

# Интеллектуальная система контроля и управления доступом физических лиц

О. С. Амосов<sup>1</sup>, С. Г. Амосова<sup>2</sup>, Ю. С. Иванов<sup>3</sup>

Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
<sup>1</sup>osa18@yandex.ru, <sup>2</sup>svetlana.baena@yandex.ru, <sup>3</sup>ivanov\_ys@icloud.com

**Аннотация.** Рассматривается построение интеллектуальной системы контроля и управления доступом с использованием экспертных систем. Для обнаружения и распознавания объектов наблюдения, штатных и нештатных ситуаций, принятия решений используется нейросетевой и нечеткий подходы. Разработана база знаний системы для определения штатных и нештатных ситуаций с использованием в реальном времени данных с видеокамеры, датчиков давления, движения, освещения, присутствия, дыма и базы данных о возможных объектах, которые потенциально могут появиться в подконтрольном пространстве. В данной системе разработан интеллектуальный блок управления подсветкой для реализации мягкого освещения. Разработано программное обеспечение в среде Python. Даны примеры.

**Ключевые слова:** управление доступом; интеллектуальная технология; экспертная система; нечеткая логика; нейронная сеть; глубинная сеть; растущий нейронный газ; штатная и нештатная ситуация; база знаний

## I. ВВЕДЕНИЕ

При организации систем контроля и управления доступом (СКУД), наиболее распространенным методом идентификации является использование радиочастотных меток RFID [1]. Однако использование только этой технологии обладает рядом недостатков: метка может быть скопирована или украдена злоумышленником; высокая стоимость внедрения и обслуживания; для считывания требуются дополнительные действия. Для повышения надежности, как правило, используют как гибридные технологии, совмещающие в себе радиочастотные метки и методы компьютерного зрения [2], [3], так и подходы, поостренные на видеоаналитике [4]. Интерес представляет создание комбинированной системы, сочетающей технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения для создания интеллектуальной СКУД физических лиц.

**Цель** данной работы – разработать интеллектуальную систему контроля и управления доступом физических лиц с использованием экспертных систем.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания, проектной части № 2.1898.2017/4.6 «Создание математического и алгоритмического обеспечения интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы безопасности вуза».

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимо разработать математическую модель и структурную схему интеллектуальной СКУД. Для обнаружения и распознавания объектов наблюдения, штатных и нештатных ситуаций, принятия решений использовать нейросетевой и нечеткий подходы. Сформировать базу знаний системы для определения штатных и нештатных ситуаций с использованием данных в реальном времени с имеющихся датчиков, производящих мониторинг (видеокамера, датчики давления, датчик движения, датчик освещения, датчик присутствия, датчик дыма, эхо-ответы сервера) и базы данных о возможных объектах, которые потенциально могут появиться в подконтрольном пространстве. Разработать программное обеспечение в среде Python.

### A. Математическая формулировка задачи контроля и управления доступом

Пусть имеется вектор входных управляющих сигналов  $\mathbf{u} = (u_0, \dots, u_7)^T$ , где  $u_0$  – шум,  $u_1$  – направление (открыть или закрыть),  $u_2$  – частота вращения привода,  $u_3$  – управление подсветкой,  $u_4$  – закон управления приводом,  $u_5$  – эхо-запросы,  $u_6$  – уровень доступа,  $u_7$  – сигнал тревоги; вектор выходных сигналов (реакций)  $\mathbf{y} = (y_0, \dots, y_9)^T$ , где  $y_0$  – параметры привода,  $y_1$  – наличие кадра  $\mathbf{I}' = \mathbf{V}(t)$  видеопотока  $\mathbf{V}$  с камеры наблюдения,  $y_2$ – $y_8$  показания датчиков движения, освещения, давления, присутствия, дыма,  $y_9$  – количество человек в кадре и  $n$ –вектор состояний СКУД  $\mathbf{x}$ . Каждый из векторов или матриц принадлежит соответствующему множеству: управлений  $\mathbf{u} \in \mathbb{U}$ , выходных сигналов  $\mathbf{y} \in \mathbb{Y}$ , состояний  $\mathbf{x} \in \mathbb{X}$  и видеопотоков  $\mathbf{V} \in \mathbb{V}$ .  $\mathbb{T}$  – множество моментов времени, тогда  $t \in \mathbb{T}$  – произвольный момент времени.

Необходимо по результатам наблюдений  $\mathbb{Y}$  и состояний  $\mathbb{X}$  выработать необходимые управляющие воздействия  $\mathbb{U}$  на объект управления.

Данную задачу можно представить в виде отображений «вход-состояние»  $F_1: \mathbb{T} \times \mathbb{U} \rightarrow \mathbb{X}$  и «состояние-выход»  $F_2: \mathbb{T} \times \mathbb{U} \times \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{Y}$ , то есть:  $\mathbb{Y}(t) = F_2(F_1(\mathbf{u}(t)))$ .

Тогда необходимо найти отображения  $F_1, F_2$ , определяющие требуемое состояние  $\mathbb{X}$  для обеспечения контроля и управления доступом.

Кроме того, ставится задача по кадру видеопотока определить состояние системы включающее, наличие физического лица (НФЛ), кодового признака (КП), состояние качества кодового признака (СКП) и его значение (ЗКП):  $F_3: \mathbb{V} \rightarrow \mathbb{X}$ . Тогда преобразование  $F_3$  можно представить в виде  $\mathbf{x}_{\text{ФЛ}} = F_3(\mathbf{I}')$ ,  $\mathbf{x}_{\text{ФЛ}} = (x_{\text{НФЛ}}, x_{\text{НКП}}, x_{\text{СКП}}, x_{\text{ЗКП}}^T)^T$ .

Модель СКУД может быть представлена в виде  $\mathbb{Q} = \{\mathbb{X}(t), \mathbb{U}(t), \mathbb{Y}(t), \mathbb{V}(t), F_1, F_2, F_3\}$ . Элементы множества  $\mathbb{Q}$  характеризуют в момент времени  $t$ : состояния  $\mathbb{X}(t)$ ; входные воздействия  $\mathbb{U}(t)$ ; выходные воздействия  $\mathbb{Y}(t)$ ; механизм изменения состояния точки доступа по входным воздействиям  $F_1, F_2, F_3$ .

Предлагается  $F_1, F_2, F_3$  реализовывать с помощью нечеткой логики, нейронных сетей и компьютерного зрения [5]–[6].

### III. ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СКУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

#### A. Структурная схема интеллектуальной СКУД

На рис. 1 представлена СКУД физических лиц.

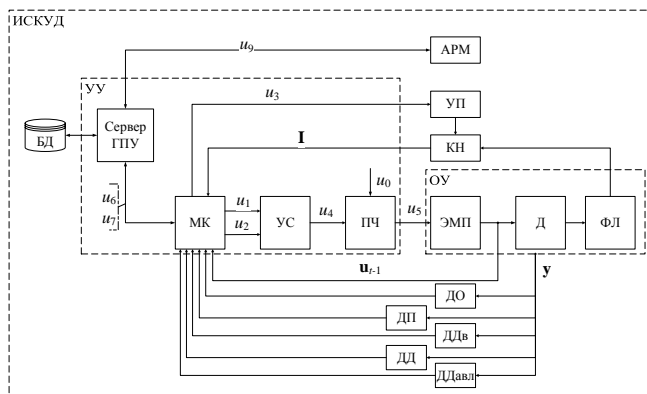


Рис. 1. Интеллектуальная СКУД

На схеме используются обозначения: УУ – устройство управления; сервер ГПУ – графический процессор; МК – микрокомпьютер; УС – устройство сопряжения; ПЧ – преобразователь частоты; ОУ – объект управления; ЭМП – предложенный нами оригинальный электромеханический преобразователь [7]–[9]; 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.

Алгоритм работы системы. Запуск системы из режима «сна» в «активный» режим происходит по фиксации движения с помощью пирозлектрического инфракрасного датчика. Далее система проверяет уровень освещения и с помощью нечеткой логики включается необходимая мягкая подсветка для улучшения видеоизображения при распознавании лица. После установления приемлемого уровня освещения выполняется локализация людей с использованием нейросетевого и нечеткого подходов. Если в кадре видеопотока обнаружены люди, то изображение передается на модуль распознавания лиц. После чего принятие решения о разрешении доступа в помещение регламентируется базой знаний с выработанными утверждениями в той или иной штатной или нештатной ситуации.

#### B. База знаний штатных и нештатных ситуаций

На основе экспертных мнений разработана база знаний интеллектуальной СКУД для определения штатных и нештатных ситуаций. Для базы знаний системы составлено 100 правил, для иллюстрации приведем некоторые из них без уточнения параметров и функций принадлежности.

Штатные ситуации: 1) если зафиксировано движение пирозлектрическим инфракрасным датчиком, то система проверяет уровень освещения; 2) если сумеречно или темно, то необходимо включить соответствующий уровень подсветки; 3) если освещение светлое, то выполняется локализация людей; 4) если в кадре видеопотока обнаружен человек, то изображение передается на модуль распознавания лиц; 5) если человек известен системе и имеет допуск, то срабатывает режим «разрешения»: открыть закрытую дверь со средней скоростью или не изменять состояние открытой двери до выполнения следующей проверки; 6) если человек неизвестен системе, то срабатывает режим «запрещения»: при закрытой двери отправляется сигнал оператору, а при открытой также отправляется команда на закрытие со средней скоростью; 7) если человек известен системе и не имеет допуск, то срабатывает режим «запрещения»: закрыть открытую дверь со средней скоростью и отправить сигнал оператору.

Нештатные ситуации: 1) если в кадре обнаружены несколько человек, то система определяет их уровень доступа; 2) если все в кадре из списка имеющих допуск, то система выполняет режим «разрешения»; 3) если в кадре несколько человек и хотя бы один запрещенный человек, то выполняется режим «запрещения», даже при наличии разрешенных; 4) если обрыв связи с сервером, то выполняется режим «запрещения»: передается сигнал тревоги оператору и дверь закрывается со средней скоростью до восстановления связи с сервером; 5) если сработал датчик дыма внутри помещения и по показанию датчика присутствия в помещении находятся люди, то оператору отправляется сигнал тревоги, запускается пожарная система оповещения, система открывает двери с максимальной скоростью.

Также в системе предусмотрены возможные нештатные ситуации при работе механических частей: 1) если изменились показания датчиков давления, то передается

сигнал тревоги «о взломе» оператору и запускаются начальные правила проверки; 2) если во время открытия возникла небольшая помеха, то система продолжает открытие, увеличивая частоту, т.е. прилагая большее усилие. Однако, если при увеличении частоты/усилия помеха не исчезла, не необходимо выполнить аварийную остановку и подать сигнал оператору; 3) если же помеха такого рода (незначительная) возникла при закрытии двери, то дверь останавливается, меняет направление и выполняет открытие 1 секунду, после чего возвращается в предыдущий режим. За 1 секунду дверь не успеет открыться на расстояние достаточное для проникновения, однако позволит освободить застрявшую/зажатую часть тела. О возникновении такой ситуации незамедлительно извещается оператор.

База правил представлена в виде нечетких «If-then»:

$$R_k : \text{If } \mathbf{y} \text{ is } \mathbf{y}_k, \text{ then } \mathbf{u} \text{ is } \mathbf{u}_k, \quad (1)$$

где  $\mathbf{y}$  – входной вектор для нечеткой системы,  $\mathbf{y}_k = (y_{k1}, \dots, y_{kn})^T$  – нечеткие множества с функциями принадлежности  $\mu_{y_{ki}}(y_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $\mathbf{u}_k = (u_{k1}, \dots, u_{kr})^T$  – нечеткие множества с  $\mu_{u_{ki}}(u_i)$ ,  $k = \overline{1, \lambda}$ ,  $i = \overline{1, r}$ ;  $\lambda$  – общее число нечетких «If-then» правил в базе правил.

Нечеткой системой реализуется (неизвестное) отображение:

$$\mathbf{u}^{(j)} = f(\mathbf{y}^{(j)}) = f(y_0^{(j)}, y_1^{(j)}, \dots, y_n^{(j)}), \quad j = 0, \dots, J, \quad \text{при}$$

наличии обучающего множества  $\{(\mathbf{y}^1, \mathbf{u}^1), \dots, (\mathbf{y}^J, \mathbf{u}^J)\}$ .

#### IV. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФЛ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ НЕЙРОСЕТЕЙ

Идентификация ФЛ по изображению лица разбивается на решение ряда следующих основных подзадач.

##### A. 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 [5]. 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  $\mathbf{I}^1$  и размеры  $w \times h$ . Задача локализации лица человека сводится к нахождению следующего отображения  $f^{Face}: \mathbf{R}^{(1)} \rightarrow \mathbb{F}$ , причем

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

В качестве алгоритма локализации может быть использован алгоритм HOG [10]. Результатом работы алгоритма является матрица  $^{gray}\mathbf{R}^{(2)}$ , содержащая полутоновое изображение лица человека, где каждый пиксель представлен значением яркости от 0 до 255.

##### B. 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  $\mathbf{P}$ . В качестве алгоритма нормализации будем использовать алгоритм, предложенный в [11]. 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  $^*\mathbf{R}^{(2)}$  – 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  $^*\mathbf{R}^{(2)}$  на маску будет возвращать матрицу с минимальной суммой элементов:

$$\tilde{\varrho} = \underset{\varrho}{\operatorname{argmin}} f^{norm}(\varrho, ^*\mathbf{R}^{(2)}, \mathbf{P}) = \sum_{i,j} \left[ \varrho \left( ^*\mathbf{R}^{(2)} \right) \times \mathbf{P} \right] \quad (3)$$

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

##### C. Кодирование изображения лица глубинной 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). В [12] предлагается глубинная архитектура нейронной сети FaceNet, позволяющая описать лицо человека 128-байтовым вектором. Данная модель основана на модели GoogLeNet для классификации изображений [13]. 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  $f^{SVM} : \mathbb{O} \rightarrow \mathbb{B}^{Faces}$ .

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.

## V. ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ ПРИМЕРЫ

На рис. 2 проиллюстрированы правила штатных ситуаций с 1 по 7 и нештатных ситуаций с 1 по 3.

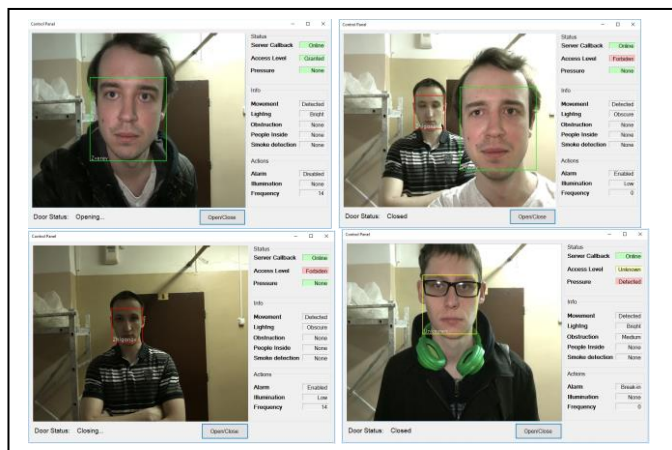


Рис. 2. Иллюстрация работы интеллектуальной СКУД и интерфейса АРМ оператора

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставлена и решена задача разработки интеллектуальной СКУД. Предложено применение глубоких нейронных сетей и нечеткой логики для обнаружения и распознавания лиц, определения штатных и нештатных ситуаций, принятия решений. Предложен подход совместного использования систем нечеткой логики и компьютерного зрения для создания интеллектуальной СКУД физических лиц.

Описана математическая формулировка задачи и модель СКУД.

Предложена структурная схема интеллектуальной СКУД на основе технологий нечеткого вывода, как с использованием традиционных датчиков, так и с использованием систем компьютерного зрения.

Разработана база знаний штатных и нештатных ситуаций. Разработано программное обеспечение в среде Python. Приведены иллюстрирующие примеры работы интеллектуальной СКУД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Li X., Zhang Y., Marsic I., Burd R. S. Online People Tracking and Identification with RFID and Kinect, 2017. arXiv. <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>
- [2] Mohandes M., Deriche M., Ahmadi H., Kousa M., Balghonaim A. An Intelligent System for Vehicle Access Control using RFID and ALPR Technologies, Arab J Sci Eng, 2016. № 41. P. 3521–3530. DOI: 10.1007/s13369-016-2136-0.
- [3] Chung Y.N., Lu T.C., Huang Y.X., Lin C.T., Yu C.C., Li C.K. Applying Image Recognition Technology to Intelligent Security Management Systems // Part of series: AISR. 2015. №: 123. P. 117-120. DOI: 10.2991/aiee-15.2015.33.
- [4] Nardo D. E., Maddalena L., Petrosino A. Video-Based Access Control by Automatic License Plate Recognition // Advances in Neural Networks: Computational and Theoretical Issues. Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Cham. 2015. № 37. P. 103-115.
- [5] Amosov O.S., Ivanov Yu.S., Zhiganov S.V. Human localization in video frames using a growing neural gas algorithm and fuzzy inference // Computer Optics, 2017. 41(1). pp. 46-58. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-46-58.
- [6] Amosov O.S., Baena S.G. The hierarchical approach to designing the Intelligent Information and Telecommunication System for Higher Educational Institution Security // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. pp. 116-119. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970513.
- [7] Amosov O.S., Baena S.G., Ivanov S.I., Kim K.K. Synthesis of a fuzzy control system of drive of integrated security system // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. pp. 345-347. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970580.
- [8] Amosov O.S., Amosova S.G., Ivanov S.N. Automatic access to the premises of increased danger using intelligent electric drive // IEEE International Conference on Applied System Innovation (IEEE ICASI 2018), 2018.
- [9] Пат. РФ № 2017113804 / О.С. Амосов, Ю.С. Иванов, С.Н. Иванов, С.Г. Баена. Автоматизированная пропускная система.
- [10] Dalal N. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, B. Triggs // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005. P. 886–893. DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
- [11] Kazemi V., Sullivan J. One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014. P. 1867-1874.
- [12] Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. P. 815-823.
- [13] Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A. Going deeper with convolutions. Technical Report // arXiv. 2014. <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>.