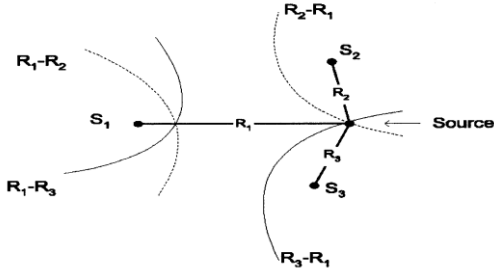


ALGORITMA LOKALISASI SUMBER SUARA

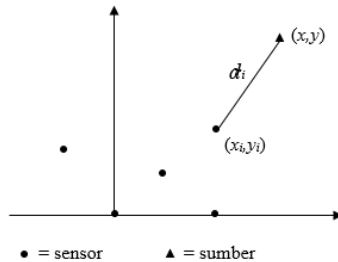
A. Algoritma TDOA

Algoritma Chan digunakan pada metode perbedaan waktu kedatangan. Jika diketahui TDOA dari sinyal sumber suara di antara dua buah mikrofon, diperlukan tiga buah mikrofon untuk menentukan lokalisasi sumber suara dalam bidang dua dimensi.



Gambar. 1. Prinsip lokalisasi TDOA

Dapat dilihat pada Gambar. 1 ketika perbedaan jarak dua mikrofon S_1 dan S_2 ke sumber suara (*Source*) yaitu $R_{21} = R_2 - R_1$, maka sumber suara harus berada pada hiperbola yang titik fokusnya ialah S_1 dan S_2 dan jarak fokusnya ialah R_{21} . Demikian juga, ketika didapatkan perbedaan jarak pasangan mikrofon lain antara S_1 dan S_3 ke *Source* yaitu $R_{31} = R_3 - R_1$, maka didapatkan dua pasang lintasan hiperbolik. Kedua hiperbola memiliki persimpangan, sehingga diperlukan langkah selanjutnya untuk mengestimasi posisi sumber suara.



Gambar. 2. Lokalisasi pada bidang dua dimensi

Asumsi indeks i dimulai dari 2 ke M , apabila sumber berada pada posisi yang tidak diketahui pada bidang dua dimensi (x, y) dan mikrofon pada posisi yang diketahui (x_i, y_i) seperti pada Gambar. 2 maka jarak kuadrat antara sumber dan sensor i ialah,

$$d_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \quad (1)$$

$$d_i^2 = K_i - 2x_i x - 2y_i y + x^2 + y^2 \quad (2)$$

dimana,

$$K_i = x_i^2 + y_i^2$$

jika c ialah kecepatan sinyal suara, maka TDOA dari mikrofon i dan mikrofon 1 ialah

$$d_{i,1} = ct_{i,1} = d_i - d_1 \quad (3)$$

Dengan substitusi persamaan sebelumnya pada $i = 1$, posisi sumber suara (x, y) dapat ditentukan dengan menggunakan tiga mikrofon

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} d_{2,1} \\ d_{3,1} \end{bmatrix} d_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ d_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (4)$$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (2) dengan $i = 1$ memberikan kuadrat pada d_1 . Dari hasil kuadrat tersebut lalu disubstitusi kembali ke persamaan (4), sehingga nilai kuadrat d_1 dapat diketahui. Nilai variabel-variabel yang belum diketahui ialah $d_{2,1}$ dan $d_{3,1}$ dapat diperoleh dari estimasi waktu tunda.

B. Algoritma DTOF

Algoritma Walworth digunakan pada metode DTOF. Jika diketahui perbedaan waktu terbang dari sinyal sumber suara di antara dua buah mikrofon, diperlukan empat buah mikrofon untuk menentukan lokalisasi sumber suara dalam bidang dua dimensi.

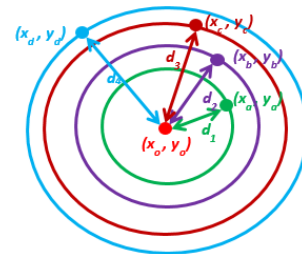
Apabila sumber suara terdapat pada titik koordinat (x, y) dan mikrofon terdapat pada titik (x_i, y_i) , maka jarak kuadrat antara sumber dan sensor i ialah,

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \quad (5)$$

atau

$$x_1^2 - 2x_1 x + x^2 + y_1^2 - 2y_1 y + y^2 = d_1^2 \quad (6)$$

Jika ditambahkan satu buah mikrofon pada bidang koordinat tersebut, maka terdapat persamaan hiperbola lain dengan jari-jari sebesar jarak sumber suara ke mikrofon kedua.



Gambar. 3. Desain sumber suara dengan empat mikrofon

Persamaan linier dengan tiga peubah yaitu x, y , dan d_1 dapat ditulis dalam satu buah persamaan matriks:

$$\begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) & -2(d_{2,1}) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) & -2(d_{3,1}) \\ 2(x_1 - x_4) & 2(y_1 - y_4) & -2(d_{4,1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ d_1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_1^2 S - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + d_{2,1}^2 \\ x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + d_{3,1}^2 \\ x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + d_{4,1}^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Pada sistem persamaan linier (7), nilai variabel-variabel yang belum diketahui ialah $d_{2,1}$, $d_{3,1}$, dan $d_{4,1}$ dapat diperoleh dari estimasi waktu tunda.

C. Estimasi Pengukuran Waktu Tunda

Pengukuran waktu tunda dilakukan dengan membandingkan metode korelasi silang dan korelasi silang umum yang terdiri dari *phase transform*, *maximum likelihood*, *roth processor*, dan *smoothed coherence transform*.

1) Korelasi Silang

Perbedaan waktu kedatangan atau TDOA adalah perbedaan waktu tempuh gelombang suara dari satu buah sumber suara ke dua buah mikrofon yang memiliki jarak berbeda antara sumber ke masing-masing mikrofon.

Jika diasumsikan terdapat M sensor dalam hal ini ialah mikrofon yang diletakan secara sembarang (*arbitrary array*) dalam bidang dua dimensi. Pengamatan mikrofon pada i menjadi,

$$u_i(k) = s(k - t_i) + n_i(k), \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

dimana, $s(k)$ ialah sinyal dari sumber suara, t_i ialah waktu tunda dengan i sebagai mikrofon penerima dan $n_i(k)$ ialah derau aditif [5]. Untuk mengetahui lokalisasi sumber suara, diperlukan terlebih dahulu nilai estimasi TDOA pada sinyal mikrofon.

$$t_{i,1} = t_i - t_1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (9)$$

Untuk memperoleh waktu tunda dari dua sinyal yang diperoleh oleh mikrofon, digunakan fungsi korelasi silang. Fungsi korelasi silang antara dua fungsi kontinu $f(t)$ dan $g(t)$ didefinisikan sebagai

$$(f \star g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\tau) g(t + \tau) d\tau \quad (10)$$

Waktu tunda antara dua sinyal Δt dapat diperoleh dengan mencari nilai t yang menyebabkan nilai korelasi silangnya maksimum.

$$\Delta t = \underset{t}{\operatorname{argmax}} (f \star g)(t) \quad (11)$$

Waktu tunda ini dianggap berbanding lurus secara linier dengan selisih jarak dengan konstanta pembandingan sebesar k , yang diperoleh dari eksperimen dan regresi linier. Dengan memperhitungkan faktor *intercept* dari regresi linier (e), hubungan TDOA dan selisih jarak dinyatakan sebagai berikut,

$$d_{i,1} = k\Delta t_{i,1} + e, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (12)$$

2) Phase Transform

Metode ini dapat diklasifikasikan sebagai metode Korelasi Silang Umum. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut

$$R_{r1rm}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_p(f) G_{r1rm}(f) e^{j2\pi f\tau} df \quad (13)$$

dengan fungsi pembobotan,

$$\psi_p(f) = \frac{1}{|G_{r1rm}(f)|} \quad (14)$$

di mana $G_{r1rm}(\tau)$ adalah spektrum silang dari sinyal yang diterima dan $\psi_p(f)$ adalah fungsi PHAT pembobotan. Maka waktu tunda diperoleh

$$D_{1m} = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} [R_{r1rm}] \quad (15)$$

Seperti dapat diamati, dalam metode korelasi silang ini dihitung dalam domain frekuensi [1].

3) MaximumLikelihood

ML fungsi pembobotan berorientasi untuk meningkatkan akurasi estimasi waktu delay dengan cara pelemahan sinyal yang dimasukkan ke dalam correlator di daerah spektral. Metode ini dapat diwakili oleh persamaan

$$R_{r1rm}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{ML}(f) G_{r1rm}(f) e^{j2\pi f\tau} df \quad (16)$$

dengan fungsi pembobotan $\psi_{ML}(f)$ ialah

$$\psi_{ML}(f) = \frac{1}{|G_{r1rm}(f)|} \frac{|Y_{r1rm}(f)|^2}{1 - |Y_{r1rm}(f)|^2} \quad (17)$$

di mana $|Y_{r1rm}(f)|^2$ ialah yang magnitudo tanggapan koherensi kuadrat

$$|Y_{r1rm}(f)|^2 = \frac{|G_{r1rm}(f)|^2}{G_{r1r1}(f) \cdot G_{rmrm}(f)} \quad (18)$$

4) Roth Processor

Metode yang termasuk kedalam klasifikasi metode Korelasi Silang Umum ialah metode Roth Processor, dengan fungsi pembobotan

$$\psi_{ROTH}(f) = \frac{1}{G_{r1r1}(f)} \quad (19)$$

dan kemudian, $R_{r1rm}(\tau)$ dapat dinyatakan sebagai:

$$R_{r1rm}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_{r1rm}(f)}{G_{r1r1}(f)} e^{j2\pi f\tau} df \quad (20)$$

5) Smoothed Coherence Transform

Metode lain dalam klasifikasi metode Korelasi Silang Umum ialah metode SCOT. Dengan fungsi bobot

$$\psi_{SCOT}(f) = \frac{1}{\sqrt{G_{r1r1}(f) \cdot G_{rmrm}(f)}} \quad (21)$$

Metode SCOT dapat dianggap sebagai filter pre pemutih yang diikuti oleh korelasi silang.