Abstract

Dual Tone Multi Frequency (DTMF) adalah standar di mana penekanan tombol dari keypad telepon diterjemahkan menjadi sinyal nada ganda melalui tautan audio. Selain itu, modulasi On/Off dari sinyal 425 Hz, digunakan untuk mengidentifikasi Call Status Kemajuan (CPS): Panggilan, Dering, dll.

Algoritma khusus harus dijalankan untuk memecahkan kode sinyal ini, tidak hanya untuk mendeteksi keberadaan nada, tetapi juga untuk memastikan bahwa to sinyal suara tidak dapat dideteksi sebagai DTMF.

Algoritma khusus harus menjalankan untuk memecahkan kode sinyal ini, tidak hanya untuk mendeteksi nada, tetapi juga untuk memastikan bahwa sinyal suara tidak dapat dideteksi sebagai DTMF.

Dasar teori

Pensinyalan Dual Tone Multi Frequency (DTMF) adalah standar dalam sistem telekomunikasi [1], bahwa menerjemahkan penekanan tombol dari keypad telepon menjadi dual sinyal nada melalui tautan audio. Setiap kunci unik dikodekan sebagai jumlah dari frekuensi baris dan kolomnya sebagai ditunjukkan pada Tabel 1; kunci-kunci itu biasanya ditemukan di telepon keypad ditampilkan berkomentar.

**Table 1: DTMF Encoding**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Columns 1-4** | | |  |
| **Rows 1-4** | **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** |

DTMF (juga dikenal sebagai Touch-Tone) dikembangkan oleh Bell Labs dan digunakan oleh AT&T sebagai sinyal in-band sistem. DTMF adalah menggunakan peralatan tombol sentuh untuk melakukan panggilan, sistem ini dinamakan nada sentuh ( Touch Tone ) yang dikembangkan oleh Western Electric dan pertama kali digunakan oleh bell sistem. DTMF distandarisasi oleh ITU-T dengan recomendasi Q.23 dan dikenal di inggris dengan nama MF4. Menekan tombol 1 akan menghasilkan 1 nada sinusoida untuk setiap 2 buah frekuensi ( 697 Hz dan 1209 Hz ). Banyak nada yang berbeda menyebabkan system ini disebut dengan banyak frekuensi. Nada ini kemudian di decodekan oleh sentral switching untuk menentukan tombol mana yang telah ditekan. Standar Bellcore kemudian disempurnakan oleh International Telecommunication Union (ITU) [2] dengan batasan yang lebih ketat dalam toleransi frekuensi, daya, twist, dan talk-off, ditunjukkan pada Tabel 2.

**Table 2 : ITU recommendations**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Signal Frequencies | Low Group  High Group | 697,770,852,941  1209,1336,1477,1633 |
| Frequency  Tolerance | Operation  Non-operation | <= 1.5%  >= 3.5% |
| Signal Duration | Operation  Non-operation | 40 ms Minimum  23 ms Maximum |
| Signal Exceptions | Pause Duration  Signal Interuption | 40 ms maximum  10 ms minimum |
| Twist | Forward  Reverse | 8 dB  4 dB |
| Signal Strength | SNR  Power | 15 dB minimum  -26 dBm minimum |
| Talk-Off: 1 to 2 harmonic relation |  | > 30 dB |

Frekuensi dari nada DTMF telah didefinisikan oleh standarisasi yang dikenal dengan nama “ Precise Tone Plan ”, sehingga menurut standar tersebut “harmonics” dan “intermodulasi product” dari dua buah frekuensi yang berbeda tidak akan menghasilkan sinyal yang salah. Tidak ada frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi lainnya, perbedaan dan jumlah 2 frekuensi tidak sama dengan frekuensi yang lain. Frekuensi didesain dengan ratio 21/19, sehingga akan memiliki perbedaan yang tipis dengan keseluruhan nada DTMF yang lainnya. Frekuensinya pun tidak boleh bervariasi lebih dari + 1,8% dan - 1,8% dari frekuensi aslinya. Perbedaan kencangnya suara antar frekuensi rendah dan frekuensi tinggi di sebut dengan “ Twist “ dan hanya memiliki level 3 desibels saja. Durasi dari sebuah nada memiliki kisaran 70 ms, meskipun beberapa Negara memiliki standar 45 ms.

Tone Detection Background (Dibalik layar deteksi tone pada DTMF)

Deteksi nada didasarkan pada pengukuran energi dari isi spektral dari bin frekuensi yang sangat sempit. Untuk mengukur isi spektral suatu sinyal, baik Diskrit Fourier Transform (DFT) dan Fourier Cepat Fast Transform (FFT) dapat digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu diskrit nyata menjadi diskrit, kompleks, komponen domain frekuensi.

FFT sangat efisien ketika seluruh spektrum harus dihitung, tetapi memiliki beberapa kelemahan untuk DTMF deteksi:

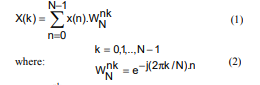
• memerlukan buffering dari banyak sampel

• jumlah sampel N harus pangkat 2

• frekuensi tengah garis spektral adalah bilangan bulat kelipatan fs/N, dan batasan yang dikenakan pada kemungkinan nilai N membatasi kecocokan antara ini saluran dan frekuensi DTMF.

Jika kurang dari log2N garis spektral harus dihitung, Solusi DFT lebih efisien [8][9][10]c,k,e], karena tidak ada informasi yang tidak perlu dihasilkan.

Definisi DFT titik-N adalah sebagai berikut:



 istilah mewakili vektor berputar kompleks, dimana  dan oleh karena itu  komputasi (pada dasarnya, korelasi antara sinyal input  dan sinusoida kompleks melibatkan banyak kompleks perkalian dan penambahan. Saat menggunakan DFT, jumlah sampel yang dianalisis tidak perlu pangkat 2, jadi N bisa dipilih jadi bahwa frekuensi pusat dari garis spektral  yang dianalisis cocok sekencang mungkin dengan frekuensi DTMF yang dinormalisasi.

Fitur positif lain dari DFT adalah bahwa  nilai dapat dihitung segera setelah setiap sampel tiba, membuat buffering tidak perlu. Meskipun pendekatan ini masih mengevaluasi blok data tetap, beberapa solusi baru telah diusulkan untuk DFT jendela bergerak.

Dari sudut pandang matematika, teori DFT mengasumsikan bahwa jendela sampel yang sedang dianalisis diulang dari minus tak terhingga ke plus tak terhingga, oleh karena itu k harus bilangan bulat untuk memastikan bahwa bilangan integral dari siklus tertutup di jendela. Kendala ini mungkin santai, seperti yang akan dibahas nanti.

Algoritma Goertzel

Seperti banyak penerima multi frekuensi lainnya, DTMF pada awalnya di decodekan dengan menggunakan “ Tuned Filter Banks “. namun kemajuan teknologi abad ke 20 telah menggantikan dengan metode baru yaitu dengan teknologi DSP ( Digital Signal Processing ). DTMF sekarang didecodekan dengan menggunakan Algoritma Goertzel.

Algoritma Goertzel adalah sebuah metode pengolahan sinyal digital yang digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen frekuensi dari sebuah sinyal. Ditemukan oleh Dr. Gerald Goertzel pada 1958 dengan menggunakan FFT ( Fast Fourier Transform ) algoritma untuk menghitung keseluruhan bandwidth 13 sebuah sinyal yang datang. Algoritma Goertzel melihat dengan spesifik pada frekuensi bandwith. Berikut adalah Algoritma Goertzel yang diaplikasikan untuk DTMF.



Algoritma Goertzel mengeksploitasi periodisitas dari vektor berputar  memungkinkan untuk mengevaluasi DFT sebagai operasi penyaringan linier (untuk matematika lengkap

demonstrasi lihat [10]).

Solusi ini menggantikan DFT dengan perhitungan filter IIR resonansi resonansi (Persamaan 3), dengan dua kutub menyala lingkaran satuan:



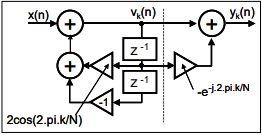
Realisasi bentuk II langsung dari filter ini mengarah ke berikut dua persamaan perbedaan:



Di mana dua poin penting dapat dicatat:

1. koefisien dari  adalah nyata, maka tidak ada kompleks produk diperlukan.
2.  tidak tergantung dari  nilai, akibatnya  hanya perlu dihitung sekali, ketika n = N

Dari sudut pandang implementasi perangkat keras, (Gambar 1) setiap langkah Goertzel (Persamaan 4) saja melibatkan penambahan 3 suku ditambah satu perkalian nyata; persyaratan buffering juga kecil, karena hanya dan yang hanya disimpan.



**Figure 1**. Hardware implementation

Jika hanya kehadiran nada yang harus dideteksi, fase komponen dari  menjadi tidak relevan, dan itu kuadrat amplitudo dapat dihitung sebagai gantinya. Hal ini menyebabkan Algoritma Goertzel yang Dimodifikasiî, di mana:



Perhitungan akhir dari Persamaan 6 melibatkan 4 produk dan 3 tambahan, dan dapat dievaluasi di luar perangkat yang dapat diprogram, karena throughput data yang diperlukan sangat rendah, hanya sekali setelah N sampel.

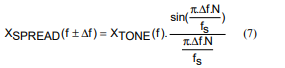
Design Criteria

Bagian ini menganalisis kriteria desain untuk N dan k nilai, dan resolusi numerik yang diperlukan untuk numerik perhitungan.

1. Tentang N

Karena terbatasnya jumlah sampel yang digunakan, maka spektrum sinyal sampel yang masuk berbelit-belit dengan spektrum jendela pengambilan sampel persegi panjang

Konvolusi ini menyebarkan energi setiap masuk nada XTONE di sekitar frekuensi asli f dengan sine() distribusi, sebagai berikut:



Hamburan ini kecil untuk nilai N yang lebih besar, karena nol pertama dari Persamaan 7 ditemukan ketika  dan di luar wilayah ini semua lobus lainnya lebih dilemahkan dari -14dB (Gambar 2). Perilaku ini harus dipertimbangkan untuk memenuhi batasan ITU untuk toleransi frekuensi.

Pembatasan lainnya terkait dengan ukuran jendela. Itu ITU menetapkan bahwa durasi nada minimum mungkin 40ms (320 sampel @8000 sampel/dtk); sebagai konsekuensi jendela maksimum harus lebih kecil dari 20 ms (160 sampel) untuk menjamin bahwa lengkap jendela tertutup dalam nada ini, dan yang lebih pendek Nada DTMF terdeteksi dengan benar. Solusi yang ditingkatkan mungkin memerlukan dua jendela berturut-turut 13.3ms (106 sampel) untuk mendeteksi nada yang valid, memberikan cara untuk membuang nada lebih pendek dari 23ms.

Meskipun algoritma DSP biasa tidak menggunakan ini fitur, N yang berbeda juga dapat digunakan untuk masing-masing frekuensi. Dalam hal ini, karena keluaran Goertzel   meningkat dengan N, dan ini fakta harus dipertimbangkan ketika amplitudo dan putaran adalah dievaluasi atau ukuran perangkat keras.