

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**СИСТЕМЫ синхронизации,
формирования и обработки
сигналов**

№6-2022 год

Главный редактор

Пестряков Александр Валентинович,

*д.т.н., профессор, зав. кафедрой Радиооборудование и Схемотехника,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Редколлегия:

Дмитриев Александр Сергеевич,

*д.ф.-м.н., профессор, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Россия*

Казakov Леонид Николаевич,

*д.т.н., профессор, зав. кафедрой Радиотехнических систем, Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия*

Карякин Владимир Леонидович,

*д.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, Самара, Россия*

Рыжков Анатолий Васильевич,

*д.т.н., главный научный сотрудник, профессор, Московский технический университет
связи и информатики, Москва, Россия*

Строганова Елена Петровна,

*д.т.н., профессор, Начальник Испытательной лаборатории средств связи и вещания,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Номер подписан в печать 05.12.2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Ерохин С.Д., Борисенко Б.Б., Мартишин И.Д., Фадеев А.С. ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДАТАСЕТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ АТАК	4
Михайлов В.Ю., Мазепа Р.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИГНАЛОПОДОБНЫХ ПОМЕХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ УЯЗВИМОСТИ МЕХАНИЗМА RTS/CTS В СЕТЯХ 802.11	17
Можаева А., Власюк И., Неживлева К., Комина А. МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЕ СТИМУЛА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА МЕРЦАНИЯ ПРИ СЖАТИИ ВИДЕО	29
Федоров В., Арутюнян Д., Фролов Р., Шустрова В., Кебко Л. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ МЕДИА КОНТЕНТА. СОЗДАНИЕ СТИМУЛА	37
Давыдова А.А., Можаева А.И., Хурани В.Х., Демина М.А., Русалимов М.А. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИДЕНТИЧНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ РЕГИОНОВ ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОСМОТРЕ ПОТОКОВОГО ВИДЕО СОДЕРЖАЩЕГО РАЗЛИЧНЫЙ КОНТЕНТ И АРТЕФАКТЫ СЖАТИЯ	42
Дымкова С.С. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ синхронизации В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ НА «синхроинфо-2022»	52

ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДАТАСЕТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ АТАК

Ерохин Сергей Дмитриевич,

*Московский технический университет связи и информатики, ректор, к.т.н., доцент,
Москва, Россия*
esd@mtuci.ru

Борисенко Борис Борисович,

*Московский технический университет связи и информатики, ведущий научный сотрудник,
к.т.н., доцент, Москва, Россия*
fepem@yandex.ru

Мартишин Иван Дмитриевич,

*Московский технический университет связи и информатики, младший научный сотрудник,
Москва, Россия*
martishinid@gmail.com

Фадеев Александр Сергеевич,

*Московский технический университет связи и информатики, младший научный сотрудник,
Москва, Россия*
aleksandr-sml@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день задаче сокращения размерности датасетов. Решение данной задачи позволит повысить скорость и качество реагирования систем обнаружения вторжения (COB) на сетевые атаки. С целью снижения размерности данных используются методы отбора и генерации признаков на примере датасета CSE-CIC-IDS2018. В качестве классификатора системы обнаружения вторжений использована искусственная нейронная сеть (ИНС) многослойный перцептрон. Приведены основные этапы предварительной обработки данных в моделях машинного обучения применительно к датасету CSE-CIC-IDS2018. Предложено два способа отбора признаков датасета: на основе информативности (индекс Джини) и на основе корреляции (коэффициент Пирсона). Проведено сравнение датасетов, полученных при помощи отбора информативных признаков датасета CSE-CIC-IDS2018, с исходным датасетом.

Ключевые слова

Сетевые атаки, системы обнаружения вторжений (COB), снижение размерности, отбор признаков, генерация признаков, искусственная нейронная сеть (ИНС), многослойный перцептрон, набор данных (датасет), CSE-CIC-IDS2018.

Введение

Стремительное развитие информационных технологий, расширение спектра и увеличение количества предоставляемых инфокоммуникационных услуг сопровождается ростом числа угроз информационной безопасности (ИБ) [1]. Одной из угроз, представляющих наибольшую опасность для нарушения ИБ, является угроза осуществления сетевых атак на информационные ресурсы. Данный вид негативного воздействия приводит к нарушению корректного функционирования сервисов, раскрытию конфиденциальной информации пользователей, возможности финансовых махинаций и другим критичным последствиям. Вследствие этого существует необходимость в выявлении факта атаки на ранних стадиях ее развития, что порождает потребность в производительных системах обнаружения вторжений.

Для обнаружения сетевых атак используются сигнатурные анализаторы сетевого трафика, эффективность которых ограничена полнотой базы уже известных информационных воздействий, и эвристические алгоритмы классификации сетевого трафика.

Таким подходом к созданию эвристических методов обнаружения сетевых атак является применение технологий машинного обучения (Machine Learning, ML) [2]. Одним из перспективных решений задачи скорейшего обнаружения атак можно считать распознавание и классификацию сетевых атак на основе ИНС.

Разработка эвристического анализатора сетевого трафика на основе ИНС требует решения ряда сложных задач, одной из которых является подготовка датасета с оптимальным признаковым пространством [3]. Корректно подготовленный датасет способствует качественному обучению классификатора СОВ и, как следствие, точной работе СОВ на неизвестном или же зашифрованном трафике.

Каждый датасет описывается определенным признаковым пространством, в большинстве случаев совпадающим с тем, что захватывает сборщик статистических признаков трафика. Однако в большинстве случаев данное пространство избыточно для решения конкретных задач, поскольку необоснованное использование всех признаков может привести к снижению качества работы СОВ. В рамках большого датасета время обработки признаков становится достаточно велико.

Отбор информативных признаков устраняет указанные недостатки. Таким образом, применение какого-либо из методов отбора признаков позволяет после одного эксперимента на датасете использовать полученные знания во всех остальных операциях с классификатором СОВ. Поэтому при появлении новой записи в датасете, достаточно выбрать необходимые признаки из нее. Положительным фактором является уменьшение размера датасета, а следовательно, и времени обработки, в связи с отсутствием необходимости обработки лишних столбцов признаков.

Излишне шумные или даже ошибочные входные данные часто приводят к низким результатам работы СОВ. Удаление неинформативных или малоинформативных данных может позволить СОВ достичь лучших показателей, что обеспечит более корректное распознавание атак [3].

Методы снижения размерности датасета

Снижение размерности – это преобразование данных, состоящее в сокращении количества признаков путем получения главных (наиболее информативных) признаков. Преобразование данных состоит из отбора признаков и выделения (преобразования/генерации) признаков [4,5].

С помощью отбора признаков происходит поиск оптимального подмножества множества исходных признаков. Помимо методов фильтрации, оберточных, встроенных и гибридных методов [6] существуют ансамблевые методы отбора признаков.



Рис. 1. Общая схема работы ансамблевых методов

Ансамблевые методы применяются для датасетов с большим числом признаков. В данном подходе для исходного множества признаков создается несколько подмножеств, которые объединяются для получения датасета релевантных признаков (рис. 1). Это довольно гибкая группа методов, так как в этом случае можно применять различные способы выбора признаков и объединения их подмножеств.

Преобразование данных может быть линейным и нелинейным. Для многомерных данных может быть использовано тензорное представление для снижения размерности путем многолинейного обучения подпространств [4,7].

В работе в качестве классификатора выбран многослойный перцептрон (multilayer perceptron, MLP) с двумя скрытыми слоями [8-10] и датасет CSE-CIC-IDS2018 [11].

Отбор наиболее информативных признаков датасета CSE-CIC-IDS2018

При разработке модели машинного обучения важным является решение, какие признаки следует использовать в качестве входных данных для обучающего алгоритма.

Отбор признаков при формировании признакового пространства является обязательной процедурой как на подготовительном этапе (предшествующем обучению), так и на этапе оценки полученных результатов и последующей корректировки обучающей выборки и/или гиперпараметров модели.

Датасет CSE-CIC-IDS2018 содержит 80 признаков. При этом, сетевой анализатор CICFlowMeter-V4 [12] в штатном режиме генерирует файлы формата CSV с 84 признаками из каждого PCAP-файла. В ходе обработки PCAP-файлов после разметки классов были исключены признаки: Flow ID, Src IP, Src Port и Dst IP, означающие идентификатор потока, IP-адрес источника, порт источника и IP-адрес получателя соответственно, в предположении, что именно статистические признаки пакетов являются более значимыми в общем случае [13].

Указанные выше признаки могут показаться необходимыми при установлении вредоносности трафика. Этому предположению содействуют высокие показания индекса Джини по данным признакам. Однако, следует заметить, что коэффициент (индекс) Джини – статистический показатель возможности разделения всех записей датасета на отдельные выделенные по определенному признаку классы. А если учесть, что атаки в датасете CSE-CIC-IDS2018 проводились на разных IP-адресах, причем не пересекающихся с IP-адресами для чистого трафика, то по этим признакам датасет разделяется практически линейно, и показатели индекса стремятся к 1.

Следовательно, добавив признаки адресации трафика в датасет для обучения модели, можно достичь эффекта «слепого» запоминания признаков без выявления глубоких связей и закономерностей. На тестовом же датасете или реальных данных такая модель будет крайне плохо обнаруживать атаки либо же будет совершать большое количество ложных срабатываний. Кроме того, исключаемые признаки адресации могут быть относительно легко подделаны злоумышленником. На данный момент методы подмены адресов являются хорошо изученными и полностью автоматизированы во многих средствах. Таким образом, данный датасет подходит для этапов обучения, валидации и тестирования, но при этом отсутствует возможность однозначного установления соответствия записи из датасета описываемого ей потока из PCAP-файла. Из этого следует, что атака может быть детектирована и классифицирована, но не понятно, когда и где она возникла.

Информативными из 80 признаков рассматриваемого датасета являются 77, так как признак Dst Port является частью адресации трафика в сети и использование его при обучении создаст эффект «слепого» запоминания, тогда COV не сможет правильно предсказывать метку класса трафика и будет корректно работать только на выборке обучения. Признак Timestamp показывает только время начала очередного потока, никак не описывая сам поток. Признак Label является меткой, которая показывает к какому классу (чистый трафик или определенный класс атаки) сетевого трафика относится входной вектор. На этапе тестирования COV данный признак используется в целях проверки корректности отнесения очередной записи трафика к тому или иному классу на основе правильно сформированных в ходе обучения весов и смещения каждого из нейронов многослойного перцептрона.

Десять CSV-файлов содержат 16 232 943 записи. Соотношение классов в CSE-CIC-IDS2018 варьируется от 1:20 до 1:100000. В таблице 1 представлены сводные данные о соотношении классов этого датасета.

Таблица 1

Соотношение классов в датасете CSE-CIC-IDS2018

№	Класс трафика	Количество записей в классе	Доля класса в датасете (%)
1.	Benign	13 484 708	83.070
2.	HOIC	1 686 012	4.226
3.	LOIC-HTTP	1 576 191	3.550
4.	Hulk	1 461 912	2.846
5.	Bot	286 191	1.760
6.	FTP-BruteForce	193 360	1.191
7.	SSH-Bruteforce	187 589	1.156
8.	Infiltration	161 934	0.998
9.	SlowHTTPTest	139 890	0.862
10.	GoldenEye	41 508	0.256
11.	Slowloris	10 990	0.068
12.	LOIC-UDP	1730	0.011
13.	Brute Force-Web	611	0.004
14.	Brute Force-XSS	230	0.001
15.	SQL Injection	87	0.0005

Последовательность шагов модели машинного обучения

В любой задаче машинного обучения выполняется общий порядок действий предварительной обработки данных [14,15], указанный в таблице 2.

Таблица 2

Этапы решения задачи классификации ML

№	Этап	Описание
1.	Загрузка и представление данных	Выгрузка и преобразование любой формы датасета в пригодный для анализа вид
2.	Очистка	Очистка и коррекция датасета
3.	Разделение данных и балансировка	Разбиение датасета на обучающую и тестовую выборки и исправление соотношения размеров классов
4.	Преобразование признаков	Модификация вида признаков без изменения логической нагрузки
5.	Нормализация признаков	Преобразование числовых значений признаков в определенный диапазон
6.	Снижение размерности	Выбор наиболее информативных признаков
7.	Построение модели	Создание модели-классификатора
8.	Обучение модели	Обучение модели на обучающей выборке
9.	Запуск модели и оценка работы	Выработка целевых меток для тестовых данных и вычисления метрик

Рассмотрим пункты, предшествующие снижению размерности.

1) *Загрузка и представление данных*. В первую очередь необходимо объединить все записи, находящиеся в 10 CSV-файлах. Следует уделить внимание корректному объединению, поскольку в исходных CSV-файлах в начале содержатся пустые строки или строки содержащие заголовки с названиями признаков. Это может помешать корректной сортировке значений по разным столбцам-признакам. Из-за большого количества записей требуется загружать файлы в оперативную память не добавляя лишних, занимающих дополнительный объем переменных.

2) *Очистка*. Требуется очистить датасет CSE-CIC-IDS2018, то есть выявить и удалить ошибки и несоответствия в данных с целью улучшения качества датасета [16]. После проверки датасета можно сделать вывод, что записи не дублируются с учетом различных идентификаторов потока для различных записей. Таким образом были очищены записи со значениями, равными «бесконечность» и NaN. Также были удалены записи с некорректными значениями признаков (нулевое значение в типе транспортного протокола и порте получателя). В некоторых записях содержались

отрицательные значения, что является некорректным из-за вложенного в признаки смыслового значения.

3) *Разделение и балансировка.* Необходимо разделить весь датасет на обучающую и тестовую выборки. Тестовая выборка составит 30% от всего объема датасета. Дальнейшие манипуляции в целях повышения качества данных для обучения направлены в основном, на обучающую выборку. Проанализировав содержание получившейся обучающей выборки, можно сделать вывод, что данные не сбалансированы по классам трафика. Упущение данного факта впоследствии может привести к неправильному обучению модели, когда объемные классы будут хорошо классифицироваться, а небольшие – распознаваться как наиболее близкие к ним большие классы [17].

В связи с этим необходимо провести балансировку записей классов путем применения комбинированного подхода. Сначала используется стратегия поддискретизации, то есть удаление случайно выбранных записей из наибольшего класса [18]. Количество записей в этом классе будет составлять удвоенное количество записей второго по величине класса (рис. 2).

Benign	3031738
DDOS-HOIC	1515653
DoS-Hulk	1048846
DDoS attacks-LOIC-HTTP	397205
Bot	200603
FTP-BruteForce	135253
SSH-Bruteforce	131127
DoS-SlowHTTPTest	73588
Infiltration	53344
DoS-GoldenEye	28938
DDoS-LOIC-UDP	13532
DoS-Slowloris	7961
Brute Force -Web	340
Brute Force -XSS	175
SQL Injection	62

Рис. 2. Размеры классов обучающей выборки после поддискретизации

В датасете присутствуют классы, количество записей в которых слишком мало. Для устранения данной проблемы принято решение использовать алгоритм SMOTE, реализующий стратегию передискретизации [19]. Данный алгоритм основан на идее генерации некоторого количества искусственных записей, которые были бы похожи на имеющиеся в миноритарном классе, но при этом не дублировали их. Для создания новой записи вычисляется разность $d = X_b - X_a$, где X_a, X_b – векторы признаков соседних записей a и b из миноритарного класса. Они вычисляются при помощи алгоритма ближайших соседей (k -nearest neighbors algorithm, KNN). В данном случае необходимо и достаточно для записи a получить набор из k соседей, из которого в дальнейшем будет выбрана запись b . Остальные шаги алгоритма KNN не требуются. Далее из d путем умножения каждого элемента на случайное число в интервале $(0,1)$ получают d' . Вектор признаков новой записи вычисляется путем сложения X_a и d' [19]. Классы дополняются до количества записей, равного 30-му перцентилю в случайной величине, распределение которой задает вектор размеров прежних классов. Итоговое количество записей в классах представлено на рисунке 3.

Benign	3029890
DDoS-HoIC	1515574
DoS-Hulk	1050535
DDoS attacks-LOIC-HTTP	397597
Bot	200260
FTP-BruteForce	135634
SSH-Bruteforce	130783
DoS-SlowHTTPTest	73795
Infiltration	53334
DoS-GoldenEye	29018
Brute Force -XSS	16611
SQL Injection	16611
DDoS-LOIC-UDP	16611
DoS-Slowloris	16611
Brute Force -Web	16611

Рис. 3. Конечные размеры классов обучающей выборки

4) *Преобразование признаков.* Исходя из ранее обозначенной проблемы «слепого» запоминания признаков при обучении СОВ, следует исключить те признаки, по которым не будет происходить классификация. Это признаки Timestamp и Dst Port. Из датасета CSE-CIC-IDS2018, также исключен признак Protocol, так как в датасете в соответствующем поле в большом количестве присутствовали нулевые значения, что является некорректным из-за вложенного смыслового значения в данный признак. Использование указанных признаков в обучении приведет к потере качества распознавания новых данных и ухудшит качество классификации [13]. Признак Label определяет класс трафика и участвует только при оценке качества классификации. Признак Label переводится в индикаторную форму посредством One-Hot кодирования. Это позволит в выходном слое персептрона получить количество нейронов, равное количеству распознаваемых классов. Вследствие чего возможно использование кросс-энтропии в качестве функции потерь и обучение многослойного персептрона с учетом вероятностного распознавания классов [20]. Таким образом, отбор будет проводиться из оставшихся 76 признаков.

5) *Нормализация.* Процедура предобработки входной информации, при которой значения признаков во входном векторе приводятся к определенному диапазону. Это позволяет обеспечить равный вклад каждого показателя в конечный результат [21]. Для этого используется Z-преобразование, меняющее значения признака из датасета так, что он будет иметь нулевое среднее и единичную дисперсию, по следующей формуле:

$$y = \frac{(x - \mu)}{\sigma},$$

где μ – среднее значение, σ – стандартное отклонение.

Выборка, на которой вычисляется среднее значение и стандартное отклонение, должна максимально точно описывать распределение значений того или иного признака. При первой обработке вычисляются и запоминаются данные значения, что легче сделать, используя определенный объект нормализатора. При обработке дополнительных записей, используется уже обученный нормализатор.

6) *Снижение размерности датасета CSE-CIC-IDS2018.* Рассмотрим два основных метода снижения размерности признакового пространства: генерацию (выделение) признаков и отбор признаков.

Генерация признаков является математическим процессом синтеза новых признаков для описания исходных данных. При этом разреженные данные уплотняются в более информативные структуры и происходит абстрагирование от качественных характеристик потоков. При этом зачастую теряется интуитивное понимание самих признаков. Время работы данных алгоритмов существенно увеличится даже в случае не очень больших датасетов с учетом обновляющихся данных [22].

Отбор признаков позволяет избежать отмеченные недостатки [23]. Достаточно одного этапа анализа датасета и отбора подмножества необходимых признаков для последующей работы с ним. Новые записи быстро и легко преобразовываются к новой размерности. Уменьшается количество памяти для хранения датасета и уменьшается вероятность переобучения классификатора СОВ, но для этого требуется проведение предварительного анализа данных.

Среди исследователей широко применяются следующие методы отбора информативных признаков [5,24-26]:

- отбор на основе информативности признаков и удаление сильно коррелированных;
- отбор на основе корреляции признаков с метками классов отдельно для каждого класса атак;
- отбор на основе информативности отдельно для каждого класса атак.

А. Отбор на основе информативности признаков и удаление сильно коррелированных

Для оценки информативности признаков использовался алгоритм машинного обучения Random Forest [27], представляющий из себя ансамбль деревьев решений. Подробное применение метода ансамбля деревьев решений при обнаружении атак представлено в [3]. Создаются деревья решений, запускается обучение на созданных деревьях, после чего берется усредненный результат. По завершению обучения получают значения весов признаков, отражающих индекс Джини, и выбираются те, где веса имеют большее значение.

Изначально было принято решение отобрать 20 наиболее информативных признаков. Это связано с тем, что на данном количестве признаков время обучения СОВ достаточно мало, при этом метрики модели уже не имеют значительных снижений. На рисунке 4 продемонстрировано, что большее количество (более 40) признаков значительно увеличивает время классификации, а использование меньшего количества (менее 14) существенно снижает качество классификации (рис. 5 на примере одной из метрик).

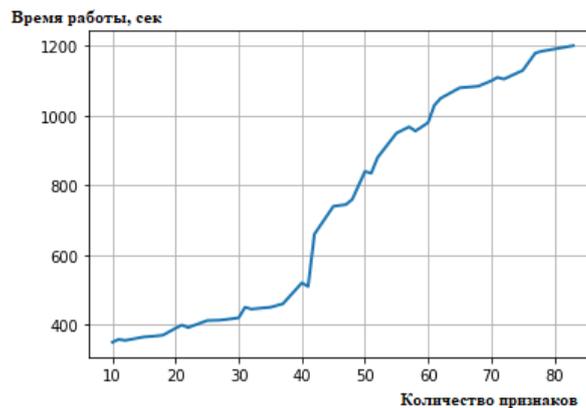


Рис. 4. Зависимость времени классификации от количества входных информативных признаков

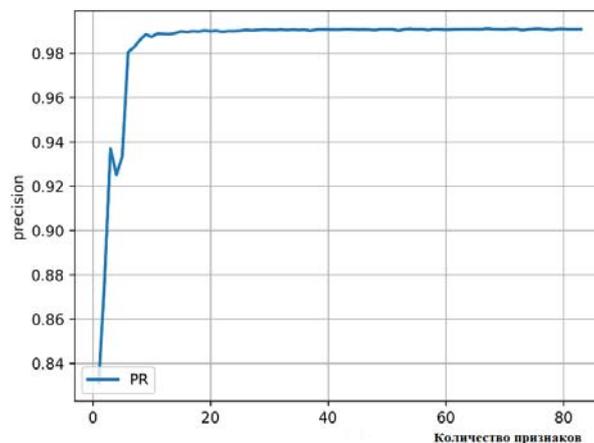


Рис. 5. Зависимость значения метрики Precision от количества входных информативных признаков

Также осуществляется проверка на наличие корреляционных связей между признаками при помощи данных корреляционной матрицы. Новый датасет предлагается составить из признаков с большими весами, не имеющих высокий коэффициент корреляции (выше 0,9) более, чем с двумя другими признаками в указанной матрице, и при этом менее значимых по значению индекса Джини. В результате применения метода снижения размерности датасета, а именно, на основе информативности и удаления сильно коррелированных признаков было отобрано 14 наиболее информативных признаков.

В. Отбор на основе корреляции признаков с метками классов отдельно для каждого класса атак

Основная идея отбора заключается в выявлении взаимосвязи определенных признаков и целевой метки классов на основе коэффициента корреляции Пирсона.

Суть метода описывается в вычислении данного коэффициента для каждого информативного признака и метки класса, и последующем отборе наиболее коррелированных. Классы сетевых атак рассматриваются по отдельности, для каждого класса отобрано по 5 признаков после ранжирования в порядке уменьшения значений коэффициента Пирсона. Затем данные признаки объединяются в единый список, который используется как новое признаковое пространство. Для сравнения времени работы были сформированы выборки по одному, двум, трем и четырем признакам для каждой из атак. Данные признаки указаны в таблице 3.

Таблица 3

Наиболее информативные признаки в датасете для каждого класса атак

№	Название признака	Коэффициент корреляции признака со значением метки класса (коэффициент Пирсона)	Название признака	Информативность признака при классификации Random Forest (коэффициент Джини)
FTP-BruteForce				
1.	Fwd Seg Size Min	0.89	Fwd Seg Size Min	0.15
2.	Bwd Pkts/s	0.85	Bwd Pkts/	0.12
3.	Flow Pkts/s	0.8	Init Fwd Win Byts	0.1
4.	Init Fwd Win Byts	0.72	Flow Duration	0.08
5.	Fwd Pkts/s	0.7	Flow IAT Mean	0.07
SSH-Bruteforce				
1.	Fwd Seg Size Min	0.79	Fwd Seg Size Min	0.21
2.	Bwd Pkts/s	0.53	Bwd Pkts/s	0.07
3.	URG Flag Cnt	0.52	Init Bwd Win Byts	0.07
4.	Fwd Act Data Pkts	0.4	Flow IAT Min	0.06
5.	Init Fwd Win Byts	0.31	Bwd Header Len	0.05
DoS-GoldenEye				
1.	Fwd Seg Size Min	0.45	Fwd Seg Size Min	0.23
2.	Init Fwd Win Byts	0.24	Init Fwd Win Byts	0.07
3.	Fwd Pkt Len Std	0.19	Flow IAT Mean	0.05
4.	Bwd Pkt Len Std	0.17	Fwd Pkts/s	0.05
5.	Protocol	0.15	Flow Pkts/s	0.04
DoS-Slowloris				
1.	Bwd IAT Mean	0.64	Fwd Seg Size Min	0.18
2.	Bwd IAT Min	0.58	Bwd IAT Mean	0.07
3.	Bwd IAT Max	0.43	Bwd IAT Max	0.06
4.	Flow IAT Std	0.4	Bwd IAT Min	0.05
5.	Idle Std	0.37	Flow IAT Mean	0.05
DoS-SlowHTTPTest				
1.	PSH Flag Cnt	0.99	Fwd Seg Size Min	0.13
2.	ACK Flag Cnt	0.99	Bwd Pkts/s	0.1
3.	Init Fwd Win Byts	0.99	Flow Duration	0.08
4.	Fwd Seg Size Min	0.99	Flow Pkts/s	0.07
5.	Fwd Pkt Len Max	0.98	Flow IAT Max	0.07
DoS-Hulk				

1.	Fwd Pkt Len Max	0.98	Bwd IAT Min	0.1
2.	TotLen Fwd Pkts	0.98	TotLen Fwd Pkts	0.1
3.	Subflow Fwd Byts	0.98	Fwd Pkt Len Std	0.08
4.	Fwd Pkt Len Std	0.98	Subflow Fwd Byts	0.07
5.	Dst Port	0.97	Fwd Pkt Len Mean	0.07
DDOS-LOIC-UDP				
1.	Fwd Act Data Pkts	0.97	Tot Fwd Pkts	0.1
2.	Tot Fwd Pkts	0.97	Fwd Act Data Pkts	0.09
3.	Subflow Fwd Pkts	0.97	TotLen Fwd Pkts	0.08
4.	Fwd Header Len	0.97	Flow IAT Min	0.08
5.	TotLen Fwd Pkts	0.97	Fwd IAT Min	0.08
DDOS-HOIC				
1.	Init Bwd Win Byts	0.99	Tot Fwd Pkts	0.13
2.	Dst Port	0.99	Subflow Fwd Pkts	0.09
3.	Fwd Pkt Len Max	0.96	Fwd Header Len	0.09
4.	TotLen Fwd Pkts	0.96	TotLen Fwd Pkts	0.08
5.	Subflow Fwd Byts	0.96	Fwd Pkt Len Mean	0.07
Brute Force -Web				
1.	Pkt Len Min	0.11	Fwd Seg Size Avg	0.09
2.	Fwd Pkt Len Min	0.11	Fwd Pkt Len Mean	0.09
3.	Subflow Fwd Byts	0.09	Fwd Pkt Len Std	0.09
4.	TotLen Fwd Pkts	0.09	Fwd Seg Size Avg	0.06
5.	Fwd Pkt Len Mean	0.08	TotLen Fwd Pkts	0.06
Brute Force -XSS				
1.	TotLen Fwd Pkts	0.15	Init Fwd Win Byts	0.07
2.	Subflow Fwd Byts	0.15	TotLen Fwd Pkts	0.04
3.	Fwd Act Data Pkts	0.13	Flow IAT Max	0.04
4.	Bwd Pkt Len Mean	0.05	Subflow Bwd Pkts	0.04
5.	Bwd Seg Size Avg	0.05	Tot Fwd Pkts	0.04
SQL Injection				
1.	Pkt Len Var	0.02	Fwd Pkt Len Std	0.08
2.	Bwd Pkt Len Std	0.01	Flow IAT Min	0.07
3.	ECE Flag Cnt	0.01	RST Flag Cnt	0.06
4.	RST Flag Cnt	0.01	Fwd Pkt Len Mean	0.06
5.	Pkt Len Std	0.01	ECE Flag Cnt	0.05
Infiltration				
1.	Fwd Seg Size Min	0.14	Flow IAT Max	0.07
2.	Fwd Seg Size Avg	0.11	Init Fwd Win Byts	0.06
3.	Fwd Pkt Len Mean	0.11	Flow Duration	0.06
4.	PSH Flag Cnt	0.11	Fwd Pkts/s	0.06
5.	Pkt Size Avg	0.1	Flow IAT Mean	0.06
Bot				
1.	Bwd Pkt Len Max	0.36	Fwd IAT Tot	0.09
2.	RST Flag Cnt	0.32	Fwd IAT Max	0.08
3.	ECE Flag Cnt	0.32	Fwd IAT Mean	0.08
4.	Bwd Pkt Len Mean	0.32	Flow IAT Mean	0.08
5.	Bwd Seg Size Avg	0.32	Flow Pkts/s	0.07

С. Отбор на основе информативности отдельно для каждого класса атак

Данный отбор основан на индексе Джини и необходим для выявления признаков, обладающих большей информативностью в зависимости от атаки. При этом действия производятся аналогично предыдущим пунктам.

Отобранные признаки объединяются в единый список, который используется в качестве нового признакового пространства. Признаковое пространство было сформировано по результатам выборок по одному, двум, трем и четырем признакам для каждой из атак.

Использование более пяти признаков для каждой атаки является нецелесообразным, так как приводит к повторению ранее выделенных признаков. Признаки, полученные в результате отбора указаны, в таблице 3.

Многослойный перцептрон обучается с указанными ранее параметрами. Сравнение и выбор датасета, на котором решение задачи является наиболее эффективным, осуществляются после этапа работы обученного перцептрона. После получения спрогнозированных меток классов происходит сравнение с истинными метками, на основании чего вычисляются метрики качества классификации. Также вычисляется время тестирования многослойного перцептрона, снижение которого при приблизительном сохранении значений метрик также служит критерием оптимальности набора.

В таблице 4 представлено сравнение метрик и времени работы методов отбора по всем датасетам, признаковые пространства которых генерируются предложенными методами отбора.

Таблица 4

Сравнение различных методов отбора признаков на датасете CSE-CIC-IDS2018

Принцип формирования датасета	Принцип отбора признаков	Количество информативных признаков	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Время работы, сек
CSE-CIC-IDS2018	–	77	0.98	0.95	0.95	0.95	1204.09
Индекс Джини для алгоритма Random Forest для всех классов атак	С учетом применения корреляции	14	0.99	0.99	0.99	0.99	476.05
	Без применения корреляции	20	0.98	0.98	0.98	0.98	538.38
Коэффициент корреляции Пирсона с меткой класса отдельно для каждого класса атак	По 5 признаков атаки	37	0.98	0.98	0.97	0.98	641.72
	По 4 признака атаки	32	0.97	0.97	0.97	0.97	612.67
	По 3 признака атаки	28	0.96	0.96	0.95	0.95	556.84
	По 2 признака атаки	22	0.94	0.93	0.93	0.93	479.13
	По 1 признаку атаки	11	0.9	0.89	0.89	0.89	344.87
Индекс Джини для алгоритма Random Forest отдельно для каждого класса атак	По 5 признаков атаки	30	0.98	0.98	0.98	0.98	580.25
	По 4 признака атаки	28	0.97	0.97	0.97	0.97	571.92
	По 3 признака атаки	26	0.96	0.97	0.96	0.97	532.74
	По 2 признака атаки	20	0.96	0.95	0.94	0.95	490.65
	По 1 признаку атаки	11	0.95	0.94	0.94	0.94	353.21

Исходя из результатов выявлено, что лучшим методом снижения размерности является отбор признаков алгоритмом RandomForest с вычислением степени информативности каждого из признаков для всех классов атак на основании индекса Джини с учетом применения корреляции.

Следует отметить, что в полученном датасете при тех же настройках классификатора стало более точным распознавание малочисленных классов. Данный эффект обусловлен применением указанной ранее стратегии гибридной балансировки, а именно уменьшением мажоритарного класса случайным удалением некоторых записей и добавлением синтетических примеров, сгенерированных алгоритмом SMOTE, к миноритарному классу.

На рисунках 6 и 7 представлены матрицы ошибок при работе многослойного перцептрона на датасете CSE-CIC-IDS2018 [9] и предложенном датасете, сгенерированном путем отбора информативных признаков, где видно, что стало более точным прогнозирование, в частности, миноритарных классов атак Bruteforce-XSS, Bruteforce-Web и SQL-injection.

Benign	1295141	835	73	96	27	1139	235	70	324	10	586	12	63	269	31
Bot	1310	84534	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BruteForce-Web	40	6	49	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0
BruteForce-XSS	18	7	1	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
DDoS-HOIC	156	0	0	0	648832	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DDoS-LOIC-HTTP	1243	0	0	0	0	169172	0	0	0	0	0	0	0	3	0
DDoS-LOIC-UDP	248	0	0	0	0	0	5599	0	0	0	0	0	0	0	0
DoS-GoldenEye	28	0	0	0	0	0	0	12376	41	0	45	0	0	0	0
DoS-Hulk	66	0	0	0	0	0	0	51	448222	4	0	8	0	0	1114
DoS-SlowHTTPTest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14104	0	17651	0	0	0
DoS-Slowloris	160	0	1	0	0	0	0	25	108	0	3223	0	2	0	0
FTP-BruteForce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5821	0	51799	0	0	0
Infiltration	88	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22787	0	0
SQL-Injection	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0
SSH-BruteForce	4	0	0	0	0	0	0	0	174	2	0	4	1	0	56441

Рис. 6. Матрица ошибок классификации на датасете CSE-CIC-IDS2018

Benign	1295141	640	37	21	19	63	88	10	32	4	569	4	47	53	9
Bot	81	84534	99	31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BruteForce-Web	1	6	118	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BruteForce-XSS	0	7	1	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
DDoS-HOIC	10	0	0	0	648977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DDoS-LOIC-HTTP	10	0	0	0	0	170407	0	0	0	0	0	0	0	1	0
DDoS-LOIC-UDP	21	0	0	0	0	0	5826	0	0	0	0	0	0	0	0
DoS-GoldenEye	3	0	0	0	0	0	0	12484	0	0	3	0	0	0	0
DoS-Hulk	18	0	0	0	0	0	0	51	448383	2	6	8	0	0	1052
DoS-SlowHTTPTest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16215	0	15540	0	0	0
DoS-Slowloris	104	0	1	0	0	0	0	25	10	0	3295	0	2	0	0
FTP-BruteForce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6893	0	51799	0	0	0
Infiltration	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22859	0	0
SQL-Injection	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0
SSH-BruteForce	4	0	0	0	0	0	0	0	174	2	0	4	1	0	56492

Рис. 7. Матрица ошибок классификации на предложенном датасете с использованием отбора признаков (индекс Джини алгоритма Random Forest для всех классов атак с учетом применения корреляции)

Сравнение характеристик датасета CSE-CIC-IDS2018 с предложенным датасетом, сформированным на основе отбора информативных признаков, представлено в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение характеристик датасета CSE-CIC-IDS2018

Критерий сравнения	CSE-CIC-IDS2018	CSE-CIC-IDS2018 с применением отбора признаков (индекс Джини алгоритма Random Forest для всех классов атак с учетом применения корреляции)
Количество информативных признаков	77	14
Количество записей	16 232 943	10 483 379
Объем занимаемой памяти, Кб	6 609 006	493 494(test); 1 002 440(train)
Время обучения на 5 эпохах, сек	1204	476
Соотношение размера наибольшего класса к наименьшему в тренировочной выборке	154 996 : 1	182 : 1

Время обучения классификации сократилось примерно в 2,5 раза. Также следует отметить, что миноритарный класс все равно остается довольно малым по сравнению с мажоритарным, вместе с тем данное свойство сохраняется во избежание получения некорректной информации о статистическом распределении характеристик пакетов в сети при обучении классификатора.

Выводы

В данной работе проведен анализ методов отбора информативных признаков. В качестве классификатора выбран многослойный перцептрон с двумя скрытыми слоями. Были исследованы, адаптированы для рассматриваемого датасета и представлены этапы предварительной обработки данных при машинном обучении. Произведена очистка датасета от некорректных значений, выполнена стратегия балансировки, окончательное преобразование признаков и числовая нормализация.

Основным результатом является уменьшение времени и повышение эффективности обнаружения атак за счет снижения размерности признакового пространства датасета CSE-CIC-IDS2018. На основе исследованных работ и методов сокращения размерности был сделан выбор в сторону отбора информативных признаков. Предложено 2 метода отбора информативных признаков: на основе информативности (индекс Джини) и на основе корреляции (коэффициент Пирсона). Первый метод был сформирован как для целого датасета со всеми классами сетевых атак, так и для каждого класса атак по отдельности. После сравнения датасетов, полученных различными методами отбора информативных признаков было выявлено, что наилучшие показатели представлены у алгоритма RandomForest при вычислении степени информативности каждого из признаков для всех классов атак на основании индекса Джини с учетом применения корреляции.

Литература

1. Гетьман А.И., Горюнов М.Н., Мацкевич А.Г., Рыболовлев Д.А. Методика сбора обучающего набора данных для модели обнаружения компьютерных атак // Труды ИСП РАН, т. 33, вып. 5, 2021. С. 83-104.
2. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение: учеб. пособие. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.
3. Ерохин С.Д., Борисенко Б.Б., Фадеев А.С., Мартишин И.Д. О разработке датасета для обнаружения сетевых атак // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы, 2022. Т.12, №1. С. 18-25.
4. Орлов А.И., Луценко Е.В. Методы снижения размерности пространства статистических данных // Научный журнал КубГАУ, 2016, №119, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-snizheniya-razmernosti-prostranstva-statisticheskikh-dannyh> (дата обращения 19.11.2021).
5. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов, курс лекций. М.: МГУ, 2004. 85 с.
6. Ерохин С.Д., Борисенко Б.Б., Мартишин И.Д., Фадеев А.С. Анализ существующих методов снижения размерности входных данных // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт, 2022. Т.16, №1. С. 30-37.
7. Орлов А.И. Прикладная статистика: учебник для вузов. М.: Экзамен, 2004. 672 с.
8. Borisenko B.B., Erokhin S.D., Fadeev A.S., Martishin I.D. Intrusion detection using multilayer perceptron and neural networks with long short-term memory // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings, Svetlogorsk, Kaliningrad Region, 2021, URL: <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488416> (дата обращения: 18.01.2022).
9. Erokhina O.V., Borisenko B.B., Martishin I.D., Fadeev A.S. Analysis of the multilayer perceptron parameters impact on the quality of network attacks identification // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings, Svetlogorsk, Kaliningrad Region, 2021, URL: <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488344> (дата обращения: 18.01.2022).
10. Erokhin S., Borisenko B., Fadeev A. Reducing the dimension of input data for ids by using match analysis, 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia, 2021, pp. 96-102, URL: <https://doi.org/10.23919/FRUCT50888.2021.9347629> (дата обращения: 18.01.2022).
11. CSE-CIC-IDS2018 on AWS. A collaborative project between the Communications Security Establishment (CSE) & the Canadian Institute for Cybersecurity (CIC), URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html> (дата обращения: 17.01.2022).
12. CICFlowMeter-V4. GitHub Inc, URL: https://github.com/iPAS/TCPDUMP_and_CICFlowMeter/tree/master/CICFlowMeters/CICFlowMeter-4.0 (дата обращения 15.12.2021).
13. Горюнов М.Н., Мацкевич А.Г., Рыболовлев Д.А. Синтез модели машинного обучения для обнаружения компьютерных атак на основе набора данных CICIDS2017 // Труды ИСП РАН. Т. 32, вып. 5, 2020. С. 81-94.
14. What is Data Preprocessing? Janalta Interactive, 2021, URL: <https://www.techopedia.com/definition/14650/data-preprocessing> (дата обращения 27.02.2022).
15. Лазебная Е.А. Порядок проведения предварительной обработки данных, составляющих прогнозный фон при прогнозировании с помощью временных рядов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 234-240
16. Еськов А. Очистка данных: проблемы и современные подходы. Habr Blockchain Publishing LTD, 2021, URL: <https://habr.com/ru/post/548220/> (дата обращения 12.11.2021).
17. Царьков С. Различные стратегии сэмпинга в условиях несбалансированности классов. Loginom Company, 2017, URL: <https://basegroup.ru/community/articles/imbalance-datasets> (дата обращения 23.01.2022).
18. Cornelli Yudha Wijaya. SMOTE Techniques for Oversampling your Imbalance Data. Medium, 2020, URL: <https://towardsdatascience.com/5-smote-techniques-for-oversampling-your-imbalance-data-b8155bdbe2b5/> (дата обращения 18.03.2022).
19. SMOTE. The imbalanced-learn developers, URL: https://imbalanced-learn.org/stable/references/generated/imblearn.over_sampling.SMOTE.html (дата обращения 18.03.2022).

20. *Levy J.L., Hancock J., Zuech R.* Detecting cybersecurity attacks across different network features and learners. *J Big Data* 8, 2021, URL: <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00426-w> (дата обращения 09.01.2022).
21. Стандартизация данных (Data standardization). *Loginom*, 2015, URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/data-standartization.html> (дата обращения 17.11.2021).
22. *Никольская К.Ю., Варкентин В.В.* Особенности создания наборов данных для обучения систем обнаружения вторжений, основанных на методах машинного обучения // VII научно-практическая конференция, т. 1, сборник материалов конференции, Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. 275 с.
23. *NewTechAudit.* Отбор признаков в задачах машинного обучения. Часть 1. *Habr Blockchain Publishing LTD*, 2021, URL: <https://habr.com/ru/post/550978/> (дата обращения 04.12.2021).
24. *Чехина Е.А.* Обзор методов отбора признаков для классификации изображений // *Аспирант и соискатель*, 2020. №3(117). С. 65-73.
25. *Пащенко А.Ф., Тордия М.Д., Хижинская Л.Д.* Обзор современных подходов к задачам информативных признаков // *Датчики и системы*, 2020. №12(253). С. 16-26.
26. *Ерохин С.Д., Ванюшина А.В.* Выбор атрибутов для классификации IP-трафика методами машинного обучения // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*, 2018. Т.12, №9. С. 25-29.
27. *Scikit-learn documentation.* Random forest classifier. *Scikit-learn developers*, URL: <https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble> (дата обращения 15.12.2021).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИГНАЛОПОДОБНЫХ ПОМЕХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ УЯЗВИМОСТИ МЕХАНИЗМА RTS/CTS В СЕТЯХ 802.11

Михайлов Владимир Юрьевич,

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
mihvj@yandex.ru*

Мазепа Роман Богданович,

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
mrb402@mail.ru*

Аннотация

Объект рассмотрения – беспроводные сети стандарта 802.11, моделирование вариантов активного и скрытого воздействия злоумышленника на физическую среду передачи данных с помощью создания специальных сигналоподобных помех. Предмет исследования – разработка вариантов создания, сценариев и методики применения сигналоподобных помех для моделирования активных действий злоумышленника на физическом уровне, эксплуатирующих уязвимости механизма обхода коллизий RTS/CTS, используемого в беспроводных сетях стандарта 802.11. Цель исследования – обосновать возможность и оценить эффективность применения сигналоподобных помех особого типа, нацеленных на эксплуатацию уязвимости механизма обхода коллизий RTS/CTS семейства стандартов 802.11. Решения базируются на применении устройств USRP в сочетании с функциональностью программной среды LabVIEW корпорации National Instruments, разработанных виртуальных устройствах, решающих частные задачи мониторинга физической среды, а также результатах экспериментальных исследований авторов, апробации этих результатов и технических решений в образовательном процессе. Результат исследования состоит в формировании структуры и сценариев применения сигналоподобной помехи для эксплуатации уязвимости механизма обхода коллизий RTS/CTS семейства стандартов 802.11. Ценность результата состоит в обосновании эффективности нового типа вредоносного воздействия на беспроводную сеть на физическом уровне модели OSI, подобного атакам DoS (DDoS) на логическом уровне. Результат полезен, прежде всего, для тестирования степени защищенности беспроводных сетей.

Ключевые слова: *беспроводные сети 802.11, коллизии, RTS/CTS, сигналоподобные помехи, злоумышленник, USRP, LabVIEW*

Введение

Беспроводные сети были и остаются центром внимания специалистов разных уровней как с точки зрения улучшения потребительских характеристик (прежде всего, производительности), так и с позиции обеспечения их безопасной эксплуатации. Несмотря на более сильную защиту беспроводных сетей по отношению к кабельным сетям, проявляющуюся в более развитых стандартах обмена ключами и шифрования, другая сторона эксплуатации беспроводных сетей – доступность физической среды – является главной проблемой их безопасной эксплуатации. Проблемы информационной безопасности на физическом уровне практически не решаются введением новых стандартов беспроводной связи, новых методов защиты, поскольку они направлены на обеспечение безопасности реализаций логических уровней модели OSI.

Несмотря на более сильную по сравнению с проводными сетями защиту логических уровней модели OSI современных стандартов семейства 802.11, существуют процедуры, успешно решающие задачу взлома беспроводного трафика [1]. Более того, известны решения, автоматизирующие процесс адаптации параметров атакующих воздействий к изменениям частоты излучения точки доступа [2]. Работы [3-5] посвящены построению разнообразных сценариев атакующих воздействий на инфраструктуру беспроводных сетей.

Разумеется, что в этих условиях беспроводные устройства и сети в целом нельзя считать совершенно беззащитными. Например, активные действия злоумышленников по рассылке пакетов деаутентификации принципиально не могут остаться незамеченными при анализе пакетов в среде Wireshark [6]. Современные беспроводные сети, использующие протокол WPA3 также исследуются на предмет вторжений [7]. Это обстоятельство может считаться главным и сильным недостатком традиционных атакующих воздействий. Несомненно, как показано в [8], злоумышленник будет пытаться избавиться от этого недостатка, перенося центр своего воздействия с логических уровней модели OSI на физический уровень, где обнаружение атакующих воздействий исключительно программными средствами невозможно. Работы [8] посвящены этому вопросу, в них выполнена экспериментальная оценка эффективности сигналосободной помехи, формируемой программно-аппаратным комплексом на основе платформы USRP и программной среды LabVIEW. В этой работе исследованы два сценария вредоносного воздействия с применением сигналосободных помех:

- создание физического образа существующей точки доступа – направлен на компрометацию существующей точки доступа;
- разрыв существующего соединения (ассоциации) клиентов с точкой доступа с целью перехвата процедуры “handshake” и дешифрования трафика.

Оба этих сценария предполагают активное излучение сигнала, что обеспечивает возможность обнаружения факта такого воздействия стороной защиты. Однако, там же показано, что такое обнаружение сильно ограничивает возможности стороны защиты по реальному устранению подобной угрозы в виду того, что источник атакующего воздействия имеет «фейковую» природу.

Несмотря на высокую продуктивность подобных атак, оба упомянутых сценария не исчерпывают всех возможностей злоумышленника по подавлению работы целевых средств беспроводных сетей. В частности, пока не рассмотрен вариант DoS-атаки, основанный на эксплуатации уязвимости протокола RTS/CTS.

Спецификация семейства стандартов IEEE 802.11 определяет способ доступа к каналу передачи данных CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), предотвращающий возникновение коллизий.

Согласно протоколу CSMA/CA, узел прослушивает канал передачи данных и, если он свободен, то отправляет пакет, которым информирует остальные узлы о том, что собирается начать передачу данных. При этом, узел должен подождать еще некоторое время и убедиться, что по данному каналу не передавались аналогичные служебные пакеты от других узлов. Если подобные пакеты им всё же были обнаружены (канал занят), то узел должен подождать еще некоторое время и повторить алгоритм. Если подобные пакеты не были обнаружены, то узел передает данные до тех пор, пока они все не будут доставлены получателю. Как видно из алгоритма, исключается коллизия пакетов с данными, но не коллизия служебных пакетов.

Однако, в беспроводных сетях существует проблема скрытого узла, состоящая в том, что какие-то узлы могут «не слышать» друг друга из-за значительного затухания сигнала. Поскольку передача основана на механизме обнаружения несущей, эти узлы игнорируют друг друга и могут передавать информацию одновременно. Так, для узла, размещенного между ними, эти одновременные передачи имеют сопоставимую среднюю мощность и приводят к коллизии пакетов (рис. 1).

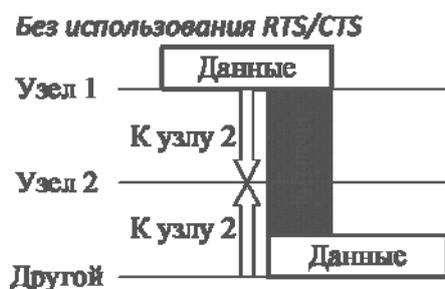


Рис. 1. Ситуация коллизии пакетов

Решением данной проблемы, как известно, является использование протокола RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send), различным аспектам работы которого посвящены работы [9-11]. На рисунке 2 показано, как протокол не допускает коллизию.

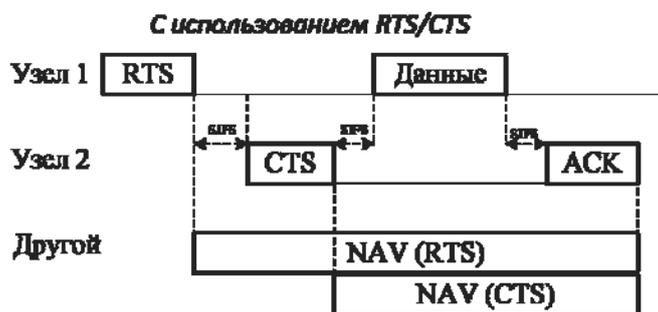


Рис. 2. Иллюстрация действия механизма RTS/CTS

Узел 1 перед отправкой данных посылает узлу 2 RTS-пакет, извещая о намерении передать ему данные, и ожидает CTS-пакет от узла 2 с подтверждением готовности к приему. CTS-пакет получают также и другие узлы, которые воздерживаются от передачи данных, не допуская коллизии. Поскольку эти узлы могут не слышать передачу данных друг друга, сообщения RTS и CTS содержат информацию о предположительной продолжительности передачи данных (в мкс). На Рис.2 приведены следующие объекты:

SIFS – защитный интервал;

NAV (network allocation vector) – виртуальный таймер, значение которого обновляется данными фреймов RTS и CTS. Фреймы содержат поле продолжительности (duration field), значение которого сообщает узлам, на какое время резервируется канал. Значение вектора распределения сети обновляется только тогда, когда полученное значение поля продолжительности превышает значение, хранимое в NAV.

Итак, указанный протокол обеспечивает синхронизацию доступа беспроводных станций к ресурсам точки доступа и защищает от коллизий – это определенно положительный эффект работы протокола RTS/CTS. Однако, существует и отрицательный эффект в виде существенного снижения производительности беспроводной сети в случае высокой интенсивности запросов к ее ресурсам. Согласно описанному выше алгоритму предотвращения коллизий, любая станция, получившая CTS-кадр, должна воздержаться от передачи данных на заданное в пакете время. Именно эта особенность может эксплуатироваться DoS-атакой. Моделью сигналоподобной помехи может выступать запись потока передачи какой-либо информации (например, видео) вместе со служебными пакетами RTS/CTS. Воспроизведение помехи (точнее, эффект воспроизведения на логическом уровне) гипотетически может интерпретироваться как «легальная», т.е. не нарушающая логику стандарта 802.11, передача данных некоторым пользователем. Причем остальные станции, наблюдая каждый CTS-кадр будут вынуждены ждать полную передачу порции данных. Эффективность подавления передачи других станций по заданному каналу будет наблюдаться при достаточной интенсивности (непрерывности) воспроизведения сигналоподобной помехи, которая будет занимать канал быстрее, чем по протоколу RTS/CTS это сделает другая станция.

Экспериментально, это предварительно показано в упомянутой работе [2]. Отметим, что получение достаточно точных данных о воздействии упомянутого варианта DoS атаки на производительности беспроводной сети обычным способом, в том числе, экспериментальным путем, который использован в [2], весьма проблематично. Причина – влияние большого количества трудно контролируемых факторов, например влияния программно-аппаратных компонентов компьютера.

Целью данной работы является формирование структуры, сценариев применения и создание программно-аппаратной модели реализации сигналоподобной помехи для эксплуатации уязвимости механизма обхода коллизий RTS/CTS семейства стандартов 802.11.

Формулировка задачи

Сформулируем кратко требования к источнику помехи, который будет являться основой выполнения DoS-атаки рассматриваемого типа. Источник помехи должен удовлетворять следующим требованиям:

- создаваемая помеха на физическом уровне не должна ассоциироваться с каким-либо физически существующим беспроводным устройством;
- создаваемая помеха должна быть малозаметной (скрытной), т.е. максимально подобной обычному рабочему трафику;
- создаваемая помеха не должна содержать (в отличие от [8]) на уровне логического представления разрушающих фреймов типа фрейма Деаутентификации.

Как показано в [8], первое требование указывает на необходимые и достаточные условия применения заявленного в этих работах подхода. Речь идёт об использовании программно-аппаратного решения на основе платформы USRP и программной среды LabVIEW, главным смыслом которого является излучение сигнала, по структуре полностью совпадающего с фрагментом сигнала, выборки которого были записаны ранее. Предлагаемое решение существенно отличает его от известных [3, 5], где активное вредоносное воздействие выполняется на логических уровнях формированием соответствующих разрушающих фреймов. Однако, это решение не отвечает третьему требованию, что и обосновывает актуальность данного исследования. Второе и третье требования дополняют друг друга, однако второе требование дополнительно указывает на то, что сигналоразрушающая помеха не должна содержать «опасных» фреймов, участвующих в установлении и разрыве соединения, аутентификации и др. Такие фреймы на основании результатов, полученных в работах [6, 7] легко обнаруживаются. Анализ трафика беспроводных сетей показывает, что обычный рабочий поток содержит, кроме фреймов данных и фреймов QoS, управляющие фреймы RTS/CTS, которые и являются, с учетом указанных выше требований, единственной целью эксплуатации их злоумышленником. Таким образом, целью дальнейших разделов является уточнение состава программно-аппаратной модели реализации сигналоразрушающей помехи для эксплуатации уязвимости механизма обхода коллизий RTS/CTS семейства стандартов 802.11, разработка плана формирования и использования сигналоразрушающей помехи, и, наконец, выполнение эксперимента для анализа и оценки воздействия выбранного типа вредоносного воздействия.

Обоснование состава программно-аппаратного комплекса моделирования

Детальный обзор характеристик устройств USRP (PRODUCT FLYER USRP Software Defined Radios, <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/usrp-software-defined-radio.pdf>, 2019 – 15/05/2020), предназначенных для решения поставленных задач, а также обоснование их применения для формирования сигналоразрушающей помехи выполнен в [8]. Таким образом, выбор, как и в указанной работе, пал на USRP 2901. Самым критикуемым элементом данного устройства считается интерфейс USB. Однако, к этой критике следует относиться весьма осторожно. Дело в том, что рассматриваемый программно-аппаратный комплекс состоит из множества компонентов, которые сами по себе могут рассматриваться как сложные системы (USRP устройства, LabVIEW, интерфейс с компьютером, компьютер со своими компонентами). По этой причине определить критические подсистемы, компоненты подсистем, учитывая все возможные варианты построения моделей оказывается невозможным. Это касается и оценки вклада, в данном случае, USB интерфейса в общую копилку производительности программно-аппаратного комплекса.

Предположительно, USB интерфейс прибора USRP 2901 выполнен по типу «изохронной передачи» потоковых данных либо в направлении от компьютера к буферу передатчика USRP 2901, либо от буфера приемника USRP 2901 в устройство получателя (компьютер). Это гарантировало бы наивысшую пропускную способность интерфейса, но не саму доставку. Иными словами, принципиально возможна потеря данных, а, следовательно, необходимо контролировать характеристики потока данных (объем и скорость) в обоих направлениях. На это указывают многочисленные экспериментальные исследования, в процессе выполнения которых возникают ошибки, ассоциируемые с потерей данных.

Это, однако, не является недостатком только USB интерфейса – это свойство присуще любому интерфейсу и порождается необходимостью согласования потоков данных между источником и получателем. Несомненно, что серьезное участие в согласовании потоков данных принимает соответствующий драйвер.

На данный момент не существует чётких сведений об условиях, в которых можно рассчитывать на достижение максимальной пропускной способности интерфейса USB 3.0 – 5 Гбит/с. Конечно, это связано с определёнными техническими сложностями, однако, работа в этом направлении продолжается. В частности, известно о выпуске компанией D-Link нового адаптера DUB-E250 USB-C 2.5G Ethernet (Consumer Electronics Show 2021 года – CES 2021), обеспечивающего в 2,5 раза большую полосу пропускания по сравнению с Ethernet 1 Гбит/с. Сегодня нет возможности экспериментально проверить способности и характеристики данного устройства совместно с прибором USRP 2901 составе программно-аппаратного комплекса, однако, несомненно стоит критически относиться к декларируемым недостаткам современного USB интерфейса по отношению, по крайней мере, к интерфейсу Ethernet 1 Гбит/с. В этой связи одной из самых интересных задач исследования потенциальных характеристик программно-аппаратных комплексов подобного типа является экспериментальная проверка и сравнение характеристик производительности интерфейсов USB 3.0, Ethernet 1 Гбит/с и 10 Гбит/с. Это, однако, выходит за границы целей данной работы.

С учетом вышеизложенного, а также опираясь на результаты исследований авторов, состав программно-аппаратного комплекса моделирования уточнен в части программного компонента LabVIEW – он расширен до самостоятельного программно-аппаратного имитационно-вычислительного компонента (ИБК) в виде компьютера с его внешним USB интерфейсом. В условиях, когда полная оптимизация моделирующего комплекса невозможна, лучшим решением явился выбор компьютера с наилучшими доступными для выполнения экспериментальных исследований на данный момент характеристиками: процессор – Intel Core i7; оперативная память – 16 Гбайт; долговременная память – SSD диск с интерфейсом PCIe. Таким образом, следующие шаги исследований должны быть направлены на обоснование способности решения поставленных задач выбранным устройством. Программно-аппаратный комплекс постановщика помех должен уметь решать следующие технические задачи:

- определить область частот активности беспроводных устройств, претендующих на роль источников сигналоподобной помехи путем анализа спектра в заданном диапазоне частот;
- оперативно выполнить запись радиосигнала в частотной области максимальной активности беспроводных устройств;
- оперативно воспроизвести предварительно записанные выборки радиосигнала в выбранный момент времени.

Решение перечисленных задач неявно опирается на решения, которые выносятся главными действующими лицами – злоумышленником и его антиподом – аналитиком-исследователем. А эти решения основываются на объективном анализе информационной среды с помощью специального программного обеспечения, в качестве которого, по нашему убеждению, выступает Wireshark на платформе Linux.

Результатом действия всего программно-аппаратного комплекса является создание набора (или «наилучшего» представителя) всех возможных образцов радиосигналов, которые могли бы быть использованы на этапе обычного информационного взаимодействия устройств в рабочей среде. «Наилучший» представитель должен обладать свойствами обычного рабочего процесса информационного взаимодействия беспроводной сети, с одной стороны, и, с другой стороны, – свойствами достаточно напряженной нагрузки на пропускную способность беспроводного канала.

Итак, программно-аппаратный комплекс моделирования и оценки эффективности воздействия сигналоподобной помехи на инфраструктуру беспроводной сети должен включать следующие компоненты:

- устройство USRP 2901;
- программную среду LabVIEW вместе с соответствующим драйвером USRP;
- компьютер Linux с установленными компонентами управления беспроводными сетями, включая программу Wireshark.

Обоснование состава виртуальных приборов для решения поставленных задач

В качестве виртуального прибора для выявления области частот активности беспроводных устройств, претендующих на роль источников сигналоподобной помехи, выбран прибор “Spectral Monitoring (Interactive)”, входящий в состав примеров среды проектирования LabVIEW NXG версии 3.0, модифицированный в [8].

На Рис. 3 приведен частотный спектр выборок сигнала со скоростью 30 MS/s на центральной частоте канала 6 в диапазоне 2,4 ГГц. Анализ спектра позволяет обосновать частоту дискретизации, достаточной для точной записи выборок сигнала, претендующего на роль сигналоподобной помехи.

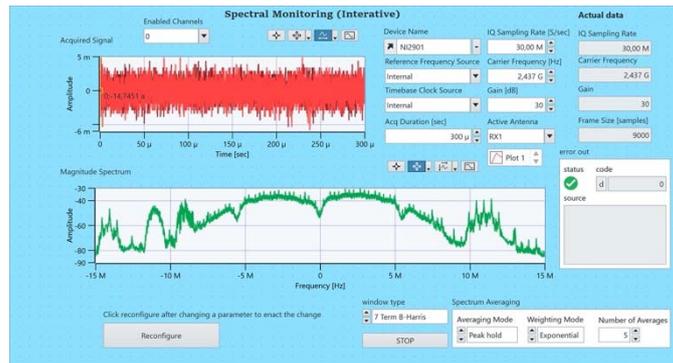


Рис. 3. Частотно-временная характеристика выборок, полученных с частотой 30 MS/s на канале 6

Видно, что выборки, полученные с частотой дискретизации 25 MS/s в диапазоне 2,4 ГГц, могут считаться необходимыми и достаточными для формирования сигналоподобной помехи. Однако, требуется экспериментально подтвердить способность выбранного устройства USRP 2901 совместно с соответствующим виртуальным прибором LabVIEW выполнить задачи записи-воспроизведения выборок сигнала для формирования сигналоподобной помехи.

Следующей задачей является доказательство способности программно-аппаратного комплекса выполнять запись выборок сигнала в файл с установленной интенсивностью.

Как показано в [8] наиболее подходящим виртуальным инструментом для записи и воспроизведения выборок сигнала в данный момент времени является виртуальный прибор «NI USRP Record and Playback – I16», работающий в среде LabVIEW 2018. Несмотря на привлекательность проекта «RF Record and Playback with USRP and LabVIEW Communications», работающего в среде NI LabVIEW Communications Design Suite версий 2.0 и выше в части интерфейса пользователя, выбор сделал в пользу виртуального прибора «NI USRP Record and Playback - I16» по причине более высокой производительности. Экспериментально подтверждено, что запись и воспроизведение выборок сигнала программно-аппаратным комплексом в установленном выше составе может выполняться с интенсивностью 25 мегасэмплов в секунду (MS/s), что вполне достаточно для создания сигналоподобных помех в беспроводных сетях массового применения, а также для подтверждения выдвигаемых в процессе экспериментирования гипотез. Увеличение интенсивности взятия выборок по сравнению с прототипом, описанным в [8], обязано более высоким показателям производительности компьютера (см. Раздел III) с установленной программной средой LabVIEW.

Экспериментальная оценка эффективности сигналоподобной помехи, формируемой программно-аппаратным комплексом

План эксперимента подразумевает исполнение чётких правил записи-воспроизведения сигнала.

Первое из них – запись «наилучшего» представителя образца сигналоподобной помехи должна выполняться в отсутствии посторонних источников сигнала, которыми могут являться дополнительные точки доступа, клиентские средства, которые в состоянии генерировать запросы на подключение к целевой точке доступа. Отметим, что опасность нарушения этого условия состоит в существовании неконтролируемых беспроводных клиентов, генерирующих постоянные запросы на подключение к

предпочтительной точке доступа.

Второе правило заключается в необходимости четкого сопоставления содержания запланированного и записанного информационного потока с результатом интерпретации воспроизведения этой записи анализатором пакетов – программой Wireshark. Практика показала, что наиболее высокое качество записи пакетов обеспечивается программой airodump-ng на платформе Linux (развертывается на ПКЗ – персональном компьютере записи) в то время, как Wireshark удобнее использовать при анализе записанных пакетов на платформе Windows (развертывается на ПКА – персональном компьютере анализа).

Необходимость указанного сопоставления диктуется обеспечением гарантии отсутствия посторонних, не планируемых воздействий на инфраструктуру беспроводной сети.

Оба этих правила должны быть соблюдены уже на первом этапе планирования и выполнения эксперимента в виде обоснования «наилучшего» представителя возможных образцов выборок радиосигналов в качестве сигналорободной помехи. Как отмечено в Разделе III, эти выборки с большой точностью должны ассоциироваться с обычным, стандартным потоком информационного взаимодействия между источником и получателем. Не претендуя на общность выбранного характера взаимодействия, в качестве «наилучшего» представителя был выбран параллельный информационный видеопоток между парами источников и получателей на платформах iPhone и Android современных версий. В качестве провайдеров были выбраны некоммерческие сервисы «Смотрим» и «KION» соответственно. Очевидно, что лучшим решением является параллельная запись выборок радиосигнала в файл с помощью устройства USRP и выбранного виртуального инструмента, развернутого на ИВК. На рисунке 4 представлена структура экспериментального комплекса для формирования сигналорободной помехи на основе записи напряженного рабочего трафика.

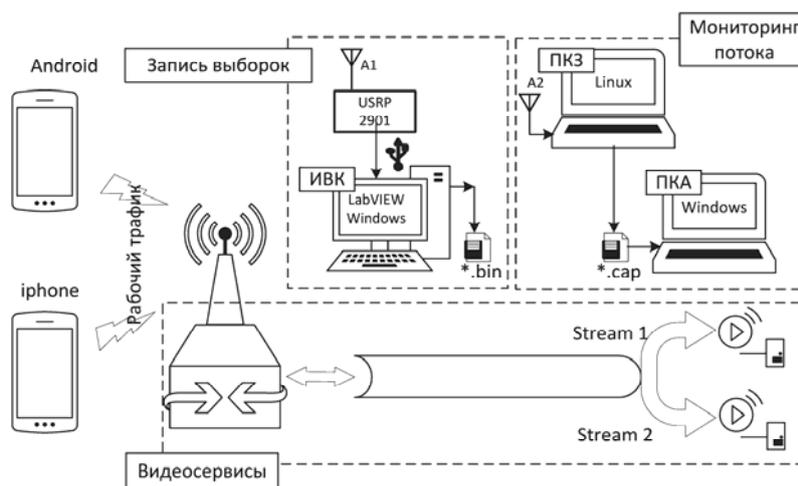


Рис. 4. Структура экспериментального комплекса для записи сигналорободной помехи

В этом режиме устройство USRP 2901 использует приемный тракт с антенной A1, а ПКЗ со встроенной или внешней антенной A2 имеет беспроводной адаптер, настроенный на режим мониторинга. Запись выборок выполняется в файл с расширением “bin”, который в дальнейшем используется для излучения сигналорободной помехи. Параллельно работающий ПКЗ с анализатором пакетов записывает результат захвата в файл с расширением “cap”, который используется ПКА для мониторинга и интерпретации рабочего потока.

На рисунке 5 приведен пример интерпретации такого потока программой Wireshark. Как видно, в соответствии с протоколом чётко выделяются «сеансы» информационного взаимодействия каждого из используемых мобильных устройств с источником данных через точку доступа. По этой причине записанный поток полностью легитимен и по нему невозможно установить, что он специально создан. Именно это и характеризует понятие «наилучшего» представителя образца сигналорободной помехи.

No.	Source	Destination	Protocol	Length	Info
360	SamsungE_6c:fd:d8 (	Tp-LinkT_7e:5c:fc (ac	802.11	16	Request-to-send, F
361		SamsungE_6c:fd:d8 (	802.11	10	Clear-to-send, Flag
362	SamsungE_6c:fd:d8		802.11	168	QoS Data, SN=1069
363	SamsungE_6c:fd:d8	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	90	QoS Data, SN=1070
...
2006		SamsungE_6c:fd:d8 (	802.11	10	Acknowledgement
...
2008	Apple_31:a7:48 (9c:5	Tp-LinkT_7e:5c:fc (ac	802.11	16	Request-to-send, F
2009		Apple_31:a7:48 (9c:5	802.11	10	Clear-to-send, Flag
2010	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	225	QoS Data, SN=3708
2011	Apple_31:a7:48 (9c:5	Tp-LinkT_7e:5c:fc (ac	802.11	16	Request-to-send, F
2012		Apple_31:a7:48 (9c:5	802.11	10	Clear-to-send, Flag
2013	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	225	QoS Data, SN=3708
2014	Tp-LinkT_7e:5c:fc (ac	Apple_31:a7:48 (9c:5	802.11	28	802.11 Block Ack, F
2015	Tp-LinkT_7e:5c:fc	Apple_31:a7:48	802.11	102	QoS Data, SN=1768
...
7275		Apple_31:a7:48 (9c:5	802.11	10	Acknowledgement

Рис. 5. Пример интерпретации сигналоподобной помехи программой Wireshark

На рисунке 6 приведена структура экспериментального комплекса для воспроизведения записанного образа сигналоподобной помехи. Отличие работы комплекса в режиме состоит в том, что устройство USRP 2901 использует передающий тракт с антенной А3. Разумеется, что рабочий видеопоток соответствует текущему моменту времени начала воспроизведения сигналоподобной помехи.

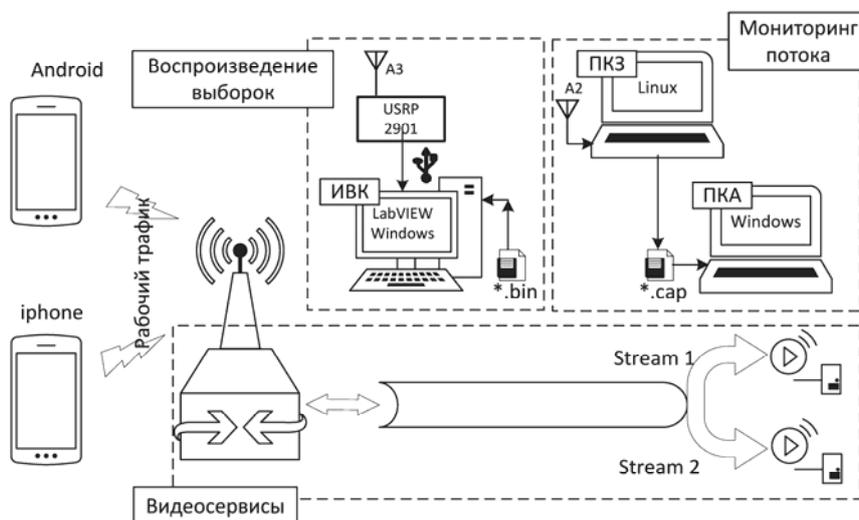


Рис. 6. Структура экспериментального комплекса для воспроизведения сигналоподобной помехи

Интерпретация перехваченного потока модулем «Мониторинг потока» крайне сложна, поскольку сам поток очень «путаный» ввиду столкновения реальных и виртуальных процессов на пакетном уровне. Для лучшего осмысления происходящего на пакетном уровне, язык которого распознается всеми устройствами беспроводной сети, весь поток разбит на два подмножества фрагментов, первый из которых можно трактовать как подмножество легитимных протокольных конструкций. Второе же подмножество фрагментов, напротив, содержит подмножество протокольных конструкций, которые не отвечают правилам взаимодействия в сетях 802.11. Первое подмножество протокольных конструкций, захваченных компонентом ПКЗ, записанных в файл и интерпретированных компонентом ПКА, приведено на рисунке 7.

No.	Source	Destination	Protocol	Length	Info
11	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
12		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
...
22		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Acknowledgement, F
...
35	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
36		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
40		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
41	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
42		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
48		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
...
80	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
81		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
...
95		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Acknowledgement, F
...
116	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
117		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
...
122		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Acknowledgement, F
...
172999		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
173000	SamsungE_6c:fd:	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
173001		SamsungE_6c:fd:	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
...
173015		SamsungE_6c:fd:	802.11	10	Acknowledgement, F
...
205984	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
205985		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
205994	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
205995		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
206000		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206001	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
206002		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
206006		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206007	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
206008		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
206012		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206014		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206016		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206018		Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	10	Acknowledgement, F
206019	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc	802.11	16	Request-to-send, Flag
206020		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Clear-to-send, Flags=
206025		Apple_31:a7:48 (	802.11	10	Acknowledgement, F

Рис. 7. Пример интерпретации программой Wireshark первого подмножества фрагментов потока при воздействии сигналоподобной помехи

Из записи отчетливо видны разбросанные «сеансы» взаимодействия обоих мобильных устройств с инфраструктурой сети, незначительно мешая друг другу. Эти эпизодические, достаточно короткие сеансы, тем не менее не нарушают реального процесса демонстрации видео контента на обоих устройствах, хотя и приводят к падению производительности сети. Это говорит о том, что реализация протоколов беспроводного взаимодействия в устройствах, участвующих в информационном взаимодействии, прежде всего, точки доступа, в определённой части «справляется» с воздействием сигналоподобной помехи. Однако, другое подмножество фрагментов потоков демонстрирует совершенно иное поведение реализованных в устройствах компонентов протокольной машины 802.11. Рисунок 8 демонстрирует этот факт.

No.	Source	Destination	Protocol	Length	Info
50		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
52		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
54		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
55	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
56		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Clear-to-send, Flags=
60	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
61		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Clear-to-send, Flags=
64	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
65		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Clear-to-send, Flags=
69		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
72		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
73	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
74		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Clear-to-send, Flags=
79		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
...
99	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
100	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
101	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
102	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
103	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
104	Apple_31:a7:48	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		16	Request-to-send, Flag
105		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Clear-to-send, Flags=
109		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
113		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Acknowledgement, F
115		Apple_31:a7:48 (802.11)		10	Acknowledgement, F
...
172984	SamsungE_6c:fd:	Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		24	Null function (No dat
172985		SamsungE_6c:fd:802.11		10	Acknowledgement, F
172986	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172988	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172989	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172990	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172994		SamsungE_6c:fd:802.11		10	Acknowledgement, F
172995	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172996	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172997	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
172998	Tp-LinkT_7e:5c:f	SamsungE_6c:fd:802.11		26	Deauthentication, SN
173002		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F
173003		Tp-LinkT_7e:5c:fc802.11		10	Acknowledgement, F

Рис. 8. Пример интерпретации программой Wireshark второго подмножества фрагментов потока при воздействии сигналоподобной помехи

В первых двух частях приведённых фрагментов наблюдается хаотическая рассылка фреймов, которые управляют обходом коллизий. Последняя часть представленных фрагментов демонстрирует необычный процесс формирования точкой доступа в направлении конкретного устройства фреймов «Deauthentication», причём в большом количестве. При этом поле «Reason code» имеет значение 6: «кадр класса 2 получен от неаутентифицированной STA. Чаще всего, указанная причина трактуется как отсутствие «рукопожатия», что не имеет отношения к данной ситуации. Действительно, записанный трафик не содержит фреймов типа «EAPOL», которые могли бы указывать на смену сеансового ключа.

Очевидно, что такое поведение точки доступа провоцируется несоблюдением стандартного порядка следования фреймов RTS/CTS, вызванного сигналоподобной помехой. Поскольку в стандартах 802.11 нет явных указаний на условия такого поведения протокольной машины, то детальное выяснение причин такого поведения требует дополнительных исследований.

Отметим, что в итоге после рассылки многих десятков фреймов «Deathentication», смартфон Samsung прекращает процесс воспроизведения видео контента вплоть до прекращения действия сигналаподобной помехи.

Заключение

1. Разработана структура и состав программно-аппаратного комплекса моделирования сигналоподобных помех. Выполнено обоснование необходимости выделения в составе программно-аппаратного комплекса отдельного самостоятельного компонента в виде имитационно-вычислительного компонента. На основании экспериментальных исследований выявлен оптимальный состав ключевых компонентов компьютера: процессор – Intel Core i7; объем оперативной памяти – 16 Гб; тип дисковой памяти – SSD с интерфейсом PCIe; интерфейс USB версии 3.2. Такой оснащение компьютера вместе с виртуальным прибором для записи и воспроизведения выборок сигнала в среде LabVIEW обеспечивает наилучшее взаимодействие с устройством USRP 2901 в соответствии с его предельными возможностями. Разработанный программно-аппаратный комплекс может успешно использоваться в экспериментальных работах по созданию и обнаружению сигналоподобных помех, так как обладает всеми возможностями мониторинга информационного пространства как на логическом, так и физическом уровнях.

2. Разработан сценарий создания и применения достаточно скрытной сигналоподобной помехи неразрушающего типа на инфраструктуру беспроводной сети, эксплуатирующей уязвимости механизма RTS/CTS.

3. Выполнена экспериментальная проверка разработанного сценариев с помощью спроектированного программно-аппаратного комплекса, подтвердившая эффективность его применения для создания сигналоподобных помех, обладающих высокой степенью скрытности. Показано, что действие сигналоподобной помехи неразрушающего типа может не только привести к падению производительности, но и привести к нарушению информационного взаимодействия.

5. Разработанный программно-аппаратный комплекс, методика его применения для создания скрытных неразрушающих сигналоподобных помех исключает возможность ассоциирования средств их формирования с реальными беспроводными устройствами стандарта 802.11 и существенно затрудняет обнаружение такого рода помех. Этот результат должен стимулировать разработку методов, средств обнаружения и противодействия таким помехам.

Литература

1. *E. Baray and N. Kumar Ojha*. ‘WLAN Security Protocols and WPA3 Security Approach Measurement Through Aircrack-ng Technique’ // 2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2021, pp. 23-30, doi: 10.1109/ICCMC51019.2021.9418230.

2. *Губер, Я.А., Михайлов В.Ю., Витомский Е.В.* Разработка и тестирование сценариев, имитирующих интеллектуальное воздействие на инфраструктуру беспроводной сети // Технологии информационного общества : Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 20-21 марта 2019 года. – Москва: ООО "Издательский дом Медиа публишер", 2019. С. 204-207.

3. *Корольков Р.Ю., Куцак С.В.* Особенности реализации атаки деаутентификации в сетях стандарта 802.11 // Захист інформації. 2019. Т. 21. № 3. С. 175-181. DOI 10.18372/2410-7840.21.13953. EDN NVKYFC.

4. *Mamchenko M.V.* Analysis of Control Channel Cybersecurity of the Consumer-Grade UAV by the Example of DJI Tello // Journal of Physics: Conference Series : 13, Saint Petersburg, 06-08 октября 2020 года. Saint Petersburg, 2021. P. 012127. DOI 10.1088/1742-6596/1864/1/012127. EDN XLEPXT.

5. *T. -H. Chang, J. -W. Lin, C. -M. Chen and G. -H. Lai*. The Method of Capturing the Encrypted Password Packets of WPA & WPA2, Automatic, Semi-Automatic or Manual? // 2018 IEEE Conference on Dependable and Secure Computing (DSC), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/DESEC.2018.8625156

6. *Khasanova A. M.* Detection of Attacks on Wi-Fi Access Points // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26-28 января 2021 года. Moscow, 2021. P. 28-31. DOI 10.1109/ElConRus51938.2021.9396420. EDN FJLQK.

7. *N. Dalal, N. Akhtar, A. Gupta, N. Karamchandani, G.S. Kasbekar and J. Parekh*. A Wireless Intrusion Detection System for 802.11 WPA3 Networks // 2022 14th International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS), 2022, pp. 384-392, doi: 10.1109/COMSNETS53615.2022.9668542

8. Михайлов, В.Ю., Мазена Р.Б. Применение устройств USRP для моделирования сигналоподобных помех в беспроводных сетях // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2020. Т. 11. № 3. С. 43-51.
9. B. Singh and R. Mishra. Performance Analysis of IEEE 802.11b DCF-Basic Access and RTS/CTS in CBTC Under Field Conditions // 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2019, pp. 562-567, doi: 10.1109/SPIN.2019.8711590.
10. Y. Yin, Y. Gao, S. Manzoor and X. Hei. Optimal RTS Threshold for IEEE 802.11 WLANs: Basic or RTS/CTS? // 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI), 2019, pp. 1620-1625, doi: 10.1109/SmartWorld-UIC-ATC-SCALCOM-IOP-SCI.2019.00289.
11. Pant P.K. The Impact of SGI and RTS/CTS in WLAN Throughput // 2020 International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM), 2020, pp. 207-211, doi: 10.1109/ICIEM48762.2020.9160158.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЕ СТИМУЛА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА МЕРЦАНИЯ ПРИ СЖАТИИ ВИДЕО

Можаева Анастасия,
Университет Вайкато, Вайкато, Новая Зеландия;
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
am476@students.waikato.ac.nz

Власюк Игорь, Неживлева Ксения, Комина Анастасия,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
i.v.vlasiuk@mtuci.ru

Аннотация

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения объемов потокового видео в Интернете. В последние годы значительно повысился интерес к разработке моделей для объективной оценки качества видео. Объективные оценки качества видео, разработанные на основе моделей зрительной системы человека, успешно себя зарекомендовали в описании статического пространственно-временного кодирования. Однако гораздо меньше внимания было уделено вопросу о том, как зрительные области человеческого мозга обрабатывают временную информацию, маскирующуюся в движении. Стробоскопические эффекты в телевидении хорошо изучены для низких частот, но для потокового видео необходимо знание более высоких частот, а также сложных временных спектров, которые возникают при одновременном движении и мерцании объектов. В представленном исследовании была разработана методология создания стимула для количественной оценки эффекта мерцания при сжатии видео, для определения информации о реакции на маскирование движения для высоких временных частот, или, другими словами, о сокрытии информации в движении в современной среде представления видеоконтента.

Ключевые слова: зрительная система человека, оценка качества видео, временная контрастная чувствительность, субъективное качество, эффект мерцания.

Введение

Цифровое видео прочно вошло в повседневную жизнь. Развиваются сервисы потокового видео, сервисы видеообмена в социальных сетях и видеозвонки. По мере того, как мобильные устройства становятся совершеннее, потребление видео растет в геометрической прогрессии.

Визуальное маскирование – это снижение или исчезновение видимости стимула, вызванное присутствием другого стимула, называемого маской, который близок к цели в пространстве и/или времени [1]. Зрительное маскирование обычно проявляется, когда цель и маска имеют одинаковую ориентацию, пространственно-временную частоту, движение, цвет или другие атрибуты. Несмотря на то, что было предложено много идей и алгоритмов для учета временного маскирования, его реализация при сжатии видео была в основном эвристической, основанной на неофициальных данных [2]. Влияние движения объекта на видимость искажений не было явно проанализировано.

На более поздних этапах разработки передачи мультимедийного контента интерес представляли субъективные исследования зависимости видимости мерцания от амплитуды и частоты мерцания [3]. Были рассмотрены три типа мерцания, в частности, шум, движение и размытое мерцание. Восприятие эффекта мерцания исследовалось с помощью субъективных оценок, где варьировались как интенсивность изменения качества (амплитуда), так и количество изменений качества в секунду (частота). Как показали результаты, на допустимость различных изменений качества влияет множество факторов. Однако важным фактором, повлиявшим на результаты эксперимента, было небольшое количество субъективных тестов. По результатам работы было доказано, что при движении возникает эффект мерцания.

Наибольшей проблемой на современном этапе развития телекоммуникационных технологий при создании метрик для оценки качества, хорошо коррелирующего со зрительной системой человека, является нехватка субъективных данных для тестирования предикторов, или, другими словами, крупномасштабных баз данных. В данном исследовании крупномасштабный набор данных необходим для изучения эффектов маскирования движения при просмотре потокового видеоконтента. Следует учитывать, что в старых психофизических исследованиях оборудование и, соответственно, условия просмотра отличались от привычных сегодня компьютерных мониторов и телевизионных экранов.

В данной работе будет предложен метод создания стимула для исследования маскирования, основанный на обнаружении приемлемого минимального порога восприятия слияния стимулов, когда видимость стимула исчезает из-за присутствия другого стимула, близкого по временному диапазону к цели. Предложенная методика создания стимула разработана для создания оптимального соотношения времени, затрачиваемого на субъективные эксперименты, и количества обрабатываемых временных частот, или, другими словами, взаимоналожений временных стимулов. Предложенный подход позволит проводить масштабные исследования эффектов движения в потоковом видеоконтенте для высоких временных частот.

Остальная часть данной работы организована следующим образом. В разделе II приводится обзор предыдущих работ. Раздел III – методология создания стимула. Раздел IV – рекомендации по организации лабораторных условий и проведения экспериментов.

Предыдущие работы

Популярные общепринятые метрики качества неоднократно показывали, что они плохо коррелируют со зрительной системой человека. При разработке метрик качества видео возникает проблема отсутствия новых фундаментальных знаний о восприятии видеоконтента на современном оборудовании зрительной системой человека. Немногие модели представляют низкоуровневое визуальное моделирование, основанное на психофизических моделях [4]. Такие модели построены на восприятии артефактов, видимых человеком на ранних стадиях зрительного восприятия, которые включают в себя три процесса: фильтрацию, кодирование и интерпретацию [5]. Этап фильтрации включает в себя зрительную восприимчивость человека, характеризующуюся, как эталонный фильтр по пространственным и временным частотам [6]. Этап интерпретации относится к когнитивному компоненту, а именно к восприятию движения зрительной системой человека. Восприятие движения – это процесс определения скорости и направления движущихся объектов.

В предыдущем исследовании были представлены субъективные эксперименты, основанные на изучении фундаментальных границ человеческого зрения, а именно пространственных, временных и периферийных аспектов. Было показано, что модели восприятия эффективны при описании пространственного кодирования. Также, ранее было продемонстрировано, что метрики, учитывающие текущие условия, работают с более высокой степенью корреляции с субъективными данными и демонстрируют лучшую стабильность показателей [7]. Еще одной проблемой при создании моделей зрительной системы человека (ЗСЧ) без когнитивного компонента является то, что существующие наборы данных по контрастной чувствительности содержат мало данных и созданы на основе наборов данных, не учитывающих типичный пользовательский контент.

Была точно установлена основная функция средневизуального комплекса – анализ направления и скорости движения объекта в зрительной среде [8], [9]. В исследованиях по психофизике было доказано, что потенциалы, вызванные изображениями, значительно отличаются от потенциалов, генерируемых видео: 60-320 мс после появления стимула и 120-400 мс [10].

Модель временного маскирования мерцаний была впервые использована при оценке качества видео для увеличения известного индекса MOVIE [11] и создания новой оценки качества видео. Обе модели демонстрируют значительно высокую корреляцию с субъективными оценками качества при учете влияния мерцания видео на движение. Тем не менее, обе модели не учитывают другие аспекты модели раннего зрения. Более того, используется только конкретный случай маскирования мерцания движения. До 2018 года эффект мерцания в движении изучался только на синтетических стимулах. Необходимо понять влияние движения объекта на видимость временных искажений в реальных видео [1].

Необходимо также учитывать эффекты размытия, которое также попадает в "окно видимости" и, следовательно, влияет на модель раннего зрения. Несколько лет назад была продемонстрирована поразительная иллюзия "подавления движения", при которой заметные временные изменения яркости, цвета, размера и формы объектов, кажется, исчезают так же быстро, как и превращаются в коллективное движение [12]. Иллюзия подавления движения вызвана неспособностью обнаружить изменения и ясно показывает возможность использования движения для подавления артефактов мерцания. Создание модели для прогнозирования видимости временных искажений весьма актуально, как возможный способ повышения эффективности моделей VQA.

Была предложена модель восприятия скорости, в которой внутреннее движение моделировалось как внутреннее поступательное движение [13]. В частотной области сложные движения в видеофрагментах без изменений событий можно анализировать с помощью пространственно-временных локализованных спектров фрагментов изображения. Когда фрагмент изображения движется с постоянной скоростью $[\lambda, \phi]$, где λ и ϕ – горизонтальная и вертикальная компоненты скорости сегмента переведенного изображения, движущаяся видеопоследовательность становится $(x - \lambda t, y - \phi t, t)$, где $a(x, y, t)$ – это произвольный пространственно-временной видеофрагмент. Спектр неподвижного участка изображения лежит в плоскости u, v , а преобразования Фурье поступательного участка смещаются в наклонную плоскость через начало координат. Такая плоскость может быть представлена:

$$\lambda u + \phi v + w = 0, \tag{1}$$

где u, v и w – пространственные и временные частотные переменные, соответствующие (x, y) и t , соответственно [14]. Наклон этой плоскости указывает на скорость и направление движения. Оборудование представляет собой корпус, в котором установлены два модифицированных монитора и полупрозрачное стекло для оптического суммирования их изображений [15].

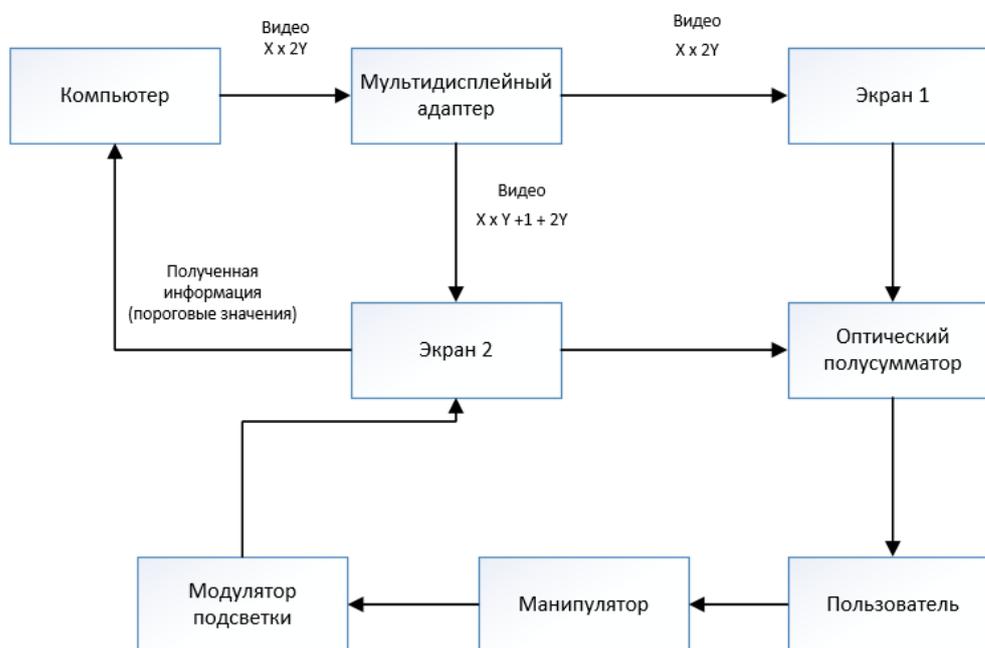


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы устройства

Методология создания стимула

Определение среднестатистического зрения может быть установлено только путем проведения большого количества субъективных экспериментов с участием людей. Проведение крупномасштабных исследований в этом направлении в настоящее время проблематично из-за сложности реализации измерений. Методология достоверного определения порогов восприятия для обнаружения артефактов сжатия до сих пор остается малоизученной. Несмотря на то, что для человека характерно наличие анизотропии [16], [17], дефекты зрения также необходимо учитывать в исследованиях.

Представленная ниже методология (рис. 1), создания стимула позволяет собрать оценки субъективного приемлемого минимального порога восприятия слияния стимулов, когда происходит исчезновение видимости стимула из-за присутствия другого стимула. Методика позволит оптимизировать сбор субъективных оценок более, чем в 50 раз для данного этапа современных телекоммуникационных технологий.

Новый метод создания стимула для сбора субъективных оценок обеспечивает условия для создания масштабного набора данных для изучения эффекта маскирования с максимальным количеством наложений стимулов и минимальным количеством субъективных экспериментов [14]. В соответствии со свойствами зрения, мы ограничиваем максимальную исследуемую временную частоту 200 Гц, за пределами которой временные частоты не воспринимаются человеком. Для исследования временной информации мы можем задавать значения яркости, амплитуды мерцания и периода мерцания. Измерение производится пороговым методом, при котором пороговая чувствительность зрительной системы принимается равной примерно 1% от максимального значения яркости [18]. Мерцание вводится через независимый канал от пространственного компонента стимула.

Видеоряд состоит из двух частей. Первая часть представляет собой видео с удаленными объектами, которые будут подвержены эффекту мерцания. Вторая часть видео содержит объекты, подверженные эффекту мерцания с заданной временной частотой. Части видео 1 и 2 транслируются на мониторы 1 и 2, соответственно. Таким образом, на первой части видео движущиеся объекты заменены черным пятном, а на второй - объекты движутся на черном фоне.

Для теста используется специально подготовленное видео с размерами $2^*x \times y$, где x и y - разрешения каждого из мониторов. Часть видео с координатами $0-x-1, 0-y-1$ содержит изображение тестовой сцены с движущимися объектами, на которых предполагается оценивать мерцание, замененное черным фоном. Часть видео с координатами $0-x-1, 0-2y-1$ содержит аналогичное изображение, где только фоновые участки заменены черным фоном. Обе части видео имеют одинаковый множитель яркости, несмотря на то что мерцает только одно видео.

Два одинаковых монитора через стекло сформируют одно изображение. Поэтому, модулируя яркость подсветки монитора, отображающего движущиеся объекты, в соответствии с (2) и изменяя амплитуду мерцания, путем увеличения параметра манипулятором от нуля до порогового значения, фиксируют значение указанного параметра на пороговом уровне видимости.

$$S(t) = \frac{1}{2} B_0 (1 + k_{th} \sin(\omega_0 t)), \quad (2)$$

где β_0 – максимальная яркость дисплея, ω_0 – частота стимула.

Пороговое значение контрастности определяют путем слияния движущегося тестового объекта из видео 1 с мерцанием на видео 2 и определения расстояния от края тестового объекта с максимальной контрастностью до точки, в которой тест-стимул перестает выделяться. Спектр такого сигнала определяется выражением [19]:

$$L(x, y) = 0.5 \sin \frac{2\pi t(x, y)}{T} \text{rect}(r(x, y))(0.5 - r(x, y)), \quad (3)$$

где r нормализованное расстояние от центра до точки и прямоугольная функция определения размера, t определяет фазу пространственного колебания:

$$t = \left(x - \frac{d}{2}\right) \cos \alpha + \left(y - \frac{d}{2}\right) \sin \alpha, \quad (4)$$

где d – диаметр, согласно подходу к измерению анизотропии пространственных характеристик зрения.

На практике, модуляция яркости подсветки осуществляется с помощью модулятора подсветки (МП). МП была выбрана потому, что современные дисплеи имеют светодиодную подсветку. Однако линейное управление яркостью светодиодов не обеспечивает постоянных параметров излучения. МП управляет яркостью экрана, поскольку частота МП составляет около 3,9 кГц, что намного выше частоты мерцания и частоты, воспринимаемой глазом [19].

Видео отображается в исходном разрешении без масштабирования дисплея. Из-за небольшого несовпадения пикселей, образуются цветовые искажения. Однако они не существенны, так как пиксели относятся к разным изображениям. В противном случае, происходило бы биение двух частот в цветах. Чтобы полностью избавиться от цветовых искажений, необходимо немного уменьшить объект на одном из экранов. Таким образом, при оптическом суммировании получается полное изображение объектов и фона, или, другими словами, с помощью оптического сумматора происходит наложение стимулов разной скорости движения на видео и возникает мерцание.

Первоначальные видео были сняты на SONY PMW-EX3. В результате были получены данные в разрешении 1920x1080, 25 кадров в секунду. Исходные видео были обрезаны до длины 25 секунд.

В итоге, для видеопоследовательности было отобрано 5 частей по 4 видео, рис.2. Каждое последующее видео дополняет предыдущее, тем самым развивая сюжет. Далее представлен список видео, которые используются в субъективном тестировании.

Описание части 1. Видео 1: по небу плывут облака. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 2: машины двигаются со средней скоростью вправо. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 3: девушка идет по дороге, глядя в телефон. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 4: движение телефона, размер составляет 0,5 от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна.

Описание части 2. Видео 1: девушка направляется на камеру. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 2: девушка двигается с низкой скоростью вправо. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 3: девушка направляется на камеру, размер составляет 0,5 от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 4: девушка двигается со средней скоростью вправо. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна.

Описание части 3. Видео 1: девушка направляется в кафе. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана, скорость средняя, за движущимся объектом следует камера. Видео 2: девушка двигается с низкой скоростью вправо, проходя вдоль окон кафе. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 3: девушка направляется от камеры. За движущимся объектом следует камера, и одновременно используется эффект зум. Видео 4: на движущуюся цель наложен зум эффект.

Описание части 4. Видео 1: официант направляется на камеру. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана, скорость средняя. Видео 2: девушка двигает чашку с кофе по столу. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 3: девушка поднимает и опускает

ет чашку с кофе, скорость низкая. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 4: на движущуюся цель наложен зум эффект.



Рис. 2. Кадры из созданной видеопоследовательности

Описание части 5. Видео 1: девушка покачивается из стороны в сторону. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана, скорость низкая. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 2: девушка достает наушники. Размер двигающихся вертикальных объектов составляет $\frac{1}{3}$ от вертикального размера экрана. Темный задний фон. Камера была не подвижна. Видео 3: на движущуюся цель наложен зум эффект. Видео 4: девушка двигается со средней скоростью вправо. За движущимся объектом следует камера.

Все видеопоследовательности сняты на темном заднем фоне, чтобы сфокусировать участников на области движения и отвлечь от мерцания фона. Мерцание моделируется путем изменения амплитуды за разные периоды. Участники ищут минимальный видимый порог мерцания.

Организация лабораторных условий и проведения экспериментов

Мониторы представляют собой плоские экраны. Монитор правильно настроен и откалиброван по яркости и цвету с помощью профессионального колориметра. Калибровка соответствует параметрам, определенным в соответствующей рекомендации для проводимого испытания. Освещенность составляет 200 кд/м^2 , а цветовая температура белого – D65.

В соответствии с данными о ЗСЧ, острота зрения составляет $1/60$ градуса [19]. Согласно этим данным, минимально допустимое расстояние от монитора до испытуемого для нахождения стимула в четком поле зрения составляет $0,872 \text{ м}$, а максимально - $1,149 \text{ м}$. В испытательной лаборатории был проведен эксперимент для получения заключений экспертизы. На экране не допускаются источники прямого или отраженного света; освещение окружающей обстановки должно быть тусклым. Перед оборудованием может находиться один участник. Все участники эксперимента должны иметь нормальное зрение, то есть участники не носят очки, линзы или другие медицинские устройства для коррекции зрения во время повседневной деятельности.

Сеансы просмотра следует начинать со "стадии стабилизации". Продолжительность сеанса тестирования без перерыва не должна превышать 30 минут. Каждому эксперименту должен предшествовать короткий тренировочный сеанс просмотра. Для тренировки используется отдельное видео, которое не используется в реальных сеансах. В конце каждой сессии автоматически анонимно собираются баллы и заносятся в электронную таблицу для расчета средних значений. "Постскрининг" участников проводится с использованием коэффициента линейной корреляции Пирсона. "Корреляционная функция" применяется ко всем оценкам каждого участника, относительно среднего показателя мнения (MOS); устанавливается порог для определения каждого участника как "хорошего" и "плохого". Метод реализуется с помощью программного обеспечения. Чтобы обеспечить постоянное качество восприятия от кадра к

кадру, для субъективной оценки следует использовать двухпроходную схему кодирования. Разрешение входного и выходного видео поддерживается на уровне 1080p.

В качестве исходных видеоматериалов рекомендуется использовать 30 видеороликов со сменяющимися сценами, объединенных в один видеоряд. Все видеоролики рекомендуется представлять в формате YUV422 с фиксированным разрешением 1920×1080, который в настоящее время является наиболее популярным в мире. Частота кадров - 25 кадров, продолжительность каждого видеоролика - 15 секунд. Видеоролики должны быть профессионально записаны в цифровом формате, что позволяет добиться эффекта маскирования в видео, а также подвергает его нескольким этапам обработки, как на устройстве, так и на сервере.

Тестирование может быть прекращено, когда экспериментальная неопределенность, измеряемая доверительным интервалом, падает ниже 5% от текущего значения для всех тестов, проведенных в ходе эксперимента.

Заключение

Модели зрительной системы человека были использованы для создания нескольких предикторов оценки качества видео, которые оказались лучше алгоритмических методов, плохо коррелирующих с субъективной оценкой. Текущее исследование описывает новый метод создания стимула для исследования многомерной модели ранней зрительной системы, которая учитывает когнитивный компонент. В частности, получение информации о реакции на маскирование движения, основанное на поиске приемлемого минимального порога восприятия.

Предложенный подход позволит проводить масштабные исследования эффекта движения в потоковом видеоконтенте, что будет полезно для разработчиков систем оценки качества видео и кодирования. Специализированное оборудование, позволяющее динамически изменять эффект маскирования типичного медиаконтента в процессе исследования, может быть использовано как для создания эффективных адаптивных кодеков, изучения фундаментальных аспектов зрительной системы человека, так и в области безопасности при исследовании маскирования информации в движении.

Литература

1. Choi L.K., Bovik A.C. Video quality assessment accounting for temporal visual masking of local flicker // *Signal Process. Image Commun.*, vol. 67, pp. 182-198, Jun. 2018
2. Choi L.K., Cormack L.K., Bovik A.C. Motion silencing of flicker distortions on naturalistic videos // *Signal Process. Image Commun.*, vol. 39, pp. 328-341, Mar. 2015
3. Ni P., Eg R., Eichhorn A., Griwodz C., Halvorsen P. Flicker effects in adaptive video streaming to handheld devices // *Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia*, 2011, pp. 463-472.
4. Nezhivleva K.I., Davydova A.A., Drebuzhan A.M., Mozhaeva A.I., Balobanov A. Comparing of Modern Methods Used to Assess the Quality of Video Sequences During Signal Streaming with and Without Human Perception // *2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2022, pp. 1-6.
5. National Research Council, 1989. *Human Performance Models for Computer-Aided Engineering*. The Nation. Academ. Press.
6. Watson A., Ahumada A. 2016. The pyramid of visibility. *J. of Vision*, 567.
7. Mozhaeva A., Vlasuyk I., Potashnikov A., Streeter L. Full reference objective metric for assessing video quality compatible with psnr taking into account frequency and peripheral characteristics of human vision // *Digital Signal Processing Application Considerations*, vol. 2, pp. 44-54, 2021.
8. Britten K. H., Shadlen M.N., Newsome W.T., Movshon J.A. The analysis of visual motion: A comparison of neuronal and psychophysical performance // *Journal of Neuroscience*, 12, 1992, pp. 4745-4765.
9. Sunaert S., Van Hecke P., Marchal G., Orban G.A. Motion-responsive regions of the human brain. *Experimental Brain Research*, 127, 1999, pp. 355-370.
10. Lortefje J.A., Kenemans J.L., Jellema T., van der Lubbe R.H., de Heer F., van Wezel R.J. Delayed response to animate implied motion in human motion processing areas // *J Cogn Neurosci*. 2006 Feb;18(2), pp. 158-68. doi: 10.1162/089892906775783732. PMID: 16494678.
11. Seshadrinathan K., Bovik A.C. Motion-tuned spatio-temporal quality assessment of natural videos // *IEEE Trans. Image Process.* 19 (2), 2010, pp. 335-350.
12. Suchow J.W., Alvarez G.A. Motion silences awareness of visual change, *Curr. Biol.* 21 (2), 2011, pp. 140-143.

13. *Watson A.B., Ahumada A.J.* Model of human visual-motion sensing // *J. Opt. Soc. Amer. A* 2 (2), 1985, pp. 322-342.
14. *Mozhaeva A., Vashenko E., Selivanov V., Potashnikov A., Vlasuyk I., Streeter L.* Analysis of current video databases for quality assessment // *T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт*, №2, 2022.
15. *Fedorov V., Nezhivleva K., Potashnikov A., Uzeev A., Vlasuyk I.* Methodology for Quantifying the Flicker Effect in Video Compression // 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH).
16. *Potashnikov A., Vlasuyk I.* Method of formation of pseudo random arrays of light filters in light-signal converters // *XII International Branch Scientific and Technical Conference*, 2018, pp. 149-151.
17. *Vlasuyk I.* Development of a human visual system model for the method of objective image quality control in digital television systems // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*, 2009, pp. 189-191.
18. *Kudryashova A., Adzhemov A., Vlasuyk I.* Application of weber-fechner law in image transmission in the field of onboard communications // *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications*, 2019.
19. *Mozhaeva A., Vlasuyk I.V., Potashnikov A.M., Cree M.J., Streeter L.* The Method and Devices for Research the Parameters of the Human Visual System to Video Quality Assessment // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416081

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧЕ МЕДИА КОНТЕНТА. СОЗДАНИЕ СТИМУЛА

Федоров Владимир,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
v.d.fedorov@mtuci.ru

Аругюнян Даниил,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
chaug3000@mail.ru

Фролов Ростислав,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
panzerslava2802@mail.ru

Шустрова Вероника,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
Shusterrrrr@vk.com

Кебко Лилия,

Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
lilia_kebko@mail.ru

Аннотация

В современном мире организации все больше ориентируются на сведения, основанные на результатах интеллектуального анализа реальных данных. Следовательно, растет потребность в эффективном хранении и обработке информации в глобальном масштабе. На смену хранилищам данных приходят более гибкие экосистемы, построенные на основе недорогих глобально доступных хранилищ и открытых форматов файлов. Несмотря на прогресс, многие проблемы все еще остаются нерешёнными. Текущие задачи варьируются от методов оптимизации использования до повышения пропускной способности каналов передачи, а также от способов решения проблем, возникающих при хранении и обработке данных в широко разделенных центрах обработки данных, до таких новых подходов, как оптимизация видеопотока. В данной работе предлагается новый метод для измерения порогов видимости в области периферического зрения и описывается ранее не существовавшая, многомерная, учитывающая эту область, модель ЗСЧ. Этот метод также может быть использован в научных целях, касающихся приема/обработки сигналов и затрагивающих практически все применения технологий визуализации.

Ключевые слова: медиа контент, потоковая передача, периферическое зрение.

Введение

Современные системы оптимизации видеопотока предполагают компромисс между ресурсами и качеством визуального восприятия. Чтобы определить оптимальные условия для этого процесса необходим метод достоверного измерения качества видео.

За последнее десятилетие фокус исследований по обеспечению качества сместился с ранее широкой цели лучшего понимания того, как люди измеряют качество, на ограниченную в настоящее время цель лучшего сопоставления доступных результатов субъективных тестирований [1]. На данный момент все еще сложно выбрать дополнительную информацию, которая была бы одновременно сокращенной, но при этом легко интерпретируемой. Существенной проблемой при передаче данных является отсутствие новых фундаментальных знаний о восприятии видеоконтента зрительной систе-

мой человека (далее – ЗСЧ) [2]. Большинство научных работ в области визуальной психофизики направлены на получение знаний о работе ЗСЧ и любое отношение к качеству видео обычно не обсуждается подробно. Так же в психофизических экспериментах происходит вывод человека из естественной среды с целью стабилизации тестов, из-за чего разработчику алгоритмов кодирования и оценки качества приходится решать, не имея при этом достаточно полной модели, как психофизические результаты соотносятся с качеством [3,4].

Модели восприятия оказались успешными в описании пространственного кодирования, однако вопрос о том, как области человеческого мозга, отвечающие за зрение, обрабатывают временную информацию, получил минимальное внимание. Еще меньше получили исследования параметров ЗСЧ описывающих положения объектов на периферии [2]. Эта область ЗСЧ редко учитывается при обработке данных, т.к. только в последнее время начали использоваться устройства отображения, для которых угол обзора оказывается достаточно велик. При просмотре видео определенная часть изображения привлекает внимание зрителя, фиксируя его. Таким образом незахваченное взглядом пространство оказывает несущественное влияние на оценку качества визуальной информации. Указанный выше факт предоставляет значительно больше возможностей для усовершенствования методов сжатия, видеокодеков и алгоритмов оценки качества изображения, что дает почву дальнейшим исследованиям периферического зрения.

Предыдущие исследования по теме

Исследования на тему симуляции биологической зрительной системы активно развивались в прошлом. Около 60 лет назад, Луизов А. В. [5] описал фундаментальный предел человеческой зрительной системы, и предоставил экспериментальные и теоретические исследования параметров визуального восприятия. Позже, в 1977 году Джеймс Гордон и Израэль Абрамов [6] опубликовали в журнале оптического общества Америки серию работ по исследованию цветового зрения в периферической сетчатке.

Де Ланж [7], измерял временную чувствительность к контрасту в неопределённо длинном диапазоне адаптации освещения сетчатки применительно к одной цели в пространстве.

Волков В.В. [8] измерял порог пространственной контрастной чувствительности с помощью чёрно-белых решёток с равномерным периодическим изменением яркости. Также польские ученые Радослав Мантюк и Михал Чвесюк [9] измерили пороги обнаружения контраста для периферии. Доказав в этой работе согласование психофизических экспериментов с прошлой теоретической работой.

В 1962 Фергус Кэмпбелл начал свои высоко-оцененные исследования контрастной чувствительности. В качестве зрительного стимула в его экспериментах использовались синусоидальные решётки различной пространственной и контрастной чувствительности. Пороговые контрасты были измерены с помощью изменения глубины модуляции решёток. В результате Кэмпбелл и Дж. Робсон [10] получили частотно-контрастную характеристику.

Эндрю Уотсон в своих недавних исследованиях [11], имеющих практическое применение в технологиях создания изображений, упоминает, что требуются новые исследования на тему и новые данные. Данные должны включать пространственную частоту, временную частоту, размер и освещённость сетчатки, даже для области ясного видения. Аналогичные данные для периферической области просто отсутствуют. Анастасия Можаяева вместе с коллегами [12, 13, 14] недавно разработала методику сбора данных и проведения исследований, для сбора новых данных в области ясного видения, данную методику можно усовершенствовать и использовать для изучения периферической области видения.

Методика исследования периферического зрения человека при потоковой передаче медиа контента. Создание стимула.

Данная работа предлагает первый шаг в решении задачи, заключающейся в создании многомерной модели зрительной системы человека для периферической области, которая учитывает современный пользовательский контент. Многомерная модель зрительной системы человека (ЗСЧ) для периферической области должна быть разработана с учетом результатов субъективно-статических экспериментов.

тиз, или, иными словами, масштабного комплексного исследования, которые соответственно определяются наблюдателем с учётом существенно отличающихся параметров и характеристик, так же как и для ясного зрения [12]. Учитывая, что даже системы прикладного телевидения, в которых не предусмотрено визуального контроля изображений, базируются на принципах учета особенностей и фактически копирования основных принципов работы ЗСЧ, как наиболее совершенной из известных систем распознавания и анализа объектов, поскольку такой подход к выбору параметров и характеристик системы оказался наиболее эффективным, отсутствие эффективных методов контроля качества видеопоследовательностей в первую очередь связано с явно недостаточным количеством научно-технических работ, посвященных исследованию характеристик ЗСЧ.

Одной из основных особенностей работы зрения являются обратные связи, определяющие специфику работы зрительной системы. При этом мозг человека реализует не только обработку поступающей видеoinформации, но и обеспечивает управление зрительной системой в режиме видеоконтроля по цепям обратных связей. Уровень интегральной адаптации существенно влияет на чувствительность и эквивалентную протяженность частотных характеристик зрительной системы в пространственном и временном направлениях, которая определяет разрешающую способность глаза в соответствующем направлении. В режиме динамической адаптации характеристики зрительной системы не оптимизированы.

Также необходимо учитывать и наличие в зрительной системе пространственной дискретизации входного изображения светочувствительными элементами. При этом обеспечивается полное подавление искажений дискретизации за счет выбора определенного распределения, определенной чувствительности и размера распределенных светочувствительных элементов в пределах области “ясного видения” и периферии. С учётом указанной выше специфики функционирования зрения человека модель будет разработана на базе компьютерного тестирования. Будут измеряться пороги с помощью задачи детектирования тестового стимула по сравнению с центральным полем при фиксированной амплитуде мерцаний. После завершения блока из тестов, будут рассчитаны средние пороги контрастности. Испытания будут прекращены, когда неопределенность эксперимента, измеренная доверительным интервалом, станет ниже 5%.

Отметим, что ввиду анизотропии человеческого зрения [14, 15], зрительный стимул, используемый для проведения исследований обязан быть круглым. Поэтому в качестве такого стимула будет использована Мира – синусоидальная решётка с выраженным округлым профилем.

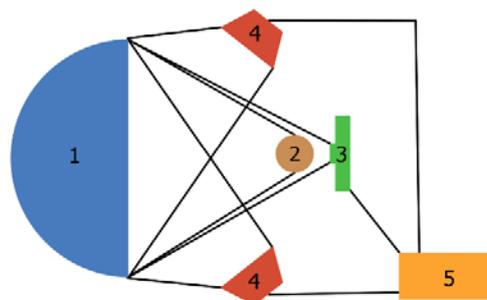


Рис. 1. Схема установки для сбора данных

На рисунке 1 представлена схема сбора данных: 1 – монотонная белая полусфера с гладкой внутренней поверхностью, расположенная так, что плоскость сечения, перпендикулярна плоскости, на которую она установлена; 2 – субъект тестирования, стоящий на таком расстоянии от полусферы, чтобы она захватывала всё его поле зрения; 3 – проектор, расположенный над (2) и немного позади его, так, чтобы, гарантировать достаточно хорошее проецирование на (1), при этом находясь вне поле зрения субъекта. Обеспечивает тестирование, включающее пространственной частоты; 4 – проекторы, расположенные так, чтобы полностью и равномерно освещать (1), при этом находясь вне поля зрения (2). Их мерцание будет обеспечивать тестирование, включающее временную частоту; 5 – компьютер/сервер, с которого производится управление (3) и (4), сбор данных, и их обработка. Это происходит при помощи приложения, запущенного на нём и пользователя (организатор тестирования).

Мира (синусоидальная решетка, проецируемая на видимую поверхность установки) задается следующим образом:

$$L(x, y) = 0.5 \sin\left(\frac{2\pi t(x, y)}{T}\right) + 0.5 \quad (1)$$

Чтобы оценить, пространственное разрешение, требуется определить нормализованное освещение тестового стимула, с помощью следующего выражения, где фоновая яркость равна 0.5. Где t определяет пространственное колебание:

$$t = \left(x - \frac{d}{2}\right) \cos \alpha + \left(y - \frac{d}{2}\right) \sin \alpha \quad (2)$$

d является диаметром, согласно подходу к измерению анизотропии пространственных характеристик зрения. Нам понадобится только некоторая часть пространства зрительного восприятия, а именно исключается фовеальная (центральная) область. Мира (только фовеальная):

$$L(x, y) = 0.5 \sin\left(\frac{2\pi t(x, y)}{T}\right) \text{rect}(r) + 0.5 \quad (3)$$

где $\text{rect}(t)$ – прямоугольная функция, определённая так, чтобы при значении 0.5 возвращать 1, а r – нормализованное расстояние от центра фовеального круга до точки с координатами (x, y)

$$r = \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{d}{2}\right)^2}{d} \quad (4)$$

$$\text{rect}(t) = \theta\left(t + \frac{1}{2}\right) - \theta\left(t - \frac{1}{2}\right) \quad (5)$$

где $\theta(t)$ – ступенчатая функция (heavyside step function)

$$\theta(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t > 0 \\ 0, & \text{при } t \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Таким образом, $L \geq 0.5$ (3) (освещенность по умолчанию), только если точка, с координатами (x, y) находится в предполагаемом фовеальном круге. (более яркая область на Мире). Мира (только периферия):

$$L(x, y) = 0.5 \sin\left(\frac{2\pi t(x, y)}{T}\right) (1 - \text{rect}(r)) + 0.5 \quad (7)$$

Чтобы найти освещённость точки за пределами фовеального круга, достаточно перевернуть значение, возвращаемое прямоугольной функцией, То есть вычесть его из 1. Тогда точки с координатами (x, y) , находящиеся внутри круга, будут возвращать значение $L(x, y)$ как фоновое, а точке извне (которые представляют собой) точки периферического зрения будут возвращать большее значение. Спектр сигнала может быть найден по формуле:

$$s(f) = \frac{\delta\left(f - \frac{2\pi}{T}\right) \sin(\delta f)}{f} \quad (8)$$

Заключение

В данной работе была представлена новая методика исследования периферического зрения человека, при потоковой передаче медиа контента, а именно этап создания стимула. Данная работа может быть использована для сбора новых фундаментальных знаний о работе зрительной системы человека. Измерения по данной методике могут быть использованы компаниями, предоставляющими медиа-контент и передачу видеотрафика и могут быть использованы в практических применениях для технологий визуализации, приема и обработки сигналов в устройствах информационных технологий. Также данную методику можно использовать в научных и образовательных целях, касающихся изучения зрительной системы человека.

Литература

1. *Mozhaeva A., Streeter L., Vlasuyk I., Potashnikov A.* Full Reference Video Quality Assessment Metric on Base Human Visual System Consistent with PSNR // 2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2021, pp. 309-315, doi: 10.23919/FRUCT50888.2021.9347604.
2. *Можжаева А.И., Власюк И.В., Поташиников А.М., Стример Л.* Эталонная объективная метрика оценки качества видео совместимая с PSNR учитывающая частотные и периферическую характеристики зрения человека // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021. Т. 11. № 2. С. 44-54. EDN TQJSHP.
3. *Potashnikov A.M., Mazin V.A., Stepanov N.S., Smirnov A.P., Mozhaeva A.I.* Analysis of Modern Methods Used to Assess the Quality of Video Sequences During Signal Streaming // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744294.
4. *Nezhivleva K.I., Davydova A.A., Drebuszhan A.M., Mozhaeva A.I., Balobanov A.* Comparing of Modern Methods Used to Assess the Quality of Video Sequences During Signal Streaming with and Without Human Perception // 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840983.
5. *Луизов А.В.* Инерция зрения. М.: Оборонгиз, 1961.
6. *Джеймс Гордон и Израэль Абрамов.* 1977. Color vision in the peripheral retina II Hue and saturation. Journal of the Optical Society of America 67 (03 1977), 202-7.
7. *Г. Де Ланж.* Research into the dynamic nature of the human foveacortex systems with intermittent and modulated light. I. Attenuation characteristics with white and colored light // журнал оптического общества Америки, Вып. 48, 1958. С. 777-784.
8. *Волков В., Луизов А.В., Овчинников Б., Травникова Н.* Ergonomics of human visual activity // Leningrad Mechanical engineering. 1989.
9. *Michal Chwesiuk and Radoslaw Mantiuk.* 2017. Measurements of contrast detection thresholds for peripheral vision using non-flashing stimuli // International Conference on Intelligent Decision Technologies. Springer, pp. 258-267.
10. *Кэмбелл Ф., Купер Г., Робсон Дж.* Application of Fourier analysis to the visibility of gratings // J. Physiol, вып. 197, 1968. С. 551-566.
11. *Вотсон Э., Ахумада Э.* The pyramid of visibility // Journal of Vision, вып.: 16 (12), 2016. С. 567.
12. *Mozhaeva A., Vlasuyk I.V., Potashnikov A.M., Cree M.J., Streeter L.* The Method and Devices for Research the Parameters of the Human Visual System to Video Quality Assessment // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416081
13. *Власюк И.В., Федоров В.Д., Савкина Д.М.* Анализ элементов испытательных таблиц для контроля решающей способности в системах прикладного телевидения // Технологии информационного общества. Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции. 2020. С. 136-138.
14. *Егоров Д.А., Федоров В.Д., Лейман В.В., Власюк И.В.* Методика оценки пространственно-частотной характеристики камер на основе генеративных случайных последовательностей // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021. Т. 11. № 1. С. 47-53.
15. *Поташиников А., Власюк И.* Method of formation of pseudo random arrays of light filters in light-signal converters // XII Международная научно-техническая конференция 2018. С. 149-151.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИДЕНТИЧНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ РЕГИОНОВ ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОСМОТРЕ ПОТОКОВОГО ВИДЕО СОДЕРЖАЩЕГО РАЗЛИЧНЫЙ КОНТЕНТ И АРТЕФАКТЫ СЖАТИЯ

Давыдова Анастасия Анатольевна,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия

Можаева Анастасия Ивановна,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия

Хурани Василий Хаземович,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия

Демина Мария Андреевна,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия

Русалимов Максим Алексеевич,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия

Аннотация

За последние два десятилетия применение отслеживания взгляда значительно расширилось отчасти благодаря продолжающимся исследованиям и разработкам в области неинвазивных решений для отслеживания взгляда. Поскольку данные, генерируемые с помощью отслеживания взгляда, можно использовать для более глубокого понимания человеческого поведения и когнитивных процессов, эта технология применима к широкому кругу областей исследований, в том числе в области телекоммуникаций. В данной работе рассмотрена зависимость изменения регионов интереса пользователей при повторном просмотре видео с различным медиа-контентом и артефактами сжатия. Будет приведен сравнительный анализ повторяемости определения регионов интересов участников в лабораторном и поведенческом пользовательском режиме просмотра видеоконтента. Так же будет представлен методология для исследования и измерения идентичности восприятия регионов интересов пользователей при повторном просмотре потокового видео, содержащего различный контент и артефакты сжатия.

Ключевые слова: *отслеживание взгляда, регионы интересов, медиаконтент, артефакты сжатия, модели визуального внимания, идентичность восприятия, видеопоследовательности, айтрекер, субъективная оценка, реакция человека, фокусировка внимания, субъективная оценка качества*

Введение

Согласно ежегодному исследованию Mobile Visual Networking Index (MVNI), результаты которого представила компания Cisco [1], в 2022 году доля видео в глобальном мобильном трафике достигает 79%, сам мобильный трафик составляет 930 экзабайт в год.

К 2023 году во всем мире интернет-видеотрафик составит уже 82% всего потребительского интернет-трафика по сравнению с 73% в 2017 г. Для большинства людей обработка информации зависит от зрения; таким образом, изучение движений глаз считается наиболее эффективным инструментом обработки зрительной информации и наиболее важным источником сенсорной информации при когнитивной обработке. Движения глаз можно эффективно использовать для фиксации сложных когнитивных процессов визуальной информации человека, то есть взгляд можно использовать в каче-

стве метода определения региона в видеопоследовательности привлекающего внимания пользователя. В связи с этим возникает вопрос одинаково ли люди воспринимают передаваемую информацию.

Большинство исследований по отслеживанию взгляда направлены на выявление и анализ моделей визуального внимания пользователей, при выполнении определенных задач как, например, чтение, поиск, сканирование изображения, вождение автомобиля и т. д. [2-10] В этих исследованиях движения глаз обычно анализируются с точки зрения фиксаций и саккад. Во время каждой саккады острота зрения подавляется, и в результате человек не может воспринимать информацию. Человек воспринимает мир визуально только через фиксации. Мозг фактически интегрирует визуальные образы, которые получает в результате последовательных фиксаций, в визуальную сцену или объект. Более того, люди могут комбинировать признаки в точное восприятие только тогда, когда фиксируют и фокусируют на них свое внимание. Чем сложнее, запутаннее или интереснее эти функции, тем дольше и больше необходимо ресурсов для обработки и, как следствие, больше времени необходимо на закливание. В большинстве случаев человек может ясно воспринимать и интерпретировать что-либо только тогда, когда фиксирует объект или находится достаточно близко к нему. Именно эта взаимосвязь между глазами и разумом позволяет использовать измерения движений глаз, чтобы обнаруживать интересующие области на экране для пользователя и имитировать поведенческие реакции человека [17-21].

Согласно приведенной выше информации, имеет место быть гипотеза что при просмотре видеопоследовательностей с разным контентом и отличными артефактами регионы интересов пользователей большинства пользователей идентичны с небольшим возможным отклонением.

Предыдущие работы

Айтрекер – это устройство для измерения положения и движения глаз. Айтрекинг (eye tracking) – технология отслеживания положения глаз, также называемая технологией отслеживания линий взгляда или точек взгляда. Отслеживание взгляда – это сенсорная технология, которая может обнаруживать присутствие людей и следить за тем, регионами интереса пользователей в режиме реального времени. Технология преобразует движения глаз в поток данных, который содержит такую информацию, как положение зрачка, вектор взгляда для каждого глаза и точку взгляда. По сути, технология расшифровывает движения глаз и переводит их в информацию, которую можно использовать в самых разных приложениях или в качестве дополнительного метода ввода.

Отслеживание взгляда может дать точную информацию о взгляде пользователей, которую не всегда могут выявить опросы или другие методы исследования. Например, опросы на месте могут быть эффективными для выявления того, на чем пользователи сознательно сосредотачиваются и что сознательно влияет на пользователей, однако люди не замечают многих вещей, которые происходят за пределами сознательного осознания субъекта. В айтрекере используется ближний инфракрасный свет, который проецируется на глаз, а затем с помощью камеры с высоким разрешением записывается направление, в котором свет отражается от поверхности роговицы.

Янг использовал технологию отслеживания взгляда для обсуждения визуальных путей для дизайна веб-страницы и использовал модель Маркова для количественной оценки количества визуальных фокусных точек и путей, которые могут служить основой для определения регионов интересов пользователей, исследование используется для создания макета рекламы дизайнерами веб-страниц [11-14]. Результаты исследования показали, что особый макет и модели поведения пользователей Facebook приводят к тому, что большая часть информации появляется в новостной ленте, а не в профилях и рекламных разделах, поскольку раздел новостной ленты содержит наибольшее количество и разнообразие информации. В результате в исследовании делается попытка использовать технологию отслеживания взгляда, пути просмотра и информацию о точках фиксации, чтобы обсудить и определить, существуют ли значительные различия в визуальном внимании и регионы интересов среди пользователей, при просмотре профиля Facebook. Как показано выше, очевидно, что области интереса и места внимания людей помогают лучше понять, как человек реагирует на стимулы и как эти стимулы влияют на его восприятие контента в целом.

Методология исследования идентичности восприятия регионов интересов пользователей при просмотре потокового видео, содержащего различный контент и артефакты сжатия

Для подтверждения гипотезы была разработана методология и программно-аппаратный комплекс по исследованию идентичности восприятия регионов интересов пользователей при просмотре потокового видео, содержащего различный контент и артефакты сжатия (рис. 1). Программно-аппаратный комплекс включает в себя: компьютер; айтрекер; разработанное нами программное обеспечение для работы с айтрекером, которое записывает координаты положения глаз участников, впоследствии строятся карты взгляда.

Необходимо так же отметить, что выделяют три основные группы устройств отслеживания взгляда: носимые – к ним относятся очки с отслеживанием взгляда и гарнитуры виртуальной реальности со встроенным отслеживанием взгляда. Веб-камеры для отслеживания движения глаз, не имеют датчиков или специализированных камер, состоят исключительно из устройства веб-камеры, подключенного или встроенного в компьютер [15-16]. Устройства на основе экрана – это автономные, удаленные устройства, которые представляют собой либо отдельный блок, либо панель меньшего размера, которую можно подключить к ноутбуку или монитору. В данном исследовании используется айтрекер на основе экрана, так как участник эксперимента подвергается воздействию стимулов на экране, данный тип устройства удаленного слежения за движением глаз предлагает широкие частоты дискретизации, а устройства с высокой частотой могут предоставлять большой объем данных и высокий уровень детализации, связанный с движением глаза.

В данной работе используется открытый для использования в некоммерческих целях видеоряд от Нэтфликса, а именно «LIVE-NFLX-II, LIVE-NFLX-I subjective video QoE database». В LIVE-NFLX-II содержатся сцены максимально приближенные к реальному пользовательскому контенту. В качестве исходных последовательностей выбран видеоряд, представленный в прогрессивном формате YUV422 с фиксированным разрешением 1920×1080. Данный формат является на современном этапе развития технологий самым распространенным в мире. Частота кадров – 25 кадров, используемых в странах Европейского союза, продолжительность каждой сцены более 10 секунд, согласно рекомендациям BT-500-11: Методика субъективной оценки качества телевизионного изображения.

«LIVE-NFLX-I subjective video QoE database», используется так как выбранный видеоконтент охватывает разнообразный набор жанров контента (боевики, документальные фильмы, спорт, анимация и видеоигры). Характеристики контента охватывают большое разнообразие, включая естественный и анимационный видеоконтент, сцены с быстрым/медленным движением, светлые/темные сцены, а также сцены с низкой и высокой текстурой. т

Видео для исследования отобраны по трем критериям. Во-первых, это типичный пользовательский контент. Во-вторых, это достаточное разнообразие по нескольким характеристикам. Был приведен список характеристик, включающих разнообразие (табл. 1), в соответствии с критериями. Исходный контент был разделен на три группы: (1) жанры видео высокого уровня, (2) семантика видео среднего уровня и (3) особенности видео низкого уровня. Видеопоследовательность охватывает широкий спектр характеристик, показанных в таблице 1.

Перед просмотром видеоряда испытуемому задавался вопрос, после просмотра, появлялось окно, в котором были места для ответа, после ответа автоматически воспроизводился следующий видеоряд. Для участника, который просматривал видео без вопросов видеопоследовательности были разделены серым экраном. Данное разделение позволяет изучать изменения идентичности восприятия регионов интересов пользователей при просмотре потокового видео, содержащего различный контент и артефакты сжатия при независимой когнитивной обработке видео участником и при зависимой, или другими словами, вопросы приводят пользователя к необходимости искать ответы в видео.

Описание установки:

Дисплей представляет собой плоский экран, в данной работе диагональ монитора в опытах 23.6 дюйма, соотношение сторон 16:9, разрешение экрана 1920x1080, Дисплей правильно настроен и проведена калибровка яркости и цвета с использованием профессионального экспонетра. Калибровка дисплея соответствует параметрам, определенным в соответствующей рекомендации для проводимого испытания. Освещенность 50 лк, цветовая температура белого D65, диаметр стимула составляет

0.2 м, айтрекер который установлен на мониторе согласно рекомендациям по эксплуатации используемой модели айтрекера.

Таблица 1

Разнообразие характеристик видео

Жанр видео	Семантика видео	Возможности видео
Снаружи	Лицо	Видимость
В помещении	Люди	Яркость
	Вода	Контраст
	Снег	Текстура
	Панорама	Движение
	Объекты	Разнообразие цветов
	Искусственные объекты	Движения камеры
		Изменение сцены
		Приближение

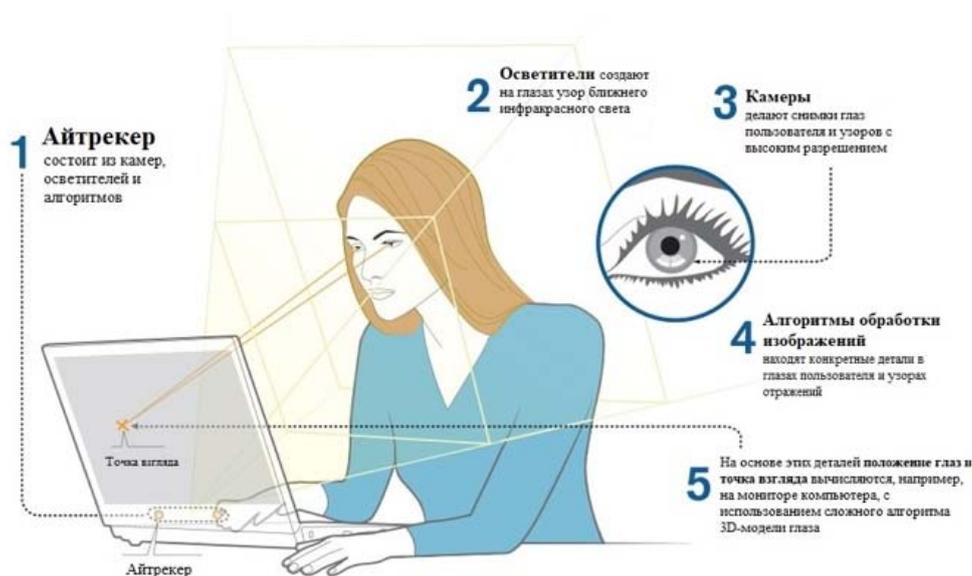


Рис. 1. Схема установки

Участник эксперимента просматривает предварительно загруженные на компьютер видеопоследовательности, при помощи ближнего инфракрасного света айтрекера, который проецируется на глаз и камеры с высоким разрешением записывается направление, в котором инфракрасный свет айтрекера отражается от поверхности роговицы.

Для сравнения данных одной группе участников необходимо задавать вопросы с целью «программирования» регионов интереса, другой же группе участников вопросы не задавать, и контент просматривался поведенческом пользовательском режиме. Каждый из участников просматривает одну и ту же видеопоследовательность пять раз.

С помощью программного обеспечения определяется положение глаза и определяется фокус. Эта технология позволяет изучать мелкие движения глаз и зрительное поведение. Также напоминаем читателю, как описывалось выше, с нашим программным обеспечением, используемым для отслеживания взгляда, создается визуальная карта отслеживания участником элементов сцены.

Организация лабораторных условий и испытаний.

По знанию зрительной системы человека и поля четкости острота зрения составляет 1/60 градуса [15]. По этим данным минимально допустимое расстояние от монитора до испытуемого для нахождения стимула в зоне ясного зрения составляет 0,872 м, а максимальное – 1,149 м. Окружающее освещение должно быть естественным, максимально приближенным к среднестатистическому при котором пользователи просматривают медиаконтент.

Перед монитором находится один участник. Участники тестового эксперимента были студентами 3-го курса бакалавриата, что является хорошим балансом между тремя важными параметрами: физической зрелостью глаз, ежедневным использованием типичного пользовательского контента, а именно просмотром видео и изображений в Интернете, и отсутствием опыта работы с зрительная информация восприятия. Если участники используют очки или линзы или другие медицинские приспособления в обычной повседневной деятельности это никак не влияет на проведение эксперимента ввиду того что современные айтрекеры приспособлены для работы с оборудованием для коррекции зрения.

Сеансы просмотра начинаются с «этапа калибровки». Это позволит участникам сразу же получить представление о работе айтрекера. Продолжительность тестового сеанса без перерыва не превышает трех минут. Для завершения теста все последовательности должны быть просмотрены. В конце каждого сеанса данные автоматически собираются анонимно и регистрируются в электронной таблице для расчета средних значений.

Результаты тестового эксперимента.

В тестовом эксперименте участвовали два пользователя. Первым анализ результатов эксперимента рассматриваются данные, полученные от участника, который смотрел видео произвольно, а затем данные сравниваются с результатами участника, отвечающего на вопросы.

В данном разделе приведены наиболее ярко выраженные минимальные и максимальные отклонения регионов интереса в зависимости от просматриваемого контента.

В таблице 2 указаны средние отклонения результатов для всех кадров для каждого контента видеопоследовательностей, используемых в тесте.

Таблица 2

Наибольшее средние отклонения результатов для всех кадров для каждого контента видеопоследовательностей, используемых в тесте

Название и описание видео	База данных	Отклонение для первого участника	Отклонение для второго участника
Рис. 2 кадр 660 Фрагмент из фильма. (Два главных героя взяты крупным планом)	LIVE-NFLX-II; LIVE-NFLX-I subjective video QoE database.	23 %	38%
Рис. 3 кадр 173 фрагмент из популярной игры под названием GTA		30%	39%
Рис. 4 кадр 440 Фрагмент из фантастического фильма, с частой сменой кадров.		36%	26%
Рис 5. Кадр 445 и 370 фрагмент летящего самолёта. Очень быстрая смена кадров		40%	22%
Рис. 6 кадр 320 фрагмент из кулинарного шоу.		21%	28%
Рисунки 8-9 кадр 347 Здесь представлен фрагмент анимационного фильма.		45%	38%

Ниже проанализированы данные представленные в таблице 2.

Кадр с крупными планами героев фильма (рис. 2). Первый регион интереса – лицо человека, находящееся в центре кадра, на переднем плане. Второй регион интереса – фон, среда в которой человек находится, происходит анализ внешних факторов. Общая картинка долгое время остается неизменной, при просмотре видео участником более четырех раз регионы интереса меняются местами, первоначальный интерес смещается на фон, а затем внимание переходит обратно на человека. Минимальный процент отклонение регионов интереса появляется благодаря одновременному нахождению в кадре человека и источника света, при этом все объекты взяты крупным планом. Максимальное отклонение связано со световым контрастом между участками кадра, самый темный и самый светлый участок расположены на разных концах снимка.

Кадр из популярной игры под названием GTA 5 (рис. 3). В данном отрывке можно наблюдать за автомобилем в движении. Максимальное отклонение связано с наличием в кадре движущегося объекта и крупных фоновых деталей, которые в свою очередь быстро сменяются. Минимальное отклонение регионов интереса обусловлено фокусировкой внимания на главном объекте в связи с кульминационным моментом в видеоролике. Все внимание приковано к главному действующему объекту.

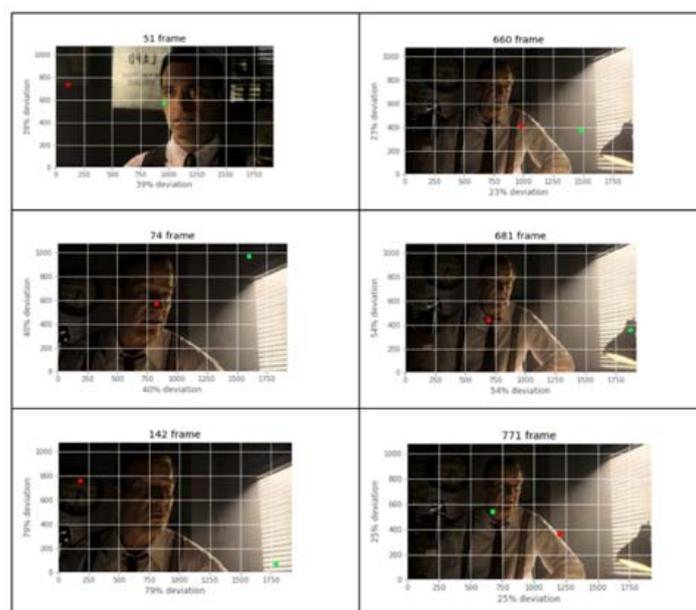


Рис. 2. Кадр 660 Фрагмент из фильма. (Два главных героя взяты крупным планом)

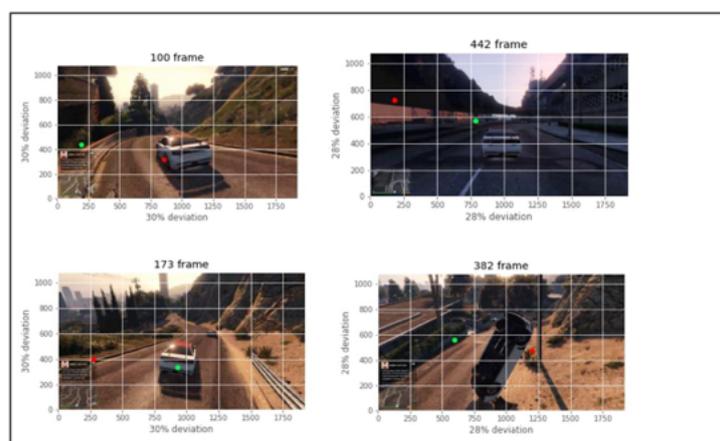


Рис. 3. Кадры 380-440 Фрагменты из компьютерной игры. (Машина в центре внимания является ключевым объектом)

Кадр фильма (рис. 4). В данном фрагменте происходят частые смены кадров, следовательно, отклонения интересов регионов при каждом просмотре из 5 колеблются в достаточных диапазонах от 22% до 47%. С 63 по 96 кадр: Первый регион интереса – участник следит за компанией главных героев, несмотря на то, что на картине достаточно широкая цветовая гамма, могут перебиваться интересы первого региона, но всё же, как приводилась в примерах выше, главные герои имеют значимую роль по отношению к второстепенным. Второй регион – заинтересован исключительно на эпицентр красок и разнообразных мелких деталей. Так как первое, что бросается в глаза – это яркий свет, стеклянная крыша сквозь которую пробиваются лучи солнца. С 97 по 380 кадр: частая смена кадров. Отклонения регионов интересов первичного просмотра и пятого просмотра начали сильно расходиться и передвигаться во всех этих кадрах. На всех экранах продемонстрирована крупная и сильно выделяющаяся фигура – это робот. На заднем плане происходят взрывы. Из этого следует, что регионам интересов при всех просмотрах удалось наблюдать всё изобилие красок и ярких моментов. Несмотря на задний план, глаз человека всё равно следит за самой крупной фигурой в кадре и за тем как фигура быстро передвигается.

Далее рассмотрим на сколько отличаются регионы интересов пользователя, который был «запрограммирован» на поиск информации в кадре от произвольного просмотра.

Рисунок 5 на видео показывают летящий самолёт. Испытуемому был задан вопрос: «Какие животные изображены на самолете?» Так как самолёт движется слишком быстро и происходит резкая смена кадров глаз человека не успевает среагировать, происходит смещение регионов интереса.

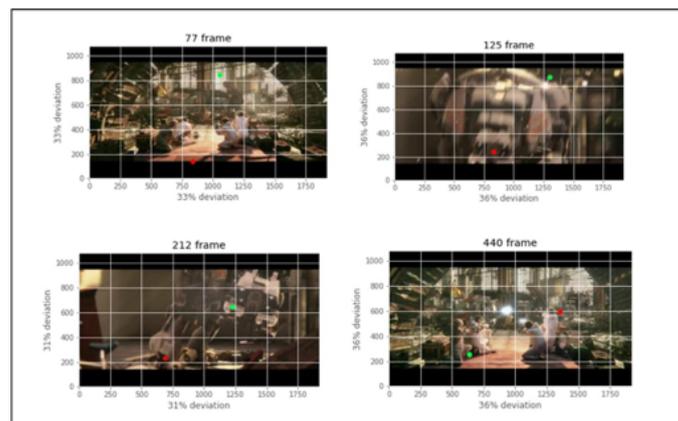


Рис. 4. Кадры 77-440 Фрагменты из фантастического фильма.
(Быстрая смена кадров, много объектов крупным планом)

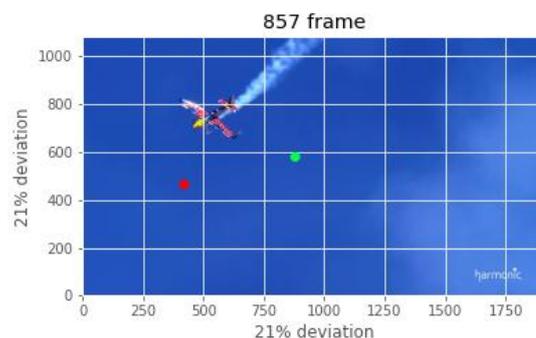


Рис. 5. Кадр 857 Фрагмент из авиашоу.
(Самолет взят крупным планом и является единственным главным объектом в центре внимания)

Но несмотря на это отклонение регионов интереса между двумя испытуемыми составляет всего 21%.

Рисунок 6. Для теста предоставлен фрагмент из кулинарного шоу. Участнику нужно было посчитать количество блюд на видео. При этом отклонение интереса в очередной раз составляет не более 21% с учетом смены плана и сцен.

Рисунок 7, здесь перед пользователями представлена пара танцоров. Быстрые движения людей и отклонение лишь 22%.

Рисунки 8-9. Здесь представлен фрагмент анимационного фильма. Довольно интересный случай. Одного из испытуемых попросили определить цвет иголок на листе и как мы можем наблюдать на Рисунке 8, именно там определяется регион интереса, в то время как взор второго участника направлен на самый крупный объект в кадре – действующее лицо, после того как первый участник определил цвет его внимание переключается на главный объект в кадре, второй же участник наоборот рассмотрев самый большой объект переключает свое внимание на более мелкие детали в кадре, а именно начинает смотреть в ту же точку куда смотрел первый участник, по итогу общая площадь просмотра у обоих участников одинакова и можно сделать вывод о том что регионы интереса даже с учетом того что они были «запрограммированы» у первого участника и не меняются.

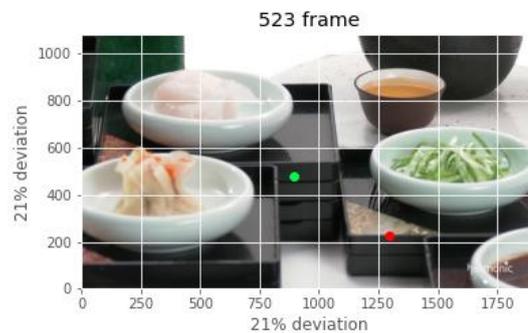


Рис. 6. Кадр 523 Фрагмент из кулинарного шоу.
(Крупным планом демонстрируют различные азиатские блюда)

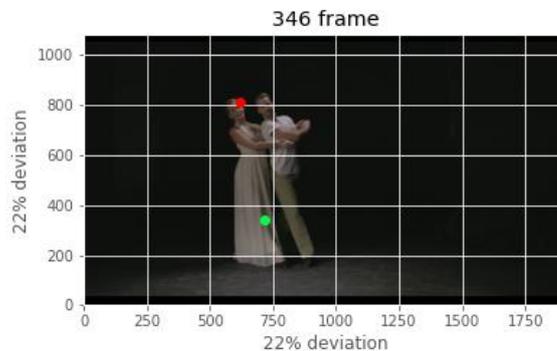


Рис. 7. Кадр 346 Фрагмент балльного танца.
(Два главных героя взяты крупным планом)

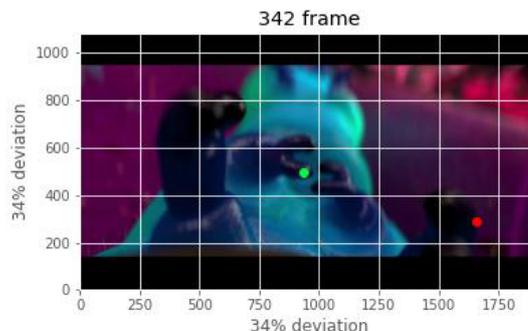


Рис. 8. Кадр 342 Фрагмент из фильма.
(Крупным планом изображен главный персонаж фильма)

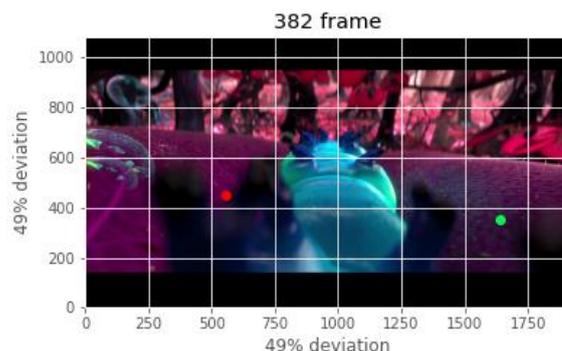


Рис. 9. Кадр 382 Фрагмент из фильма.
(Крупным планом изображен главный герой и четко показан второстепенный фон)

На основе раннее оценки регионов интересов участников исследования выявлена зависимость отклонения от концентрации внимания наблюдателя на действующем объекте, восприятия изменения световых участков, размера объектов и масштаба изображения. Человек как объект исследования остается в приоритете на разных этапах рассмотрения и анализа кадра при повторном просмотре видео более 4 раз. Сюжетные повороты событий также играют роль в фокусировке внимания. Но есть случаи, когда отклонение выявлено случайным образом, в связи с резкой сменой кадра.

Согласно приведенной выше информации, в остальных кадрах отклонения не превышает 10%, гипотеза что при просмотре видеопоследовательностей с разным контентом и отличными артефактами регионы интересов большинства пользователей идентичны с небольшим возможным отклонением.

Заключение

В данной работе предлагается методология для исследования и измерения идентичности восприятия регионов интересов пользователей при повторном просмотре более пяти раз потокового видео, содержащего различный контент и артефакты сжатия. Наша дальнейшая работа будет включать в себя проведения крупномасштабного тестирования, разработку методики выявления закономерностей работы регионов интересов пользователей. Новые данные измерения могут быть использованы в научных целях в части практического применения для техники визуализации, приема и обработки сигналов в устройствах телерадиовещания, информационных технологий на транспорте. Программно-аппаратный комплекс можно использовать в научных и образовательных целях, касающихся зрительной системы человека.

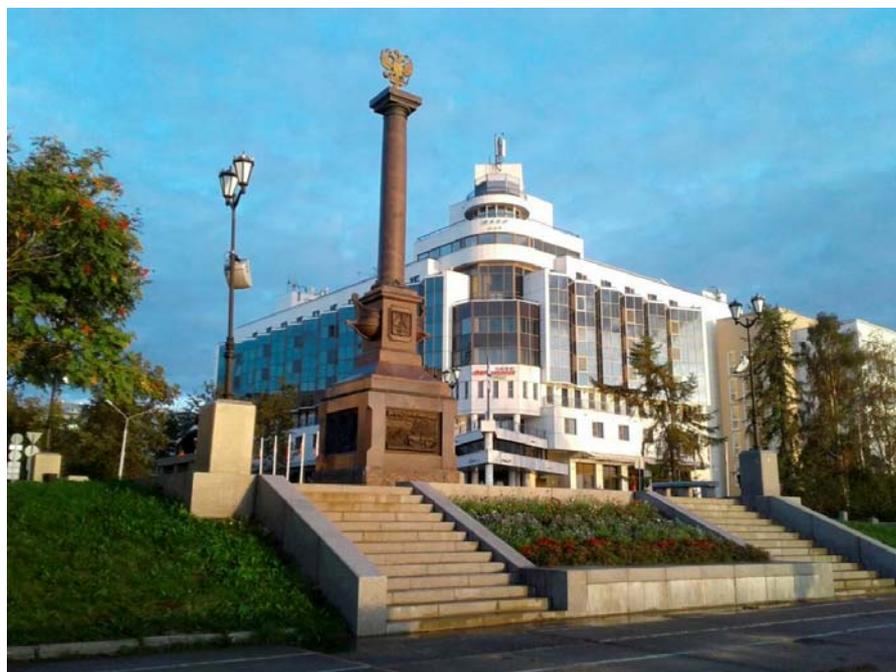
Литература

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology 2017-2022, Feb. 2019, [online] Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/serviceprovider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11741490.html>. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
2. Winkler S. Analysis of Public Image and Video Databases for Quality Assessment // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 6, no. 6, pp. 616–625, Oct. 2012, doi: 10.1109/JSTSP.2012.2215007
3. Winkler S. Image and video quality resources, 2012, [online] Available: <https://stefan.winkler.site/resources.html>
4. Hosu V. et al., "The Konstanz natural video database (KoNViD-1k) // 2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/QoMEX.2017.7965673.
5. Mozhaeva A., Streeter L., Vlasuyk I., Potashnikov A. Full Reference Video Quality Assessment Metric on Base Human Visual System Consistent with PSNR // 2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2021, pp. 309-315, doi: 10.23919/FRUCT50888.2021.9347604.
6. Wang Y., Inguva S., Adsumilli B. YouTube UGC dataset for video compression research // Proc. IEEE 21st Int. Workshop Multimedia Signal Process. (MMSP), pp. 1-5, Sep. 2019.

7. *Mohammadu P., Ebrahimi-Moghadam A., Shirani S.* Subjective and Objective Quality Assessment of Image: A Survey // *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol.9(1), Mar 2015, pp. 55-83.
8. *BT-500-11: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*, 2012.
9. *Seshadrinathan K., Soundararajan R., Bovik A.C., Cormack L.K.* Study of subjective and objective quality assessment of video // *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 6, pp. 1427-1441, Jun. 2010.
10. *Bampis G., Li Z., Katsavounidis I., Huang T.Y., Ekanadham C., Bovik A.C.* Towards Perceptually Optimized End-to-end Adaptive Video Streaming // submitted to *IEEE Transactions on Image Processing*.
11. *Lee, S. Paul, C. G. Bampis, H. Ko, J. Kim, S. Jeong, B. Homan and A. C. Bovik.* A Subjective and Objective Study of Space-Time Subsampled Video Quality // submitted to *IEEE Transactions on Image Processing*.
12. *Lin J.Y., Song R., Liu T., Wang H., C.-C. J. Kuo.* MCL-V: A streaming video quality assessment database // *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 30, pp. 1-9, Jul. 2015.
13. *Yu X., Birkbeck N., Wang Y., Bampis C.G., Adsumilli B., Bovik A.C.* Predicting the Quality of Compressed Videos With Pre-Existing Distortions // *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 30, pp. 7511-7526, 2021, doi: 10.1109/TIP.2021.3107213.
14. *Wang H. et al.* VideoSet: A large-scale compressed video quality dataset based on JND measurement // *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 46, pp. 292-302, Jul. 2017.
15. *Mozhaeva A., Vlasuyk I.V., Potashnikov A.M., Cree M.J., Streeter L.* The Method and Devices for Research the Parameters of the Human Visual System to Video Quality Assessment // *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416081.
16. *Mozhaeva A., Vlasuyk I., Potashnikov A., Streeter L.* Full reference objective metric for assessing video quality compatible with psnr taking into account frequency and peripheral characteristics of human vision // *Digital Signal Processing Application Considerations*, vol. 2, pp. 44-54, (2021)
17. *Bampis G., Li Z., Moorthy A.K., Katsavounidis I., Aaron A., Bovik A.C.* Study of Temporal Effects on Subjective Video Quality of Experience // *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 26, no. 11, pp. 5217-5231, 2017.
18. *Bampis G., Li Z., Moorthy A.K., Katsavounidis I., Aaron A., Bovik A.C.* LIVE Netflix Video Quality of Experience Database. Online: http://live.ece.utexas.edu/research/LIVE_NFLXStudy/index.html, 2016.
19. *Wang Z., Bovik A.* Mean squared error: Love it or leave it? A new look at Signal Fidelity Measures // *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.26(1), Jan. 2009, pp.98-117.
20. *Chun-ChiaWang, Jason C.Hung* Comparative analysis of advertising attention to Facebook social network: Evidence from eye-movement data // *Computers in Human Behavior*, vol. 100, November 2019, pp. 192-208.
21. *Davydova A.A., Egorov D.A.* Efficiency Evaluation Of Back-ground Removal Algorithms // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2022. Т. 16. № 7. С. 52-58., DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-7-52-58

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ синхронизации в инфокоммуникациях на «СИНХРОИНФО-2022»

Дымкова Светлана Сергеевна,
Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия
ds@media-publisher.ru



Аннотация

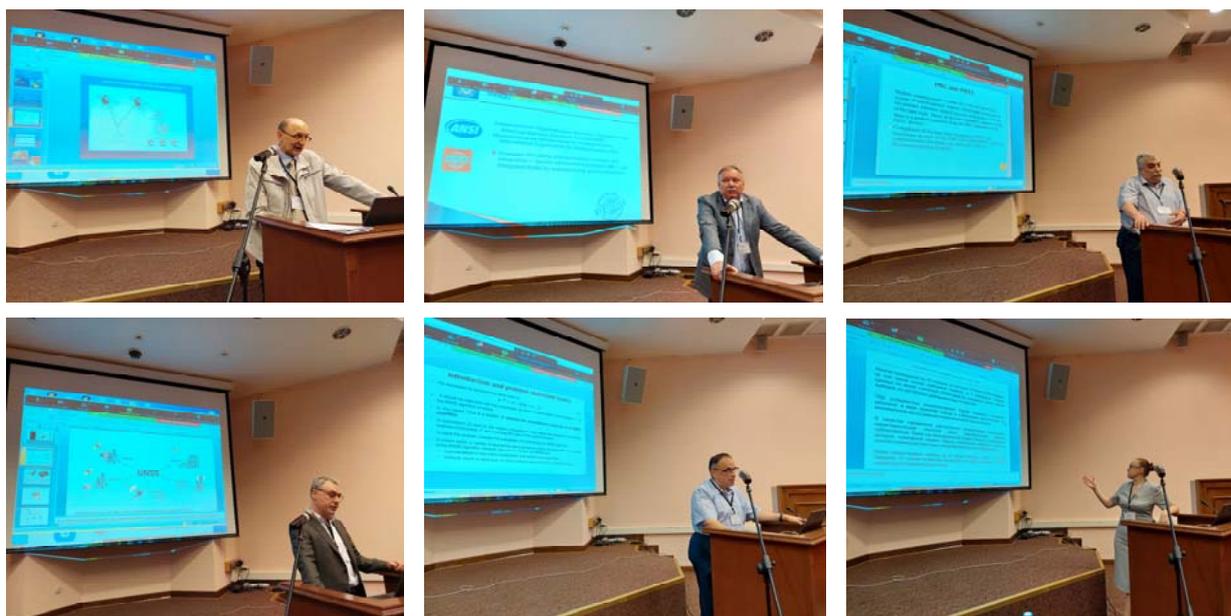
Международная научно-техническая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» ежегодно проводится совместно международным Институтом Инженеров Электротехники и Электроники (IEEE), Институтом Радио и Информационных систем – Institute of Radio and Information Systems (IRIS) и Издательским домом «Медиа Паблшер». Работа конференции направлена на изучение фундаментальных проблем синхронизации, формирования и обработки сигналов в области связи, вещания, радиолокации, радионавигации, радиоуправления, включая вопросы практического использования. Доклады участников конференции посвящены проблемам реализации устройств и систем синхронизации, формирования и обработки сигналов на основе современных цифровых технологий (специализированные процессы, сигнальные процессы, программируемые логические интегральные схемы, технологические вопросы разработки и производства аппаратуры). В статье сформированы статистические данные по итогам конференции СИНХРОИНФО-2022, а также проведена оценка ее работы и рассмотрены перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: СИНХРОИНФО, IEEE, устройства синхронизации, инфокоммуникационные системы.

В 2022 году Международная научно-техническая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» прошла с 29 июня по 2 июля в городе Архангельске (№ 55067 в официальном перечне конференций IEEE).

Работа конференции проходила по пяти направлениям (секциям):

1. Инфокоммуникационные системы и устройства синхронизации
2. Устройства генерирования и формирования сигналов
3. Системы и устройства приема и обработки сигналов
4. *Специальная секция:* «Проблемы СВЧ электроники» им. В.А. Солнцева
5. Фотоника и математика для движущихся объектов



ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Пестряков Александр Валентинович: *председатель программного комитета, д.т.н., профессор МТУСИ*

Варламов Олег Витальевич: *заместитель председателя программного комитета, д.т.н., профессор (Senior IEEE member)*

Ченакин Александр Витальевич: *д.т.н., директор R&D, Anritsu Company, Morgan Hill, CA (Senior IEEE member)*

Сезар Герман Каstellанос Домингес: *к.т.н., National University of Colombia*

Чиров Денис Сергеевич: *д.т.н., профессор (IEEE member)*

Шевгунов Тимофей Яковлевич: *PhD., Chair of Russia Section ED/MTT/AES Joint Chapter, (Senior IEEE member)*

Кочемасов Виктор Неофидович: *к.т.н., генеральный директор ООО «Радиокомп» (IEEE member)*

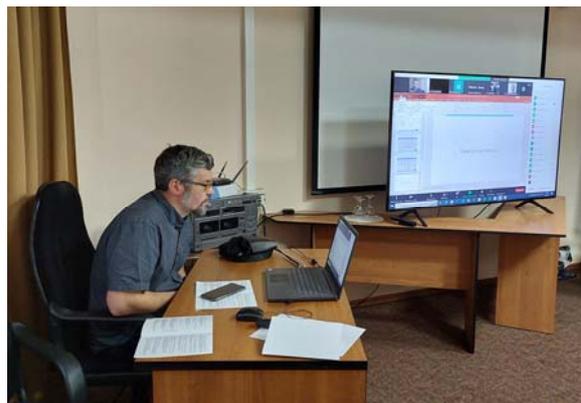
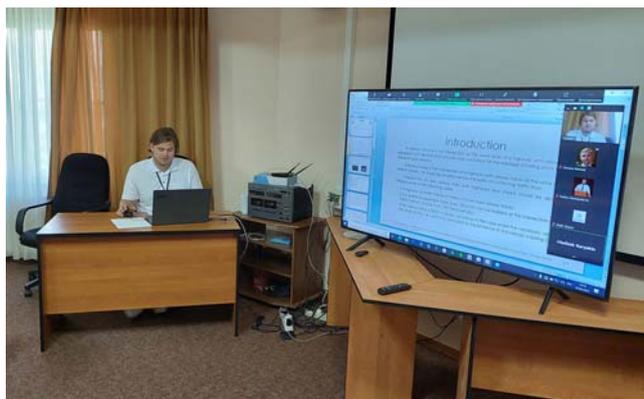
Гребенников Андрей Викторович: *к.т.н., Sumitomo Electric Europe, Великобритания (Senior IEEE member)*

Морозов Олег Геннадьевич: *д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиофотоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ (Senior IEEE member)*

Аджемов Артем Сергеевич: *д.т.н., профессор МТУСИ (IEEE member)*

Современные инфокоммуникационные технологии (ИКТ) базируются на широком применении высокоэффективных систем синхронизации [1], формирования и обработки сигналов. Для реализации таких устройств необходимо проведение фундаментальных и прикладных исследований в области теории динамических систем [4], генерирования сигналов и стабилизации частоты [5, 6], цифрового формирования и обработки сигналов [7-9], статистической теории связи и помехоустойчивого приема сигналов [2], микроволновой и фотонной элементной базы [3]. На конференции обсуждались актуальные вопросы теории и технических аспектов построения перспективных инфокоммуникационных систем и устройств [10-13].

В рамках конференции заслушаны доклады ведущих специалистов отрасли, представляющих высшие учебные заведения, научно-исследовательские институты, операторские компании и др.



Всего на секционных заседаниях заслушано и обсуждено более 80 докладов по актуальным вопросам исследований, разработки, внедрения и эффективного использования систем синхронизации, формирования и обработки сигналов.

В мероприятии приняли участие представители девяти стран, 26-ти городов, 56-ти российских и зарубежных предприятий.

В организации и проведении конференции самое активное участие принимали преподаватели и сотрудники МТУСИ (д.т.н., профессор Пестряков А.В. – председатель программного и организационного комитетов, д.т.н. Варламов О.В., д.т.н., профессор Аджемов А.С., д.т.н. Чиров Д.С., к.т.н. Дымкова С.С. – координатор публикационной программы конференции, Долгопятова А.В. – член рабочей группы).

Наиболее важным и неотъемлемым показателем действия научной политики, в том числе и на государственном уровне, является публикационная активность научных организаций. Управление публикационной активностью организации – достаточно сложная, многофакторная задача. Здесь важен системный подход, учитывающий множество аспектов. Участие в международных конференциях, организованных под эгидой IEEE, позволяет сформировать актуальные научные группы ученых и привлечь к обсуждению и использованию своих результатов коллег и практиков вне организации.

Процесс формирования жизнеспособных научных групп для развития новых научных направлений в организации требует учета потребности в практическом применении. Хорошим индикатором востребованности на практике уже выполненных исследований является регулярное выполнение научной группой прикладных работ в интересах внешнего заказчика. В научных организациях традиционно уделяется большое внимание конференциям и семинарам. Для увеличения «видимости» научных работ необходимо регулярно включать их в публикационные программы.

Для ученых и экспертов необходимы, в первую очередь, данные для поиска информации об уже полученных научных результатах и для поиска партнеров по созданию новых научных результатов или технологий, а также по внедрению разработанных технологий в промышленность. Эту функцию успешно выполняет IEEE.

IEEE способствует сотрудничеству и обмену информацией по теории и практике управления между своими членами. В этих целях Общество проводит собрания для представления докладов, их обсуждения и публикации, издает книги и периодические издания, а через свои комитеты проводит исследования и иным образом обеспечивает и продвигает интересы своих членов. Общество также должно способствовать обучению, обучению и другим видам деятельности, предназначенным для подготовки инженеров к практической работе в области инженерии и управления технологиями, а также для оказания им помощи в их переходе к этой дисциплине.

Международный Институт Инженеров Электротехники и Электроники (IEEE) проводит конференции самостоятельно, в сотрудничестве с другими организационными подразделениями IEEE или другими техническими организациями, не входящими в IEEE, в соответствии с политиками и процедурами IEEE. Данные конференции открыты на равной основе для всех членов IEEE, а также для лиц, не являющихся членами IEEE.

Темы, представленные на конференциях, включают как проекты по разработке новых коммерческих продуктов и услуг, так и капиталоемкие проекты по созданию крупных социально-технических

систем. Проектные формы организации опытно-конструкторских работ представляют собой фундаментальную проблему для планировщиков, инженеров и менеджеров. За планированием следует капиталоемкая реализация через обширную цепочку поставок проекта, регулируемую официальными контрактами.

IEEE публикует исследования, в которых строго используются теоретические знания из ряда академических дисциплин, чтобы улучшить эмпирическое и концептуальное понимание организаций, созданных для проектирования и разработки сложных систем. В IEEE Xplore публикуются только оригинальные статьи, которые продвигают науку и знания в области инженерии посредством анализа инновационных нормативных или эмпирических моделей. Однако одной разработки новой модели или методологии недостаточно. Каждая статья также должна вносить значительный вклад в области радиотехники и электроники. Масштабы соответствующего исследования должны быть достаточно широкими, чтобы результаты и идеи статьи можно было обобщить для нескольких организаций, а не относиться к одному продукту, процессу или организации.

В статьях и докладах должны быть представлены оригинальные модели или методологии, которые теоретически обоснованы и проверены. Новые модели следует тестировать на достоверных эмпирических или синтетических данных со значительным управленческим акцентом. Каждая статья должна значительно расширить предыдущие знания в соответствующей области моделирования или методологии. Кроме того, каждая статья должна либо подтверждать методологию решения как выполнимую и полезную для практикующего инженера, либо демонстрировать новые идеи для инженеров посредством соответствующего тестирования и планирования эксперимента. Как правило, статьи, использующие существующую или стандартизированную методологию для решения известной проблемы в литературе, не будут приняты, если они не демонстрируют инновационное и оригинальное понимание методологии или приложения.

Тематические исследования могут быть сосредоточены на применении творческих методологий для решения сложных или неструктурированных проблем, вопросов реализации или других характерных проблем. Тематическое исследование должно описывать реальную реализацию и содержать новаторские и четко обобщаемые уроки, ценные для исследователей или практиков инженеров в области радиотехники и электроники.

Инженеры и ученые – участники конференции – являются ключом к технологическим инновациям. Технические организации претерпевают серьезные преобразования, поскольку они стремятся стать более конкурентоспособными за счет более быстрого и эффективного вывода новых продуктов на рынок. IEEE ищет вклады, которые улучшают понимание управления учеными, инженерами, техническими группами и техническими организациями, расположенными в любой точке мира. Особенно приветствуются исследования, которые напрямую касаются этой новой реальности, но также востребованы исследования, посвященные традиционным темам в текущем контексте.

Развитие мобильных технологий способствует значительным изменениям в различных отраслях. Эта трансформация ускоряется с появлением Интернета вещей (IoT), разумных технологий и использования алгоритмов и анализа данных. Информация и аналитика теперь являются основными компонентами продуктов и процессов. Отрасли радикально трансформируются благодаря новым продуктам и услугам, которые используют новые информационные и коммуникационные технологии, цифровые инфраструктуры и цифровые возможности.

При этом, основной целью проведения международных научных конференций всегда была и остается доступность информации о научных достижениях, идеях и разработках в рамках конкретного тематического направления в мировом научном сообществе [14-18].

Доклады участников конференции «СИНХРОИНФО-2022» опубликованы в сборнике трудов IEEE EXPLORE (<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9840749/proceeding>), и проиндексированы в международной базе данных SCOPUS. Материалы конференции «СИНХРОИНФО», организованные под эгидой IEEE, с 2017 года индексируются также в международной базе данных WoS.



Статистика конференций СИНХРОИНФО под эгидой IEEE

Место проведения	Годы	Число докладов	Число членов IEEE (участники конференции)	Число докладов в соавторстве с членами IEEE	Число участников конференции	Число авторов конференции	Число организаций	Число городов	Число стран
Казань	2017	82	8	12	76	181	38	18	5
Минск	2018	143	16	25	149	284	48	24	7
Ярославль	2019	117	34	38	107	195	54	25	8
Калининград	2020	118	29	33	105	269	62	28	8
Калининград	2021	88	33	34	110	232	40	11	3
Архангельск	2022	82	25	25	101	212	56	26	9

Организации-участники:

1. *Academician A. L. Mints Radiotechnical Institute, Moscow, Russia*
2. *Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russia*
3. *Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan*
4. *Bunin Yelets State University, Yelets, Russia*
5. *Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*
6. *FSEEP "Medical College", Moscow, Russia*
7. *G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia*
8. *General Microwave Co. LLC., Russia, Moscow*
9. *Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*
10. *Institute for Design Problems in Microelectronics of RAS, Moscow, Russia*
11. *Institute of Advanced Materials and Technologies "NRU MIET", Moscow, Zelenograd*
12. *Institute of Tourism, Entrepreneurship and Service, Dushanbe, Tajikistan*
13. *JSC «Academician A.L. Mints Radiotechnical Institute», Moscow, Russia*
14. *JSC STC KOMTEST, Moscow, Russia*
15. *Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovski, Kaluga, Russia*
16. *Kazan National Research Technical University n.a. A.N. Tupolev – KAI (KNRTU-KAI), Kazan, Russia*
17. *Komset-Service Ltd., Moscow, Russia*
18. *Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia*
19. *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*
20. *LTD KIA, CEO, Moscow, Russia*
21. *MaxNavi LLC, Moscow, Russia*
22. *Mechanical Engineering Research Institute named after A.A. Blagonravov of RAS, Moscow, Russia*
23. *MIET National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia*
24. *MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia*
25. *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MAD), Moscow, Russia*
26. *Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*
27. *Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Moscow region, Russia*
28. *Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*
29. *Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia*
30. *Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia*
31. *MTS, Moscow, Russia*
32. *National Research Nuclear University MEPhI*
33. *National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia*
34. *National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia*
35. *National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia*
36. *National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia*
37. *New Bulgarian University, Sofia, Republic of Bulgaria*
38. *North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov, Vladikavkaz, Russia*
39. *OJSC NIRIT-XINWEI Telecom Technology (NXIT), Moscow, Russia*
40. *P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*
41. *Pridnestrovian State University of Taras Shevchenko, Tiraspol, Moldova, Pridnestrovye*
42. *Radio Research and Development Institute, Moscow, Russia*
43. *Radiocomp, LLC, Moscow, Russia*
44. *Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia*
45. *Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*
46. *Southwest State University, Kursk, Russia*
47. *Sumitomo Electric Europe Ltd., Elstree, U.K*
48. *Tajik Technical University Named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan*
49. *The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg, Russia*
50. *The International Information Technology University (IITU)*
51. *The University of Waikato, Hamilton, New Zealand*
52. *Topcon Positioning Systems, Moscow, Russia*
53. *Tula State University, Tula, Russia*
54. *Volga region state university of telecommunications and informatics, Samara, Russia*
55. *Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia*
56. *Vyatka State University, Kirov, Russia*

Следующая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» (СИНХРОИНФО-2023) будет проведена в городе Псков с 28 по 30 июня 2023 года. Международный институт IEEE подтвердил участие в организации и проведении конференции и зарегистрировал её под номером #57872. Надеемся, что материалы конференции будут также опубликованы в IEEE EXPLORE с последующей индексацией в международных базах научных данных SCOPUS или WoS.

Приглашаем всех желающих принять участие в СИНХРОИНФО-2023. Это будет юбилейная конференция – ровно 50 лет с момента начала проведения подобных мероприятий. Первый раз, в СССР, специалисты в области систем синхронизации и динамических систем собрались на научно-технический семинар в 1973 году в городе Горьком (сейчас Нижний Новгород). Организатором того семинара были д.т.н., профессор Шахгильдян В.В. из МЭИС (сейчас МТУСИ) и д.т.н. Белюстина Л.Н. из Горьковского НИИ прикладной математики и кибернетики.

На предстоящей конференции планируется достойно отметить этот юбилей и заслушать ряд сообщений, посвящённых истории и перспективам развития данного научно-технического направления.

Литература

1. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А., Карякин В.Л., Петров В.А., Федосеева В.Н., Пестряков А.В., Акимов В.Н. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации. Москва, 1989. (2-е издание, переработанное и дополненное).
2. Харкевич А.А. Теория информации. Опознавание образов. Избранные труды в 3-х томах. Т. 3. Москва, 1973.
3. Харкевич А.А. Теория электроакустических преобразователей. Волновые процессы. Избранные труды в 3-х томах. Т. 1. Москва, 1973.
4. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Стреналюк Ю.В., Васильев Н.А., Белюченко И.М., Самаров К.Л., Зиновьев В.Н., Посеренин С.П., Вокин Г.Г., Мороз А.П., Шайдунов В.С., Шаврин С.С. Системный анализ в области управления и обработки информации. Монография. Королев, 2015.
5. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шлома А.М., Шумов А.П. Технология OFDM. Москва, 2016.
6. Filimonov N., Varlamov O., Ikin G. Efficient modulation of rf signals. Патент на изобретение US 7724837 B2. Заявка № US20040546012 от 07.01.2004.
7. Варламов О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 39-42.
8. Варламов О.В., Громорушкин В.Н., Лаврушенко В.Г., Чугунов И.В. Генератор испытательных сигналов для измерительных характеристик ключевых усилителей мощности с отдельным усилением составляющих однополосного сигнала // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. Т. 5. № 9. С. 47-49.
9. Varlamov O. The radio noise effect on the coverage area of DRM broadcast transmitter in different regions // Т-Comm. 2015. Т. 9. № 2. С. 90-93.
10. Dymkova S.S. Earth observation and global navigation satellite systems analytical report part I (aviation and space) // Synchroninfo Journal. 2022. Т. 8. № 1. С. 30-41.
11. Dymkova S. Breakthrough 5G data call using dynamic spectrum sharing to accelerate nationwide 5G deployments // Synchroninfo Journal. 2019. Т. 5. № 6. С. 17-21.
12. Dymkova S.S., Dymkov A.D. Multifactorial methodology of cycling routes time calculation based on 3D maps // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416046.
13. Dymkova S. Applicability of 5G subscriber equipment and global navigation satellite systems // Synchroninfo Journal. 2021. Т. 7. № 5. С. 36-48.
14. Dymkova S.S. Methods of indicators analysing for universities publication activity by discipline "radio engineering" // В сборнике: 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings. 2022.
15. Варламов О.В., Дымкова С.С., Городилова М.В. Авторские профили в наукометрических базах данных // Учебно-методическое пособие. Москва, 2020.
16. Дымкова С.С. Новые принципы организации функционирования систем по продвижению результатов научных исследований // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2017. Т. 8. № 1. С. 34-37.
17. Дымкова С.С. Повышение эффективности функционирования информационных систем и процессов в высшей школе // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2017. Т. 6. № 2. С. 45-48.
18. Dymkova S.S. Identifying and implementing successful scientific projects, in the framework of 'IEEE technology and engineering management society' events // В сборнике: 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings. 2020. С. 9261533.