

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.75

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-1

Кузнецов Д.А.
Дамм В.А.
Кузнецов А.В.
Трегубов Р.Б.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru

Аннотация

При эксплуатации объектов информатизации необходимым условием их функционирования является наличие подсистемы аутентификации. Применение многомодальных систем аутентификации на объектах информатизации сопровождается использованием методов распознавания лиц на изображении. Многообразие существующих на сегодняшний день методов распознавания лиц на изображении диктует необходимость выбрать наиболее эффективный с точки зрения точности метод распознавания лица. Наиболее популярными алгоритмами распознавания лиц являются метод гибкого сравнения на графах, метод главных компонент, метод Виолы-Джонса, метод опорных векторов, метод формирования штрих-кодов по изображению лица. На процедуру распознавания лиц оказывает влияние ряд факторов, таких как динамика лиц, изменение яркости, наличие шумов и поворот лица, а также старение лиц. Эти факторы обусловлены невозможностью обеспечить стабильные условия съемки. Поэтому необходимо провести сравнение указанных методов распознавания лиц с учетом их способности эффективно выполнять свою задачу в этих условиях.

Ключевые слова: интеллектуальное пространство; зал; обнаружение лица; аутентификация; распознавание лиц; распознавание; контроль доступа.

UDC 004.75

Kuznetsov D.A.
Damm V.A.
Kuznetsov A.V.
Tregubov R.B.

COMPARATIVE ANALYSIS OF POPULAR FACIAL RECOGNITION TECHNIQUES IN THE IMAGES

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru

Abstract

In the operation of informatization objects, the necessary condition for their functioning is the presence of an authentication subsystem. The application of multimodal authentication systems on informatization objects is accompanied by the use of facial recognition methods on the image. The variety of current facial recognition techniques in an image requires the selection of the most accurate facial recognition technique. The most popular facial recognition algorithms are the flexible comparison method on graphs, the principal component method, the Viola-Jones method, the reference vector method, and the face image barcode method. Facial recognition is influenced by a number of factors, such as facial dynamics, brightness change, noise and facial rotation, and facial ageing. These factors are due to the inability to ensure stable shooting conditions.

Therefore, it is necessary to compare these facial recognition methods in view of their ability to perform their task effectively under these conditions.

Keywords: intellectual space; room; detection of the person; authentication; face recognition; recognition; access control.

ВВЕДЕНИЕ

Реализация подсистемы аутентификации на объектах информатизации подразумевает применение методов многомодальной аутентификации [1], необходимой составляющей которых является метод распознавания лица на изображении [2]. Многообразие методов распознавания лиц обуславливает необходимость выбора наиболее эффективного из них с точки зрения достоверности процедуры аутентификации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проведенные исследования существующих алгоритмов распознавания лиц [3] показали, что, не смотря на их многообразие, существует общая структура процесса распознавания лиц [4] (рисунок).



Рис. Структура процесса распознавания лица
Fig. The structure of the face recognition process

На первом этапе производится детектирование и локализация лица на изображении. На этапе распознавания производится геометрическое и яркостное выравнивание изображения лица, вычисление признаков и непосредственно распознавание – сравнение вычисленных признаков с заложенными в базу данных эталонами. Основным отличием всех алгоритмов является именно вычисление признаков, в то время как алгоритмы обнаружения и сравнения эталонов могут быть одинаковыми.

Наиболее популярными алгоритмами распознавания лиц сегодня являются следующие: метод гибкого сравнения на графах, метод главных компонент, метод Виолы-Джонса, метод опорных векторов, метод формирования штрих-кодов по изображению лица.

Суть метода гибкого сравнения на графах [5] заключается в представлении лиц в виде графов со взвешенными вершинами и ребрами. На этапе распознавания один из графов является эталонным и остается неизменным, другой же деформируется с целью наилучшей подгонки к первому. Для вычисления значений признаков в некоторой локальной области вершины графа путем свертки значений яркости пикселей используются фильтры Габора. Ребра графа взвешиваются расстояниями между смежными вершинами. Различие между двумя графами вычисляется при помощи некоторой ценовой функции деформации, учитывающей различие между значениями признаков, вычисленными в вершинах, так и степень деформации ребер графа. Деформация графа происходит путем смещения каждой из его вершин на некоторое расстояние в определенных направлениях относительно ее исходного местоположения и выбора такой ее позиции, при которой разница между значениями признаков (откликов фильтров Габора) в вершине деформируемого графа и соответствующей ей вершине эталонного графа будет

минимальной. Данная операция выполняется поочередно для всех вершин графа до тех пор, пока не будет достигнуто наименьшее суммарное различие между признаками деформируемого и эталонного графов. Значение ценовой функции деформации при таком положении деформируемого графа и будет являться мерой различия между входным изображением лица и эталонным графом. Данная «релаксационная» процедура деформации должна выполняться для всех эталонных лиц, заложенных в базу данных системы. Результат распознавания системы – эталон с наилучшим значением ценовой функции деформации. Недостатками метода являются высокая вычислительная сложность процедуры распознавания, а также линейная зависимость времени работы от размера базы данных лиц.

Главная идея метода главных компонент [6] состоит в представлении изображений лиц в виде набора главных компонент изображений, называемых собственными лицами. Собственные лица имеют свойство, заключающееся в соответствии векторов лицеподобным формам. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы, которая рассчитывается из изображений. Сумма главных компонент, умноженных на соответствующие собственные вектора, является реконструкцией изображения. Для каждого изображений лица вычисляются от 5 до 200 главных компонент. Процесс распознавания заключается в сравнении главных компонент неизвестного изображения с компонентами всех известных изображений. При этом изображения, соответствующие одному человеку, сгруппированы в кластеры. Из базы данных выбираются изображения-кандидаты, имеющие наименьшее расстояние от входного изображения.

Алгоритм Виолы-Джонса [7] использует метод скользящего окна. Рамка с размером, меньшим, чем исходное изображение, двигается с некоторым шагом по изображению, и с помощью каскада слабых классификаторов определяет, есть ли в рассматриваемом окне лицо. В качестве признаков для алгоритма распознавания используются вейвлеты Хаара. Перед распознаванием необходимо обучить алгоритм на тестовой выборке. После обучения имеется обученная база знаний из слабых классификаторов. Для каждого классификатора известны: признак Хаара, использующийся в этом классификаторе, его положение внутри окна размером 24×24 пикселя и значение порога. При распознавании алгоритм сканирует изображение на нескольких масштабах скользящего окна, начиная с базовой шкалы: размер окна 24×24 пикселя и 11 масштабов, при этом каждый следующий уровень в 1.25 раза больше предыдущего. После этого классификатор выносит решение о том, присутствует ли в рассматриваемом окне искомый шаблон или нет. Необходимо учитывать тот факт, что обучение алгоритма занимает длительное время и требует большое количество тестовых изображений.

Применение метода опорных векторов [8, 22] к задаче обнаружения лица заключается в поиске гиперплоскости в признаковом пространстве, отделяющий класс изображений лиц от изображений «не-лиц». Возможность линейного разделения столь сложных классов, как изображения лиц и «не-лиц» представляется маловероятной. Однако, классификация с помощью опорных векторов позволяет использовать аппарат ядерных функций для неявного проецирования векторов-признаков в пространство потенциально намного более высокой размерности (еще выше, чем пространство изображений), в котором классы могут оказаться линейно разделимы. Неявное проецирование с помощью ядерных функций не приводит к усложнению вычислений, что позволяет успешно использовать линейный классификатор для линейно неразделимых классов. Метод опорных векторов является мощным классификатором, применяемым на этапе распознавания лиц, при этом обучение алгоритма может происходить любым из существующих методов обнаружения лица на изображении.

Идея метода формирования штрих-кодов [9] по изображению лица состоит в использовании информации о человеческом лице, содержащейся в горизонтальных линиях, таких как линия бровей, глаз и губ. Эту информацию можно представить в виде набора черных и белых линий, т.е. в виде некоторого бинарного кода, который называют «биологическим штрих-кодом». Показано, что с помощью такого кода может производиться идентификация людей. Исходное изображение, представленное в шкале GRAY, имеет размер $M \times N$, и задачей является

представление этого изображения в форме стандартного штрих-кода EAN-8. Первоначальная экстракция признаков из исходного изображения основана на процедуре вычисления разностных градиентов яркости двух зеркально расположенных окон высотой $H \geq 1$ пикселей и длиной, равной ширине исходного изображения. Окон синхронно скользят по изображению лица с шагом $S \geq 1$. На каждом шаге скольжения вычисляются расстояния (например, в евклидовой метрике) между соответствующими областями изображений, «накрываемых окнами». Скольжение окон производится в области интереса, определяемой $\frac{3}{4}$ области лица. При этом скольжение окон начинается практически на границе «волосы/лоб», а заканчивается на нижней границе области носа или под ним. Разностные градиенты в окнах, преобразованные в расстояния, подчеркивают перепады значений яркости на границе волосы/лоб, границах линии бровей, линии глаз и линии нос/губы – т.е. именно по линиям «биологического кода лица». Вычисленные значения расстояний представляют, таким образом, интегральную характеристику наименее изменяемой части лица в условиях заметной динамики параметров изображений с лицами. В исходном положении два окна U и D , состоящие из H строк каждое, расположены зеркально относительно оси X . Всего выполняется $T = L \times A$ шагов скольжения, причем L – длина кода, а A – интервал усреднения, определяемый числом признаков, по которым производится их усреднение. После этого определяется расстояние между окнами в евклидовой метрике. Полученный результат представляется в виде плавной кривой. Далее результат поступает на вход кодера признаков, где осуществляется его нормирование. Полученные значения усредняются на временном интервале A и квантуются в диапазоне десятичных цифр от 0 до 9 с помощью масштабного множителя. Таким образом достигается представление вектора расстояний в форме десятичного кода заданной длины. Полученные значения поступают на вход блока генератора штрих-кода, где формируется окончательный штрих-код, состоящий из 8 цифр. Здесь используется стандартный алгоритм EAN-8.

Приведенные методы распознавания лиц на изображениях показывают примерно одинаковые показатели точности распознавания в нормальных условиях (захват портрета в анфас при нейтральном выражении лица с требуемым уровнем освещенности и отсутствии шумов), как правило, заданных разработчиками для обеспечения стабильности съемки. Однако в реальных системах аутентификации достаточно сложно выполнить эти требования. Поэтому сравнение методов распознавания будем проводить в условиях влияния динамики лиц, изменения яркости, наличия шумов и поворотов лица, а также старения лиц. Проведенный анализ эффективности рассматриваемых алгоритмов распознавания представлен в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эффективности алгоритмов распознавания лиц в различных условиях работы

Table 1

Results of effectiveness of facial recognition algorithms in different working conditions

Алгоритм \ Условия	Метод формирования штрих-кодов [9]	Метод гибкого сравнения на графах	Метод главных компонент	Метод Виолы-Джонса	Метод опорных векторов
Динамика лиц	100%	90% [12]	75% [13]	98% [10]	97% [15]
Изменение яркости 20%/40%	82%/50%	53%/- [20]	50% [16]	72%/70% [18]	55%/39% [18]
Наличие шумов и поворот лица в плоскости XY	78%	81% [11]	86% [17]	94% [19]	80% [14]
Старение лиц	100%	-	50% [21]	-	-

Представленные результаты исследований показывают, что метод формирования штрих-кодов обладает лучшими показателями по сравнению с другими алгоритмами по критериям

динамики лиц, изменению яркости и старению лиц. По критерию наличия шумов и поворота лица в плоскости XY данный алгоритм немного уступает оппонентам. Необходимо отметить, что исследования по влиянию старения лиц на точность распознавания лиц проводились лишь для двух методов из представленных, при этом для метода формирования штрих-кодов моделировалось изменение возраста от 20 до 60 лет. Высокая эффективность распознавания по данному критерию обеспечивает отсутствие необходимости в периодическом обновлении базы данных пользователей, что для ряда представленных алгоритмов приводит к необходимости переобучения классификаторов. Такая процедура в зависимости от мощности аппаратного обеспечения и количества пользователей может занимать от 1 часа до суток, что повлияет на непрерывность аутентификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ популярных методов распознавания лиц показал, что на эффективность распознавания данных алгоритмов существенное влияние оказывают следующие факторы: динамика лиц, изменение яркости, наличие шумов и поворот лица, старение лиц. Необходимость учета этих факторов обусловлена невозможностью обеспечить идеальные условия съемки. Сравнение рассматриваемых алгоритмов по эффективности распознавания в условиях воздействия указанных факторов выявило существенное превосходство метода формирования штрих-кодов над другими алгоритмами распознавания. В частности, существенным является тот факт, что данный метод показывает 100% эффективность при моделировании старения лиц. Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод, что в подсистеме многомодальной аутентификации на объектах информатизации необходимо применять метод распознавания лиц по штрих-кодам.

Список литературы

1. Кузнецов Д.А. Применение многомодальной аутентификации на объектах критической информационной инфраструктуры / Кузнецов Д.А., Дамм В.А., Кузнецов А.В., Басов О.О. // Научный результат. Информационные технологии. 2019. Том 4. Вып. 3. С. 48-55.
2. Никитин В.В. Модель и методика многомодальной аутентификации пользователя автоматизированной системы: Автореф... дис. канд. техн. наук. – Воронеж 2018. – 18 с.
3. Кузнецов Д.А. Классификация методов обнаружения и распознавания лица на изображении / Кузнецов Д.А., Никольский П.Г., Рачков Д.С., Кузнецов А.В., Хахамов А.П. // Научный результат. Информационные технологии. Т.4, №1, 2019.
4. Кахит Г. Разработка системы распознавания лиц / Кахит Г. Абдулкадир Е. [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/262875649_Design_of_a_Face_Recognition_System (дата обращения: 5.12.2019).
5. Васильева Е.В. Анализ современных подходов к узнаванию и распознаванию лиц // Васильева Е.В., Шестаков М.И., Лихачевский Д.В. // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. 2018.
6. Померанцев А. Метод главных компонент / Померанцев А. // Российское хемометрическое общество. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca> (дата обращения: 5.12.2019).
7. Усилин С.А. Алгоритмическое развитие Виола-Джонсовских детекторов для решения прикладных задач распознавания изображений: Автореф... дис. канд. техн. наук. – Москва 2017. – 149 с.
8. Амосов О.С. Модифицированный алгоритм детекции лиц в видеопотоке и его программная реализация / Амосов О.С., Иванов Ю.С. // Науковедение. 2014. Вып. 3. С. 26.
9. Кухарев Г.А. Формирование штрих-кода по изображениям лиц на основе градиентов яркости / Кухарев Г.А., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. // Научно-технических вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Вып. 3. С. 91.
10. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг., Спицин В.Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицин В.Г. // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320 № 5.

11. Лоренс В. Распознавание лиц с помощью метода гибкого сравнения на графах / Лоренс В., Джин-Марк Ф., Норберт К., Кристоф М. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/319877813_Face_Recognition_by_Elastic_Bunch_Graph_Matching (дата обращения 5.12.2019).
12. Левчук С.А. Исследование характеристик алгоритмов распознавания лиц / Левчук С.А., Якименко А.А. // Сборник научных трудов НГТУ. 2018. № 3-4. С. 40-58.
13. Синх А. Распознавание лиц с помощью метода главных компонент и характерных точек лица / Синх А., Кумар С. // Информатика и инженерия. Национальный технологический институт Роуркела. 2012.
14. Хейсел Б. Распознавание лиц с помощью метода опорных векторов: глобальный подход против основанного на компонентах / Хейсел Б., Пурди Х., Томасо П. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/2853265_Face_Recognition_with_Support_Vector_Machines_Global_versus_Component-based_Approach (дата обращения 5.12.2019).
15. Омар Ф. Распознавание лиц с помощью PCA и SVM / Омар Ф., Хасан А. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/224599198_Face_recognition_using_PCA_and_SVM (дата обращения 5.12.2019).
16. Гончаров А.В. Влияние освещенности на качество распознавания фронтальных лиц / Гончаров А.В., Каркищенко А.Н. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008.
17. Мокеев А.В. Об эффективности распознавании лиц с помощью линейного дискриминантного анализа и метода главных компонент / Мокеев А.В. Мокеев В.В. // Бизнес-информатика. 2015. № 3(33). С. 44-54.
18. Шмаглит Л.А. Разработка и анализ алгоритмов распознавания лиц на телевизионных изображениях для биометрической идентификации / Шмаглит Л.А. // Автореферат дис. кан. тех. наук. Ярославль. 2014. С. 119.
19. Спицын В.Г. Распознавание лиц на основе метода главных компонент с применением вейвлет-дескрипторов Хаара и Добеши / Спицын В.Г., Болотова Ю.А., Шабалдина Н.В., Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». 2016. № 5. С. 103-112.
20. Peter N. Eigenfaces vs. Fisherfaces Recognition Using Class Specific Linear Projection / Peter N., Joao P., David J. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 19, no. 7. 1997.
21. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц // [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/>
22. Татаренков Д. А. Анализ методов обнаружения лиц на изображении // Молодой ученый. – 2015. – №4. – С. 270-276.

References

1. Kuznetsov D.A. Application of multimodal authentication at critical information infrastructure facilities / Kuznetsov D.A., Damm V.A., Kuznetsov A.V., Basov O.O. // Scientific result. Information technology. 2019. Volume 4. Issue. 3. – P. 48-55.
2. Nikitin V.V. Model and methodology of multimodal authentication of automated system user: Autoref... yew. edging. tech. Sciences. – Voronezh 2018. – 18 p.
3. Kuznetsov D.A. Classification of methods of detection and facial recognition on the image / Kuznetsov D.A., Nikolsky P.G., Rachkov D.S., Kuznetsov A.V., Khakhamov A.P. // Scientific result. Information technology. Т.4, No. 1, 2019.
4. Kakhit G. Development of facial recognition system / Kakhit G. Abdulkadir E. [Electronic resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/262875649_Design_of_a_Face_Recognition_System (data accessed 5.12.2019).
5. Vasilyeva E.V. Analysis of modern approaches to recognition and recognition of faces // Vasilyeva E.V., Shestakov M.I., Likhachevsky D.V. // 54th scientific conference of postgraduate students, masters and students of BGUIR. 2018.
6. Pomerantsev A. Method of main components / Pomerantsev A. // Russian Chemometric Society. [Electronic resource]. – Access mode: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca> (data accessed 5.12.2019).
7. Energin S.A. Algorithms mic development of Viola-Jones detectors for solving applied problems of image recognition: Autoref... yew. edging. tech. Sciences. – Moscow 2017. – 149 p.

8. Amov O.S. Modified algorithm of detection of faces in video stream and its software implementation / Amov O.S., Ivanov Y.S. // Science. 2014. Issue. 3. – 26 P.
9. Kukharev G.A. Formation of barcode on images of faces on the basis of brightness gradients / Kukharev G.A., Matveev Yu.N., Schegoleva N.L. // Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. 2014. Issue. 3. – 91 P.
10. Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang., Spitsin V.G. Facial recognition based on application of Viola-Jones method, weavet transformation and main component method / Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang., Spitsin V.G. // News University of Tomsky Tech. 2012. T. The 320th No. 5.
11. Lawrence B. Facial recognition using the flexible comparison method on the graphs / Lawrence B., Gene-Mark F., Norbert K., Christophe M. // [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/319877813_Face_Recognition_by_Elastic_Bunch_Graph_Matching (data accessed 5.12.2019).
12. Levchuk S.A. Study of characteristics of facial recognition algorithms / Levchuk S.A., Yakimenko A.A. // Collection of scientific works of NGTU. 2018. № 3-4. – P. 40-58.
13. Sinh A. Facial Recognition Using the Method of Principal Components and Characteristic Facial Points / Sinh A., Kumar S. // Informatics and Engineering. Rourkel National Institute of Technology. 2012. Burakov M.V. Neural networks and Neurocontrollers / Beets M. B. // Manual. SPb.: GUAP. 2013. – 284 P.
14. Heisel B. Facial Recognition Using Reference Vector Method: A Global Approach Against Component-Based / Heisel B., Purdy H., Tomaso P. // [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/2853265_Face_Recognition_with_Support_Vector_Machines_Global_vsus_Component-based_Approach (data accessed 5.12.2019).
15. Omar F. Facial Recognition with PCA and SVM / Omar F., Hassan A. [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/224599198_Face_recognition_using_PCA_and_SVM (data accessed 5.12.2019).
16. Goncharov A.V. Influence of illumination on the quality of recognition of frontal faces / Goncharov A.V., Karkishchenko A.N. // Izvestia YUFU. Technical sciences. 2008.
17. Mokeev A.V. On Effectiveness of Facial Recognition Using Linear Discriminant Analysis and Method of Main Components / A.V. Mokeev V.V. // Business informatics. 2015. № 3(33). – P. 44-54.
18. Shmaglit L.A. Development and analysis of facial recognition algorithms on television images for biometric identification. / Shmaglit L.A. // Autoreferat dis. Caen. those. sciences. Yaroslavl. 2014. – 119 P.
19. Spitsin V.G. Facial Recognition Based on the Method of Principal Components Using the Wawlet Descriptor Haar and Dobeshi. / Spitsin V.G., Bolotov Yu.A., Shabaldina N.V., Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang // National Nuclear Research University "M." 2016. № 5. – P. 103-112.
20. Peter N. Eigenfaces vs. Fisherfaces Recognition Using Class Specific Linear Projection. / Peter N., Joao P., David J. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 19, no. 7. 1997.
21. Analysis of existing approaches to facial recognition // [Electronic resource] URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/>
22. Tatarenkov D. A. Analysis of methods of detecting faces on the image // Young scientist. – 2015. – № 4. – P. 270-276.

Кузнецов Денис Андреевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Дамм Виктор Александрович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Трегубов Роман Борисович, доктор технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Kuznetsov Denis Andreevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Damm Victor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Tregubov Roman Borisovich, doctor of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation