# VK Звонки: соединяем тысячи людей с Android и iOS по WebRTC

Никита Разумный и Иван Шафран

# Звонки нужны всем

Общение

# Звонки нужны всем

Общение

Учёба

# Звонки нужны всем

Общение

Учёба

Приватность
(такси, объявления)

# Звонки нужны всем

Общение

Учёба

Приватность
(такси, объявления)

Телемедицина

VK Звонки

# 5м

Звонков в день

# VK Звонки

**5M**

Звонков в день

**20M**

Пользователей звонков в месяц

# VK Звонки

**5M**

Звонков в день

**20M**

Пользователей звонков в месяц

**90%**

Звонков с мобильных устройств

# План

1. Базовые понятия WebRTC

# План

1. Базовые понятия WebRTC
2. 1 на 1 звонки

# План

1. Базовые понятия WebRTC
2. 1 на 1 звонки
3. Групповые звонки

# Базовые понятия WebRTC

# WebRTC

WebRTC

1

MediaStream:
конфигурация исходящего медиапотока

# WebRTC

1

MediaStream:
конфигурация исходящего медиапотока

2

Signaling - механизм передачи данных о соединении

# WebRTC

1

MediaStream:
конфигурация исходящего медиапотока

2

Signaling - механизм передачи данных о соединении

3

SDP - инициация логического соединения

# WebRTC

1

MediaStream:
конфигурация исходящего медиапотока

2

Signaling - механизм передачи данных о соединении

3

SDP - инициация логического соединения

4

ICE - инициация физического соединения

# WebRTC

1. MediaStream: конфигурация исходящего медиапотока
2. Signaling - механизм передачи данных о соединении
3. SDP - инициация логического соединения
4. ICE - инициация физического соединения
5. RTCP - медиатранспорт

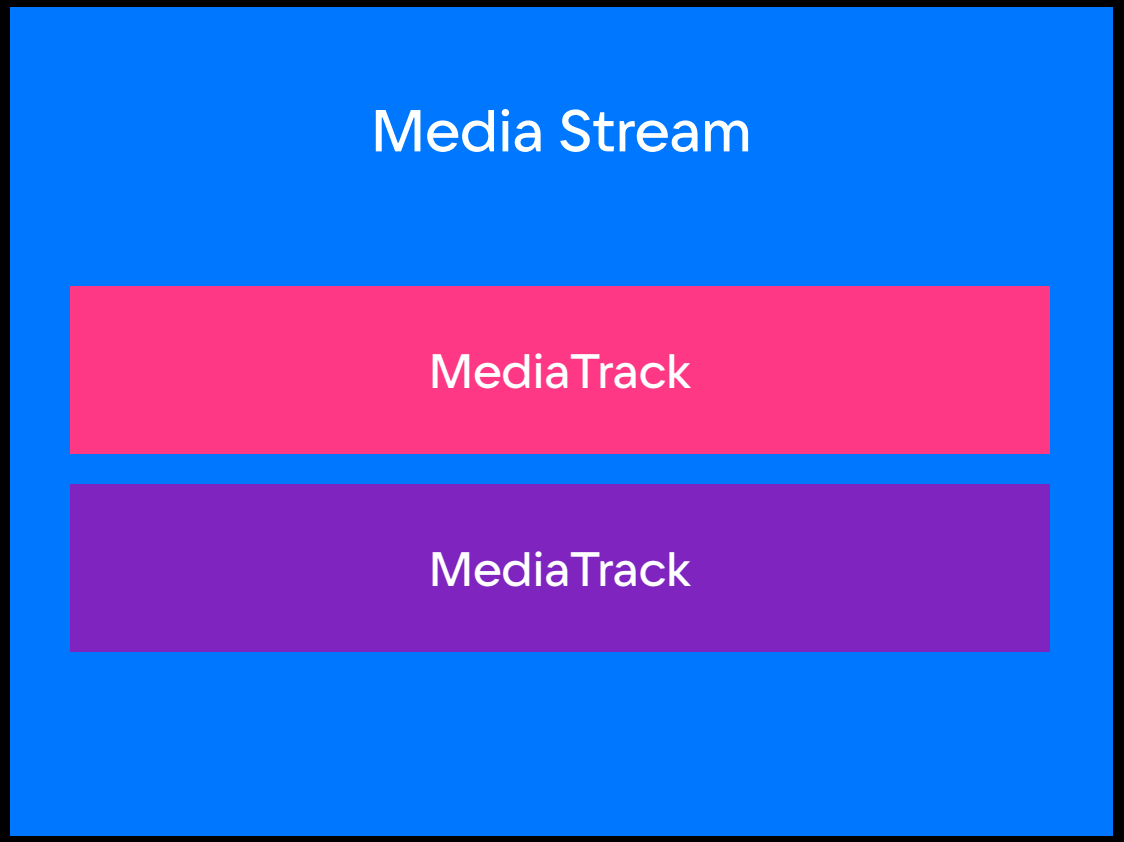
# Media Stream

- Отправка потоковых данных

Media Stream

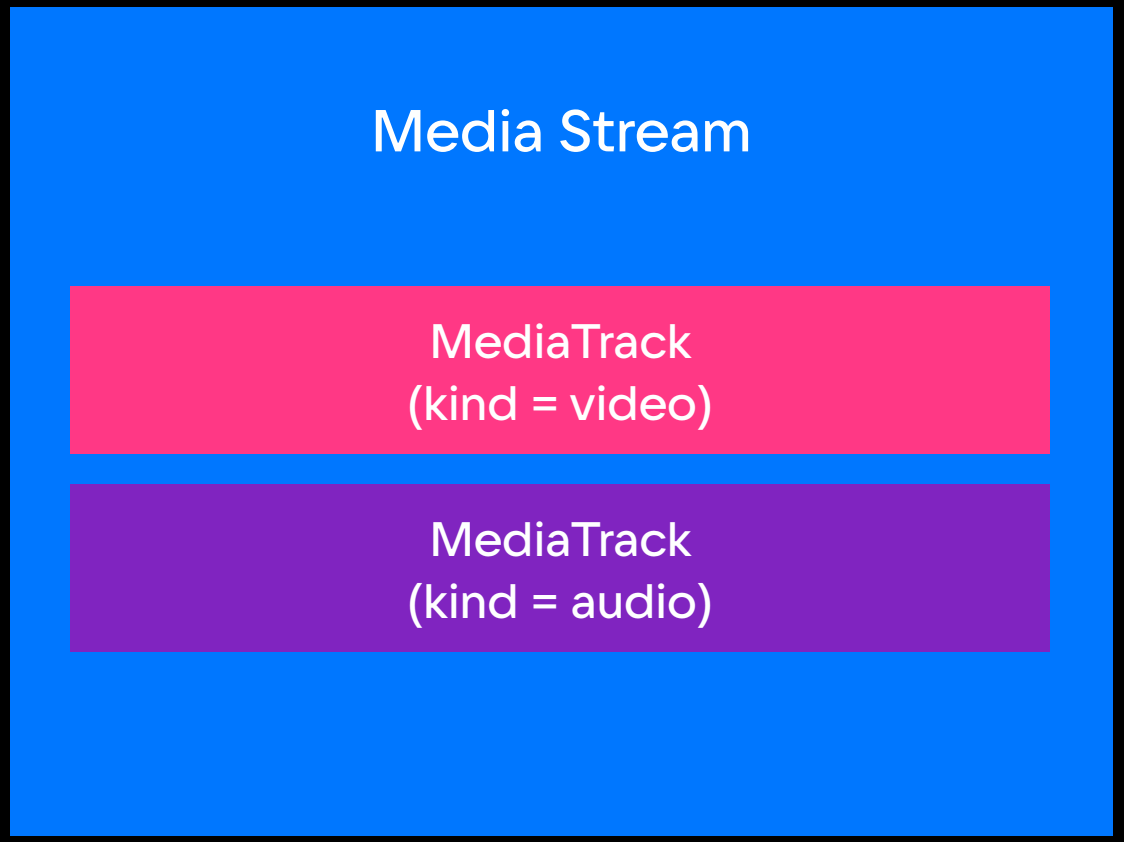
# Media Stream

- Отправка потоковых данных
- Состоит из синхронизированных треков



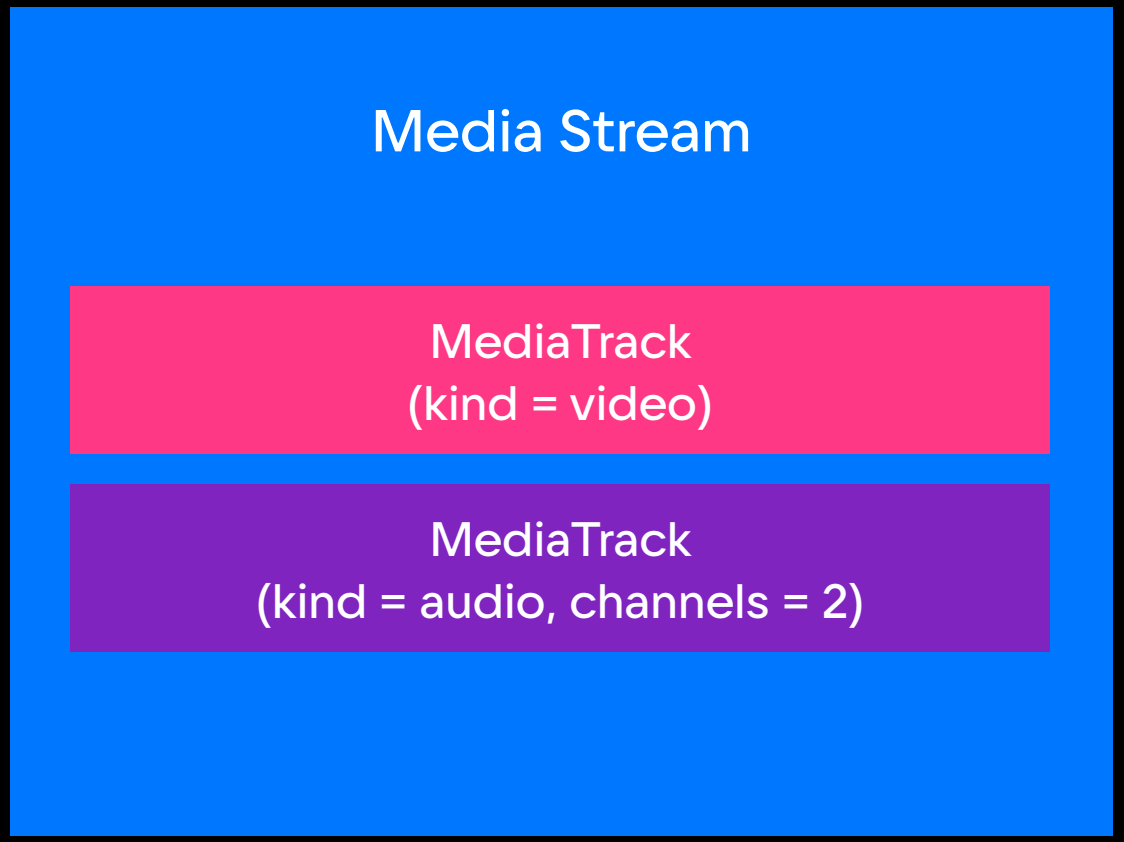
# Media Stream

- Отправка потоковых данных
- Состоит из синхронизированных треков
- У треков есть специализации



# Media Stream

- Отправка потоковых данных
- Состоит из синхронизированных треков
- У треков есть специализации
- У треков есть каналы



# Signaling

- WebRTC не имеет протокола для передачи данных о соединении

# Signaling

- WebRTC не имеет протокола для передачи данных о соединении
- Актуализация состояния звонка

# Signaling

- WebRTC не имеет протокола для передачи данных о соединении
- Актуализация состояния звонка
- WebSocket

# Session Description Protocol (SDP)

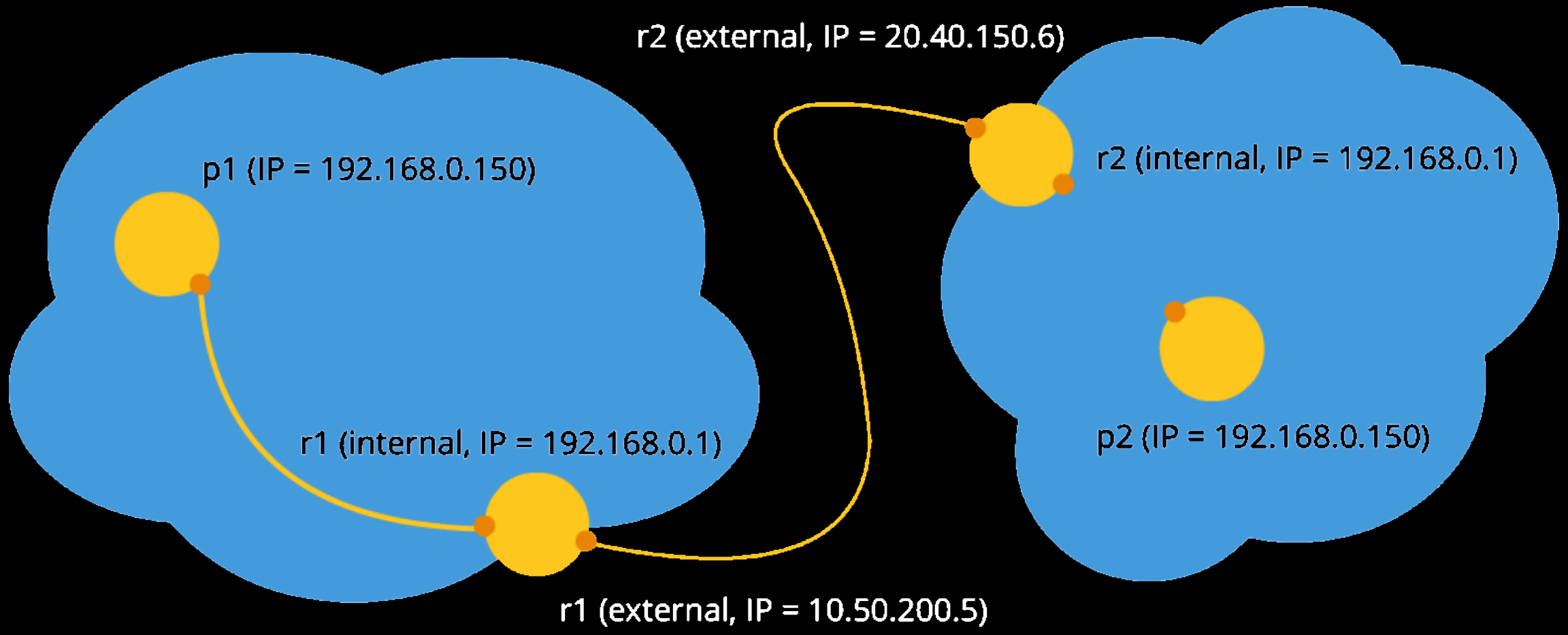
```
v=0
o=jdoe 2890844526 2890842807 IN IP4 10.47.16.5
s=SDP Seminar
i=A Seminar on the session description protocol
u=http://www.example.com/seminars/sdp.pdf
e=j.doe@example.com (Jane Doe)
c=IN IP4 224.2.17.12/127
t=2873397496 2873404696
a=recvonly
m=audio 49170 RTP/AVP 0
m=video 51372 RTP/AVP 99
a=rtpmap:99 h263-1998/90000
```

# Session Description Protocol (SDP)

# ICE — механизм для обхода NAT

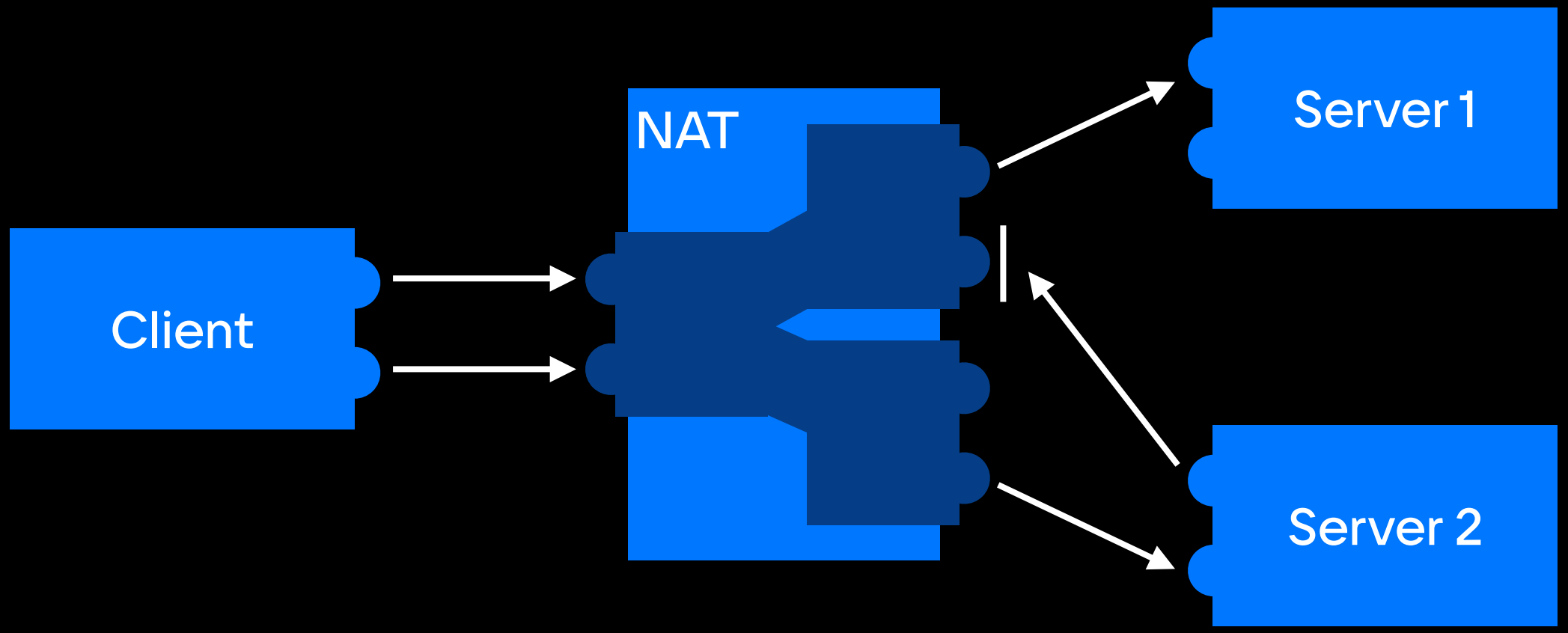
- Не все узлы сети имеют уникальные IP
- Некоторые машрутизаторы имеют ограничение на то, кто может подключаться к сети

# ICE: NAT

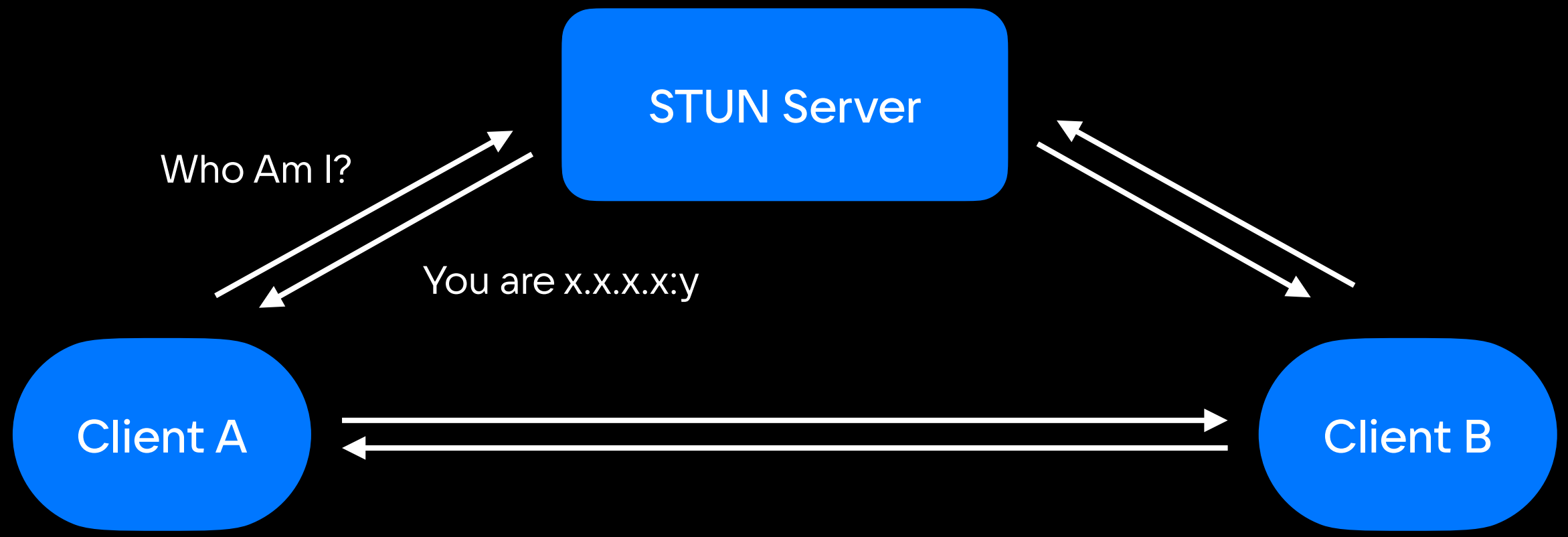

r2 (external, IP = 20.40.150.6)
p1 (IP = 192.168.0.150)
r2 (internal, IP = 192.168.0.1)
r1 (internal, IP = 192.168.0.1)
p2 (IP = 192.168.0.150)
r1 (external, IP = 10.50.200.5)

# ICE: NAT

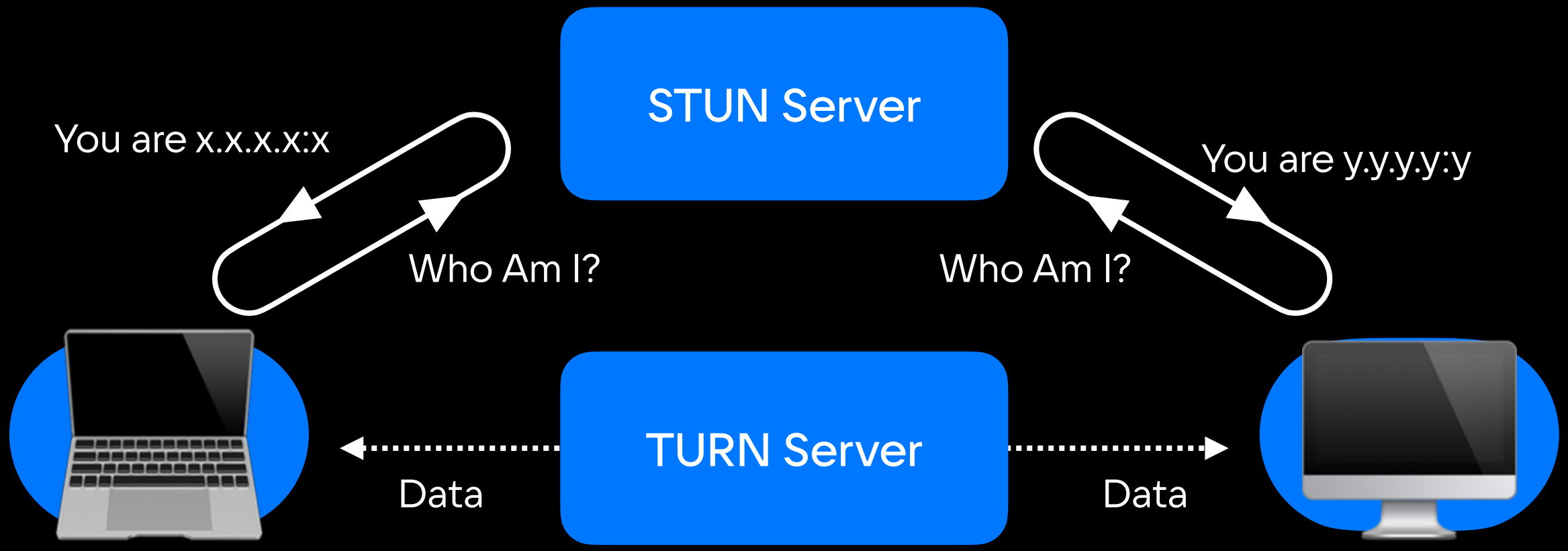
«Symmetric» NAT



# ICE: STUN-сервер



# ICE: TURN-сервер



# ICE Candidates

- Кандидат (Ice candidate) – это адрес узла в сети
- Адрес узла может быть своим, а может быть адресом роутера или TURN-сервера
- Кандидатов всегда много
- Кандидат состоит из IP-адреса, порта и типа транспорта (TCP или UDP)
- Кандидаты используются для установления физического соединения двух узлов в сети

# Передача потоковых данных: RTP

- Низкая задержка
- Пакеты пронумерованы
- Не ограничивается использованием в аудиовизуальной коммуникации
- Не гарантирует качество обслуживания

# Передача потоковых данных: RTCP

- Работает совместно с RTP
- Задержки
- Потери
- Jitter

# Как у нас это выглядит

- WebRTC (native)
- SDK
- Client

# 1 на 1 звонки

# Что узнаем

1. Аудио

# Что узнаем

1. Аудио
2. Видео

# Что узнаем

1. Аудио
2. Видео
3. AR-эффекты

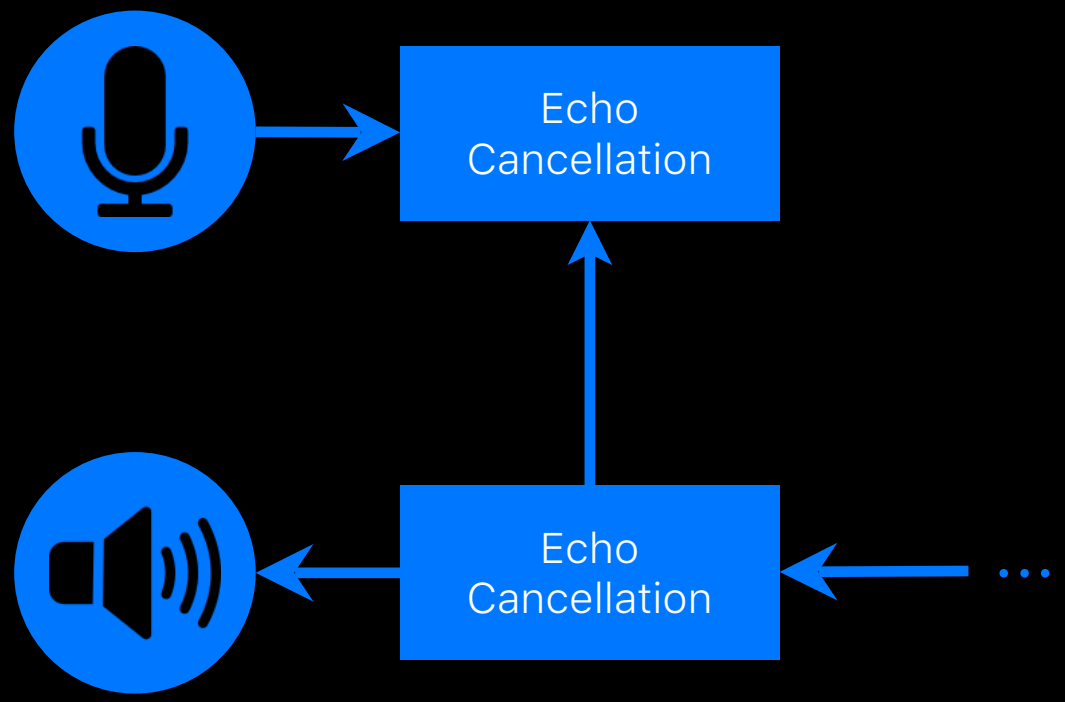
# Что узнаем

1. Аудио
2. Видео
3. AR-эффекты
4. Системные API

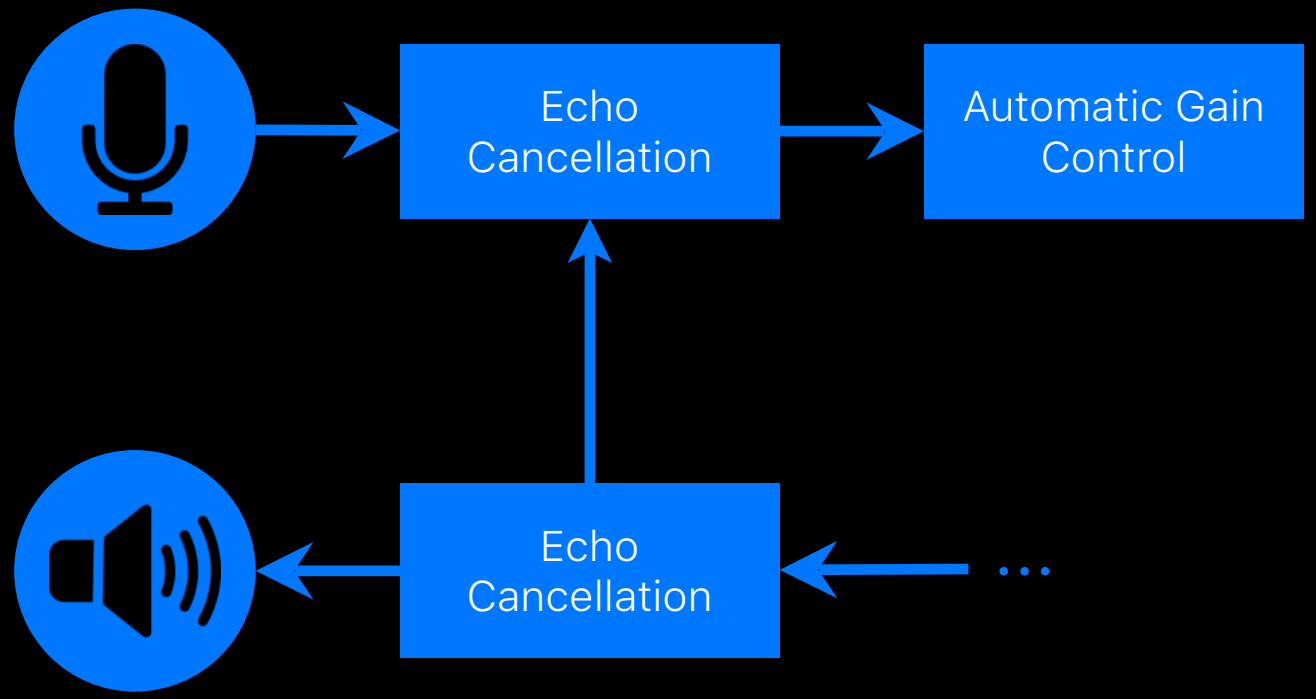
# Аудио

# Аудио состоит из нескольких этапов

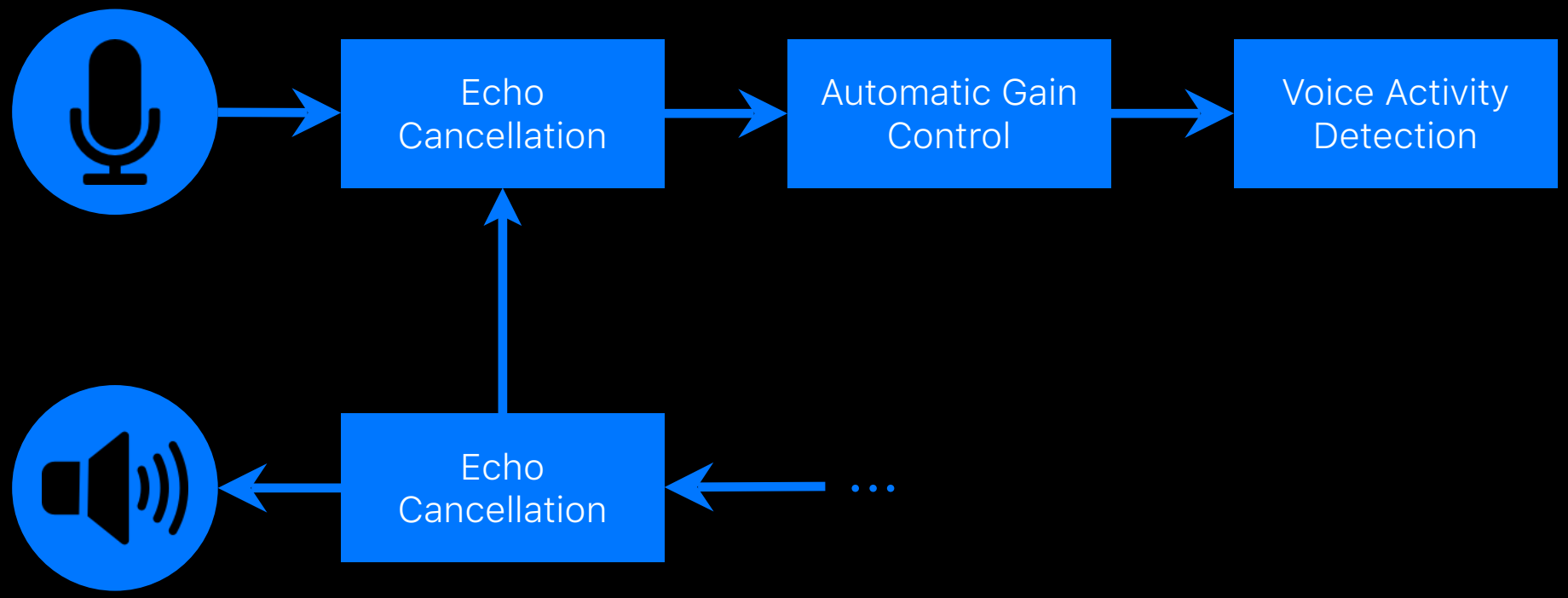
# Убираем эхо, чтобы собеседник не слышал себя



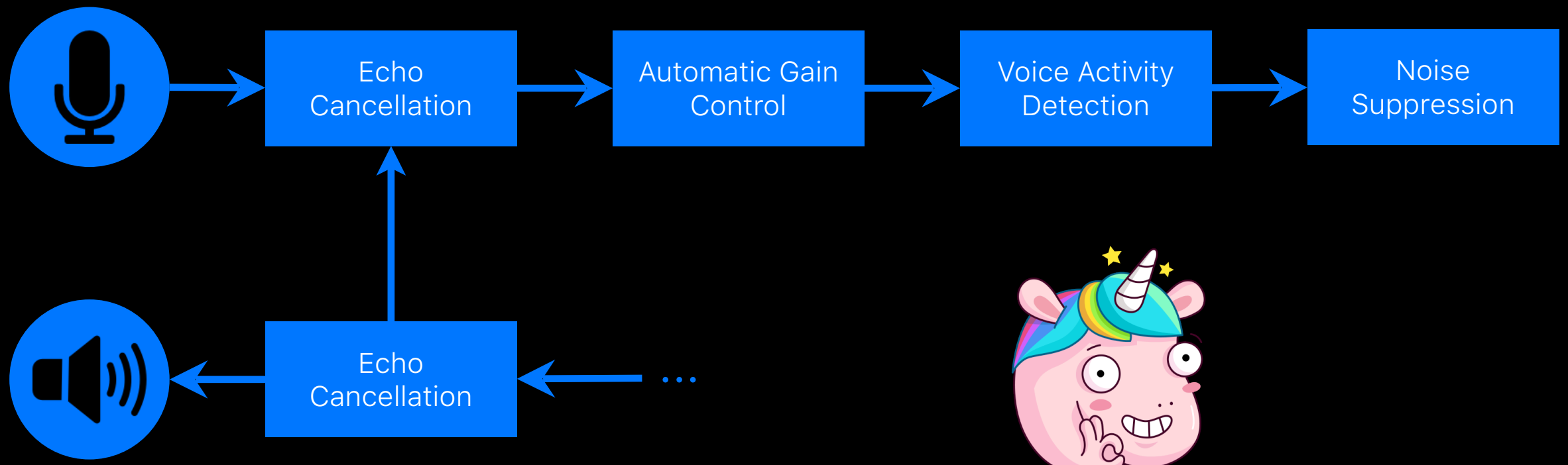
# Выравниваем громкость аудио, чтобы слышать всех одинаково



# Определяем на аудио голос. Если тишина, то пакеты аудио можно не отправлять в сеть



# Убираем шумы, соседей, пылесос на фоне



## WebRTC содержит простые реализации всех этапов
## Но можно лучше

Noise Suppression

Voice Activity Detection

# Современные нейронки выигрывают у традиционных методов

Noise Suppression

Voice Activity Detection

Про устройство сетки https://habr.com/ru/company/vk/blog/572950/

# Что мы получили от доработки аудио

60%

Уменьшение числа ускорений звука
с искажениями

# Что мы получили от доработки аудио

60%

Уменьшение числа ускорений звука с искажениями

30%

Экономия аудио трафика сети

# Что мы получили от доработки аудио

**60%**

Уменьшение числа ускорений звука с искажениями

**30%**

Экономия аудио трафика сети

**40%**

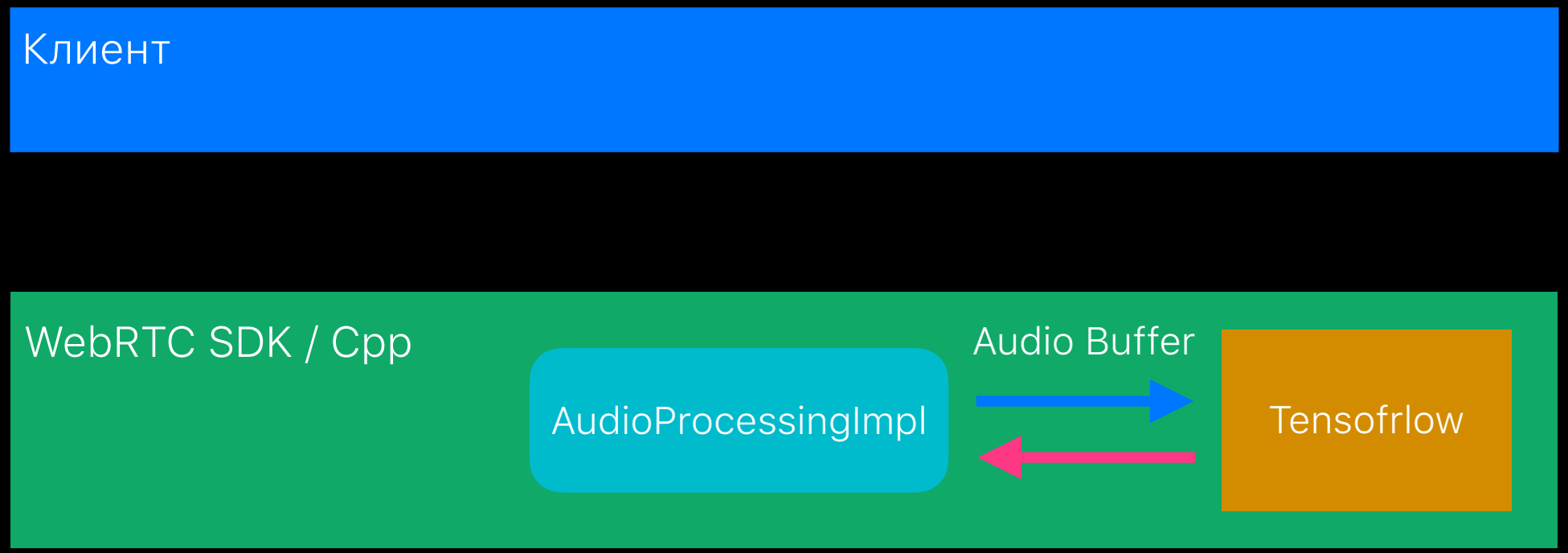
Улучшение качества звука по метрике PESQ

Подробнее про аудио пайплайн: https://habr.com/ru/company/vk/blog/574604/

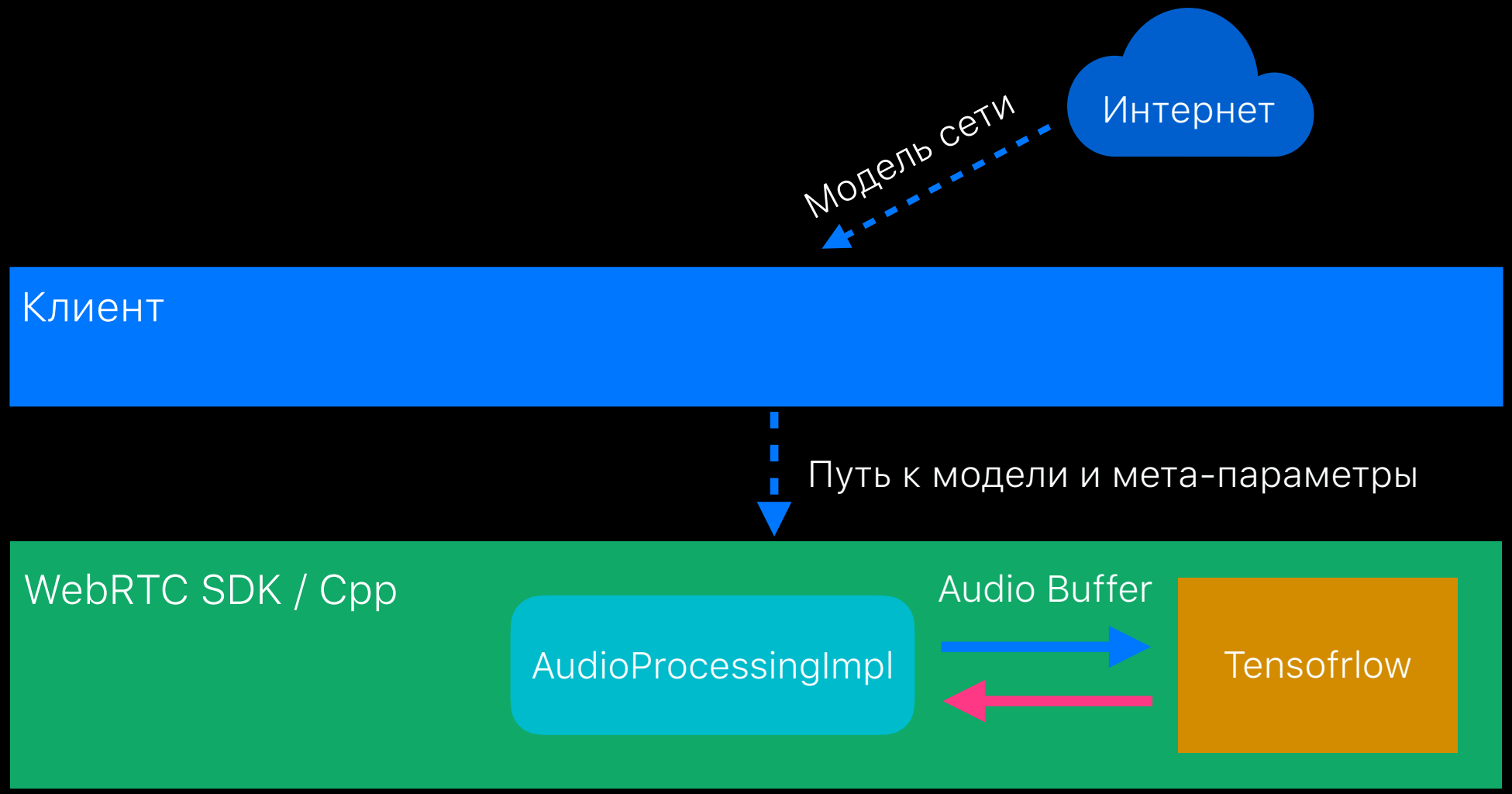
# Для каждой платформы выбираем наиболее удобный формат

# Tensorflow подключаем в нативном коде

# Аудио поток обрабатываем в AudioProcessingImpl



# ML модель загружаем из интернета



# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Инжектим инференс в AudioProcessingImpl через RTCPeerConnectionFactory

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Инжектим инференс в AudioProcessingImpl через RTCPeerConnectionFactory
- WebRTC под iOS использует только системный voice processing

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Инжектим инференс в AudioProcessingImpl через RTCPeerConnectionFactory
- WebRTC под iOS использует только системный voice processing
- Смотрим на конфигурацию AudioUnit-а
  - kAUVoiceIOProperty_BypassVoiceProcessing
  - kAUVoiceIOProperty_VoiceProcessingEnableAGC

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Профилируем, избегаем рантайма objc/swift

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Профилируем, избегаем рантайма objc/swift
- AudioProcessingImpl работает на потоке, критичным к блокировкам

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Профилируем, избегаем рантайма objc/swift
- AudioProcessingImpl работает на потоке, критичным к блокировкам
- Переносим обработку звука в audio transport (AsyncAudioProcessing)

# Встраивание CoreML-моделей в WebRTC

- Профилируем, избегаем рантайма objc/swift
- AudioProcessingImpl работает на потоке, критичным к блокировкам
- Переносим обработку звука в audio transport (AsyncAudioProcessing)
- Контролируем задержку

Если обработка аудио работает долго,
то делаем fallback на WebRTC шумодав

# Аудио: резюме

- Улучшили качество звука
- Снизили нагрузку на сервер
- Унифицировали пользовательский опыт на разных платформах

# Видео

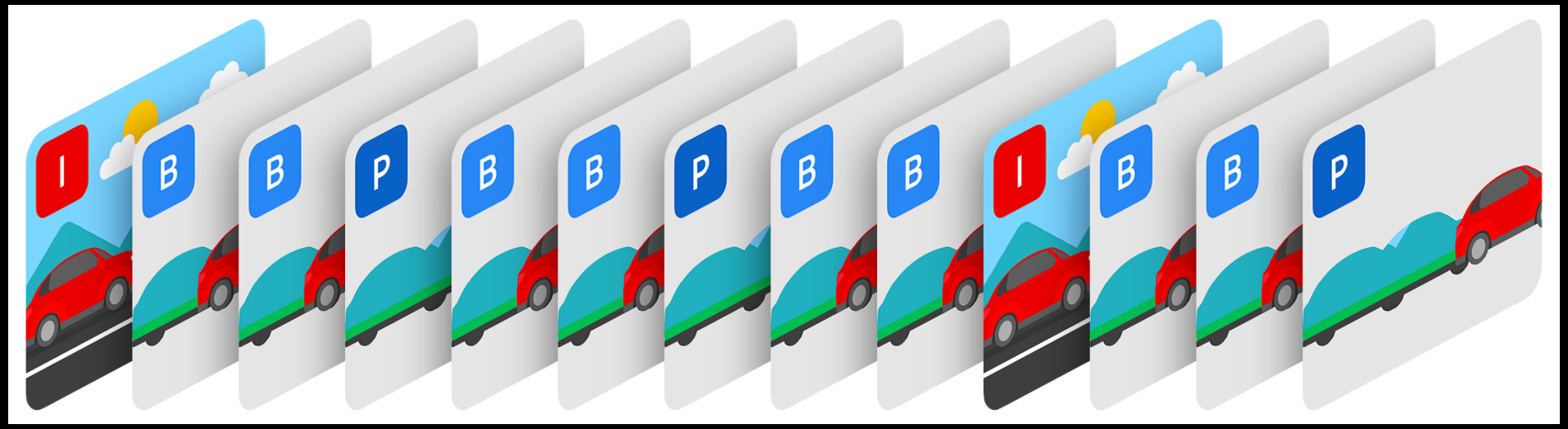
# Проблемы видео в p2p звонке

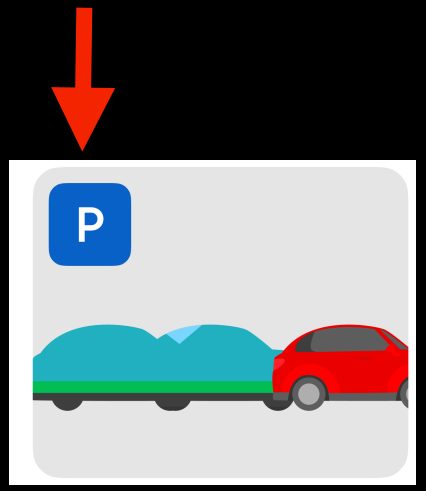
- Батарейка
- Нагрузка сети

# Проблемы видео в p2p звонке

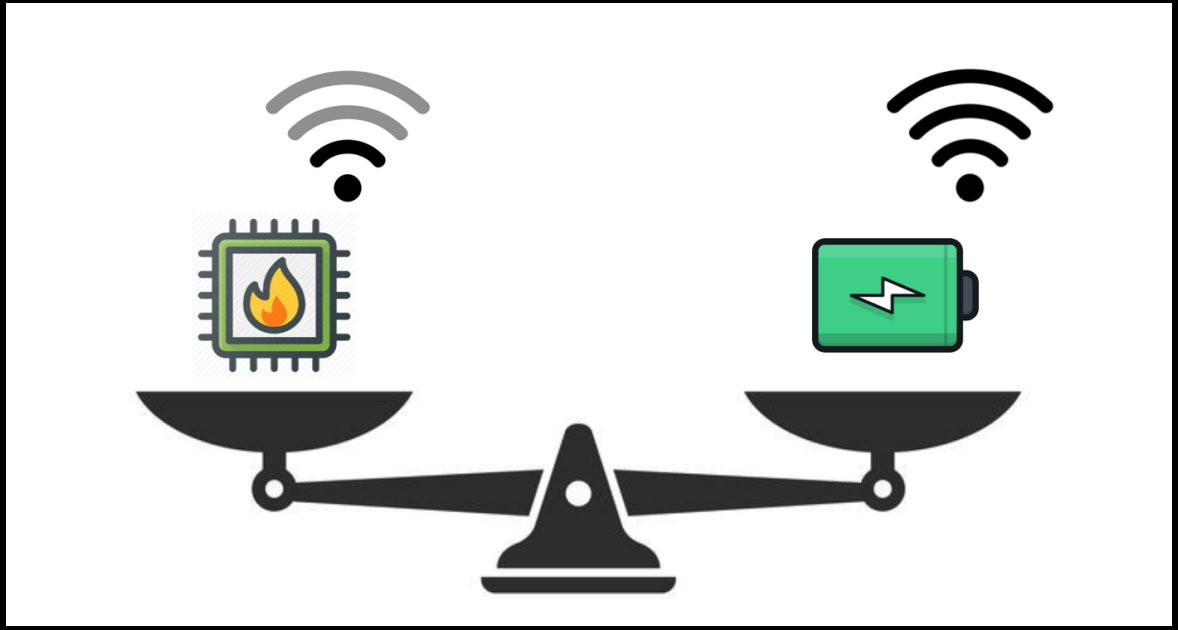
- Батарейка
- Нагрузка сети
- Особенности скриншаринга

# Видеокодек

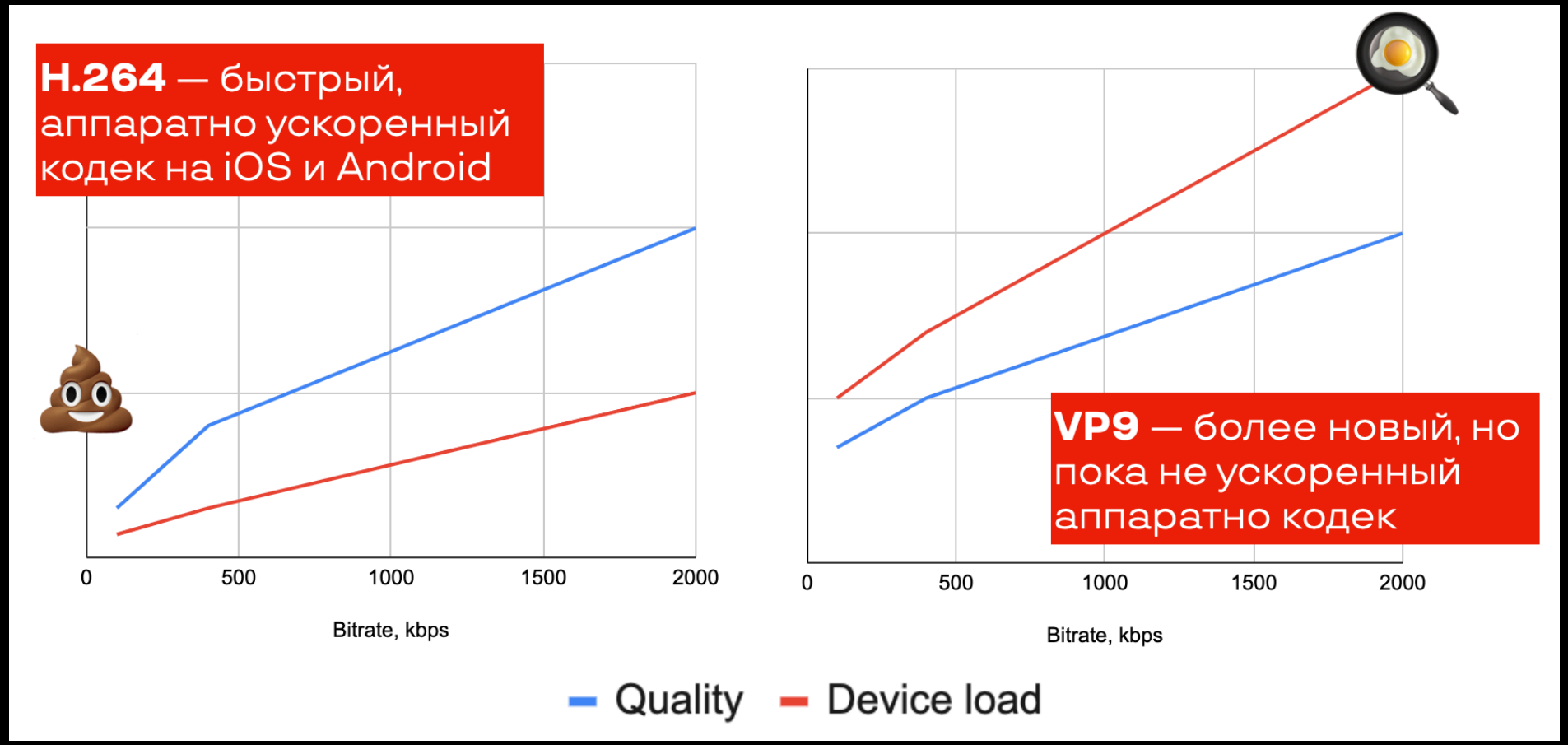


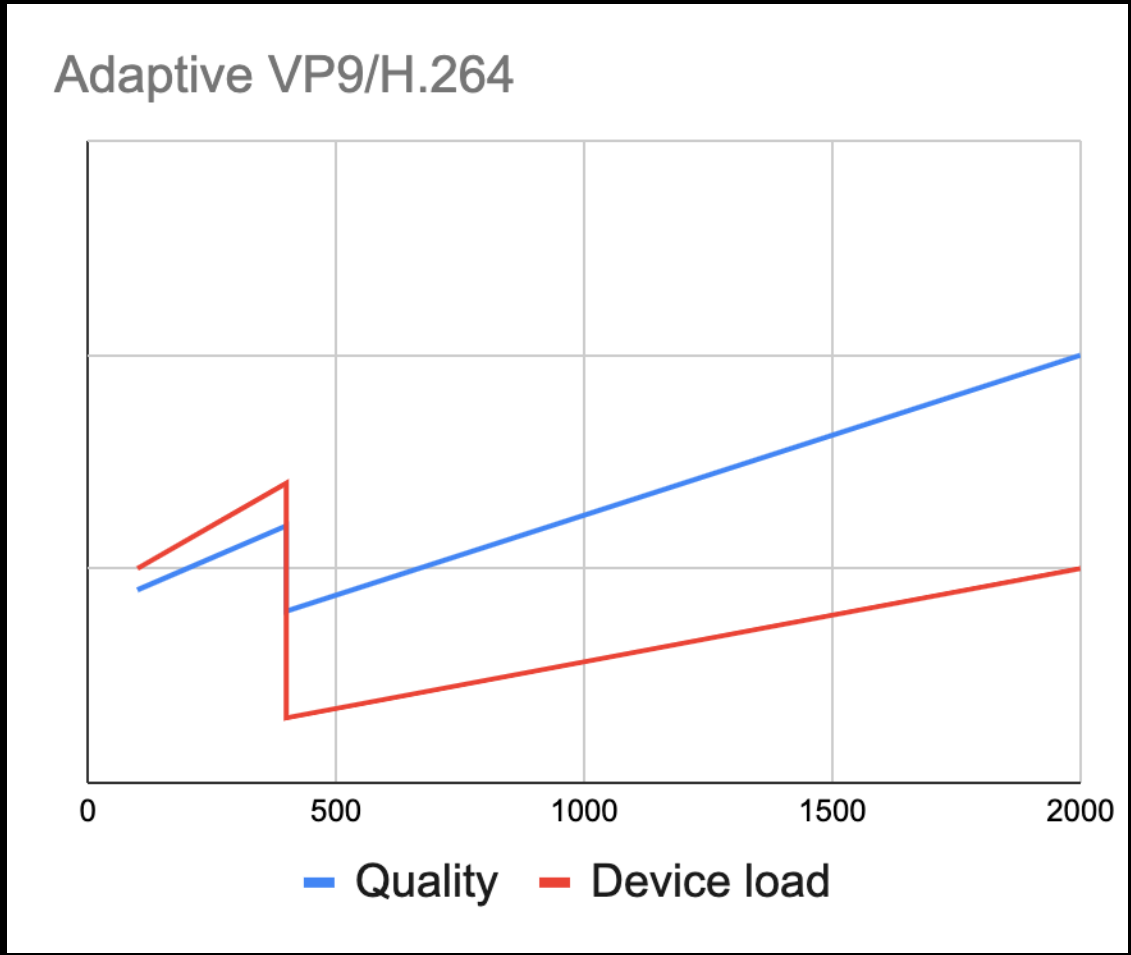
# Видеокодек



# Видеокодек


**H.264** — быстрый, аппаратно ускоренный кодек на iOS и Android
0
500
1000
1500
2000
Bitrate, kbps
**VP9** — более новый, но пока не ускоренный аппаратно кодек
0
500
1000
1500
2000
Bitrate, kbps
Quality
Device load

# Видеокодек



# Демонстрация экрана

- Чем отличается от видео с камеры?

# Демонстрация экрана

- Чем отличается от видео с камеры?
- Акцент на читаемости текста

# Демонстрация экрана

```
typedef NS_ENUM(NSInteger, RTCDegradationPreference) {
  RTCDegradationPreferenceDisabled,
  RTCDegradationPreferenceMaintainFramerate,
  RTCDegradationPreferenceMaintainResolution,
  RTCDegradationPreferenceBalanced
};
```

# Демонстрация экрана

```
typedef NS_ENUM(NSInteger, RTCDegradationPreference) {
  RTCDegradationPreferenceDisabled,
  RTCDegradationPreferenceMaintainFramerate,
  RTCDegradationPreferenceMaintainResolution,
  RTCDegradationPreferenceBalanced
};
```

```
typedef NS_ENUM(NSInteger, RTCVideoTrackContentHint) {
    RTCVideoTrackContentHintNone,
    RTCVideoTrackContentHintFluid,
    RTCVideoTrackContentHintDetailed,
    RTCVideoTrackContentHintText
};
```

# Видео

- Адаптация кодека под условия сети
- Отдельная конфигурация треков под демонстрацию экрана

# AR-эффекты

# AR-эффекты

- Маски

# AR-эффекты

- Маски
- Виртуальные фоны

# AR-эффекты

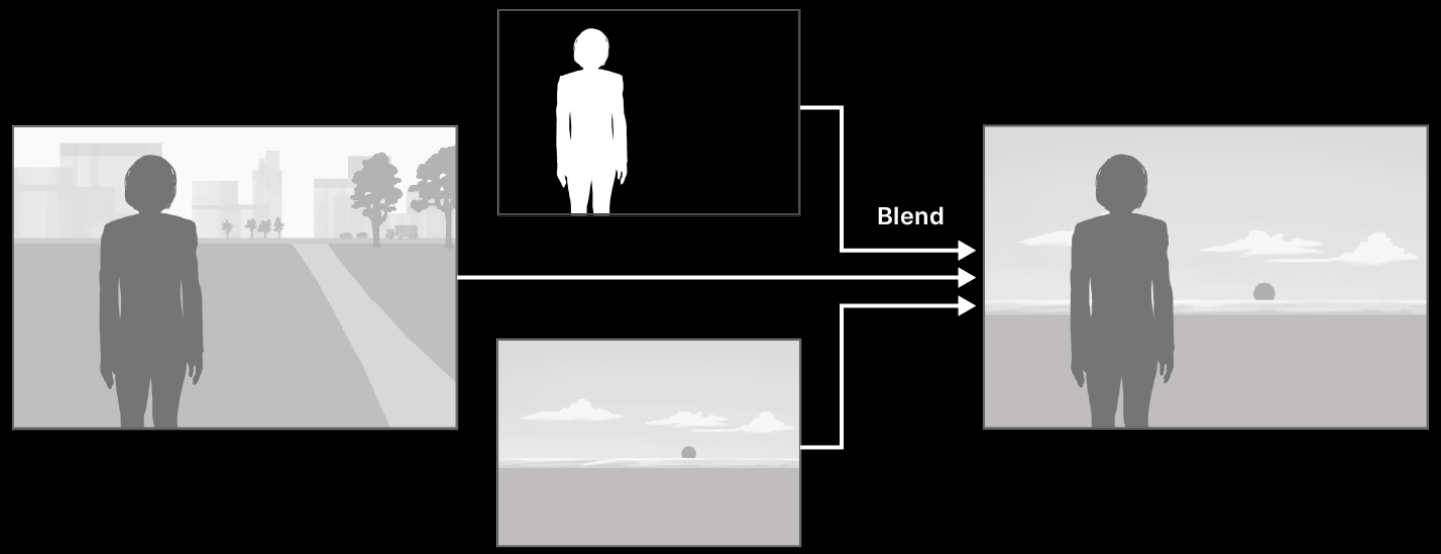
- Маски
- Виртуальные фоны
- Бьюти-фильтр

# AR-эффекты

- Маски
- Виртуальные фоны
- Бьюти-фильтр
- Сезонные активности

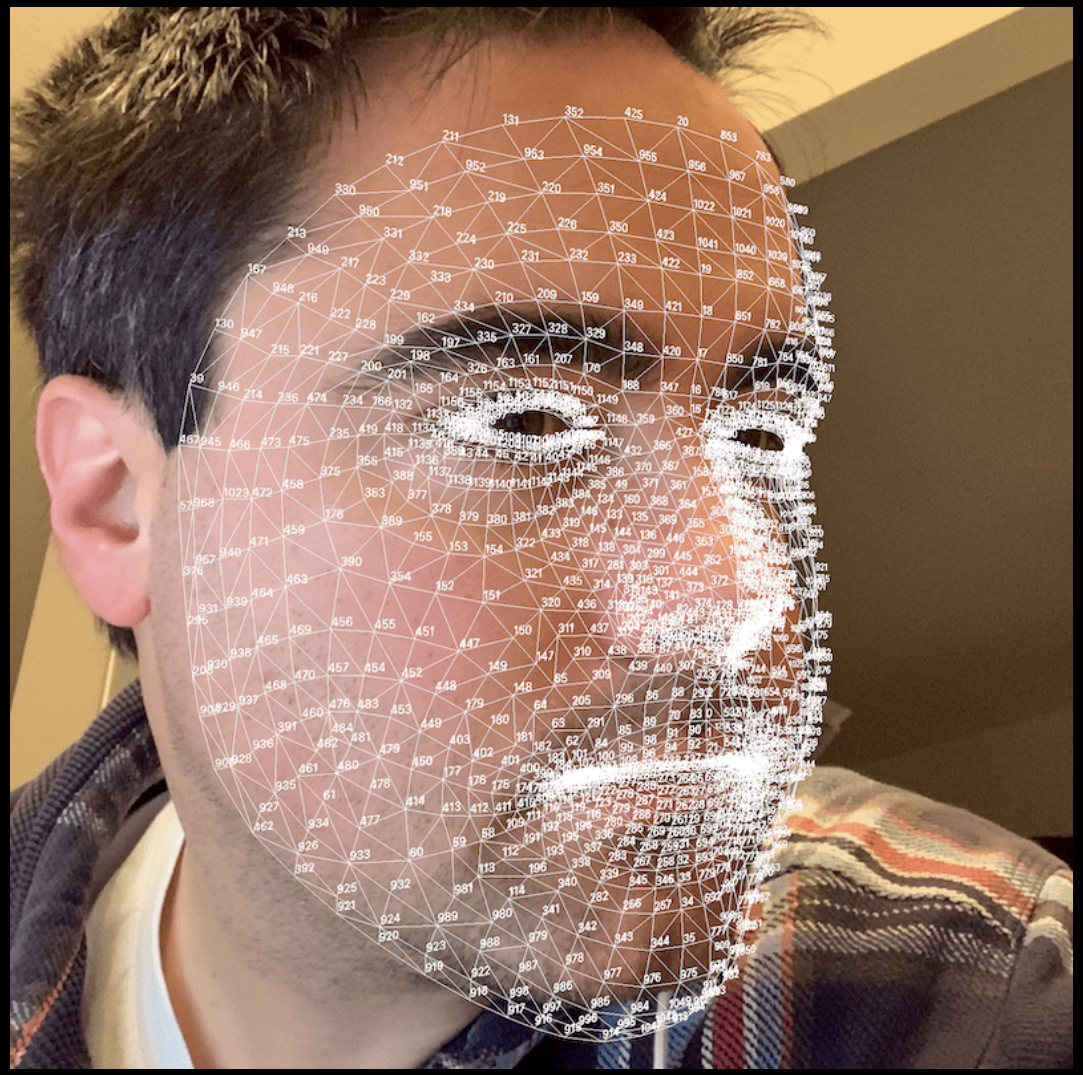
# AR-эффекты: iOS

- Vision



# AR-эффекты: iOS

- Vision
- ARKit



# AR-эффекты: iOS

- Vision
- ARKit
- Metal

# AR-эффекты: iOS

- https://developer.apple.com/documentation/arkit/content_anchors/tracking_and_visualizing_faces
- https://developer.apple.com/documentation/vision/applying_matte_effects_to_people_in_images_and_video

# AR-эффекты: iOS

- CVPixelBufferPool

# AR-эффекты: iOS

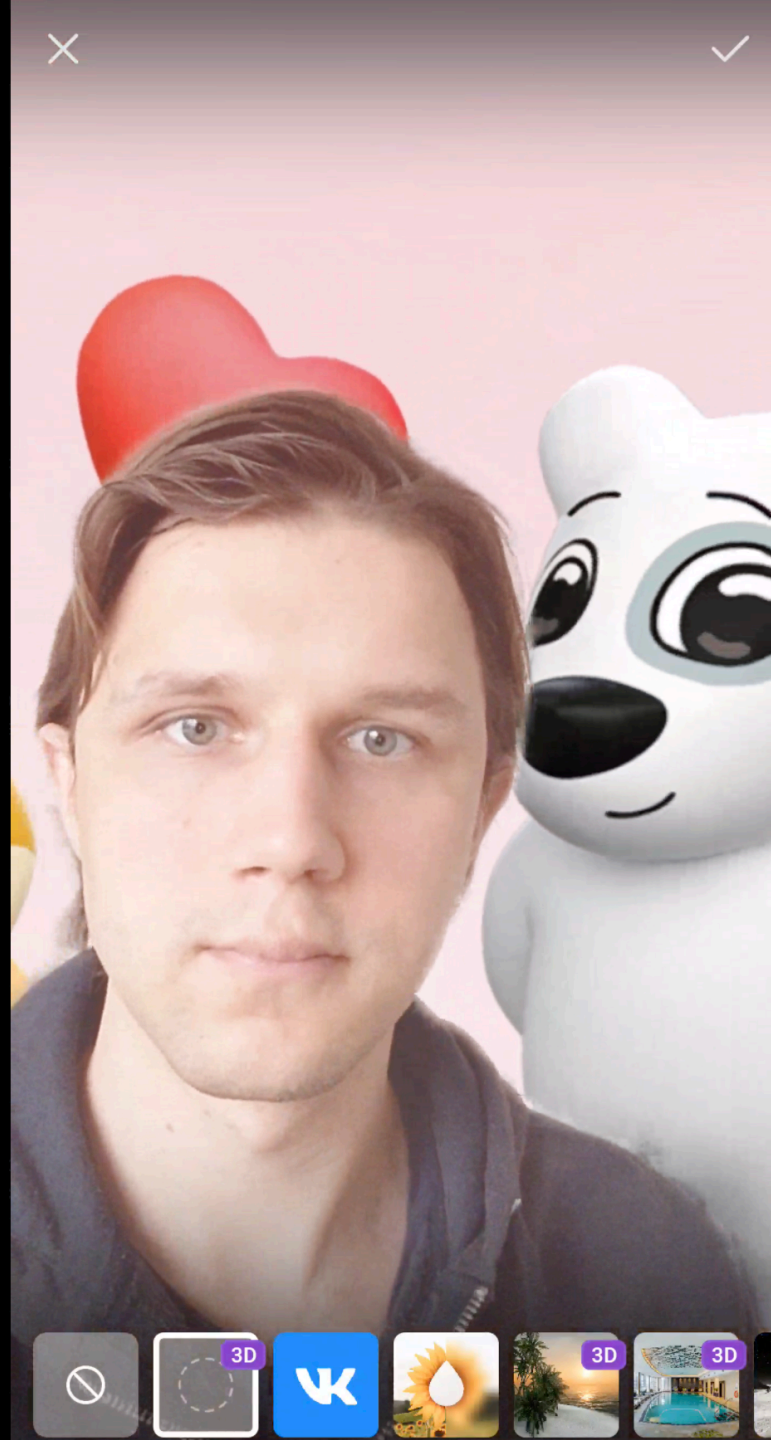
- CVPixelBufferPool
- Async Pipeline

# AR-эффекты: iOS

- CVPixelBufferPool
- Async Pipeline
- yuv

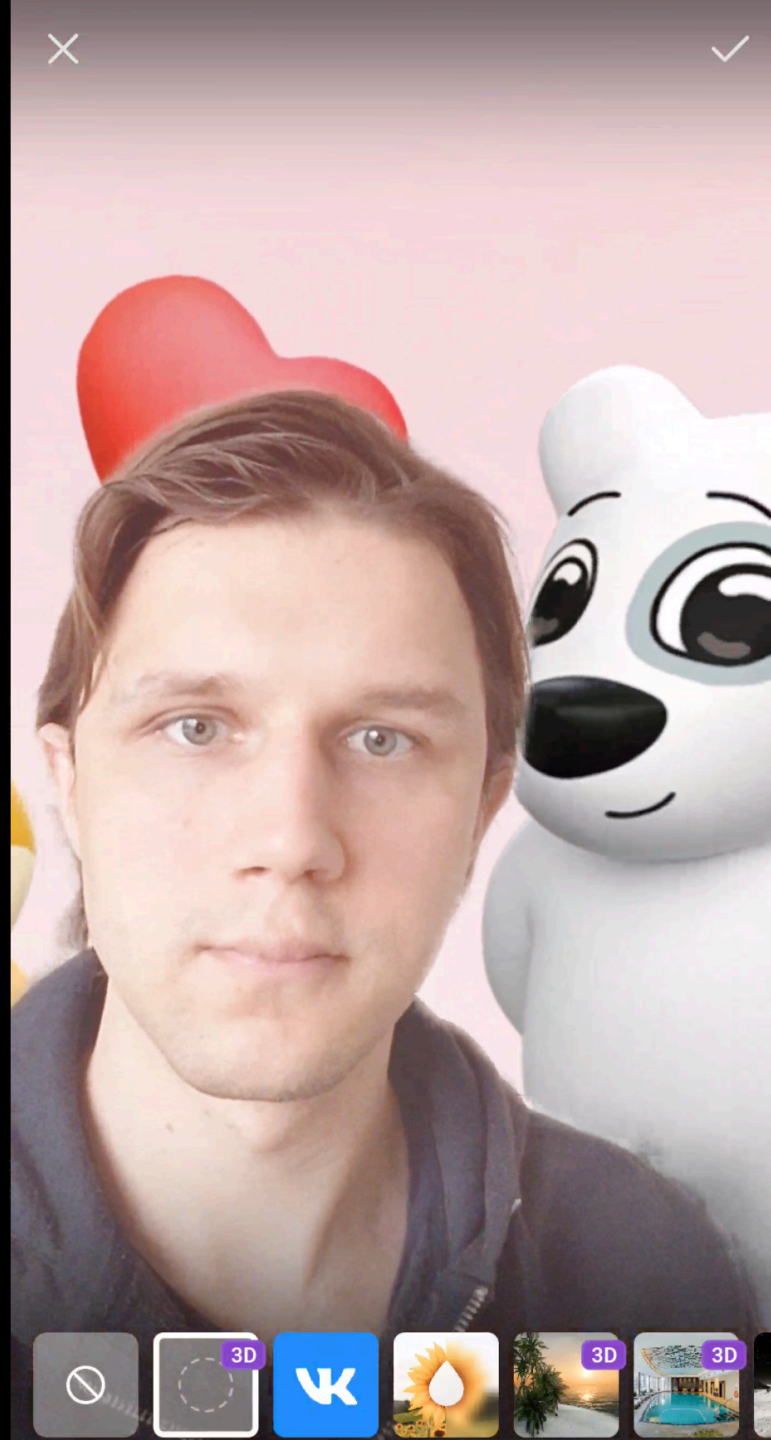
# Перехватываем кадры в Android

1. Переопределяем org.webrtc.VideoCapturer



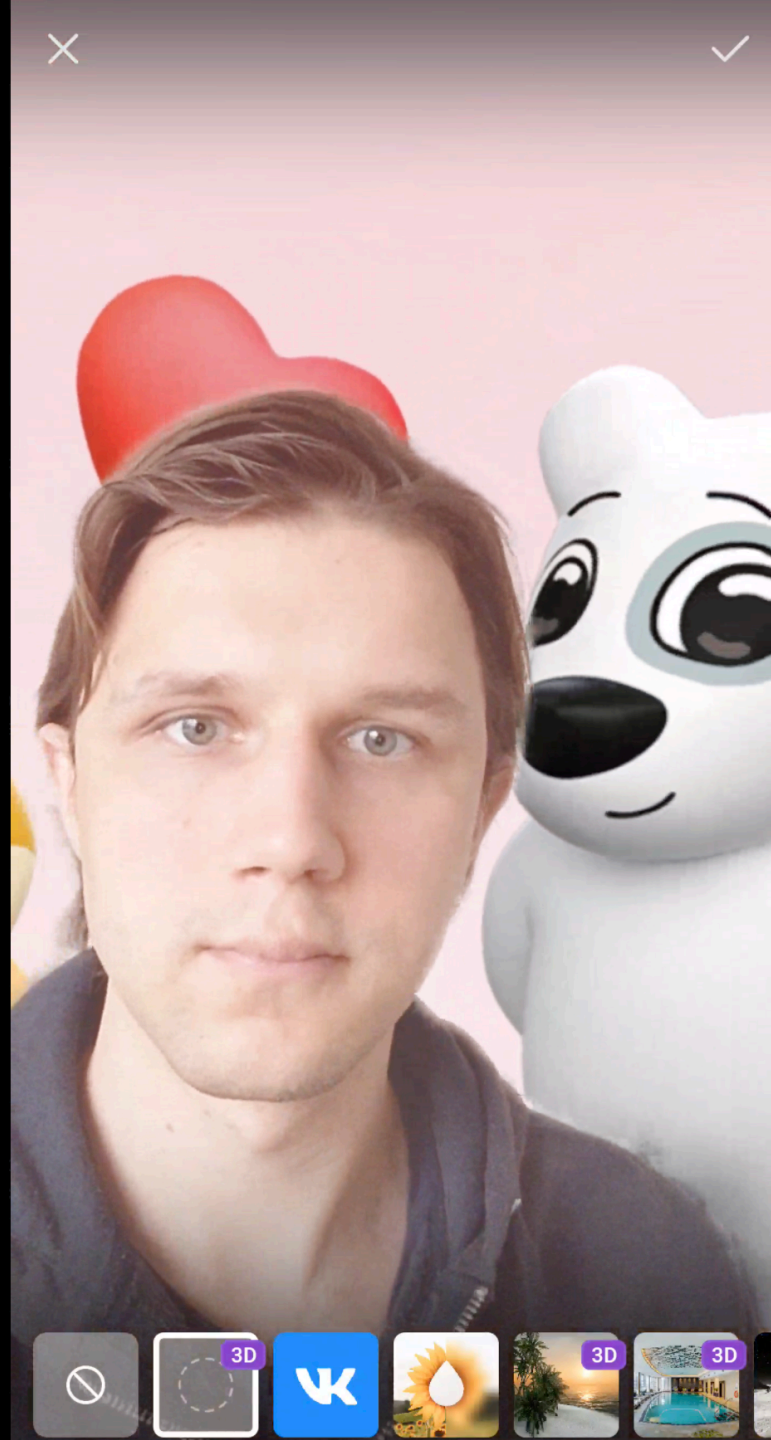
# Перехватываем кадры в Android

1. Переопределяем org.webrtc.VideoCapturer
2. В него передаём org.webrtc.CapturerObserver, где слушаем start/stop/onFrame



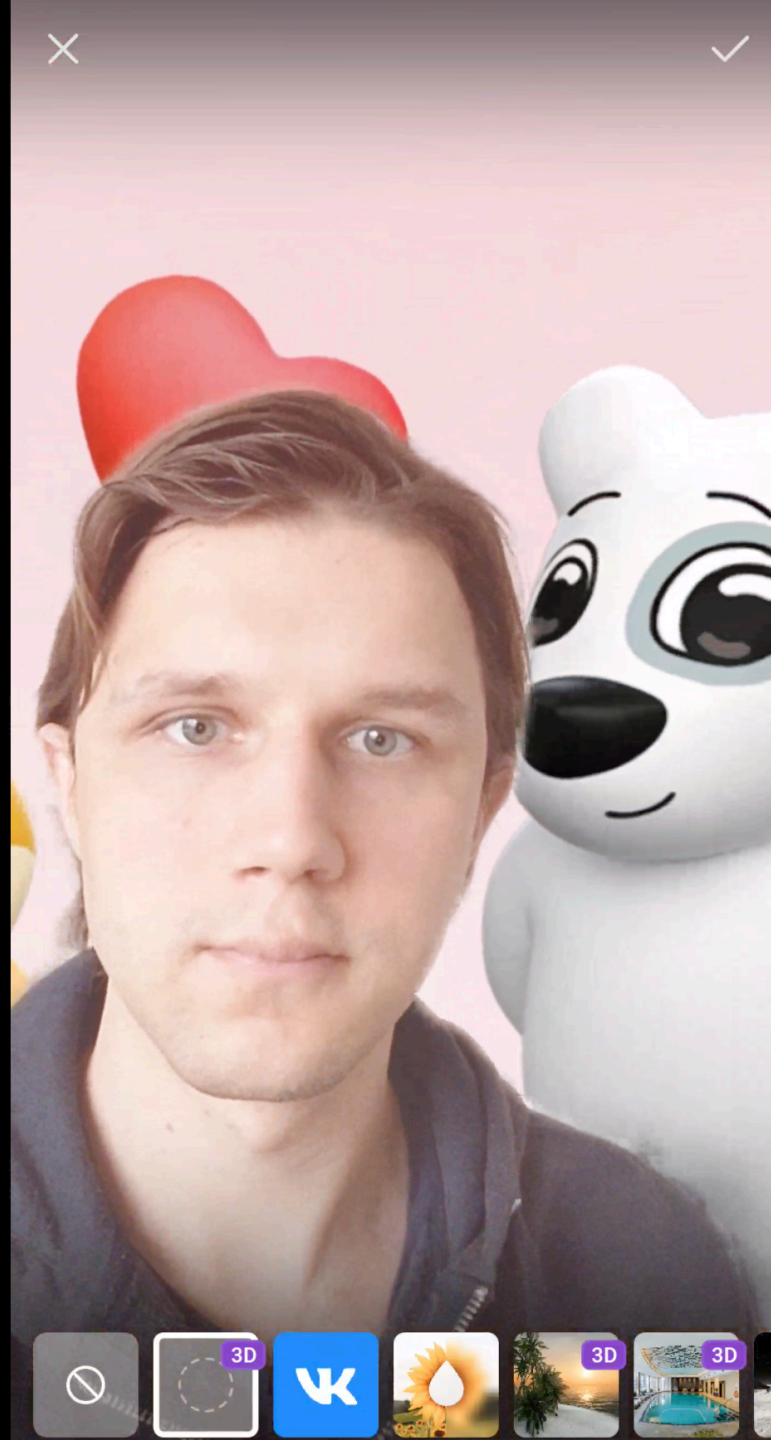
# Перехватываем кадры в Android

1. Переопределяем org.webrtc.VideoCapturer
2. В него передаём org.webrtc.CapturerObserver, где слушаем start/stop/onFrame
3. В onFrame перехватываем кадр, изменяем, возвращаем новый



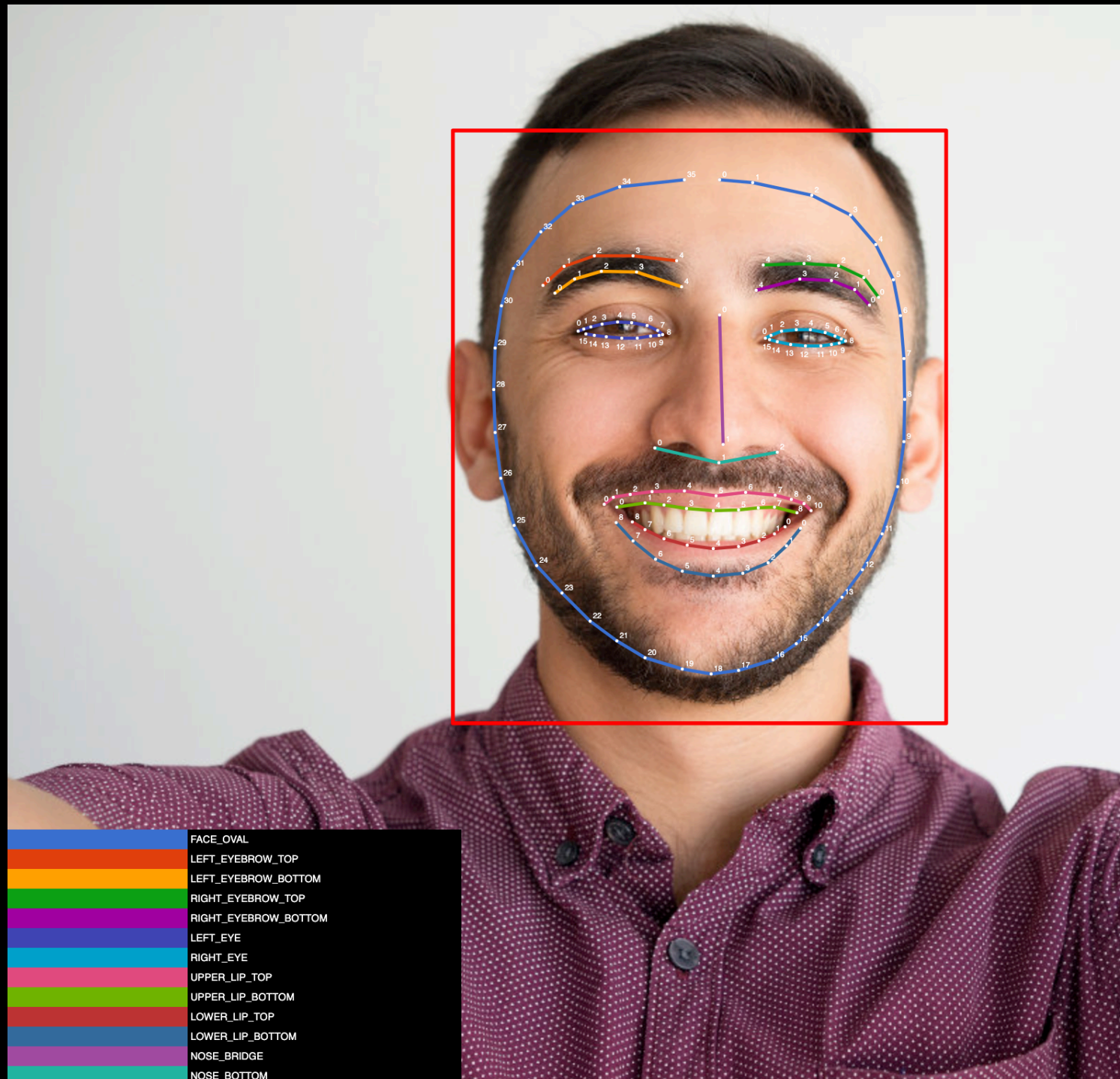
# Перехватываем кадры в Android

1. Переопределяем org.webrtc.VideoCapturer
2. В него передаём org.webrtc.CapturerObserver, где слушаем start/stop/onFrame
3. В onFrame перехватываем кадр, изменяем, возвращаем новый
4. На Android по умолчанию все VideoFrame.buffer являются наследниками TextureBuffer



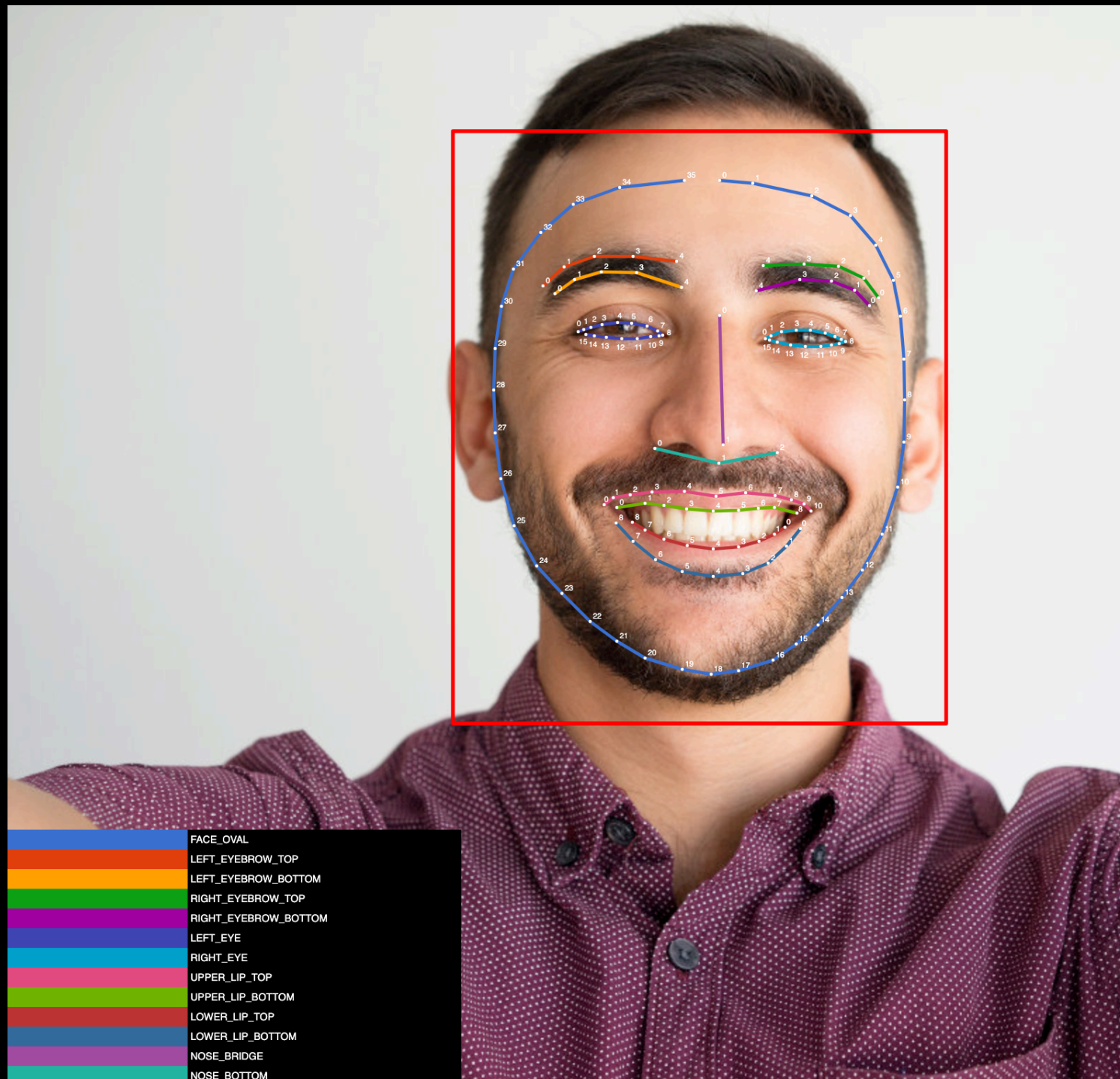
# ML Kit

- Бесплатная библиотека от Google



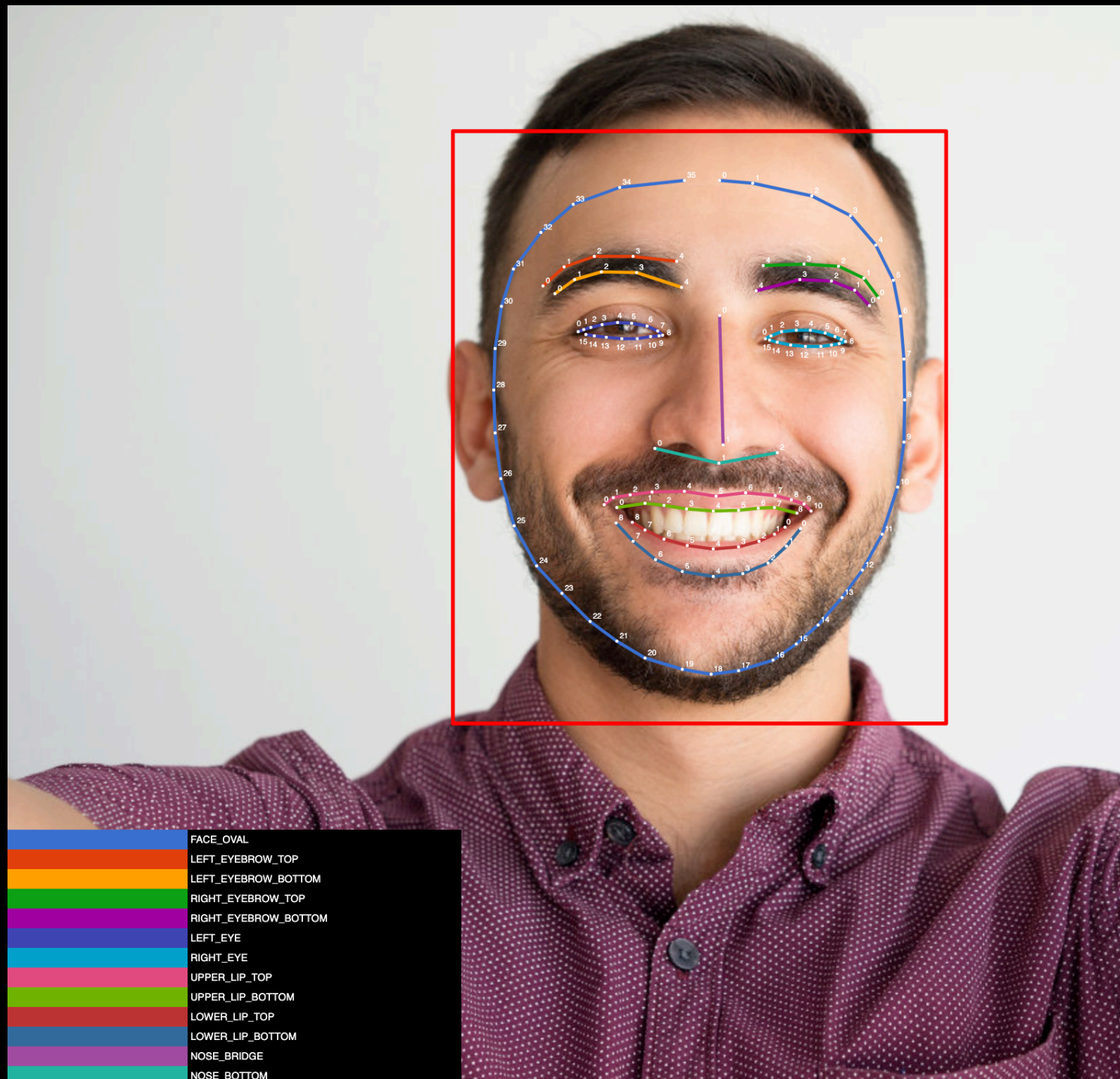
# ML Kit

- Бесплатная библиотека от Google
- Android и iOS



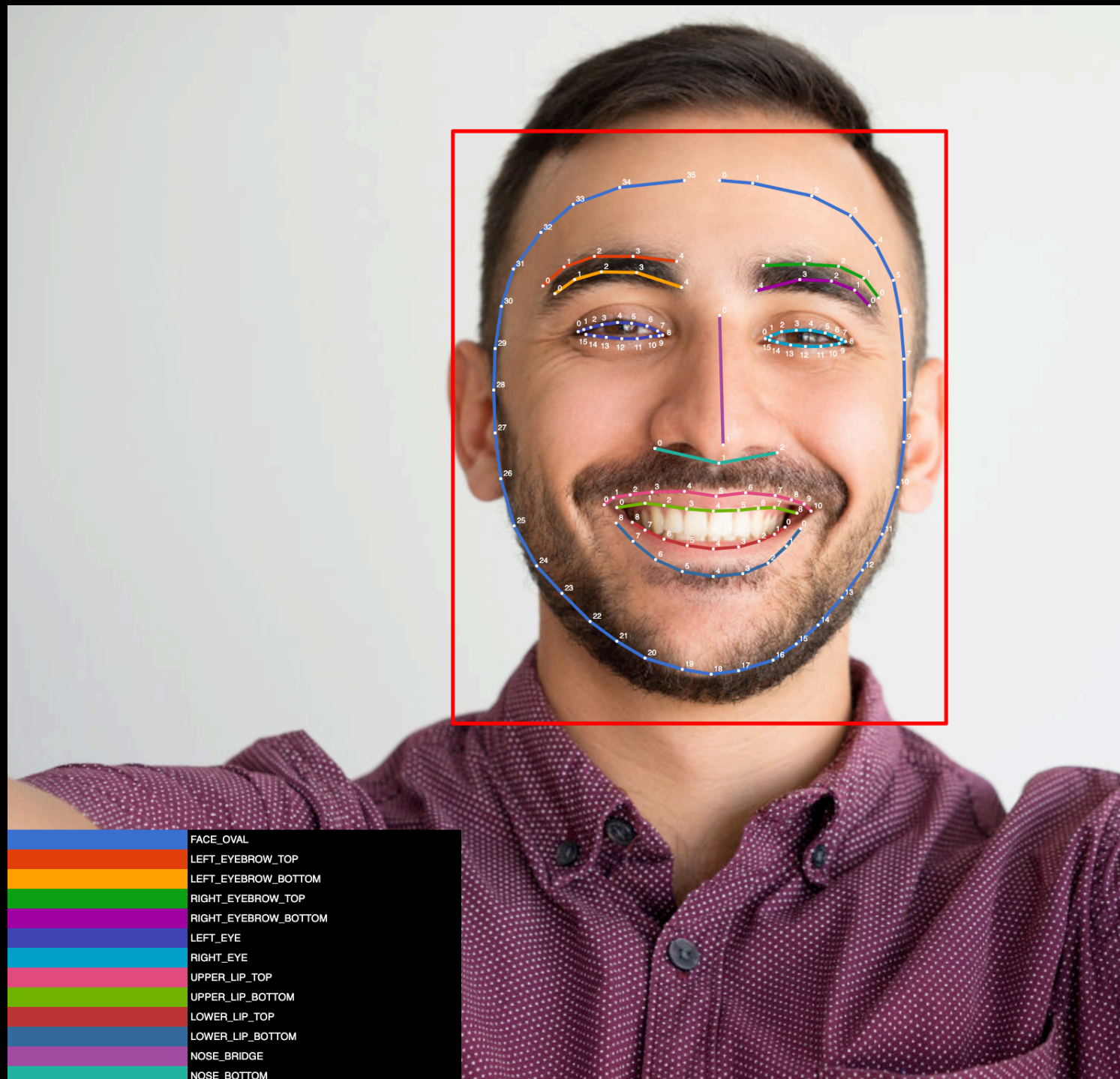
# ML Kit

- Бесплатная библиотека от Google
- Android и iOS
- Оффлайн (на девайсе)



# ML Kit

- Бесплатная библиотека от Google
- Android и iOS
- Оффлайн (на девайсе)
- Для масок используем — face detection



# ML Kit

- Бесплатная библиотека от Google
- Android и iOS
- Оффлайн (на девайсе)
- Для масок используем — face detection
- Для виртуального фона — selfie segmentation

# AR-эффекты — это не сложно

- Перехватить кадры в WebRTC легко

# AR-эффекты — это не сложно

- Перехватить кадры в WebRTC легко
- Избегаем копирования данных для оптимальной работы масок

# AR-эффекты — это не сложно

- Перехватить кадры в WebRTC легко
- Избегаем копирования данных для оптимальной работы масок
- Есть бесплатные API для магии

# Системные API для звонков

# Интегрируем звонки с операционной системой

ConnectionService на Android

CallKit на iOS

# Интегрируем звонки с операционной системой

ConnectionService на Android

CallKit на iOS

ОС остановит звонок из другого приложения при принятии вашего входящего

# Интегрируем звонки с операционной системой

ConnectionService на Android

ОС остановит звонок из другого приложения при принятии вашего входящего

CallKit на iOS

Интеграция в системное приложение звонков

# Интегрируем звонки с операционной системой

ConnectionService на Android

CallKit на iOS

ОС остановит звонок из другого приложения при принятии вашего входящего

Интеграция в системное приложение звонков

На Android наблюдали баги и разное поведение у разных вендоров. Встраивайте с осторожностью

# Управляем аудио выходом на Android

Начало звонка

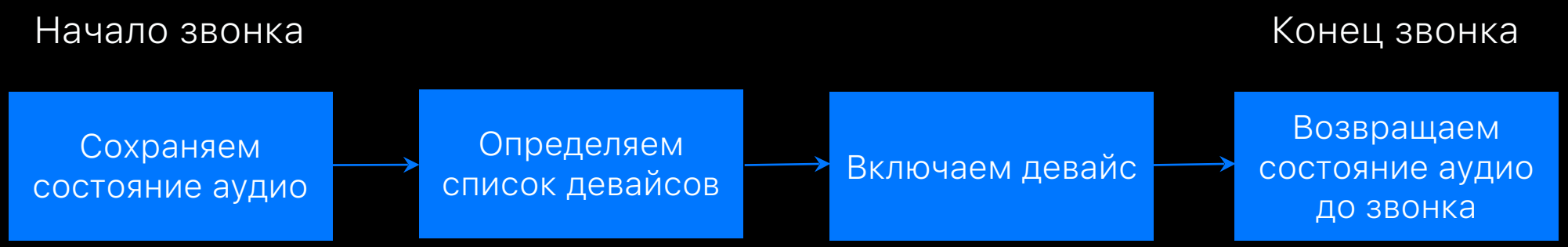
Сохраняем состояние аудио

...

Конец звонка

Возвращаем состояние аудио до звонка

# Управляем аудио выходом на Android



# Определяем список устройств

Динамик

Наушники
(проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Динамик и громкоговоритель есть всегда

Динамик

Наушники
(проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Проводные наушники запрашиваем через AudioManager

```
fun hasWiredHeadset(): Boolean {
  return if (Build.VERSION.SDK_INT < Build.VERSION_CODES.M) {
    audioManager.isWiredHeadsetOn
  } else {
    val types = listOf(
      AudioDeviceInfo.TYPE_WIRED_HEADPHONES,
      AudioDeviceInfo.TYPE_WIRED_HEADSET,
      AudioDeviceInfo.TYPE_USB_DEVICE
    )
    audioManager
        .getDevices(AudioManager.GET_DEVICES_ALL)
        .any { it.type in types }

    }
  }
}
```

Динамик

Наушники (проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Для Bluetooth нужно несколько шагов

1. android.permission.BLUETOOTH

Динамик

Наушники (проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Для Bluetooth нужно несколько шагов

1. android.permission.BLUETOOTH
2. Слушаем наличие девайса через BluetoothAdapter + BluetoothProfile

Динамик

Наушники (проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Для Bluetooth нужно несколько шагов

1. android.permission.BLUETOOTH
2. Слушаем наличие девайса через BluetoothAdapter + BluetoothProfile
3. Дополнительно обновляем девайс по broadcast-у BluetoothHeadset: ACTION_CONNECTION_STATE_CH ANGED и ACTION_AUDIO_STATE_CHANGED

Динамик

Наушники (проводные)

Громкоговоритель

Bluetooth

# Для Bluetooth нужно несколько шагов

1. android.permission.BLUETOOTH
2. Слушаем наличие девайса через BluetoothAdapter + BluetoothProfile
3. Дополнительно обновляем девайс по broadcast-у BluetoothHeadset: ACTION_CONNECTION_STATE_CH ANGED и ACTION_AUDIO_STATE_CHANGED
4. val hasBluetoothHeadset = adapter.getProfileConnectionState(HEADSET) == BluetoothProfile.*STATE_CONNECTED*

Динамик

Наушники (проводные)

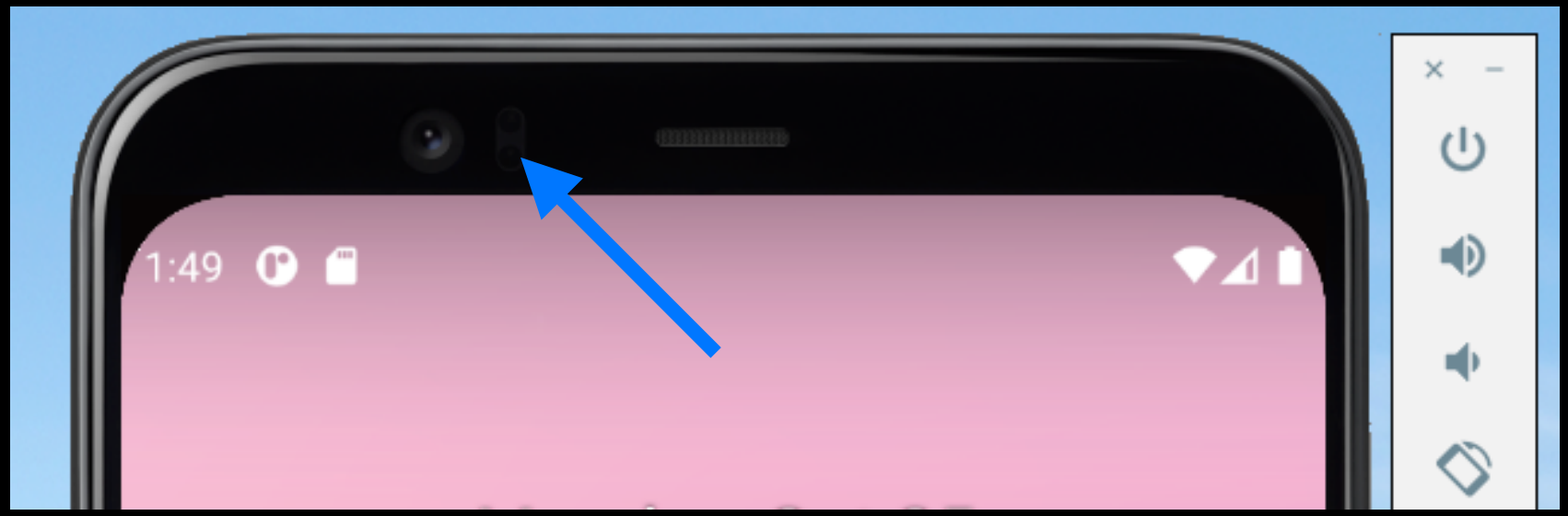
Громкоговоритель

Bluetooth

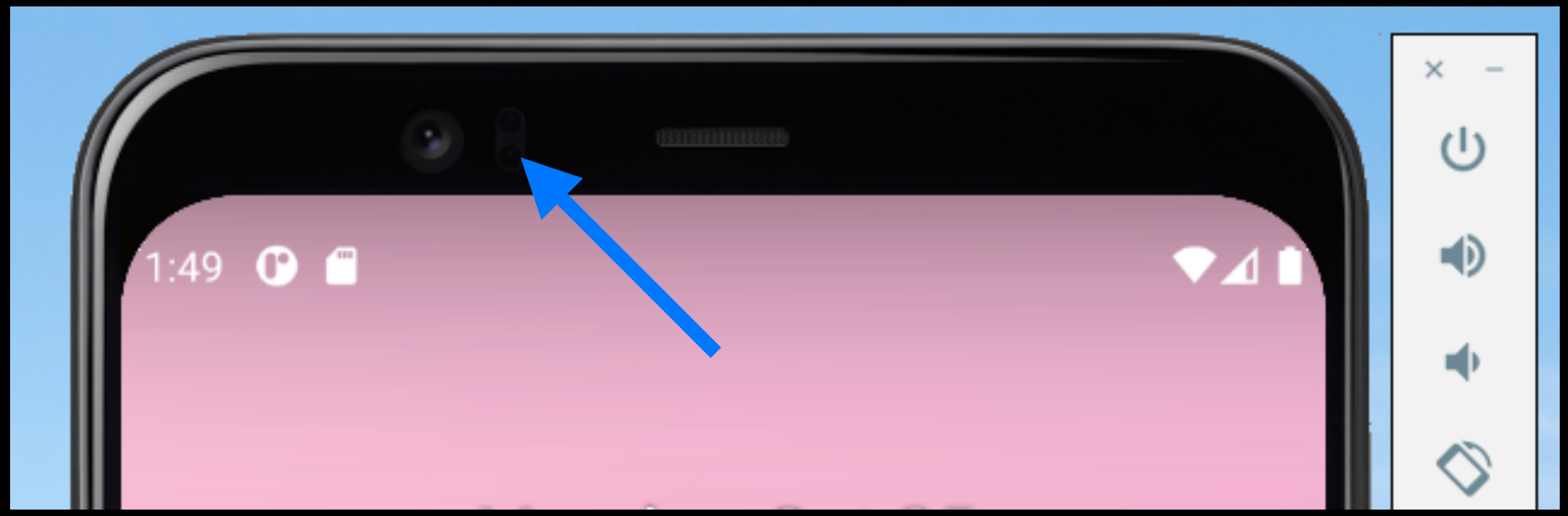
Icons from www.flaticon.com

# При касании экрана ухом можно случайно нажать кнопку

# Специальный датчик оценивает расстояние



# Специальный датчик оценивает расстояние




```
powerManager.newWakeLock(PowerManager.PROXIMITY_SCREEN_OFF_WAKE_LOCK, WAKE_LOCK_TAG)
```

# Делаем как в sample

https://chromium.googlesource.com/external/webrtc/+/3c1e558449309be965815e1bf/webrtc/examples/androidapp/src/org/appspot/apprtc/

# Делаем как в sample. Но переводим код на background thread

https://chromium.googlesource.com/external/webrtc/+/3c1e558449309be965815e1bf/webrtc/examples/androidapp/src/org/appspot/apprtc/

Применение выбранного девайса может занимать секунду и более!

# На iOS

- На iOS все хорошо

# На iOS

- На iOS все хорошо
- Не стоит забывать про sample rate

# На iOS

- На iOS все хорошо
- Не стоит забывать про sample rate
- prefferedSampleRate не панацея

# ОС друг и враг наш

- На iOS CallKit обязателен, но зато делает всё за нас

# ОС друг и враг наш

- На iOS CallKit обязателен, но зато делает всё за нас
- На Android всё опционально, но много подводных камней

# ОС друг и враг наш

- На iOS CallKit обязателен, но зато делает всё за нас
- На Android всё опционально, но много подводных камней
- Код из семплов не всегда идеален :)

# Групповые звонки

# Групповые звонки на WebRTC из коробки не заработают

- Оптимизируем аудио

# Групповые звонки на WebRTC из коробки не заработают

- Оптимизируем аудио
- Оптимизируем видео

# Групповые звонки на WebRTC из коробки не заработают

- Оптимизируем аудио
- Оптимизируем видео
- Оптимизируем сеть

# Аудио

# Групповое аудио

- Для каждого пользователя есть аудиотрек

# Групповое аудио

- Для каждого пользователя есть аудиотрек
- По треку определяем voice activity

# Групповое аудио

- Для каждого пользователя есть аудиотрек
- По треку определяем voice activity
- По треку определяем качество сети

# Что если все начнут одновременно говорить?

- много суммарного входящего трафика — порядка 1 Мбит/с для десяти участников и кодирования аудио в высоком качестве

# Что если все начнут одновременно говорить?

- много суммарного входящего трафика — порядка 1 Мбит/с для десяти участников и кодирования аудио в высоком качестве
- N-1 декодеров на клиенте

# Что если все начнут одновременно говорить?

- много суммарного входящего трафика — порядка 1 Мбит/с для десяти участников и кодирования аудио в высоком качестве
- N-1 декодеров на клиенте
- WebRTC начинает умирать на большом количестве аудио стримов

# Audio Mix

- Один трек на всех участников

# Audio Mix

- Один трек на всех участников
- Просим сервер присылать нотификации об активности конкретных участников

# Audio Mix

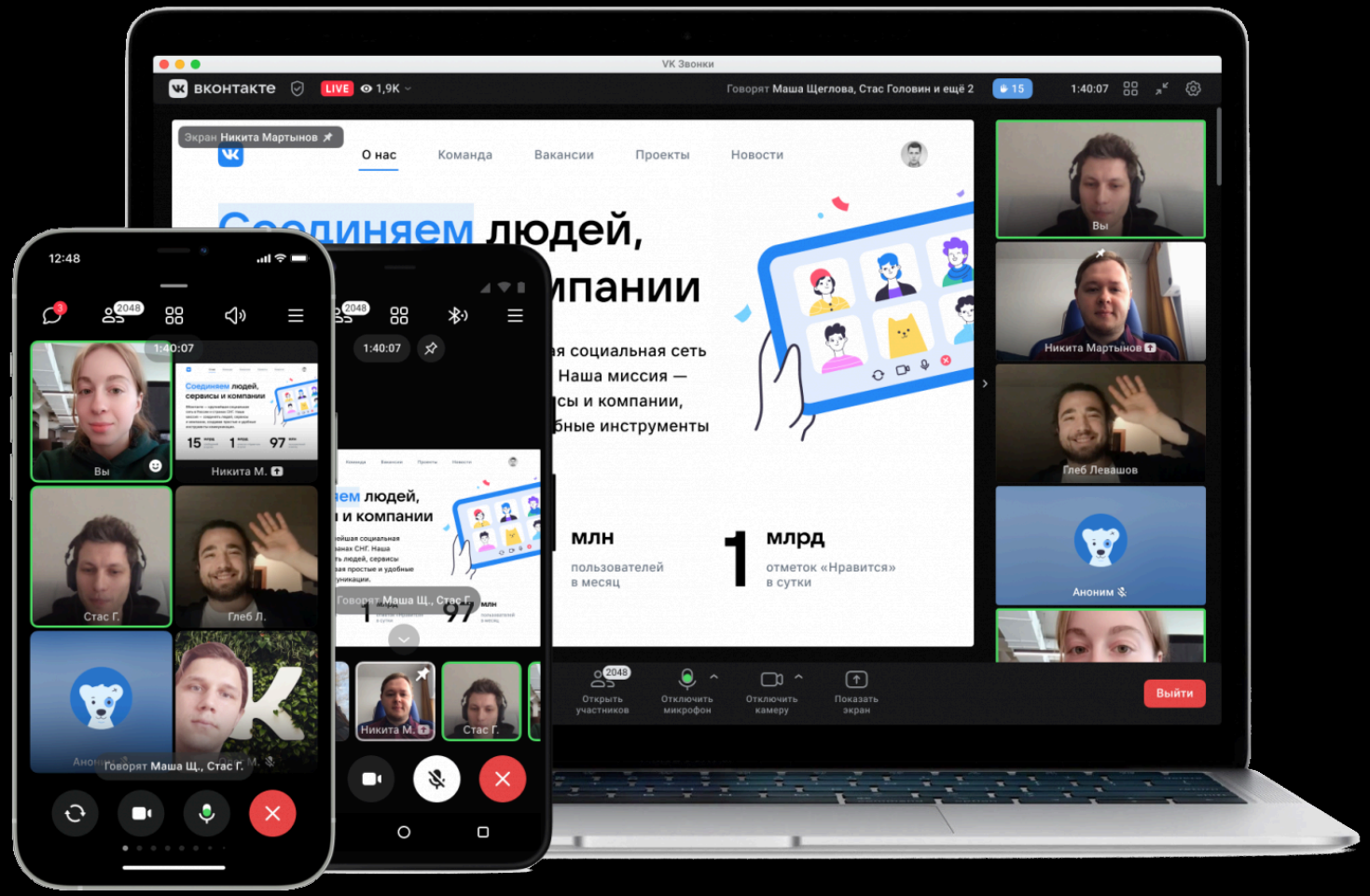
- Один трек на всех участников
- Просим сервер присылать нотификации об активности конкретных участников
- Для оптимизации задержек переносим нотификации на DataChannel

# Групповое аудио: итоги

- 1 декодер на любое количество говорящих
- Нотификации о “говорении” с низкими задержками
- Прогнозируемая нагрузка на сеть

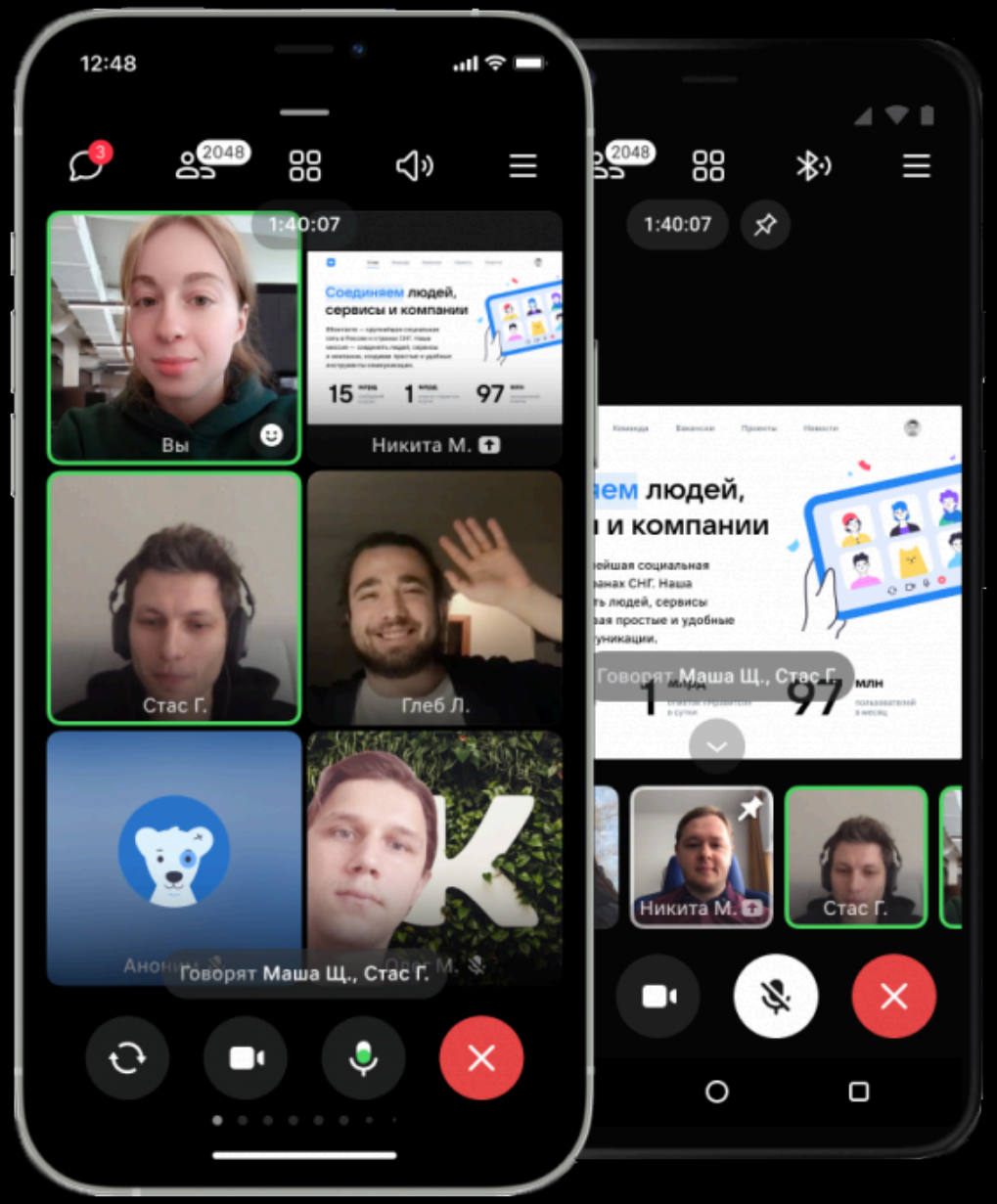
# Видео

# Много видео долго декодировать



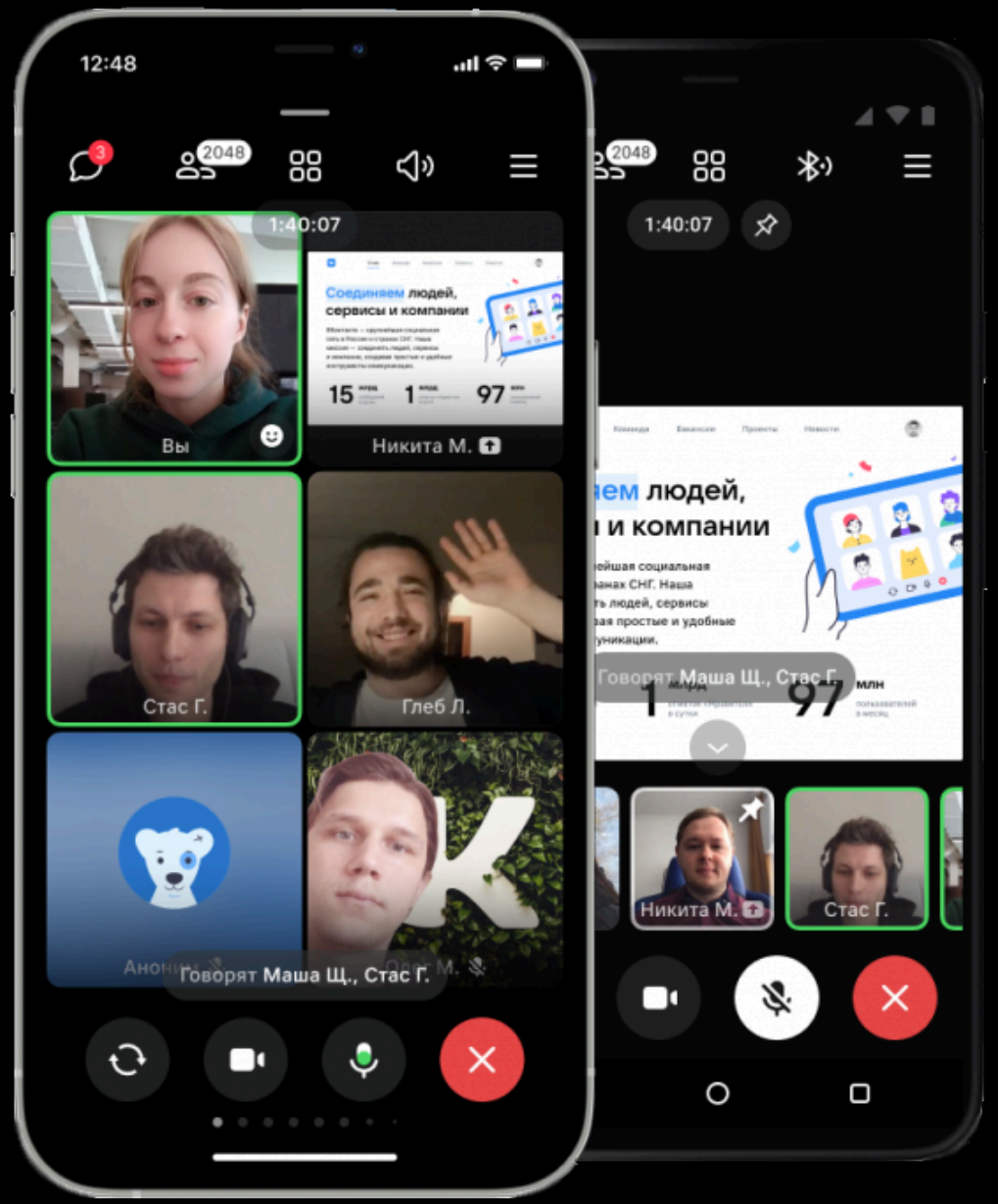
# Клиенту все видео не нужны

- Рисовать людей за экраном не надо



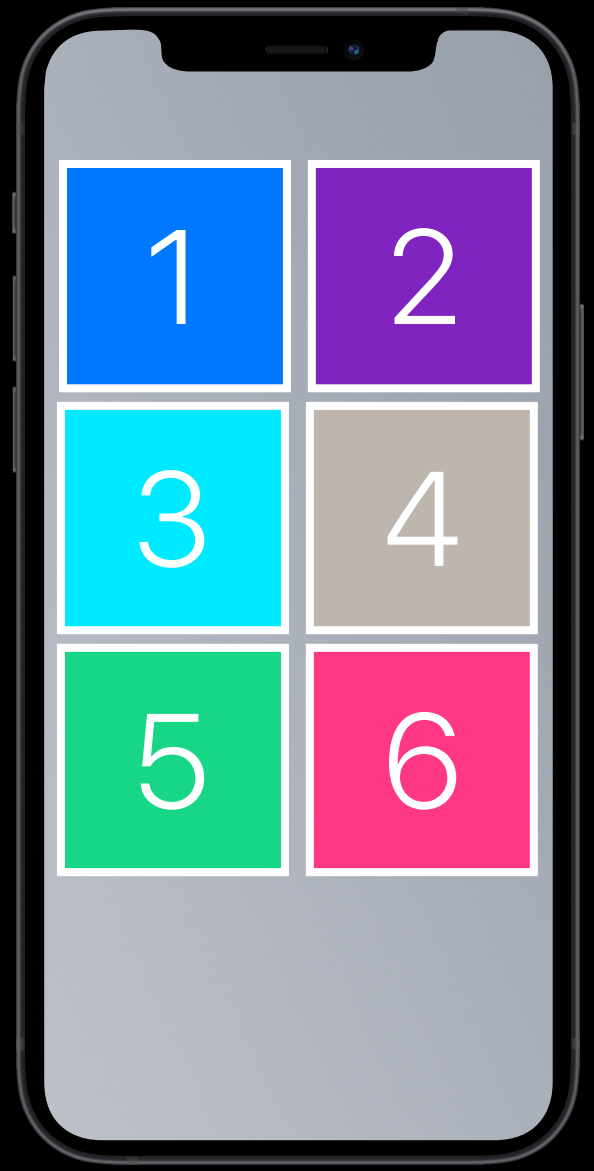
# Клиенту все видео не нужны

- Рисовать людей за экраном не надо
- Получать 4K качество для маленького превью не надо



Просим сервер присылать только видимых участников в нужном разрешении

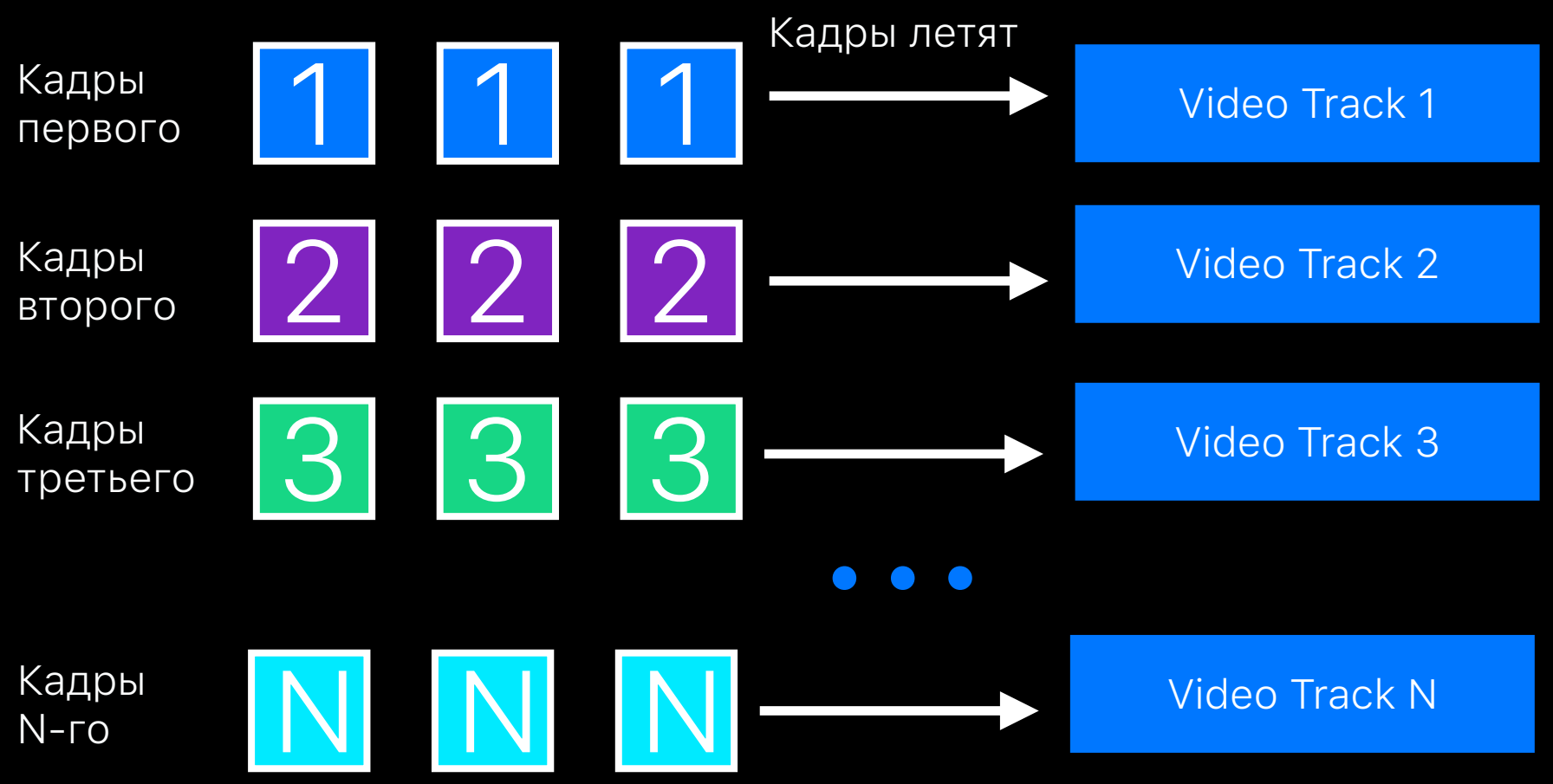
```
[
  {"id": "1", "size":"100x100"},
  {"id": "2", "size":"100x100"},
  {"id": "3", "size":"100x100"},
  {"id": "4", "size":"100x100"},
  {"id": "5", "size":"100x100"},
  {"id": "6", "size":"100x100"}
]
```



Просим сервер присылать только видимых участников в нужном разрешении

```
[
  {"id": "1", "size":"200x400"},
  {"id": "2", "size":"50x50"},
  {"id": "3", "size":"50x50"},
  {"id": "4", "size":"50x50"},
  {"id": "5", "size":"50x50"}
]
```

# По умолчанию WebRTC создаёт видеотрек на каждого участника



# Проблемы видеотреков

- На каждого участника заводится отдельная сущность

# Проблемы видеотреков

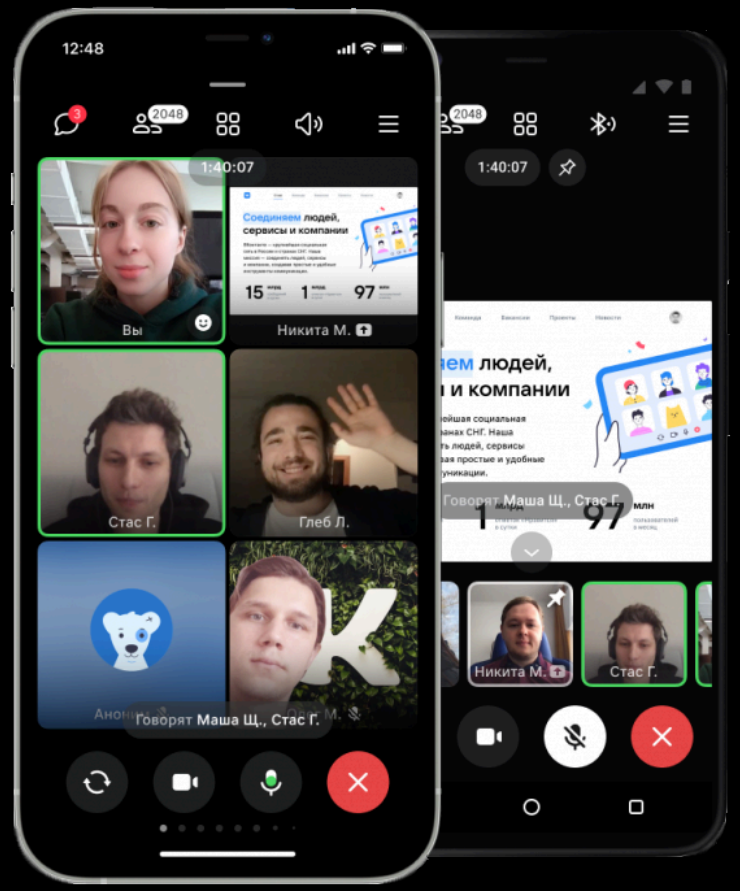
- На каждого участника заводится отдельная сущность
- Треки нужно поддерживать живыми

# Проблемы видеотреков

- На каждого участника заводится отдельная сущность
- Треки нужно поддерживать живыми
- Нужно переслать SDP всем при входе или выходе одного участника

```
v=0
o=jdoe 2890844526 2890842807 IN IP4 10.47.16.5
s=SDP Seminar
i=A Seminar on the session description protocol
u=http://www.example.com/seminars/sdp.pdf
e=j.doe@example.com (Jane Doe)
c=IN IP4 224.2.17.12/127
t=2873397496 2873404696
a=recvonly
m=audio 49170 RTP/AVP 0
m=video 51372 RTP/AVP 99
a=rtpmap:99 h263-1998/90000
```

# Фиксируем число видеотреков максимальным количеством видео на экране




Кадры летят

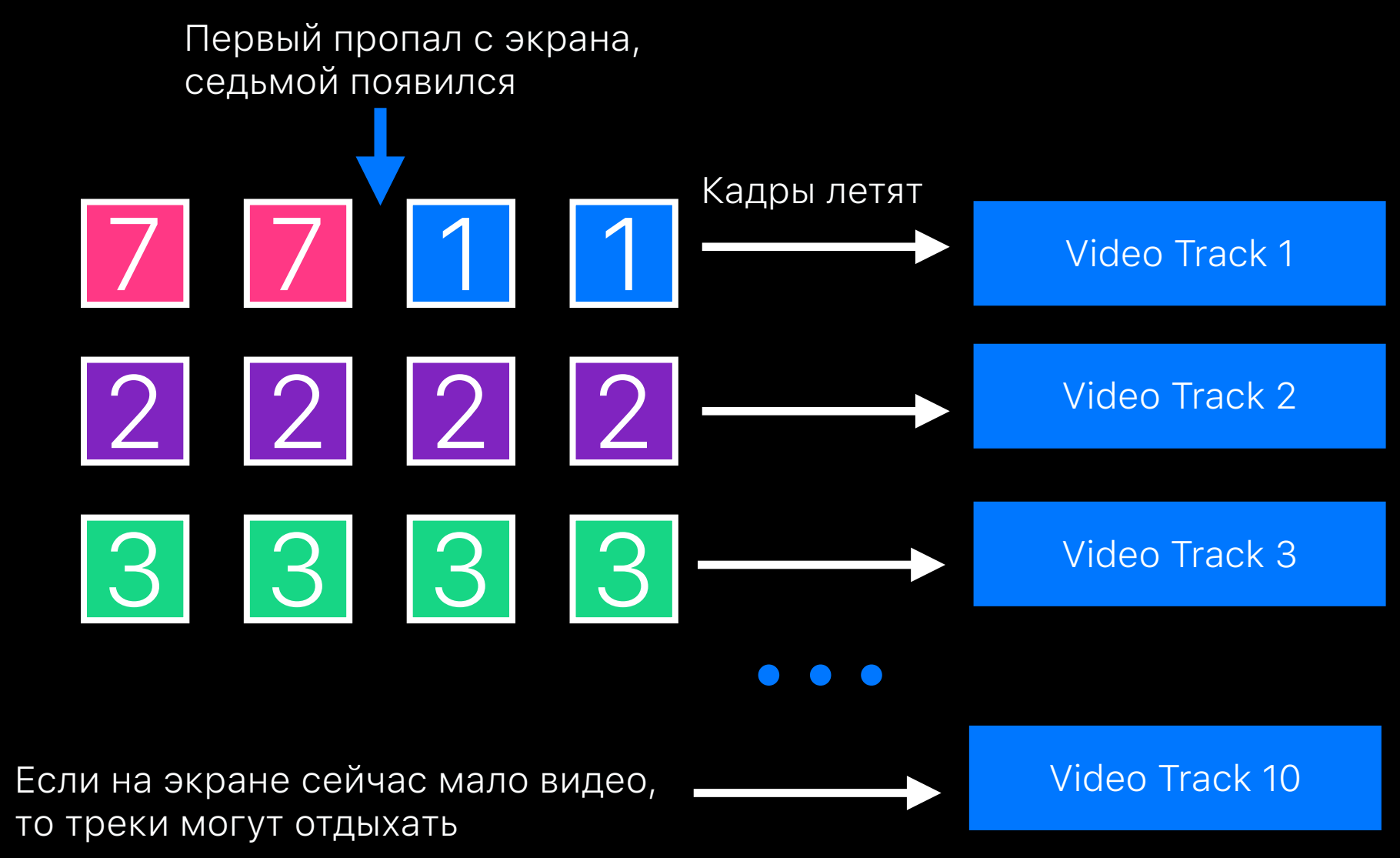
Video Track 1

Video Track 2

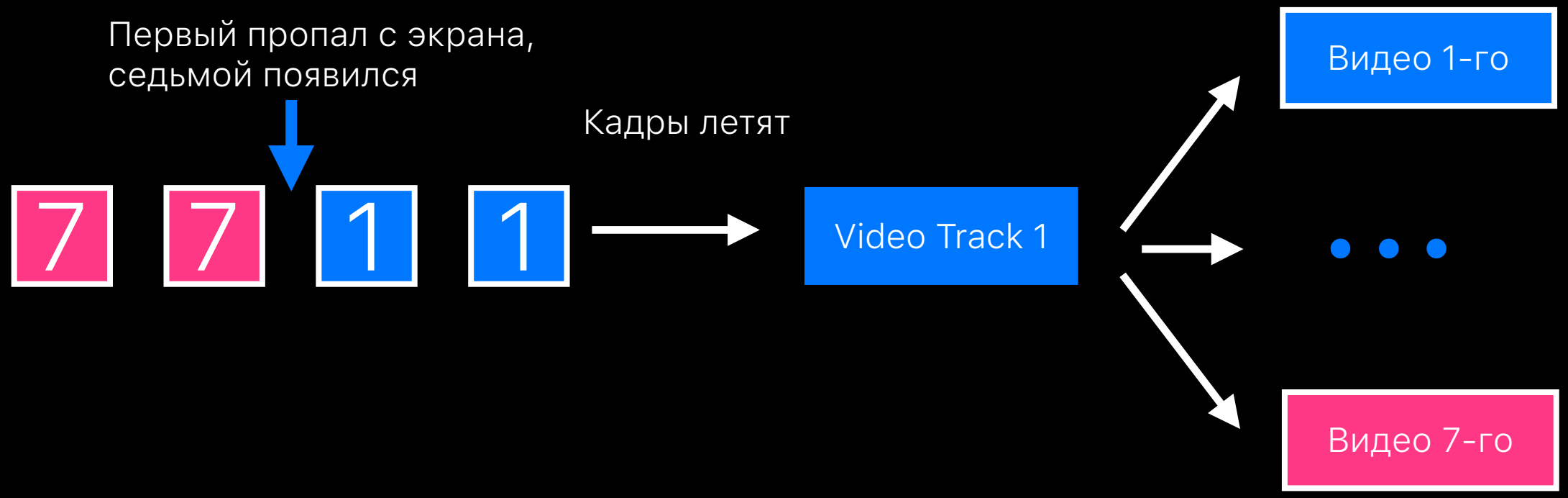
Video Track 3

Video Track 10

# Теперь кадры не привязаны к видеотрекам

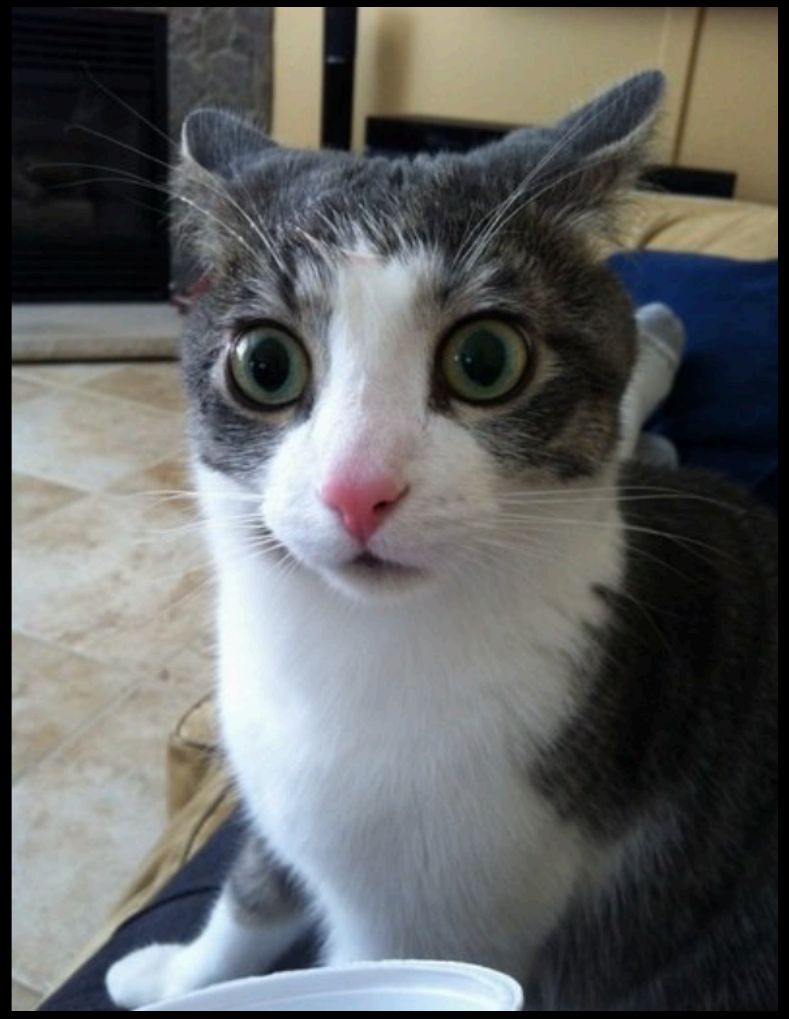


# Реализуем прокси, который раскидывает кадры по видеоэлементам



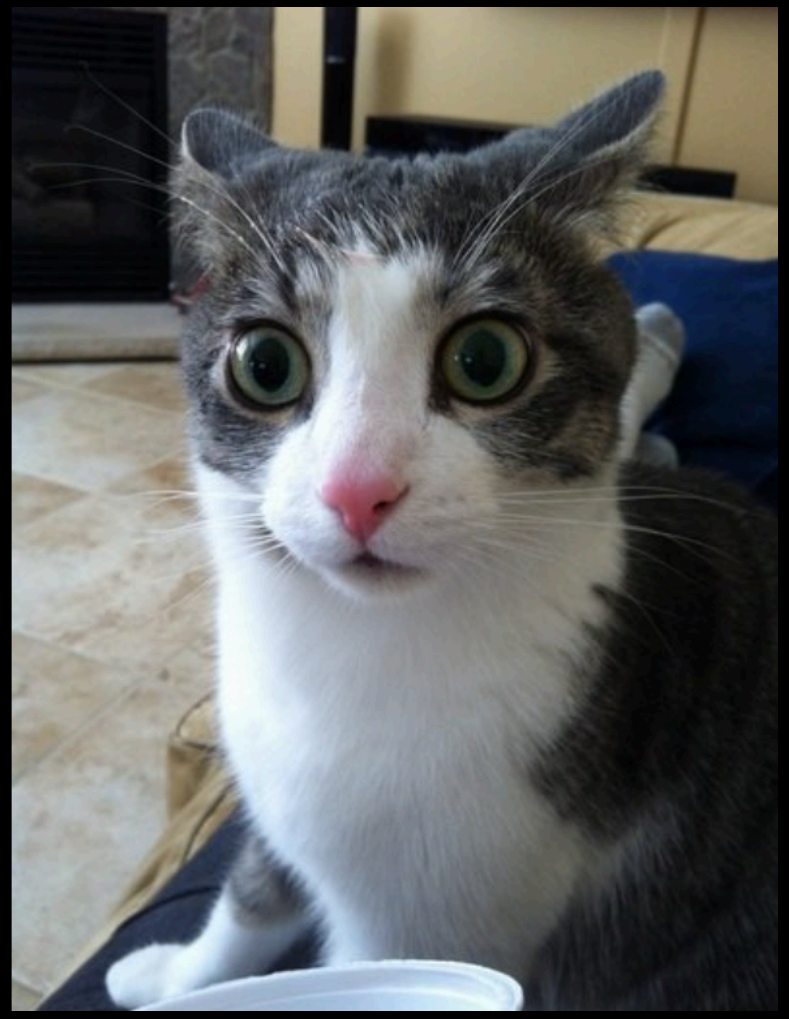
# А теперь подумаем про экономию отправки видео

- А что если не отправлять видео, если нас никто не смотрит?



# А теперь подумаем про экономию отправки видео

- А что если не отправлять видео, если нас никто не смотрит?
- А что если отправлять видео в меньшем разрешении, если нас видят только в превью?



# Видео, видео, видео

- Договариваемся с сервером о требуемых видео и размерах

# Видео, видео, видео

- Договариваемся с сервером о требуемых видео и размерах
- Убираем связь между участниками и видео треками

# Видео, видео, видео

- Договариваемся с сервером о требуемых видео и размерах
- Убираем связь между участниками и видео треками
- Не отправляем видео, если нас никто не видит

# Сеть

# Переводим частые сообщения на MessagePack через DataChannel

JSON 27 bytes

{ “compact”: true, “schema”: 0 }

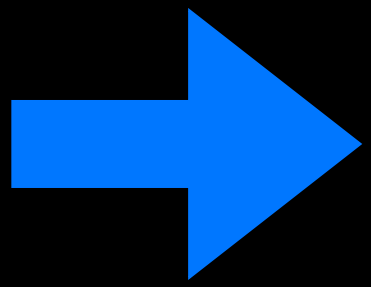
MessagePack 18 bytes

| 82 | A7 | compact | C3 | A6 | schema | 00 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2-element map | 7-byte string | | true | 6-byte string | | integer 0 |

https://msgpack.org/

# Убираем значения по умолчанию

```
{
  "audio": true,
  "video": false,
  "screen_share": false
}
```



```
{
  "audio": true
}
```

# Проверяем включённость permessage-deflate у WebSocket

- В Android начиная с 4.5 OkHttp

# Проверяем включённость permessage-deflate у WebSocket

- В Android начиная с 4.5 OkHttp
- В iOS зависит от библиотеки
- В iOS 15 в системном API WebSocket

# Сеть итоги

- Уменьшаем размер и частотность частых сообщений
- Проверяем настройки WebSocket
- Оптимизации аудио и видео значительно уменьшают нагрузку

# Подведём итоги

# Резюме

- WebRTC отличный проект для создания звонков и не только

# Резюме

- WebRTC отличный проект для создания звонков и не только
- В 1 на 1 звонке желательно
    - Починить скриншару
    - Настроить выбор кодеков

# Резюме

- WebRTC отличный проект для создания звонков и не только
- В 1 на 1 звонке желательно
  - Починить скриншару
  - Настроить выбор кодеков
- В 1 на 1 звонке можно
  - Улучшать аудио пайплайн
  - Добавлять виртуальные фоны и маски

# Резюме

- WebRTC отличный проект для создания звонков и не только
- В 1 на 1 звонке желательно
  - Починить скриншару
  - Настроить выбор кодеков
- В 1 на 1 звонке можно
  - Улучшать аудио пайплайн
  - Добавлять виртуальные фоны и маски
- В больших групповых звонках обязательно
  - Перейти от N к 1 или нескольким аудио
  - Принимать только видео на экране

# Будем ВКонтакте!

Никита Разумный
VK: @xc

Иван Шафран
VK: @ivan.shafran
twitter: @NotShafran