

На правах рукописи



Со Хтайк

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРО-  
МЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами  
(промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» на кафедре «Промышленная электроника»

Научный руководитель: **Иванов Юрий Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Официальные оппоненты: **Шидловский Станислав Викторович**, доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности декана факультета инновационных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

**Шоберг Анатолий Германович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск

Защита состоится « 23 » апреля 2020 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 999.086.03 в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д.27, ауд.201-3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» и на официальном сайте [https://sovnet.knastu.ru/diss\\_defense/show/130](https://sovnet.knastu.ru/diss_defense/show/130). Отзывы на автореферат присылать в двух экземплярах, заверенных печатью организации по адресу: Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, Комсомольский на- Амуре государственный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д 999.086.03, e-mail: [etf@knastu.ru](mailto:etf@knastu.ru).

Автореферат разослан « » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.086.03,  
кандидат технических наук, доцент

А.С. Гудим

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одним из компонентов современной автоматизированной системы управления технологическим процессом является система идентификации пользователя, в задачи которой входит не только информационная безопасность, но и предотвращение несанкционированного доступа на территории промышленного предприятия. К основным функциям системы контроля и управления доступом (СКУД) относят управление и контроль территориальной целостности объекта, предотвращение несанкционированного доступа и перемещения персонала и транспорта по территории.

Как правило, СКУД построены на аппаратных средствах систем технического зрения, и некоторые из них используют современные алгоритмы компьютерного зрения для автоматизации процессов идентификации объекта. Так, например, для системы контроля и управления доступом транспортных средств (ТС) можно избежать привлечения человеческих ресурсов, установки дополнительного оборудования в виде считывателей карт, несанкционированного проезда автомобиля. Задача интеллектуальной системы контроля и управления доступом – снизить нагрузку на оператора при помощи автоматического обнаружения нестандартных ситуаций.

Совместное использование нечеткой логики и компьютерного зрения с распознаванием объектов является эффективным средством ограничения доступа на охраняемую территорию.

Большой вклад в область распознавания образов и управления внесли: Анисимов Б. В., Вапник В. Н. и Червоненкис А. Я., Гашников М. В., Горелик А. Л., Журавлев Ю. И., Загоруйко Н. Г., Катаев М. Ю., Куделькин В. А. Местецкий Л. М., Рудакова К. В., Симанков В. С., Соيفер А. В., Фаворская М. Н., Цыпкин Я. З., Щеголева Н. Л., Вороны В. А. и Тихонова В. А, Andrej Karpathy, Andrew G. Howard, Christian Szegedy, François Chollet, Navneet Dalal и Bill Triggs, Paul Viola и Michael Jones, Rafael Gonzalez и Richard Woods, Sepp Hochreiter и Jürgen Schmidhuber, Yann LeCun и др.

На данный момент существует множество созданных СКУД, отличающихся друг от друга конструкцией, электромеханической системой, интеллектуальной системой, набором датчиков и исполнительных устройств. Основной сложностью является большое разнообразие аппаратных средств, входящих в состав СКУД.

Поэтому наиболее эффективным направлением является создание совершенных подходов управления на базе универсального набора аппаратно-программных средств, достаточных для работы СКУД при минимальном количестве вносимых изменений.

К основным функциям системы контроля и управления доступом относят управление и контроль территориальной целостности промышленного объекта. При этом работоспособность системы безопасности значительно ухудшают возникающие в СКУД нестандартные ситуации, такие как:

- отсутствие или подмена идентификационных признаков;
- выход из строя управляемых устройств вследствие влияния внешних факторов;
- влияние внешних факторов среды на качество идентификации объекта;
- попытки взлома преграждающих устройств с применением физического воздействия;
- попытки прохода «запрещенных» лиц вместе с «разрешенными»;
- попытки взлома системы имитацией аварийных ситуаций.

Поэтому немаловажной задачей является обнаружение таких ситуаций и выработка управляющих воздействий.

Таким образом, разработка интеллектуальной СКУД, сочетающей технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения для устранения влияния внешних факторов, а также алгоритмов обнаружения нестандартных ситуаций является актуальной задачей.

**Научная проблема.** Ослабление влияния внешних факторов для повышения эффективности работы системы безопасности, как подсистемы АСУТП и учет штатных и нестандартных ситуаций, возникающих на контрольно-пропускном пункте промышленного предприятия.

**Цель работы** состоит в разработке алгоритмов и методов для повышения эффективности идентификации объекта и управления доступом с учетом штатных и нештатных ситуаций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработка структурной, функциональной и математической модели системы контроля управления доступом (СКУД) технических и физических объектов, учитывающей влияние штатных и нештатных ситуаций.
2. Разработка аппаратной части СКУД технических объектов и физических лиц.
3. Разработка алгоритмов распознавания объектов доступа и управления устройствами СКУД.
4. Интеграция разработанных модулей и алгоритмов в единую автоматизированную систему безопасности.

**Объект исследования** – процесс идентификации объектов и процесс выработки управляющих воздействий на устройства ограничения доступа.

**Предмет исследования** – принципы, методы и средства управления доступом на промышленных предприятиях.

**Методы исследования** основаны на моделировании исследуемых процессов, системном анализе объектно-ориентированном программировании. При решении задач были использованы теория управления, теория нечетких множеств, искусственные нейронные сети. Использовались современные пакеты прикладного программного обеспечения Matlab, среда разработки Python. Проведены экспериментальные апробации разработанных алгоритмов на общедоступных данных.

**Научная новизна работы:**

1. Предложена математическая модель интеллектуальной системы контроля и управления доступом, позволяющая, в отличие от известных решений, учитывать нештатные ситуации с использованием систем компьютерного зрения и датчиков, контролирующих состояние объекта.
2. Предложены схемы интеллектуальной СКУД на основе технологий нечеткого вывода, как с использованием датчиков, так и с использованием систем компьютерного зрения.
3. Предложен подход, основанный на совместном применении алгоритмов глубоких нейронных сетей на современных графических ускорителях и алгоритмов нечеткой логики для обнаружения и распознавания объектов, определения штатных и нештатных ситуаций, принятия решений, который позволяет достигнуть практических приемлемых результатов в режиме реального времени при решении задач контроля и управления доступом.
4. Предложены решения, улучшающие технические характеристики приборных элементов управления интеллектуальной СКУД.
5. Разработана и протестирована экспертная подсистема СКУД, содержащая базу знаний штатных и нештатных ситуаций.

**Практическая значимость.** Предложенный подход может служить прототипом для разработки других подсистем контроля и управления доступом. Предложенные в работе структуры и подходы были использованы при разработке СКУД технических объектов и физических лиц. По результатам работы получено 2 патента на изобретения № 2626798, № 2642501. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России научного проекта – госзадания в рамках проектной части № 2.1898.2017/ПЧ «Создание математического и алгоритмического обеспечения интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы безопасности вуза». Результаты диссертационной работы внедрены в ФГБОУ ВО «КНАГУ» для распознавания номерных знаков транспортных средств и идентификации человека по лицу.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались и получили одобрение: на 12 международной конференции по промышленной электронике и приложениям «ICIEA 2017», Камбоджа, 2017 г; на 14 международной конференции по промышленной электронике и приложениям «ICIEA 2019», Китай, 2019 г; международной мультидисциплинарной конференции по промышленному инжинирингу и современным технологиям «Far East Con-2018», г. Владивосток, 2018; ежегодной научно-технической конференции студентов и аспирантов

ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре (2016 – 2018), выставке «ТЕХНОФЕСТ2019» ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре (2019), внутривузовском этапе XXII Краевого конкурса молодых учёных и аспирантов в сфере научных исследований ФГБОУ ВО «КНАГУ», г. Комсомольск-на-Амуре (2019).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель интеллектуальной СКУД на основе кибернетического подхода для задач доступа транспортных средств на территорию организации и физических лиц в помещении повышенной опасности.

2. Алгоритмы распознавания штатных и нештатных ситуаций для СКУД, основанные на композиции алгоритмов глубоких нейронных сетей и алгоритмов нечеткой логики.

3. Технические решения, улучшающие технические характеристики приборных элементов управления интеллектуальной СКУД.

4. Программные комплексы и экспертные подсистемы для интеллектуальной СКУД.

**Достоверность полученных результатов** научных положений, выводов, изложенных в диссертации, подтверждается результатами и протоколами экспериментов в ФГБОУ ВО «КНАГУ», а также на общедоступных наборах данных.

**Личный вклад соискателя состоит в следующих работах:**

- в разработке математической модели интеллектуальной системы контроля и управления доступом.

- в разработке схем интеллектуальной СКУД на основе технологий нечеткого вывода, как с использованием датчиков, так и с использованием систем компьютерного зрения.

- в разработке подхода, основанном на совместном применении алгоритмов глубоких нейронных сетей и алгоритмов нечеткой логики для обнаружения и распознавания объектов, определения штатных и нештатных ситуаций, принятия решений.

- в разработке технических решений, улучшающих технические характеристики приборных элементов управления интеллектуальной СКУД.

- в разработке экспертной подсистемы СКУД, содержащей базу знаний штатных и нештатных ситуаций.

**Публикации.** Основные результаты работы изложены в 10 печатных работах: в изданиях, входящих в перечень ВАК, – 3; в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, – 3; патенты на изобретение – 2.

**Соответствие паспорту специальности.** Исследования, выполненные в диссертационной работе, соответствуют формуле и пунктам 4, 9, 15, 16 паспорта специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»:

**пункт 4.** Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

**пункт 9.** Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации.

**пункт 15.** Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.).

**пункт 16.** Теоретические основы, методы и алгоритмы построения экспертных и диалоговых подсистем, включенных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** даны обоснование актуальности и характеристика работы, сформулированы цель и задачи, указаны методы исследования, представлены основные положения, показана научная новизна и практическая значимость, описана структура работы.

**В первой главе** проведен анализ технологий контроля и управления доступом физических лиц и технических объектов на производственных предприятиях. Проведена оценка известных технологий идентификации объектов в системе контроля и управления доступом.

Представлены внешние факторы влияющие на качество работы СКУД на базе видеонаблюдения: изменение освещенности сцены, вызванное обычной суточной сменой освещения, появлением или изменением состояния искусственных источников света; цифровой и аналоговый шум, вызванный дефектом фотосенсоров или помехами; потеря фокуса, вызванная изменением освещенности, движением цели или сменой режима «день/ночь»; внешние помехи, вызванные такими погодными явлениями как снег, дождь, туман.

Проведен критический анализ СКУД. Основной недостаток предлагаемых ранее систем в том, что они не позволяют учитывать наличие нештатных ситуаций и вырабатывать управляющие воздействия на элементы ограничения доступа.

При всем разнообразии различных подходов к построению архитектур не существует универсального набора аппаратно-программных средств, достаточных для работы СКУД при минимальном количестве вносимых изменений.

**Во второй главе** предложена функциональная схема единой аппаратно-программной платформы интеллектуальной системы контроля и управления доступом физических лиц, технических объектов (транспортных средств) и определения штатных и нештатных ситуаций с использованием систем нечеткой логики (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Функциональная схема единой аппаратно-программной платформы интеллектуальной системы контроля и управления доступом

Интеллектуальную СКУД предлагается строить из двух частей в соответствии с принципом разделения. С помощью первой части решается задача оценки состояния объекта наблюдения. Второй блок – это детерминированный субоптимальный регулятор, который предлагается реализовать с помощью системы нечеткой логики.

Задача оценки состояния распределенного объекта наблюдения и управления решается с помощью современных технологий распознавания образов, используемых в настоящее время в системах компьютерного зрения. С помощью компьютерного зрения мы получаем оценку ситуации, а универсальная аппаратно-программная платформа является блоком управления преграждающего устройства.

Приведена универсальная математическая модель интеллектуальной СКУД транспортных средств, физических лиц и штатных и нештатных ситуаций.

Пусть имеются вектор состояний СКУД  $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_{\text{ОД}}^T, \mathbf{x}_{\text{КН}}^T, x_{\text{УПУ}}, x_{\text{УВП}}, \mathbf{x}_{\text{ВС}}^T)^T$ , где  $\mathbf{x}_{\text{ОД}}^T$  – вектор состояний объекта доступа (ОД);  $\mathbf{x}_{\text{КН}}^T$  – вектор состояний камеры наблюдения (КН);  $x_{\text{УПУ}}$  – состояние управляемого преграждающего устройства (УПУ);  $x_{\text{УВП}}$  – состояние устройства внешней подсветки (УВП);  $\mathbf{x}_{\text{ВС}}^T$  – вектор состояний внешней среды (ВС) и вектор выходных сигналов (измерений) для СКУД  $\mathbf{y} = (\mathbf{y}_{\text{ОД}}^T, y_{\text{НВ}}, y_{\text{УПУ}}, y_{\text{УВП}}, \mathbf{y}_{\text{ВС}}^T)$ , где  $y_{\text{НВ}}$  – наличие кадра (НВ)  $\mathbf{I}_t = \mathbf{V}(t)$  с камеры наблюдения видеопотока  $\mathbf{V}$ , представленного многомерным массивом;  $\mathbf{y}_{\text{ОД}}^T$  – сигнал с КН, причем  $\mathbf{y}_{\text{ОД}}^T = \mathbf{I}_t$ ;  $y_{\text{УПУ}}$  – сигнал с УПУ;  $y_{\text{УВП}}$  – сигнал с УВП;  $\mathbf{y}_{\text{ВС}}^T$  – вектор сигналов с датчиков, фиксирующих состояние ВС. Необходимо по результатам наблюдений  $\mathbf{y}$  состояний ОД  $\mathbf{x}$  выработать оценки состояний  $\tilde{\mathbf{x}}$  и необходимые управляющие воздействия  $\mathbf{u}$  на объект управления,  $\mathbf{u} = (u_{\text{УПУ}}, u_{\text{УВП}}, u_{\text{БД}})^T$ , где  $u_{\text{УПУ}}$  – сигнал на открытие или закрытие управляемого преграждающего устройства,  $u_{\text{УВП}}$  – сигнал на устройство внешней подсветки,  $u_{\text{БД}}$  – сигнал на запись события в базу данных. Каждый из элементов принадлежит соответствующему множеству: состояний  $\mathbf{x} \in \mathbb{X}$ , их оценок  $\tilde{\mathbf{x}} \in \tilde{\mathbb{X}}$ , видеопотоков  $\mathbf{V} \in \mathbb{V}$ , выходных сигналов  $\mathbf{y} \in \mathbb{Y}$  и управлений  $\mathbf{u} \in \mathbb{U}$ .  $\mathbb{T}$  – множество моментов времени, тогда  $t \in \mathbb{T}$  – произвольный момент времени.

Функциональные зависимости на  $\mathbb{X}$ ,  $\mathbb{Y}$  и  $\mathbb{U}$  могут быть представлены в виде отображений «вход-состояние»  $\mathbf{F}_1: \mathbb{T} \times \mathbb{U} \rightarrow \mathbb{X}$  и «состояние-выход»  $\mathbf{F}_2: \mathbb{T} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{Y}$ , т.е.  $\mathbf{y}(t) = \mathbf{F}_2(\mathbf{F}_1(\mathbf{u}(t)))$ .

Таким образом, ставится задача по кадру видеопотока определить состояние системы, включающее наличие объекта доступа (НОД), тип объекта доступа (ТОД), наличие кодового признака (НКП), состояние качества кодового признака (СКП) и его значение (ЗКП) с использованием отображения:  $\mathbf{F}_3: \mathbb{V} \rightarrow \tilde{\mathbb{X}}$ . Тогда отображение  $\mathbf{F}_3$ , реализующее функцию оптимального нелинейного фильтра (НФ) для оценки состояния ОД, можно представить в виде  $\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ОД}} = \mathbf{F}_3(\mathbf{I}_t)$ , где  $\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ОД}} = (\tilde{x}_{\text{НОД}}, \tilde{x}_{\text{ТОД}}, \tilde{x}_{\text{НКП}}, \tilde{x}_{\text{СКП}}, \tilde{x}_{\text{ЗКП}}^T)^T$ . В такой постановке отображение  $\mathbf{F}_3$  представляет собой задачу распознавания образов.

Для решения задачи выполним декомпозицию отображения

$$\mathbf{F}_3 = \mathbf{F}_4(\mathbf{I}_t), \mathbf{F}_5(\mathbf{I}_t), \mathbf{F}_6(\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T), \quad (1)$$

где  $\mathbf{F}_4(\mathbf{I}_t)$  – поиск образа на кадре,  $\mathbf{F}_5(\mathbf{I}_t)$  – получение значений свойств (признаков) образа и  $\mathbf{F}_6(\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T)$  – классификация образа.

Пусть имеются: множество образов  $\omega \in \Omega$ , заданных признаками  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , совокупность которых для образа  $\omega$  представлена векторными описаниями  $\Phi(\omega) = (x_1(\omega), x_2(\omega), \dots, x_n(\omega)) = \mathbf{x}_{\text{ОД}}$ ; множество классов  $\mathbf{B} = \{\beta_1, \dots, \beta_k, \dots, \beta_c\}$ , где  $c$  – количество классов. Априорная информация представлена обучающим множеством (датасетом)  $\mathbb{D} = \{(\mathbf{x}_{\text{ОД}}^j, \beta^j)\}$ ,  $j = \overline{1, L}$ , заданным таблицей, каждая строка  $j$  которой содержит векторное описание образа  $\Phi(\omega)$  и метку класса  $\beta_k$ ,  $k = \overline{1, c}$ . Заметим, что обучающее множество характеризует неизвестное отображение  ${}^* \mathbf{F}: \Omega \rightarrow \mathbf{B}$ .

Требуется по имеющимся кадрам  $\mathbf{I}_t$  непрерывного видеопотока  $\mathbf{V} = (\mathbf{I}_1, \dots, \mathbf{I}_t, \dots, \mathbf{I}_r)$  и априорной информации, заданной обучающим множеством  $\mathbb{D} = \{(\mathbf{x}_{\text{ОД}}^j, \beta^j)\}$ ,  $j = \overline{1, L}$  для глубинного обучения НС с учителем, решить задачу распознавания образов: обнаружить образы

$\omega$  в виде оценки признаков  $\tilde{\mathbf{x}}$  с помощью нейронных сетей, реализующих отображение  $\mathbf{F}_4: \mathbf{I}_t \rightarrow \tilde{\mathbf{x}}_{\text{НОД}}$ , получить свойства образа  $\mathbf{F}_5(\mathbf{I}_t) = (\mathbf{d}_1(\mathbf{I}_t), \mathbf{d}_2(\mathbf{I}_t), \mathbf{d}_3(\mathbf{I}_t), \mathbf{d}_4(\mathbf{I}_t)) = (\tilde{x}_{\text{ТОД}}, \tilde{x}_{\text{НКП}}, \tilde{x}_{\text{СКП}}, \tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T)$ , где  $\tilde{x}_{\text{ТОД}}$  – тип объекта доступа,  $\tilde{x}_{\text{НКП}}$  – наличие кодового признака,  $\tilde{x}_{\text{СКП}}$  – состояние кодового признака,  $\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T$  – значение кодового признака. Функция  $\mathbf{F}_5(\mathbf{I}_t)$  определяет значения элементов и является набором  $N_f$  составных функций и нейросетевых и классических алгоритмов компьютерного зрения  $d_i$ ,  $i = \overline{1, N_f}$ .

Тогда оценка состояния ОД представляется в виде вектора  $\tilde{\mathbf{x}}_{\text{од}} = (\tilde{x}_{\text{НОД}}, \tilde{x}_{\text{ТОД}}, \tilde{x}_{\text{НКП}}, \tilde{x}_{\text{СКП}}, \tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T)^T$ . Необходимо выполнить отнесение значений кодового признака к метке класса  $\mathbf{F}_6(\tilde{\mathbf{x}}_{\text{ЗКП}}^T) = \beta_k$  в соответствии с заданным критерием  $P(\tilde{\mathbf{x}})$ , минимизирующим вероятность ошибки классификации.

По параметрам  $\tilde{\mathbf{x}}_{\text{од}}$  элемент сравнения (ЭС) проверяет вхождение ОД в базу разрешенных  $\mathbf{D}^{\text{allow}}$  из задающего устройства (ЗУ) и определяет штатную или нештатную ситуацию в соответствии с выражением,

$$s = \mathbf{F}_7(\tilde{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{\mathbf{x}} \in \mathbf{D}^{\text{allow}} \\ 0, & \text{если } \tilde{\mathbf{x}} \notin \mathbf{D}^{\text{allow}} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $s = \{0, 1\}$  – штатная или нештатная ситуация. Наличие отклонения одного из параметров состояния объекта доступа от заложенных в  $\mathbf{D}^{\text{allow}}$  возможных значений для каждого ОД переводит систему в режим нештатной ситуации.

Воздействия  $\mathbf{u}$  на устройства управления УВП и УПУ описываются отображением  $\mathbf{F}_8: \tilde{\mathbf{X}} \rightarrow \mathbb{U}$  и могут быть представлены набором правил базы знаний.

Предлагается отображения  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_7, \mathbf{F}_8$  реализовывать с помощью алгоритмов нечеткой логики, а отображение  $\mathbf{F}_3$ , состоящее  $\mathbf{F}_4, \mathbf{F}_5, \mathbf{F}_6$  реализовывать на базе нейросетевых алгоритмов.

С учетом общей функциональной схемы интеллектуальной СКУД описываются системы контроля и управления доступом транспортных средств на основе совместного использования технологий нечеткой логики и технического зрения с распознаванием номерных знаков (Рисунок 2).

Для снижения негативного влияния внешних факторов на входящее изображение при распознавании номеров ТС в СКУД добавляются такие элементы как нагревательный прибор, датчик температуры, датчик движения, датчик освещенности, блок распознавания образов, связь с Интернет.

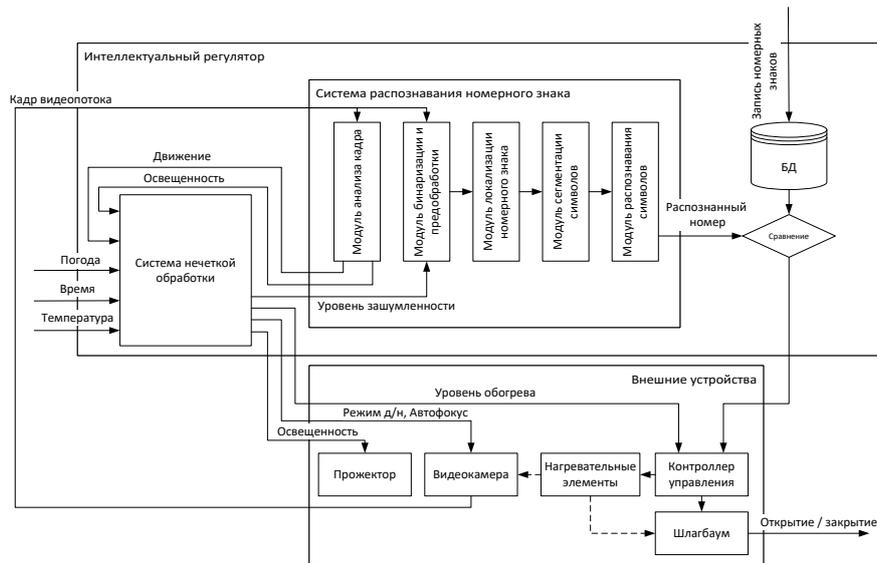


Рисунок 2 – Функциональная схема интеллектуальной системы контроля и управления доступом транспортных средств.

Приведена функциональная схема интеллектуальной СКУД для задачи доступа физических лиц (Рисунок 3), состоящая из следующих компонент: УУ – устройство управления; сервер ГПУ – графический процессор; МК – микрокомпьютер; УС – устройство сопряжения; ПЧ – преобразователь частоты; ОУ – объект управления; ЭМП – предложенный оригинальный электромеханический преобразователь; Д – дверь; ФЛ – физическое лицо; КН – камера наблюдения; УП – устройство подсветки; АРМ – автоматизированное рабочее место оператора охраны; ДО – датчик освещенности; ДП – датчик присутствия; ДДв – датчик движения; ДД – датчик дыма; ДДавл – датчик давления.

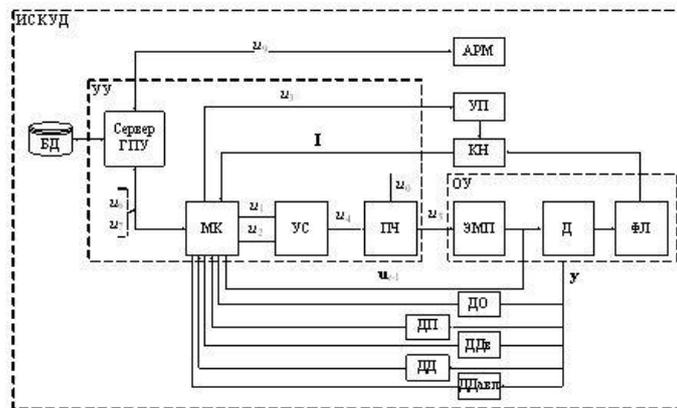


Рисунок 3 – Функциональная схема интеллектуальной системы контроля и управления доступом физических лиц.

В **третьей главе** приведена аппаратная реализация интеллектуальной СКУД. Аппаратно-программная платформа интеллектуальной СКУД состоит из следующих основных компонент:

- CPU1 – устройство управления, одноплатный МК (МК);
- DD1- DD2 – устройство сопряжения;
- DD3-DD6 – датчики;
- XS3 – устройство внешней подсветки;
- SB1-SB2 – концевые выключатели;
- A1 – камера наблюдения;
- A2 – сервер ГПУ;
- A3 – преобразователь частоты;

М1 – оригинальный электромеханический преобразователь.

В качестве МК используется Raspberry Pi 3 B+ со следующими характеристиками: процессор ARM 1,2 ГГц, 2 Гб ОЗУ. Однако в качестве универсального устройства может использоваться встраиваемый одноплатный компьютер NVidia Jetson TX2.

В качестве сервера ГПУ используется ПК со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7-7700, видеокарта: Gigabyte GeForce GTX 1060 WF, 8 Гб ОЗУ.

Было разработано устройство сопряжения преобразователя частоты ACS350 и микрокомпьютера Raspberry Pi, позволяющее управлять ЭМП с помощью сигналов последовательного интерфейса, который реализован на базе микросхемы FTDI232.

Предложен интеллектуальный электротепловой привод (Рисунок 4), содержащий исполнительный механизм с узлом упорных радиальных элементов качения и интеллектуальную систему управления, обеспечивающие повышенную надежность и информационную избирательность устройства (Патент №2626798) в сложных условиях улицы для СКУД технических объектов.

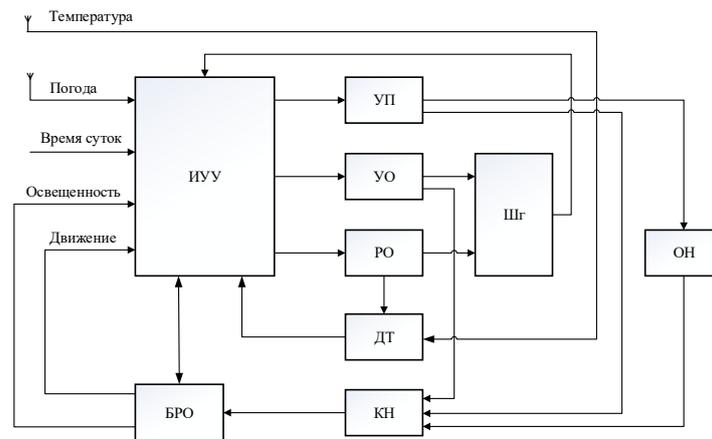


Рисунок 4 – Функциональная схема интеллектуального электротеплового привода СКУД

На рисунке 4 приведена структурная схема, на которой показаны ОН – объект наблюдения, ИМ – исполнительный механизм, КН – камера наблюдения, ИУУ – интеллектуальное управляющее устройство, БРО – блок распознавания образов, ДТ – датчик температуры, УП – устройство подсветки, УО – устройство обогрева, РО – регулирующий орган.

В четвертой главе представлено алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальной СКУД.

Технология нечеткого вывода для задачи контроля доступа транспортных средств заключается в следующем:

- воздействия (погода, время суток и освещенность) влияют на регулирование внешней подсветки (прожектор) и настройку режима «день» или «ночь» на видеокамере для выделения на кадре более четкой картинке подъехавшего ТС;
- входной параметр температура окружающей среды управляет нагревательными элементами, которые обогревают в холодное время как шлагбаум, так и видеокамеру.
- по поступающей информации о погоде, времени суток, освещенности и движению определяется уровень зашумленности, в зависимости от которого производится очистка от шумов и настройка автофокуса или нет.

Для формирования базы правил системы нечеткой обработки необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные.

Пусть имеются входные лингвистические переменные  $X_1$  – «Погода»,  $X_2$  – «Время суток»,  $X_3$  – «Освещение»,  $X_4$  – «Движение»,  $X_5$  – «Температура» и выходные лингвистические переменные  $Y_1$  – «Зашумленность»,  $Y_2$  – «Режим день или ночь»,  $Y_3$  – «Подсветка»,  $Y_4$  – «Обогрев»,  $Y_5$  – «Автофокус»,  $Y_6$  – «Очистка от шумов» (Рисунок 5 и Рисунок 6).

Введем терм-множества для лингвистических переменных:

- 1)  $X_1 = \{\text{ясно, пасмурно, дождь, сильный дождь, снег, сильный снег}\}$  или  $X_1 = [x_{11}, x_{12}, \dots, x_{16}]$ ,
- 2)  $X_2 = \{\text{утро, день, вечер, ночь}\}$  или  $X_2 = [x_{21}, x_{22}, \dots, x_{24}]$ ,
- 3)  $X_3 = \{\text{светло, сумеречно, темно}\}$  или  $X_3 = [x_{31}, x_{32}, x_{33}]$ ,
- 4)  $X_4 = \{\text{низкое, высокое}\}$  или  $X_4 = [x_{41}, x_{42}]$ ,
- 5)  $X_5 = \{\text{очень холодно, холодно, не очень холодно, нормально}\}$  или  $X_5 = [x_{51}, x_{52}, \dots, x_{54}]$ ,
- 6)  $Y_1 = \{\text{шум, средний шум, высокий шум}\}$  или  $Y_1 = [y_{11}, x_{12}, y_{13}]$ ,
- 7)  $Y_2 = \{\text{ночь, день}\}$  или  $Y_2 = [y_{21}, x_{22}]$ ,
- 8)  $Y_3 = \{0, 1, 2, 3\}$  (номер отвечает за уровень подсветки) или  $Y_3 = [y_{31}, x_{32}, \dots, y_{34}]$ ,
- 9)  $Y_4 = \{0, 1, 2, 3, 4\}$  (номер отвечает за уровень обогрева) или  $Y_4 = [y_{41}, y_{42}, \dots, y_{45}]$ ,
- 10)  $Y_5 = \{0, 1\}$  или  $Y_5 = [y_{51}, x_{52}]$ ,
- 11)  $Y_6 = \{0, 1\}$  или  $Y_6 = [y_{61}, x_{62}]$ .

Алгоритм вывода Мамдани, состоит из 85 правил и реализуется в среде MatLab (Рисунок 8).

Соответствующая база правил состоит из набора нечетких «*If-then*» правил в следующей форме:

$$R_k : \text{If } X \text{ is } X_k, \text{ then } Y \text{ is } Y_k ; \quad k = \overline{1, \lambda}, \quad (3)$$

где  $X$  – входной вектор для нечеткой системы,  $X_k = x_{k1} \times \dots \times x_{kn}$  – нечеткие множества, заданные на декартовом произведении  $X$  универсальных множеств входных лингвистических переменных и имеющие функции принадлежности  $\mu_{x_{ki}}(X_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $Y_k = y_{k1} \times \dots \times y_{kr}$  – нечеткие множества, заданные на декартовом произведении  $Y$  универсальных множеств выходных лингвистических переменных и имеющие функции принадлежности  $\mu_{y_{ki}}(Y_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, r}$ ;  $\lambda$  – общее число нечетких «*If-then*» правил в базе правил.

В итоге получаем базу знаний нечеткой системы из набора правил следующего типа:

$$R_{\lambda_1} : \text{If } X \text{ is } [X_1, X_2, X_3, X_4], \text{ then } Y = [Y_1, Y_2, Y_3, Y_5, Y_6], \quad \lambda_1 = \overline{1, 17}$$

$$R_{\lambda_2} : \text{If } X \text{ is } [X_5], \text{ then } Y = [Y_4], \quad \lambda_2 = \overline{18, 21}, \quad (4)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – номера правил.

Например, для правила 2 будет следующая запись (см. Приложение):

$$R_2 : \text{If } X_1 \text{ is } x_{13} \vee x_{15} \ \& \ X_2 \text{ is } x_{21} \vee x_{22} \vee x_{23}, \ \& \ X_3 \text{ is } x_{31}, \ \& \ X_4 \text{ is } x_{42},$$

$$\text{then } Y_1 = y_{11} \ \& \ Y_2 = y_{22}, \ \& \ Y_3 = y_{33}, \ \& \ Y_5 = y_{52}, \ \& \ Y_6 = y_{62}. \quad (5)$$

Система нечеткой логики содержит блок фаззификации, блок дефаззификации, машину нечеткого вывода и базу знаний, состоящую из базы правил и базы данных. В базе данных содержатся обучающие примеры, критерии управления, вид и параметры функции принадлежности.

Нечеткой системой реализуется (неизвестное) отображение:

$$Y^{(j)} = f(X^{(j)}) = f(x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \dots, x_n^{(j)}), \quad j = 1, \dots, J, \quad (6)$$

при наличии обучающего множества  $\{(X^1, Y^1), \dots, (X^J, Y^J)\}$ .

Вводится критерий оптимальности в виде функции ошибки для  $j$ -го предъявленного образца вида

$$E_j = \frac{1}{2} \|\mathbf{Y} - \mathbf{Y}^{(j)}\|^2, \quad (7)$$

который позволяет использовать градиентный метод оптимизации для подстройки параметров нечеткой системы (параметров заданных предикатных правил).

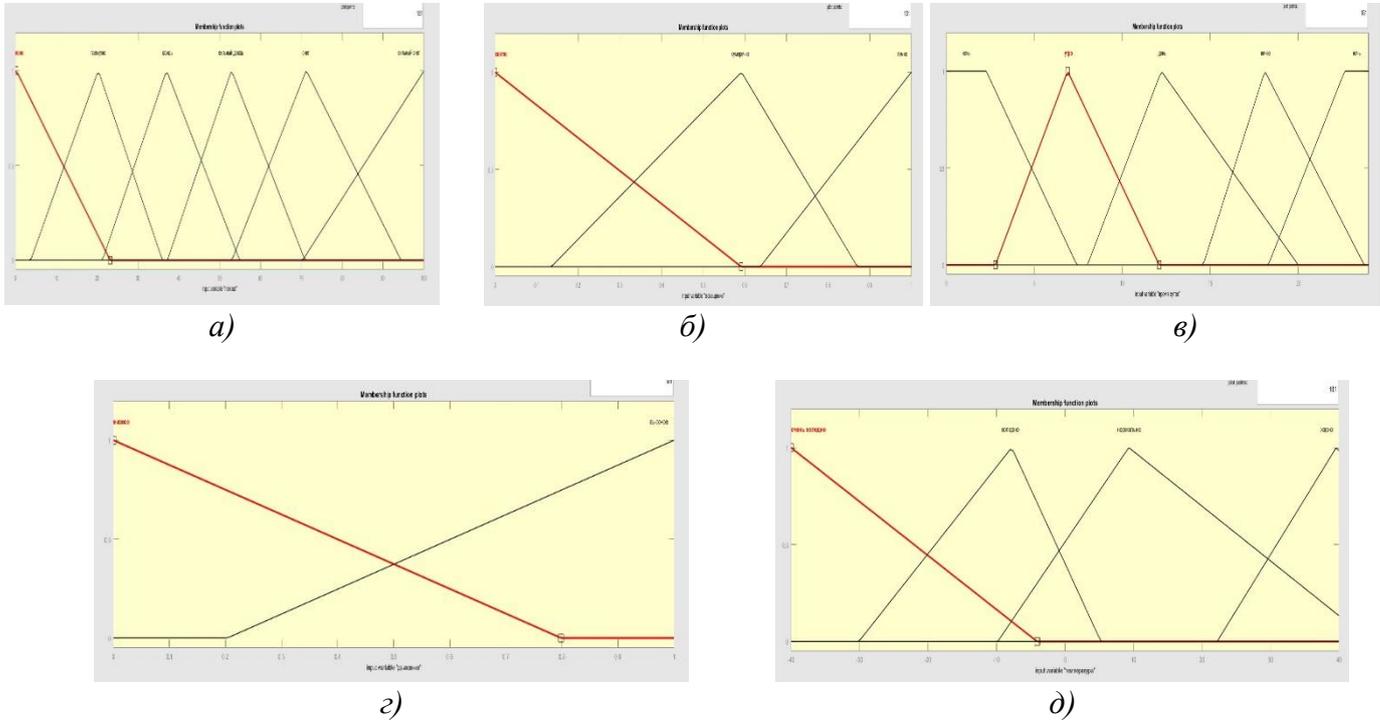


Рисунок 5 – Графики функций принадлежности для входных лингвистических переменных:  $a$  - погода;  $b$  - освещение;  $c$  - время суток;  $d$  - движение;  $e$  - температура;

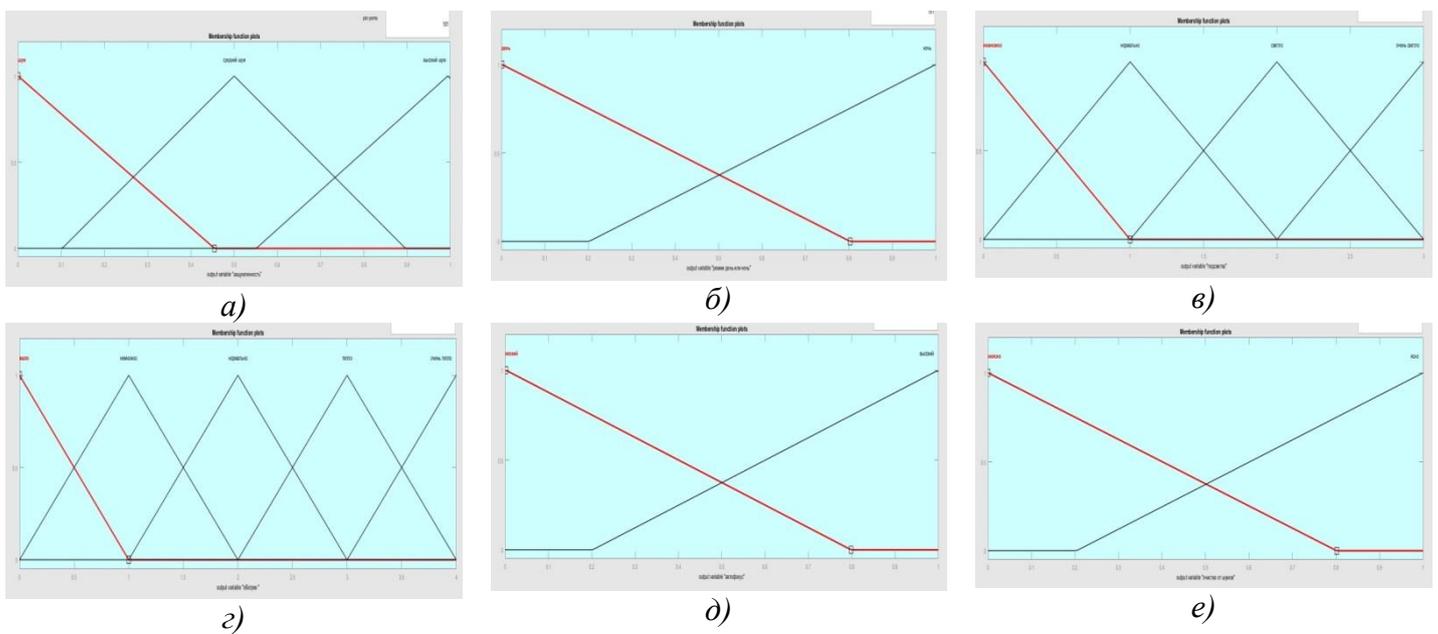


Рисунок 6 – Графики функций принадлежности для выходных лингвистических переменных:  $a$  - зашумленность;  $b$  - режим день или ночь;  $c$  - подсветка;  $d$  - обогрев;  $e$  - автофокус;  $e$  - очистка от шумов

На рисунке 7 приведены зависимости выхода системы от входа. Так например:

- Время суток и освещенность влияют на регулирование внешней подсветки.
- Температура окружающей среды управляет нагревательными элементами, которые обогревают в холодное время, как шлагбаум, так и видеокамеру.

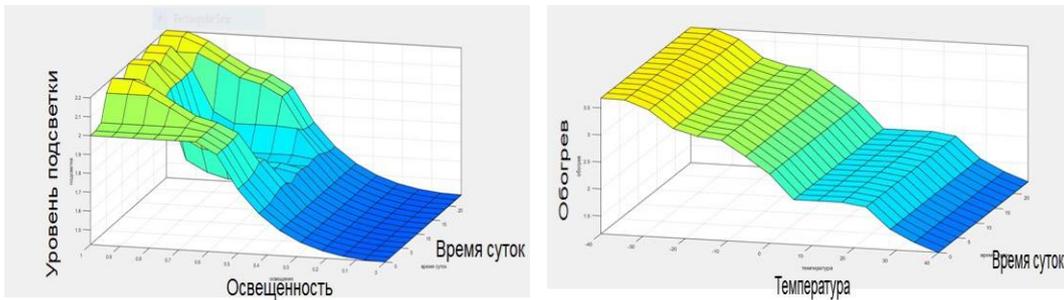


Рисунок 7 – Графический вид зависимости выхода системы от ее входов

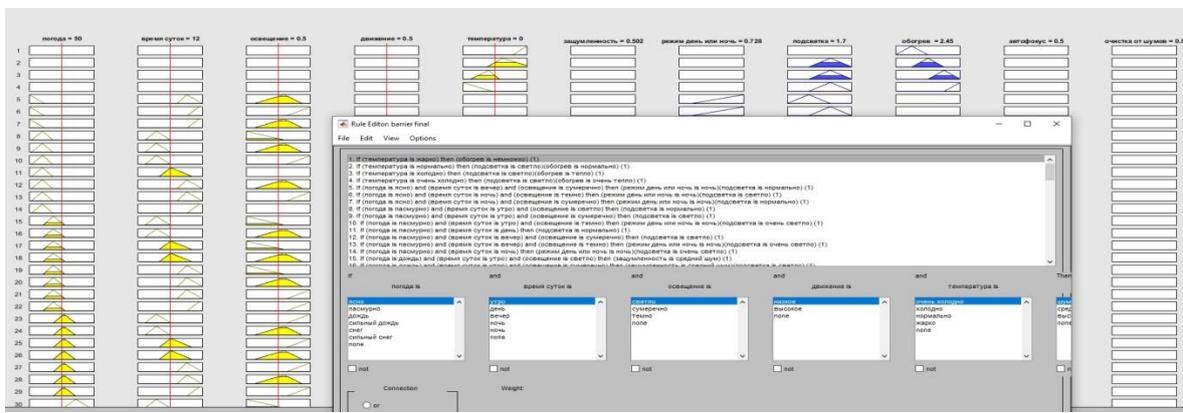


Рисунок 8 – Соответствующая база правил

Система распознавания номерных знаков состоит из следующих модулей:

#### Модуль анализа кадра

На вход модуля подается кадр видеопотока, представленный матрицей пикселей  $I_t$ , где  $t$  – номер кадра видеопоследовательности. Необходимо оценить уровень освещенности и движения. Использование цветовой модели RGB позволяет оценить яркость изображения, которая зависит от уровня освещённости сцены.

Яркость всего изображения  $I$ , содержащего  $N$  пикселей, можно выразить как среднюю яркость всех пикселей:

$$U = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (R_p + G_p + B_p), \quad (8)$$

где  $R$ ,  $G$ ,  $B$  – исходные сигналы основных цветов,  $p$  – номер пикселя.

Видимая яркость изображения вычисляется по формуле:

$$U_s = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (0.299 R_p + 0.587 G_p + 0.114 B_p) \quad (9)$$

Относительное значение яркости рассчитывается как:

$$U_{rel} = \frac{U}{U_{max}}. \quad (10)$$

Тогда  $U_{rel}$  будет лежать в диапазоне  $[0,1]$ . Значение 0 будет соответствовать абсолютно чёрному изображению, а значение 1 – абсолютно белому. Изображение оптимальной яркости должно иметь значение  $U_{rel}$ , близкое к 0.5.

Поиск движения может выполняться методом выделения оптического потока (массивов двоичных данных - Binary Large Object) переднего плана.

После обнаружения движения область, содержащая движение, анализируется на предмет присутствия объекта (номерного знака) модулем локализации номерного знака.

*Модуль бинаризации и предобработки*

На вход модуля подается кадр видеопотока  $I_t$ , а также уровень зашумленности. Необходимо выполнить коррекцию освещенности полученного изображения, устранение шумов и смазывания, бинаризацию.

Коррекция изображения с целью устранения шумов выполняется с помощью медианной фильтрации.

Для устранения шумов используется медианный фильтр, который реализует нелинейную процедуру подавления шумов. Медианный фильтр представляет собой скользящее по изображению окно  $W$ , охватывающее нечетное число пикселей изображения, с последующим ранжированием значений яркости пикселей, оказавшихся в данном окне. Цвет текущего пикселя заменяется медианой цветов всех пикселей изображения, попавших в окно.

Характерной особенностью медианного фильтра, отличающей его от сглаживающего, является сохранение перепадов яркости (контуров).

Смена уровня освещенности может быть вызвана включением или выключением внешней подсветки либо переменной погодных условий.

Целью операции бинаризации является радикальное уменьшение количества информации, содержащейся на изображении.

Бинаризация с нижним порогом выполняется следующим образом:

$$BW(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } I(i, j) \geq q \\ 0, & \text{если } I(i, j) < q \end{cases} \quad (11)$$

где  $i, j$  – координаты пикселей изображения,  $q$  – адаптивный порог бинаризации.

Под адаптивной предобработкой будем понимать предобработку с изменяющимися в зависимости от внешних условий параметрами фильтров, которые приводят изображение к эталонному виду путем подавления внешних шумов, снижения помех и бинаризации.

Адаптивная предобработка включает следующие этапы:

- 1) получение кадра видеопоследовательности;
- 2) коррекция изображения на основе значений яркости и видоизменение распределения гистограмм яркости по каждому из цветовых каналов;
- 3) устранение эффекта смазывания и повышение контраста изображения;
- 4) бинаризация изображения и анализ «зашумленности». Обнаружение границ с использованием оператора Собеля.

Выбор всех коэффициентов и порогов осуществляется на основе данных, получаемых от системы нечеткой обработки.

*Модуль локализации номерного знака*

На вход модуля поступает кадр видеопотока  $I_t$ . Необходимо определить, если он есть, список прямоугольников, содержащих НЗ транспортного средства:

$$\text{rectangle}_k = (x^{\text{rect}}, y^{\text{rect}}, w, h, \alpha), \quad (12)$$

где  $x^{\text{rect}}, y^{\text{rect}}$  – координаты центра  $k$ -го прямоугольника,  $w$  – ширина,  $h$  – высота,  $\alpha$  – угол наклона прямоугольника к вертикальной оси изображения.

Поиск объекта будет выполняться «сканирующим окном»  $C_r$ , где  $r$  – номер сканирующего окна (шаг сканирования), которое представляет собой матрицу пикселей. Окно проходит последовательно по изображению с шагом 1 пиксель (слева-направо, сверху вниз) с изменением масштаба при каждом проходе. Размер окна определяется его шириной  $w_c$  и высотой  $h_c$ .

При прохождении сканирующего окна по изображению для каждого положения окна необходимо определить, содержится ли в окне человек или нет.

В качестве классификатора используется модифицированный алгоритм локализации номерных знаков транспортных средств на основе метода Виолы-Джонса.

#### 4. Модуль сегментации и распознавания символов

На вход модуля поступает прямоугольник  $\mathbf{rectangle}_k$  содержащий номерной знак.

Необходимо сегментировать распознать все символы в указанном прямоугольнике и сформировать вектор:

$$\mathbf{NZ} = (ch\_num_1 \dots ch\_num_l), \quad (13)$$

где  $l$  – позиция распознанного символа,  $ch\_num = \{1 \dots 24\}$  – принадлежность к классу.

Сегментация выполняется следующим образом:

1. Строится гистограмма интенсивности яркости пикселей по столбцам (Рисунок 9).
2. Сегментируем области интереса.
3. Для каждой области интереса строим гистограмму яркости по строкам, обрезая верхние области.
4. После выполнения операций мы получаем не только символы, но и различные помехи. На основании размеров и пропорций распознаваемых символов, указанных в ГОСТ 3489.2-71, были введены следующие условия:

$$0.4 \leq \frac{w_o}{h_o} \leq 3.5, \quad (14)$$

где  $w_o$  и  $h_o$  – ширина и высота объектов;

$$0.4 \leq \frac{h_o}{h} \leq 0.9, \quad (15)$$

где  $h$  – высота прямоугольника.

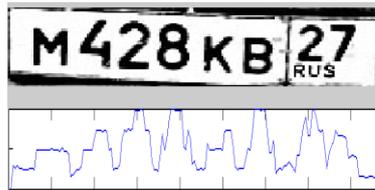


Рисунок 9 – Гистограмма интенсивности яркости по столбцам

В результате сегментации мы получаем набор бинарных изображений  $\mathbf{o}_l$ , содержащих символ НЗ (Рисунок 10).



Рисунок 10 – Результат работы алгоритма сегментации

Для распознавания символов номерного знака предлагается одновременное использование нескольких различных распознающих модулей и последующее объединение полученных результатов (путем голосования). При этом очень важно, чтобы алгоритмы, используемые этими модулями, были как можно более независимы.

Предлагаемая модель состоит из следующих классификаторов:

- 1) метод сравнения с эталоном;
- 2) сверточная нейронная сеть VGG19;
- 3) вероятностная PNN-сеть, обученная на 24 классах (буквы, цифры и шум);
- 4) вероятностная PNN-сеть:
  - а) обученная на 14 классах (буквы и шум);
  - б) обученная на 11 классах (цифры и шум);

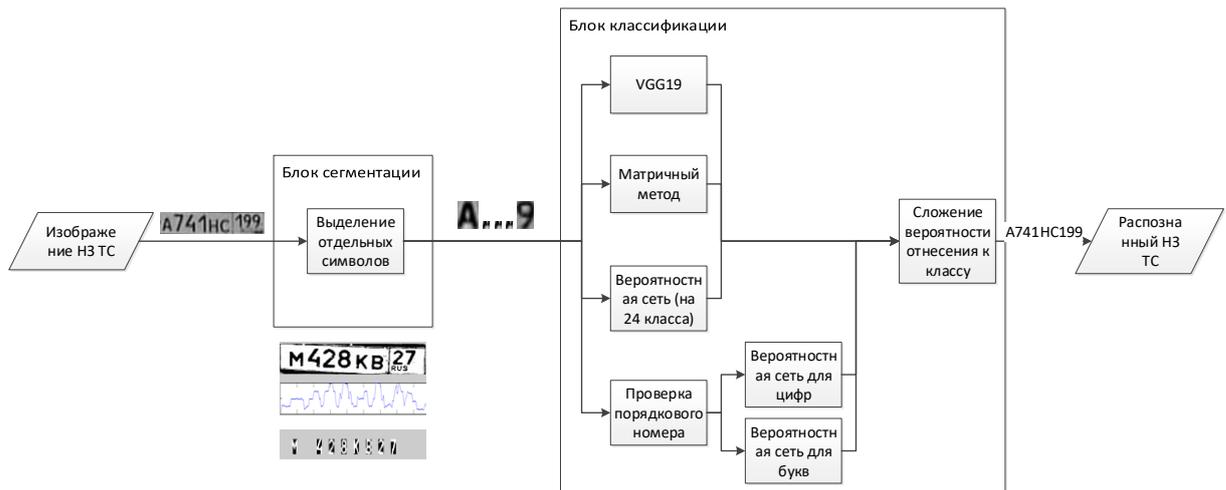


Рисунок 11 – Алгоритм распознавания символов номерного знака

Метод сравнения с эталоном основан на вычислении корреляции между двумя матрицами изображений. Необходимо учитывать, что корреляция вычисляется для матриц одинакового размера, поэтому матрицу исходного изображения необходимо привести к размеру матрицы эталонного изображения.

Архитектура сверточной нейронной сети основана на модели VGG и состоит из чередующихся слоев свертки (англ. convolution), подвыборки (англ. pooling, subsampling) и полносвязных (англ. fully connected, dense) слоев (Рисунок 12).

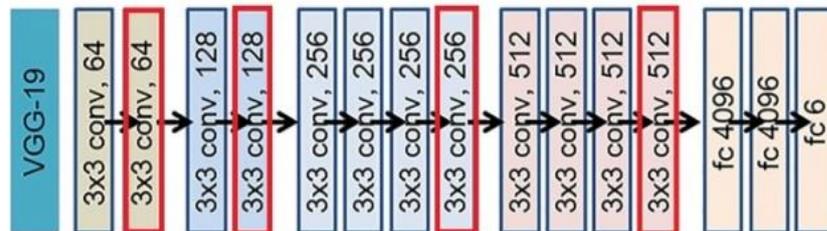


Рисунок 12 – Архитектура НС VGG

При тестировании изображения, содержащие сегментированные символы, подаются на вход всем четырем классификаторам. Причем выбор четвертого классификатора зависит от позиции символа в номерном знаке. Оценки, получаемые на выходе, умножаются на рейтинг доверия и складываются. Символ, получивший наибольшую суммарную оценку, выдается в качестве результата распознавания.

#### Решение задачи контроля и управления доступом для физических объектов

Для формирования базы правил системы нечеткой обработки необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные.

Пусть имеются входные лингвистические переменные  $X_1$  – «Наличие кадра»,  $X_2$  – «Движение»,  $X_3$  – «Освещение»,  $X_4$  – «Количество человек в кадре»,  $X_5$  – «Доступ человека»,  $X_6$  – «Давление»,  $X_7$  – «Эхо ответы от сервера»,  $X_8$  – «Состояние двери открыто/закрыто»,  $X_9$  – «Частота»,  $X_{10}$  – «Прошное направление»,  $X_{11}$  – «Сила помехи»,  $X_{12}$  – «Датчик присутствия внутри»,  $X_{13}$  – «Датчик дыма» (Рисунок 13), и выходные лингвистические переменные  $Y_1$  – «Уровень подсветки»,  $Y_2$  – «Сигнал тревоги»,  $Y_3$  – «Направление вращения электродвигателя»,  $Y_4$  – «Частота» (Рисунок 14).

Введем терм-множества для лингвистических переменных:

- 12)  $X_1 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_1 = [x_{11}, x_{12}]$ ,
- 13)  $X_2 = \{\text{низкое, высокое}\}$  или  $\mathbf{X}_2 = [x_{21}, x_{22}]$ ,
- 14)  $X_3 = \{\text{светло, сумеречно, темно}\}$  или  $\mathbf{X}_3 = [x_{31}, x_{32}, x_{33}]$ ,
- 15)  $X_4 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_4 = [x_{41}, x_{42}]$ ,
- 16)  $X_5 = \{"+1", "-1", "0"\}$  или  $\mathbf{X}_5 = [x_{51}, x_{52}, x_{53}]$ ,
- 17)  $X_6 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_6 = [x_{61}, x_{62}]$ ,
- 18)  $X_7 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_7 = [x_{71}, x_{72}]$ ,
- 19)  $X_8 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_8 = [x_{81}, x_{82}]$ ,
- 20)  $X_9 = \{0,1 \text{ до } 4, 5 \text{ до } 9, 10 \text{ до } 25\}$  (номинальное, прошлое состояние) или  $\mathbf{X}_9 = [x_{91}, x_{92}, \dots, x_{94}]$ ,
- 21)  $X_{10} = \{"+1", "-1", "0"\}$  или  $\mathbf{X}_{10} = [x_{101}, x_{102}, x_{103}]$ ,
- 22)  $X_{11} = \{\text{нет, небольшая, средняя, большая}\}$  или  $\mathbf{X}_{11} = [x_{111}, x_{112}, \dots, x_{114}]$ ,
- 23)  $X_{12} = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_{12} = [x_{121}, x_{122}]$ ,
- 24)  $X_{13} = \{0,1\}$  или  $\mathbf{X}_{13} = [x_{131}, x_{132}]$ ,
- 25)  $Y_1 = \{0,1,2\}$  или  $\mathbf{Y}_1 = [y_{11}, x_{12}, y_{13}]$ ,
- 26)  $Y_2 = \{0,1\}$  или  $\mathbf{Y}_2 = [y_{21}, x_{22}]$ ,
- 27)  $Y_3 = \{"+1", "-1", "0"\}$  (направление) или  $\mathbf{Y}_3 = [y_{31}, x_{32}, y_{33}]$ ,
- 28)  $Y_4 = \{0,1 \text{ до } 4, 5 \text{ до } 9, 10 \text{ до } 25\}$  или  $\mathbf{Y}_4 = [y_{41}, y_{42}, \dots, y_{44}]$ ,

Алгоритм вывода Мамдани, состоит из 19 правил и реализуется в среде MatLab (Рисунок 15).

Соответствующая база правил состоит из набора нечетких «*If-then*» правил в следующей форме:

$$R_k : \text{If } \mathbf{X} \text{ is } \mathbf{X}_k, \text{ then } \mathbf{Y} \text{ is } \mathbf{Y}_k ; \quad k = \overline{1, \lambda}, \quad (16)$$

где  $\mathbf{X}$  – входной вектор для нечеткой системы,  $\mathbf{X}_k = x_{k1} \times \dots \times x_{kn}$  – нечеткие множества, заданные на декартовом произведении  $\mathbf{X}$  универсальных множеств входных лингвистических переменных и имеющие функции принадлежности  $\mu_{x_{ki}}(X_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $\mathbf{Y}_k = y_{k1} \times \dots \times y_{kr}$  – нечеткие множества, заданные на декартовом произведении  $\mathbf{Y}$  универсальных множеств выходных лингвистических переменных и имеющие функции принадлежности  $\mu_{y_{ki}}(Y_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, r}$ ;  $\lambda$  – общее число нечетких «*If-then*» правил в базе правил.

В итоге получаем базу знаний нечеткой системы из набора правил следующего типа:

$$R_{\lambda 1} : \text{If } \mathbf{X} \text{ is } [\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3, \mathbf{X}_4, \mathbf{X}_5, \mathbf{X}_6, \mathbf{X}_7, \mathbf{X}_8, \mathbf{X}_9, \mathbf{X}_{10}, \mathbf{X}_{11}, \mathbf{X}_{12}, \mathbf{X}_{13}], \text{ then } \mathbf{Y} = [\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2, \mathbf{Y}_3, \mathbf{Y}_4], \quad \lambda_1 = \overline{1, 17}$$

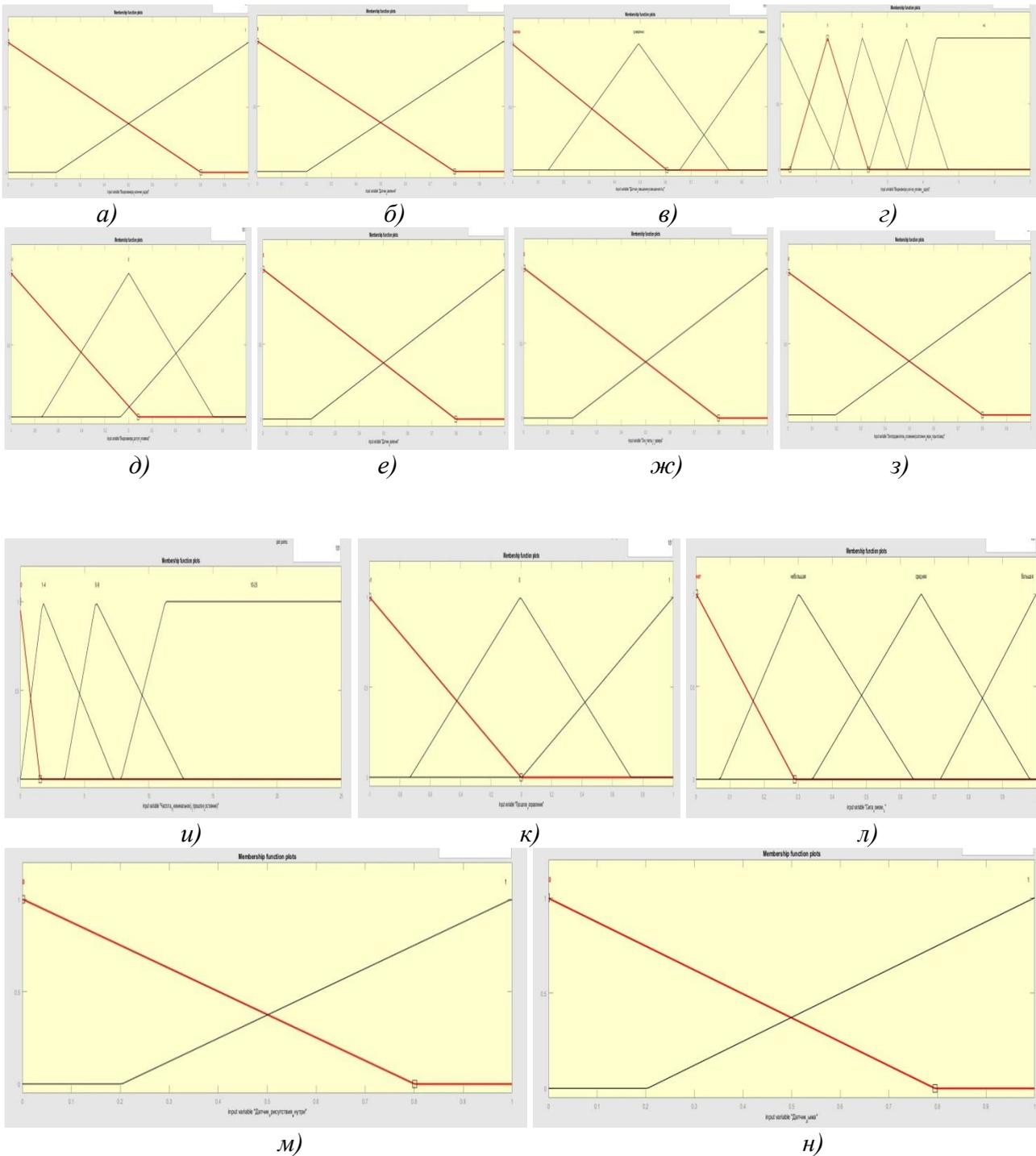


Рисунок 13 – Графики функций принадлежности для входных лингвистических переменной: *а* - наличие кадра; *б* – уровень движения; *в* – уровень освещенности; *г* - количество человек в кадре; *д* - доступ человека; *е* – уровень давления; *ж* - эхо ответы от сервера; *з* - состояние двери открыто/закрыто; *и* – прошлая частота; *к* - прошлое направление движения; *л* - сила помехи; *м* - датчик присутствия внутри; *н* - датчик дыма

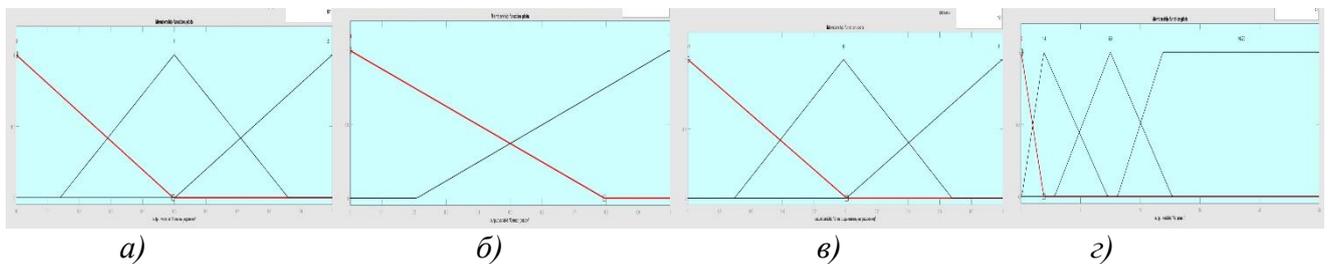


Рисунок 14 – Графики функций принадлежности для выходных лингвистических переменных : *a* - уровень подсветки; *b* - сигнал тревоги; *v* - направление вращения; *z* – передаваемая частота на двигатель

На рисунке 15 представлены зависимости выхода системы от ее входов. Так, например:

- Освещенность и количество человек в кадре влияют на регулирование внешней подсветки.

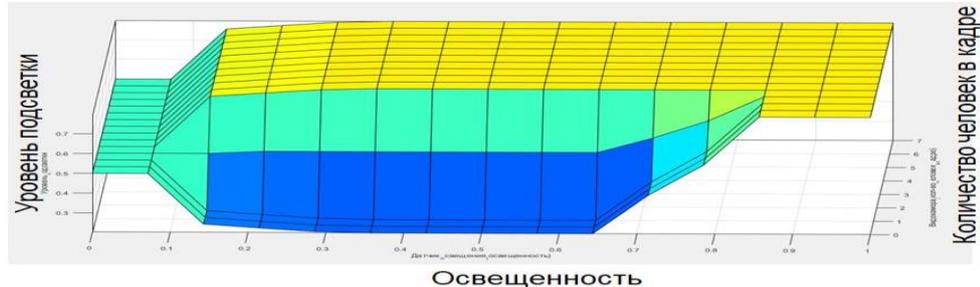


Рисунок 15 – Графический вид зависимости выхода системы от ее входов

Идентификация ФЛ по изображению лица разбивается на решение ряда следующих основных подзадач (Рисунок 16).

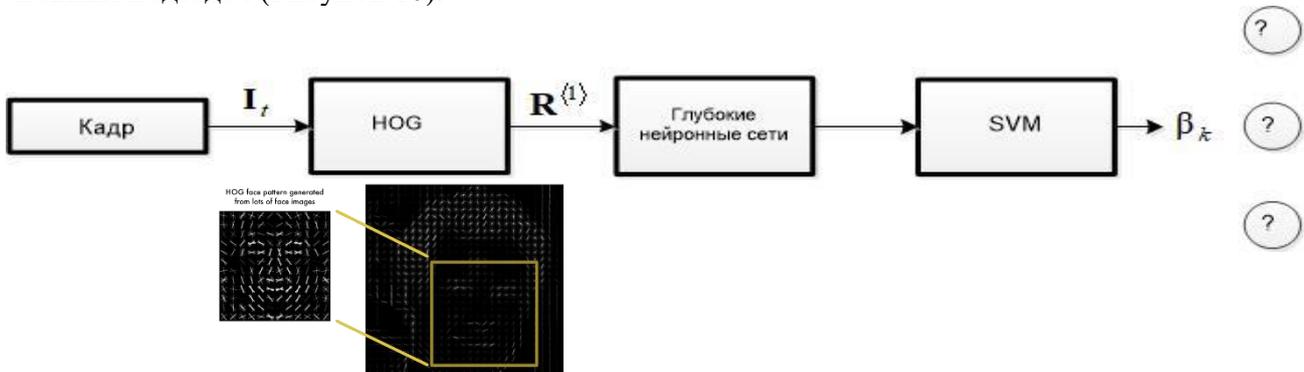


Рисунок 16 – Алгоритм распознавания физических лиц

#### Локализация лица человека в области интереса

Выполняется локализация лица человека в области интереса с помощью применения комбинированного алгоритма на основе растущего нейронного газа и нечеткого вывода для обучения с подкреплением. Пусть имеется область интереса  $\mathbf{R}^{(1)}$ , содержащая изображение тела человека. Если область интереса найдена на изображении  $\mathbf{R}^{(1)}$ , то будем говорить об области интереса второго уровня  $\mathbf{R}_i^{(2)}$ . Тогда  $\mathbb{F} = \{\mathbf{R}^{(2)}, x, y, w, h\}$  – множество, содержащее изображение лица человека  $\mathbf{R}^{(2)}$ , а также его координаты  $x, y$  относительно исходного изображения  $\mathbf{I}^t$  и размеры  $w \times h$ . Задача локализации лица человека сводится к нахождению следующего отображения  $f^{D_{face}}: \mathbf{R}^{(1)} \rightarrow \mathbb{F}$ , причем

$$x_{\text{НКП}} = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathbf{R}^{(2)} \notin \emptyset \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (17)$$

В качестве алгоритма локализации может быть использован алгоритм HOG. Результатом работы алгоритма является матрица  $^{gray} \mathbf{R}^{(2)}$ , содержащая полутоновое изображение лица человека, где каждый пиксель представлен значением яркости от 0 до 255.

#### Пространственная нормализация изображения лица

Под пространственной нормализацией изображения будем понимать аффинные преобразования над изображением  $\mathbf{R}^{(2)}$ , которые позволят максимально приблизить его к маске лица  $\mathbf{P}$ . Пусть имеется область интереса  $\mathbf{R}^{(2)}$ , содержащая изображение лица человека. Вектор  $\mathbf{g} = (x_1, y_1 \dots x_n, y_n)$  содержит координаты «точек ориентира» относительно  $\mathbf{R}^{(2)}$ . Тогда  ${}^g\mathbf{R}^{(2)}$  – форма представления области  $\mathbf{R}^{(2)}$ , в которой все элементы приравниваются к 1, «точки ориентира» к 0.

Тогда необходимо выбрать такой набор аффинных преобразований  $\varrho$ , при котором произведение  ${}^g\mathbf{R}^{(2)}$  на маску будет возвращать матрицу с минимальной суммой элементов:

$$\tilde{\varrho} = \underset{\varrho}{\operatorname{argmin}} f^{norm}(\varrho, {}^g\mathbf{R}^{(2)}, \mathbf{P}) = \sum_{i,j} \left[ \varrho \left( {}^g\mathbf{R}^{(2)} \right) \times \mathbf{P} \right] \quad (18)$$

Найденный набор аффинных преобразований применяется к области  $\mathbf{R}^{(2)}$ .

*Кодирование изображения лица глубокой нейросетью и классификация алгоритмом SVM*

Пусть имеется область  $\mathbf{R}^{(2)}$ , содержащая объект  $o$  – изображение лица человека. Необходимо составить алгоритм перевода в признаковое пространство, причем вектор признаков  $\mathbf{o}$  должен однозначно описывать объект  $o$  при различных искажениях (наклоны, повороты, изменение освещения). Предлагается глубокая архитектура нейронной сети FaceNet, позволяющая описать лицо человека 128-байтовым вектором. Данная модель основана на модели GoogLeNet для классификации изображений. Результатом работы алгоритма является вектор  $\mathbf{o}$ , размером  $1 \times 128$  содержащий признаковое описание объекта. Тогда задача идентификации лица может быть сформулирована как задача многоклассовой классификации. Пусть имеется  $\mathbb{O}$  – множество объектов, заданных их признаковым описанием.  $\mathbb{B}^{Faces}$  – множество классов (разрешенных лиц). Дана обучающая выборка  $\mathbb{D}^{Faces}$ . Решающей функцией (классификатором) является отображение множества  $\mathbb{O}$  в множество  $\mathbb{B}^{Faces}$ . В качестве классификатора предлагается использовать метод опорных векторов, тогда  $f^{SVM} : \mathbb{O} \rightarrow \mathbb{B}^{Faces}$  (Рисунок 17).

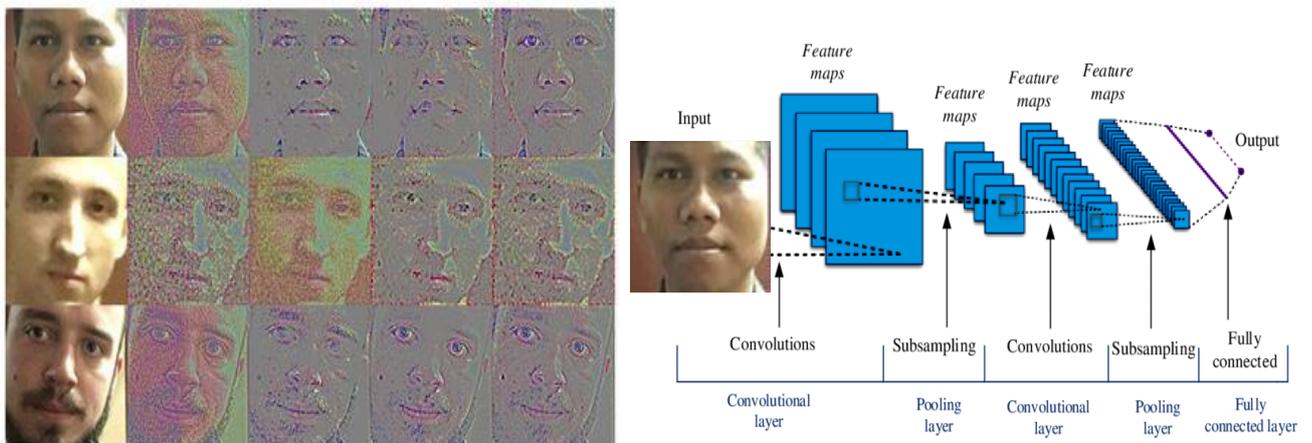


Рисунок 17 – Послойная обработка изображения и архитектура НС

Для предложенной интеллектуальной СКУД разработана программа на языке Python с использованием библиотеки OpenFace. Тестирование показало, что при размере  $\mathbb{B}^{Faces} < 100$

обеспечивается точность  $M^{AC}(f^{SVM})$  не менее 96%. Также следует отметить, что допускаются перекрытия лица до 50% без снижения точности распознавания.

На рисунке 18 приведен пример работы шлагбаума Университета в сложных погодных условиях. Контрольно-пропускной пункт (КПП) состоит из управляемого шлагбаума, камеры наблюдения и системы внешней подсветки.

На рисунке 16 приведены как оригинальные изображения с камеры наблюдения КПП, так и реакция системы на входные факторы:

- 1) Получив данные о снегопаде, система приняла решение о переключении с внутренней подсветки на интенсивную внешнюю.
- 2) В ясную погоду необходимость во внешней подсветке отсутствует. Система повысила контраст изображения. Распознанный номер отсутствует в списке разрешенных, открытие шлагбаума может быть выполнено только оператором.

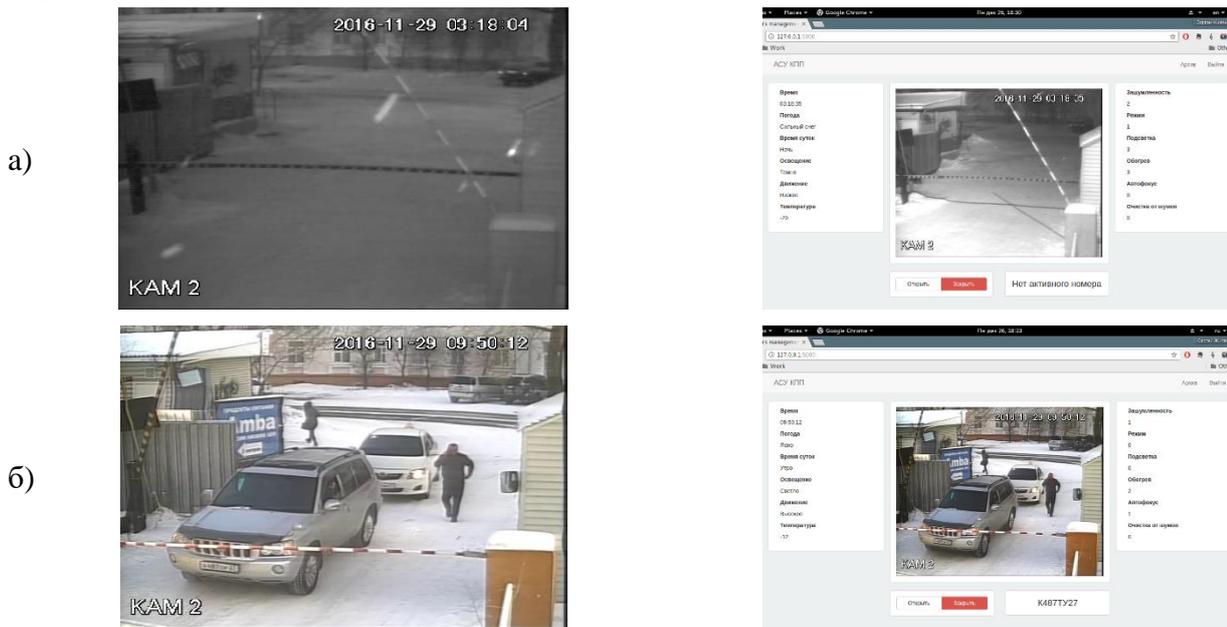


Рисунок 18 – СКУД технических объектов

Разработанная СКУД применялась для ограничения доступа в аудиторию с повышенным уровнем безопасности. Реализация универсальной аппаратно-программной платформы и блока управления представлена на примере управления дверным полотном (Рисунок 19).



Рисунок 19 – СКУД физических лиц

Был разработан демонстрационный стенд (Рисунок 20) для проведения полунатурных экспериментов и тестирования автоматического применения правил в различных ситуациях.

Следует отметить, что в демонстрационном стенде и полномасштабной СКУД применяется идентичное программного обеспечение и одинаковые команды управления, что позво-

ляет подключить к стенду разработанный УС с оригинальными ЭМП без необходимости изменить прошивки.

В целях отладки в компоненты стенда был добавлен жидкокристаллический дисплей LCD1602, подключаемый по шине i2c.

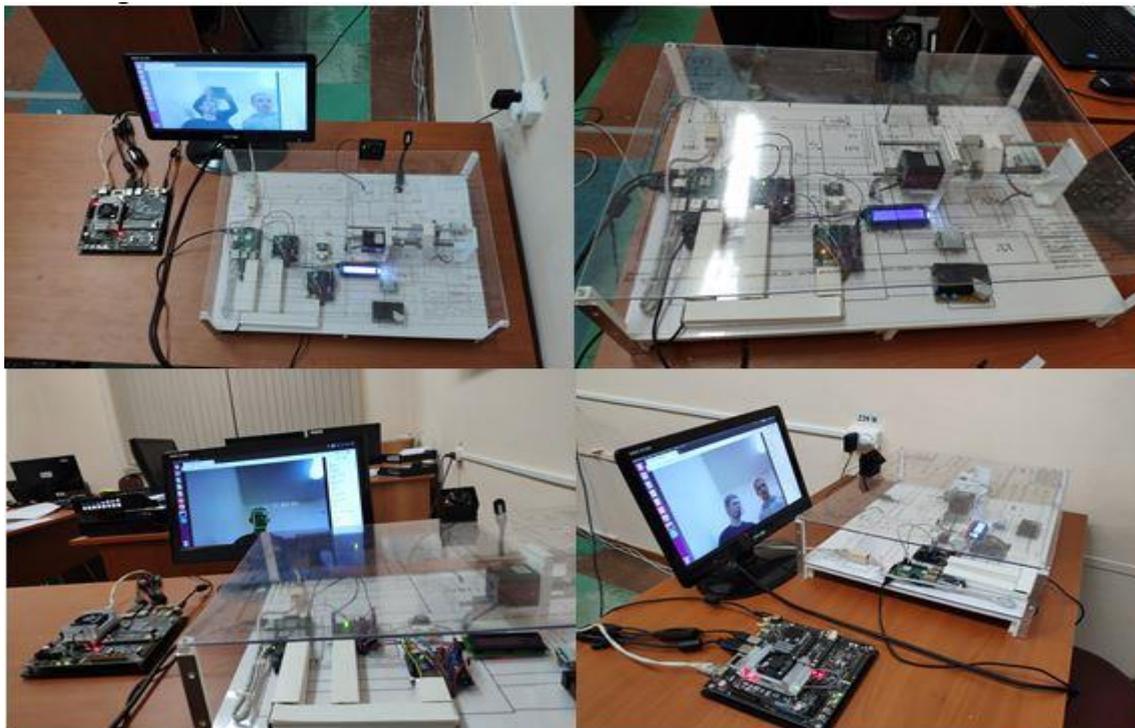


Рисунок 20 – Демонстрационный стенд интеллектуальной СКУД  
В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена математическая модель интеллектуальной СКУД на основе кибернетического подхода для задач доступа ТС на территорию организации и физических лиц в помещении повышенной опасности. Отличительной особенностью математической модели является возможность учитывать и распознавать штатные и нештатные ситуации на охраняемом объекте и вырабатывать управляющие воздействия

2. Предложены структурные схемы интеллектуальной СКУД на основе технологий нечеткого вывода, как с использованием традиционных датчиков, так и с использованием систем компьютерного зрения для технических объектов и физических лиц. Предложенная система является адаптивной и позволяет полностью автоматизировать работу СКУД вне зависимости от внешних условий, что продемонстрировано на реальном примере. Предложенный подход к построению аппаратно-программного комплекса может служить прототипом для разработки других подсистем контроля и управления доступом.

3. Предложен подход, основанный на совместном применении алгоритмов глубоких нейронных сетей и алгоритмов нечеткой логики для обнаружения и распознавания объектов, определения штатных и нештатных ситуаций, принятия решений, который позволяет достигнуть практических приемлемых результатов в режиме реального времени при решении задач контроля и управления доступом.

4. Предложена оригинальная аппаратная платформа, состоящая из универсального набора компонент, достаточных для работы СКУД при минимальном количестве вносимых изменений. Разработано программное обеспечение в среде Python. Аппаратная платформа реализована в виде универсального демонстрационного стенда.

5. Решена задача идентификации транспортного средства и физического лица с использованием глубоких алгоритмов распознавания образов на базе нейронных сетей. Подсистема распознавания лиц показала способность детектировать до 3-х человек в кадре с точностью распознавания 96%.

6. Экспериментально доказана возможность применения исследуемых алгоритмов в составе СКУД для обеспечения контрольно-пропускных функций в системе комплексной безопасности университета. Разработаны алгоритмы и базы знаний нештатных ситуаций интеллектуальной СКУД. Разработанный СКУД ТС был предложен в систему безопасности Университета.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Амосов, О.С., Баена С.Г., Иванов Ю.С., Со Хтайк. Система автоматического управления шлагбаумом с использованием технологий нечеткого вывода и компьютерного зрения / О.С. Амосов, С.Г. Баена, Ю.С. Иванов, Со Хтайк // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/42TVN117.pdf> (доступ свободный).

2. Амосов О.С., Иванов С.Н, Голоколос Д.А, Со Хтайк. Особенности проектирования электромеханических преобразователей для систем комплексной безопасности/ Амосов О.С., Иванов С.Н, Голоколос Д.А, Со Хтайк // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (Новочеркасск). Том 60, №5 (2017)

3. Амосов О.С. Интеллектуальный регулятор для системы контроля и управления доступом предприятия с использованием видеонаблюдения / О.С. Амосов, С.Г. Амосова, Ю.С. Иванов, Со Х // Информатика и системы управления. – 2019. – № 2 (60). – С. 18-35.

4. Amosov O.S, Baena S. G., Ivanov Y. S. and S. Htike, "Roadway Gate Automatic Control System with the Use of Fuzzy Inference and Computer Vision Technologies," 2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Siem Reap, 2017, pp. 707-712. (Scopus, Web of Science)

5. Ivanov S.N., Ulyanov A.V., Soe Htike. "Gearless Electromechanical Drive for Complex Security System of an Organization". 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018. – 2018. – P. 236-280. (Scopus, Web of Science)

6. Amosov O.S, Amosova S. G., Ivanov Y. S. and S. Htike. "Hardware and Software Platform of an Intellectual Access Monitoring and Control System of an Enterprise," 2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Xian , 2019, pp. 707-712. (Scopus, Web of Science)

7. Пат. № 2626798 С1 Российская Федерация, МПК7 В61D 27/00, G05B 13/00, F24H 9/20, H04N 5/225, H04N 5/243. Субоптимальная энергетическая система / О.С. Амосов, Ю.С. Иванов, С.Н. Иванов, С.Г. Баена, Со Хтайк; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т.- № 2016117431; заявл. 04.05.2016; опубл. 01.08.2017. Бюл. № 22. -2 с.

8. Пат. № 2642501,С2 Российская Федерация, МПК H05B 6/10. Интеллектуальный электротепловой привод / О.С. Амосов, Ю.С. Иванов, С.Н. Иванов, С.Г. Баена, Со Хтайк; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т.- № 2016121736; заявл. 01.06.2016; опубл. 25.01.2018. Бюл. № 3. -2 с.

9. Амосов О.С., Баена С.Г., Со Х. Нечеткая система автоматического управления шлагбаумом // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов материалы 46-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. ФГБОУ ВО «КНАГУ» – 2016. – С. 551-554.

10. Со Хтайк. Система автоматизации посещаемости на основе распознавания лиц// Научно-техническое творчество аспирантов и студентов материалы 48-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. ФГБОУ ВО «КНАГУ» – 2017. – С. 560-565.