Проблемы искусственного интеллекта. 2026. N 3 (42). С. 48-58
Problems of Artificial Intelligence. 2026;3(42):48-58.
Искусственный интеллект и машинное обучение
Научная статья

УДК 004.932.2 **DOI** 10.24412/2413-7383-2026-3-42-48-58

А. Д. Ярушин[1], Я. С. Пикалёв[2]
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
283048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б
[1] wolf_ran_i@mail.ru. ORCID: 0009-0004-1925-1157
[2] i@pikaliov.ru. ORCID: 0009-0001-6059-3229

РАЗРАБОТКА МНОГОКАМЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ВИДЕОКОНТРОЛЯ СОХРАННОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

A.D. Yarushin[1], Y. S. Pikalyov[2]
Federal State Budgetary Scientific Institution «Institute of Artificial Intelligence Problems»
283048, Donetsk, Artema str, 118-b
[1] wolf_ran_i@mail.ru. ORCID: 0009-0004-1925-1157
[2] i@pikaliov.ru. ORCID: 0009-0001-6059-3229

DEVELOPMENT OF A MULTI-CAMERA SUBSYSTEM FOR VIDEO MONITORING OF JEWELRY SAFETY

В работе предлагается подсистема контроля сохранности ювелирных изделий, объединяющая нейросетевую детекцию, многокамерный трекинг и логический анализ поведения. Для повышения надёжности применён механизм адаптивного повторного обнаружения в области держателя, а для согласования данных между камерами – сопоставление по признакам внешнего вида. Эксперименты подтвердили эффективность подхода: лучшая модель достигла mAP50=0.915 при частоте 18–22 кадра/с, критически важные нарушения детектируются с точностью 80–100%. Подход демонстрирует превосходство над базовыми решениями и снижение ложных срабатываний.
Ключевые слова: подсистема безопасности, ювелирный магазин, компьютерное зрение, детекция, трекинг, YOLO, ByteTrack.

The paper proposes a jewelry security monitoring subsystem that combines neural network detection, multi-camera tracking, and logical behavior analysis. To enhance reliability, an adaptive re-detection mechanism is implemented in the holder area, and to align data between cameras, appearance features are matched. The experiments demonstrate the effectiveness of the approach, with the best model achieving mAP50=0.915 at a frame rate of 18-22 fps, and critical violations being detected with an accuracy of 80-100%. The approach demonstrates superiority over basic solutions and reduces false positives.
Keywords: security subsystem, jewelry store, computer vision, detection, tracking, YOLO, ByteTrack.

Введение

Ювелирная розница – сложный объект для обеспечения безопасности: высокая стоимость товаров при малых размерах и интенсивный покупательский поток создают благоприятную среду для хищений. Потери ювелирных сетей от краж в торговых залах достигают 3–5% оборота [1]. Традиционные системы видеонаблюдения фиксируют лишь факт перемещения или вскрытия витрин, но не распознают сложные сценарии, такие как передача, сокрытие, подмена, перекладывая аналитику на оператора, что в условиях многокамерного наблюдения неизбежно ведёт к пропускам.

Актуальность обусловлена тремя факторами.

1. Существующие меры (охрана, RFID) ориентированы на постфактум фиксацию, а не на предотвращение хищений в момент их совершения.

2. Коммерческие системы видеоаналитики (Vaion [2], Sensormatic [3]) либо не адаптированы к мелким бликующим объектам, либо не отслеживают перемещения конкретных украшений.

3. В научной литературе отсутствуют комплексные решения, объединяющие нейросетевую детекцию, многокамерный трекинг и логический анализ взаимодействия людей и ювелирных изделий в реальном времени [4–7]. Большинство работ сосредоточено на распознавании действий без привязки к предмету или на супермаркетах с крупными товарами.

Таким образом, существует запрос на интеллектуальную систему, автоматически выявляющую подозрительные сценарии и снижающую нагрузку на оператора.

Научная новизна заключается в разработке архитектуры системы автоматизированного контроля сохранности ювелирных изделий, объединяющей нейросетевую детекцию, многокамерный трекинг и анализ пространственно-временных взаимосвязей объектов, а также в предложении механизмов адаптивного повторного обнаружения при окклюзиях и синхронизации на основе гистограммных признаков.

Цель данной работы заключается в повышении эффективности работы торгового зала ювелирного магазина за счёт применения современных методов и алгоритмов обнаружения и сопровождения объектов видеопоследовательности. Для достижения цели необходимо разработать модель обнаружения ювелирных изделий, алгоритмическую базу подсистемы, спроектировать архитектуру и провести экспериментальную оценку разработанных решений.

Постановка задачи

Пусть в торговом зале установлено C камер. В каждый момент времени t с камеры c_i поступает кадр I_c^t. Требуется построить отображение, определяющее множество людей P^t с их ролями, множество украшений J^t с классами, инвентарную принадлежность украшения к человеку Inv^t и число проданных изделий человеку $Sold^t$. Основная задача системы заключается в построении отображения, которое по последовательности кадров со всех камер определяет положение объектов, их идентичность и состояние инвентаря:

$$f_\theta(I_1^t, \dots, I_C^t) \to (P^t, J^t, Inv^t, Sold^t), \quad (1)$$

где f_θ – нейросетевая модель, которая одновременно решает задачи обнаружения объектов и мультикамерного трекинга.

Основное условие безопасности: каждое украшение должно либо находиться в зоне витрины, либо удерживаться сотрудником, либо быть зарегистрированным как проданное клиенту.

Кража фиксируется при выходе покупателя, если число удерживаемых украшений превышает число оплаченных:

Для реализации отображения (1) подсистема должна обеспечивать:

– детекцию людей и ювелирных изделий на каждом кадре с заданными порогами уверенности;
– устойчивое сопровождение объектов при перекрытиях и временных пропаданиях;
– синхронизацию объектов между камерами с сохранением глобальной идентичности;
– анализ пространственно-временных взаимодействий для распознавания типовых нарушений (передача, возврат, кража, несанкционированный доступ), перечень которых на практике значительно шире и может быть расширен за счёт добавления сценариев силового хищения (ограбление), обнаружения оружия у посетителя, группового отвлечения персонала и иных событий, не рассмотренных в рамках данной работы;
– работу в реальном времени при обработке не менее четырёх видеопотоков с разрешением Full HD.

В рамках настоящего исследования в качестве целевых ориентиров прототипа приняты следующие показатели: полнота обнаружения украшений не менее 0.95, точность не менее 0.90, частота обработки не менее 15 кадров/с на камеру, задержка оповещения о критических нарушениях не более 2 секунд. Данные значения отражают уровень, достигнутый в рамках выполненного макета подсистемы, и являются достаточными для демонстрации работоспособности предложенных алгоритмов в лабораторных условиях; для промышленного внедрения в реальном торговом зале указанные показатели должны быть существенно повышены за счёт расширения обучающей выборки, увеличения разрешения видеопотока и наращивания вычислительных ресурсов.

Экспериментальное исследование стратегий обучения

В рамках работы проведено сравнительное обучение нескольких стратегий модели YOLOv12 [8] на основе собранного датасета из 30 тысяч изображений, включающего пять классов ювелирных изделий со значительной вариативностью форм, размеров и условий съёмки. Это позволило определить наиболее эффективный подход с точки зрения точности, стабильности и вычислительных затрат [9].»

Оценка качества моделей выполняется по комплексу метрик объектной детекции. Precision (точность) характеризует долю верных обнаружений среди всех предсказаний модели; высокая точность снижает число ложных срабатываний. Recall (полнота) показывает долю обнаруженных реальных объектов; высокая полнота минимизирует пропуски целевых объектов. mAP50 – средняя точность при IoU≥0.5, комплексный показатель качества. mAP50-95 – усреднение по десяти порогам IoU от 0.5 до 0.95, оценивает точность позиционирования рамок, что критично для мелких объектов.

Для выбора оптимальной стратегии обучения модели YOLOv12 рассматриваются четыре подхода, различающиеся способом переноса знаний и гиперпараметрами [10].

Заморозка начальных слоёв [11] предполагает фиксацию весов первых 10 слоёв (backbone), отвечающих за извлечение низкоуровневых признаков, с дообучением только головы сети. Это позволяет сохранить универсальные признаки и сократить вычислительные затраты.

Стандартное обучение [12] служит контрольным экспериментом – все слои модели обучаются без заморозки и специальных модификаций. Данный подход требует перенастройки всех слоёв на специфическом датасете.

Увеличение входного разрешения [13] подразумевает использование модели YOLOv12l с увеличенным, относительно остальных методов, размером входных изображений 736×736 пикселей. С целью оценить влияние повышенного пространственного разрешения на точность распознавания мелких объектов за счёт сохранения деталей, теряемых при стандартном сжатии.

Долгое консервативное обучение [14] предполагает использование лёгкой модели yolo12n с оптимизатором SGD [15], [16], минимальной аугментацией и пониженной скоростью обучения в течение 40 эпох, что обеспечивает плавную сходимость и снижает риск переобучения.

Количественные результаты всех экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение метрик качества в различных экспериментах

Эксперимент	FPS	Precision	Recall	mAP 50	mAP 50-95	Время	Качество трекинга, ID switch, ед/час
Заморозка backbone (YOLO12n,640px)	23–25	0,898	0,831	0,886	0,707	6,3	6-7
Стандартное обучение (YOLO12n, 640px)	16–18	0,857	0,803	0,868	0,685	9,5	9-11
Увеличенное разрешение (YOLO12l, 736px)	8–11	0,763	0,694	0,761	0,561	>10	15-20
Долгое консервативное обучение (YOLO12n, SGD, 40 эпох)	18–22	0,906	0,852	0,915	0,735	8,5	2-3

Проектирование подсистемы безопасности

Подсистема построена по модульному принципу. Модуль захвата видео читает поток с IP-камер или файлов. Блок обнаружения выполняет детекцию людей (YOLOv8n [17]) и украшений (дообученная YOLOv12), а также ROI-детекцию [18], [19], – повторный поиск пропавшего украшения в расширенной области держателя.

Модуль синхронизации сопоставляет объекты между камерами по гистограммам, назначает глобальные идентификаторы и управляет состоянием транзакции. Ядро бизнес-логики определяет роли, отслеживает держателя украшений и генерирует события (передача, возврат, кража, вход в служебную зону, отсутствие персонала). Модуль видеозаписи ведёт суточную запись и буферизирует 30 секунд для сохранения инцидентов. Интерфейс обеспечивает отображение 4 камер или одной в полноэкранном режиме, редактор зон и диалоги подтверждения нарушений.

Все события разделяются на три категории по степени критичности. К первой категории (логируемые информационные) относятся появление и исчезновение украшения в зоне повышенного внимания, а также факты передачи и возврата. Ко второй категории (логируемые с сохранением видео) относятся скопление людей у витрины, потенциальная кража с витрины, длительное отсутствие сотрудника, уход сотрудника от клиента с украшением и ROI-детекция. Третья категория (критические с немедленным оповещением) включает кражу при выходе с неоплаченным товаром, несанкционированный доступ в служебную зону и несанкционированный доступ сотрудника к витрине.

Выбор порогов уверенности геометрических критериев взаимодействия и временных констант осуществлялся на основании серии экспериментов. Итоговые значения параметров, обеспечивающие оптимальный баланс точности и полноты, представлены в таблице 2.

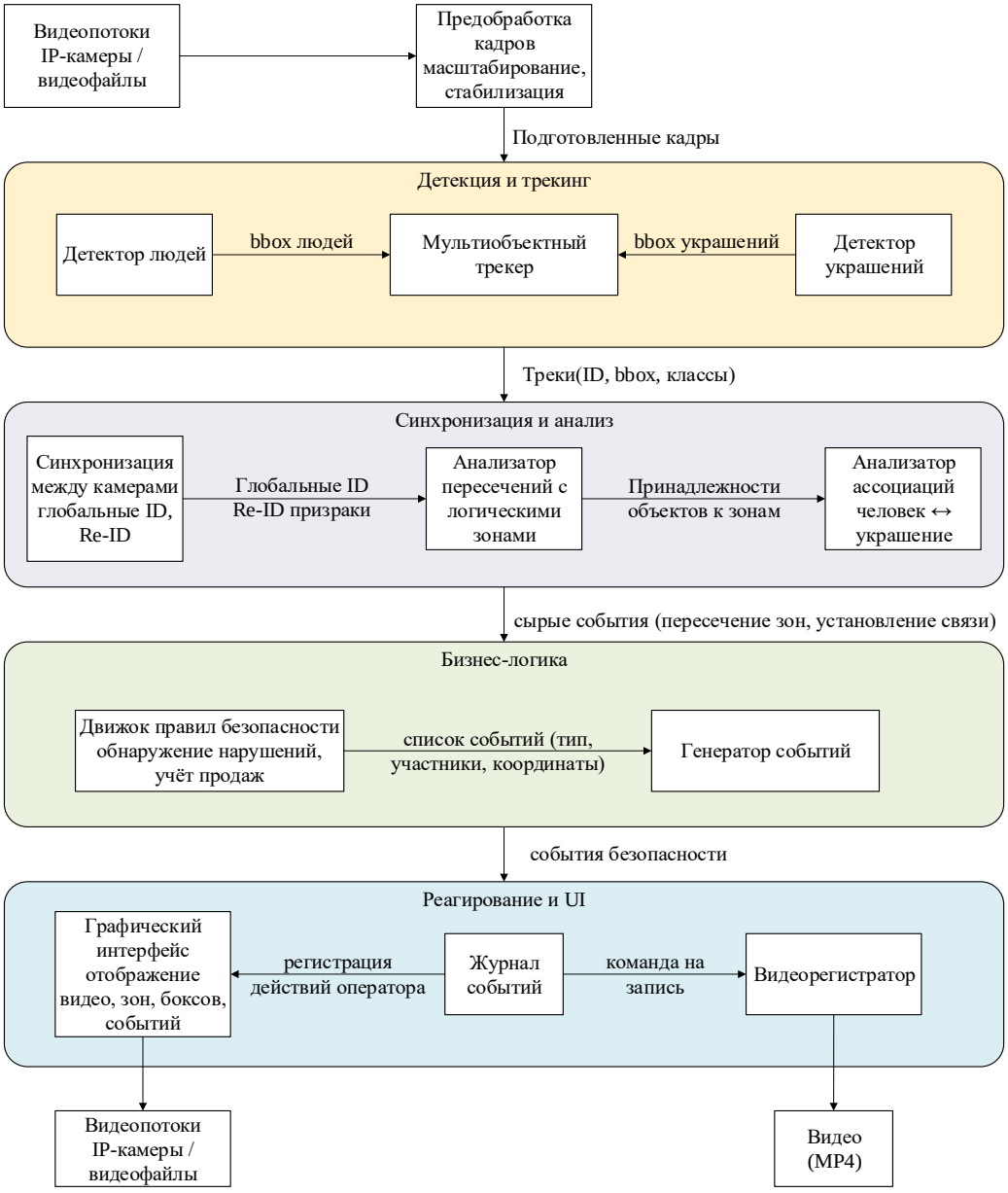


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема видеоаналитеческой подсистемы безопасности

Таблица 2 – Рекомендуемые параметры подсистемы

Параметр	Значение	Описание
person_conf	0.40	Порог уверенности для детекции людей
jewelry_conf	0.30	Порог уверенности для детекции украшений
IoU для контакта	0.5	Минимальная доля пересечения рамок для определения, что украшение у человека

Продолж. табл. 2

proximity_threshold, пикс	150	Максимальное расстояние между центрами рамок для альтернативного определения контакта
GHOST_TTL, с	8	Время отображения пропавшего украшения по последней известной позиции
HOLDER_CONFIRM,кадров	2	Число кадров для подтверждения смены держателя
MAX_UNATTENDED _TIME, с	30	Максимальное время отсутствия сотрудника у клиента без украшения
MAX_UNATTENDED _WITH_JEWELRY, с	15	Максимальное время отсутствия сотрудника у клиента с украшением
ABANDONMENT TIMEOUT, с	5	Время фиксации ухода сотрудника от клиента

Результаты работы системы

Валидация была выполнена на синтезированных видеозаписях, созданных в среде Unreal Engine 5 [20] с четырёх синхронизированных камер (1920×1080, 30 кадров/с). Разработано 10 сценариев, охватывающих нормальное обслуживание и все типы нарушений: вход в зону сотрудников, кража, кросс-камерное перемещение, продажа, ROI-детекция потенциальная кража с витрины, несанкционированный доступ сотрудника, уход сотрудника от клиента, долгое отсутствие сотрудника, скопление у витрин. Пример работы системы представлен в соответствии с рисунком 2.

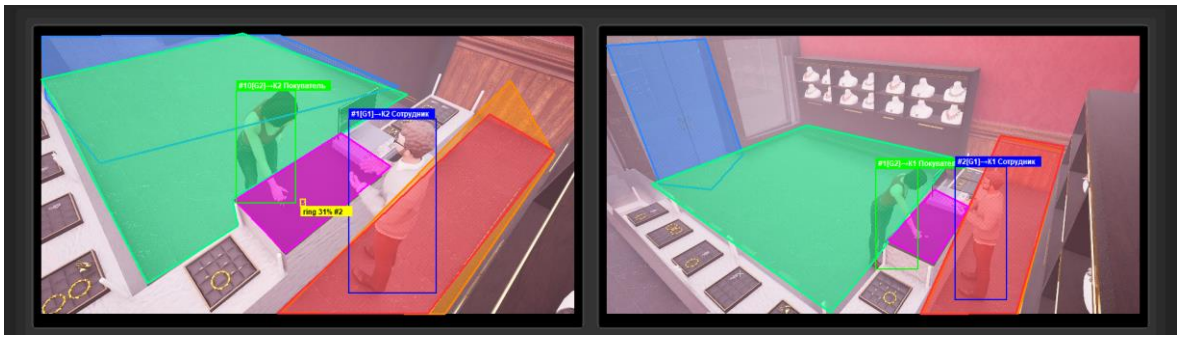


Рисунок 2 – Пример работоспособности программы

Детекция людей достигает mAP=0.93 при скорости 35 FPS. Детекция украшений по основным классам обеспечивает Recall≥0.95 и Precision≥0.90. ROI-детекция с пониженным порогом показывает Recall=0.85. Синхронизация между камерами работает без ошибок: глобальные идентификаторы присваиваются корректно в 100% случаев, задержка переноса состояния между камерами не превышает 500 мс.

Результаты тестирования по десяти сценариям приведены в таблице 3. Критические нарушения – вход в зону сотрудников, кража, несанкционированный доступ сотрудника – детектируются со 100% надёжностью. Для потенциальной кражи с витрины и ухода сотрудника успех составляет 90% и 75%, долгое отсутствие сотрудника – 100%. Наиболее сложным сценарием является детекция потерянного украшения в заданной области интереса (ROI-детекция), которая даёт 70% из-за кратковременных пропаданий. Ложные срабатывания отсутствуют для большинства сценариев и не превышают одного случая из пяти для сложных, что признаётся приемлемым и может быть снижено дополнительной настройкой порогов.

Таблица 3 – Результаты тестирования сценариев безопасности.

№	Тип нарушения	Обнаружено	Ложных срабатываний	Успех, %
1	Вход в зону сотрудников	10/10	0	100
2	Кража (выход с украшением)	10/10	1	90
3	Потенциальная кража с витрины	9/10	2	75

Продолж. табл. 3

№	Тип нарушения	Обнаружено	Ложных срабатываний	Успех, %
4	Несанкционированный доступ сотрудника	10/10	0	100
5	Сотрудник ушёл от клиента	9/10	1	81
6	Долгое отсутствие сотрудника	10/10	0	100
7	Скопление у витрин (>4 чел.)	10/10	1	90
8	Передача украшения сотрудник→клиент	8/10	0	80
9	Возврат клиент→сотрудник	9/10	0	90
10	ROI-детекция потерянного украшения	7/10	0	70

При одновременной обработке четырёх камер (1920×1080, 30 FPS) система обеспечивает частоту обработки каждой камеры 30 FPS, частоту отрисовки интерфейса 55–60 FPS, задержку от кадра до отображения менее 100 мс. Потребление оперативной памяти составляет около 1.2 ГБ, загрузка GPU (GTX 1080 Ti) – 40–60%.

Заключение

В работе предложена подсистема контроля сохранности ювелирных изделий, основанная на совместной обработке видеопотоков с нескольких камер, нейросетевой детекции и логическом анализе поведения. Подход учитывает специфику торгового зала – малые размеры объектов, частые перекрытия и необходимость различения ролей участников – и интегрирует механизмы адаптивного повторного обнаружения в области держателя, а также синхронизацию между камерами на основе гистограммных признаков.

Экспериментально подтверждено, что предложенная архитектура обеспечивает высокую точность детекции: лучшая модель достигает mAP50=0.915 при скорости обработки 18–22 кадра/с. Применение гистерезисной фильтрации смены держателя и настройка временных порогов обеспечивают стабилизацию правил безопасности и снижение числа ложных срабатываний. Критически важные нарушения (вход в зону сотрудников, кража, несанкционированный доступ) детектируются с надёжностью 100%, для сложных сценариев (потенциальная кража с витрины, уход сотрудника от клиента) успех составляет 83%. Комбинирование геометрических критериев взаимодействия с многоуровневой логикой подтверждения обеспечивает преимущество над детекцией на одиночных кадрах как по точности, так и по надёжности. Анализ параметров системы определяет оптимальные соотношения порогов уверенности и временных констант, обеспечивающие баланс между полнотой обнаружения нарушений и устойчивостью к помехам [21-24].

Результаты подтверждают важность согласования данных между камерами и учёта временной динамики при решении задач мониторинга безопасности. В перспективе планируется расширение подхода за счёт анализа жестов и поз человека, интеграции с системами распознавания лиц, а также исследование стратегий обработки окклюзий в условиях высокой плотности посетителей.

Представленные результаты характеризуют выработку концепции, а не готовое к внедрению решение: выбор метода обучения проводился на ограниченном числе эпох и разрешении датасета, тогда как для реальной работы модель потребует существенно более длительного дообучения на данных повышенного разрешения, расширения сценариев (ещё 5–8 типов нарушений, включая ограбление и обнаружение оружия) и увеличения числа камер (минимум 4 на точку + 2 обзорные на входе-выходе). Разработанное решение – пилотный вариант, требующий дальнейшей проверки в реальных условиях торгового зала.

Список источников

1. Чумарин И. Стандарты безопасности и предотвращения потерь в ювелирной торговле. Часть 1. Противодействие уголовным рискам [Электронный ресурс]. 2024. URL: https://www.litres.ru/book/igor-chumarin-328359/standarty-bezopasnosti-i-predotvrascheniya-poter-v-uv-70058161/chitat-onlayn/ (дата обращения: 12.05.2026).
2. Vaion Announces vcam General Availability [Электронный ресурс] // Yahoo Finance. 2020. 30 January. URL: https://finance.yahoo.com/news/vaion-announces-vcam-general-availability-090000671.html (дата обращения: 06.03.2026).
3. Sensormatic Solutions [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: https://www.sensormatic.com/ (дата обращения: 04.03.2026).
4. Varun M. Intelligent Anti-Robbery Surveillance System for Banks and Jewellery Shops using YOLO-based Object Detection and IoT Integration / M. Varun, K. Kumaran, G. Saranya // 2025 8th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). Erode, India, 2025. P. 1705–1711.
5. Thanakrirkphon A. Detection and Tracking Shape-Shifting Gold Necklaces Using Computer Vision Techniques / A. Thanakrirkphon, S. Mruetusatorn // 2024 9th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR). Bangkok, Thailand, 2024. P. 1–7.
6. Yang L. Investigation of You Only Look Once Networks for Vision-based Small Object Detection / L. Yang // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). 2023. Vol. 14, No. 4. P. 69–82. DOI: 10.14569/IJACSA.2023.0140410.
7. Xu W. A Yolo-based object monitoring approach for smart shops surveillance system / W. Xu, Y. Zhai // Journal of Optics. 2023. DOI: 10.1007/s12596-023-01496-0.
8. Хакимов Р. С. К вопросу о разработке системы аннотирования данных для задач компьютерного зрения / Р. С. Хакимов, О. Л. Нижникова, Близно М. В.// Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 3 (34). С. 70–79. DOI 10.24412/2413-7383-2024-3-70-79.
9. Yarushin, A.D. Development of an algorithm for a subsystem for ensuring the safety of jewelry in a trading floor / A.D. Yarushin, T. V. Martynenko // Donbass of the future through the eyes of young scientists: a collection of materials from a scientific and technical conference (Donetsk, November 18, 2025). Donetsk: Donetsk National Technical University, 2025. – Pp. 652-656. – EDN TQNUNI.
10. Николенко, С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурин, Е. Архангельская. СПб.: Питер, 2018. 480 с. ISBN 978-5-4461-0832-2.
11. Устенко В. Ю. Разработка программного комплекса аннотирования данных для задач компьютерного зрения: объектно-ориентированный подход на основе WinForms / В. Ю. Устенко, В. И. Бондаренко // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4 (35). С. 151–163. DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-151-163.
12. Пикалёв Я. С. О нейронных архитектурах извлечения признаков для задачи распознавания объектов на устройствах с ограниченной вычислительной мощностью / Я. С. Пикалёв, Т. В. Ермоленко // Проблемы искусственного интеллекта. 2023. № 3 (30). DOI 10.34757/2413-7383.2023.30.3.004.
13. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с. ISBN 978-5-97060-618-6.
14. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python / Ф. Шолле. СПб.: Питер, 2018. 400 с. ISBN 978-5-4461-0998-5.
15. Чжан, А. Глубокое обучение на Python / А. Чжан, З. Литон, М. Ли. М.: ДМК Пресс, 2021. 682 с. ISBN 978-5-97060-910-1.
16. Губарева Е. А. Сравнение эффективности методов минимизации нулевого и первого порядка в нейронных сетях / Е. А. Губарева, С. И. Хашин, Е. С. Шемякова // Вестник университета. 2022. № 11. С. 48–55. DOI 10.26425/1816-4277-2022-11-48-55.
17. Семенов А. А. Оптимизация обучения нейронных сетей: функции потерь, градиентный спуск и обратное распространение ошибки / А.А. Семенов, К. Р. Аветисян // Проблемы экономики и юридической практики. 2026. № 4. С. 140–148. DOI 10.24412/2224-9133-2026-4-140-148.
18. Курашов С. В. Сравнительный анализ информативности визуальных дескрипторов для классификации состояния дверных проемов в системах ассистивного зрения [Электронный ресурс] / С. В. Курашов, И. И. Маковецкий. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-informativnosti-vizualnyh-deskriptorov-dlya-klassifikatsii-sostoyaniya-dvernyh-proemov-v-sistemah-assistivnogo (дата обращения: 05.04.2026).
19. Ямашкин С. А. Актуализация базы данных репозитория нейросетевых моделей для анализа и прогнозирования развития пространственных процессов [Электронный ресурс] / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина, В. В. Никулин // Огарёв-Online. 2022. Т. 10, № 13. С. 27–35. ISSN 2311-2468. URL: https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/272753 (дата обращения: 01.04.2026).
20. Лямцев О. А. Обзор и проблемы использования глубокого обучения для трехмерной оценки позы человека по одному изображению / О. А. Лямцев, И. И. Максименко // Проблемы искусственного интеллекта. 2025. № 4 (39). С. 49–59. DOI 10.24412/2413-7383-2025-4-39-49-59.

21. Aharon N. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking [Электронный ресурс] / N. Aharon, R. Orfaig, B.-Z. Bobrovsky // arXiv.org. 2022. arXiv:2206.14651. URL: https://arxiv.org/abs/2206.14651 (дата обращения: 19.06.2026).
22. Ultralytics YOLOv8 Documentation [Электронный ресурс] // Ultralytics. 2024. URL: https://docs.ultralytics.com/ (дата обращения: 01.05.2026).
23. Морев К. И. Универсальный генератор признаков для решения задач компьютерного зрения / К.И. Морев // Проблемы искусственного интеллекта. 2026. № 1 (40). С. 75–88. DOI 10.24412/2413-7383-2026-1-40-75-88.
24. Алгоритм генерации синтетических данных для задач дистанционного зондирования на основе Unreal Engine 5 [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. URL: https://cyberleninka.ru/ (дата обращения: 06.06.2026).

References

1. Chumarin I. Safety Standards and Loss Prevention in the Jewelry Trade. Part 1. Countering Criminal Risks [Electronic resource] / I. Chumarin. – 2024. – URL: https://www.litres.ru/book/igor-chumarin-328359/standarty-bezopasnosti-i-predotvrascheniya-poter-v-uv-70058161/chitat-onlayn/ (accessed: 12.05.2026).
2. Vaion Announces vcam General Availability [Electronic resource] // Yahoo Finance. – 2020. – January 30. – URL: https://finance.yahoo.com/news/vaion-announces-vcam-general-availability-090000671.html (date of access: 03/06/2026).
3. Sensormatic Solutions [Electronic resource] // Official website. – URL: https://www.sensormatic.com/ (accessed: 04.03.2026).
4. Varun M. Intelligent Anti-Robbery Surveillance System for Banks and Jewellery Shops using YOLO-based Object Detection and IoT Integration / M. Varun, K. Kumaran, G. Saranya // 2025 8th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). – Erode, India, 2025. – Pp. 1705–1711.
5. Thanakrirkphon A. Detection and Tracking Shape-Shifting Gold Necklaces Using Computer Vision Techniques / A. Thanakrirkphon, S. Mruetusatorn // 2024 9th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR). – Bangkok, Thailand, 2024. – Pp. 1–7.
6. Yang L. Investigation of You Only Look Once Networks for Vision-based Small Object Detection / L. Yang // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). – 2023. – Vol. 14, No. 4. – Pp. 69–82. – DOI: 10.14569/IJACSA.2023.0140410.
7. Xu W. A Yolo-based object monitoring approach for smart shops surveillance system / W. Xu, Y. Zhai // Journal of Optics. – 2023. – DOI: 10.1007/s12596-023-01496-0.
8. Khakimov R. S. On the issue of developing a data annotation system for computer vision tasks / R. S. Khakimov, O. L. Nizhnikova, M. V. Blizno // Problems of Artificial Intelligence. – 2024. – № 3 (34). – Pp. 70-79. – DOI 10.24412/2413-7383-2024-3-70-79.
9. Yarushin, A.D. Development of an algorithm for a subsystem for ensuring the safety of jewelry in a trading floor / A.D. Yarushin, T. V. Martynenko // Donbass of the future through the eyes of young scientists: a collection of materials from a scientific and technical conference (Donetsk, November 18, 2025). – Donetsk: Donetsk National Technical University, 2025. – Pp. 652-656. – EDN TQNUNI.
10. Nikolenko, S. Deep Learning / S. Nikolenko, A. Kadurin, E. Arkhangelskaya. – St. Petersburg: Piter, 2018. – 480 p. – ISBN 978-5-4461-0832-2.
11. Ustenko V. Yu. Development of a software complex for data annotation for computer vision tasks: an object-oriented approach based on WinForms / V. Yu. Ustenko, V. I. Bondarenko // Problems of Artificial Intelligence. – 2024. – No. 4 (35). – Pp. 151–163. – DOI 10.24412/2413-7383-2024-4-151-163.
12. Pikalyov Ya. S. On neural architectures for feature extraction for the task of object recognition on devices with limited computing power / Ya. S. Pikalyov, T. V. Ermolenko // Problems of Artificial Intelligence. – 2023. – № 3 (30). – DOI 10.34757/2413-7383.2023.30.3.004.
13. Goodfellow, Ya. Deep learning / Ya. Goodfellow, I. Bendjio, A. Courville. – Moscow : DMK Press, 2018. – 652 p. – ISBN 978-5-97060-618-6.
14. Scholle, F. Deep learning in Python / F. Scholle. – St. Petersburg : Peter, 2018. – 400 p. – ISBN 978-5-4461-0998-5.
15. Zhang, A. Deep Learning in Python / A. Zhang, Z. Liton, M. Li. – Moscow : DMK Press, 2021. – 682 p. – ISBN 978-5-97060-910-1.
16. Gubareva E. A. Comparison of the effectiveness of zero- and first-order minimization methods in neural networks / E. A. Gubareva, S. I. Hashin, E. S. Shemyakova // Vestnik universiteta. – 2022. – No. 11. – Pp. 48–55. – DOI 10.26425/1816-4277-2022-11-48-55.
17. Semenov A. A. Optimization of neural network training: loss functions, gradient descent, and backpropagation / A. A. Semenov, K. R. Avetisyan // Problems of Economics and Legal Practice. – 2026. – No. 4. – Pp. 140–148. – DOI 10.24412/2224-9133-2026-4-140-148.
18. Kurashov S. V. Comparative analysis of the informativeness of visual descriptors for classifying the state of doorways in assistive vision systems [Electronic resource] / S. V. Kurashov, I. I. Makovetsky. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-informativnosti-vizualnyh-deskriptorov-dlya-klassifikatsii-sostoyaniya-dvernyh-proemov-v-sistemah-assistivnogo (date of access: 04/05/2026).

19. Yamashkin S. A. Updating the database of the repository of neural network models for the analysis and forecasting of spatial processes / S. A. Yamashkin, E. O. Yamashkina, V. V. Nikulin // Ogarev-Online. – 2022. – Vol. 10, No. 13. – Pp. 27-35. – ISSN 2311-2468. – URL: https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/272753 (date of access: 04/01/2026).
20. Lyamtsev O. A. Review and problems of using deep learning for three-dimensional assessment of human posture from a single image / O. A. Lyamtsev, I. I. Maksimenko // Problems of artificial intelligence. – 2025. – No. 4 (39). – Pp. 49–59. – DOI 10.24412/2413-7383-2025-4-39-49-59.
21. Aharon N. BoT-SORT: Robust Associations Multi-Pedestrian Tracking [Electronic resource] / N. Aharon, R. Orfaig, B.-Z. Bobrovsky // arXiv.org. – 2022. arXiv:2206.14651. URL: https://arxiv.org/abs/2206.14651 (accessed: 06/19/2026).
22. Ultralytics YOLOv8 Documentation [Electronic resource] // Ultralytics. – 2024. – URL: https://docs.ultralytics.com / (date of reference: 05/01/2026).
23. Morev K. I. Universal a feature generator for solving computer vision problems / K. I. Morev // Problems of Artificial Intelligence. – 2026. – No. 1 (40). – Pp. 75–88. – DOI 10.24412/2413-7383-2026-1-40-75-88.
24. An algorithm for generating synthetic data for remote sensing tasks based on Unreal Engine 5 [Electronic resource] // CyberLeninka. – URL: https://cyberleninka.ru/ (accessed: 06.06.2026).).

RESUME

A.D. Yarushin, Ya. S. Pikalyov

Development of a multi-camera subsystem for video monitoring of jewelry safety

The object of the research is the process of monitoring the condition of jewelry and the behavior of people in the trading floor for the timely detection of theft. The process takes place in conditions of high dynamics of the customer flow, small size of objects and frequent overlaps. The aim of the work is to increase the effectiveness of product safety control through the use of computer vision methods.

The work uses YOLOv8n neural network detection models to detect people in the frame and a further trained YOLOv12 on a dataset of 30 thousand images for five classes of jewelry. A comparative study of four model learning strategies has been conducted. A modular subsystem architecture has been developed, implemented in Python using OpenCV, Ultralytics, and CustomTkinter.

Long-term conservative training of the YOLOv12n model with the SGD optimizer provided the best metrics: Precision=0.906, Recall=0.852, mAP50=0.915 at 18-22 fps. Experiments on 10 violation scenarios showed that critical events (entry into the employee area, theft, unauthorized employee access to the showcase) are detected with 100% reliability; complex scenarios are detected with an accuracy of 83%. Synchronization between the cameras works without errors, the delay in transferring the state does not exceed 500 ms. The system processes four cameras with a delay of less than 100 ms with a GPU load of 40-60%.

The developed subsystem provides automated control of jewelry safety with high levels of accuracy and productivity. The proposed architecture can be integrated into the existing video surveillance infrastructure. In the future, it is planned to expand the approach through the analysis of human gestures and poses, integration with facial recognition systems and occlusion processing.

РЕЗЮМЕ

А.Д. Ярушин, Я. С. Пикалёв

Разработка многокамерной подсистемы видеоконтроля сохранности ювелирных изделий

Объектом исследования является процесс мониторинга состояния ювелирных изделий и поведения людей в торговом зале для своевременного выявления хищений. Процесс протекает в условиях высокой динамики покупательского потока, малых размеров объектов и частых перекрытий. Целью работы является повышение эффективности контроля сохранности товаров за счёт применения методов компьютерного зрения.

В работе использованы нейросетевые модели детекции YOLOv8n – для детекции людей в кадре и дообученная YOLOv12 на датасете из 30 тысяч изображений по пяти классам ювелирных изделий. Проведено сравнительное исследование четырёх стратегий обучения модели. Разработана модульная архитектура подсистемы, реализованная на Python с использованием OpenCV, Ultralytics и CustomTkinter.

Долгое консервативное обучение модели YOLOv12n с оптимизатором SGD обеспечило наилучшие метрики: Precision=0.906, Recall=0.852, mAP50=0.915 при скорости 18–22 кадра/с. Эксперименты на 10 сценариях нарушений показали: критически важные события (вход в зону сотрудников, кража, несанкционированный доступ сотрудника к витрине) детектируются со 100% надёжностью; сложные сценарии – с точностью до 83%. Синхронизация между камерами работает без ошибок, задержка переноса состояния не превышает 500 мс. Система обрабатывает четыре камеры с задержкой менее 100 мс при загрузке GPU 40–60%.

Разработанная подсистема обеспечивает автоматизированный контроль сохранности ювелирных изделий с высокими показателями точности и производительности. Предложенная архитектура может быть интегрирована в существующую инфраструктуру видеонаблюдения. В перспективе планируется расширение подхода за счёт анализа жестов и поз человека, интеграции с системами распознавания лиц и обработки окклюзий.

Ярушин Александр Дмитриевич – инженер-программист лаборатории интеллектуальных систем и анализа данных, ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта», 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, wolf_ran_i@mail.ru. *Область научных интересов:* системы распознавания образов, нейронные сети, системы охраны на основе видеозрения. ORCID: 0009-0004-1925-1157.

Пикалев Ярослав Сергеевич – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем и анализа данных, ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта», 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, телефон +7 (949) 428-73-88, i@pikaliov.ru. *Область научных интересов:* цифровая обработка сигналов, анализ данных, распознавание образов, обработка естественного языка, компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети. ORCID: 0009-0001-6059-3229.

Yarushin Alexander Dmitrievich – software engineer at the Laboratory of Intelligent Systems and Data Analysis, Federal State Budgetary Scientific Institution “Institute of Artificial Intelligence Problems”, 283048, Donetsk, Artema St, 118b, wolf_ran_i@mail.ru. Research interests: pattern recognition systems, neural networks, video-based security systems. ORCID: 0009-0004-1925-1157.

Pikalyov Yaroslav Sergeevich– Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Intelligent Systems and Data Analysis, Federal State Budgetary Scientific Institution “Institute of Artificial Intelligence Problems”, 283048, Donetsk, Artema St., 118b,, phone +7 (949) 428-73-88, i@pikaliov.ru Research interests: digital signal processing, data analysis, image recognition, natural language processing, computer vision, machine learning, neural networks. ORCID: 0009-0001-6059-3229.

Статья поступила в редакцию 09.04.2026;
одобрена после рецензирования 15.05.2026; принята к публикации 02.09.2026
The article was submitted 09.04.2026; approved after reviewing 15.05.2026;
accepted for publication 02.09.2026.