

Интеграция ИИ в электронные системы для специальных задач. Новые способы дистанционного контроля с помощью РЭА

Надежда Ласорла

До широкого применения методов искусственного интеллекта для обработки слабых и зашумлённых сигналов использовались аналоговые и цифровые методы, включая усиление, фильтрацию, демодуляцию и аналого-цифровое преобразование. С развитием методов машинного обучения и генеративных моделей появились дополнительные возможности для восстановления и повышения разборчивости сигналов, содержащих полезную информацию. В статье рассмотрены два подхода к получению информации с использованием электронных средств: регистрация акустических вибраций и анализ отражённых радиосигналов различных частот в жилых помещениях. Также рассмотрены особенности соответствующих методов обработки сигналов и ограничения их применения.

Введение

Для определения местонахождения человека в жилом помещении сегодня не всегда требуется непосредственное визуальное наблюдение. Современные электронные системы позволяют получать информацию о положении и перемещении человека с помощью радиочастотных, акустических и других датчиков. В отличие от традиционного визуального наблюдения, такие системы могут работать автоматически и обеспечивать непрерывный сбор данных в пределах зоны действия датчиков. Полученная информация может использоваться для определения положения человека, характера его перемещений и других параметров в зависимости от возможностей конкретной системы.

Использование свойств MEMS-микрофонов при контроле через стены

Новые алгоритмы искусственного интеллекта применяются для преобразования отражённых сигналов. В ПК, ноутбуках, электронных планшетах, смарт-часах и многих других устройствах, особенно тех, в которых предусмотрены функции записи звука, используются встроенные микрофоны. Привычное название «электретные» (конденсаторные) микрофоны постепенно уступает более современному обозначению – MEMS-микрофоны. К ним относятся, например, востребованные разработ-

чиками радиоэлектронной аппаратуры изделия STMicroelectronics, Knowles (Synaptics), TDK InvenSense и Vesper (Qualcomm). Эти устройства представляют собой микромеханические датчики, в которых звуковое давление вызывает перемещение чувствительной мембраны, а её механические колебания преобразуются в электрический сигнал.

Микрофоны в сотовых телефонах – усовершенствованные устройства относительно прообраза советского конденсаторного микрофона МКЭ-3 (рис. 1). По частотной характеристике такой микрофон несколько срезает низкие частоты (НЧ), но в этом и польза – так отсекаются шумы НЧ, в частности фон с частотой 50 Гц от работающих повсеместно потребителей электроэнергии. А «подъём» частотной характеристики в области ВЧ, наоборот, делает записанную речь естественной. Питается микрофон от источника с напряжением 1,5–5 В при токе потребления



Рис. 1. Электретный микрофон МКЭ-3, являющийся по принципу работы сенсора прообразом современных миниатюрных микрофонов в сотовых телефонах

до 0,2 мА. Динамические микрофоны имеют иные характеристики, но, кроме высококачественной аудиоаппаратуры, в бытовых условиях почти не применяются. Наоборот, давно получили распространение беспроводные микрофоны на основе электретных или конденсаторных аудиодатчиков (рис. 2).

Кроме прямого своего назначения, любые микрофоны, динамические излучающие звук головки (капсюли), в том числе пьезоэлектрические, работают как излучатели сигналов. Сигналы нужно лишь уловить и дешифровать, а иногда и восстановить по обрывочным данным – для этого и применяют новые алгоритмы ИИ.



Рис. 2. Микрофоны в устройствах беспроводной передачи



Рис. 3. Вид на плату приёмника FM-диапазона частот

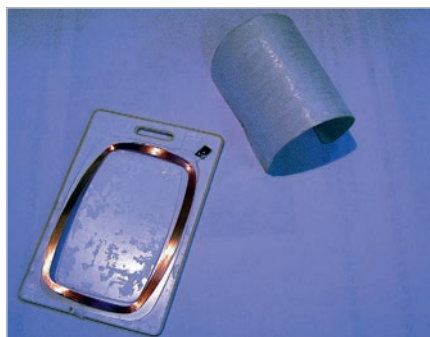


Рис. 4. Карта доступа в разрезе

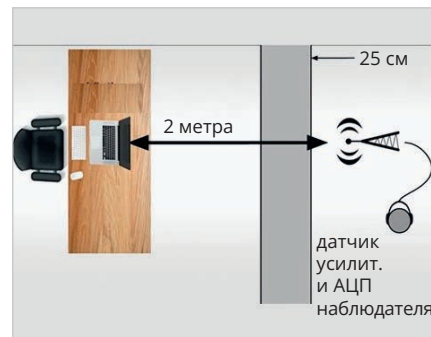


Рис. 5. Способ дистанционного негласного съёма информации через стену

Кроме того, излучающими антеннами являются незранированные соединительные кабели (в том числе в системе соединения Ethernet), причём чем длиннее кабель, тем больше излучения, микрофоны и даже клавиатура ПК – все эти средства кроме прямой функции работают по принципу антенны.

Любая вибрация, в том числе голос человека, способствует изменению микромагнитного поля. Микрофон улавливает эти акустические колебания и посредством электронного усилителя преобразует их в электрический ток. Затем по цепочке, в зависимости от конечного функционала устройства, могут применяться акустические частотные фильтры, модуляторы сигнала и аналого-цифровые преобразователи (АЦП) для формирования сигналов в цифровой вид, а это уже позволяет обрабатывать его алгоритмами ИИ, а также с помощью сопоставления с базами данных выявлять (анализировать) особенности и даже создавать новый контент. К примеру, электромагнитные излучения от микрофона улавливаются с помощью недорогого FM-приёмника и антенны – даже сквозь стены [8]. Плата с элементами простого радиоприёмника сигналов в частотном диапазоне FM представлена на рис. 3.

Любая акустическая информация связана с колебаниями воздуха, излучением гармоник и акустического фона определённой частоты. Даже типичная карта доступа, транспортная или банковская (рис. 4) – всё, что имеет намотку в любой форме, является антенной и элементом передачи данных.

Чтобы активировать такой способ слежения, достаточно создать магнитное поле, действующее на индуктивную обмотку-антенну. При звуковом воздействии, к примеру раз-

говоре человека, отражённое антенной магнитное поле относительно спокойного фона акустической тишины изменяется. И эти изменения улавливают устройства дистанционного контроля.

Даже чипы, встроенные в пластиковую и привычную всем банковскую карту, можно использовать как антенну, отражающую воздействующие на неё акустические или механические вибрации.

Для успешного результата применения таких способов необходимы лишь специальная электронная техника, создающая магнитное и электрическое поле на расстоянии в нескольких метрах от объекта съёма информации, и в её составе электронные устройства, улавливающие и демодулирующие отражённый антенной сигнал с выделением его алгоритмами ИИ относительно прочих сигналов шумового фона. Подобные устройства стали использоваться в арсенале специальных подразделений правоохранительных органов ещё 15 лет назад. С развитием технологий и Интернета таких устройств будет всё больше, а технологии будут усовершенствованы, в том числе для съёма информации на более дальних расстояниях от объекта.

Современные технические средства позволяют осуществлять дистанционный сбор различных типов цифровой информации. В зависимости от используемой системы могут анализироваться сетевой трафик, данные с компьютеров и мобильных устройств, аудиосигналы и изображения. Полученные данные могут автоматически обрабатываться, сохраняться и передаваться по каналам связи. Возможности и способы работы таких систем зависят от используемого оборудования, программного обеспечения и параметров сетевой инфраструктуры.

Сигналы PDM в оцифрованном виде импульсов прямоугольной формы являются основой акустической информации, передающейся затем на расстояние. В приёмном устройстве эти сигналы демодулируются.

На практике с помощью генеративного ИИ от OpenAI уже добились точности распознавания произнесённых цифр до 94,2% с расстояния 2 метров сквозь бетонную стену толщиной 25 см. Ошибка транскрипции составила всего 6,5% (рис. 5). На иллюстрации показан способ негласного съёма информации лицом, находящимся в соседнем помещении.

Уязвимость характерна для цифровых MEMS- и PDM-микрофонов, но может быть устранена на системном уровне с помощью надлежащего экранирования [2]. Экранирование кабелей, сокращение их длины и использование технологии синхронизации с расширенным спектром (Spread-Spectrum Clocking) заметно снижают риск утечек. Также помогает минимальное изменение тактовой частоты обработки аудио.

ИИ как инструмент отслеживания в других сферах

MammAlps явился первым в своём роде мультимодальным видео-датасетом, фиксирующим поведение диких млекопитающих. Его разработали учёные из швейцарской высшей технической школы в Лозанне (EPFL).

Такой способ дистанционного контроля может стать поворотным моментом в мониторинге дикой природы, обеспечив экологов, биологов и специалистов по ИИ новой платформой для анализа поведения животных в естественной среде [3].

Устройство интегрировано в систему с банком данных высококачественной коллекции видеозаписей,



Рис. 6. Фиксация с помощью электронной фотоловушки действий животного в естественных условиях с последующим анализом посредством алгоритмов интегрированного в РЭА генеративного ИИ

на которых зафиксировано поведение диких животных в реальной среде. MammAlps с ИИ также предназначен для обучения ИИ-систем задачам распознавания видов и паттернов поведения, облегчая дальнейшее дистанционное автоматическое наблюдение и анализ.

Фотоловушки, являющиеся одним из традиционных средств автоматической фиксации событий, могут формировать большие объёмы неструктурированных видеоданных, обработка которых вручную требует значительных временных и трудовых затрат. Методы искусственного интеллекта позволяют автоматизировать анализ таких данных. С использованием обучающих выборок и накопленных баз данных алгоритмы могут обнаруживать и классифицировать объекты, выделять значимые события и отфильтровывать видеоматериалы, не содержащие интересующих признаков. Поэтому технологии искусственного интеллекта являются перспективным инструментом автоматизированной обработки данных, получаемых с помощью фотоловушек.

С помощью электронных датчиков различного назначения алгоритмы машинного обучения могут распознавать как отдельные движения объекта, так и более общие поведенческие паттерны. Поведение животных может анализироваться на двух уровнях: от определения общих действий, таких как приём пищи или игровая активность, до выделения отдельных элементов поведения. На детальном уровне могут анализироваться перемещения, движения конечностей,

уход за шерстью и другие характерные действия.

С учётом погодных условий и активности людей и животных дополнительным смыслом стало создание пространственных карт в цифровой форме, отражающих особенности местности, такие как источники воды, кустарники и скальные образования.

В процессе испытания исследователи установили 9 фотоловушек с электронными видеокамерами и пирозлектрическими датчиками движения, за несколько недель записали полсотни часов видеоматериала. Примерно 8,5 часов видеопотока с аудиозаписями сопровождения в ситуациях, наиболее насыщенных взаимодействием животных с окружающей средой, выбраны для дальнейшего исследования и предсказания поведения животных в ситуациях угроз или, наоборот, адекватного биологического равновесия в природе [3]. В условиях изменения климата и антропогенных факторов такие инновации весьма полезны для безопасности экосистем.

До появления системы MammAlps для мониторинга животных применялись традиционные методы, включая непосредственное наблюдение и использование носимых электронных датчиков. Носимые датчики позволяют получать данные о перемещении и отдельных параметрах активности животных, однако их применение может быть связано с определёнными ограничениями. В частности, установка датчика требует доступа к животному, а набор регистрируемых параметров зависит от конструкции устройства. Кроме того, такие системы могут обеспечивать наблюдение только за животными, оснащёнными соответствующими датчиками.

Теперь с помощью ИИ развивается обновлённый стандарт в наблюдении за дикой природой с охватом более широкого спектра дистанционного контроля параметров, что позволяет анализировать события в динамике, следовательно, с большой долей вероятности предсказывать их при прочих равных условиях ситуаций.

Таким образом уже анализируют сложные эпизоды «натуральной жизни», к примеру, как человек-агрессор действует при нападении на свою жертву или оппонента, как волк пре-

следует оленя или лань и в других случаях (рис. 6).

Индивидуальные электронные устройства как возможные средства шпионажа

Известны методы передачи данных между электронными устройствами с использованием акустического или ультразвукового диапазона частот. В качестве передающего элемента может использоваться встроенный громкоговоритель компьютера или другого устройства, а для приёма сигнала – микрофон, например, встроенный в смартфон или smart-часы. При наличии соответствующего программного обеспечения такая система способна преобразовывать цифровые данные в акустический сигнал и передавать их по беспроводному каналу на небольшое расстояние. Возможность применения этого метода определяется характеристиками используемых динамиков и микрофонов, частотным диапазоном и уровнем окружающего шума.

Человеческое ухо воспринимает ограниченный диапазон частот, который принято называть звуковым диапазоном. Для здорового человека молодого возраста условно принимается диапазон от 20 Гц до 20 кГц, при этом верхняя граница слышимости индивидуальна и обычно снижается с возрастом.

Электронные акустические преобразователи, включая громкоговорители и микрофоны, могут работать в диапазоне частот, отличающемся от диапазона наилучшей чувствительности человеческого слуха. В частности, некоторые устройства способны воспроизводить или регистрировать сигналы за пределами слышимого диапазона. Эта особенность может использоваться в системах акустической передачи и обработки данных.

Например, электрическая сеть переменного тока с номинальным напряжением 230 В в большинстве европейских стран работает на частоте 50 Гц. Электрические устройства могут создавать акустические и механические колебания на этой частоте и её гармониках, поэтому рядом с некоторыми мощными потребителями электроэнергии может быть слышен низкочастотный гул. Однако его частота и интенсивность зависят от конкретного оборудования и условий экс-

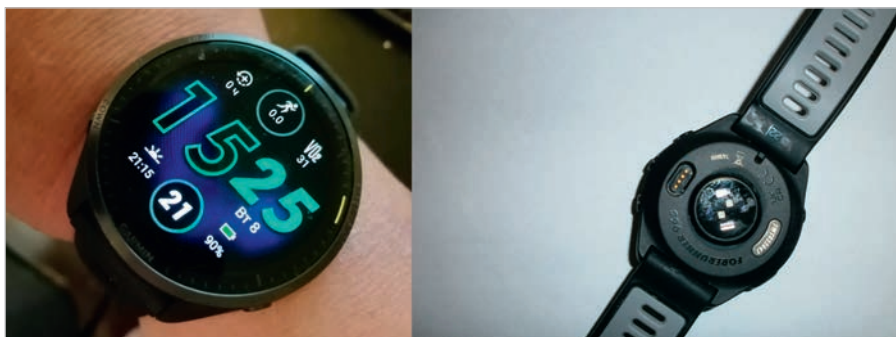


Рис. 7. Умные часы на руке пользователя ПК (слева) и вид с тыльной стороны (справа)

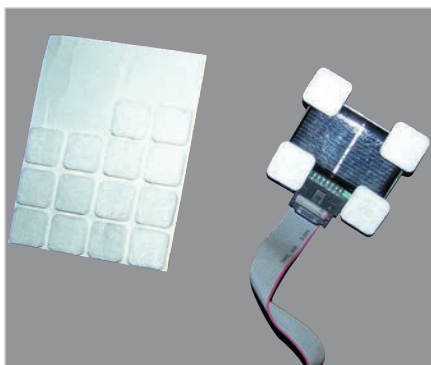


Рис. 8. Электронный модуль с питанием от фотоэлектрического (солнечного) элемента с чувствительным микрофоном-датчиком сбора информации от микровибраций стекла



Рис. 9. Способ установки датчика сбора информации на окне

плуатации. Рассматриваемый сценарий наблюдения предполагает, что злоумышленник заранее устанавливает вредоносное ПО на компьютер и затем либо приближается к нему с умными часами, либо использует для этой цели подставное лицо. Возможен и более хитрый вариант: часы временно похищаются или изымаются, к примеру, во время ночного сна, заражаются и возвращаются [3]. На рис. 7 показаны умные часы на руке пользователя ПК (слева) и вид с тыльной стороны (справа).

Распространённые многофункциональные смарт-часы и совместимые с ними модели других производителей, помимо функций отображения времени, регистрации физиологических параметров и определения местоположения, могут выполнять сбор, хранение и передачу пользовательских данных. Набор таких функций зависит от конкретной модели, используемых датчиков, настроек устройства и подключённых сервисов.

Для синхронизации времени и передачи данных смарт-часы могут использовать различные каналы связи, включая Wi-Fi, Bluetooth и мобиль-

ные сети. Некоторые модели способны получать информацию о точном времени через подключённый смартфон или сетевые сервисы. При наличии соединения данные, собранные устройством, могут синхронизироваться с сопряжённым смартфоном и облачной инфраструктурой производителя в соответствии с настройками пользователя и политикой соответствующего сервиса.

Современные смарт-часы могут оснащаться датчиками для регистрации частоты сердечных сокращений, оценки уровня физической активности, определения местоположения и других параметров. Отдельные модели также имеют микрофон и поддерживают функции записи или обработки звука. Возможность дистанционного управления конкретными функциями, а также состав передаваемых данных определяются аппаратной конфигурацией устройства, установленным программным обеспечением и предоставляемыми производителем сервисами.

Некоторые модели смарт-часов способны автоматически собирать и передавать данные о местоположении, физической активности и других параметрах в зависимости от установленного программного обеспечения и настроек пользователя. Передача дан-

ных может выполняться в фоновом режиме и не сопровождаться заметными для пользователя уведомлениями при каждом отдельном сеансе синхронизации.

Доступ к настройкам и собранным данным обычно регулируется механизмами аутентификации и разрешений операционной системы. Возможность изменения этих параметров зависит от конкретной модели устройства, используемого приложения и настроек безопасности. Поэтому для оценки потенциальных рисков необходимо учитывать как аппаратные возможности устройства, так и установленное программное обеспечение и предоставленные ему разрешения.

Применение технических средств для получения информации может требовать физического доступа к устройству, специального оборудования или определённой квалификации. Такие средства используются в различных областях для регистрации, передачи и анализа данных. Их применение в рамках специальных мероприятий осуществляется уполномоченными организациями в соответствии с установленными законодательством требованиями.

Среди технических средств получения информации по-прежнему востребованы компактные устройства, допускающие оперативную установку и демонтаж. Их характеристики, способы размещения и каналы передачи данных определяются конкретным назначением и условиями эксплуатации.

На рис. 8 показан вид электронного модуля с питанием от фотоэлектрического (солнечного) элемента с чувствительным микрофоном-датчиком съёма информации от микровибраций стекла. Имеет микрофон, датчик вибрации и миниатюрную видеокамеру. Датчик моментально устанавливается с внешней стороны окна на липкой основе в четырёх точках. Передача данных в постоянном режиме организована (по выбору и опционально) через радиоканал FM, Wi-Fi или на радиочастоте в зашифрованном виде. Электронный модуль расширен для установки съёмного аккумулятора, необходимого для устойчивой передачи данных в условиях малой солнечной активности, например, ночью.

На рис. 9 показан способ установки электронного датчика съёма информации непосредственно на окне.

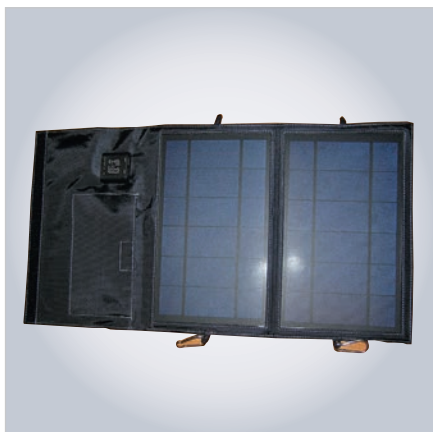


Рис. 10. Быстроустанавливаемый модуль питания специализированных устройств от солнечной энергии

По способу размещения такие радиоэлектронные системы относятся к внешним датчикам, устанавливаемым вне контролируемого устройства или объекта. В состав системы могут входить источники электромагнитного излучения, формирующие сигнал на определённой частоте, а также приёмные устройства для регистрации изменений характеристик электромагнитного поля или отражённого сигнала.

Принцип работы такой системы заключается в формировании и регистрации электромагнитных сигналов и последующем анализе полученных данных. Конкретные характеристики системы определяются частотой работы, параметрами передатчика и приёмника, условиями распространения сигнала и алгоритмами обработки данных.

С помощью передатчика принудительно создаётся радиочастотный или магнитный фон, воздей-

ствующий на площади до 25–30 м² в помещении (мощность специальных устройств может быть разной). Другая часть электронной системы улавливает микроколебания – изменения в динамике созданного фона (относительно сигнала «аудиотишины» в помещении, принятого за ординарный фоновый сигнал), усиливает их, отфильтровывает полезный сигнал, преобразует его в цифровой вид, далее с помощью алгоритмов ИИ воссоздаёт слова или фразы в потоковом ключе. Современные устройства и РЭА уже достигли такого уровня, что могут улавливать и усиливать даже крайне незначительные слабые сигналы (изменение фона) от человека, в том числе звуки его дыхания.

Для обеспечения бесперебойного и в особых случаях устойчивого функционирования специальных электронных устройств применяют мощные модули питания от источника солнечной энергии. Они быстро монтируются и демонтируются, имеют плоский вид (рис. 10). Выходная мощность показанного модуля до 10 Вт при максимальном токе до 4 А. На практике применяют устройства аналогичного назначения и других моделей.

Определение движущегося объекта с помощью вибраций и отражённого сигнала 2,4 ГГц

Ранее журнал «Современная электроника» сообщал о перспективных разработках в области сейсмического мониторинга, основанных на анализе изменений фонового уровня и динамики отражённых сигналов в диапазоне частот 2,4 ГГц.

Три года назад специалисты концерна «Созвездие», входящего в состав «Росэлектроники», разработали отечественное цифровое устройство сейсмического мониторинга [5].

В состав комплекса радиоэлектронной аппаратуры входят электронный датчик размером до 20 см, электронный модуль, антенны и программное обеспечение, совместимое с операционными системами различных типов, включая мобильные платформы. Согласно приведённым характеристикам радиус действия антенны составляет до 10 км, при этом система может обеспечивать взаимодействие с 50–70 датчиками. Дальность эффективной работы одного датчика составляет до 400 м [6]. Разработка была отмечена золотой медалью Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед».

Совместное использование датчиков, беспроводных сетей и алгоритмов цифровой обработки сигналов расширяет возможности дистанционного мониторинга. При этом конкретные возможности обнаружения и классификации событий определяются характеристиками датчиков, расстоянием до объекта, условиями распространения сигнала, уровнем помех и используемыми алгоритмами обработки данных.

Обнаружение движущихся людей за стенами без использования видеокамер и LiDAR-систем не является новой технологией. В 2013 году исследователи Массачусетского технологического института представили метод обнаружения людей с использованием радиосигналов, распространяющихся через стены. В 2018 году были представлены усовершенствованные варианты подобных систем [9]. Такие методы основаны на анализе изменений характеристик радиосигнала, возникающих при движении человека, и не требуют формирования обычного оптического изображения.

При изменениях в динамике фона, создаваемого несущими сигналами роутера Wi-Fi (в частотном канале 2,4 ГГц), модуляция 1024-QAM даёт условный прирост скорости передачи данных на 25–30%. А запатентованная технология Smart Antenna даёт увеличение радиуса покрытия до 30%. Технология целевого времени пробуждения (Target Wake Time, TWT) обеспечивает экономию заряда

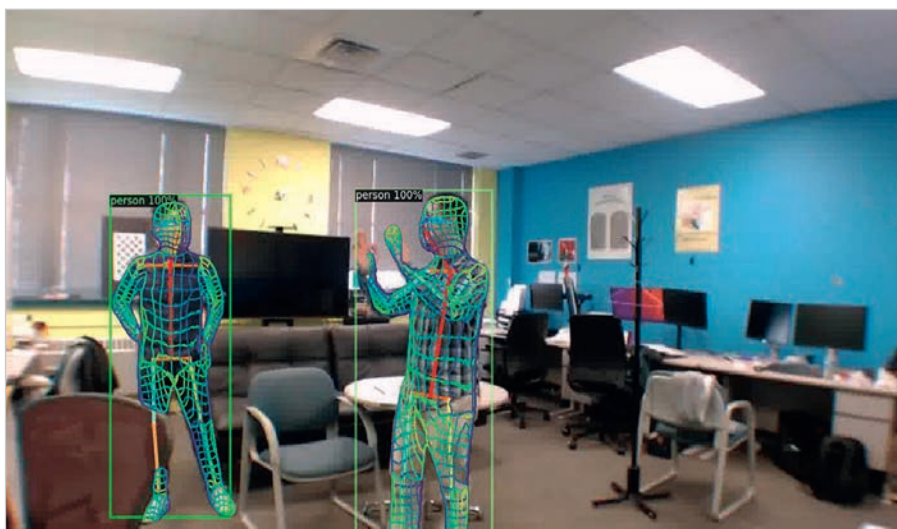


Рис. 11. Иллюстрация оценки позы объекта по отражённому сигналу Wi-Fi

элементов питания, что крайне важно для устройств (в том числе портативных) IoT, особенно когда данные передаются в канал ограниченными сериями. Рисунки 12–14 иллюстрируют, как алгоритм может оценить позу, используя сигнал Wi-Fi в сценариях с окклюзией и несколькими людьми.

На рис. 11 показана иллюстрация определения людей в помещениях при «сканировании» из соседнего помещения. Картина моделирована с помощью алгоритмов ИИ после обработки цифровых потоковых данных, полученных в динамике изменения фона генерации Wi-Fi в конкретном помещении, то есть на основе отражённых и выделенных сигналов. На рисунке показаны истинная поза человека и ключевые точки, выявленные с помощью предварительно обработанной информации на основе точек RGB-изображения.

На рис. 12 приведена иллюстрация метода получения каркасного представления человека на основе анализа отражённого Wi-Fi-сигнала (CSI). Показаны примеры поз и ситуаций, распознавание которых может быть затруднено, в том числе редкие или нестандартные позы, а также наличие одновременно трёх и более людей в зоне наблюдения.

В № 2 за 2023 год журнал «Современная электроника» на с. 51 сообщил о технологии дистанционного определения положения и позы человека с использованием Wi-Fi-сигналов. Исследования специалистов Университета Карнеги – Меллона показали, что изменения параметров Wi-Fi-канала, вызванные движением человека, могут использоваться для оценки его положения и позы при размещении передатчика и приёмника в разных помещениях. Такой подход иногда называют технологией видения сквозь стены [9].

Полученные данные могут использоваться для определения положения и позы человека и последующего формирования их трёхмерных представлений. Алгоритмы машинного обучения, в том числе методы искусственного интеллекта, позволяют обрабатывать эти данные и использовать полученные результаты для дальнейшего анализа. В сравнении с известными и типичными формами наблюдения (камеры слежения, радарные технологии и др.) описываемые

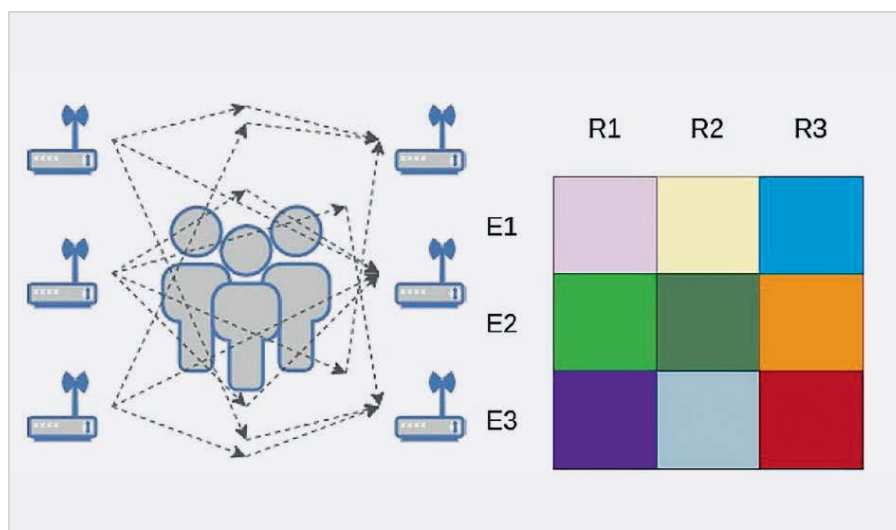


Рис. 12. Иллюстрация способа получения каркасного изображения человека с помощью отражённого сигнала Wi-Fi (CSI)

инновационные способы признаны прорывными в области здравоохранения, безопасности, и даже игр (VR), а также востребованы во многих случаях.

Возможный контроль через стены и перегородки с помощью отражённого сигнала Wi-Fi позволит решить типичные проблемы камер наблюдения, такие как плохое освещение, и составит конкуренцию радарным датчикам типа LiDAR. Кроме того, такое техническое решение дешевле и экономичнее по энергопотреблению.

При совершенствовании технологии, что, несомненно, дело ближайших лет, а не столетий, людям даже на бытовом уровне открываются новые возможности. Подробнее об этом можно прочитать в [9] и [5].

Одними из потенциальных угроз подобных технологий являются риски, связанные с конфиденциальностью данных. Поэтому при разработке радиоэлектронных систем повышенное внимание уделяется защите информации и предотвращению несанкционированного доступа к устройствам и данным. Для этого применяются механизмы аутентификации, шифрования, контроля доступа и другие средства информационной безопасности.

На рис. 13 представлена дополнительная иллюстрация дистанционного обнаружения людей за стенами с использованием Wi-Fi-сигналов. В левой колонке показаны результаты, полученные на основе синхронизированных изображений и данных Wi-Fi, а в правой – результаты обработки с использованием технологии

DensePose на основе изображений. Такое сравнение позволяет оценить соответствие результатов, полученных разными методами.

Принцип формирования и анализа отражённых сигналов

Данные о состоянии канала (Channel State Information, CSI) дискретизируются с частотой 100 Гц и представлены комплексными значениями для 30 поднесущих, равномерно распределённых в полосе частот шириной 40 МГц с центральной частотой 2,4 ГГц. Передача данных осуществляется с использованием трёх передающих и трёх приёмных антенн. CSI содержит информацию об изменениях амплитуды и фазы сигнала, обусловленных характеристиками радиоканала и движением объектов в зоне распространения сигнала.

Для оценки позы человека используются методы машинного обучения, основанные на анализе изменений CSI. Полученные данные обрабатываются нейросетевой архитектурой, использующей подходы компьютерного зрения. В результате система оценивает положение характерных точек и частей тела человека и формирует его структурированное представление.

Для упрощения и ускорения формирования каркасного представления тела человека исследователи используют модель, в которой поверхность тела разделена на 24 области [9]. На следующем этапе определяются UV-координаты, описывающие соответствие точек поверхности человеческого тела и их положения на

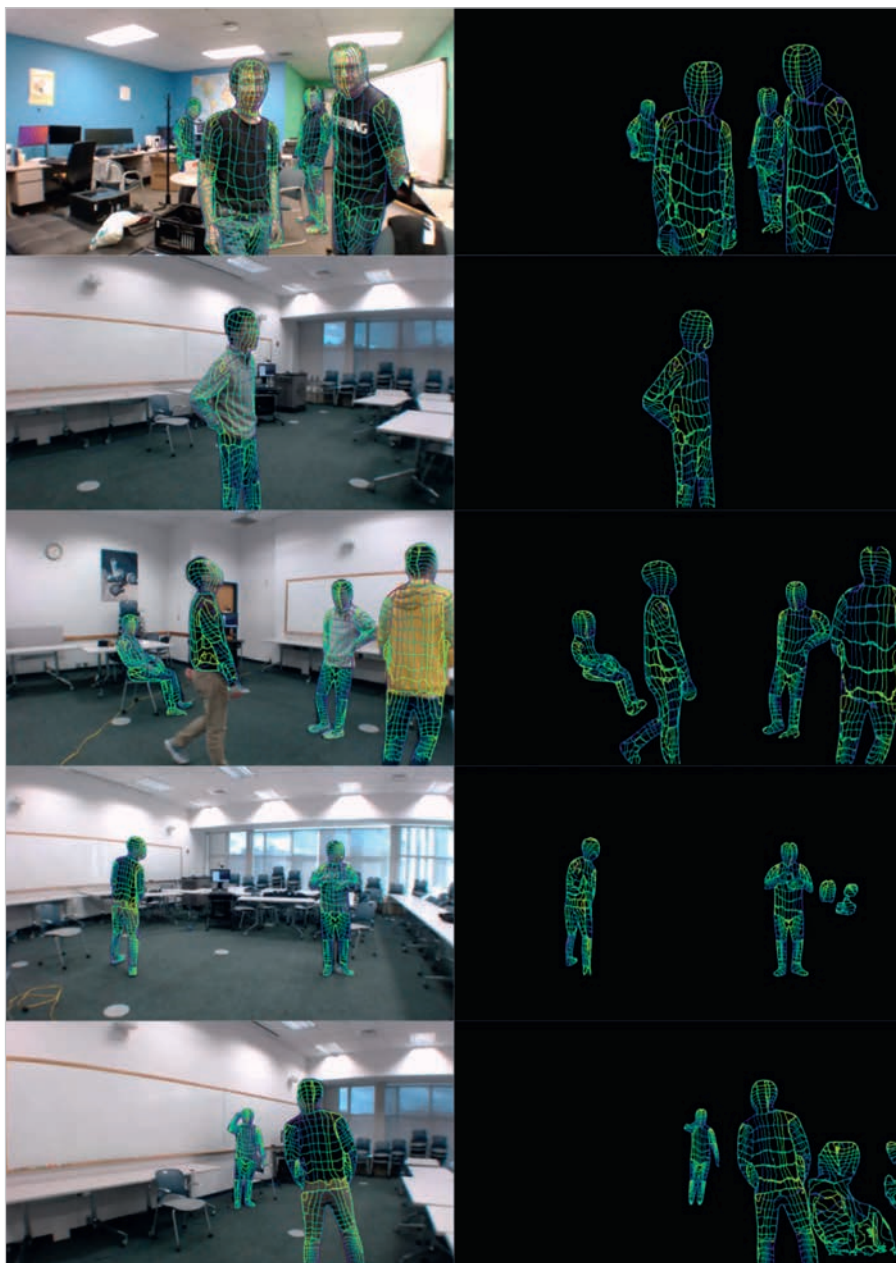


Рис. 13. Иллюстрация выявления объектов с помощью Wi-Fi дистанционно сквозь стены

двумерном представлении. В рассматриваемом подходе эта информация восстанавливается на основе характеристик Wi-Fi-канала, полученных из отражённых сигналов.

Первоначальные данные CSI проходят предварительную обработку, включающую очистку амплитудных и фазовых компонент от шумов и других искажений. Затем из них формируются двумерные представления признаков, которые передаются в модифицированную архитектуру DensePose-RCNN. Нейронная сеть оценивает соответствие между точками двумерного представления и координатами поверхности тела, что позволяет восстановить позу человека в форме плотного двумерно-трёхмер-

ного соответствия [9]. Точность локализации заявлена около 0,5 метра из-за случайного фазового сдвига, допускаемого стандартом связи IEEE 802.11n/ac, и помех от электронных устройств в аналогичном диапазоне частот (микроволновая печь, сотовые телефоны). Для решения задачи исследователи обращались к архитектуре глубокого обучения в компьютерном зрении и нейронной сети, которая выполняла оценку позы по сигналам Wi-Fi.

Приведённые результаты показывают, что современные методы обработки радиосигналов позволяют в определённых условиях обнаруживать присутствие людей и животных в помещении и оценивать их поло-



Рис. 14. Отдельные примеры размещения скрытых камер

жение без прямой видимости. Дальность обнаружения и точность определения параметров объекта зависят от характеристик используемого оборудования, условий распространения радиосигнала, конструкции помещения и применяемых алгоритмов обработки данных. Примеры размещения скрытых камер приведены на рис. 14.

Особенности легитимной организации негласного наблюдения

Оперативно-розыскные мероприятия могут включать сбор, фиксацию и анализ информации с использованием технических средств. Порядок проведения таких мероприятий, основания для их начала и прекращения, а также условия хранения полученных материалов определяются законодательством.

Современные электронные устройства позволяют получать информацию на расстоянии с использованием микрофонов, оптических и радиотехнических средств, а также систем обработки цифровых данных. Конкретные характеристики оборудования зависят от его назначения и условий эксплуатации. По сравнению с системами, применявшимися несколько десятилетий назад, современные устройства отличаются меньшими размерами, более высокой чувствительностью и расширенными возможностями цифровой обработки сигналов.

Для передачи полученной информации могут использоваться различные беспроводные каналы связи. В профессиональных системах связи применяются средства защиты информации, включая шифрование и аутентификацию. Возможность перехвата или анализа радиопередачи зависит от используемого протокола, параме-

тров системы связи и применяемых средств защиты.

Наряду со специализированным оборудованием существуют компактные электронные устройства общего назначения, оснащённые микрофонами, камерами, радиомодулями и средствами обработки данных. Их функциональные возможности позволяют решать широкий спектр задач, связанных с регистрацией и передачей аудио-, видео- и других данных.

Использование технических средств для скрытого получения информации регулируется соответствующими правовыми нормами. Возможность применения конкретного устройства определяется его техническими характеристиками, назначением, условиями использования и требованиями законодательства. Поэтому при рассмотрении подобных технологий необходимо разделять технические возможности оборудования и правовые основания его применения.

Развитие искусственного интеллекта расширяет возможности автоматической обработки получаемых данных. Алгоритмы машинного обучения могут использоваться для фильтрации шумов, распознавания речи, анализа изображений, определения объектов и выделения других информативных признаков из зарегистрированных сигналов.

Выводы

Одним из перспективных направлений развития систем дистанционного наблюдения с использованием радиоэлектронных средств и чувствительных электронных датчиков является анализ изменений параметров наблюдаемой среды во времени. Такой подход позволяет выявлять динамику происходящих процессов и использовать полученные данные для оценки положения и активности объектов наблюдения.

Современные алгоритмы машинного обучения позволяют автоматически анализировать большие объёмы данных, выявлять закономерности и классифицировать различные события. Результаты такого анализа могут применяться в системах мониторинга окружающей среды, городской инфраструктуры, транспортных потоков и других объектов. При этом точность прогнозирования зависит от качества исходных данных, выбранной модели и условий её применения.

Развитие радиоэлектронной аппаратуры сопровождается совершенствованием датчиков, средств связи и алгоритмов цифровой обработки сигналов. Современные системы могут объединять данные от нескольких типов датчиков и обрабатывать их с использованием методов машинного обучения. Это позволяет повышать устойчивость к шумам, выделять полезные признаки и автоматизировать обработку информации.

Перспективным направлением является использование алгоритмов искусственного интеллекта для обработки аудиосигналов. Нейронные сети способны снижать влияние фонового шума, восстанавливать отдельные фрагменты речи и повышать разборчивость записей. Эффективность таких методов определяется уровнем шума, характеристиками исходного сигнала и параметрами используемой модели.

Аналогичные методы применяются при обработке изображений и радиосигналов. Исследования в области анализа Wi-Fi-сигналов показывают возможность обнаружения движений человека и оценки его положения по изменениям характеристик радиоканала. В отдельных экспериментальных системах на основе CSI (Channel State Information) выполняется оценка позы человека без использования обычной видеокамеры. Такие системы имеют ограничения по дальности, точности и условиям применения и пока не являются универсальной заменой традиционным средствам наблюдения.

В дальнейшем развитие сенсорных систем может быть связано с объединением данных от радиочастотных, акустических, оптических и других датчиков. Совместная обработка разнородных данных позволяет получать более полное представление о состоянии наблюдаемой среды. При этом возможности конкретной системы определяются физическими принципами используемых датчиков, характеристиками каналов связи и алгоритмами обработки.

Перспективные исследования также включают анализ физиологических сигналов человека. Однако утверждения о возможности определения мыслей или содержания внутренней речи по косвенным изменениям физиологических параметров требуют экспериментального под-

тверждения и не могут рассматриваться как установленная технология. Современные методы анализа биосигналов позволяют регистрировать отдельные физиологические реакции, но их интерпретация существенно зависит от условий эксперимента и используемых методов обработки данных.

Литература

1. Армави́рца обвиняют в незаконном обороте специальных технических средств, предназначенных для негласного получения информации. URL: <https://krasnodarmedia.su/news/2027586/>.
2. Атака ИИ улавливает голоса с микрофонов. URL: <https://www.eenewseurope.com/en/ai-attack-picks-up-voices-from-mems-microphones/?hash=f8b21655375985>.
3. ИИ-атака позволяет подслушивать MEMS-микрофоны через стены. URL: <https://www.cta.ru/news/cta/181811.html>.
4. *Каушаров А.* Синхронизация по радиоканалу на примере систем, передающих эталонное время // Современная электроника. 2021. № 7. URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2021/2021-7/1378907>.
5. *Любимая Н.* Беспроводные локальные вычислительные сети связи. Новости мониторинговых решений // Современная электроника. 2023. № 7. С. 7–14.
6. «Росэлектроника» создала сейсмодатчики, способные чувствовать движение объектов за сотнями метров. URL: <https://ruselectronics.ru/news/24725-roselektronika-sozdala-seysmodatchiki-sposobnyechuvstvovat-dvizhenie-obektov-zasotni-metrov-/>.
7. Сообщено о технологии слежки за людьми с помощью Wi-Fi-роутера // Современная электроника. 2023. № 2. С. 51. URL: https://www.soel.ru/magazines/PRINT/SoEl_2023-2pr/2/.
8. AI monitors wildlife behavior in the Swiss Alps. URL: <https://actu.epfl.ch/news/ai-monitors-wildlife-behavior-in-the-swiss-alps/>.
9. DensePose из Wi-Fi. URL: <https://arxiv.org/abs/2301.00250>.
10. Hackers could use smartwatches to eavesdrop on air-gapped computers via ultrasonic signals. URL: <https://techxplare.com/news/2025-06-hackers-smartwatches-eavesdrop-air-gapped.html>.

