение взаимной информации. Определим вероятностную модель связи между эталонным изображением и предъявленным изображением. Пусть значения яркости на сравниваемых изображениях в точке d и с координатами (x, y) описываются дискретными случайными переменными $U(d)$ и $V(d)$ со значениями u и v , квантованными на конечное число уровней K и L соответственно. Если изображения $U(d)$ и $V(d)$ отображают один и тот же объект (одну и ту же сцену), то существует связь между переменными $U(d)$ и $V(d)$. Определим следующую модель:

$$V(Tr(d)) = F(U(d)) + Q(d), \quad (2)$$

где Tr - преобразование координат (для совмещенных изображений) $V(Tr(d))=U(d)$. F - функция преобразования яркости, моделирующая связь между двумя изображениями объектов в терагерцевом диапазоне; $Q(d)$ - случайная переменная, моделирующая шум.

Модель (2) можно рассматривать как модель дискретной стохастической информационной системы с входом U и выходом V . Взаимная информация между входом и выходом системы определена выражением:

$$I(U;V) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L p(u_k, v_l) \log \left[\frac{p(u_k, v_l)}{p(u_k)p(v_l)} \right], \quad (3)$$

5 где функции $p(u)$, $p(v)$ и $p(u, v)$ задают, соответственно, одномерные и двумерное дискретные распределения вероятностей значений яркости ТИ-изображений U и V . Если в качестве меры сходства будет использоваться взаимная информация (3), то задача (1) будет сформулирована как задача поиска на предъявленном ТИ-изображении V эталонного ТИ-изображения U_n , максимизирующего критерий (3):

$$10 \quad U_m = \arg \max \{I(U_n; V)\}. \quad (4)$$

Краткое описание чертежей.

Фиг. 1 - блок-схема алгоритма анализа изображений.

15 Фиг. 2-7 - основные этапы обнаружения и определения местонахождения (локализации) скрытых опасных предметов.

Фиг. 2 - исходное ТИ-изображение, полученное с помощью малогабаритного пассивного терагерцевоего комплекса обнаружения скрытно проносимых запрещенных предметов THERZ-7A.

20 Фиг. 3 - бинарный черно-белый шаблон эталонного ТИ-изображения предмета (автомат АК).

Фиг. 4 - контурный препарат анализируемого изображения (КСП-изображение).

Фиг. 5 - контурный препарат (КСП-изображение) эталонного ТИ-изображения.

25 Фиг. 6 - визуализированная функция взаимной корреляции контурных препаратов $c_{U_n, V}(x, y)$.

Фиг. 7 - результат локализации предмета на анализируемом ТИ-изображении, соответствующий максимуму взаимной информации $I(U_n; V)$

Фиг. 8-9 - результаты сопоставления эталонов и предъявленных ТИ-изображений скрытых предметов.

30 Фиг. 8 - сопоставление изображения пистолета ТТ, скрытого под одеждой, и его эталона.

Фиг. 9 - сопоставление изображения скрытого пистолета Walther и его эталона.

Способ осуществляют следующим образом. Предварительно формируют набор эталонов. Каждый эталон n , в общем случае, представляет собой:

- 35
1. ТИ-изображение скрытого предмета U_n .
 2. Контурный препарат C_{U_n} ТИ-изображения скрытого предмета (КСП-изображение).
 3. Бинарный черно-белый шаблон W_n ТИ-изображения скрытого предмета.
 4. Повернутые и зеркально отраженные варианты ТИ-изображения U_n , КСП-изображения C_{U_n} и бинарного шаблона W_n ТИ-изображения скрытого предмета.
- 40

Перечень эталонов скрытых опасных предметов включает, но не ограничивается следующими предметами: огнестрельное, газовое и холодное оружие, электрошокеры, муляжи оружия, боеприпасы, стеклянные бутылки, наручники, ножницы, штопоры, спицы, топоры, кусачки, консервные банки, ножи, максимальный размер которых 45 много меньше роста человека.

На фиг. 1 показана блок-схема алгоритма анализа изображений. Алгоритм поиска на анализируемом ТИ-изображении предмета, соответствующего условию (4), включает следующие операции:

ш. 1. - загрузка набора эталонов, а также (в качестве варианта реализации) получение повернутых и зеркально отраженных вариантов ТИ-изображений U , КСП-изображений C_U и бинарных шаблонов W , соответствующих ТИ-изображениям U ;

ш. 2. - предварительная обработка анализируемого ТИ-изображения V ;

ш. 3. - получение анализируемого контурного препарата (КСП-изображения) C_V анализируемого ТИ-изображения V ;

ш. 5. - вычисление функции взаимной корреляции $c_{U_1, V}(x, y)$ контурных препаратов C_{U_1} и C_V по формуле (5);

ш. 6. - нахождение точек локальных максимумов $c_{U_1, V}(x, y)$;

ш. 7. - вычисление взаимной информации $I(U_1; V)$ в точках локальных максимумов $c_{U_1, V}(x, y)$;

ш. 8. - определение максимального значения взаимной информации $I_{\max}(U_1; V)$;

ш. 4. - повторение шагов 5-8 для всех эталонов;

ш. 9. - определение максимального значения взаимной информации $I_{\max}(U_m; V)$ среди значений $I_{\max}(U_1; V)$, $I_{\max}(U_2; V)$, ..., $I_{\max}(U_N; V)$ и соответствующего эталонного ТИ-изображения U_m , которое и будет решением задачи (4);

ш. 10. - принятие решения о наличии на анализируемом ТИ-изображении скрытого опасного предмета на основе сравнения максимального значения взаимной информации с пороговым значением.

Корреляционная функция (5) и взаимная информация (3) не инвариантны относительно вращения и зеркального отражения, поэтому в набор эталонов включают повернутые и зеркально отраженные варианты ТИ-изображений, бинарных шаблонов ТИ-изображений и КСП-изображений. Набор эталонов загружается в программу на шаге 1. Другим вариантом реализации является вычисление упомянутых выше повернутых и зеркально отраженных вариантов ТИ-изображений, бинарных шаблонов и КСП-изображений на шаге 1, однако это требует дополнительных вычислительных затрат.

Простейшим способом реализации шага 2 алгоритма является сглаживание изображений, однако, для предварительной обработки анализируемого ТИ-изображения V могут быть использованы другие методы адаптивной и неадаптивной фильтрации, включая медианную фильтрацию и методы вычитания фона.

На шаге 3 вычисляется контурный препарат (КСП-изображение) C_V анализируемого ТИ-изображения V . Патентуемый способ не накладывает ограничений на способы получения контурных препаратов терагерцевых изображений, однако, учитывая сильную зашумленность терагерцевых изображений, предпочтительным методом получения контурных препаратов являются маски стохастических градиентов [6] (Jain A.K. Fundamentals of digital image processing / A.K. Jain. - Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989) для отношения сигнал/шум $SNR=1$.

Шаг 6 - вычисление локальных максимумов функции взаимной корреляции. Локальные максимумы функции взаимной корреляции указывают координаты точек, где возможно наибольшее соответствие содержания предъявленного ТИ-изображения V эталонному ТИ-изображению U_n . Количество таких точек существенно меньше числа пикселей анализируемого ТИ-изображения V , а функция взаимной корреляции изображений быстро вычисляется в частотной области. Указанные обстоятельства позволяют существенно ускорить вычисление взаимной информации и поиск решения

задачи (4). Так как функция взаимной корреляции чувствительна к изменениям амплитуд уровней яркости сопоставляемых изображений, для ее вычисления (шаг 5) используются КСП-изображения, на которых границы объектов имеют достаточно стабильный высокий уровень яркости. Функция взаимной корреляции определяется выражением:

$$c_{U_n, V}(x, y) = \sum_s \sum_t C_{U_n}(s, t) C_V(x + s, y + t), \quad (5)$$

где C_{U_n} и C_V - контурные препараты (КСП-изображения) ТИ-изображений U_n и V , x и y - пространственные координаты точек КСП-изображения C_V , s и t - координаты точек в области пересечения КСП-изображений C_{U_n} и C_V . Вычисление функции (5) осуществляется в частотной области.

На шаге 7 осуществляется вычисление значений взаимной информации на множестве пикселей, соответствующих пересечению эталонного ТИ-изображения U_n и анализируемого ТИ-изображения V при различных положениях U_n относительно V . Другим вариантом реализации шага 7 является вычисление взаимной информации между контурными препаратами C_{U_n} и C_V при различных положениях U_n относительно V . Другим вариантом реализации шага 7 является вычисление значения взаимной информации между анализируемым ТИ-изображением V и бинарным черно-белым шаблоном эталонного ТИ-изображения U_n при различных положениях U_n относительно V . Другие варианты реализации шага 7 могут включать сопоставление ТИ-изображений или соответствующих им контурных препаратов или бинарных черно-белых шаблонов посредством многослойных нейронных сетей и/или нечеткой логики и/или вероятностной логики, однако предпочтительным вариантом реализации является использование значения взаимной информации изображений, так как этот способ позволяет снизить вычислительные затраты на сопоставление изображений.

На шаге 8 вычисляется максимальное значение взаимной информации, вычисленной при различных положениях эталонного ТИ-изображения U_n относительно анализируемого ТИ-изображения V . На шаге 9 вычисляется максимальное значение взаимной информации, вычисленной для различных эталонов.

Патентуемый алгоритм (фиг. 1) не содержит никаких параметров, за исключением порога, используемого на шаге 10, и не требует обучения. Таким образом, этапы обработки и анализа изображений (ш. 1-9) не требуют настройки, а на этапе принятия решения (ш. 10) используется один параметр, требующий настройки.

Настройку порогового значения производят экспериментальным путем. Для этого привлекают добровольцев в верхней одежде, одетых по сезону. Под верхнюю одежду помещают образцы запрещенных предметов из списка, приведенного в данном описании. Получают ТИ-изображения добровольцев. Задается начальное пороговое значение 0,3. Далее значение порога корректируется (увеличивается или уменьшается) до достижения требуемого качества распознавания. Величина порогового значения не может выходить за пределы диапазона от 0 до 1. Уменьшение величины порогового значения увеличивает чувствительность детектирования предметов, однако при этом увеличивается доля ложноположительных результатов детектирования. Увеличение величины порогового значения уменьшает количество ложноположительных результатов детектирования, но может увеличить число ложноотрицательных результатов детектирования.

Для проверки патентуемых принципов обработки изображений использован

малогабаритный пассивный терагерцевый комплекс обнаружения скрытно проносимых запрещенных предметов THERZ-7A [RU 153772 U1, ООО «СИСТЕМАТИКА», 27.07.2015], предназначенный для пассивного сканирования в целях досмотра людей, в том числе полноростового.

5 На фиг. 2-7 проиллюстрированы этапы обнаружения и определения местонахождения (локализации) скрытых опасных предметов на ТИ-изображении. На фиг. 2 приведен пример анализируемого ТИ-изображения, полученного с помощью малогабаритного пассивного терагерцевого комплекса обнаружения скрытно проносимых запрещенных предметов THERZ-7A. На фигуре видно, что анализируемое изображение
10 характеризуется низким отношением сигнал/шум, невысоким разрешением, низкой контрастностью. На фиг. 3 приведено эталонное изображение предмета, а именно, бинарный черно-белый шаблон автомата АК. На фиг. 4 приведен контурный препарат анализируемого изображения (КСП-изображение). На фигуре видны контур 1 тела человека и контур 2 скрываемого предмета.

15 На фиг. 5 приведен контурный препарат эталонного изображения. На фигуре виден белый контур 3 на черном фоне 4, соответствующий форме бинарного шаблона на фиг. 3.

На фиг. 6 приведена визуализированная функция взаимной корреляции $c_{U_n, V}(x, y)$ контурных препаратов, приведенных на фиг. 4 и 5. На фигуре видны серые пятна и
20 полосы. Величина яркости каждой точки (x, y) на фигуре соответствует величине функции взаимной корреляции $c_{U_n, V}(x, y)$ контурных препаратов.

На фиг. 7 приведен результат локализации (поз. 5) предмета на анализируемом изображении, соответствующий максимуму взаимной информации $I(U_n; V)$. Рассчитанная
25 величина взаимной информации равна 0,307398. При заданной величине порога 0,25 скрываемый предмет будет обнаружен автоматически, без участия человека. Из сопоставления фиг. 6 и фиг. 7 видно, что максимум взаимной информации $I(U_n; V)$ соответствует одному из локальных максимумов функции взаимной корреляции контурных препаратов $c_{U_n, V}(x, y)$, но при этом не соответствует глобальному максимуму
30 функции взаимной корреляции контурных препаратов $c_{U_n, V}(x, y)$. Таким образом, использование взаимной информации позволяет более точно локализовать искомый предмет, по сравнению с функцией взаимной корреляции, а сравнение изображений с помощью функции взаимной корреляции, без проверки величины взаимной информации изображений, могло бы привести к ошибочной локализации.

35 На фигурах 8-9 приведены примеры результатов распознавания других скрытых предметов. На фиг. 8 представлены результаты сопоставления изображения пистолета ТТ (поз. 7), скрытого под одеждой, и его эталона (рассчитанная величина взаимной информации 0,404531) на фоне человека (поз. 6). На фиг. 9 представлены результаты сопоставления изображения скрытого пистолета Walther (поз. 9) и его эталона
40 (рассчитанная величина взаимной информации 0,342771) на фоне человека (поз. 8). При заданной величине порога 0,25 скрываемые предметы будут обнаружены автоматически, без участия человека.

Представленные данные свидетельствуют о возможности автоматического, без
45 участия человека, обнаружения опасных предметов, скрытых под одеждой людей в общественных местах, достигаемой за счет улучшения качества распознавания скрытых на теле человека предметов, а также сокращения вычислительных затрат за счет устранения этапа формирования признаков описаний изображений предметов, устранения этапа обучения алгоритма распознавания и уменьшения количества позиций

на анализируемом изображении, в которых вычисляется величина взаимной информации.

(57) Формула изобретения

1. Способ обнаружения скрытых предметов на теле человека, включающий регистрацию собственного теплового излучения (ТИ) человека в терагерцевом диапазоне электромагнитных волн с последующей цифровой обработкой анализируемого ТИ-изображения,

отличающийся тем, что

формируют набор эталонов, каждый из которых включает в себя: ТИ-изображение скрываемого опасного предмета; контурный препарат (КСП-изображение) этого ТИ-изображения; бинарный черно-белый шаблон этого ТИ-изображения; повернутые и зеркально отраженные варианты ТИ-изображения, КСП-изображения и бинарного шаблона ТИ-изображения,

а обнаружение скрытых предметов на анализируемых ТИ-изображениях проводят путем сравнения этих ТИ-изображений с эталонами, для чего

определяют точки локальных максимумов функции взаимной корреляции, вычисляют величину взаимной информации в упомянутых точках локальных максимумов функции взаимной корреляции, определяют максимальное значение взаимной информации среди вычисленных значений,

а факт наличия на изображении скрытого предмета устанавливают путем сравнения вычисленного максимального значения взаимной информации с заданным пороговым значением.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что цифровая обработка анализируемого ТИ-изображения включает, но не исчерпывается методами сглаживания изображения, медианной фильтрации и вычитания фона.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при сравнении анализируемых ТИ-изображений с эталонами используют ТИ-изображения, входящие в состав эталонов.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при сравнении анализируемых ТИ-изображений с эталонами используют КСП-изображения, входящие в состав эталонов.

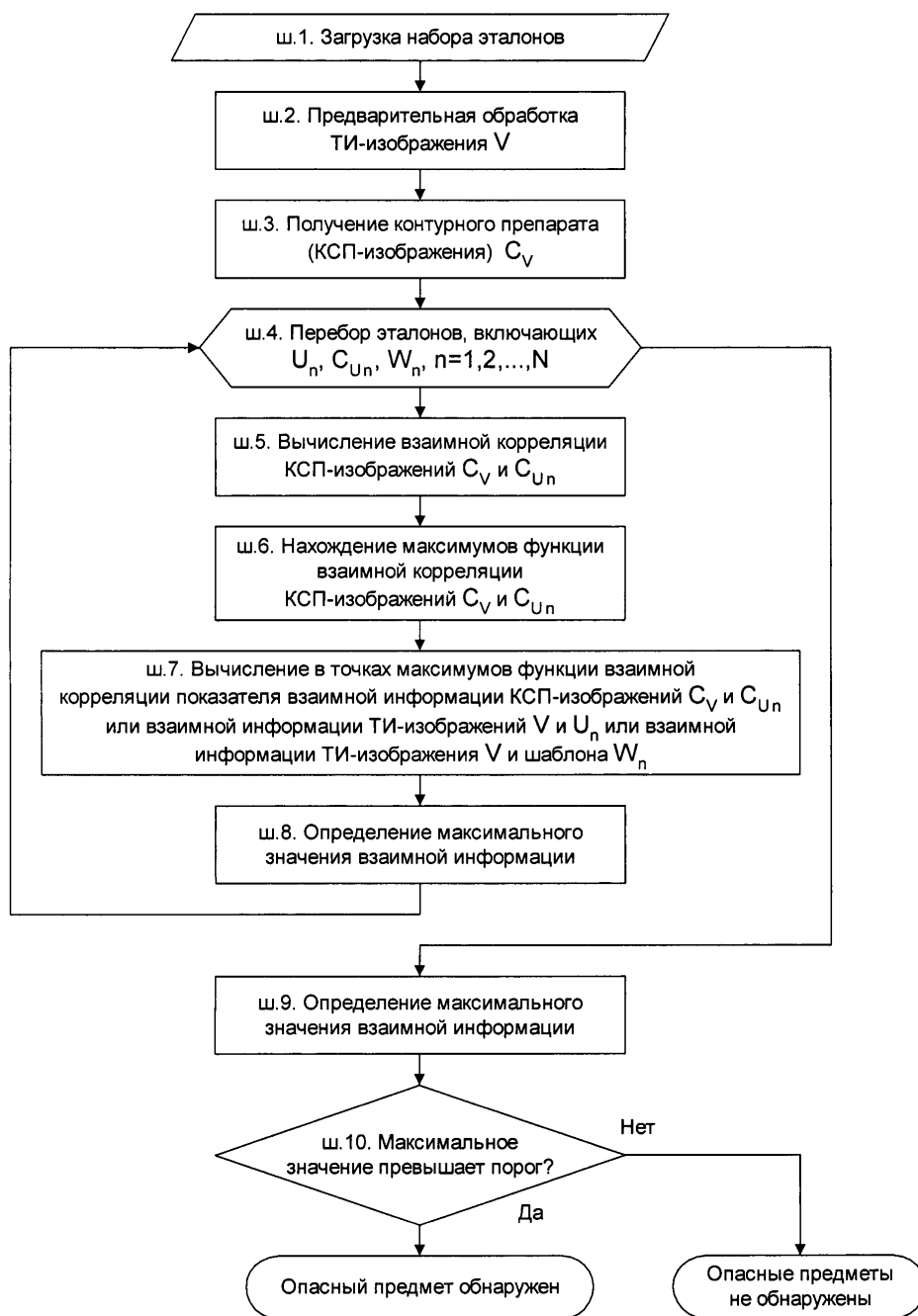
5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при сравнении анализируемых ТИ-изображений с эталонами используют бинарные шаблоны, входящие в состав эталонов.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что КСП-изображения формируют с использованием маски стохастических градиентов для отношения сигнал/шум $SNR=1$.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что обнаружение скрытых предметов на анализируемых ТИ-изображениях проводят путем сравнения анализируемых ТИ-изображений с эталонами, а также анализируемых КСП-изображений с КСП-изображениями эталонов с помощью многослойных нейронных сетей и/или математического аппарата нечеткой логики и/или математического аппарата вероятностной логики.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что вычисление повернутых и зеркально отраженных вариантов ТИ-изображений, бинарных шаблонов и КСП-изображений скрываемых предметов осуществляют на этапе загрузки набора эталонов.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что перечень скрываемых опасных предметов включает, но не исчерпывается следующими предметами: огнестрельное, газовое и холодное оружие, электрошокеры, муляжи оружия, боеприпасы, стеклянные бутылки, наручники, ножницы, штопоры, спицы, топоры, кусачки, консервные банки, ножи, максимальный размер которых много меньше роста человека.



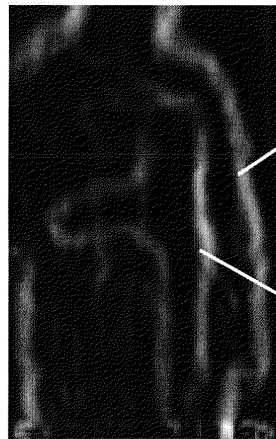
Фиг. 1



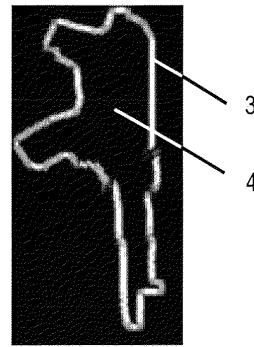
Фиг. 2



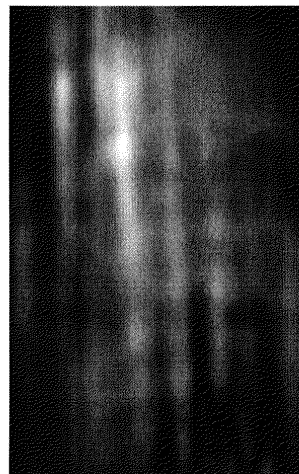
Фиг. 3



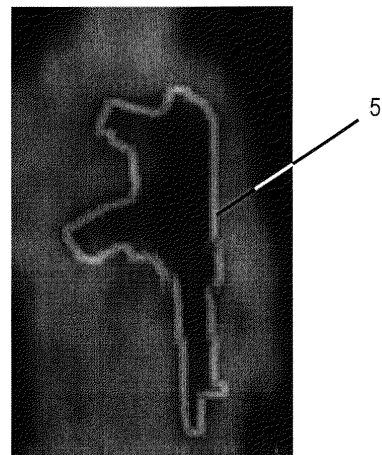
Фиг. 4



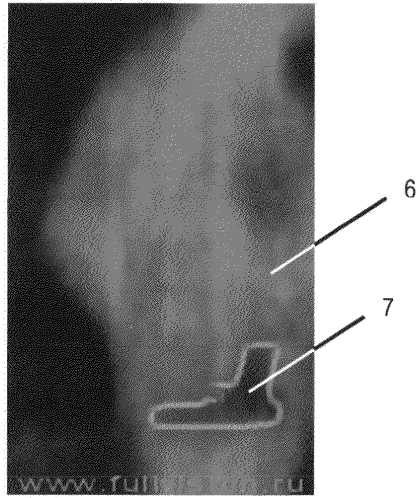
Фиг. 5



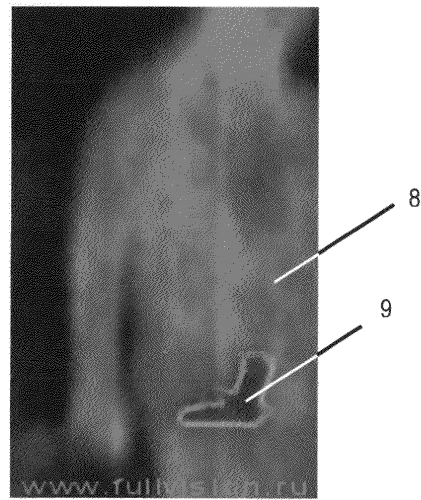
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9