

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE RUÍDOS BASEADO EM REDES DE
SENSORES SEM FIO

Bolsista: Renato Pacheco Vieira, CNPq

MANAUS

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL

PIB-E-0008/2010

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO DE RUÍDOS BASEADO EM REDES DE
SENSORES SEM FIO

Bolsista: Renato Pacheco Vieira, CNPq

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Souto

MANAUS

2011

A localização de fontes sonoras é um desafio que têm aplicações nas mais diversas áreas como robótica, monitoramento, segurança e sistemas de vídeo-conferência. Motivado nestas aplicações, o propósito deste trabalho é implementar e avaliar algumas técnicas de localização de ruídos que possam ser utilizado como base para outros sistemas mais complexos como o monitoramento de animais, reconhecimento de sons, segurança de ambientes, entre outros. Neste contexto, este trabalho apresenta um sistema de localização de fontes de ruídos baseado em arranjo de microfones. A metodologia utilizada para a localização de ruídos é composta pelos seguintes passos: captação do som utilizando um arranjo de microfones devidamente espaçado com distâncias e posições conhecidas, aplicação de um algoritmo para determinar a diferença de tempo de chegada (TDOA) e, a partir destes passos, estimar a localização utilizando um sistema de equações. Com isso é possível calcular a posição da fonte emissora. Os algoritmos que compõem essa seqüência de passos foram implementados com base no software ALSA (Advanced Linux Sound Architecture), componente do Linux que se comunica de forma direta com os módulos do kernel responsáveis pela interação com o hardware de áudio presente no computador. Devido aos altos custos de aquisição, o hardware utilizado neste projeto de pesquisa (microfones, interfaces USBs, Hub USB e placa de som) agravou o problema de sincronização e inviabilizou a obtenção de resultados confiáveis. As avaliações preliminares realizadas mostraram que o uso de hardware adequado (microfones e placas de sons) e algoritmos mais precisos são fundamentais minimizar os problemas de sincronização encontrados durante a execução deste projeto de pesquisa.

Palavras chave: Arranjo de microfones; Localização de ruídos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Sensores Acústicos	6
2.2. Estimação da Distância ou Ângulo	6
2.3. Computação da Posição	7
2.4. Algoritmo de Estimativa de Posição	8
3. MÉTODOS UTILIZADOS	9
3.1. Captação de Som	9
3.2. Diferença de Tempo de Chegada (TDOA)	9
3.3. Estimativa da Posição do Ruído	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	11
4.1. Experimentos	11
4.2. Lições Aprendidas	13
4.2.1. Hardware	14
4.2.2. Sincronização de dispositivos	14
4.2.3. Buffer e coleta em tempo real	14
4.2.4. Precisão dos métodos Implementados	15
5. Considerações Finais	16
FONTES E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
APÊNDICE A - CRONOGRAMA EXECUTADO	19

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, redes de sensores sem fio (RSSFs) têm sido utilizadas em vários domínios de aplicação: monitoramento de animais, aplicações de saúde, controle de veículos, sistemas de segurança, entre outros. A maioria dessas aplicações requer algum tipo de conhecimento sobre localização, por exemplo, para registrar as coordenadas da informação amostrada, reconhecer a posição de um objeto, ou detectar a proximidade. Na maioria dos casos, os sistemas utilizados nestas aplicações são baseados em nós sensores, equipados com sensores de captação de sons (ruídos), distribuídos ao longo da área de interesse. Essa abordagem requer que algoritmos de localização que trabalhem de forma distribuída, por meio de múltiplos saltos, para difundir as informações de localização entre os nós na rede. Contudo, em todas as aplicações de sistemas distribuídos, tais como as citadas acima para RSSF, identifica-se a necessidade de se alinhar temporalmente (sincronizar) os dados adquiridos pelos diversos sensores (em nosso caso, diversos microfones). A maioria dos trabalhos de localização de sons em RSSF têm sido propostos usando a abordagem distribuída de sensores [7][10][11][21]. Diferentemente destes trabalhos e para tentar minimizar o problema de sincronização, este projeto de pesquisa faz uso de arranjo de microfones.

A utilização de arranjo de sensores para a localização de fontes emissoras de ruídos tem despertado grande interesse no meio científico por sua vasta gama de utilização [3][4][12][13][14][15][16]. Entre as quais estão os sistemas de teleconferência com detecção automática de interlocutor [13][14], monitoramento de segurança [4], localização de animais em florestas [12], classificação de ruídos [13], entre outros.

Segundo D. Zhen[4], um arranjo de microfones pode produzir um retrato mais detalhado da origem do som. Neste trabalho, a localização sonora é baseada no emprego de múltiplos sensores, colocados em posições diferentes para captar a origem do som. Como o som viaja em velocidade constante, se a localização dos sensores for conhecida, o sinal captado pode ser usado para calcular a possível localização da origem.

Este trabalho visa pesquisar e implementar métodos eficientes em localização de sons usando redes de sensores. O objetivo é investigar algoritmos de baixa complexidade que resolvam problemas como localização sonora, sincronização de nós em face do problema abordado, e fusão de dados (sons) enviados por diferentes nós sensores.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 fornece uma revisão bibliográfica. A metodologia do trabalho é apresentada na Seção 3. Na Seção 4 são esclarecidas as definições mais específicas não apresentadas na seção anterior e os resultados dos experimentos mais a discussão desses resultados obtidos. Por fim concluímos o trabalho na seção 5.

2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Localizar fontes de ruídos consiste em: *i)* captar um sinal de som através de um ou mais sensores acústicos separados por uma distância; *ii)* estimar a distância e/ou ângulo do sinal; *iii)* computar a posição e; *iv)* utilizar um algoritmo para obter a localização do ruído emitido. Esta seção descreve resumidamente alguns dos trabalhos relacionados às quatro etapas citadas.

2.1. Sensores Acústicos

O processo de captura de sinais acústicos é realizado por sensores acústicos (microfones) que podem ser utilizados em diversas topologias como linha [2][4][9][13][14], círculo ou arranjos tridimensionais [1][8], ou com redes de sensores distribuídos [6][7][10][11].

Dentre estes se destacam os arranjos [1][2][3][4][5][8][9][13][14][15]. Quando se usa arranjo de microfones, as distâncias entre os microfones ou as posições absolutas dos microfones devem ser conhecidas.

2.2. Estimação da Distância ou Ângulo

Diferentes métodos podem ser usados para estimar a distância/ângulo do sinal. Alguns são muito precisos, porém têm um custo computacional alto, enquanto outros são menos precisos, mas podem ser utilizados facilmente por grande parte dos sensores. Os principais métodos utilizados para estimar a distância são: indicador da força do sinal recebido (em inglês RSSI -Received Signal Strength Indicator), tempo/diferença do tempo de chegada (TOA/TDoA - Time [Difference] of Arrival) e ângulo/direção de chegada (AoA/DoA - Angle/Direction of Arrival).

- a) Indicador de Força do Sinal (RSSI)(Boukerche,2007): baseia-se na força com que o sinal chega nos nós sensores. O RSSI indica a perda de potência de um sinal ao viajar pelo espaço, portanto com base nesse indicativo é possível estimar a distância do emissor ao nó receptor. A vantagem deste método é a sua simplicidade, no entanto é muito suscetível a interferência. Contudo, este método não poderá ser empregado neste trabalho, pois não há como determinar a força do sinal gerado pela fonte emissora do ruído que pode ser gerado por qualquer evento como uma moeda caindo no chão, uma porta batendo, um tiro de revólver, etc.
- b) Tempo ou Diferença do Tempo de Chegada (ToA/TDoA) (Wang,2007), (Williams,2006), (Mahajan,2002), (Valin, 2003) : ambos baseiam-se no tempo de

chegada do sinal nos receptores. Como este trabalho trata de arranjo de microfones, a distância é diretamente proporcional ao tempo que o sinal leva para sair de um ponto (fonte emissora) e ser captado pelos múltiplos microfones. Como o sinal trafega à velocidade do som ($\approx 340\text{m/s}$), a diferença de tempo de chegada do sinal de um par de microfones pode ser usada para computar a posição da emissor da fonte emissora do ruído.

- c) Ângulo ou Direção de Chegada (AoA/DoA), (Tellakulla,2007), (Boukerche,2010): Uma das mais conhecidas técnicas para estimar a distância é a utilização do ângulo de chegada (AOA- Angle Of Arrival), ou seja, o cálculo do ângulo com que determinado sinal chega às antenas. O AoA é determinado pela variação da fase dos sinais recebidos ao longo de um grupo de antenas (microfones). A diferença de fase do sinal entre antenas desse grupo resulta em ângulos recebidos, e isto pode ser referência da posição do móvel em relação a qualquer direção fixa. O conhecimento do AoA de pelo menos dois receptores fornece a informação necessária para a localização da fonte do sinal. Pode-se aumentar a precisão com o acréscimo de bases receptoras.

2.3. Computação da Posição

A partir do momento que se obtém a informação sobre distância e/ou ângulo é possível estimar a posição de um evento usando um dos métodos listados a seguir:

- a) Trilateração e multilateração: a trilateração é usada quando são conhecidas as posições de três referências e as distâncias delas até o ponto que se deseja estimar. Cada referência tem um círculo de atuação cujo centro é a posição (x, y) do sensor, o círculo formado pela posição e distância para cada um dos sensores pode ser representado pela fórmula: $(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2 = d_i^2$, onde (\hat{x}, \hat{y}) é a localização do ruído e d_i é a distância da fonte para cada sensor. Dessa forma teremos um sistema de equação que pode ser resolvido facilmente. A multilateração, ou posicionamento hiperbólico, é similar à trilateração, porém considera os pontos de interseção de parábolas ao invés de círculos, e utiliza a diferença de tempo de chegada entre as referências. São utilizadas normalmente mais de três referências para o cálculo da posição.
- b) Triangulação: diferentemente da Trilateração e da Multilateração, este método utiliza informações de ângulos. Baseado nos ângulos formados entre cada uma das três posições fixas pré-determinadas com o ponto desconhecido é possível estimar a posição do ponto utilizando técnicas e relações trigonométricas

- c) Abordagens Probabilísticas: nas abordagens probabilísticas, a solução do cálculo de posição não retorna um único ponto, como nos casos anteriores, mas sim um conjunto de pontos e suas probabilidades de serem a posição real [18]. Existem diferentes métodos propostos como o uso de abordagens estatísticas como máxima verossimilhança [2][10], mínimos quadrados[2][10][11] entre outros.

2.4. Algoritmo de Estimativa de Posição

É o componente principal do sistema de localização, determina como as informações obtidas nas etapas anteriores poderão ser manipuladas, de forma a obter uma localização estimada da fonte emissora do ruído. Existem diversos algoritmos propostos na literatura para estimativa de posição, dentre os quais podemos destacar:

- a) Sistema de Posicionamento Global [19] (GPS): O GPS é um algoritmo distribuído que necessita da infra-estrutura provida pelos satélites. Consiste em um sistema formado por 24 satélites em operação que orbitam a terra. Cada satélite realiza duas rotações completas por dia, suas órbitas foram definidas de modo que sempre haja, em qualquer lugar da terra, pelo menos quatro satélites “visíveis” no céu. Um receptor GPS é um equipamento capaz de receber as informações constantemente enviadas pelos satélites, estimar sua distância utilizando TDOA e, enfim calcular sua posição utilizando trilateração. Uma das soluções mais simples para localização consiste em acoplar um receptor GPS em cada sensor.
- b) Sistema de Posicionamento Ad Hoc[20] (APS): é um algoritmo distribuído em que um número reduzido de sensores ficam próximos ao evento, cada sensor estima sua posição quanto ao evento de forma distribuída. Uma vez calculada as posições o nós podem calcular a posição através da multilateração.
- c) Estimação Recursiva da Posição [21] (RPE): neste algoritmo, os sensores calculam a posição do evento com base apenas em um conjunto pequeno de sensores. As informações de localização vão aumentando iterativamente conforme os sensores calculam a sua posição. É um algoritmo distribuído sem a necessidade de infra-estrutura, propicia posicionamento absoluto.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

A metodologia adotada neste trabalho para estimar a localização de ruídos é baseada na captura de ruídos dos ambientes através de um conjunto de sensores (microfones). A partir da captura de dados do ambiente são calculadas as diferenças de tempo de chegada (TDOA) do sinal captado pelos microfones. Tais diferenças são usadas como entrada para o cálculo da estimativa da posição do ruído, conforme ilustrado na figura 1.

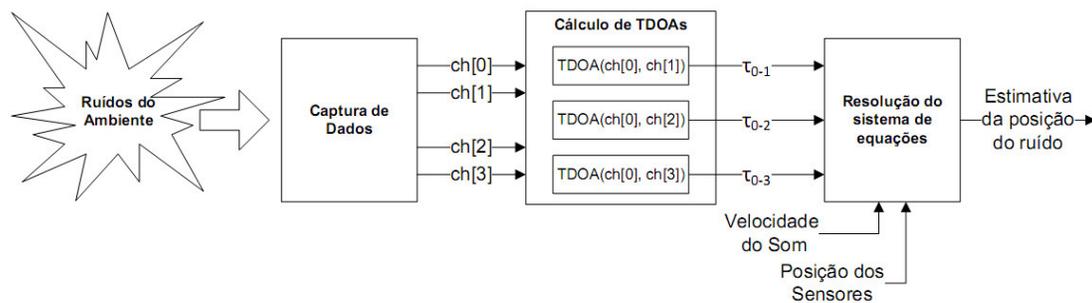


Figura 1 – Etapas da metodologia adotada

Para validar a metodologia adotada foi desenvolvido um programa em C sobre a plataforma ALSA, componente do kernel do Linux, utilizando sua API para capturar sons. A partir desta captura, foram implementados os algoritmos necessários para o cálculo da estimativa de localização. As seções seguintes apresentam detalhes de implementação de um protótipo utilizando a metodologia apresentada.

3.1. Captação de Som

Para capturar o som ambiente foi utilizado um arranjo de quatro microfones comerciais de marca genérica, com suas posições determinadas, conectados a um computador através de placas de som USB. Cada microfone coleta janelas (buffers) de tamanho e em período pré-determinados. Quando ocorre um ruído (pico de som), inicia-se o processo de localização. Os sinais são armazenados em buffers que são utilizados para o cálculo da diferença de tempo de chegada.

3.2. Diferença de Tempo de Chegada (TDOA)

Um dos componentes principais para qualquer sistema de localização é a estimativa da distância e ou ângulo entre a fonte (emissor do ruído) e destino. Como

mencionado no Capítulo 2, existem diferentes métodos para estimar tais informações como o indicador da força do sinal (RSSI), a diferença do tempo de chegada do sinal (TDOA), e o ângulo ou direção de chegada do sinal (AoA).

Este trabalho emprega a estimativa baseada na diferença de tempo de chegada entre dois microfones como informação para calcular a distância para o evento (ruído). Este método realiza cálculos entre dois sinais, ou seja, entre as amostras de som de dois microfones i e j , e resulta num terceiro vetor. O índice cujo que contém o valor máximo deste vetor é a estimativa da TDOA.

Obtendo a estimativa para a diferença de tempo de chegada entre três pares de microfones, temos como aplicar o método de estimativa da posição do ruído descrito abaixo.

3.3. Estimativa da Posição do Ruído

Quando um nó possui informações suficientes sobre a distância e/ou ângulo e posições, ele pode estimar a posição do ruído observado. Como mencionado no Capítulo 2, existem diferentes métodos para computar a posição de um evento tais como trilateração, multilateração, triangulação, posição central, entre outros.

Este trabalho adotou o método descrito por Mahajan (2001) que utilizadas informações de diferença de tempo de chegada (TDOA) entre os pares de microfones, posições dos microfones, e a velocidade constante do som para estimar a posição da fonte emissora do ruído. A estimativa da posição então é feita através da técnica de multilateração, obtendo um resultado a partir da resolução de um sistema de equações lineares, conforme detalhado no Apêndice A.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta alguns experimentos preliminares e discute algumas lições aprendidas durante a execução dos experimentos.

4.1. Experimentos

Com a conclusão da implementação de um protótipo da metodologia descrita na Seção 3, iniciou-se a execução de um conjunto de experimentos. Após as análises iniciais dos resultados observou-se que os erros de localização variavam muito e de maneira imprevisível, impossibilitando a obtenção de uma estimativa precisa. Todas as análises mostravam que o problema era altamente influenciado pela imprecisão das estimativas do cálculo da distância, que resultavam em erros grandes de localização ao final do algoritmo.

Assim, foram feitos experimentos para verificar a sincronização dos microfones. Os problemas de sincronização serão descritos na Seção 4.2.2.

O objetivo deste experimento é analisar se a diferença de tempo de chegada observada entre os sinais captados pelos microfones está condizente com o modelo de propagação de ondas. Isto será verificado se houver atraso extra entre os microfones por causa de problemas de sincronização. Para alcançar este objetivo, foi realizada uma comparação entre a TDOA calculada manualmente a partir de trigonometria, e a TDOA existente entre os sinais captados, através da análise das formas de onda em função do tempo em cada canal.

Para este experimento foram utilizados um arranjo composto por 04 microfones. Um evento (barulho de estalar de dedos) foi gravado para simular um ruído. Um diagrama esquemático do experimento é ilustrado na Figura 2.

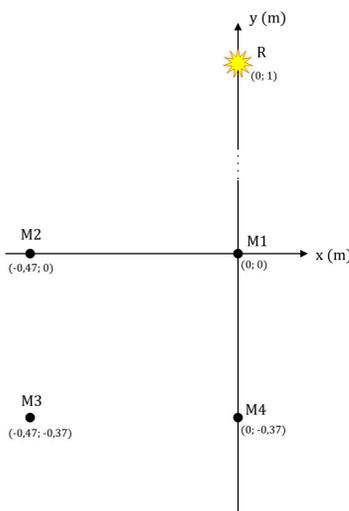


Figura 2 - Diagrama esquemático do experimento.

Calculando as TDOAs ideais entre os microfones 1-2, 1-3 e 1-4 através de trigonometria, encontram-se os resultados na Tabela 1.

$\tau_{ideal_{12}}$	0,253 ms
$\tau_{ideal_{13}}$	1,285 ms
$\tau_{ideal_{14}}$	1,078 ms

Tabela 1. Cálculo da TDOA obtida manualmente

Para avaliar a forma de onda do ruído captado nos quatro canais foi utilizado o software livre Audacity. O gráfico da Figura 3 mostra os sinais capturados após a execução do ruído. A Figura 4 mostra uma visão ampliada destes sinais. Analisando os gráficos e medindo as diferenças de tempo a partir da Figura 4, obtemos os resultados de TDOAs entre os microfones na Tabela 2.

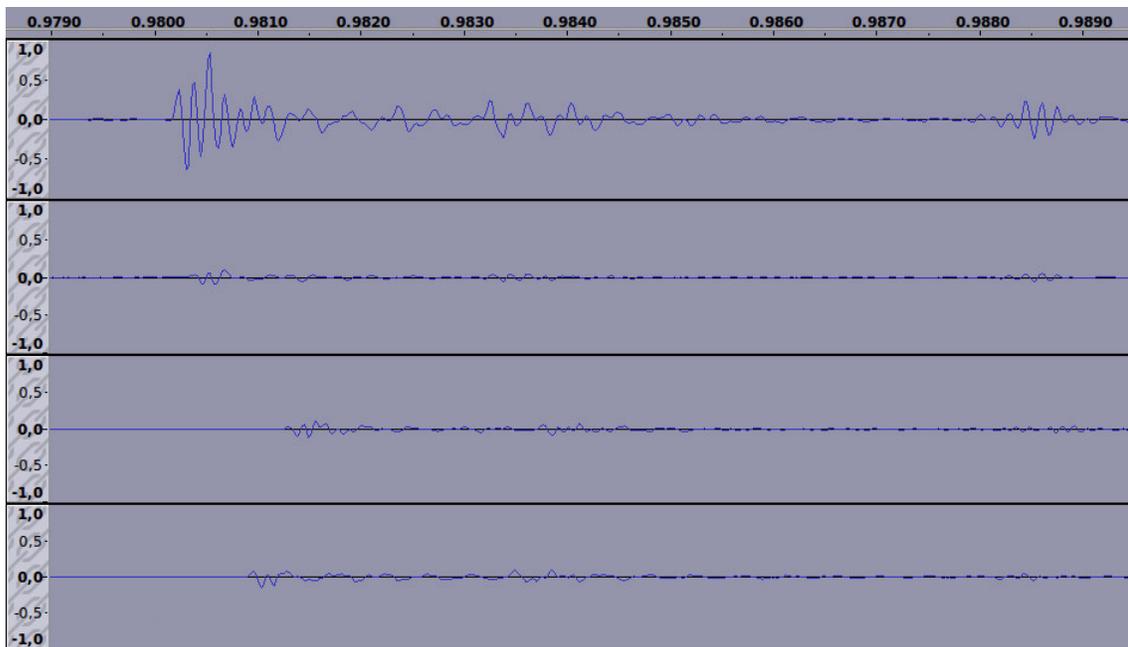


Figura 3 – Forma de onda de um estalo de dedos conforme captado por quatro canais pelo Audacity, software livre de gravação de áudio digital. Escala em 0,5 ms por divisão.

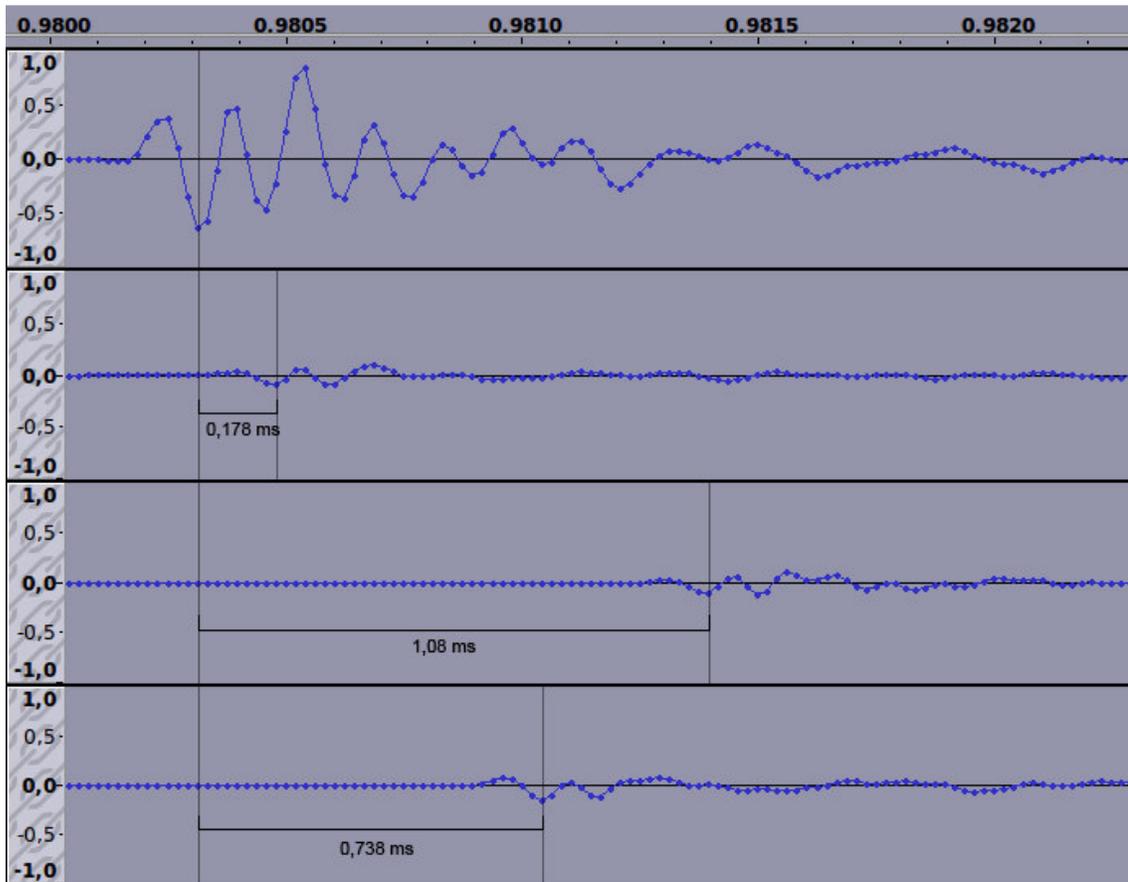


Figura 4 – Forma de onda ampliada da Figura 2. Escala: 0,1 ms por divisão.

τ_{12}	0,178ms
τ_{13}	1,080ms
τ_{14}	0,738 ms

Tabela 2. Cálculo do TDOA a partir de dados fornecidos pela ferramenta Audacity.

Estes experimentos foram repetidos 30 vezes e em todas as repetições os resultados obtidos comprovam um sério problema com a sincronização dos microfones utilizados em nossos experimentos.

4.2. Lições Aprendidas

Esta seção apresenta as lições aprendidas com o processo de pesquisa e com as dificuldades encontradas durante o projeto. Alguns pontos que devem ser levados em consideração serão descritos a seguir:

4.2.1. Hardware

O método utilizado neste trabalho para estimar a diferença de tempo de chegada entre dois receptores, ou seja, a correlação cruzada entre os dois sinais, depende muito da qualidade dos sinais captados, e ruídos podem afetar a estimativa da TDOA. Como descrito na Seção 3, o hardware utilizado nos experimentos, incluindo microfones e as placas USB são de baixo custo e baixa qualidade, o que afetou diretamente na qualidade dos sinais captados e, conseqüentemente, nos resultados.

Uma solução para este problema seria utilizar microfones e placas de sons mais precisos.

4.2.2. Sincronização de dispositivos

Os experimentos realizados foram baseados em placas de som independentes, separadas via USB. Por este motivo, existe a possibilidade de os sinais não estarem corretamente sincronizados, ou seja, as placas de som USB poderiam estar amostrando os sinais externos em momentos diferentes. Mesmo que sendo uma diferença mínima entre as amostragens, este fator também pode afetar a estimativa da TDOA.

Uma solução para este problema é utilizar uma única placa de som com múltiplos canais de entrada e uma saída. Existem no mercado placas de som que suportam múltiplos canais como dispositivos de gravação profissional, placas de som PCI e até mesmo placas de som USB com múltiplos canais integrados em um único dispositivo de amostragem.

4.2.3. Buffer e coleta em tempo real

Os trabalhos da literatura pesquisada não especificam como os métodos de localização são implementados em tempo real. Questões como o tamanho de buffer, em que instante um ruído se inicia e termina, não são apresentadas nos trabalhos investigados. Entretanto, a precisão do algoritmo de localização pode ser influenciada pelo tamanho do buffer, visto que o som é um sinal contínuo e a duração de um evento é indeterminada.

Para tentar minimizar este problema, alguns trabalhos testam e validam suas soluções desenvolvidas utilizando eventos (sons) previamente gravados (com tamanho definido) como entrada para seus respectivos algoritmos. Este trabalho não adotou essa abordagem por objetivar a localização em tempo real.

Uma solução avaliada neste trabalho foi aumentar o tamanho do buffer para armazenar uma parcela maior do sinal captado por cada canal (microfones). No entanto, esta proposta não se mostrou eficaz, o aumento do buffer implicou num aumento computacional significativo.

4.2.4. Precisão dos métodos Implementados

Conforme descrito na Seção 3.2, este trabalho utilizou o método apresentado em Mahajan. Porém, outros métodos poderiam ser avaliados. Considerando o cenário deste trabalho (cenários de tempo real), uma comparação entre os algoritmos de localização poderia ser realizada para indicar as vantagens e desvantagem de cada uma. O algoritmo utilizado neste trabalho apresentou certa imprecisão quanto a estimação da distância do sinal, entretanto foi ligeiramente eficiente quanto ao cálculo do ângulo de chegada do sinal.

5. Considerações Finais

Este trabalho investigou o problema de localização de ruídos usando um arranjo de sensores. A experiência prática obtida com a implementação de um protótipo da metodologia avaliada foi de suma importância. Muitas lições foram aprendidas durante cada fase do ciclo de vida do projeto. Tais lições foram documentadas na Seção 4 e são importantes para os projetos futuros e para o progresso deste projeto.

As avaliações preliminares realizadas mostraram que o uso de hardware adequado (microfones e placas de sons) e algoritmos mais precisos são fundamentais para minimizar os problemas de sincronização encontrados durante a execução deste projeto de pesquisa.

Um ponto importante a ser destacado que também interferiu na busca de resultados foi a substituição do bolsista. Tal substituição foi necessária, pois o bolsista anterior não estava cumprindo o plano de atividades planejado para o trabalho.

FONTES E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cigada, A. *et al.* "The delay & sum algorithm applied to microphone array measurements: Numerical analysis and experimental validation". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21, 2007.
- [2] Chen, J. *et al.* "Coherent acoustic array processing and localization on wireless sensor network". *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, pp. 1154—1162, Aug. 2003.
- [3] Chen, J. *et al.* "Source Localization and Beamforming". *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 19, pp. 30–39, Mar. 2002.
- [4] D. Zhen. "The study of acoustic source localization using a small microphone array for condition monitoring". *Computing and Engineering Researcher's Conference*, University of Huddersfield, Dec 2010.
- [5] Mahajan, A.; Walworth, M. "3-D Position Sensing Using the Differences in the Time-of-Flights from a Wave Source to Various Receivers". *IEEE Transactions On Robotics and Automation*, Vol. 17, No. 1, pp. 91-94, Feb. 2001.
- [6] Sheng, X. and Hu, Y.-H. "Maximum likelihood multiple-source localization using acoustic energy measurements with wireless sensor networks". *IEEE Transaction Signal Process*, vol. 53, pp. 44--53, Jan. 2005.
- [7] Simon, G.; Sujbert, L. "Acoustic Source Localization in Sensor Networks with Low Communication Bandwidth". *Fourth Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES'06)*, pp. 155-163, Austria, Jun. 2006.
- [8] Tamai, Y. *et al.* "Circular Microphone Array for Robot's Audition". *Proceedings of IEEE Sensors*, pp. 565-570, Oct. 2004.
- [9] Valin J.-M. *et al.* "Robust sound source localization using a microphone array on a mobile robot". *Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1228–1233, 2003.
- [10] Wang M. *et al.* "Acoustic Source Localization in Wireless Sensor Networks", *Workshop on Intelligent Information Technology Application*, pp. 196-199, 2007.
- [11] Williams, S. M. *et al.* "Decentralized acoustic source localization in a distributed sensor network", *Applied Acoustics*, Vol. 67, no. 10, pp. 996-1008, Oct. 2006.
- [12] Mennill, D. Et All. Accuracy of an acoustic location system for monitoring the position of duetting songbirds in tropical forest. *J Acoust Soc Am. National Institutes of Health. Canada.* February 2008
- [13] Abu-El-Quran, A. R. and Goubran R. A. Security-Monitoring using Microphone Arrays and Audio Classification. *IMTC - Instrumentation and Measurement Technology Conference. Canada.* 2005.
- [14] Hari Krishna Maganti ET ALL. Speaker Localization for Microphone Array-Based ASR: The Effects of Accuracy on Overlapping Speech.

- [15] SELTZER, Michael L. Microphone Array Processing for Robust Speech Recognition. PHD Thesys Carnegie Mellon University, Julho 2003.
- [16] TELLAKULA, Ashok Kumar. Acoustic Source Localization Using Time Delay Estimation. Master Degree Indian Institute of Science, Aug 2007.
- [17] BOUKERCHE, Azzedine ET ALL. Localization Systems for Wireless Sensor Networks. IEEE Wireless Communications. December, 2010
- [18] OLIVEIRA, Horacio Antonio. Um Algoritmo Recursivo de Localização para Redes de Sensores sem Fio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Setembro, 2005.
- [19] HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H; COLLINS, J. Global Positioning System: theory and practice. Springer-Verlag, 4^o Edição. 1997.
- [20] NICULESCU, D. and NATH, B.. Ad Hoc Positioning System (APS). IEEE GLOBECOM 01, San Antonio, TX, Nov. 2001.
- [21] ALBOWICZ, J; CHEN, A; ZHANG, L. Recursive Position Networks in Sensor networks. 9th Int'l. Conf. Network Protocols, Nov. 2001.

