

Dasar Teori QWT

Watermarking Audio

Watermarking adalah proses menyembunyikan informasi untuk perlindungan konten atau verifikasi kepemilikan. Audio watermarking mengacu pada teknik yang digunakan untuk menyisipkan informasi rahasia atau tanda air dalam file audio. Proses watermarking audio digital melibatkan penyisipan watermark (penanda) ke dalam sinyal audio guna menandakan keaslian dan kepemilikan. Watermark audio ini berfungsi sebagai tanda pengenal atau pelacak yang tersembunyi dalam sinyal audio, yang dapat digunakan untuk tujuan identifikasi, keaslian, atau perlindungan hak cipta. Tujuan utama dari audio watermarking adalah untuk memberikan keamanan dan perlindungan terhadap pelanggaran hak cipta, pemalsuan, atau penyebaran ilegal konten audio. Dengan menyisipkan watermark pada audio, pemilik hak cipta atau pencipta dapat melacak dan memverifikasi keaslian konten mereka serta dapat membuktikan kepemilikan atau melacak sumber penyebaran ilegal. Proses audio watermarking melibatkan penyisipan informasi rahasia ke dalam sinyal audio dengan cara yang tidak terlalu terlihat atau terdengar oleh pendengar biasa. Watermark biasanya disisipkan pada frekuensi atau amplitudo yang tidak terlalu terlihat oleh telinga manusia atau mengganggu kualitas audio yang signifikan.

QRDA

Komputasi kuantum telah menjadi bidang penelitian yang populer sejak Feynman pertama kali mengusulkan komputer kuantum pada tahun 1982. Namun, sebagai bentuk informasi penting, audio kuantum hampir tidak pernah diteliti. Pada komputer klasik, audio digunakan dalam berbagai domain, seperti komunikasi seluler, voice over internet protocol (VoIP), konferensi telepon, musik, dan sebagainya. Pada komputasi kuantum, informasi dalam bentuk bit diubah dan disimpan dalam bentuk quantum bits (qubits). Quantum Representation of Digital Audio (QRDA) menggunakan dua urutan qubit untuk menyimpan amplitudo audio dan informasi waktu. Kedua urutan qubit keduanya dalam keadaan basis : $|0\rangle$ dan $|1\rangle$. Persamaan di bawah ini adalah representasi dari $|0\rangle$ dan $|1\rangle$

$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ dan } |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sedangkan persamaan berikut adalah formula superposisi dari $|0\rangle$ dan $|1\rangle$.

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Dimana $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$.

QRDA menggunakan dua urutan qubit untuk menyimpan amplitudo sampel dan informasi waktu, serta menyimpan seluruh audio digital dalam superposisi dari kedua urutan qubit tersebut. Oleh karena itu, persamaan di bawah ini adalah persamaan untuk mengubah sinyal audio digital klasik menjadi keadaan kuantum.

$$|A\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^l}} \sum_{T=0}^{2^l-1} |D_T\rangle \otimes |T\rangle$$

$$|T\rangle = |t_0, t_1 \dots t_{l-1}\rangle, t_i \in \{0, 1\}$$

$$|D_T\rangle = |D_T^0, D_T^1 \dots D_T^{q-2} D_T^{q-1}\rangle, D_T^i \in \{0, 1\},$$

$$l = \begin{cases} \lceil \log_2 L \rceil, & L > 1 \\ 1, & L = 1 \end{cases}$$

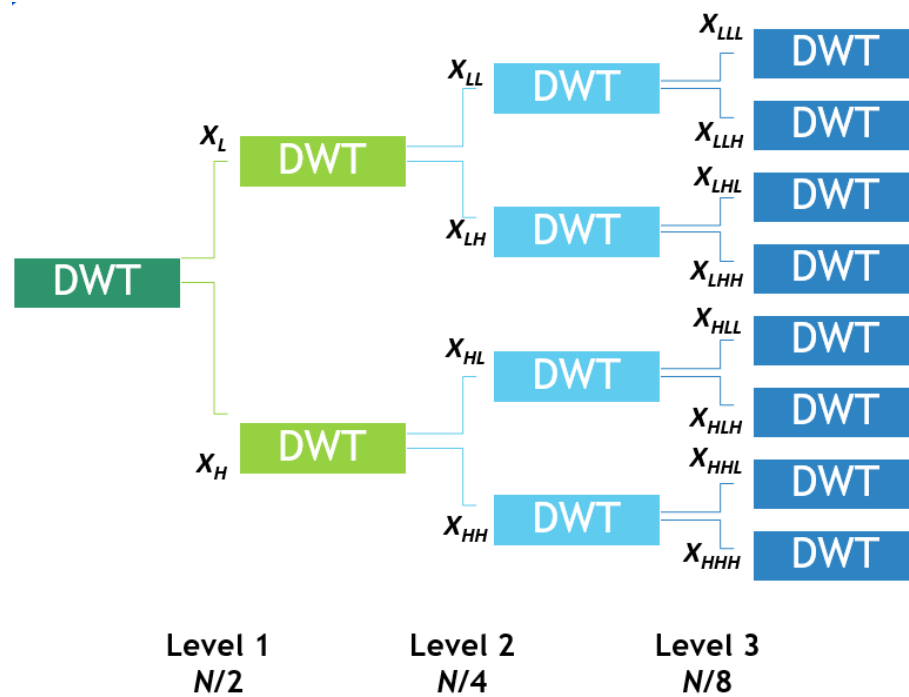
Wavelet Transform

Fast Wavelet Transform (FWT) adalah metode yang digunakan untuk mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain wavelet dengan cepat. FWT adalah versi cepat dari Transformasi Wavelet Diskrit (DWT) dan dikembangkan untuk mengurangi kompleksitas komputasi yang terkait dengan DWT. Persamaan ini adalah bentuk dari persamaan DWT.

$$Y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n]$$

$$Y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n]$$

Dari persamaan di atas, transformasi **DWT meloloskan sinyal yang akan dianalisis pada filter dengan frekuensi dan skala yang berbeda**. DWT akan membagi sinyal menjadi **low pass** dan **high pass**. Proses ini dinamakan dengan dekomposisi. Dekomposisi ini dapat dilakukan terus menerus hingga batas yang ditentukan (n-level). Level dekomposisi pada DWT mengacu pada jumlah rekursif transformasi yang dilakukan pada sinyal. Gambar 1 adalah bentuk dari dekomposisi pada transformasi wavelet.



Gambar 1. Level Dekomposisi dari DWT

Dengan menggunakan algoritma yang dioptimalkan, FWT dapat menghasilkan representasi wavelet dari sinyal dengan efisien dan akurat. FWT sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengolahan sinyal, kompresi data, deteksi sinyal, dan analisis data. Persamaan ini adalah bentuk dari persamaan FWT.

$$FWT(x) = C \cdot \begin{bmatrix} H \cdot x \\ L \cdot x \end{bmatrix}$$

Dimana C adalah matriks transformasi yang tergantung pada jenis wavelet yang digunakan. H dan L adalah matriks filter *high-pass* dan *low-pass* dari *wavelet*, dan x adalah sinyal input yang akan ditransformasikan.

Spread-Spectrum

Dalam banyak situasi, watermark (atau informasi tersembunyi) hanya dapat diakses dengan menggunakan kunci yang sesuai untuk menjaga kerahasiaannya. Seperti yang diharapkan, pengenalan distorsi pada sinyal induk selama penyisipan watermark tidak dapat dihindari, namun, biasanya diinginkan agar sinyal induk secara perseptual tidak dapat dibedakan dari aslinya setelah penyisipan watermark. Pada watermarking *spread spectrum*, hal ini dilakukan dengan menyebarkan distorsi ke banyak sampel sinyal, sehingga distorsi pada setiap sampel individu cukup kecil untuk tidak terlihat. Meskipun teknik ini umumnya digunakan di domain frekuensi sesuai dengan namanya, namun bisa juga digunakan di domain lainnya. Secara matematis, kita asumsikan bahwa kita akan menyisipkan suatu bit tunggal $b \in \{1, -1\}$ kepada sinyal host dengan urutan $x = x_1, x_2, \dots, x_N$. Menggunakan $k = k_1, k_2, \dots, k_N$ sebagai kunci watermark, yang mana dapat dipilih secara acak namun dapat dideteksi oleh watermark *detector*, dengan $k_i \in \{1, -1\}, 1 \leq i \leq N$. Biarkan $\Delta = \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ menjadi urutan penskalaan yang menentukan jumlah distorsi ditambahkan ke urutan host, dengan $\Delta_i \geq 0, 1 \leq i \leq N$. Maka, persamaan ini adalah bentuk persamaan dari sinyal yang telah disisipkan.

$$x'_i = x_i + b\Delta_i k_i, 1 \leq i \leq N$$

Attack

Proses penyerangan dalam penelitian ini digunakan dengan cara menambahkan derau pada sinyal audio yang telah disisipkan watermark dalam bentuk matriks melalui gerbang atau operator Pauli-X dan Pauli-Z. Kedua matriks tersebut merupakan informasi dasar operator kuantum. Operator Pauli-X bekerja dengan cara membalikkan nilai dari qubit pada watermark. Persamaan ini merupakan persamaan dari matriks Pauli-X.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Sedangkan gerbang Pauli-Z adalah gerbang satu-qubit yang menghasilkan rotasi fase sebesar π (atau pergeseran fase 180 derajat). Jika kita mempresentasikan sebuah qubit dalam notasi vektor kolom, gerbang Pauli-Z dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Tahapan pemberian serangan dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Proses pemberian serangan terjadi setelah proses penyisipan *watermark* dan sebelum proses konversi kuantum ke klasik.
2. Ukuran matriks disesuaikan ukuran audio setelah proses kuantum dan *wavelet*.
3. Pada proses serangan juga dimasukkan nilai probabilitas serangan sebagai tingkat kerusakan dalam proses serangan.

Parameter

1) Bit Error Rate (BER)

BER adalah parameter untuk mengalkulasikan bit error rate yang diterima oleh sistem setelah dilakukan ekstraksi pada *watermark*. Persamaan untuk BER dapat dilihat pada persamaan.

$$BER = \left(\frac{\text{Jumlah bit yang error}}{\text{Total bit}} \right) \times 100$$

2) Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR mengukur perbandingan antara kekuatan sinyal yang diinginkan (sinyal) dengan kekuatan sinyal yang tidak diinginkan (noise) dalam suatu sistem atau saluran komunikasi. SNR umumnya diukur dalam bentuk logaritmik atau dalam satuan desibel (dB). Semakin tinggi SNR, semakin baik kualitas sinyal dan semakin mudah untuk mendeteksi dan memisahkan sinyal dari noise. Sebaliknya, jika SNR rendah, noise dapat mengaburkan atau mempengaruhi sinyal dan membuatnya sulit diinterpretasikan. Cara dari menghitung SNR dapat dilihat pada persamaan.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_n [s_0(n)]^2}{\sum_n [s_w(n) - s_0(n)]^2}$$