

Kierunek: **Informatyka algorytmiczna (INA)**

PRACA DYPLOMOWA
MAGISTERSKA

**Mechanizm multilateracji w
rozproszonej sieci sensorów audio**

**Multilateration mechanism in
distributed net of audio sensors**

Gabriel Budziński

Opiekun pracy
dr inż. Przemysław Błaśkiewicz

Słowa kluczowe: multilateracja, sensory audio, synchronizacja czasu

Streszczenie

Problem pozycjonowania w przestrzeni na podstawie emitowanego dźwięku obiektu pozycjonowanego wiąże się z wykorzystaniem możliwie zsynchronizowanych w czasie węzłów (mikrofonów) i pomiarze różnic czasu odbioru dźwięku przez czujniki. W pracy zostanie zbudowana sieć (co najmniej 4 sztuki) sensorów audio połączonych bezprzewodowo między sobą i ze stacją główną. Zadaniem sieci będzie wskazanie lokalizacji w przestrzeni punkowego przedmiotu emitującego dźwięk. Oprócz wyboru i implementacji algorytmu multilateracji zaproponowane zostanie rozwiązanie problemu synchronizacji czasu między sensorami, minimalizacji opóźnień w komunikacji oraz kalibracji systemu.

Słowa kluczowe: multilateracja, sensory audio, synchronizacja czasu

Abstract

The problem of positioning in space based on the emitted sound of the positioned object involves the use of as closely synchronized nodes (microphones) as possible in time and measuring the differences in the time of sound reception by sensors. In the work, a network (of at least 4 units) of audio sensors connected wirelessly to each other and to the main station will be built. The network's task will be to indicate the location in space of a point-like object emitting sound. In addition to selecting and implementing the multilateration algorithm, a solution to the problem of time synchronization between sensors, minimizing communication delay, and system calibration will be proposed.

Keywords: multilateration, WASN, clock synchronization

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| 1. Przedstawienie problemu | 8 |
| 1.1. State of the art | 9 |
| 2. Sprzęt systemowy | 10 |
| 2.1. Węzeł | 10 |
| 2.2. Serwer MQTT | 10 |
| 2.3. Serwer obliczeniowy | 10 |
| 3. Eksperyment zerowy | 11 |
| 3.1. Opis działania | 11 |
| 3.1.1. Program węzła | 11 |
| 3.1.2. Program serwera | 11 |
| 3.1.3. Opis algorytmu | 11 |
| 3.2. Ewaluacja działania systemu | 11 |
| 3.3. Interpretacja wyników i wnioski | 11 |
| 4. Synchronizacja czasu | 12 |
| 4.1. Synchronizacja programowa | 12 |
| 4.1.1. Algorytm synchronizacji NTP | 12 |
| 4.1.2. Pomiar różnic zegarów | 12 |
| 4.2. Synchronizacja sprzętowa | 12 |
| 4.2.1. Synchronizacja z użyciem mikrofonów | 12 |
| 5. Metody multilateracji | 13 |
| 5.1. Omówienie zastosowanych metod | 13 |
| 5.1.1. Układ równań liniowych | 13 |
| 5.1.2. Liniowa metoda najmniejszej sumy kwadratów | 13 |
| 5.1.3. Nieliniowa metoda najmniejszej sumy kwadratów | 13 |
| 5.1.4. Rozkład według wartości osobliwych (SVD) | 13 |
| 5.2. Wyniki | 13 |
| 5.2.1. Interpretacja | 13 |
| 5.2.2. Wnioski | 13 |
| 6. Podsumowanie | 14 |
| Literatura | 15 |

Spis rysunków

| | |
|----------------------|---|
| 1.1. short | 8 |
|----------------------|---|

Spis tabel

Spis listingów

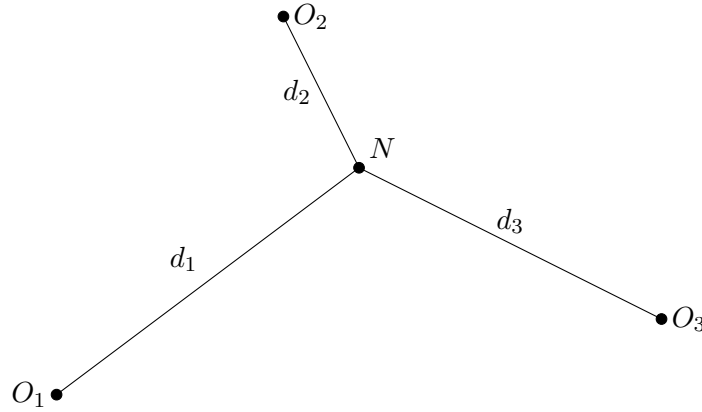
Skróty

WASN (ang. *Wireless Audio Sensor Networks*)

Rozdział 1

Przedstawienie problemu

Multilateracja jest techniką lokalizacji pozwalającą obliczyć nieznane koordynaty punktu na podstawie odległości od innych, znanych punktów. Weźmy dwuwymiarowy egzemplarz naszego problemu (Rys. 1.1), gdzie N - nadajnik, O_i - odbiorniki, d_i - odległości



Rys. 1.1: Egzemplarz problemu multilateracji

Znalezienie koordynatów (x, y) punktu N jest równoważne z rozwiązaniem układu równań,

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (1.1)$$

który może zostać przekształcony do postaci

$$\begin{cases} (x^2 + y^2) - 2x_1x - 2y_1y = d_1^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ (x^2 + y^2) - 2x_2x - 2y_2y = d_2^2 - x_2^2 - y_2^2 \\ (x^2 + y^2) - 2x_3x - 2y_3y = d_3^2 - x_3^2 - y_3^2 \end{cases} \quad (1.2)$$

lub w reprezentacji macierzowej,

$$\begin{bmatrix} 1 & -2x_1 & -2y_1 \\ 1 & -2x_2 & -2y_2 \\ 1 & -2x_3 & -2y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^2 + y^2 \\ x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 - x_1^2 - y_1^2 \\ d_2^2 - x_2^2 - y_2^2 \\ d_3^2 - x_3^2 - y_3^2 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

którą można przedstawić jako

$$A \cdot x = b \quad (1.4)$$

Uogólniona forma równania macierzowego problemu multilateracji dla przestrzeni n -wymiarowej i m odbiorników:

$$\begin{bmatrix} 1 & -2\mathbf{x}^{(1)} \\ 1 & -2\mathbf{x}^{(2)} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -2\mathbf{x}^{(m)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 - \sum_{i=1}^n x_i^{(1)2} \\ d_2^2 - \sum_{i=1}^n x_i^{(2)2} \\ \vdots \\ d_m^2 - \sum_{i=1}^n x_i^{(m)2} \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

1.1. State of the art

Napisać coś o [1],[2]

Rozdział 2

Sprzęt systemowy

Znaczna większość prac adresujących temat multilateracji opiera się na systemach urządzeń działających w zakresie fal elektromagnetycznych ([1],[2],[3]). W tej pracy poświęcimy uwagę systemowi działającemu w domenie dźwięku, jak ten aspekt wpływa na skuteczność i dokładność rozwiązania problemu multilateracji.

2.1. Węzeł

2.2. Serwer MQTT

2.3. Serwer obliczeniowy

Rozdział 3

Eksperyment zerowy

3.1. Opis działania

3.1.1. Program węzła

3.1.2. Program serwera

3.1.3. Opis algorytmu

3.2. Ewaluacja działania systemu

3.3. Interpretacja wyników i wnioski

Rozdział 4

Synchronizacja czasu

4.1. Synchronizacja programowa

4.1.1. Algorytm synchronizacji NTP

4.1.2. Pomiar różnic zegarów

4.2. Synchronizacja sprzętowa

4.2.1. Synchronizacja z użyciem mikrofonów

Rozdział 5

Metody multilateracji

5.1. Omówienie zastosowanych metod

5.1.1. Układ równań liniowych

5.1.2. Liniowa metoda najmniejszej sumy kwadratów

5.1.3. Nieliniowa metoda najmniejszej sumy kwadratów

5.1.4. Rozkład według wartości osobliwych (SVD)

5.2. Wyniki

5.2.1. Interpretacja

5.2.2. Wnioski

Rozdział 6

Podsumowanie

Literatura

- [1] W. Hereman, “Determination of a position in three dimensions using trilateration and approximate distances,” *Colorado School of Mines*, 1995.
- [2] A. Norrdine, “An algebraic solution to the multilateration problem,” in *Proceedings of the 15th international conference on indoor positioning and indoor navigation, Sydney, Australia*, vol. 1315, 2012.
- [3] S. Wiszniewski, O. Błaszkiwicz, A. Olejniczak, J. Sadowski, and J. Stefański, “Implementation of the innovative radiolocalization system vcs-mlat (voice communication system – multilateration),” in *2020 Baltic URSI Symposium (URSI)*, pp. 95–99, 2020.