

Generazione e Riconoscimento di Tonalità DTMF

April 18, 2025

Il Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) è il sistema usato nei telefoni per trasmettere i tasti premuti attraverso la linea.

Quando premi un tasto (0-9, *, #), non viene inviato un singolo tono, ma due toni simultanei:

- uno da un gruppo di frequenze basse (righe della tastiera)

- uno da un gruppo di frequenze alte (colonne della tastiera)

Abstract

In questo homework si esplorerà il concetto di DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency) utilizzato nei telefoni per la trasmissione di numeri e simboli tramite tonalità. L'obiettivo è generare e riconoscere le tonalità DTMF per numeri composti e condurre una serie di esperimenti per studiare l'effetto di diverse variabili quali durata dei toni, rumore, frequenza di campionamento.

1 Implementazione DTMF

1. (Creazione del dizionario) Si consideri la tastiera DTMF o (Multifrequenza) costituita da una matrice con quattro righe e quattro colonne. Ciascuna riga corrisponde a una frequenza bassa mentre ciascuna colonna rappresenta una frequenza alta. Ogni tasto è identificato da una coppia di frequenze:

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

Premendo per esempio il tasto 1 vengono inviate due onde sinusoidali alle frequenze di 697 e 1209 Hz. Il termine multifrequenza deriva proprio dall'uso simultaneo di due toni.

- (a) Siano $F_1 = \{697, 770, 852, 941\}$ e $F_2 = \{1209, 1336, 1477, 1633\}$, creare un dizionario di toni **tones**. Il dizionario **tones** associa ciascun tasto del telefono a una coppia di indici che rappresentano la selezione delle frequenze nei due array F_1 e F_2 . La struttura del dizionario è

la seguente:

$$\text{tones} = \begin{cases} '1' & \rightarrow (0, 0) \\ '2' & \rightarrow (0, 1) \\ '3' & \rightarrow (0, 2) \\ '4' & \rightarrow (1, 0) \\ '5' & \rightarrow (1, 1) \\ '6' & \rightarrow (1, 2) \\ '7' & \rightarrow (2, 0) \\ '8' & \rightarrow (2, 1) \\ '9' & \rightarrow (2, 2) \\ '0' & \rightarrow (3, 1) \\ '' & \rightarrow (3, 0) \\ '\#' & \rightarrow (3, 2) \\ 'A' & \rightarrow (0, 3) \\ 'B' & \rightarrow (1, 3) \\ 'C' & \rightarrow (2, 3) \\ 'D' & \rightarrow (3, 3) \end{cases}$$

Dove:

- La prima posizione della coppia (i, j) è l'indice per la frequenza in F_1 .
- La seconda posizione della coppia (i, j) è l'indice per la frequenza in F_2 .

Ad esempio:

- Il tasto '1' è associato alla coppia $(0, 0)$, quindi la frequenza corrispondente è $F_1[0] = 697 \text{ Hz}$ e $F_2[0] = 1209 \text{ Hz}$.
- Il tasto '5' è associato alla coppia $(1, 1)$, quindi la frequenza corrispondente è $F_1[1] = 770 \text{ Hz}$ e $F_2[1] = 1336 \text{ Hz}$.

(b) Stampare il dizionario

2. (Generazione del suono) Scrivere una funzione `tone` che generi un segnale sonoro che rappresenta il tasto DTMF specificato, combinando due onde sinusoidali di frequenza diversa e restituendo il risultato in un array di valori che può essere utilizzato per riprodurre il suono. In dettaglio:

- Scrivere una funzione `tone` che prenda in input due parametri:
 - `number`: una stringa che rappresenta il tasto da generare (ad esempio '1', '2', ecc.).
 - `duration`: la durata del tono (in secondi).
- Creare un array `t` che rappresenta il tempo in cui il segnale sarà campionato, generando un array di valori di tempo che va da 0 a `duration`, con un passo pari a $1/F_s$ (ovvero il periodo di campionamento).
- Restituire il segnale $x(t) = \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)$

Una volta generato il segnale, visualizzare il segnale, salvare file audio e ascoltarlo.

3. (Generazione della sequenza di toni)

- (a) Scrivere una funzione `dialNumber` che prenda due argomenti:
 - `numbers`: una stringa di numeri o simboli, che rappresenta i tasti da "premere" (ad esempio, un numero di telefono).
 - `toneDuration`: la durata di ciascun tono in secondi.
 - (b) Generare la lista di toni, uno per ogni cifra o simbolo nella stringa `numbers` e generare il segnale audio corrispondente per la durata specificata in `toneDuration` usando la funzione precedentemente definita.
 - (c) Concatenare i toni e restituire una sequenza continua di dati audio che rappresenta l'intera sequenza di tasti premuti.
 - (d) Visualizzare poi il segnale nel tempo e salvare il file audio.
4. Generare un array da $-F_s/2$ a $F_s/2$, dove F_s è la frequenza di campionamento con un numero di punti pari alla lunghezza del segnale audio. Calcolare i coefficienti della DFT e visualizzarne il modulo nel dominio delle frequenze. È possibile identificare le frequenze dei toni?
5. (Estrazione delle frequenze) Scrivere una funzione che ricostruisca la sequenza a partire dal segnale sonoro. Suggerimento: Controllare ciascuna delle frequenze possibili e scegliere la frequenza che ha l'ampiezza più alta nello spettro.

Valutare l'effetto delle seguenti variabili sulla qualità della generazione e del riconoscimento della sequenza. In particolare, si dovranno eseguire esperimenti per analizzare l'effetto di:

- **Variazione della Durata del Tono** (es. generare diversi toni per durate diverse. Per ciascun caso si rappresenti il segnale nel tempo, si calcoli lo spettro di ampiezza (modulo della DFT) e commentare i risultati);
- **Zero padding** (applicare la DFT con e senza zero-padding per diversi livelli di riempimento per confrontare la risoluzione in frequenza e commentare i risultati);
- **Aggiunta di Rumore al Segnale** (es. aggiungere rumore gaussiano con diversi valori di deviazione standard per osservare come cambia la qualità del segnale e l'accuratezza del riconoscimento). Suggerimento: Per analizzare l'effetto del rumore sul segnale audio, si possono generare grafici che confrontano il segnale originale con quello disturbato dal rumore. Un primo grafico potrebbe mostrare il segnale originale e quello con rumore aggiunto in dominio temporale, evidenziando visivamente le differenze. Un secondo grafico potrebbe mostrare l'effetto di diversi livelli di rumore (basso, medio, alto), mostrando come il segnale venga progressivamente

distorto. Successivamente, un grafico della DFT del segnale originale e del segnale con rumore mette in evidenza come il rumore influisca sulla distribuzione spettrale, aumentando l'ampiezza nelle frequenze non desiderate. Un ulteriore grafico potrebbe confrontare l'accuratezza del riconoscimento del segnale con e senza rumore, mostrando l'impatto del rumore sul riconoscimento. L'accuratezza può essere calcolata in percentuale e comparata tra i vari livelli di rumore, anche con tecniche di denoising applicate per osservare eventuali miglioramenti.

- **Variazione della Frequenza di Campionamento:** Campionare il segnale DTMF a diverse frequenze e confrontare il segnale originale con i segnali campionati. Confrontare l'accuratezza del riconoscimento con vari livelli di campionamento, evidenziando degradazione con sottocampionamento e i miglioramenti in caso di oversampling. Studiare adozione di tecniche per evitare aliasing, insieme a tecniche di filtraggio per migliorare il riconoscimento.

Cosa deve essere consegnato

Dovrà essere consegnato il codice che è stato redatto e un elaborato. L'elaborato dovrebbe includere una **descrizione chiara e dettagliata del lavoro svolto**, in particolare in relazione alla generazione e al riconoscimento della sequenza DTMF. **Punti importanti per la valutazione sono i seguenti.**

- **Descrizione del Codice:** Fornire una panoramica del codice sviluppato per la generazione dei toni DTMF, l'aggiunta di rumore, la variazione della frequenza di campionamento, e il riconoscimento della sequenza. Ogni parte del codice dovrebbe essere spiegata con commenti chiari, in particolare le funzioni utilizzate per generare i segnali DTMF e per eseguire la trasformata di Fourier (DFT) per l'analisi spettrale.
- **Esperimenti e metodologia:** Descrivere come sono stati costruiti gli esperimenti per valutare l'effetto delle variabili.
- **Risultati:** Riassumere i principali risultati degli esperimenti, evidenziando come ciascuna variabile analizzata (frequenza di campionamento, rumore, aliasing) influisca sulla qualità del segnale e sul riconoscimento DTMF. Presentare i grafici ottenuti e commentare eventuali risultati in forma tabellare.
- **Interpretazione, analisi critica e suggerimenti pratici:** **Fornire suggerimenti pratici per migliorare il riconoscimento dei segnali DTMF** (come ad esempio l'adozione di frequenze di campionamento più elevate per evitare aliasing, o l'uso di tecniche di filtraggio per ridurre l'effetto del rumore).