

УДК 004.93

О.Е.Логачева, В.В.Костюченко
**ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ**

*Воронежский институт высоких технологий
Концерн радиостроения "Вега"*

В статье проводится анализ основных методологических особенностей, связанных с распознаванием лиц. Подобные подходы используются в системах обеспечения безопасности, охраны. Отмечены три основных шага, объединяющих разные подходы, направленные на распознавание лиц. Ключевыми составляющими процедуры распознавания являются: проведение детектирования лица, поиск ключевых точек лиц, представление лиц как векторов признаков. Указаны сложности выделения лиц на видеоданных. Проведен анализ перспектив применения алгоритмов Виолы-Джонса и Далала-Триггса. Отмечается, что модель деформируемых частей позволяет использовать сильные низкоуровневые признаки на основе гистограмм направленных градиентов, подобно алгоритму Далала-Триггса.

Ключевые слова: распознавание лиц, алгоритм, цифровая обработка изображений.

В настоящее время мы можем наблюдать увеличение интереса к вопросам, связанным с идентификацией личностей в видеопотоках, полученных при помощи камер охранного телевидения [1–5]. Системы, связанные с распознаванием лиц используются для задач, в которых стремятся к обеспечению безопасности по местам, где есть массовое скопление людей, для систем родительского контроля, для разработки интерфейсов, касающихся взаимодействия людей и роботизированной техники, людей и компьютерной техники, приложений, связанных с проведением автоматической сортировки фото- и видеоданных [4, 5].

Важная роль в действующих системах охранного телевидения принадлежит алгоритмам, основанным на цифровой обработке изображений и техническом зрении [6, 9–14]. Они дают возможности для осуществления контроля сотен и тысяч видеоканалов при режимах реального времени.

Среди ключевых направлений, связанных с дальнейшим развитием подобных систем можно указать решение задачи, связанной с автоматическим распознаванием объектов [4, 5]. Это требуется для того, чтобы проводить анализ и синтез систем, которые способны интеллектуальным образом проводить оценку внешней среды и проводить в ней соответствующие действия [15–17].

Задачи, направленные на детектирование лиц людей при условиях естественной или искусственной обстановке и проведением дальнейшей идентификации (распознавания) всегда находились в области достаточно приоритетных задач для тех, кто работал в областях, связанных с системами охранного телевидения. Несмотря на то, что работы в данных

направлениях уже идут в течение нескольких десятилетий, нельзя говорить о создании таких систем технического зрения, которые реально работают и способны проводить обнаружение и распознавание людей для любых условий [5].

Существуют близкие задачи и методы, которые используются при формировании альтернативных систем, связанных с биометрической идентификацией людей, например, проведение идентификации по отпечаткам пальцем или на основе изображения радужной оболочки глаз, но системы, направленные на то, чтобы проводить идентификацию по изображению лиц, на настоящий момент существенным образом уступают указанным системам [6].

Но при этом подобные системы имеют существенное преимущество, поскольку они могут проводить сбор и обработку информации по объектам наблюдения, при этом они от них не требуют осведомленность и активное участие в таких сборах данных. В качестве основных проблем, касающихся разработки систем распознавания лиц, можно отметить особенности характеристик освещенности и того, какое положение головы людей в пространстве (лица в общих случаях мы рассматриваем как 3D-объект).

Несмотря на большое многообразие разных алгоритмов и способов распознавания лиц, для большинства из них мы можем отметить три основных шага [7]:

- проведение преобразования исходного изображения в стандартное представление;
- проведение выделения ключевых характеристик (признаков);
- проведение классификации по существующей базе изображений лиц.

В существующих условиях в системах технического зрения для того, чтобы решать задачи, направленные на распознавание лиц, применяют разные подходы, которые базируются на вейвлетах Габора, использовании дискретного косинусного преобразования, процессах обнаружения ключевых точек лиц и вычислении расстояния между ними, проведении вычислений геометрических свойств лиц, использования метода главных компонент, применения линейного дискриминантного анализа, обнаружении локальных признаков и др. [5].

Для реальных систем охранного телевидения задачи, связанные с распознаванием объектов решают при условиях, когда есть искажения, которые связаны с помехами в радиотехнических устройствах и тем, что происходят сжатия двумерных сигналов [1, 2, 4]. В этой связи, для того, чтобы эффективным образом решить поставленные задачи необходимо использовать специализированные алгоритмы цифровой обработки изображений [18-21]. В их большом числе мы можем отметить

современные алгоритмы сжатия видеоданных, нелинейные алгоритмы, позволяющие фильтровать и восстанавливать изображения, использование вейвлет-обработки, системы, которые сформированы на основе нейронных сетей [6, 22, 23].

Для того, чтобы решать практические задачи распознавания лиц, весьма важными остаются вопросы, связанные с поиском алгоритмов, которые работают в условиях реального или близкого к реальному режимам времени и дающих возможности для проведения идентификации людей при условиях, когда существуют искажения и помехи на телевизионных изображениях.

В этой связи, проведение разработок и анализа алгоритмов распознавания лиц в системах охранного телевидения является актуальной научно-технической задачей.

Проведение распознавания лиц представляет собой комплексную процедуру, которая состоит из нескольких этапов, при этом каждый из них представляет отдельную область для исследований [4].

1. Проведение детектирования лица. Для такого этапа осуществляется проведение поиска лица на изображении, определяется его местоположение и размер. Алгоритм детектирования должен провести обнаружение всех лиц на изображении, при этом должно быть минимальное число ложных срабатываний для фоновых областей.
2. Проведение поиска ключевых точек лиц и осуществление нормировки лиц. Изображение лица выравнивают для того, чтобы проводить сравнение части одного лица и такой же частью другого лица (левые глаза сравнивают с левыми глазами, носы с носами и др.). Координаты ключевых точек дают возможности для того, чтобы сделать приведение детектированного лица к заданному нормальному виду на основе того, что происходят повороты, масштабирование и отсечение лишних частей изображений. Проведение поиска ключевых точек на лицах осуществляется на основе соответствующих алгоритмов, в рамках которых идет локализация. Ключевыми точками считаются центры глаз людей.
3. Представление лиц как векторов признаков. На изображения лиц влияют шумовые помехи и другие искажающие факторы (разные выражения лиц, позы людей, характеристики освещения, существование препятствий и т. д.). Различия по изображениям одних и тех же людей могут быть даже больше, чем различия между изображениями разных людей.

В этой связи очень важно сделать извлечение из изображений таких признаков, на основе которых мы были бы способны делать разделение объектов различных классов, при сближении объектов,

принадлежащих к одному классу, и при этом они были бы устойчивы по отношению к внешним изменениям.

4. Проведение сравнения обнаруженного лица и других лиц из баз данных.

Для того, чтобы определить, кому из данного множества людей принадлежит то лицо, которое было обнаружено и есть ли такой человек в базе, сформированный для предыдущего этапа вектор признаков сравниваются с векторами признаков лиц, которые хранятся в базах данных. Бывает, что проводят объединение этапов 3 и 4 в один этап, а алгоритмы, которые дают решение задач на таких этапах, называют алгоритмами распознавания [5].

Рассмотрим существующие алгоритмы, связанные с детектированием лиц, локализацией ключевых точек (центров глаз) и распознавания лиц.

Проведение корректного детектирования и выделения лица на кадре видеопоследовательности представляет собой основу, для того, чтобы затем решать задачи распознавания. Несмотря на то, что некоторыми авторами задачи решались для частных случаев, задачи обнаружения лиц для изображений, которые записаны в реальных ситуациях, т.е. для произвольных условий освещения и любых поворотах головы, являются весьма сложными для решения.

Проблему, связанную с детектированием и локализацией лиц на изображениях систем охранного телевидения, мы можем сформулировать таким образом: в указанном кадре видеопоследовательности провести определение наличия или отсутствия лиц людей и для положительного ответа определить границы прямоугольных рамок, которые целиком включают лица. Проведение выделения лиц на видеоданных связано со сложностями, исходя из таких факторов:

- изображение лиц меняется весьма значительно в зависимости от того, какие текущие эмоции, возраст, есть или отсутствует макияж и волосы на лицах, какие условия освещения, угол поворота к камере, есть ли перекрытия части лиц другими объектами;
- низкое разрешение в видеоизображении может привести тому, что будет большое количество ошибок как первого, так и второго рода;
- количество лиц на изображениях, во многих случаях не является известным;
- проведение детектирования лиц на видеопоследовательности необходимо проводить для реального времени, что определяет введение более жестких ограничений, если сравнивать с

методами выделения объектов, которые есть на неподвижных изображениях.

Среди активно используемых в настоящее время алгоритмов, связанных с детектированием лиц на сложном фоне в качестве классического считают алгоритм Виолы-Джонса [16], который стал в качестве стандарта во многих текущих исследованиях. К настоящему времени проведена разработка множества других способов, направленных на обнаружение лиц, среди них мы можем отметить алгоритмы на базе гистограмм направленных градиентов, моделей деформируемых компонентов, применения сверточных нейронных сетей, связанных с глубоким обучением и др.

Кратко отметим особенности таких алгоритмов. Виола и Джонс в своих трудах использовали признаки на базе вейвлетов Хаара [6]. Ими были введены два типа двух-прямоугольных, два типа трех-прямоугольных и один тип четырех-прямоугольных признаков.

Для того, чтобы определить двух-прямоугольный признак, требуется взять разность между суммой интенсивностей пикселей для темного прямоугольника и суммой интенсивностей пикселей для светлого прямоугольника. В трех-прямоугольном признаке сумму интенсивностей пикселей считают по двум светлым прямоугольникам. Потом из того значения, которое получилось, происходит вычитание суммы интенсивностей пикселей по одному темному прямоугольнику.

В четырех-прямоугольном признаке применяют сумму интенсивностей по двум светлым и двум темным прямоугольникам. Количество хааровских признаков, которое возможно, быстрым образом растет по мере увеличения размеров изображений. Даже для небольших изображений, имеющих размер 3×3 пикселя количество признаков можно считать как существенное (приходим к 12 двух-прямоугольным признакам, 6 трех-прямоугольным и 4 четырех-прямоугольным, что в итоге определяет 22 признака).

В изображении, имеющем размер 4×4 , число признаков будет уже 136.

Если мы рассматриваем изображение со стандартным размером 24×24 пикселя, которое применяется для того, чтобы обучать детектор лиц для большинства реализаций в алгоритме Виолы-Джонса, то тогда наборы признаков будут иметь уже 162336 значений.

Быстро вычислять хааровские признаки можно на основе того, что используется промежуточное представление исходных изображений, которое называют интегральным изображением [8].

Хотя любые из прямоугольных признаков, когда используются интегральные изображения, могут быть подсчитаны за определенное количество машинных операций, для того, чтобы найти определенный

объект (лицо человека) на изображениях необходимо в зависимости от того, какое разрешение, провести сканирование от нескольких тысяч до нескольких миллионов областей. Сделать вычисление в каждой из областей всех прямоугольных признаков для режима реального времени нет возможностей. Для того, чтобы решить эту проблему применяют алгоритм бустинга, чтобы проводился эффективный выбор по наиболее значимым признакам, которые позволяют определить различия среди «объектов» и «не объектов» [9].

Другой широко известный алгоритм детектирования представляет собой алгоритм Далала-Триггса, в котором сочетается применение гистограмм направленных градиентов (HOG, Histogram of Oriented Gradients) [10] и метод опорных векторов. Такой алгоритм изначально создавали для того, чтобы обнаруживать фигуры людей, но потом оказалось, что его можно использовать и в задачах, связанных с детектированием других объектов, например лиц [11].

Перед тем, как алгоритм начнет работу, требуется сделать формирование обучающей выборки из изображений «лиц» и «не лиц», имеющей разрешение, например, 64x64 пикселей и сделать вычисление HOG-признаков. Для каждого изображения в обучающем наборе происходит деление по ячейкам 8x8 пикселей. Когда формируются HOG-признаки, то вычисляют направления градиента функции интенсивности для областей изображений, предварительно разбитых по блокам [10]. На основе ячеек 8x8 при помощи метода бегущего окна происходит формирование пересекающихся блоков, имеющих размер 2x2 (т. е. 16x16 пикселей). Тогда в общем происходит разбиение для нашего примера изображения на $7 \times 7 = 49$ блоков (происходит наложение блоков друг на друга). Каждую ячейку представляют как вектор. Внутри ячейки по каждому из 64 пикселей происходит вычисление модуля и направления градиента. Тот модуль градиента в каждой из точек (пикселей), который найден, мы прибавляем к одной из координат в векторе. Для какой из координат происходит суммирование – зависит от того направления градиента, которое было определено.

В каждом из блоков на основе процедуры конкатенации по четырем векторам, которая соответствует четырем ячейкам в блоке, происходит формирование вектора с размерностью 36 и потом происходит нормировка. За счет соединения полученных из всех 49 блоков векторов в единый длинный вектор, который состоит в нашем случае из $49 \times 36 = 1764$ элементов, мы можем получить описание изображений на основе 1764 HOG-признаков. В результате, для каждого обучающего изображения ставится в соответствие точка в 1764-мерном пространстве признаков, и ей мы ставим в соответствие значения «лицо» (+1) или «не лицо» (-1).

Для второго этапа работы алгоритма на основе метода опорных векторов происходит построение разделяющей гиперплоскости между точками, принадлежащими к разным классам – она является решающей поверхностью, которая представляет собой классификатор для пространства HOG-признаков. Проведение поиска лиц на тестовом изображении на основе обученного классификатора происходит при помощи метода бегущего окна, который приводится на основе масштабирования к стандартным размерам (например, 64x64 пикселя), и вычисляются HOG-признаки, которые лежат внутри каждого из окон. В зависимости от того, какие вычисленные признаки классификатор принимает решение, является или нет область, которая покрывается при помощи окна детектора, изображением лиц. Для исходного алгоритма характерна довольно низкая производительность, в этой связи для него предлагались некоторые модификации, которые использовали каскадную структуру классификаторов.

Модель деформируемых частей (Deformable Parts Model, DPM) стали применять относительно недавно в качестве полезного и популярного инструмента для того, чтобы решать задачи, связанные с детектированием лиц [12]. Хорошие результаты по данному методу обусловлены тем, что применяются сильные низкоуровневые признаки на основе гистограмм направленных градиентов, подобно алгоритму Далала-Триггса, эффективные алгоритмы сравнения по моделям, основанным на деформируемых частях и проведением обучения с на основе применения скрытого метода опорных векторов (Latent SVM) [12].

Сущность метода заключается в том, что происходит замена задач поиска лиц на задачи поиска ключевых «частей», из которых такие лица состоят – нос, рот, глаза и т.д.

Происходит построение детекторов частей на базе HOG-признаков. Для детекторов частей не используют высокие требования по точности, для них может оказаться большое количество ложных реакций детектора. Для окрестностей тех точек на изображениях происходит реакция детектора определенной «части», происходит проверка детекторами других «частей». Например, для определенной точки произошла реакция детектор на рот, то область окрестности проверяется на основе детектора носа и подборка. Базируясь на том, какая геометрия и взаимное расположение обнаруженных «частей», обученным алгоритмом принимается решение: конкретные области на изображениях являются лицами, или нет. Алгоритмами, базирующимися на основе моделей частей может происходить детектирование лиц даже если происходит их частичное перекрытие или происходит выход за край изображения. В качестве примера реализации подобного метода можно привести алгоритм face-release1.0-basic [13]. Проведение детектирования лиц может

происходить на основе искусственных нейронных сетей. В качестве одной из широко применяемых в настоящее время моделей нейронных сетей можно назвать сверточную нейронную сеть [14].

На каждом сетевом уровне происходит уточнение подмножества отметок внутри областей, которые вычислены для предыдущих уровней. Для первого уровня лицо делят на две компоненты: внутренняя область и контур. На втором уровне происходит дополнение лицевых компонент внутренней части, для третьего и четвертого уровня происходит последующее уточнение точек. Обучение нейронных сетей ведется на основе метода стохастического градиентного спуска. С тем, чтобы предотвратить переобучение изображение случайным образом изменяют на основе небольших преобразований (процедура вращения, перемещения, масштабирования) перед тем, как подать его на нейронную сеть.

Вывод. В работе рассмотрены основные методологические особенности распознавания человеческих лиц. В качестве перспективного подхода предлагается использовать модель деформируемых частей, в которой применяются сильные низкоуровневые признаки на основе гистограмм направленных градиентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кругль Г. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV. / Г.Кругль// М.: Секьюрити Фокус, 2010. - 640 с.
2. Дамьяновски В. CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии. / В.Дамьяновски //М.: Ай-Эс-Эс Пресс, 2006. - 480 с.
3. Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса "Безопасный город" // Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3.12.2014 № 2446-р.
4. Ко Т. A Survey on behavior analysis in video surveillance for homeland security application / Т.Ко // 37th IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop. AIPR, 2008. P. 1-8.
5. Zhao W. Face recognition: A literature survey / W.Zhao, R.Chellappa, P.Phillips, A.Rosenfeld // ACM Computing Surveys (CSUR). 2003. V. 35, № 4. P. 399-458.
6. Brey P. Ethical Aspects of Face Recognition Systems in Public Places / P. Brey // Journal of Information, Communication & Ethics in Society. 2004. a. P.97-109.
7. Брилюк Д.В. Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами. / Д.В.Брилюк, В.В.Старовойтов // Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2002. - 54 с.

8. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P.Viola, M.Jones // Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2001. № 1. P. 511-518.
9. Freund Y. Experiments with a new boosting algorithm / Y.Freund, R.E.Schapire // Machine Learning: Proc. of the 13th International Conference. 1996. P. 148-156.
10. Dalal N. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N.Dalal, B.Triggs // Proc. of the IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition. 2005. P. 886-893.
11. Cerna L.R. Face Detection: Histogram of Oriented Gradients and Bag of Feature Method / L.R.Cerna, G.Camara-Chaves, D.Menotti // Proc. of the International Conference on Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition (IPCV). 2013. 5 p.
12. Felzenszwalb P. A Discriminatively Trained, Multiscale, Deformable Part Model / P.Felzenszwalb, D.McAllester, D.Ramanan // Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008. P. 1-8.
13. Zhu X. Face detection, pose estimation and landmark localization in the wild / X.Zhu, D. Ramanan // Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012. 8 p.
14. LeCun Y. Gradient-based learning applied to document recognition / Y.LeCun, L.Bottou, Y.Bengio, P.Haffner // Proc. of the IEEE. 1998. V. 86, no. 11. P. 2278-2324.
15. Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / П.В.Пеньков // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.
16. Головинов С.О. Цифровая обработка сигналов / С.О.Головинов, С.Г.Миронченко, Е.В.Щепилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 4. С. 064-065.
17. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.
18. Преображенский А.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А.П.Преображенский, Ю.П.Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
19. Преображенский А.П. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений / А.П.Преображенский,

- О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2004. Т. 17. № 5. С. 85-87.
20. Косилов А.Т. Восстановление радиолокационных изображений объектов с использованием методов радиоголографии / А.Т.Косилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 79-81.
 21. Чутченко Ю.Е. Исследование возможности улучшения качества изображения / Ю.Е.Чутченко, А.П.Преображенский // Территория науки. 2007. № 3. С. 364-369.
 22. Даница А.И. Модели каналов передачи данных / А.И.Даница, В.Н.Кострова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2(17). С. 86-90.
 23. Максимова А.А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А.А.Максимова, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1(16). С. 53-56.

О.Е.Logacheva, V.V.Kostyuchenko
**THE MAIN METHODOLOGICAL FEATURES OF FACE
RECOGNITION**

*Voronezh Institute of High Technologies
Radio engineering Corporation "VEGA"*

The paper analyzes the main methodological features associated with recognition. The similar approaches are used in systems of security, protection. There have been three basic steps, combining different approaches to face detection. The key components of the procedures of recognition are: implementation of face detection, the keypoints individuals, view individuals as vectors of features. Provided the complexity of the allocation of persons in video data. The analysis of perspectives of application of algorithms of Viola-Jones and Dalal-Triggs. It is noted that the model of the deformable parts allows the use of a strong low-level characteristics based on histograms of oriented gradients, like the algorithm Dalal-Triggs.

Keywords: face recognition, algorithm, digital image processing.

REFERENCES

1. Krugl' G. Professional'noe videonablyudenie. Praktika i tekhnologii analogovogo i tsifrovogo CCTV. / G.Krugl'// М.: Sek'yuriti Fokus, 2010. - 640 p.
2. Dam'yanovski V. CCTV. Bibliya videonablyudeniya. Tsifrovye i setevye tekhnologii. / V.Dam'yanovski //М.: Ay-Es-Es Press, 2006. - 480 p.

3. Kontsepsiya postroeniya i razvitiya apparatno-programmnogo kompleksa "Bezopasnyy gorod" // Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 3.12.2014 No. 2446-r.
4. Ko T. A Survey on behavior analysis in video surveillance for homeland security application / T.Ko // 37th IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop. AIPR, 2008. pp. 1-8.
6. Zhao W. Face recognition: A literature survey / W.Zhao, R.Chellappa, P.Phillips, A.Rosenfeld // ACM Computing Surveys (CSUR). 2003. Vol. 35, No. 4. pp. 399-458.
7. Brey P. Ethical Aspects of Face Recognition Systems in Public Places / P. Brey // Journal of Information, Communication & Ethics in Society. 2004. pp. 97-109.
8. Brilyuk D.V. Raspoznavanie cheloveka po izobrazheniyu litsa neyrosetevymi metodami. / D.V.Brilyuk, V.V.Starovoytov // Minsk: In-t tekhn. kibernetiki NAN Belarusi, 2002. - 54 p.
9. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P.Viola, M.Jones // Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2001. No. 1. pp. 511-518.
10. Freund Y. Experiments with a new boosting algorithm / Y.Freund, R.E.Schapire // Machine Learning: Proc. of the 13th International Conference. 1996. pp. 148-156.
11. Dalal N. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N.Dalal, B.Triggs // Proc. of the IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition. 2005. pp. 886-893.
12. Cerna L.R. Face Detection: Histogram of Oriented Gradients and Bag of Feature Method / L.R.Cerna, G.Camara-Chaves, D.Menotti // Proc. of the International Conference on Image Processing, Computer Vision & Pattern Recognition (IPCV). 2013. 5 p.
13. Felzenszwalb P. A Discriminatively Trained, Multiscale, Deformable Part Model / P.Felzenszwalb, D.McAllester, D.Ramanan // Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2008. pp. 1-8.
14. Zhu X. Face detection, pose estimation and landmark localization in the wild / X.Zhu, D. Ramanan // Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012. 8 p.
15. LeCun Y. Gradient-based learning applied to document recognition / Y.LeCun, L.Bottou, Y.Bengio, P.Haffner // Proc. of the IEEE. 1998. V. 86, No. 11. pp. 2278-2324.
16. Pen'kov P.V. Ekspertnye metody uluchsheniya sistem upravleniya / P.V.Pen'kov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 108-110.

17. Golovinov S.O. Tsifrovaya obrabotka signalov / S.O.Golovinov, S.G.Mironchenko, E.V.Shchepilov, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2009. No. 4. pp. 064-065.
18. Preobrazhenskiy A.P. Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya formy ob"ekta v okrestnosti vosstanovleniya lokal'nykh otrazhateley na poverkhnosti ob"ektov po ikh diagrammam obratnogo rasseyaniya / A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2003. No. 4. pp. 29-32.
19. Preobrazhenskiy A.P. Approksimatsiya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln elementov, vkhodyashchikh v sostav ob"ektov slozhnoy formy / A.P.Preobrazhenskiy, Yu.P.Khukhryanskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 15-16.
20. Preobrazhenskiy A.P. Algoritmy prognozirovaniya radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov pri vosstanovlenii radiolokatsionnykh izobrazheniy / A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2004. Vol. 17. No. 5. pp. 85-87.
21. Kosilov A.T. Vosstanovlenie radiolokatsionnykh izobrazheniy ob"ektov s ispol'zovaniem metodov radiogolografii / A.T.Kosilov, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 79-81.
22. Chutchenko Yu.E. Issledovanie vozmozhnosti uluchsheniya kachestva izobrazheniya / Yu.E.Chutchenko, A.P.Preobrazhenskiy // Territoriya nauki. 2007. No. 3. pp. 364-369.
23. Danitsa A.I. Modeli kanalov peredachi dannykh / A.I.Danitsa, V.N.Kostrova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2(17). pp. 86-90.
24. Maksimova A.A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A.A.Maksimova, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1(16). pp. 53-56.