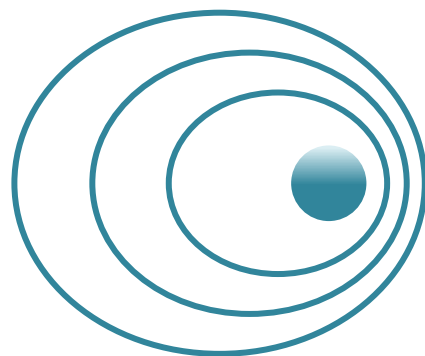


***Exact Doppler***



***Акустический Доплеровский Детектор***

Дробанов А.Ф.  
**26.11.2016**

г. Череповец  
2016

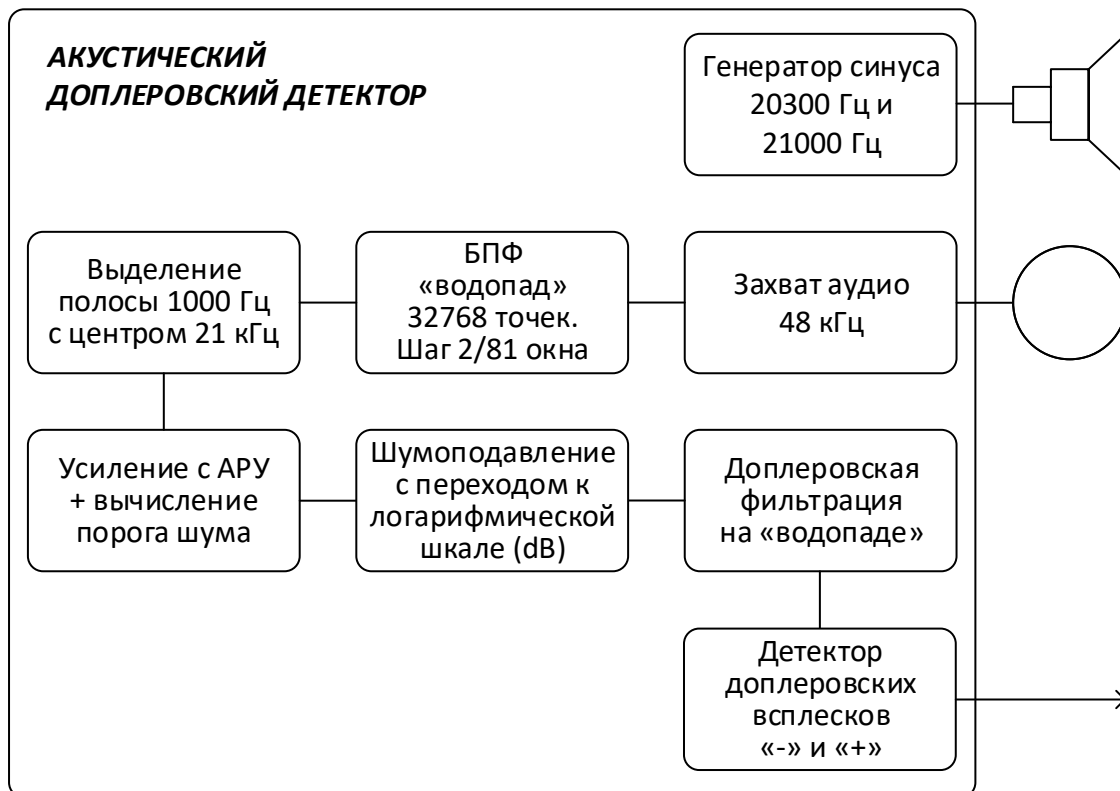


Рисунок 1 – Структурная схема доплеровского акустического детектора

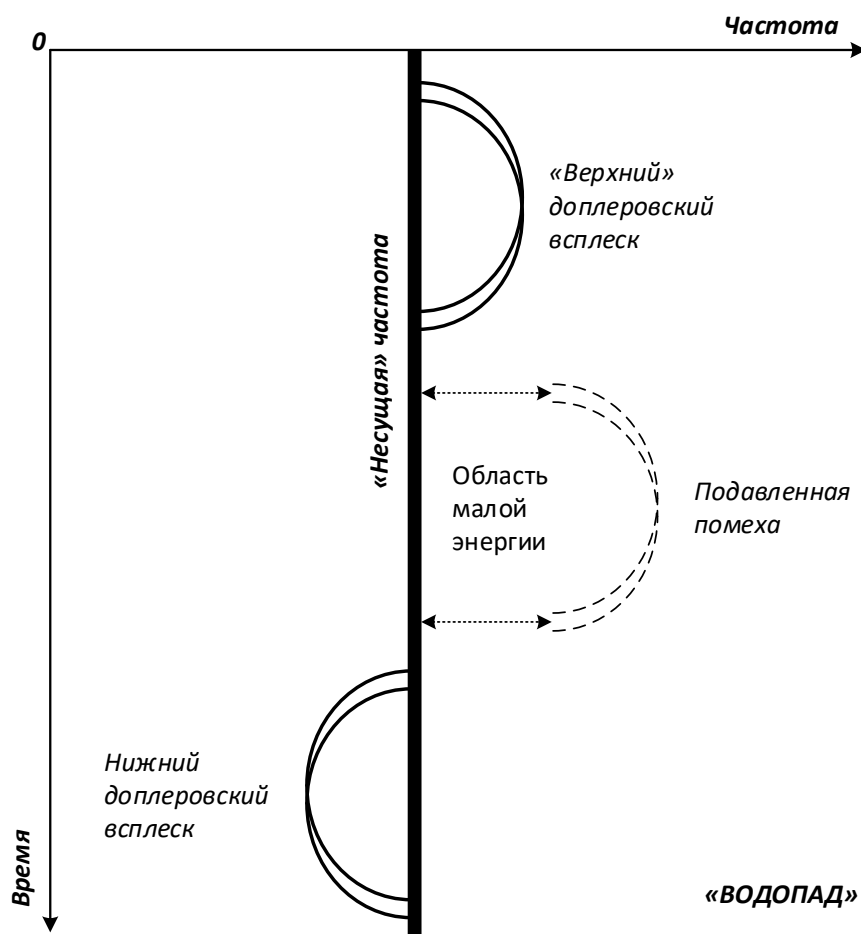


Рисунок 2 – Детектирование доплеровских всплесков на «водопаде»

# 1 Этапы обработки сигнала

## 1.1 Генератор синуса

Генератор синусоидальных колебаний формирует PCM-поток с набором синусоид (по-умолчанию – пара 20300 Гц и 21000 Гц), который выводится звуковым устройством на колонки и формирует (в том числе и в области расположения микрофона) акустическое поле<sup>1</sup>.

## 1.2 Захват аудио

Устройство захвата аудио формирует монофонический поток PCM-семплов произвольной разрядности.

## 1.3 БПФ водопад (окно - 32768 точек)

Входной PCM-поток проходит через блок БПФ размером  $32768^2$  точек (STFT, преобразование для коротких серий, скользящее окно с шагом  $2/81$  ( $1/(3*3*3*1.5)$ )<sup>3</sup>, применяется взвешивающее окно Блэкмана-Харриса. При этом одномерное представление сигнала преобразуется в двумерное – ось абсцисс отражает частоту, а ось ординат – время («водопад»).

## 1.4 Выделение полосы 1000 Гц

Из «водопада» (ось абсцисс – частота, ось ординат - время) выделяется полоса шириной 1 кГц<sup>4</sup>, с центром, совпадающих с несущей частотой.

## 1.5 Усиление с АРУ + вычисление порога шума

Для каждого синуса – на гармонике центральной частоты определяется уровень энергии, соответствующий максимальному значению при текущей разрядности входного сигнала, вычисляется невязка текущего усиления и целевого, делается шаг в направлении корректировки («несущая» должна иметь максимальную энергию перед модулем анализа, вне зависимости от уровня усиления микрофона и уровня излучения акустических систем и их громкости – т.е. должна быть нормирована).

Порог шума вычисляется как  $MAX_{по\ выборке}(Min_{мгнов}(MaxL_{мгнов}, MaxR_{мгнов}))$ <sup>5</sup>. Анализируется только 20% данных (10% слева, 10% - справа), т.к. на центральных 80% очень велика вероятность «столкнуться» с полезным сигналом (в этом случае будет выбран неверный порог, который «обрежет» полезный сигнал).

## 1.6 Шумоподавление с переходом к логарифмической шкале

Данные приводятся к логарифмической шкале (dB), на основе передаваемого уровня «0 dB», значения ниже порога заменяются значением, численно соответствующим « $-\infty$ ».

---

<sup>1</sup> При частоте дискретизации 48 кГц обеспечивается корректный вывод такой частоты синуса, при этом даже бюджетные малогабаритные акустические системы для ПК поддерживают её вывод, пусть и со сниженной энергией ввиду «завала» АЧХ. Для большинства людей частота 21 кГц лежит вне полосы восприятия, и пользователь может услышать лишь субгармоники основной частоты, которые, в том числе, могут возникать при перегрузке акустической системы (устраняется снижением громкости) или проявляться ввиду специфических параметров микшера Windows (необходимо попробовать изменить разрядность и частоту семплирования используемого устройства вывода).

<sup>2</sup> При частоте семплирования 48 кГц, размер окна 32768 точек обеспечивает временное разрешение в ~0.7 с, что приблизительно соответствует длительности жеста или компоненты движения человеческого тела.

<sup>3</sup> Шаг окна выбран опытным путем.

<sup>4</sup> Опытным путем установлено, что доплеровские смещения несущей частоты, при обнаружении движений человеческого тела, укладываются в диапазон [-500..+500] Гц.

<sup>5</sup> Такой критерий требуется для того, чтобы случайные помехи высокой энергии в одной из полос не смогли оказать негативное влияние на вычисляемый порог шума.

### 1.7 Доплеровская фильтрация на «водопаде»

Все доплеровские всплески, являющиеся движениями, не возникают мгновенно, то есть всегда есть участки «разгона» и «торможения» объекта в акустическом поле. Это означает, что «нормальный» доплеровский всплеск, соответствующий движению человеческого тела, будет «вырастать» от «ствола» несущей частоты. В то же время, «шумовые» всплески, или доплеровские вклады, например, от настольного вентилятора, будут отделены от «ствола» «несущей» областями «нулевой» энергии. Для предотвращения случайного отсека полезного сигнала алгоритм фильтрации допускает определенное количество групп «нулевых» значений на пути от «ствола» к «ветке» (одиночные «нули» игнорируются), однако, каждая такая встреченная группа снижает яркость «кисти» которая рисует сплошное энергетическое заполнение в направлении от «ствола» несущей к искомому «краю» всплеска.

### 1.8 Детектор доплеровских всплесков

При детектировании, на «водопаде» выделяется центральная «слепая» область, игнорирующая «несущую» и её флуктуации. Любой энергетический всплеск, выходящий за её пределы, считается «мгновенным» обнаружением. Такие «мгновенные» обнаружения разделяются по нижней и верхней полосам, суммируются в конце обработки блока сигнала (в данной реализации – длительностью 0,6827 с (32768/48000) (минимальный размер блока)) и заменяются процентными значениями.

## 2 Практическое применение

1. Детектор присутствия (1-2 метра) - для целей охраны серверных помещений и рабочих мест.
2. Акустический детектор жестов (например «вперед», «назад» - при демонстрации презентаций).

## 3 Настройка звукового ввода-вывода

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**

**В качестве излучателей используйте аудиоколонки с одним динамиком небольшого диаметра и только лишь бюджетного класса – большой уровень энергии в области высоких частот (не воспринимаемых ухом) может привести к перегреву ВЧ-динамиков и их выходу из строя.**

Т.к. рабочей частотой является 21 кГц, для ввода и вывода требуется обеспечение частоты семплирования в 48 кГц. **Все дополнительные обработки (эффекты) на выходном и входном аудиоустройствах должны быть выключены** (пренебрежение выполнением этого условия может сделать работу приложения некорректной).

Наилучший бюджетный выбор микрофона – встроенный микрофон веб-камеры средней или высшей ценовой категории. Низкий уровень аналоговых шумов и высокая чувствительность позволяют достичь хороших показателей при обнаружении доплеровских сдвигов.

Не во всех случаях нужен максимальный уровень громкости (как программного микшера, так и акустической системы)! Наилучшие результаты достигаются при уровнях, на которых излучается достаточно много звуковой энергии, но при этом не происходит перегрузки усилителя низкой частоты и самих излучателей.

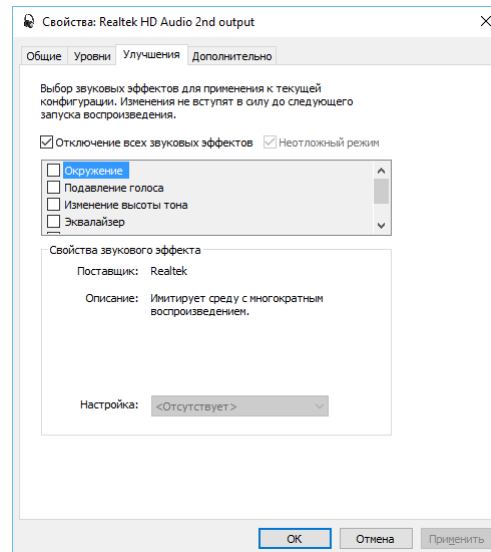
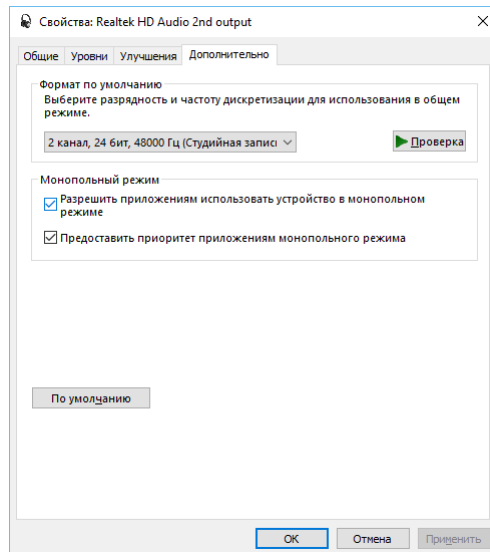
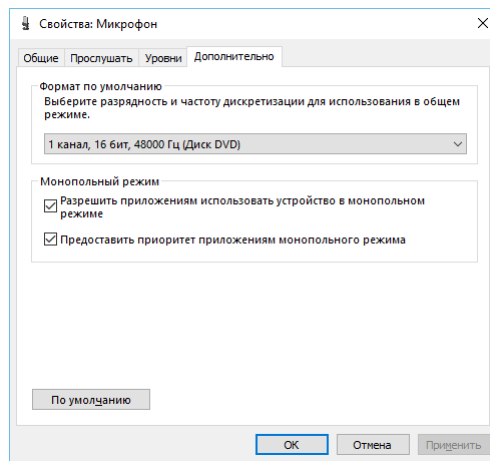


Рисунок 3 – Примеры настройки аудиоустройств

## 4 Ссылки на проект и связанные с ним библиотеки

### ExactDoppler

<https://github.com/art-drobanov/ExactDoppler>

<https://bitbucket.org/DrAF/exactdoppler>

### ExactFFT

<https://github.com/art-drobanov/ExactFFT>

<https://bitbucket.org/DrAF/exactfft>

## 5 Лицензия

Copyright 2015 Artem Drobanov (artem.drobanov@gmail.com)

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");  
you may not use this file except in compliance with the License.  
You may obtain a copy of the License at

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software  
distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,  
WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.  
See the License for the specific language governing permissions and  
limitations under the License.

=====

NAudio - open source .NET audio and MIDI library

<http://naudio.codeplex.com/>

Licensed under the Microsoft Public License (Ms-PL) (the "License");  
you may not use this file except in compliance with the License.  
You may obtain a copy of the License at

<http://opensource.org/licenses/MS-PL>