Aplikacija za mobilne uređaje za štimanje gitare

Fran Jelavić

Cilj završnog rada

- Predstaviti :
  - **princip titranja** žica na gitari
  - **frekvencijski raspon** gitare
  - **frekvencijski spektar** tiranja žica gitare

- Projektirati **softversku aplikaciju** za detekciju frekvencija

Frekvencija i visina tona

- Titranje čestica zvučnog vala → frekvencija
  - Broj titraja (kompresija) čestica medija u jedinici vremena

- **Visina tona** (eng. *pitch*) ≈ **frekvencija**
  - Ljudska percepcija frekvencije

- Ljudi raspoznaju:
  - frekvencije od 20 Hz do 20 kHz
  - između dva zvuka s razlikom frekvencija od 7 Hz do 2 Hz

Frekvencija u glazbi

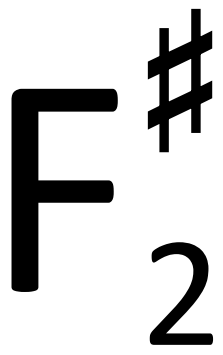
- **Oktava**
  - Razlika između dvaju zvuka s omjerom frekvencija **2:1**

- **Kromatska ljestvica** (eng. *chromatic scale*)
  - Oktava podijeljena na 12 jednakih intervala → **poluton** (eng. *semitone*)
  - Omjer frekvencija susjednih intervala $\sqrt[12]{2} \approx 1.0595$

C C♯ / D♭ D D♯ / E♭ E F F♯ / G♭ G G♯ / A♭ A A♯ / B♭ B

Glazbene note

- **Nota** → reprezentacija visine tona
  - Skupina visine tona koje spadaju u isti razred (eng. *Pitch class)*
    - Razredi odvojeni po oktavama
- **Naziv** note (A, B, C, D, E, F, G)
  - Osma nota → oktava (zapisana kao prva)
- **Razred** (broj oktave)
  - Npr. $\boldsymbol{E_3}$ je za oktavu viši od $\boldsymbol{E_2}$
- Predznak **akcidental** (eng. *accidental)*
  - Povisilica ♯ (eng. ***sharp***), snizilica ♭ (eng. ***flat***)
  - Dižu ili spuštaju notu za poluton



Raspon gitare

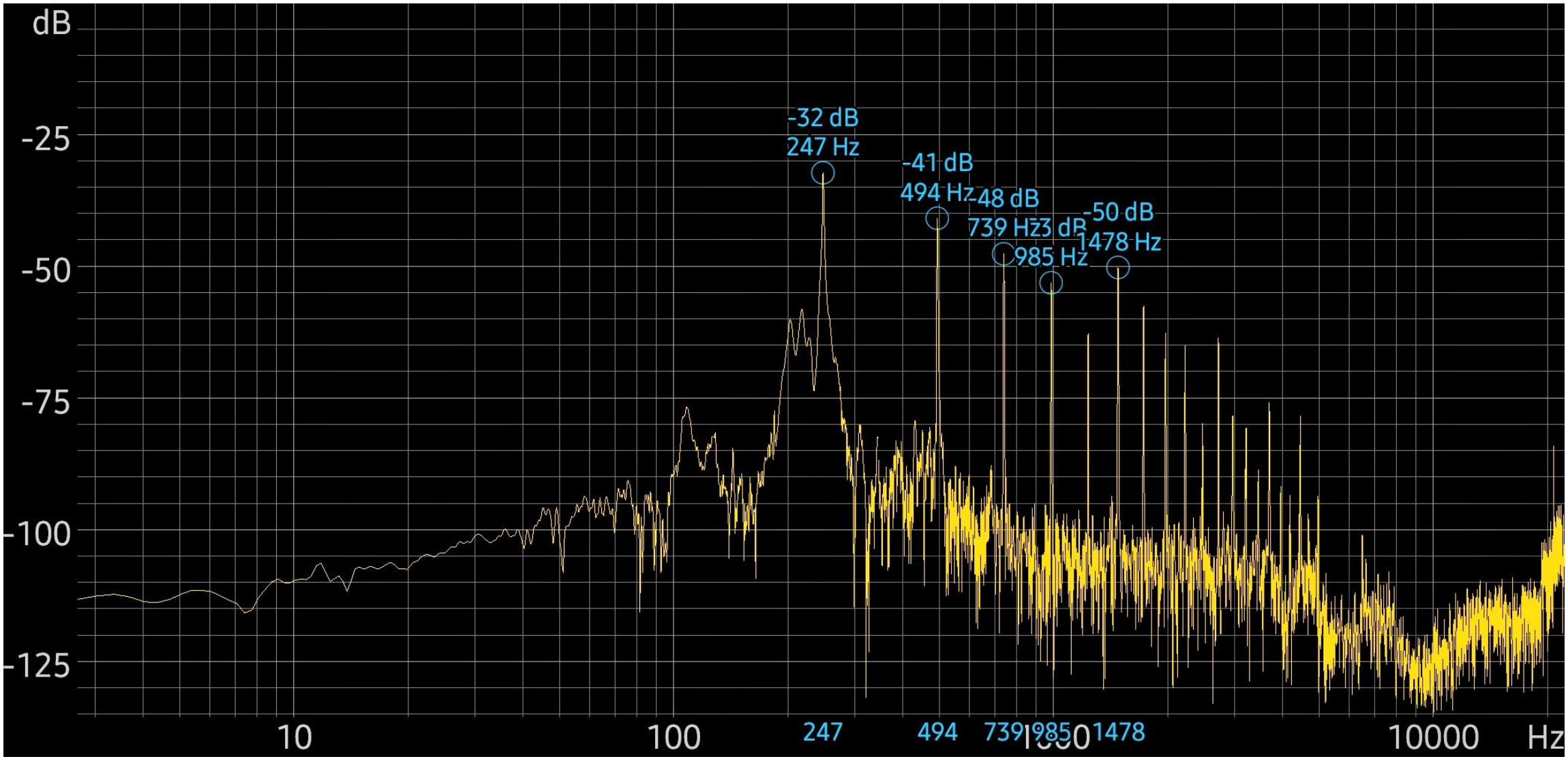
- **Koncertna visina tona**
  - Referenca za štimanje instrumenata
  - Standard f(A_4) = 440 Hz
- **Način štimanja**
  - *Standard tuning*
    - $E_2\ A_2\ D_3\ G_3\ B_3\ E_4$
- **Duljina vrata**
  - 19 do 24 polja (eng. *fret*)

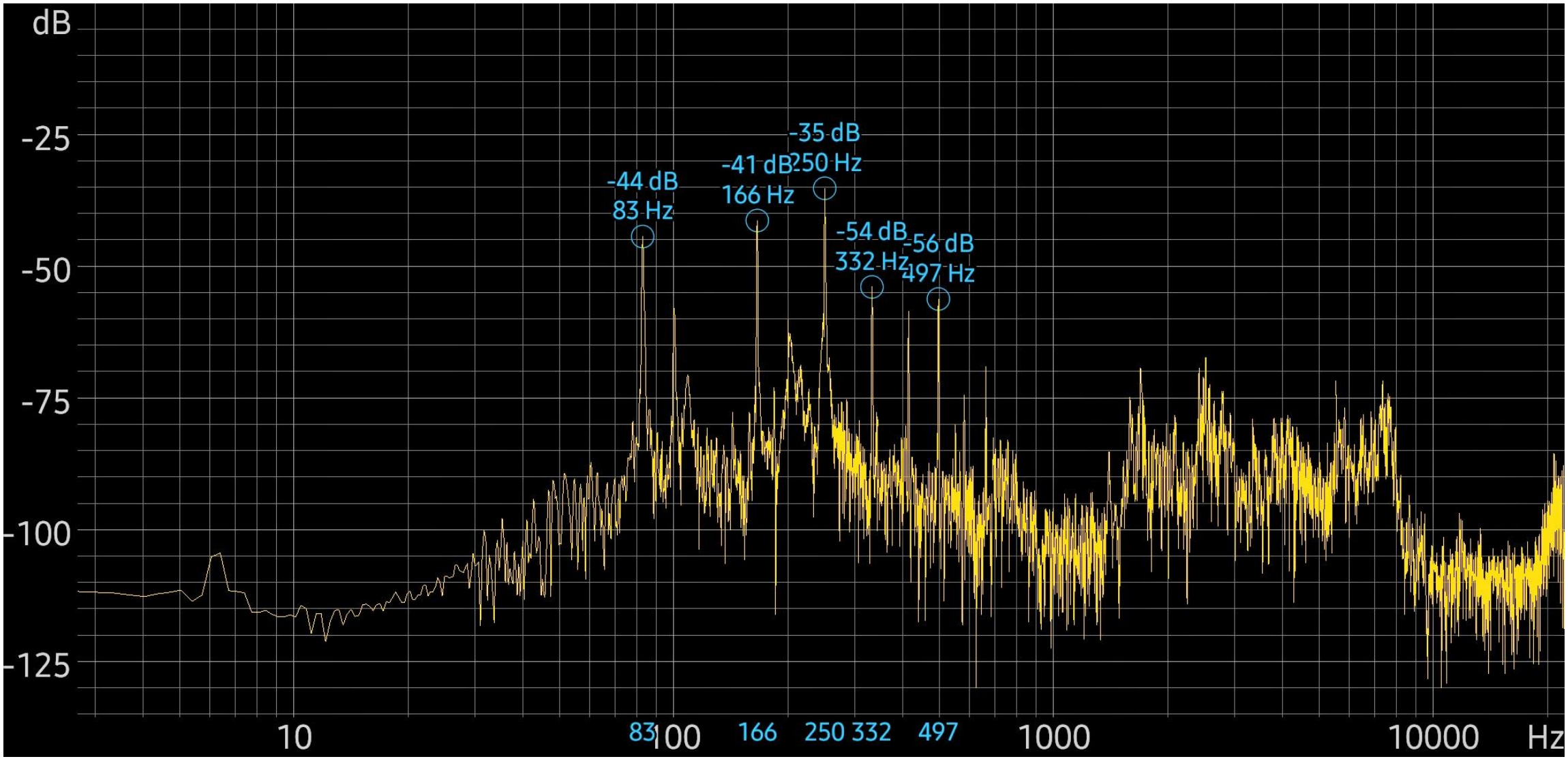
Nota/oktava	2	3	4	5	6
C		130,8	261,6	523,3	1047
$C^\sharp$		138,6	277,2	554,4	1109
D		146,8	293,7	587,3	
$D^\sharp$		155,6	311,1	622,3	
E	82,41	164,8	329,6	659,3	
F	87,31	174,6	349,2	698,5	
$F^\sharp$	92,50	185,0	370,0	740,0	
G	98,00	196,0	392,0	784,0	
$G^\sharp$	103,8	207,7	415,3	830,6	
A	110,0	220,0	440,0	880,0	
$A^\sharp$	116,5	233,1	466,2	932,3	
B	123,5	246,9	493,9	987,8	

Harmonici

- **Temeljna frekvencija** i njezini **višekratnici**
- **Koeficijenti** intenziteta frekvencija → razlikuju se po izvoru zvuka
  - Popratne frekvencije (eng. ***overtones***)

- Objekt titra temeljnom frekvencijom
  - Najčešće dominantna frekvencija (najvećeg intenziteta)


dB
-25
-50
-75
-100
-125
-32 dB
247 Hz
-41 dB
494 Hz
-48 dB
739 Hz
-3 dB
985 Hz
-50 dB
1478 Hz
10
100
247
494
739
985
1000
1478
10000
Hz


dB
-25
-50
-75
-100
-125
-44 dB
83 Hz
-41 dB
166 Hz
-35 dB
250 Hz
-54 dB
332 Hz
-56 dB
497 Hz
10
83
100
166
250
332
497
1000
10000
Hz

Digitalna obrada signala

- Snimljeni signali → **digitalizacija** → oblikovanje operacijama
  - Digitalizacija analogno-digitalnim pretvaračima (eng. *ADC*)

- Prednosti digitalizacije:
  - Kompresija podataka
  - Otkrivanje pogrešaka pri prijenosu
  - Ispravljanje pogrešaka pri prijenosu

Uzorkovanje (eng. *sampling*)

- Zvučni signal → slijed uzoraka
  - Vrijednost signala u točki u vremenu i/ili prostoru

- **Frekvencija uzorkovanja** (eng. *sample rate*)
  - Najčešće iznad 40 kHz
    - Teorem Nyquista i Shannona
    - Frekvencija uzorkovanja dvostruko veća od frekvencije signala koji se obrađuje
  - 44,1 kHz, 48 kHz, 88,2 kHz, 96 kHz
  - Povećanjem se povećava širina pojasa (eng. *bandwidth*)

Algoritam FFT

- Zvučni signal → **skup brojeva** kojim se raspoznaju najzastupljenije frekvencije u signalu
  - Svaki ***bin*** predstavlja određen raspon frekvencija
  - Veći broj u *bin*-u → veći intenzitet tog raspona frekvencija

- Raspon *bin*-a
  - **Rezolucija** = frekvencija uzorkovanja / veličina *buffer*-a
  - Raspoznavanje nota → **rezolucija ≤ razlika frekvencija**

Aplikacija za štimanje gitare (eng. *tuner*)

- Ciljevi:
  - Detekcija visine tona odsvirane žice
  - Usmjeravanje korisnika prema visini tona najbliže note

- **Problem : FFT nije dovoljno dobar alat** za ovakav zadatak
  - Ne može se pouzdati na ispravno prepoznavanje temeljne frekvencije
  - **YIN** algoritam

Algoritam YIN

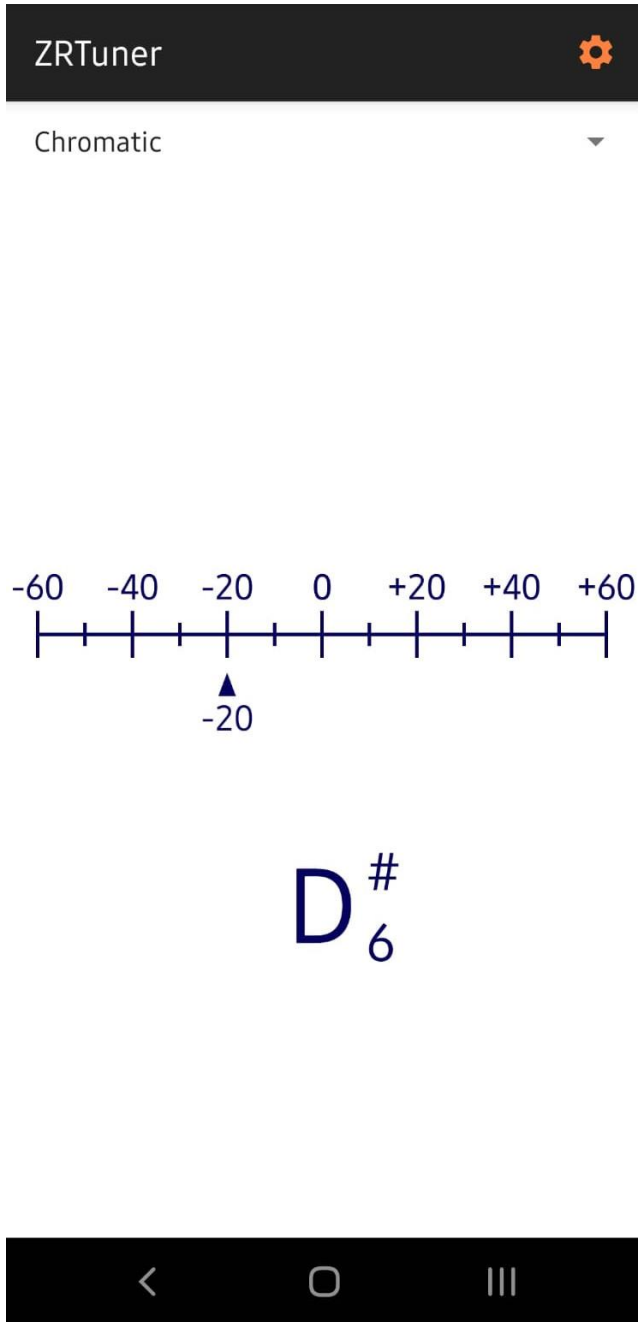
- FFT
- Metoda autokorelacije (eng. *autocorrelation function*)
  - Korelacija signala s odgođenom kopijom samog sebe kao funkcija kašnjenja
  - Služi za identificiranje temeljne frekvencije među harmonicima

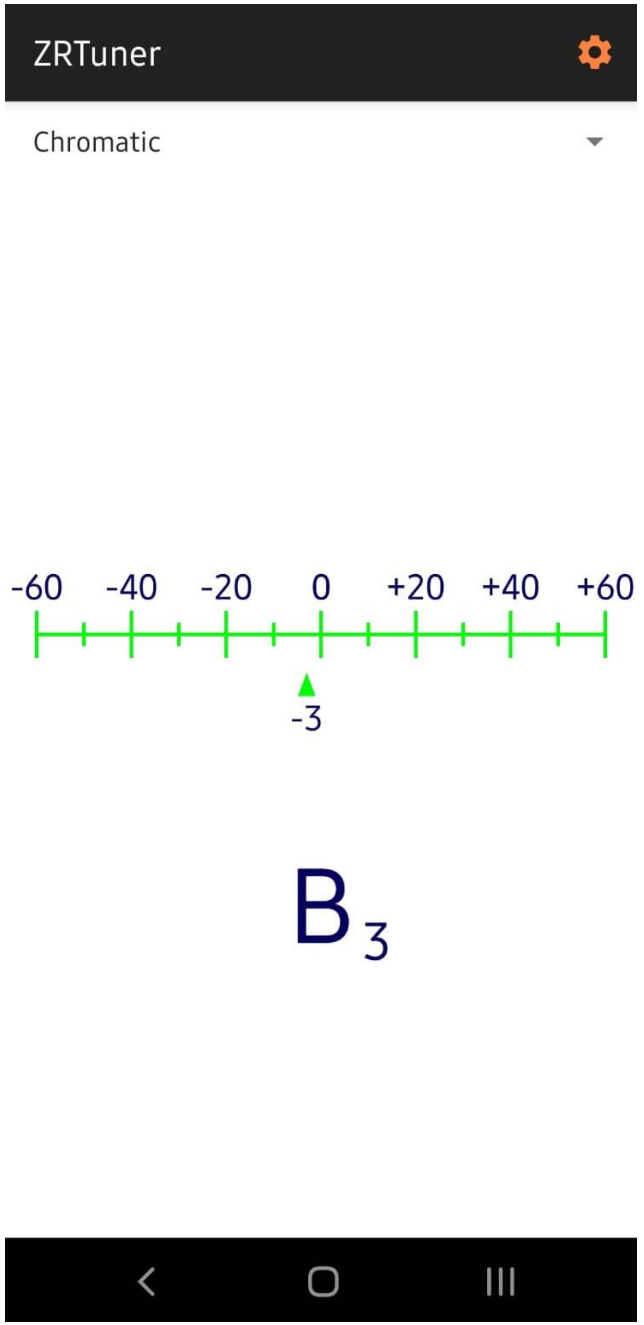
- Mala učestalost grešaka
- Nisko kašnjenje (eng. *latency*)
- Prikladan za glazbu i visoke tonove

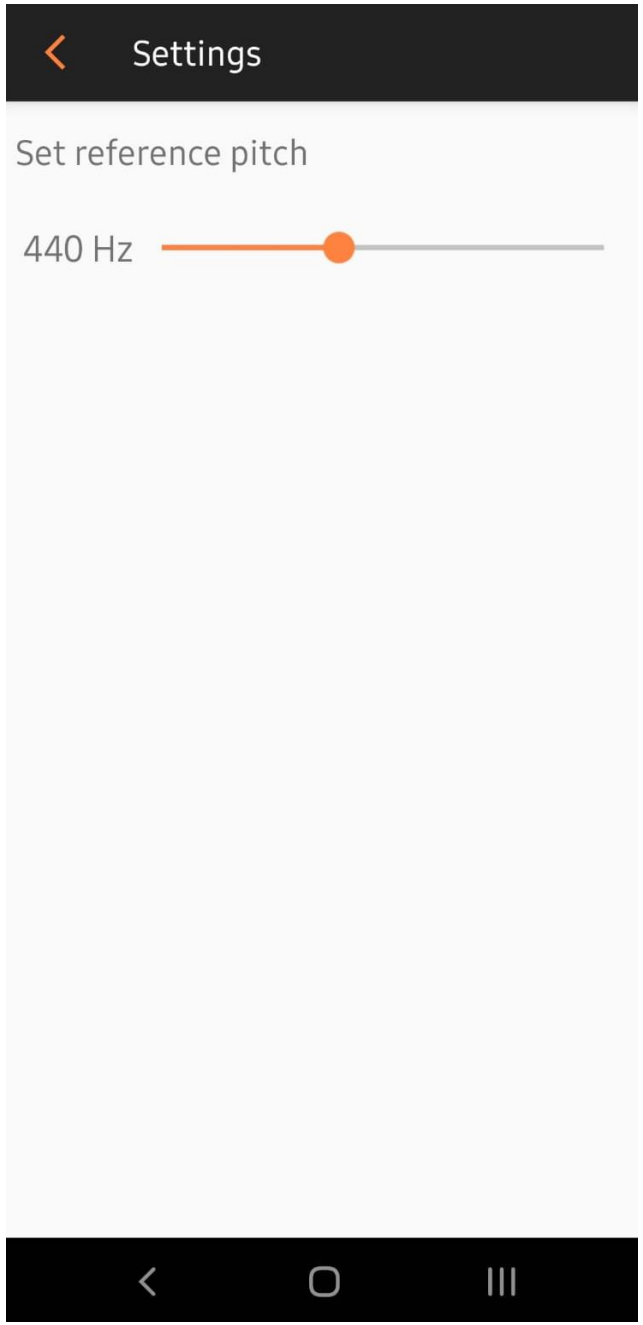
Aplikacija „ZRTuner”

- *IDE* Android Studio
  - Java
- TarsosDSP biblioteka (Java)
  - Implementacija algoritama za obradu zvuka
  - Bez vanjskih ovisnosti
  - Relativno jednostavna implementacija

- Sličan projekt : Gstraube - Cythara Tuner


ZRTuner
Chromatic
-60 -40 -20 0 +20 +40 +60
-20
D#6


ZRTuner
Chromatic
-60 -40 -20 0 +20 +40 +60
-3
B3


Settings
Set reference pitch
440 Hz

Stvaranje fragmenta

```
private static final String TAG_LISTENER_FRAGMENT = "listener_fragment";

private void startRecording() {
    FragmentManager fragmentManager = getSupportFragmentManager();
    ListenerFragment listenerFragment =
            (ListenerFragment) fragmentManager.findFragmentByTag(TAG_LISTENER_FRAGMENT);

    if (listenerFragment == null) {
        listenerFragment = new ListenerFragment();
        fragmentManager.beginTransaction()
                .add(listenerFragment, TAG_LISTENER_FRAGMENT)
                .commit();
    }
}
```

Pozadinski proces

- Klasa **ListenerFragment**
  - privatna klasa **PitchListener**
    - Nasljeđuje apstraktnu klasu **AsyncTask**

- **PitchDetectionHandler** (TarsosDSP)
  - Detektiranje visine tona
  - handlePitch()
- **PitchDifference**
  - Devijacija visine tona
  - **PitchComparator**
    - retrieveNote()
    - Devijacija u **centima**

- *MIN_PITCH_COUNT* = 8 blokova
- publishProgress()
  - Prikaz korisniku

```
private static class PitchListener extends AsyncTask<Void, PitchDifference, Void> {

    private AudioDispatcher audioDispatcher;

    @Override
    protected Void doInBackground(Void... params) {
        PitchDetectionHandler pitchDetectionHandler = (pitchDetectionResult, audioEvent) -> {

            if (isCancelled()) {...}

            if (!IS_RECORDING) {...}

            float pitch = pitchDetectionResult.getPitch();

            if (pitch != -1) {
                PitchDifference pitchDifference = PitchComparator.retrieveNote(pitch);

                pitchDifferences.add(pitchDifference);

                if (pitchDifferences.size() >= MIN_PITCH_COUNT) {
                    PitchDifference average =
                            Sampler.calculateAverageDifference(pitchDifferences);

                    publishProgress(average);

                    pitchDifferences.clear();
                }
            }
        };
```

Pozadinski proces

- **PitchProcessor** (TarsosDSP)
  - *SAMPLE_RATE* = 44,1 kHz
  - *BUFFER_SIZE* = 4096
  - **Rezolucija = 10,77 Hz**

  - Implementira AudioProcessor
- **AudioProcessor** (TarsosDSP)
  - Odabir algoritama → FastYin

- **AudioDispatcher** (TarsosDSP)
  - Zvučni signal → obradivi blokovi
  - **AudioDispatcherFactory**
    - specifikacija izvora zvuka
    - fromDefaultMicrophone()

    - *OVERLAP* = 3072 (75%)

```
        if (!IS_RECORDING) {...}

        float pitch = pitchDetectionResult.getPitch();

        if (pitch != -1) {
            PitchDifference pitchDifference = PitchComparator.retrieveNote(pitch);

            pitchDifferences.add(pitchDifference);

            if (pitchDifferences.size() >= MIN_PITCH_COUNT) {
                PitchDifference average =
                        Sampler.calculateAverageDifference(pitchDifferences);

                publishProgress(average);

                pitchDifferences.clear();
            }
        }
    };

    PitchProcessor pitchProcessor = new PitchProcessor(
            PitchProcessor.PitchEstimationAlgorithm.FFT_YIN, SAMPLE_RATE,
            BUFFER_SIZE, pitchDetectionHandler);

    audioDispatcher = AudioDispatcherFactory.fromDefaultMicrophone(SAMPLE_RATE,
            BUFFER_SIZE, OVERLAP);
    audioDispatcher.addAudioProcessor(pitchProcessor);
    audioDispatcher.run();

    return null;
}
```

Usporedba sa sličnim sustavima

- Tržište puno aplikacijama za štimanje gitare
  - Bez velike razlike, slično funkcioniranje, slične performanse
- Bez potrebe za unaprjeđenjem tehnologije
  - Dodavanje nepotrebnih ili dodatnih nepovezanih *feature*-a
  - Reklamacija → usporavanje cijelog procesa štimanja
    - Inspiracija za završni rad

- Usporedba s profesionalnim sustavima
  - Premale razlike u brzini i preciznosti za prosječne korisnike

Hvala!