



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده برق و رباتیک

گروه الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی و پیاده‌سازی سیستم تعیین مکان و

دنبال‌کننده‌ی منبع صوتی تک فرکانس در فضای

سه‌بعدی

محمدصادق آقازاده

استاد راهنما:

دکتر امیدرضا معروضی

استاد مشاور:

دکتر علی سلیمانی ایوری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره : ۰۸۲۹ / ت.ب
تاریخ : ۱۷، ۱۱، ۸۹
ویرایش : —

فرم صور تجنسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند منعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای
محمد صادق آقازاده رشته : برق گرایش : الکترونیک
تحت عنوان : طراحی سیستم موقعیت یابی منبع صوتی تک فرکانس در فضای سه بعدی
که در تاریخ ۸۹/۱۱/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه ۱۹ امتیاز عالی) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد ارشد	امیرحسین سوردانی	۱- استاد ارشد
	استاد ارشد	امیرحسین سوردانی	۲- استاد مشاور
	استاد ارشد	امیرحسین سوردانی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد ارشد	امیرحسین سوردانی	۴- استاد ممتحن
	استاد ارشد	امیرحسین سوردانی	۵- استاد ممتحن

تأیید رئیس دانشکده

تقدیم به ستاره‌های آسمان زندگی

پدر و مادرم

سپاس و آفرین آن پادشاه را

که کیتی را پدید آورد و ما را

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر معروضی به خاطر صبوری معلمان و راهنمایی روشن‌گرانه در انجام این تحقیق.

با تشکر از جناب آقای دکتر سلیمانی، استاد مشاور اینجانب در انجام این تحقیق.

با تشکر از اساتید دانشکده برق و رباتیک، گروه الکترونیک، آقایان دکتر احمدی فرد و دکتر مروی.

با تشکر فراوان از جناب آقای مهندس محمد حسام محمودی نژاد، به خاطر کمک‌های صادقانه در مراحل مختلف انجام این تحقیق.

و با تشکر از کلیه دوستانی که

انجام این تحقیق بدون حضور

و کمک آنان امکان‌پذیر نبود.

تعهد نامه

اینجانب **محمدعلی آقازاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته **مهندسی مکانیک** دانشکده **صنعتی** شاهرود نویسنده پایان نامه / رساله **مکانیک** در **دانشگاه صنعتی شاهرود** تحت راهنمایی **دکتر علی شاهرودی** تعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت می گردد .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴
امضای دانشجو: 

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد .

متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد .

چکیده

مکان‌یابی منبع سیگنال صوت، یکی از مهمترین مسائل مطرح در زمینه‌های مربوط به پردازش آرایه‌ای است. الگوریتم‌های دو مرحله‌ای به خاطر سرعت انجام و برورسانی، از جمله‌ی رایج‌ترین روش‌های پیشنهادی در این زمینه می‌باشند. در این الگوریتم‌ها، ابتدا تأخیر بین سیگنال‌های دریافتی در جفت میکروفون‌های آرایه محاسبه شده و در مرحله‌ی بعد با استفاده از این تأخیرها، معادلاتی تشکیل شده و مکان منبع تخمین زده می‌شود.

متداول‌ترین روش جهت محاسبه‌ی تأخیر بین سیگنال‌های دریافتی روش همبستگی متقابل می‌باشد. این روش به دلیل تأثیرپذیری زیاد از نویز و انعکاسات محیطی به وسیله‌ی پیش‌فیلترهایی بهینه می‌گردد. روش حاصل همبستگی متقابل تعمیم یافته نامیده می‌شود. یکی از فیلترهایی که جواب‌های مناسبی را دربردارد فیلتر طیف فاز می‌باشد که استفاده از آن منجر به ارائه روش CPSP می‌گردد.

مناسب‌ترین روش برای حل معادلات حاصل از بکارگیری تأخیرهای محاسبه شده در مرحله‌ی اول، روش Chan می‌باشد. این روش راه حلی تقریبی بر مبنای تخمین گر ML ارائه داده است. در این تحقیق روش‌های تعیین مکان منبع سیگنال صوت در فضای سه‌بعدی و به صورت خاص روش‌های CPSP برای مرحله‌ی اول و روش Chan برای مرحله‌ی دوم بررسی گردیده‌اند.

دو روش مذکور به صورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری پیاده‌سازی شده و ادوات و تجهیزات مورد نیاز آن طراحی شده‌اند. در نهایت آزمایش‌هایی جهت سنجش صحت کارهای انجام شده صورت گرفته است.

آزمایش‌های انجام‌شده برای منابع ثابت و متحرک، آرایه‌هایی با چیدمان‌های مختلف، نسبت‌های سیگنال به نویز متفاوت، فریم‌هایی با تعداد متفاوت نمونه‌ها و تعداد میکروفون‌های متفاوت انجام شده است. نتایج، در جداول و نمودارهای مربوطه نمایش داده شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

با توجه به نتایج حاصله، چیدمانی خاص که بهترین نتایج را دربرداشته، پیشنهاد گردیده است. در حالت منبع ثابت نیز، موقعیتی به عنوان موقعیتی مناسب جهت مکان‌یابی معرفی گردیده است. همچنین اثر تغییر طول قاب‌های مورد پردازش جهت محاسبه‌ی تأخیر و اثر افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه مورد بررسی قرار گرفته است.

درنهایت نتایج کلی حاصل از انجام آزمایش‌ها و پیاده‌سازی الگوریتم‌ها ذکر شده و روش‌هایی پیشنهادی جهت انجام آزمایشات آینده ذکر شده‌اند.

فهرست

۱	فصل اول مقدمه	۱
۵	فصل دوم مروری بر کارهای انجام شده	۵
۷	۲.۱ محاسبه تأخیر	۷
۱۶	۲.۲ تشکیل و حل معادلات غیرخطی	۱۶
۲۱	فصل سوم پیاده‌سازی الگوریتم موقعیتیابی	۲۱
۲۳	۳.۱ الگوریتم محاسبه‌ی تأخیر	۲۳
۲۶	۳.۲ الگوریتم تخمین مکان منبع	۲۶
۳۰	۳.۳ نرم‌افزار	۳۰
۳۲	۳.۳.۱ ایجاد یک Device Object	۳۲
۳۵	۳.۳.۲ پیکربندی	۳۵
۳۶	۳.۳.۳ تحریک	۳۶
۳۶	۳.۳.۴ ذخیره اطلاعات	۳۶
۳۸	۳.۳.۵ روند دریافت اطلاعات	۳۸
۳۹	۳.۴ سخت‌افزار	۳۹
۴۷	فصل چهارم نتایج	۴۷
۵۱	۴.۱ منبع ثابت	۵۱
۶۴	۴.۲ منبع متحرک	۶۴
۶۷	۴.۳ افزایش طول قاب	۶۷

۴.۴ تعداد عناصر آرایه ۶۹

۵ فصل پنجم جمع بندی و پیشنهادات ۷۲

۶ منابع و مراجع ۷۸

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- بلوک دیاگرام روش محاسبه تاخیر با استفاده از فیلتر وفقی [۱۰]..... ۱۳
- شکل ۱-۳- دیاگرام جعبه ابزار دریافت اطلاعات..... ۳۱
- شکل ۲-۳- ارتباط بین جعبه ابزار و سخت‌افزار..... ۳۲
- شکل ۳-۳- ارتباط بین Device Object و کانال‌های مربوط به آن..... ۳۴
- شکل ۴-۳- هاب استفاده شده در اتصال آرایه‌ی میکروفون‌ها..... ۴۰
- شکل ۵-۳- کارت‌های صوتی استفاده شده جهت دریافت سیگنال‌های صوتی همراه با اتصالات خازنی..... ۴۱
- شکل ۶-۳- Gated SR-Latch استفاده شده برای تحریک مونواستابل..... ۴۳
- شکل ۷-۳- مونواستابل ساخته شده بوسیله‌ی LM۵۵..... ۴۴
- شکل ۸-۳- ترانزیستور استفاده شده جهت تحریک رله‌ها با استفاده از ولتاژ خروجی LM۵۵..... ۴۵
- شکل ۹-۳- ادوات هماهنگ‌ساز کارت‌های صوتی و اتصال آنها به کارت‌ها..... ۴۶
- شکل ۱-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۵۰ دسی‌بل..... ۵۳
- شکل ۲-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۴۰ دسی‌بل..... ۵۴
- شکل ۳-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۳۰ دسی‌بل..... ۵۶
- شکل ۴-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۲۰ دسی‌بل..... ۵۷
- شکل ۵-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل..... ۵۹
- شکل ۶-۴- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت یک در چیدمان‌های ۹ گانه..... ۶۰
- شکل ۷-۴- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت دو در چیدمان‌های ۹ گانه..... ۶۱
- شکل ۸-۴- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت سه در چیدمان‌های ۹ گانه..... ۶۱

- شکل ۴-۹- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت چهار در چیدمان‌های ۹ گانه
 ۶۲.....
- شکل ۴-۱۰- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت پنج در چیدمان‌های ۹ گانه
 ۶۲.....
- شکل ۴-۱۱- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان‌یابی منبع متحرک در چیدمان‌های ۹ گانه با ۵
 نسبت سیگنال به نویز.....
 ۶۵.....
- شکل ۴-۱۲- نمودار مقایسه واریانس خطای مکان‌یابی منبع متحرک در چیدمان‌های ۹ گانه با ۵
 نسبت سیگنال به نویز.....
 ۶۶.....
- شکل ۴-۱۳- نمودار مقایسه‌ی میانگین و واریانس خطای مطلق برای ۳ قاب با طول‌های مختلف
 ۶۸.....
- شکل ۴-۱۴- نمودار مقایسه‌ی میانگین و واریانس خطای نسبی برای ۳ قاب با طول‌های مختلف
 ۶۸.....
- شکل ۴-۱۵- نمودار مقایسه میانگین و واریانس خطای مطلق برای آرایه‌های با تعداد میکروفون
 متفاوت.....
 ۷۰.....
- شکل ۴-۱۶- نمودار مقایسه میانگین و واریانس خطای نسبی برای آرایه‌های با تعداد میکروفون
 متفاوت.....
 ۷۱.....

فهرست جداول

جدول ۱-۲- فیلترهای مختلف قابل استفاده در روش GOC.....	۱۴
جدول ۱-۳- ایجاد Device Object با استفاده از نوع دیتا و جهت حرکت آن.....	۳۲
جدول ۲-۳- سخت افزار مورد تایید برای استفاده در ایجاد.....	۳۳
جدول ۱-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل.....	۵۲
جدول ۲-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل.....	۵۲
جدول ۳-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۴۰ دسی بل.....	۵۳
جدول ۴-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۴۰ دسی بل.....	۵۴
جدول ۵-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۳۰ دسی بل.....	۵۵
جدول ۶-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۳۰ دسی بل.....	۵۵
جدول ۷-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۲۰ دسی بل.....	۵۶
جدول ۸-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۲۰ دسی بل.....	۵۷
جدول ۹-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۱۰ دسی بل.....	۵۸
جدول ۱۰-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۱۰ دسی بل.....	۵۸

- جدول ۴-۱۱- خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف.....۶۴
- جدول ۴-۱۲- خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف.....۶۵
- جدول ۴-۱۳- خطای مطلق تخمین مکان برای ۳ قاب با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل.....۶۷
- جدول ۴-۱۴- خطای نسبی تخمین مکان برای ۳ قاب با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل.....۶۸
- جدول ۴-۱۵- خطای مطلق تخمین مکان برای آرایه‌هایی با تعداد میکروفون‌های مختلف..... ۷۰
- جدول ۴-۱۶- خطای نسبی تخمین مکان برای آرایه‌هایی با تعداد میکروفون‌های مختلف..... ۷۰

فهرست علائم و اختصارات

AI	Analog Input
AO	Analog Output
AOA	Angle of Arrival
CC	Cross-Correlation
CPSP	Cross Power Spectrum Phase
DAQ	Data Acquisition
DIO	Digital Input/Output
DOA	Direction of Arrival
FFT	Fast Fourier Transform
GCC	Generalized Cross Correlation
GPS	Global Positioning System
LS	Least Square
ML	Maximum Likelihood
NS	Non Singular
PC	Personal Computer
PHAT	Phase Transform
RADAR	Radio Detection and Ranging
RSS	Received Signal Strength
SI	Spherical Interpolation
SONAR	Sound Navigation and Ranging
SRP	Steered Response Power
SX	Spherical Intersection
TDE	Time Delay Estimation
TDOA	Time Delay of Arrival
TOA	Time of Arrival

USB

Universal Serial Bus

فصل اول

مقدمه

یکی از موضوعاتی که امروزه ذهن بسیاری از محققان را در زمینه‌های مختلف به خود مشغول کرده است، مسئله موقعیت‌یابی^۱ یک شیء و یا هدف است. یکی از اقسام مسئله موقعیت‌یابی، موقعیت‌یابی صوتی است که هدف در آن، ره‌گیری جسمی است که منبع سیگنال صوت بوده و یا صوت ارسالی را منعکس می‌نماید.

این نوع از موقعیت‌یابی در بسیاری از علوم نظیر نظامی [۱]، پردازش گفتار^۲ [۲]، زلزله‌شناسی [۳]، کنفرانس‌های ویدئویی، اتاق‌های هوشمند، سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS^۳) [۴]، سیستم‌های مخابراتی و تشخیص برخی بیماری‌ها [۵] و کاربرد دارد. حل این مسئله تنها به موقعیت‌یابی محدود نشده و در برخی موارد از جمله کاربردهای نظامی، به مواردی چون ره‌گیری اشیاء و اجسام تسری پیدا می‌کند.

در این نوع موقعیت‌یابی از سیگنال صوت دریافتی، به منظور تعیین محل دقیق منبع استفاده می‌گردد که به دو نوع فعال^۴ و خنثی^۵ تقسیم می‌شود.

مهمترین مثال برای موقعیت‌یابی فعال، رادارهای (RADAR^۶) می‌باشند [۶]. در این نوع از موقعیت‌یابی، تخمین مکان هدف بوسیله‌ی انتشار سیگنال از ایستگاه فرستنده و بررسی تغییرات سیگنال منعکس شده از هدف که در یک گیرنده دریافت می‌شود و زمان رفت و برگشت سیگنال، انجام می‌گیرد.

در مورد رادارها سیگنال ارسالی موج الکترومغناطیسی است که می‌توان بوسیله بررسی آن مکان، جهت و در مواردی خاص، اندازه و سرعت آن را اندازه‌گیری کرد.

^۱ Localization

^۲ Speech Processing

^۳ Global Positioning System

^۴ Active

^۵ Passive

^۶ Radio Detection and Ranging

بزرگترین نقیصه‌ی روش موقعیت‌یابی فعال و رادارها آن است که در این نوع از موقعیت‌یابی، هدف که می‌تواند هواپیما و یا کشتی باشد، متوجه ارسال سیگنال از سوی رادار شده و می‌تواند با ایجاد اختلال در سیگنال انعکاسی، محاسبات را دچار اختلال نماید، که این خود یکی از دلایل ناکارآمد بودن روش موقعیت‌یابی فعال در کاربردهای نظامی است.

بدلیل وجود نقص فوق‌الذکر برای روش فعال و ذکر این نکته که در برخی موارد لازم است که هدف، به دلیل اهمیت فراوان ارزیابی موقعیت آن، به طور کلی متوجه ردیابی خود توسط رادار نشود، لزوم استفاده از روشی غیر از روش فعال را بیان می‌نماید.

در کاربردهای پزشکی نیز به علت خطرناک بودن ارسال سیگنال به بدن بیمار، روش فعال روش مطلوبی به حساب نمی‌آید.

در روش خنثی سیگنالی برای تشخیص هدف منتشر نمی‌شود و موقعیت‌یابی براساس تغییرات سیگنال منتشر شده از هدف و دریافت آن در چند گیرنده (آرایه‌ای از حسگرها) و بررسی تفاوت‌های سیگنال‌های دریافت شده انجام می‌گیرد. در واقع روش پسو به دلیل مخفی بودن و قابل‌شناسایی نبودن در سیستم‌های نظامی نظیر سونارهای^۱ زیردریایی [۷] و نیز به دلیل بی‌خطر بودن، در سیستم‌های پزشکی کاربرد دارد.

روش خنثی با استفاده از بررسی تغییراتی چون انرژی، بررسی شباهت، زاویه‌ی دریافت و ... در سیگنال‌های دریافتی به تخمین محل دقیق منبع می‌پردازد. این روش با توجه به تعداد مراحل انجام به دو دسته‌ی تک‌مرحله‌ای و دو مرحله‌ای تقسیم می‌شود.

در روش‌های تک مرحله‌ای تخمین مکان منبع سیگنال صوت در یک مرحله و معمولاً با استفاده از پردازش قبلی انجام می‌گیرد.

^۱ Sound Navigation and Ranging

این کار در روش‌های دو مرحله‌ای با استفاده از محاسبه‌ی اختلاف بین دو سیگنال و سپس استفاده از این نتایج جهت محاسبه‌ی مکان منبع انجام می‌گیرد. نتایج محاسبه شده در مرحله‌ی اول به مرحله‌ی بعد منتقل شده و با تشکیل معادلاتی، مکان منبع تخمین زده می‌شود.

این تحقیق به بررسی روش‌های موقعیت‌یابی خنثی و مراحل انجام آن و نیز "طراحی سیستم تعیین مکان و دنبال‌کننده‌ی منبع صوتی تک فرکانس در فضای سه‌بعدی" می‌پردازد. روش‌های بررسی شده، روش‌های موقعیت‌یابی دو مرحله‌ای خنثی می‌باشند که با استفاده از محاسبه‌ی اختلاف زمانی دریافت سیگنال در آرایه‌ای از حسگرها و تشکیل معادلاتی خاص، موقعیت منبع را تخمین می‌زنند.

لازم به ذکر است که کلیه روش‌های مبتنی بر تأخیر زمانی در روش‌های فعال و خنثی را روش‌های تخمین تأخیر زمانی¹ (TDE) می‌نامند.

با توجه به توضیحات ذکر شده، ساختار تحقیق حاضر به شرح زیر می‌باشد:

در فصل دوم کارهای انجام شده در زمینه موقعیت‌یابی و نتایج حاصل از آنها بررسی خواهند شد.

در فصل سوم کلیه مراحل را که منجر به طراحی سیستم تعیین مکان و دنبال‌کننده‌ی منبع صوتی تک فرکانس در فضای سه‌بعدی شده است، ذکر خواهد شد.

در فصل چهارم آزمایش‌های انجام شده و نتایج حاصل از آن بر روی الگوریتم‌های GCC-PHAT و Chan بررسی خواهد شد.

در فصل پنجم نتایج کلی حاصل از انجام این تحقیق و پیشنهاداتی جهت انجام کارهای آینده ارائه گردیده است.

¹ Time Delay Estimation

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده

روش‌های موقعیت‌یابی به دو دسته کلی فعال و خنثی تقسیم می‌شوند. روش‌های فعال بر پایه‌ی ارسال و دریافت سیگنال و بررسی تغییرات و اختلاف سیگنال‌های دریافتی، مکان منبع را تخمین می‌زنند.

در روش‌های خنثی سیگنال ارسالی وجود ندارد و موقعیت‌یابی با استفاده از سیگنال ساطع شده از منبع انجام می‌گیرد. در این روش سیگنال مورد نظر در آرایه‌ای از حسگرها دریافت شده و با استفاده از ارزیابی اختلاف سیگنال‌های دریافت شده، مکان منبع مورد نظر حاصل می‌شود.

روش‌های گوناگون ارائه شده برای موقعیت‌یابی خنثی بر پایه‌ی اختلاف در نظرگرفته شده که می‌تواند اختلاف زمان دریافت، اختلاف انرژی سیگنال‌ها و ... باشد، و نیز نحوه‌ی استفاده از این داده‌ها، دسته‌بندی می‌شوند.

علاوه بر تقسیم‌بندی فوق، موقعیت‌یابی خنثی به دو گونه‌ی تک‌مرحله‌ای و دو مرحله‌ای تقسیم می‌گردد.

روش‌های تک‌مرحله‌ای به گونه‌ای عمل می‌کنند که حین محاسبه اختلاف، مکان منبع را نیز بدست می‌آورند.

روش‌های دو مرحله‌ای که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرند، ابتدا به محاسبه‌ی اختلاف موجود بین حسگرها پرداخته و سپس با تشکیل معادلات خاصی، مکان منبع را بدست می‌آورند. در این تحقیق اختلاف زمانی بین سیگنال‌های دریافت شده، مبنای محاسبه قرار گرفته است.

در واقع در این روش‌ها، مراحل انجام را می‌توان به دو بخش محاسبه تاخیر و تشکیل و حل معادلات غیرخطی تقسیم کرد.

۲.۱ محاسبه تأخیر

در این بخش، ابتدا چگونگی محاسبه‌ی تأخیر در یکی از انواع روش‌های موقعیت‌یابی فعال بررسی گردیده و سپس این کار برای روش‌های موقعیت‌یابی خنثی انجام شده است. روش‌های خنثی براساس ماهیت و کاربردها به دسته‌های مختلف تقسیم شده و هرکدام به صورت مجزا بررسی گردیده‌اند.

تخمین زمان دریافت (TOA)^۱، براساس اندازه‌گیری اختلاف زمان بین ارسال سیگنال به سوی هدف و دریافت سیگنال بازگشتی از آن عمل می‌کند. این روش با توجه به استفاده از ارسال سیگنال به سوی هدف، جزء روش‌های فعال دسته‌بندی می‌گردد.

در این روش با اندازه‌گیری زمان انتشار سیگنال و ضرب آن در سرعت انتشار سیگنال، می‌توان فاصله هدف از گیرنده را مشخص نمود ($x=v.t$). هر یک از معادلات تشکیل شده در این روش، مربوط به دایره‌ای با شعاعی خاص می‌باشد. با افزایش تعداد گیرنده‌ها می‌توان شعاع دایره بیشتری را بدست آورد. بزرگترین دایره مربوط به دورترین گیرنده و کوچکترین، مربوط به نزدیکترین می‌باشد. محل تقاطع این دایره، موقعیت هدف را مشخص می‌کند [۸].

روش جهت ورود سیگنال (DOA یا AOA)^۲ یکی از روش‌های موقعیت‌یابی خنثی است که در آن از گیرنده‌ها برای تخمین زاویه‌ی ورود سیگنال موردنظر استفاده می‌شود. هر DOA می‌تواند محل منبع را با یک خط که در جهت آن رسم می‌گردد، مشخص کند. با داشتن حداقل دو DOA و اندازه‌گیری محل تقاطع آنها، می‌توان مکان منبع را تخمین زد [۹].

دریافت سیگنال در این روش به کمک آنتن انجام می‌گیرد و دقت اندازه‌گیری در آن با فاصله‌ی بین آنها متناسب است. البته افزایش بیش از حد فاصله‌ی گیرنده‌ها موجب ایجاد ابهام در جواب‌های

^۱ Time of Arrival

^۲ Direction of Arrival

^۳ Angle of Arrival

حاصله می‌گردد. یکی از ویژگی‌های این روش آن است که سیگنال‌های ارسالی از منبع به سمت آرایه باید در امتداد خط مستقیم به آنها برسند و این ویژگی با وجود انعکاسات محیطی می‌تواند باعث ایجاد خطا در مکان‌یابی گردد. این روش دارای پیچیدگی‌های محاسباتی فراوانی است [۱۰].

در روش شدت سیگنال دریافتی (RSS)^۱ انرژی سیگنال دریافتی تعیین کننده‌ی مکان منبع می‌باشد. در این روش گیرنده‌ها توان سیگنال را اندازه‌گیری کرده و آن را به فاصله تبدیل می‌کنند [۹].

این روش نیازمند به در دسترس بودن تلفات انتشار به عنوان داده‌ای معلوم جهت تبدیل انرژی به فاصله است و توان‌های اندازه‌گیری شده در آن با فاصله‌ی بین گیرنده و منبع نسبت عکس دارد. سیگنال‌های چند مسیره و انعکاس بر روی این روش بسیار موثر است [۱۱].

این روش مانند روش TOA شعاع دوایری را بدست می‌دهد که محل تقاطع آنها مکان منبع را مشخص می‌کند. این روش به مشخصات محیط و کانال عبور سیگنال بسیار حساس می‌باشد.

روش تأخیر زمانی دریافت (TDOA)^۲ از اختلاف زمان دریافت سیگنال در دو گیرنده برای تخمین موقعیت‌یابی استفاده می‌کند که با توجه به این مسئله جزو روش‌های پسو دسته بندی می‌گردد.

TDOA با استفاده از آرایه‌ای از حسگرها عمل می‌کند. در این روش، یکی از گیرنده‌ها به عنوان گیرنده مبنا در نظر گرفته شده و اختلاف زمان دریافت سیگنال در سایر گیرنده‌ها با این گیرنده محاسبه می‌گردد [۱۲]. در این تحقیق جهت محاسبه‌ی تأخیر بین سیگنال‌های دریافتی از روش TDOA استفاده شده است.

^۱ Received Signal Strength

^۲ Time Delay of Arrival

هر دو روش TOA و TDOA به بررسی اختلاف زمانی سیگنال‌های دریافتی در گیرنده‌ها می‌پردازند. بنابراین در محاسبات انجام شده تفاوت چندانی وجود ندارند و تنها تفاوت آنها در ارسال و یا عدم ارسال سیگنال به هدف می‌باشد.

کلیه روش‌های ذکر شده، بر روی آرایه‌ای از حسگرها پیاده‌سازی می‌شوند. از آرایه‌ای از حسگرها در کاربردهای مختلف تعیین مکان منبع از جمله کنفرانس‌های ویدئویی و تعیین فاصله نقاط استفاده می‌شود. با وجود استفاده از سیستم تعیین مکان منبع صوتی در کنفرانس‌های ویدئویی، نیاز به استفاده از کاربر^۱ از بین رفته و اموری نظیر تغییر مقدار فوکوس و یا گردش دوربین، به صورت اتوماتیک انجام می‌شود.

محاسبه‌ی تأخیرهای موجود بین سیگنال‌های دریافتی را می‌توان با توجه به دیدگاه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار داد:

الف) تعداد منابع سیگنال. روش تخمین تأخیر را می‌توان بر اساس وجود یک منبع و یا وجود چند منبع در محیط مورد بررسی قرار داد [۱۲].

ب) مدل انتشار سیگنال. مدل‌های در نظر گرفته شده برای انتشار سیگنال در فضا را می‌توان به صورت انتشار تک مسیری (مدل ایده‌آل)، چند مسیری [۱۳] و مدل انتشار با انعکاسات متوالی [۱۴] در نظر گرفت.

ج) روش‌های تخمین تأخیر. روش‌های تخمین تأخیر می‌توانند بر اساس شباهت سیگنال‌ها (همبستگی متقابل) [۱۲]، روش‌ها مبتنی بر آمارگان مرتبه بالاتر [۱۵] و ... دسته بندی شوند.

^۱ Operator

الگوریتم‌های ارائه شده برای محاسبه‌ی زمان تأخیر، مسأله‌ی فوق را با فرض وجود یک منبع و مدل انتشار تک مسیری حل نموده و در نهایت نتایج حاصل را به سایر حالات تعمیم می‌دهند.

متداولترین روش برای محاسبه تأخیر بین دو گیرنده، مشخص کردن مقدار ماکزیمم تابع همبستگی متقابل بین داده‌های رسیده از دو منبع می‌باشد. این روش را همبستگی توأم^۱ (CC) می‌نامند. در این روش، تفاضل مکان قرارگیری مقدار ماکزیمم تابع همبستگی متقابل با مکان قرارگیری مقدار ماکزیمم تابع خودهمبستگی، مقدار تأخیر بین هر دو میکروفون را نشان می‌دهد.

با محاسبه مقدار تأخیر بین هر دو میکروفون و تشکیل معادلات مربوطه، مکان منبع مشخص می‌گردد. مقدار محاسبه شده از روش TDOA که به عنوان تأخیر دریافت معرفی می‌گردد، در واقع مکان هندسی نقاطی است که از دو نقطه‌ی مشخص (گیرنده‌ها) فاصله‌ی ثابتی دارند که در واقع تشکیل یک شکل هندسی شبیه به هذلولی را می‌دهند.

لازم به ذکر است که با افزایش تعداد تأخیرهای محاسبه شده، دقت محاسبه مکان منبع افزایش می‌یابد، این افزایش دقت، کاهش سرعت محاسبات را به همراه خواهد داشت که در کاربردهای زمان-واقعی^۲، باید مورد توجه قرار گیرد. در این روش مدل منبع سیگنال و فواصل منبع و حسگرها به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که موج منتشر شده و دریافت شده در حسگرها دایره‌ای نبوده و در مسیر مستقیم منتشر شوند.

در روش همبستگی متقابل، مدل انتشار سیگنال به صورت مدل ایده آل در نظر گرفته شده است، به این معنی که تفاوت هر سیگنال نسبت به دیگری در تأخیر زمانی، ضریب تضعیف و نویز جمع‌شونده‌ی آن است که در فرمول ۲-۱ آورده شده است:

^۱ Cross-Correlation

^۲ Real-Time

$$\begin{aligned} x_1(k) &= \alpha_1 s(k - D_1) + b_1(k) \\ x_2(k) &= \alpha_2 s(k - D_2) + b_2(k) \end{aligned} \quad 1-2$$

که در آن $s(k)$ سیگنال مرجع، α ضریب تضعیف سیگنال و $b(k)$ نویز جمع شونده است که با سیگنال مرجع و نویزهای دیگر ناهمبسته می باشد.

برای محاسبه مقدار تاخیر بین دو سیگنال، با اعمال تابع همبستگی متقابل به آنها، مقدار شباهت آنها را نسبت به یکدیگر بدست می آوریم.

محاسبه همبستگی متقابل به صورت آورده شده در فرمول ۲-۲ است:

$$R_{x_1 x_2}(p) = E[x_1(k)x_2(k)] \quad 2-2$$

فرمول فوق با توجه به مدل ایده آل انتشار سیگنال، به صورت زیر در می آید:

$$R_{x_1 x_2}(p) = \alpha_1 \alpha_2 R_{ss}(p + D_1 - D_2) + \alpha_1 R_{sb_2}(p + D_2) + \alpha_1 R_{sb_1}(p - D_2) + R_{b_1 b_2}(p) \quad 3-2$$

با توجه به ناهمبسته بودن نویزها نسبت به یکدیگر و نسبت به سیگنال های مرجع، می توان نتیجه گرفت که در رابطه فوق، سه جمله از سمت راست معادله ۳-۲ که مربوط به این موارد است، حذف شده و فقط عبارت اول باقی می ماند (نشان داده شده در رابطه ۴-۲).

$$R_{x_1 x_2}(p) = \alpha_1 \alpha_2 R_{ss}(p + D_1 - D_2) \quad 4-2$$

در رابطه ۴-۲ مقدار ماکزیمم $R_{x_1 x_2}$ در $p = D_1 - D_2$ حاصل می شود که این مقدار، برابر مقدار تاخیر بین دو سیگنال است.

$$\tau_{12} = \arg \max R_{x_1 x_2}(p) \quad 5-2$$

طبق رابطه ی ۵-۲ و با توجه به موارد ذکر شده در فوق، اختلاف مکان مقدار ماکزیمم تابع همبستگی متقابل دو سیگنال و تابع خود همبستگی سیگنال میکروفون مبنا، مقدار تأخیر را حاصل می کند.

برای محاسبه مقدار معادله ۲-۵ دنباله‌ای از سیگنال‌های رسیده به دو میکروفون ذخیره شده و مقدار تابع همبستگی متقابل روی این دنباله‌ها محاسبه می‌گردد که با افزایش طول این دنباله، دقت تخمین افزایش می‌یابد. در واقع تخمین تأخیر از روی دنباله‌ای از نمونه‌ها تخمینی از مقدار واقعی تأخیر است که در حالت ایده‌آل با استفاده از دنباله‌ای بی‌نهایت از نمونه‌ها حاصل می‌شود. در بعضی کاربردها مقدار CC بدست آمده را با تقسیم آن بر ضرب مقادیر انتگرال مجذور سیگنال‌های بدست آمده، نرمالیزه^۱ می‌کنند [۱۶].

در عمل به خاطر افزایش سرعت محاسبات، برای محاسبه تأخیر بین دو سیگنال، ابتدا از دو سیگنال DFT گرفته و با انجام عمل DFT معکوس روی ضرب آنها در حوزه فرکانس، مقدار فوق حاصل می‌شود که انجام این عمل، به دلیل امکان استفاده از الگوریتم تبدیل فوریه سریع (FFT)^۲، باعث افزایش سرعت محاسبه و نیز کاهش هزینه‌ی محاسباتی می‌گردد.

استفاده از روش CC برای محاسبه مقدار تأخیر بین دو سیگنال، ایده‌آل نبوده و در بسیاری از موارد و در صورت وجود نویز و یا انعکاسات محیطی دقت پایینی دارد. برای بالابردن کارایی این روش، قبل از انجام عمل همبستگی، توابع پیش‌فیلتری^۳ روی سیگنال‌ها اعمال می‌شود تا بتوان اثرات نویز و انعکاسات ناخواسته‌ی محیطی را کاهش داد. این روش تحت عنوان روش همبستگی متقابل تعمیم یافته (GCC)^۴ شناخته می‌شود [۱۲].

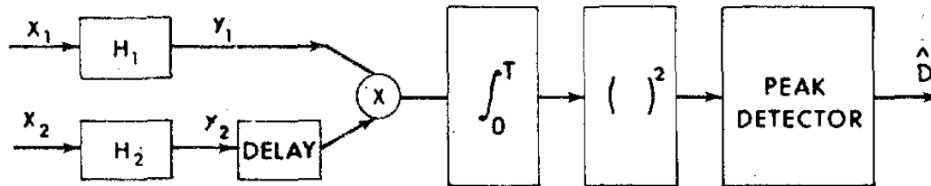
^۱ Normalize

^۲ Fast Fourier Transform

^۲ Prefilter

^۳ Generalized Cross Correlation

فیلترهای اعمال شده بر اساس نوع، شرایط و کاربردها، از یکدیگر متمایز می‌گردند. بلوک دیاگرام روش



شکل ۱-۲- بلوک دیاگرام روش محاسبه تاخیر با استفاده از فیلتر وقتی [۱۰]

GCC در شکل ۱-۲ آورده شده است.

همانطور که ذکر شد، مقدار همبستگی متقابل دو سیگنال با استفاده از تبدیل فوریه آنها بدست می‌آید که می‌توان این تبدیل را با استفاده از تابع چگالی طیف توان و رابطه آن با تبدیل فوریه دو سیگنال، به صورت زیر بیان کرد:

$$G_{x_1x_2}(\omega) = X_1(\omega)X_2'(\omega) \quad ۶-۲$$

$$R_{x_1x_2}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} G_{x_1x_2}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad ۷-۲$$

با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۱-۲ می‌توان نتیجه گرفت:

$$G_{y_1y_2}(\omega) = (H_1(\omega)X_1(\omega))(H_2^*(\omega)X_2(\omega)) = H_1(\omega)H_2^*(\omega)G_{x_1x_2}(\omega) \quad ۸-۲$$

و در نهایت:

$$R_{y_1y_2}^{(g)}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi_g(\omega) G_{x_1x_2}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad ۹-۲$$

$$\text{where } \psi_g(\omega) = H_1(\omega)H_2^*(\omega)$$

در واقع فرمول ۲-۹ نشان می‌دهد که انجام عمل عکس تبدیل فوریه روی ضرب تابع تبدیل فیلترها و چگالی طیف توان دو سیگنال، مقدار تابع همبستگی را نتیجه می‌دهد.

با توجه به مطالب ذکر شده، استفاده از فیلترهای مختلف، به شرایط متفاوت وجود نویز و انعکاسات بستگی دارد. بنابراین و با توجه به مطالب فوق می‌توان فیلترهایی را به صورتی که در جدول ۲-۱ آمده است، بیان نمود. هر کدام از موارد ذکر شده در این جدول، کاربرد خاصی دارند. برای آشنایی با نحوه محاسبه و موارد کاربرد این فیلترها به [۱۲] مراجعه نمایید.

جدول ۲-۱- فیلترهای مختلف قابل استفاده در روش GCC

همبستگی متقابل	۱
طیف فاز (GCC-PHAT) یا (CPSF)	$\frac{1}{ G_{x_1x_2}(\omega_{k'}) }$
تبدیل همدوسی هموار شده (Scott)	$\frac{1}{\sqrt{G_{x_1x_1}(\omega_{k'})G_{x_2x_2}(\omega_{k'})}}$
Eckart	$\frac{G_{SS}(\omega_{k'})}{G_{b_1b_1}(\omega_{k'})G_{b_2b_2}(\omega_{k'})}$
حداکثر احتمال (ML)	$\frac{\alpha_1\alpha_2G_{SS}(\omega_{k'})e^{j\omega_{k'}\tau_{12}}}{\alpha_1^2G_{SS}(\omega_{k'})G_{b_2}(\omega_{k'}) + G_{b_1}(\omega_{k'})G_{b_2}(\omega_{k'})}$
HT	$\frac{ C_{X_1X_2}(\omega_{k'}) }{ G_{X_1X_2}(\omega_{k'}) \times [1 - C_{X_1X_2}(\omega_{k'})]}$

فیلترهای ذکر شده در جدول ۲-۱ در شرایط وجود تویز و انعکاسات محیطی می‌توانند باعث بهبود جواب‌های حاصله می‌گردد. در میان این فیلترها دو فیلتر حداکثر احتمال و طیف فاز به ترتیب در شرایط وجود نویز و انعکاسات محیطی جواب‌های مناسب‌تری نسبت به سایر فیلترها دارند.

در این تحقیق از روش طیف فاز جهت محاسبه تخمین بین جفت میکروفون‌های آرایه استفاده شده است.

در حالت ایده‌آل، با استفاده از محاسبات فوق، مقدار تأخیر با قرارگیری یک تابع دلتا در نقطه موردنظر مشخص می‌گردد. البته با توجه به وجود همیشگی نویز و انعکاسات در سیگنال‌های دریافتی، تابع دلتا به یک ماکزیمم در شکل تابع همبستگی متقابل تبدیل می‌گردد که نسبت به سایر ماکزیمم‌ها متمایز می‌باشد.

در صورت وجود نویز و انعکاسات محیطی به صورتی که مقدار سیگنال به نویز از مقدار متعارفی کمتر شود، مقدار ماکزیمم ذکر شده در تابع همبستگی از سایر مقادیر متمایز نبوده و برای رفع مشکل باید از سایر روش‌ها استفاده نمود.

۲.۲ تشکیل و حل معادلات غیرخطی

بعد از حاصل شدن مقادیر تأخیر، محاسبه مکان منبع با استفاده از این مقادیر و باتوجه به نحوه و شکل قرارگیری آرایه‌ی حسگرها انجام می‌گردد.

برای محاسبه مکان منبع با استفاده از تأخیرها، باید معادلاتی تشکیل شود که بصورت غیرخطی هذلولوی بوده و از حل آنها و محاسبه محل تقاطع آنها، محل منبع مشخص می‌گردد. مقادیر محاسبه شده از مرحله اول که با نام تأخیر دریافت سیگنال شناخته می‌شوند، در واقع مشخص کننده‌ی مکان هندسی نقاطی می‌باشند که اختلاف فاصله‌ی این نقاط از دو گیرنده موردنظر مقدار ثابتی است.

برای بدست آوردن این مکان هندسی، معادلاتی از روی تأخیرها تشکیل می‌شوند که به معادلات هذلولوی مشهورند و به دلیل غیرخطی بودن با نام معادلات غیرخطی هذلولوی معرفی می‌گردند.

حل این معادلات دارای پیچیدگی‌های زیادی است که با روش‌های مختلفی قابل حل می‌باشند. نحوه تشکیل معادلات غیرخطی در زیر آورده شده است.

اگر منبع را با p_s و هر یک از حسگرها را با p_i ($i=1,2,3,\dots$) نشان دهیم، مختصات هر کدام در فضای سه‌بعدی و مختصات دکارتی به صورت زیر است:

$$p_i = [x_i, y_i, z_i] \quad 10-2$$

$$p_s = [x_s, y_s, z_s] \quad 11-2$$

فاصله بین هر دو میکروفون به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$R_{ij} = R_i - R_j \quad 12-2$$

فاصله بین هر دو میکروفون با سرعت انتشار سیگنال در فضا متناسب است:

$$R_{ij} = c \cdot \tau_{ij} \quad ۱۳-۲$$

و نیز می توان فاصله هر میکروفون و منبع را با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$R_{is} = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 + (z_i - z_s)^2} \quad ۱۴-۲$$

از رابطه ۱۲-۲ و با استفاده از فرمول ۱۳-۲ می توان رابطه ی ۱۴-۲ را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} R_{ij} = c \cdot \tau_{ij} &= R_i - R_j \\ &= \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 + (z_i - z_s)^2} - \sqrt{(x_j - x_s)^2 + (y_j - y_s)^2 + (z_j - z_s)^2} \end{aligned} \quad ۱۵-۲$$

حال اگر به جای i مقدار ۱ را قرار دهیم (در واقع با این کار، میکروفون شماره ی ۱ را به عنوان

میکروفون مبنا انتخاب می کنیم)، روابط زیر حاصل می شود:

$$\begin{aligned} R_{i1} &= R_i - R_1 \\ \Rightarrow R_i &= R_{i1} + R_1 \\ \Rightarrow R_i^2 &= (R_{i1} + R_1)^2 \\ \Rightarrow R_i^2 &= R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 + R_1^2 \\ \Rightarrow R_i^2 - R_1^2 &= R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 \end{aligned} \quad ۱۶-۲$$

با استفاده از روابط ۱۴-۲ و ۱۵-۲ می توان رابطه ی ۱۶-۲ را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 &= (x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2 + (z_i - z_s)^2 \\ &\quad - (x_1 - x_s)^2 - (y_1 - y_s)^2 - (z_1 - z_s)^2 \end{aligned} \quad ۱۷-۲$$

با باز کردن رابطه ی ۱۷-۲ می توان رابطه ی زیر را بدست آورد:

$$\begin{aligned} R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 &= \\ &= x_i^2 - 2x_i x_s + x_s^2 + y_i^2 - 2y_i y_s + y_s^2 + z_i^2 - 2z_i z_s + z_s^2 \\ &\quad - x_1^2 + 2x_1 x_s - x_s^2 - y_1^2 + 2y_1 y_s - y_s^2 - z_1^2 + 2z_1 z_s - z_s^2 \end{aligned} \quad ۱۸-۲$$

که با حذف مقادیر متناظر با علامت معکوس، رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 = x_i^2 - 2x_i x_s + y_i^2 - 2y_i y_s + z_i^2 - 2z_i z_s \quad ۱۹-۲$$

$$-x_1^2 + 2x_1 x_s - y_1^2 + 2y_1 y_s - z_1^2 + 2z_1 z_s$$

در رابطه‌ی ۱۹-۲، مجهولات شامل مقادیر x ، y و z (مختصات منبع) و R_1 (فاصله‌ی منبع با میکروفون اول یا میکروفون مبنا) و معلومات، شامل R_{i1} (فاصله‌ی حسگر i ام و حسگر شماره یک) و مختصات حسگرها ($[x_i, y_i, z_i]$) می‌باشد.

برای بدست آوردن مختصات منبع، R_1 محاسبه شده و با توجه به مقدار آن مختصات منبع مشخص می‌گردد.

کلیدی روش‌های ارائه شده برای حل این معادلات، به مقدار تأخیر محاسبه شده در مرحله‌ی اول حساس می‌باشند، به صورتی که عدم محاسبه‌ی درست تأخیر در مرحله‌ی اول باعث ایجاد خطای قابل توجهی در تخمین مکان می‌گردد [۱۷].

همانطور که ذکر شد، هدف اصلی از حل معادلات غیرخطی هذلولوی، محاسبه مکان منبعی است که اختلاف زمان دریافت سیگنال آن در هر میکروفون، یک هذلولی را تشکیل می‌دهد.

ساده‌ترین روش برای محاسبه‌ی مکان منبع، رسم هذلولی‌ها با استفاده از تأخیرهای محاسبه شده و در نظر گرفتن محل تقاطع آنها به عنوان مکان منبع می‌باشد. این روش محاسبات زیادی را دربردارد [۱۸]. همچنین نمی‌توان از این روش در کاربردهای دیگری چون تخمین سرعت منبع استفاده کرد.

در [۱۹] مکان منبع از قطع دادن قطر بزرگ بیضی‌هایی که بوسیله‌ی ۳ میکروفون از آرایه تشکیل شده است، حاصل می‌شود. که با افزایش تعداد میکروفون‌ها، این ترکیبات ۳ تایی افزایش یافته و باعث

دقت کارآیی می‌گردند. اشکال این روش در افزایش تعداد معادلات تشکیل شده و افزایش حجم محاسبات می‌باشد.

برخی روش‌ها نظیر Friedlander [۲۰]، روش تقاطع کروی^۱(SX^۱) [۲۱] و روش درونیابی کروی^۲(SI^۲) [۲۲] برای بدست آوردن موقعیت هدف از تخمین حداقل مربعات^۳ (LS^۳) استفاده شده است که این خود مستلزم استفاده از اطلاعات آماری در مورد نویز و خطای تخمین است. در دسترس نبودن این اطلاعات یکی از عوامل محدود کننده‌ی این روش‌ها می‌باشد.

در [۲۳]، روشی با نام تقسیم و غلبه^۴ ارائه شده است که با استفاده از تخمین گر حداکثر احتمال^۵(ML^۵) به تخمین مکان منبع می‌پردازد.

این روش میکروفون‌ها را به دسته‌هایی تقسیم می‌کند، به صورتیکه در هر دسته تعداد معادلات با تعداد مجهولات برابر باشند. در نهایت مکان محاسبه شده در دسته‌های مختلف، به گونه‌ای مناسب با یکدیگر ترکیب شده و جواب نهایی حاصل می‌گردد. به شرط در اختیار داشتن اطلاعات آماری^۶(ماتریس اطلاعات فیشر^۶) زیاد، این روش جواب مناسبی در بر دارد. در واقع اشکال این روش در محدودیت در اختیار داشتن اطلاعات آماری منبع می‌باشد.

در روشی دیگر معادلات غیرخطی با استفاده از بسط سری تیلور خطی می‌شوند [۲۴, ۲۵]. سپس، مکان منبع با استفاده از یک روش تکرارشونده و انتخاب یک حدس اولیه و یک معیار خطا، محاسبه می‌گردد. مزیت این روش در امکان استفاده از تأخیرهای اضافه جهت افزایش دقت محاسبه مکان می‌باشد.

^۱ Spherical Intersection Method

^۲ Spherical Interpolation Method

^۳ Least Square

^۴ Divide and Conquer

^۵ Maximum Likelihood

^۶ Fisher Information Matrix

این روش به انتخاب حدس اولیه و حد همگرایی مناسب حساس بوده و در صورت عدم انتخاب مناسب، جواب قابل قبولی نخواهد داشت. علاوه بر نکات فوق خطای خطی سازی و حجم عملیات زیاد در تکرارهای مختلف، از معایب این روش است.

فانگ^۱ در [۲۶] یک روش حل دقیق با فرم بسته برای حل معادلات غیرخطی ارائه داده است. در این روش، تعداد معادلات استفاده شده برابر مجهولات می باشد. مزیت اصلی این روش حجم محاسبات کم و عدم وجود خطای خطی سازی، عدم استفاده از اطلاعات آماری و عدم نیاز به انتخاب حدس اولیه و یا حد همگرایی می باشد. در این روش نمی توان از اطلاعات میکروفون های اضافه جهت افزایش دقت تخمین استفاده کرد.

روش دیگری که از کلیه مزایای روش Fang برخوردار بوده و امکان استفاده از اطلاعات میکروفون های اضافی را فراهم می آورد، روش چان^۲ است [۲۷]. به عبارتی روش Chan، به دلیل امکان بهره برداری از محاسبات تأخیرهای اضافی و نیز حل دقیق و بدون خطی سازی، بهینه ترین روش برای حل معادلات غیرخطی هذلولی حاصل می باشند. این روش تخمینی از تخمین گر ML بوده و جواب های بسیار نزدیکی به جواب تخمین گر ML دارد.

در این تحقیق از روش Chan برای تخمین مکان منبع از روی تأخیرهای محاسبه شده استفاده شده است.

^۱ Fang

^۲ Chan

فصل سوم

پیاده‌سازی الگوریتم موقعیت‌یابی

در این فصل به بررسی مراحل انجام پروژه‌ی موقعیت‌یابی می‌پردازیم.

ابتدا روش استفاده شده جهت محاسبه‌ی مقادیر TDOA در موقعیت‌یابی منبع صوتی بررسی خواهد شد، سپس روش استفاده شده جهت تخمین مکان منبع صوت از روی تأخیرهای محاسبه شده در مرحله‌ی اول مورد بررسی قرار خواهید گرفت.

روش استفاده شده جهت محاسبه‌ی تخمین تأخیر دریافت سیگنال در آرایه، روش طیف فاز خواهد بود. روش بکارگرفته شده جهت محاسبه‌ی مکان منبع از روی معادلات تشکیل شده بوسیله‌ی تخمین‌های بدست آمده، روش Chan است.

در نهایت به بررسی دو بخش نرم‌افزاری و سخت‌افزاری استفاده شده جهت جمع‌آوری داده‌ها و سیگنال‌های صوتی پرداخته خواهد شد.

بخش نرم‌افزاری به بررسی نحوه‌ی بکارگیری نرم‌افزار مورد استفاده خواهد پرداخت و بخش سخت‌افزاری شامل مدارات و قطعات لازم جهت دریافت سیگنال‌های صوتی از میکروفون‌ها و ارسال به نرم‌افزار خواهد بود.

۳.۱ الگوریتم محاسبه‌ی تأخیر

یکی از روش‌های مبتنی بر GCC، روش طیف فاز یا CPSP^۱ است [۱۶] که با استفاده از اطلاعات فاز و اختلاف این اطلاعات در دو سیگنال مقدار تأخیر را محاسبه می‌کند. این روش GCC-PHAT^۲ نیز نامیده می‌شود.

این روش با استفاده از اطلاعات فاز سیگنال‌های دریافتی، شباهت سیگنال‌ها را محاسبه می‌نماید. در این روش با تقسیم چگالی طیف توان بر اندازه‌ی آن، عمل نرمالیزه‌سازی انجام می‌شود و سپس شباهت سیگنال‌ها از روی مقادیر حاصله محاسبه می‌شود.

استفاده صحیح از اطلاعات فاز، مستلزم غالب بودن سیگنال مورد نظر بر نویزهای موجود شده می‌باشد، بنابراین می‌توان با وزندهی بیشتر به بخش‌هایی با انرژی بیشتر، این بخش‌ها را برجسته نموده و نتایج را بهبود بخشید. فیلتر CPSP، بیشتر در محیط‌های پرنعکاس استفاده شده و نتایج آن در چنین محیط‌هایی از سایر فیلترها بهتر است.

در واقع این فیلتر از بوجود آمدن حالت برآیندی حاصل از قله‌های انعکاسات و از بین رفتن و یا کمرنگ شدن قله‌ی اصلی به واسطه انعکاسات محیطی، جلوگیری می‌کند و برای هر قله، یک تابع ضربه مجزا در نظر می‌گیرد. با این روش می‌توان طبق معیارهای ذکر شده، مکان بالاترین قله را به عنوان مقدار تأخیر سیگنال اصلی در نظر گرفت و از تشخیص اشتباه انعکاسات که دارای قله‌های کوچکتری هستند، جلوگیری نمود.

در [۲۸] برای تخمین مقدار تأخیر از روش GCC و فیلترینگ CPSP استفاده شده و برای تخمین مکان منبع از یک روش تکرارشونده^۳، با حدس یک مقدار اولیه^۴ بهره برده شده است. استفاده از این

^۱ Cross Power Spectrum Phase

^۲ Phase Transform

^۳ Iterative

^۴ Initial

روش در فضای ۳ بعدی نتایج مناسبی را دربردارد، به شرط آنکه مقدار اولیه مناسب انتخاب شود. در این روش برای تخمین مقادیر مختلف در فضای ۳ بعدی از ۸ میکروفون استفاده شده است.

در [۲۹]، معادلات برداری ارائه شده است که توسط آنها و نیز با استفاده از یک فیلتر وفقی، مقادیر تأخیر تخمین زده شده و برای محاسبه تأخیر در فضای ۳ بعدی، از ۴ میکروفون استفاده شده است. با توجه به جدول ۱-۲، می‌توان گفت فیلتر استفاده شده در روش CPSP به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{1}{|G_{x_1 x_2}(\omega_{k'})|} \quad 1-3$$

در واقع فیلتر کردن با تقسیم مقادیر خواسته شده بر اندازه تابع چگالی طیف توان دو سیگنال حاصل می‌شود.

در [۲۸]، با استفاده از عمل DFT روی هر سیگنال و انجام عملیات به صورت زیر، روش CPSP پیاده‌سازی می‌گردد. بعد از انجام عملیات می‌توان با انجام عکس عمل DFT، تأخیر را در حوزه زمان محاسبه نمود و یا با اندازه گیری اختلاف فاز خطی در حوزه فرکانس این کار را انجام داد.

$$ph_{c_{ik}}(l) = DFT^{-1} \left\{ \frac{DFT \{s_i(n)\} DFT \{s_k(n)\}^*}{|DFT \{s_i(n)\}| |DFT \{s_k(n)\}|} \right\} \quad 2-3$$

که در این فرمول s_i و s_k ، سیگنال‌های دریافتی در هر میکروفون می‌باشند.

نویزها و انعکاسات محیطی از عوامل مشکل آفرین در مسیر تعیین دقیق مکان منبع می‌باشند.

نویزهایی با همبستگی کم، مقدار سیگنال به نویز را در باند فرکانسی مورد نظر کاهش می‌دهند ولی اجزا CPSP را دچار تغییرات اساسی نمی‌کنند. نویزهایی با همبستگی زیاد، ممکن است به صورت رقیب برای سیگنال اصلی درآمده و کار ردیابی را دچار اختلال کنند زیرا فرض بر فعال بودن یک منبع غالب در هر لحظه است.

در محیط‌های پرنعکاس، بعد از دریافت سیگنال اصلی، بسیاری از سیگنال‌های منعکس شده به میکروفون می‌رسند. این انعکاسات، کار ردگیری منبع را دچار اختلال و در برخی موارد غیرممکن می‌کند.

در شرایط بحرانی وجود نویز و انعکاسات، استفاده از تخمین جفت میکروفون‌های اضافه و عدم استفاده از اطلاعات غیرقابل اعتماد براساس مقادیر آستانه، می‌تواند چاره ساز بوده و دقت اندازه‌گیری را افزایش دهد.

برای استفاده بهتر از میکروفون‌ها، می‌توان از چهار جفت میکروفون متمایز برای تخمین مقدار تأخیرها و تخمین مکان منبع استفاده می‌کنند تا نویزها و انعکاسات احتمالی به صورت دائمی تأثیرگذار نباشند.

فاصله زیاد بین میکروفون‌ها باعث افزایش دقت اندازه‌گیری زاویه‌ی نقطه قرارگیری منبع می‌گردد؛ اگرچه فاصله خیلی زیاد و تفاوت زیاد سیگنال‌ها، باعث کاهش قابلیت اعتماد به نتایج می‌گردد. عدم شباهت ممکن است هم بوسیله نویز و هم بوسیله انعکاسات روی دهد. بنابراین میکروفون‌ها باید دارای فاصله مناسب باشند و تأخیرها باید به صورت محلی و در هر محیط به صورت جداگانه محاسبه شوند.

طول قاب‌هایی¹ که برای اندازه‌گیری شباهت سیگنال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز در کاهش اثر نویز موثر می‌باشد. با افزایش طول قاب اثر نویز کاهش و با کاهش طول قاب اثر آن افزایش می‌یابد. گرچه افزایش طول قاب باعث بهبود نتایج می‌گردد، باید به این نکته توجه داشت که پردازش قاب‌هایی با اندازه‌ی بزرگ سرعت محاسبات را، مخصوصاً در کاربردهای زمان-واقعی، تحت تأثیر قرار می‌دهد.

¹ Frame

۳.۲ الگوریتم تخمین مکان منبع

مطابق مطالب ذکر شده در فصل ۲، روش‌های گوناگونی جهت حل معادلات تشکیل شده حاصل از تأخیر وجود دارد که روش Chan با بهره‌گیری از روشی که تقریبی از تخمین گر ML می‌باشد به حل این معادلات می‌پردازد [۲۷].

با استفاده از رابطه‌ی ۲-۱۹ و با توجه به این نکته که برای محاسبه‌ی موقعیت منبع در فضای سه‌بعدی می‌توان از تعداد زیادی میکروفون استفاده کرد، داریم:

$$-2x_i x_s - 2y_i y_s - 2z_i z_s + 2x_1 x_s + 2y_1 y_s + 2z_1 z_s = R_{i1}^2 + 2R_{i1}R_1 - x_i^2 - y_i^2 - z_i^2 + x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \quad 3-3$$

رابطه ۳-۳، از مقادیر واقعی (مکان قرارگیری میکروفون‌ها $[x_i, y_i, z_i]$) و مقادیر تخمینی (مقادیر محاسبه شده نظیر مکان منبع $[x_s, y_s, z_s]$ و فاصله‌ی منبع و میکروفون مبنا R_1) تشکیل شده است. اختلاف بین این مقادیر را می‌توان به عنوان خطای محاسباتی در نظر گرفته و با خلاصه‌سازی مقادیر به شکل ذکر شده در رابطه‌ی ۳-۴، به فرم ماتریسی ۳-۵ درآورد.

$$\begin{aligned} x_{i1} &= x_i - x_1 \\ y_{i1} &= y_i - y_1 \\ z_{i1} &= z_i - z_1 \\ K_i &= x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 \end{aligned} \quad 4-3$$

با توجه به اینکه برای افزایش دقت محاسبات و تخمین، می‌توان از تعداد زیادی میکروفون استفاده کرد، ماتریس خطا را به صورت زیر تشکیل می‌دهیم:

$$\psi = h - G_a z_a \quad 5-3$$

که در فرمول ۳-۵ مقادیر به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$h = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{21}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{31}^2 - K_3 + K_1 \\ \vdots \\ R_{M1}^2 - K_M + K_1 \end{bmatrix} \quad ۶-۳$$

$$G_a = \begin{bmatrix} x_{21} & y_{21} & z_{21} & r_{21} \\ x_{31} & y_{31} & z_{31} & r_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M1} & y_{M1} & z_{M1} & r_{M1} \end{bmatrix} \quad ۷-۳$$

$$z_a = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ R_1 \end{bmatrix} \quad ۸-۳$$

که M در روابط فوق، برابر تعداد حسگرها می‌باشد.

مقدار ψ را می‌توان به صورت زیر نیز، تعریف نمود:

$$\psi = cBn + 0.5c^2n \odot n \quad ۹-۳$$

\odot در عبارت فوق نشان دهنده‌ی ضرب غیرماتریسی یا عنصر در عنصر می‌باشد. عبارت دوم، با توجه به کوچک در نظر گرفته شدن مقدار نویز، قابل‌صرف‌نظر می‌باشد. c سرعت صوت (بر حسب متر بر ثانیه)، n ماتریسی تشکیل شده از خطای محاسبه هرکدام از تأخیرها و B ماتریس قطری فاصله‌ی هرکدام از حسگرها با منبع است که به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$n = [n_{21}, n_{31}, \dots, n_{M1}]^T \quad ۱۰-۳$$

$$B = \text{diag} \{r_2, r_3, \dots, r_M\} \quad ۱۱-۳$$

با استفاده از روابط فوق، می‌توان مقدار z_a را به صورت تقریبی زیر بدست آورد:

$$z_a \approx (G_a^T Q^{-1} G_a)^{-1} G_a^T Q^{-1} h \quad ۱۲-۳$$

مقدار حاصل‌شده z_a ، حاوی خطاست. خطای محاسبه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\psi' = h' - G_a' z_a' \quad ۱۳-۳$$

در رابطه‌ی فوق متغیرها به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$h' = \begin{bmatrix} (z_{a,1} - x_1)^2 \\ (z_{a,2} - y_1)^2 \\ (z_{a,3} - z_1)^2 \\ z_{a,4} \end{bmatrix} \quad ۱۴-۳$$

$$G_a' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad ۱۵-۳$$

$$z_a' = \begin{bmatrix} (x_s - x_1)^2 \\ (y_s - y_1)^2 \\ (z_s - z_1)^2 \end{bmatrix} \quad ۱۶-۳$$

با استفاده از روابط فوق می‌توان مقدار z_a' را محاسبه کرد:

$$z_a' = (G_a'^T B'^{-1} G_a'^T Q^{-1} G_a' B'^{-1} G_a')^{-1} (G_a'^T B'^{-1} G_a'^T Q^{-1} G_a' B'^{-1} G_a') h' \quad ۱۷-۳$$

حال با توجه به رابطه‌ی ۱۳-۳، می‌توان موقعیت منبع را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$z_p = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = \sqrt{z_a'} + \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad ۱۸-۳$$

$$z_p = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} = -\sqrt{z_a'} + \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad ۱۹-۳$$

روابط ۱۸-۳ و ۱۹-۳ جواب‌های معادله غیرخطی هذلولوی درجه دو تشکیل شده می‌باشند که محل قرارگیری منبع را نشان می‌دهند. از این دو جواب همیشه یکی درست است که در اکثر موارد رابطه‌ی ۱۸-۳ منجر به جواب صحیح می‌گردد.

در استفاده از حسگرها، باید به این نکته نیز توجه داشت که اگرچه با افزایش تعداد حسگرها، دقت محاسبات افزایش می‌یابد اما این افزایش دقت، کاهش سرعت اجرای الگوریتم را بدنبال خواهد داشت که این خود یکی از دلایل محدودکننده برای استفاده تعداد زیادی از حسگرها در محاسبات زمان-واقعی می‌باشد.

در بررسی روش‌های محاسبه مکان منبع بوسله‌ی روش TDOA، برای محاسبه در فضای دو بعدی، حداقل به ۴ میکروفون و در فضای ۳ بعدی حداقل به ۵ حسگر نیاز است.

در انجام عمل تخمین مکان منبع با استفاده از روش‌های ذکرشده، عوامل بسیاری نظیر نحوه قرارگیری حسگرها نسبت به یکدیگر و فاصله آنها موثر واقع می‌شوند که برای بررسی بیشتر به [۳۰] مراجعه نمایید.

۳.۳ نرم‌افزار

در مراحل انجام پروژه موقعیت‌یابی سیگنال صوتی تک‌فرکانس در فضای سه بعدی، نیاز به اجرای برنامه‌ای است تا چرخه‌ی انتقال داده‌ها کامل شود. به منظور انتقال اطلاعات از سنسورهای نصب شده در محیط به کامپیوتر، باید از سیستم خاصی استفاده کرد تا این اطلاعات ساختاربندی خود را حفظ کرده و در جایی مناسب ذخیره شوند تا پردازش مورد نظر روی آنها انجام گیرد.

برای انجام این کار از جعبه‌ابزار دریافت اطلاعات (DAQ)^۱ در نرم‌افزار متلب^۲ استفاده شده است. این ابزار، امکانات مناسبی را جهت دریافت، پردازش، دسته‌بندی و سازمان‌دهی^۳ داده‌های ارسالی از سنسورها فراهم می‌آورد. بلوک دیاگرام این ابزار و نحوه‌ی ارتباط آن با سخت‌افزار خارجی در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

این جعبه ابزار دارای سه بخش اصلی توابع M-file، موتور جعبه‌ابزار^۴ و هماهنگ‌ساز گرداننده‌ی سخت‌افزار^۵ است.

توابع M-file بخشی از سیستم هستند که وظیفه‌ی ایجاد بخشی با عنوان شیء‌ابزار^۶ و سازمان‌دهی دریافت و ارسال اطلاعات با سخت‌افزار و حسگرها را بر عهده دارند.

Device Object، بخشی است که با ایجاد آن اجازه دسترسی به سخت‌افزار کامپیوتر نظیر پورت‌ها داده می‌شود. این بخش می‌تواند به صورت ورودی آنالوگ (AI)^۷، خروجی آنالوگ (AO)^۸ و

^۱ Data Acquisition Toolbox

^۲ Matlab

^۳ Organization

^۴ Data Acquisition Engine

^۵ Hardware driver adaptors

^۶ Device Object

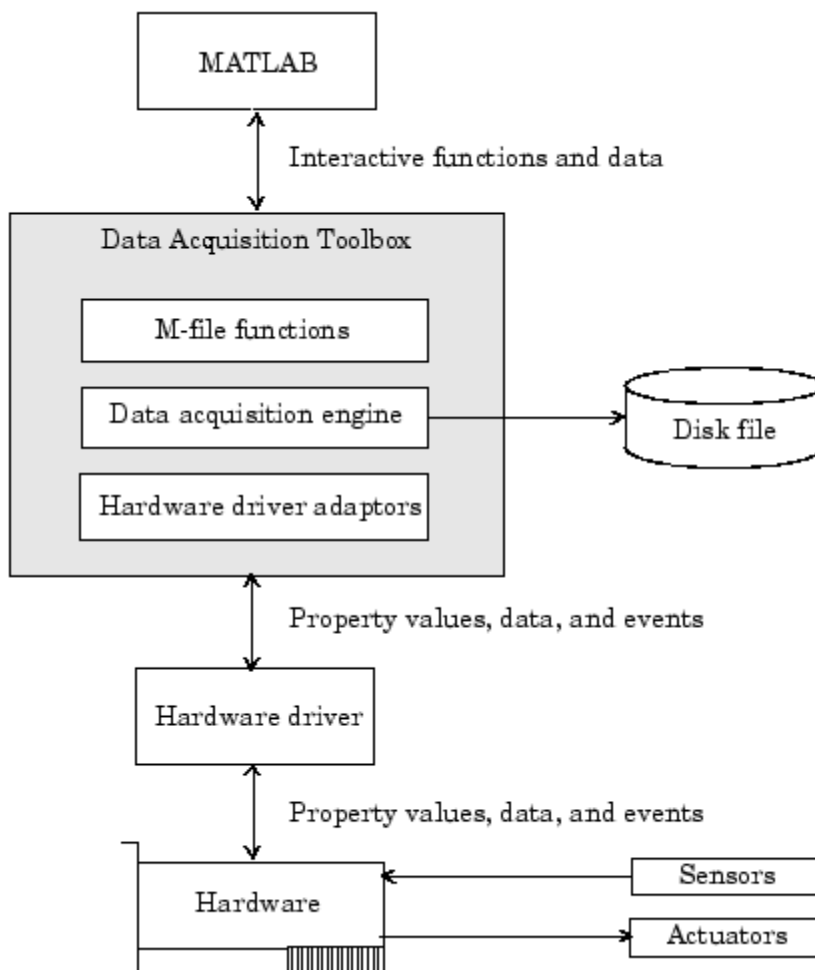
^۷ Analog Input

^۸ Analog Output

ورودی/خروجی دیجیتال (DIO)^۱ تعریف گردد که در شکل ۳-۲ قابل مشاهده است. در این پروژه از بخش ورودی آنالوگ استفاده شده است.

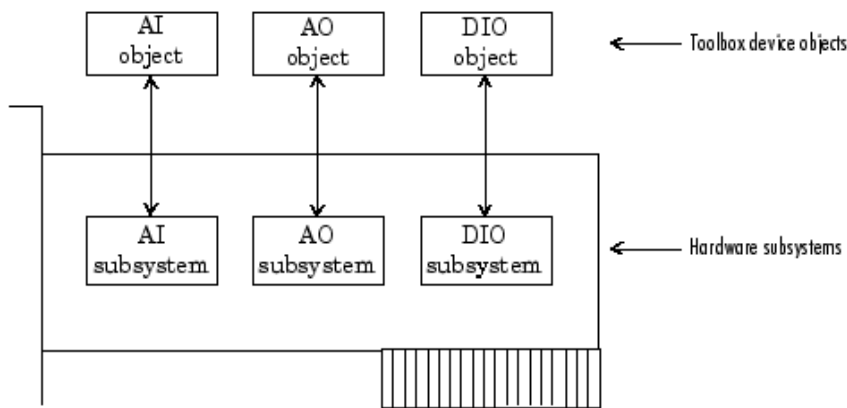
موتور جعبه‌ابزار، وظیفه ذخیره و سازمان‌دهی داده‌های دریافتی/ارسالی را برعهده دارد.

همانگ‌ساز، وظیفه‌ی ارتباط بین سخت‌افزار و موتور جعبه‌ابزار را برعهده دارد.



شکل ۳-۱-۳-دیگرام جعبه ابزار دریافت اطلاعات

^۱ Digital Input/Output



شکل ۳-۲- ارتباط بین جعبه ابزار و سخت‌افزار

جدول ۳-۱- ایجاد Device Object با استفاده از نوع دیتا و جهت حرکت آن

Subsystem Type	Creation Function
Analog input	<code>analoginput('adaptor', ID);</code>
Analog output	<code>analogoutput('adaptor', ID);</code>
Digital I/O	<code>digitalio('adaptor', ID);</code>

۳.۳.۱ ایجاد یک Device Object

ایجاد یک Device Object با توجه به نوع آن (AI، AO و DIO) آن مشخص می‌شود. شکل کلی

دستور ایجاد یک Device Object جدول ۳-۱ آورده شده است.

هر سخت‌افزاری که به کامپیوتر متصل می‌شود دارای شماره‌ای است که توسط سیستم و یا

نرم‌افزار مورد استفاده به آن اختصاص داده می‌شود. این شماره با نام اختصاری ID مشخص می‌شود.

در واقع ID مشخص‌کننده‌ی شماره سخت‌افزار مورد استفاده است. شماره‌های اختصاص داده شده در

نرم‌افزار متلب از صفر آغاز می‌شوند.

Adaptor نامی است که برای مشخص کردن نوع سخت‌افزار، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در جدول ۲-۳ آورده شده است.

جدول ۲-۳- سخت‌افزار مورد تایید برای استفاده در ایجاد

Hardware Vendor	Adaptor Name
Advantech®	advantech
Measurement Computing™	mcc
National Instruments®	nidaq
Parallel port	parallel
Microsoft® Windows® sound card	winsound

در این پروژه از کارت صوت خارجی، که در متلب با نام "winsound" به عنوان adaptor شناخته می‌شود، استفاده شده و با توجه به تعداد کارت‌های صوتی که ۷ عدد هستند، IDها از صفر تا ۷ شماره‌بندی می‌شوند. بنابراین دستور ایجاد Device Object در این پروژه به صورت زیر می‌باشد:

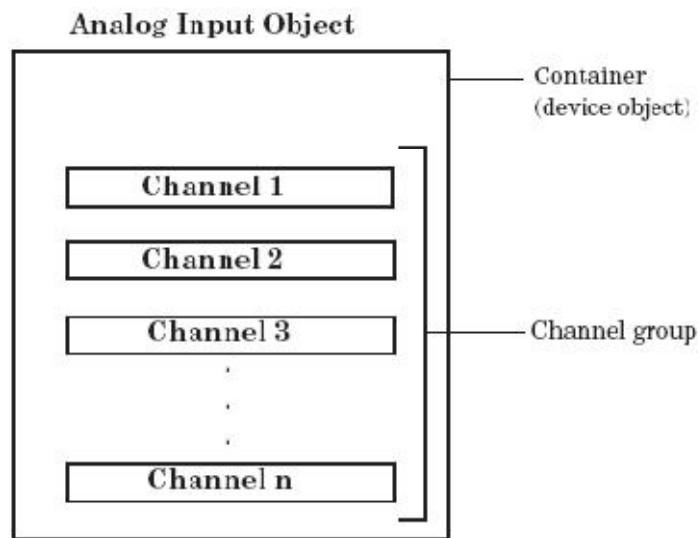
```
ai = analoginput('winsound', ID);
```

بعد از ایجاد Device Object، باید برای آن کانال^۱ تعریف نمود. به عنوان مثال می‌توان سیگنال صوتی استریو^۲ را دو کاناله و صوت مونو^۳ را تک کاناله معرفی کرد. در واقع Device Object را می‌توان مجموعه‌ای از کانال‌ها فرض کرد که اطلاعات به صورت گروهی از یک وسیله به آن منتقل می‌شوند (شکل ۳-۳)

^۱ Channel

^۲ Stereo Sound

^۳ Mono Sound



شکل ۳-۳- ارتباط بین Device Object و کانال‌های مربوط به آن

نحوه تعریف کانال با توجه به نام Device Object و به صورت زیر تعریف می‌گردد. این دستور برای تعریف دو کانال نوشته شده است:

```
ch = addchannel(ai, 1:2);
```

در تعریف کانال‌ها باید به این نکته توجه نمود که تعریف کانال‌های متعدد برای یک Device Object تنها زمانی امکان‌پذیر است که همه آنها از یک نوع باشند و در ضمن برای هر Device Object تعریف حداقل یک کانال ضروری‌ست.

۳.۳.۲ پیکربندی

پیکربندی به معنای ایجاد تغییرات در خصوصیات و ویژگی‌های Device Object و کانال‌های آن می‌باشد. از مهمترین این ویژگی‌ها می‌توان به نرخ نمونه‌برداری، نحوه‌تحریک Device، نحوه ذخیره‌سازی، نام‌های پیش‌فرض برای ذخیره‌سازی و ... اشاره کرد.

برای دریافت کلیه ویژگی‌ها می‌توان از دستور زیر که در آن نام Device و یا به صورت خاص کانال آن ذکر شده است استفاده کرد:

```
Get(ai)
Get(ai.channel(index))
```

و یا به صورت خاص، یک ویژگی را دریافت کرد:

```
Get(ai,'feature')
```

برای تغییر در هر کدام از خصوصیات، می‌توان از دستور زیر، با ذکر نام Device و ویژگی موردنظر استفاده کرد:

```
set(ai,'feature','value')
```

۳.۳.۳ تحریک

برای تنظیم زمان ذخیره اطلاعات در فرآیند دریافت، از تحریک^۱ استفاده می‌شود. تحریک‌ها در متلب، ۳ نوع هستند:

Immediate: که تحریک درست بعد از اجرای فرمان start اجرا می‌شود.

Manual: تحریک در این حالت بعد از اجرای دستور trigger اجرا می‌شود. این حالت بیشتر زمانی استفاده می‌شود که بخواهیم بعد از تعداد نمونه‌ی خاصی که در فیلد SamplePerTrigger مشخص شده‌است، تحریک عمل کند. در این پروژه از این نوع از تحریک استفاده شده است.

Software: تحریک در این حالت، درست بعد از اینکه شرایط ذکر شده در فیلد TriggerCondition برآورده شد، عمل می‌کند. این نوع از تحریک فقط برای AI قابل استفاده است.

۳.۳.۴ ذخیره اطلاعات

در جعبه‌ابزار دریافت اطلاعات در متلب، سه دستور برای دریافت اطلاعات وجود دارد:

Getsample: این دستور بلافاصله یک نمونه را برمی‌گرداند و داده‌ها را در موتور ذخیره نمی‌کند و یا از آن برداشت نمی‌کند.

Getdata: این دستور می‌تواند علاوه بر تعداد نمونه‌ای خاص، نوع، زمان و تاریخ آن را نیز مشخص کند. اگر در این دستور تعداد نمونه‌ها ذکر نشود، تعداد نمونه‌هایی به اندازه مقدار تعیین شده در SamplePerTrigger را برگردانده و در یک ماتریس $m*n$ قرار می‌دهد. n تعداد کانال و m تعداد

^۱ Trigger

نمونه‌هاست. این دستور کنترل نرم‌افزار را در دست می‌گیرد و تا زمان برگرداندن اطلاعات نگه می‌دارد.

Peekdata: آخرین نمونه‌ها را به تعداد خواسته شده برمی‌گرداند. در این دستور، احتمال از دست رفتن اطلاعات نسبت به دستور Getdata بیشتر است زیرا این دستور کنترل نرم‌افزار را در دست نمی‌گیرد و برداشت اطلاعات در آن، با استفاده از یک تصویر لحظه‌ای^۱ انجام می‌شود.

بعد از ذکر نکات فوق در مورد نحوه بازیابی اطلاعات دریافتی، باید به ذکر مکان‌های ذخیره اطلاعات دریافتی توسط دستورات فوق پرداخت.

در جعبه ابزار دریافت اطلاعات متلب، می‌توان داده‌های دریافتی را در حافظه^۲ (منظور حافظه Ram)، در دیسک^۳ (حافظه‌های غیرفرار مانند هارد دیسک^۴ کامپیوتر) و یا در هر دو ذخیره نمود.

در صورت استفاده از حالت حافظه، دریافت اطلاعات بوسیله دستور Getdata انجام می‌گیرد. حالت پیش‌فرض نرم‌افزار، این حالت است.

استفاده از حالت دیسک، این مزیت را دارد که اطلاعات دریافتی در مکانی ذخیره شده و از بین نمی‌روند. دریافت اطلاعات در این حالت با استفاده از دستور daqread انجام می‌گیرد. در صورت استفاده از این حالت، باید توجه کرد که نام فایل‌های مورد نظر جهت ذخیره داده‌ها در فیلد^۵ LogFileName مشخص گردد.

^۱ Snapshot

^۲ Memory

^۳ Disk

^۴ Hard Disk

^۵ Field

۳.۳.۵ روند دریافت اطلاعات

دریافت اطلاعات در جعبه‌ابزار با دستور Start آغاز و با دستور Stop به پایان می‌رسد.

بعد از دستور Stop، جهت آماده شدن نرم‌افزار برای انتقال‌های بعدی، باید Device Object مورد نظر را حذف نمود. برای پاک کردن آن از دستور Delete و برای پاک کردن آن از فضای کاری نرم‌افزار از دستور Clear استفاده می‌شود.

قبل از اجرای دستور Start، باید کلیه دستورات مربوط به پیکربندی، ساختار بندی کانال‌ها، تحریک، ذخیره اطلاعات و ... اجرا شوند.

بعد از اجرای دستور Start و قبل از رسیدن به دستور Stop، باید کلیه امور مربوط به ذخیره، سازماندهی و پردازش اطلاعات دریافتی انجام گیرد.

۳.۴ سخت‌افزار

پیاده‌سازی عملی پروژه موقعیت‌یابی منبع صوتی در فضای سه بعدی، مستلزم بکارگیری ابزار و ادوات خاصی است. هر کدام از این ادوات به نوعی با کامپیوتر در ارتباط بوده و به وسیله آن مدیریت می‌شوند.

این ادوات و قطعاتی در روند انجام کار، در مرحله پیش از ورود اطلاعات به کامپیوتر قرار می‌گیرند؛ و وظیفه جمع‌آوری و هماهنگ‌سازی^۱ اطلاعات دریافتی از سنسورها^۲ و ارسال آنها به کامپیوتر را، برای انجام عملیات پردازشی موردنظر، بر عهده دارند.

برای ساخت بخش سخت‌افزار سیستم تعیین مکان منبع صوتی، باید به شیوه‌ای سنسورهای نصب شده در فضا را به کامپیوتر متصل نموده و صدای دریافتی را پردازش نمود. برای اینکار از کارت‌های صوتی متعدد استفاده شده است، که به دلایل ذکر شده در [۳۱] نمی‌توان از اسلات‌های^۳ روی مادربرد^۴ کامپیوترهای خانگی (PC)^۵ استفاده کرد.

راه‌حل دیگر، استفاده از کارت‌های صوتی خارجی^۶ است که بوسیله پورت USB^۷ به کامپیوتر متصل می‌شوند. در استفاده از این کارت‌ها نیز محدودیتی وجود دارد که مربوط به محدودیت پورت‌های USB موجود در کامپیوتر است که این مشکل با استفاده از هاب^۸ قابل‌رفع است.

^۱ Calibration

^۲ Sensors

^۳ Slot

^۴ Motherboard

^۵ Personal Computer

^۶ External

^۷ Universal Serial Bus

^۸ Hub

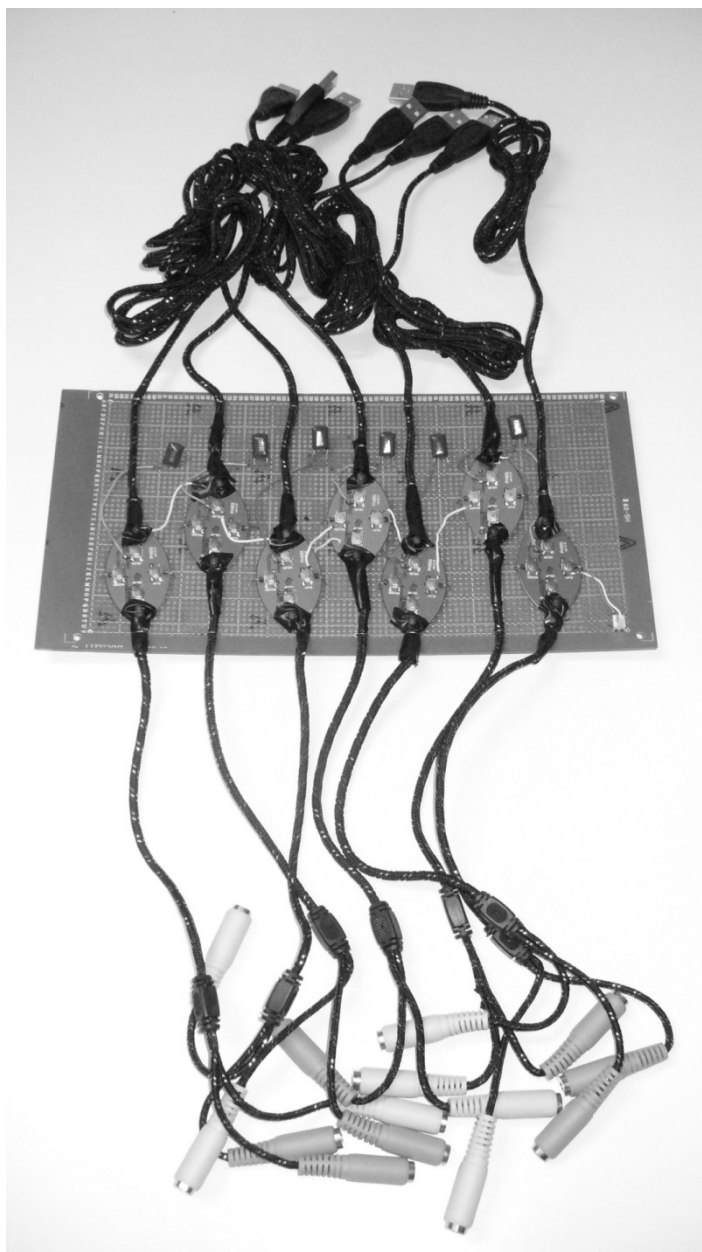


شکل ۳-۴-هاب استفاده شده در اتصال آرایه‌ی میکروفون‌ها

برای ساخت سیستم تعیین مکان، از هفت کارت صوت استفاده شده است. با توجه به محدودیت ۴ تایی پورت‌های USB موجود بر روی سیستم مورد نظر، از یک هاب ۴ ورودی، استفاده شده است (شکل ۳-۴). استفاده از کارت‌های متعدد مشکلاتی را بوجود می‌آورد که نیاز به تنظیم قطعات با یکدیگر را لازم می‌سازد.

برای هماهنگی زمانی کارت‌ها، پایه‌ی شماره ۸ از کارت‌های صوتی (کریستال‌ها) بوسیله‌ی یک خازن 33nF به یکدیگر متصل نموده‌ایم تا در صورت وجود اختلاف جزئی در کریستال‌ها (هر چند فرکانس نامی آنها یکسان است)، کریستال با فرکانس بیشتر، غالب شده و تمامی کارت‌ها بوسیله آن تحریک شوند.

شکل ۳-۵-کارت‌های صوتی استفاده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- کارت‌های صوتی استفاده شده جهت دریافت سیگنال‌های صوتی همراه با اتصالات خازنی

بزرگترین مشکلی که حل آن برای حاصل شدن جواب دقیق لازم است، تأخیرهایی است که بوسیله بافرهای موجود در سر راه سیگنال‌های دریافتی در قطعات سخت‌افزاری و نرم‌افزار متلب و در مسیر

ورود داده‌ها^۱، بوجود می‌آید. برای حل این مشکل از روشی استفاده شده که شرح آن در زیر بیان می‌گردد.

مقدار تأخیر در مسیر ورودی هر میکروفون را می‌توان بوسیله محاسبه‌ی تأخیر یک سیگنال واحد که به صورت یکسان و بدون تأخیر به همه میکروفون‌ها اعمال می‌شود، محاسبه کرد. برای اینکار باید در ابتدای ضبط سیگنال‌ها تاخیرها محاسبه شود.

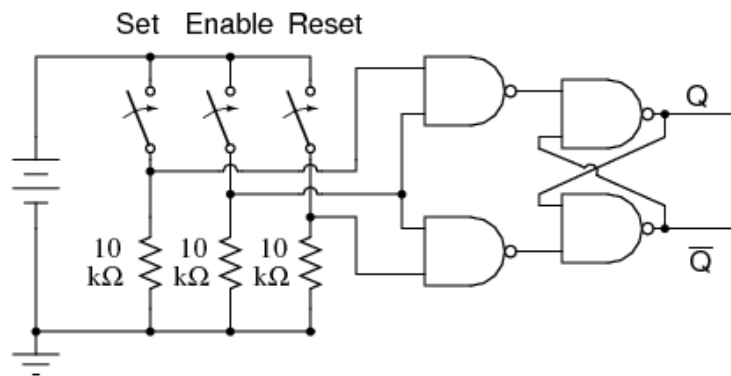
با استفاده از پایه شماره ۱۲ از IC استفاده شده در کارت‌های صوتی (CM119) که به LED متصل است) که در زمان دریافت سیگنال تغییر وضعیت می‌دهد، می‌توان زمان شروع دریافت را تشخیص داد (شکل ۳-۵). البته در عمل تغییر وضعیت این پایه بین مقدار صفر و ۱/۷ ولت است، بنابراین برای استفاده مناسب از یک ترانزیستور به صورت گیت NOT استفاده کرده‌ایم تا بتوانیم مقادیر صفر و پنج ولت را به صورت دقیق بدست آوریم.

در هنگام تشخیص زمان شروع دریافت، پایه ۱۲ از CM119 پایه Set از یک مدار Latch را فعال می‌کند که آن را در شکل ۳-۶ مشاهده می‌کنید. پایه \bar{Q} از Latch موردنظر به یک مونواستابل^۲ که بوسیله LM555 ساخته شده است، متصل است و با یک لبه پایین‌رونده آن را تحریک می‌کند (شکل شماره ۳-۷) تحریک مونواستابل باعث فعال شدن یک سیگنال در خروجی آن شده و این سیگنال بوسیله رله‌ی^۳ متصل به آن، سیگنال تولید شده توسط مولد صوت BT66T را در ورودی کارت صوت قرار می‌دهد.

^۱ Data

^۲ Monostable

^۳ Relay



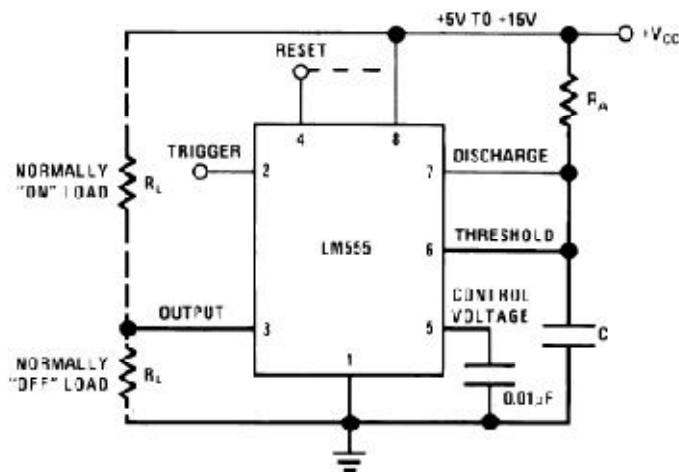
شکل ۳-۶. Gated SR-Latch استفاده شده برای تحریک مونواستابل

با غیرفعال شدن سیگنال خروجی مونواستابل، رله نیز تغییر کانال داده و سیگنال دریافتی از میکروفون‌ها را در ورودی کارت صوت قرار می‌دهد.

بعد از دریافت زمان مشخصی از سیگنال تولید شده بوسیله مولد صوت، تأخیر موجود بین این سیگنال‌ها بوسیله انجام عمل همبستگی محاسبه شده و در محاسبه تأخیر بین سیگنال‌های دریافتی اصلی در میکروفون‌ها، مدنظر قرار می‌گیرند.

در پیاده‌سازی سیستم فوق، به دلیل هماهنگ‌سازی کریستال‌ها در کارت‌های صوتی، از پایه شماره ۱۲ یکی از ICها و برای اینکار تنها از یک مدار Latch و مونواستابل بهره گرفته شده است. به دلیل قرارگیری جداگانه سیگنال هر میکروفون در کارت‌های صوتی مجزا، برای هر کارت صوت یک رله در نظر گرفته شده که به صورت هماهنگ بوسیله مونواستابل تحریک شده و سیگنال تولیدی را از طریق یک BT66T در ورودی کارت‌ها قرار می‌دهند.

تحریک رله‌ها نیاز به جریان زیادی دارد که بوسیله خروجی LM555 تأمین نمی‌شود، به همین خاطر در خروجی آن از یک ترانزیستور قدرت^۱ (BD135) استفاده شده است تا بتوان جریان مناسب را دریافت کرده و همچنین بتوان جریان لازم برای تحریک هفت رله را تأمین کرد (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۷- مونواستابل ساخته شده بوسیله LM555

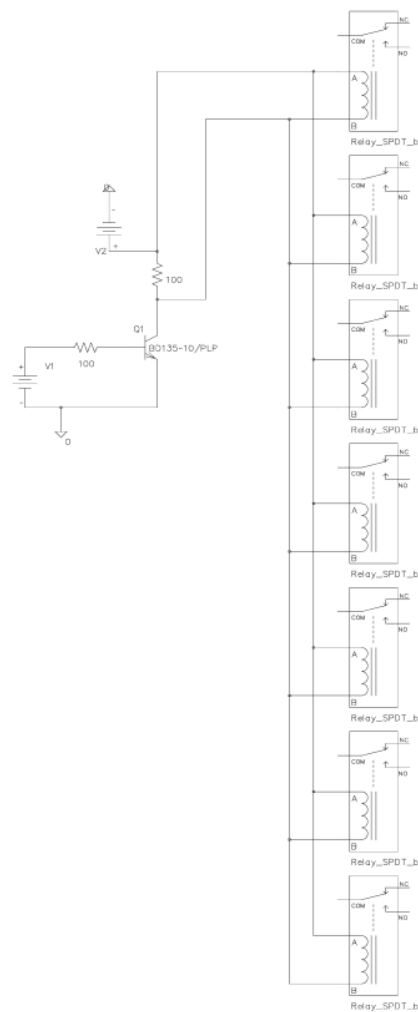
برای هماهنگ‌سازی بیشتر، پایه‌های زمین^۲ را در تمامی کارت‌ها و نیز در IC ها و قطعات استفاده شده به یکدیگر متصل می‌نماییم.

Latch استفاده شده از نوع S-R دروازه‌ایست^۳ که بعد از یک بار تحریک پایه‌ی Set، تحریک پذیر نبوده و در صورت ورود سیگنال دیگری به این پایه، در خروجی آن تغییر وضعیتی مشاهده نمی‌شود مگر آنکه پایه‌ی Reset در آن تحریک گردد.

^۱ Power Transistor

^۲ GND

^۳ NAND Gated SR Latch

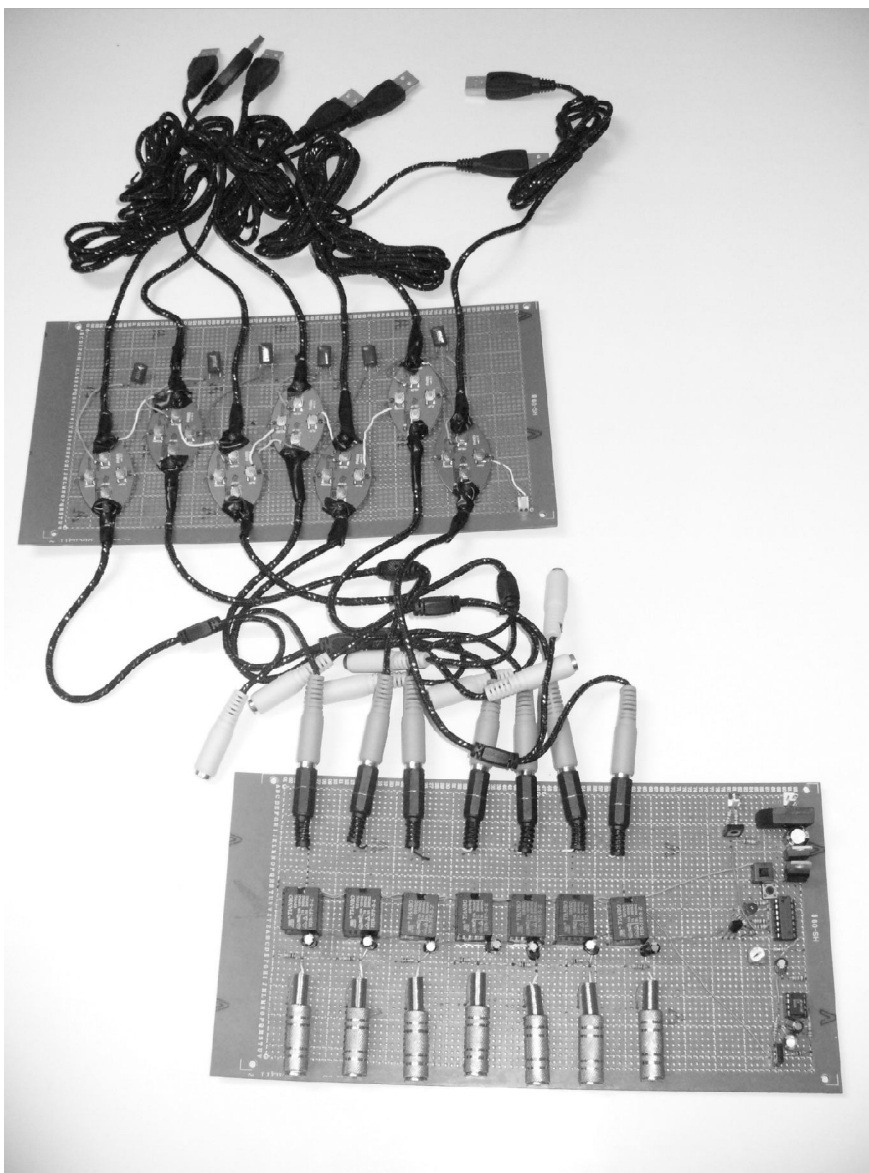


شکل ۳-۸. ترانزیستور استفاده شده جهت تحریک رله‌ها با استفاده از ولتاژ خروجی LM555

دلیل استفاده از Latch و مونواستابل به صورت همزمان نیز همین مورد است که مولد صوت فقط یکبار بوسیله لبه پایین‌رونده اولیه تحریک شده و هماهنگ‌سازی انجام گیرد و در پالس‌های بعدی، دریافت سیگنال از میکروفون‌ها صورت گیرد، مگر آنکه Reset به صورت دستی انجام شود.

قطعات استفاده شده جهت هماهنگ‌سازی کارت‌های صوتی و اتصال آنها به کارت‌های صوتی در

شکل ۳-۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۹. ادوات هماهنگ‌ساز کارت‌های صوتی و اتصال آنها به کارت‌ها

فصل چہارم

نتائج

با توجه به مطالب ذکر شده در فصول قبل و روشهای استفاده شده در طراحی سیستم تعیین مکان منبع صوت، آزمایش‌هایی خاص انجام گردیده که شرح و نتایج آن در این فصل بیان خواهد شد.

این آزمایش‌ها برای چیدمان‌های متمایز، موقعیت‌های مختلف، نسبت‌های سیگنال به نویز متفاوت و برای منابع ثابت و متحرک انجام گرفته‌اند که در دو بخش ارائه شده‌اند.

آزمایش‌ها در یک اتاق با عرض ۴ متر، طول ۶ متر و ارتفاع ۳.۵ متر انجام شده‌اند که آرایه‌ی میکروفونی در مرکز این اتاق قرار دارد.

برای کاهش اثر انعکاسات محیطی، آرایه‌ی میکروفونی بر روی یک صفحه‌ی پوشیده شده بوسیله موکت قرار گرفته که این سطح روی میزی به ارتفاع ۱.۲ متر قرار داده شده است. سطح مذکور به وسیله‌ی دو صفحه یونولیتی از بالا و پشت محصور گردیده است تا انعکاسات رسیده از سقف و دیوارهای پشتی آرایه به حداقل برسد.

آزمایش‌ها برای ۹ چیدمان مختلف و در حالت قرارگیری منبع سیگنال در موقعیت‌های متفاوت و برای منابع ثابت و متحرک انجام گرفته است. مقادیر بدست آمده برای ۵ نسبت سیگنال به نویز متفاوت ارزیابی شده‌اند. خطای تخمین مکان به ازای سیگنال به نویزهای متفاوت در هر کدام از چیدمان‌ها محاسبه گردیده و در جداول مربوطه ثبت گردیده است.

در آزمایشات انجام شده فرکانس نمونه‌برداری ۴۴۱۰۰ نمونه در ثانیه می‌باشد. فریم‌های در نظر گرفته شده برای اندازه‌گیری شباهت سیگنال‌ها دارای ۸۱۹۲ نمونه می‌باشند.

آزمایشات انجام شده برای آرایه‌ای با ۵ میکروفون انجام شده و نتایج مربوط به آن ثبت گردیده است.

چیدمان‌های ۹ گانه که آزمایش‌های ذکر شده در این فصل روی آنها انجام شده است در زیر آورده شده‌اند. مختصات ذکر شده برای هر یک از چیدمان‌ها بر حسب متر می‌باشد.

چیدمان اول:

$$m_1 = [0/0.5, 0/0.5, 0/3]; \quad m_2 = [0, 0/1, 0/1.5]; \quad m_3 = [0/1, 0, 0/1.5];$$

$$m_4 = [0/2, 0, 0]; \quad m_5 = [0, 0/2, 0];$$

چیدمان دوم:

$$m_1 = [0, 0, 0/3]; \quad m_2 = [0/2, 0/2, 0]; \quad m_3 = [0, 0/1, 0/1.5];$$

$$m_4 = [0/1, 0, 0/1.5]; \quad m_5 = [0/1, 0/1, 0/1.5];$$

چیدمان سوم:

$$m_1 = [0, 0, 0/3]; \quad m_2 = [0/2, 0/2, 0]; \quad m_3 = [0, 0/3, 0/1];$$

$$m_4 = [0/3, 0, 0/1]; \quad m_5 = [0/1.5, 0/1.5, 0/1];$$

چیدمان چهارم:

$$m_1 = [0, 0, 0/3]; \quad m_2 = [0, 0/2, 0/2.5]; \quad m_3 = [0, 0/4, 0/2.5];$$

$$m_4 = [0/2, 0, 0/2.5]; \quad m_5 = [0/4, 0, 0/2.5];$$

چیدمان پنجم:

$$m_1 = [0/2.5, 0/2.5, 0/3.5]; \quad m_2 = [0, 0, 0/6]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/4];$$

$$m_4 = [0/5, 0, 0/4]; \quad m_5 = [0/5, 0/5, 0/2];$$

چیدمان ششم:

$$m_1 = [0/2.5, 0/2.5, 0/4]; \quad m_2 = [0, 0, 0/3]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/2];$$

$$m_4 = [0/5, 0, 0/2]; \quad m_5 = [0/5, 0/5, 0/1];$$

چیدمان هفتم:

$$m_1 = [0/2.5, 0/2.5, 0/4]; \quad m_2 = [0, 0, 0/2.5]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/2.5];$$

$$m_4 = [0/5, 0, 0/25]; \quad m_5 = [0/5, 0/5, 0/25];$$

چیدمان هشتم:

$$m_1 = [0/25, 0/25, 0/45]; \quad m_2 = [0, 0, 0/6]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/3];$$

$$m_4 = [0/5, 0, 0/3]; \quad m_5 = [0/5, 0/5, 0/6];$$

چیدمان نهم:

$$m_1 = [0/25, 0/25, 0/45]; \quad m_2 = [0, 0, 0/3]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/6];$$

$$m_4 = [0/5, 0, 0/6]; \quad m_5 = [0/5, 0/5, 0/3];$$

بدلیل استفاده‌ی الگوریتم Chan از خواص ماتریسی و نیز استفاده از تفاضل مکان قرارگیری میکروفون‌ها، قرار دادن میکروفون‌ها در مکان‌هایی که یکی از عناصر سه‌گانه‌ی مختصات دکارتی برابر باشند، باعث صفر شدن مقادیر تفاضل و در نهایت صفر شدن ماتریس تفاضل مکان‌ها می‌گردد. صفر شدن این ماتریس باعث غیرمنفرد شدن ماتریس مختصات مکان تخمینی می‌گردد و الگوریتم را دچار مشکل می‌نماید.

علاوه بر چیدمان‌های فوق، چیدمان‌هایی نظیر چیدمان خطی، سطحی و ... نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند که بدلائیل ذکر شده از آنها صرف‌نظر شده است.

در استفاده از هر چیدمان باید با رعایت حداقل و حداکثر فاصله‌ی بین میکروفون‌ها توجه داشت. حداقل فاصله بین میکروفون‌ها برابر یک چهارم طول موج سیگنال ارسالی می‌باشد. این مقدار به آن دلیل است که کمتر بودن فاصله‌ی بین میکروفون‌ها باعث بوجود آمدن اعوجاج فاز در تخمین مکان ماکزیمم مقدار می‌گردد.

ماکزیمم مقدار فاصله‌ی بین میکروفون‌ها برابر یک طول موج می‌باشد. بیشتر بودن فاصله‌ی میکروفون‌ها از این مقدار، محاسبه شباهت بین سیگنال‌ها را بی‌فایده می‌نماید.

۴.۱ منبع ثابت

خطای تخمین مکان برای منبع ثابت در ۵ موقعیت متفاوت ارزیابی شده است. موقعیت‌های مورد آزمایش در نقاط مختلف صفحه و با فواصل مختلف در نظر گرفته شده‌اند.

طول زمان انجام آزمایش‌ها ۱۵ ثانیه می‌باشد. ۵ ثانیه اول برای تشکیل ماتریس کواریانس اولیه صرف شده و ۱۰ ثانیه باقیمانده به مکان‌یابی اختصاص می‌یابد.

این آزمایش‌ها برای ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف اندازه‌گیری شده‌اند که جمعاً ۲۲۵ آزمایش ۱۵ ثانیه‌ای را دربرگرفته‌اند. میانگین و واریانس خطای محاسبه مکان منبع در جداول مربوطه ثبت گردیده‌اند.

خطاهای اندازه‌گیری شده شامل خطای مطلق و خطای نسبی می‌باشند. خطای نسبی حاصل تقسیم خطای مطلق بر فاصله‌ی منبع تا میکروفون مبنا می‌باشد.

۵ موقعیت مورد آزمایش در الگوریتم تخمین مکان منبع ثابت، در زیر آورده شده‌اند:

$$S_1 = [1/3, 0/7, 0/5];$$

$$S_2 = [0/8, 1/5, 0/5];$$

$$S_3 = [1/5, 0/4, 0/4];$$

$$S_4 = [1/7, 1, 0/6];$$

$$S_5 = [0/2, 2, 0/4];$$

در جداول زیر، میانگین و واریانس خطای مطلق و نسبی تخمین مکان به ازای سیگنال به نویزهای مختلف آورده شده است. مقادیر ذکر شده در جداول زیر بر حسب میلی‌متر می‌باشند.

در نهایت، نتایج حاصله از این اندازه‌گیری‌ها بررسی خواهند شد.

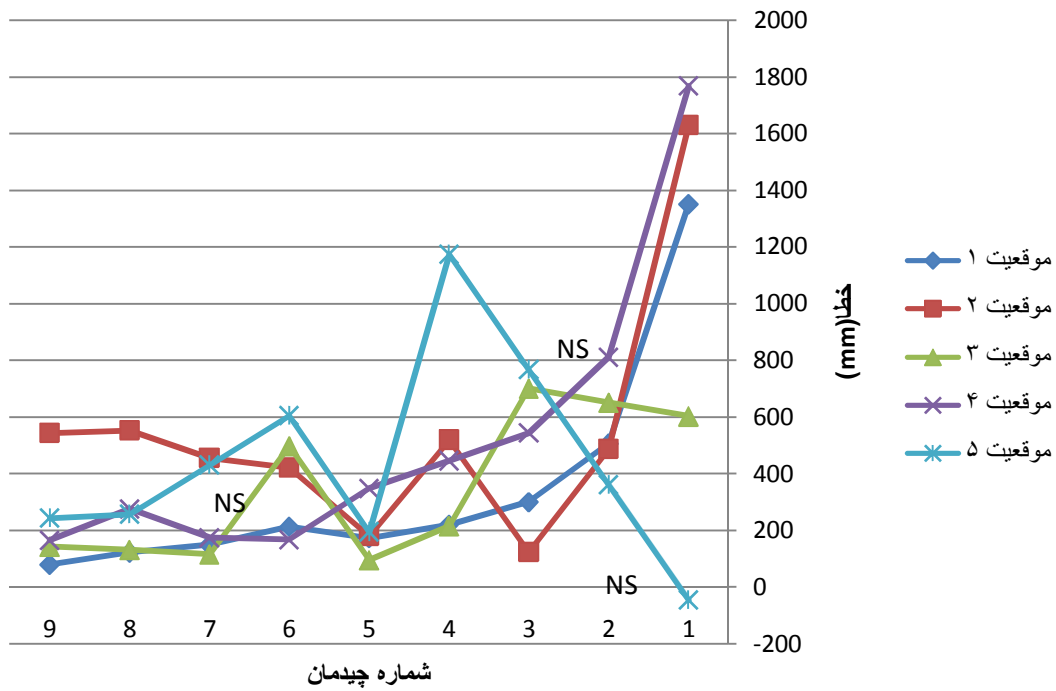
جدول ۱-۴- میانگین خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۵۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 50 db	
79.5	122.4	149	213	172.7	220.1	300	506.5	1351	میانگین	موقعیت ۱
0	0	0.3	0.9	0	0	0	136.7	1.2	واریانس	
544.2	552.3	455.3	422	180.2	520.4	124.3	487.4	1630	میانگین	موقعیت ۲
0.1	0	0	0	0	0	0	21.4	0.3	واریانس	
143.6	131.8	115.6	497.1	95.7	215.9	700.5	651.5	NS	میانگین	موقعیت ۳
0	0	0	0	0	127.3	167.7	121.1	NS	واریانس	
165.2	276.4	174	167	348.4	NS	543.4	811	1767.4	میانگین	موقعیت ۴
0	0	1.7	10.1	0	NS	0	272	3.1	واریانس	
244.3	256.9	NS	605.7	195.1	1174.1	NS	361.2	NS	میانگین	موقعیت ۵
0	0	NS	0	0	856.8	NS	0	NS	واریانس	

جدول ۲-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۵۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 50 db	
60.8	93.6	113.3	162	130.1	99.1	135.1	228.2	667.2	میانگین	موقعیت ۱
0	0	0.2	0.5	0	0	0	27.7	0.3	واریانس	
282.3	286.6	239	221.5	95.5	179.5	42.9	168.1	609.4	میانگین	موقعیت ۲
0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	واریانس	
90.4	83	72.9	313.7	60.3	89.2	289.5	269.2	NS ^۱	میانگین	موقعیت ۳
0	0	0	0	0	21.7	28.6	20.7	NS	واریانس	
61.5	102.8	64.3	61.7	127.7	NS	136.5	203.8	475.7	میانگین	موقعیت ۴
0	0	0.2	1.4	0	NS	0	17.2	0.2	واریانس	
79.6	83.7	NS	197.6	63.6	289.9	NS	89.2	NS	میانگین	موقعیت ۵
0	0	NS	0	0	52.2	NS	0	NS	واریانس	

^۱ Non-Singular



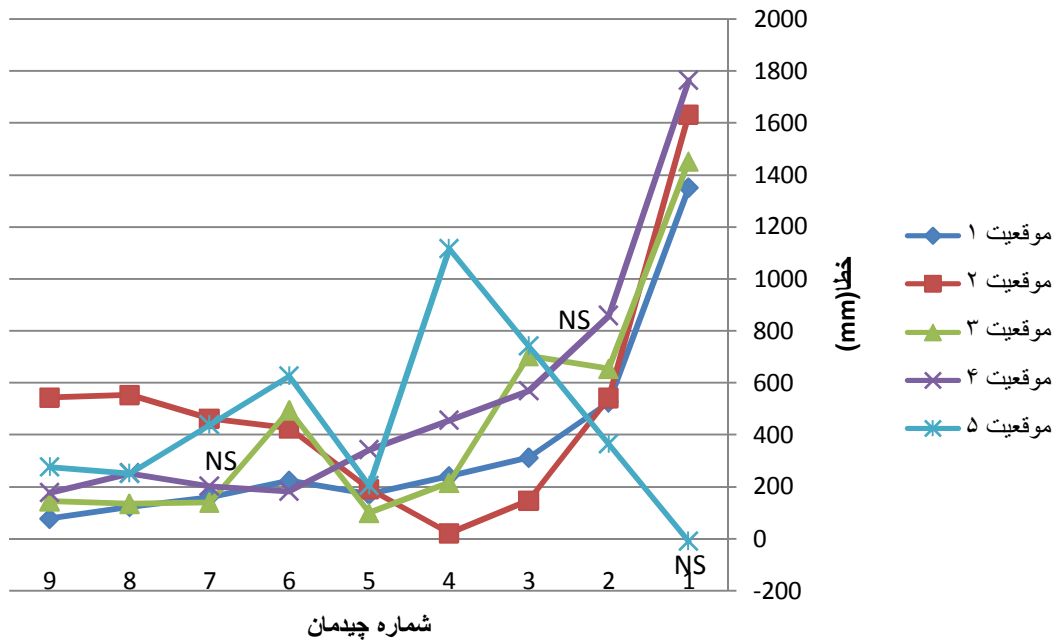
شکل ۴-۱- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۵۰ دسی‌بل

جدول ۴-۳- میانگین خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۴۰ دسی‌بل

چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	s/n=	
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	40 db	
77.9	122.7	160.2	223.1	170.8	240.3	311.7	524.2	1349		میانگین
0.3	0.6	1.6	1.7	0	6.1	4.5	138.6	1.2		واریانس
542.9	552.6	460.6	424.2	191.4	20.9	145.6	541.4	1631.2		میانگین
0.7	0.2	0.4	0.1	2.7	546.4	8.7	70.6	0.3		واریانس
145.4	135.3	140.2	494.7	100.1	214.9	702.5	654	1451.7		میانگین
0.5	0.3	6.7	0.2	0.4	129.7	154.4	148	0.1		واریانس
176.6	251.7	201	180.8	342.1	NS	569.2	857.8	1763.3		میانگین
14.8	3.7	6.5	16.9	0.5	NS	6.4	303	3.1		واریانس
276	250.4	NS	624.9	202.8	1115.2	NS	364.7	NS		میانگین
12.8	1	NS	5.7	3.5	864.1	NS	0.8	NS		واریانس

جدول ۴-۴- میانگین خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۴۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 40 db	
59.6	93.9	121.8	169.7	128.6	108.3	140.4	236.1	666.2	میانگین	موقعیت ۱
0.2	0.3	0.9	1	0	1.2	0.9	28.1	0.3	واریانس	
281.6	286.7	241.8	222.7	101.4	188.4	50.2	186.7	609.8	میانگین	موقعیت ۲
0.2	0.1	0.1	0	0.8	2.5	1	8.4	0	واریانس	
91.6	85.2	88.4	312.1	63	88.8	290.3	270.2	649.5	میانگین	موقعیت ۳
0.2	0.1	2.7	0.1	0.1	22.1	26.4	25.3	0	واریانس	
65.7	93.7	74.3	66.8	125.4	NS	143	215.5	474.6	میانگین	موقعیت ۴
2.1	0.5	0.9	2.3	0.1	NS	0.4	19.1	0.2	واریانس	
90	81.6	NS	203.9	66.1	275.4	NS	90.1	NS	میانگین	موقعیت ۵
1.4	0.1	NS	0.6	0.4	52.7	NS	0	NS	واریانس	



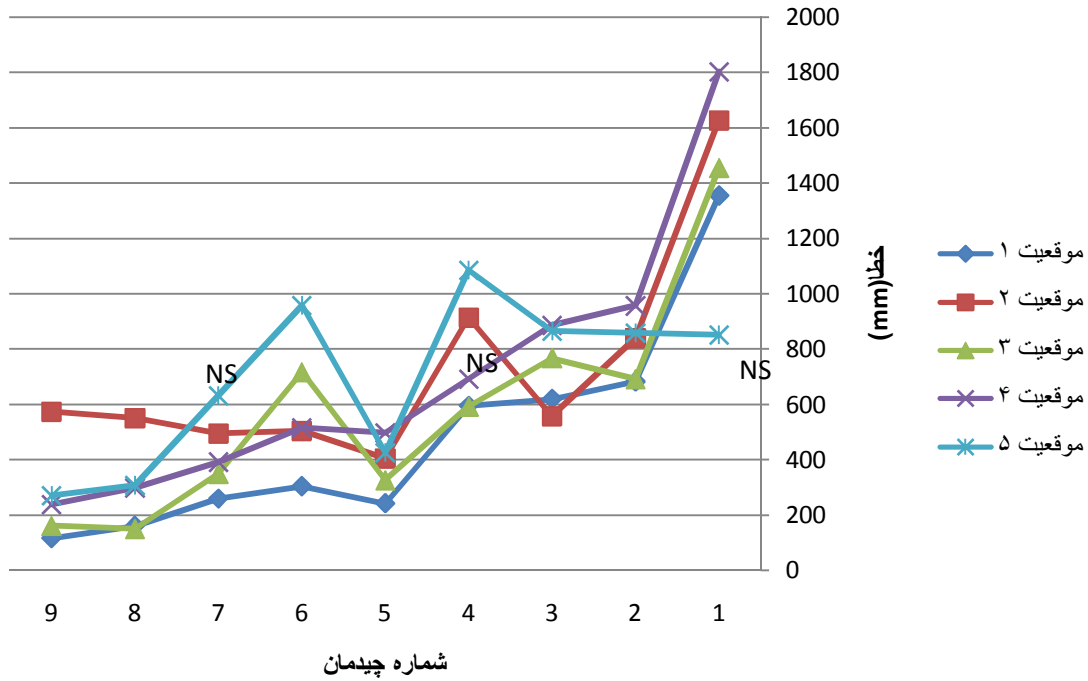
شکل ۴-۲- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۴۰ دسی‌بل

جدول ۴-۵- میانگین خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۳۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 30 db	
115.3	159.7	257.9	302.6	241	594	618.7	681.3	1353.7	میانگین	موقعیت ۱
8.3	14.5	18.2	35.1	81.1	209.2	352.9	189	1.7	واریانس	
572.9	549.4	493.5	503.3	403.7	912.2	556.9	838	1625.9	میانگین	موقعیت ۲
11.6	9.8	5.5	12.7	657.4	230.3	225.8	202.6	0.3	واریانس	
159.1	148.4	347.2	715.4	324	590.1	765.5	689.9	1453.3	میانگین	موقعیت ۳
2.3	5	81	101.5	199	330.1	171.7	173.1	0.3	واریانس	
237.1	297.1	391	514	496	NS	884.8	955.9	1801.7	میانگین	موقعیت ۴
56.7	62.1	65.6	164	190.4	NS	253.3	359.9	4.8	واریانس	
268.9	305	NS	957.5	424.3	1084.5	864.4	857.8	NS	میانگین	موقعیت ۵
18.8	60	NS	218.5	196.5	612.2	544.7	406.6	NS	واریانس	

جدول ۴-۶- میانگین خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۳۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 30 db	
88.2	122.1	196.1	230.1	181.5	267.6	278.7	306.9	668.5	میانگین	موقعیت ۱
4.8	8.5	10.5	20.3	46	42.4	71.6	38.4	0.4	واریانس	
297.2	285	259	264.2	213.9	314.6	192	289	607.8	میانگین	موقعیت ۲
3.1	2.6	1.5	3.5	184.5	27.4	26.9	24.1	0	واریانس	
100.2	93.5	219	451.3	204.1	243.8	316.3	285.1	650.2	میانگین	موقعیت ۳
0.9	2	32.2	40.4	78.9	56.4	29.3	29.6	0.1	واریانس	
88.2	110.5	144.6	190	181.9	NS	222.3	240.2	485	میانگین	موقعیت ۴
7.8	8.6	9	22.4	25.6	NS	16	22.7	0.3	واریانس	
87.7	99.4	NS	312.4	138.3	267.8	213.4	211.8	NS	میانگین	موقعیت ۵
2	6.4	NS	23.3	20.9	37.3	33.2	24.8	NS	واریانس	



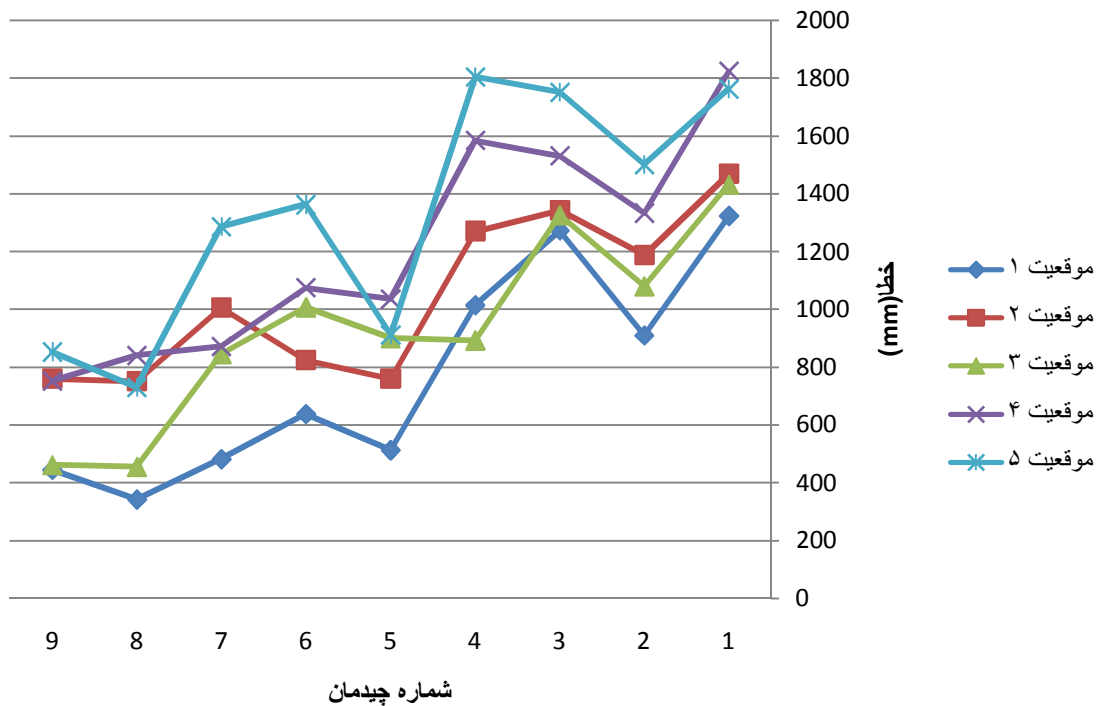
شکل ۴-۳- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۳۰ دسی‌بل

جدول ۴-۷- میانگین خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۲۰ دسی‌بل

چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	چیدمان	s/n= 20 db	
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
444.7	342.3	481.2	637.2	512.2	1013.1	1271.6	908.7	1321.5	میانگین	موقعیت ۱
120	96.5	109.1	302.8	194.3	254.1	1301.4	170.7	6.7	واریانس	
759.2	750.8	1004.5	823.7	759.8	1270	1341.5	1187.5	1468.2	میانگین	موقعیت ۲
111.6	103.6	570.1	120.5	1073	683.8	2429.6	212.9	106.8	واریانس	
461.1	454.8	845.8	1007.4	900.9	892.3	1324.8	1079.5	1431.9	میانگین	موقعیت ۳
386.3	124.5	182	236.7	593.7	215.9	290.4	178.3	8.9	واریانس	
751.2	840.3	870.9	1073.5	1034.6	1584	1530.5	1332.3	1822.5	میانگین	موقعیت ۴
434.1	763.5	564.2	606.4	687.1	236.1	806.3	357.7	11.9	واریانس	
853.1	730.2	1286.7	1362.6	912.4	1804.2	1750.8	1501.3	1761.4	میانگین	موقعیت ۵
440.1	250.2	273.3	335.2	420.4	3997.6	820.1	596.2	158.4	واریانس	

جدول ۴-۸- میانگین خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۲۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 20 db	
340.2	261.8	365.9	484.5	385.9	456.3	572.8	409.3	652.6	میانگین	موقعیت ۱
70.2	56.4	63.1	175.1	110.3	51.6	264.1	34.6	1.6	واریانس	
393.9	389.5	527.3	432.4	402.6	437.9	462.6	409.5	548.9	میانگین	موقعیت ۲
30	27.9	157.1	33.2	301.2	81.3	288.9	25.3	14.9	واریانس	
290.5	286.5	533.6	635.6	567.5	368.7	547.4	446.1	640.7	میانگین	موقعیت ۳
153.3	49.4	72.4	94.2	235.6	36.9	49.6	30.4	1.8	واریانس	
279.5	312.7	322	396.9	379.3	398	384.6	334.7	490.6	میانگین	موقعیت ۴
60.1	105.7	77.1	82.9	92.4	14.9	50.9	22.6	0.9	واریانس	
278.1	238	419.8	444.6	297.4	445.5	432.3	370.7	459.3	میانگین	موقعیت ۵
46.8	26.6	29.1	35.7	44.7	243.7	50	36.3	10.8	واریانس	



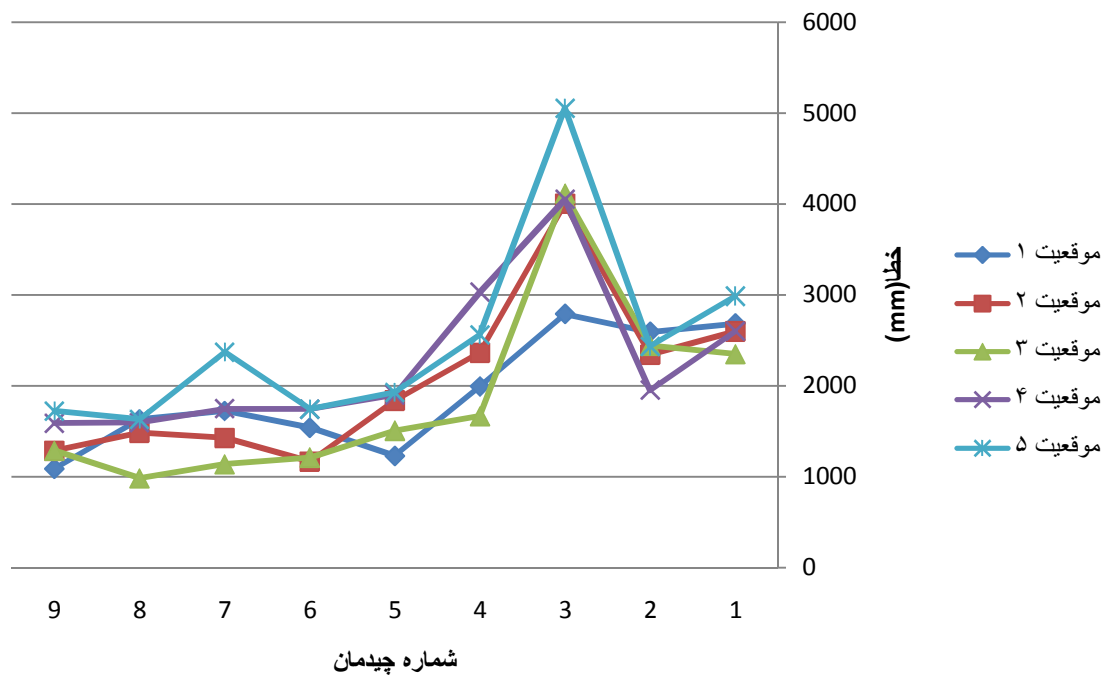
شکل ۴-۴- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۲۰ دسی‌بل

جدول ۴-۹- میانگین خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 10 db	
1088.7	1629.6	1722.5	1538.2	1227.9	1991.3	2787.2	2591.2	2681.5	میانگین	موقعیت ۱
941.5	3425.1	2848.8	5894.4	489.5	8626.5	7734.5	9308.3	8626.1	واریانس	
1282.9	1483.1	1425.6	1164.6	1837	2363.9	4001.5	2339.9	2596.9	میانگین	موقعیت ۲
655.5	881.6	1624	227.2	4561	6051.1	24588.8	7254	10702.2	واریانس	
1285.3	981.6	1136.1	1209.8	1505.4	1665.6	4114.3	2438.7	2348.2	میانگین	موقعیت ۳
774.4	384.3	474.8	947.9	1689.4	1252.9	16872.6	8071.3	4204.3	واریانس	
1589.2	1597.1	1747.4	1742.5	1901.8	3027.1	4048.4	1951.9	2599.8	میانگین	موقعیت ۴
1218.9	829.9	4681.5	1070	1883.9	10712.8	17846.6	1125.2	10708.3	واریانس	
1723.7	1632.7	2370.5	1745.8	1928.8	2561.9	5052.8	2434.6	2987	میانگین	موقعیت ۵
2913	1495	4426.1	1999.9	1444.1	13537.7	42773.6	7067.8	10507.9	واریانس	

جدول ۴-۱۰- میانگین خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه در ۵ موقعیت با سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱	s/n= 10 db	
832.7	1246.3	1309.9	1169.7	924.9	897	1255.5	1167.2	1324.2	میانگین	موقعیت ۱
550.7	2003.5	1647.4	3408.7	277.8	1750.4	1569.4	1888.7	2103.6	واریانس	
665.6	769.4	748.3	611.3	973.2	815.1	1379.8	806.8	970.8	میانگین	موقعیت ۲
176.4	237.3	447.5	62.6	1280.2	719.5	2923.8	862.5	1495.6	واریانس	
809.7	618.3	716.8	763.3	948.3	688.3	1700.1	1007.7	1050.7	میانگین	موقعیت ۳
307.3	152.5	189	377.3	670.3	213.9	2881.1	1378.2	841.7	واریانس	
591.3	594.3	646	644.2	697.3	760.6	1017.2	490.4	699.8	میانگین	موقعیت ۴
168.8	114.9	639.8	146.2	253.2	676.3	1126.7	71	775.9	واریانس	
561.9	532.2	773.4	569.6	628.8	632.6	1247.6	601.1	778.9	میانگین	موقعیت ۵
309.6	158.9	471.1	212.9	153.5	825.3	2607.8	430.9	714.5	واریانس	



شکل ۴-۵- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان یابی منبع ثابت در موقعیت‌های ۵ گانه در چیدمان‌های ۹ گانه با سیگنال به نویز ۱۰ دسی‌بل

در جداول ۴-۱ تا ۴-۱۰ مقادیر میانگین خطا و واریانس خطا برای ۹ چیدمان در ۵ موقعیت برای منبع ثابت و برای ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف ثبت گردیده است.

NS در نمودارهای فوق به معنی غیرمنفرد شدن ماتریس Z_a در فرمول ۳-۸ می‌باشد. با غیرمنفرد شدن این ماتریس، الگوریتم طراحی شده کارایی خود را از دست داده و جواب‌های ارائه شده توسط آن به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. در این نقاط، جواب‌های ثبت شده شامل مقادیر تجربی نبوده و از درون‌یابی^۱ سایر مقادیر حاصل شده است.

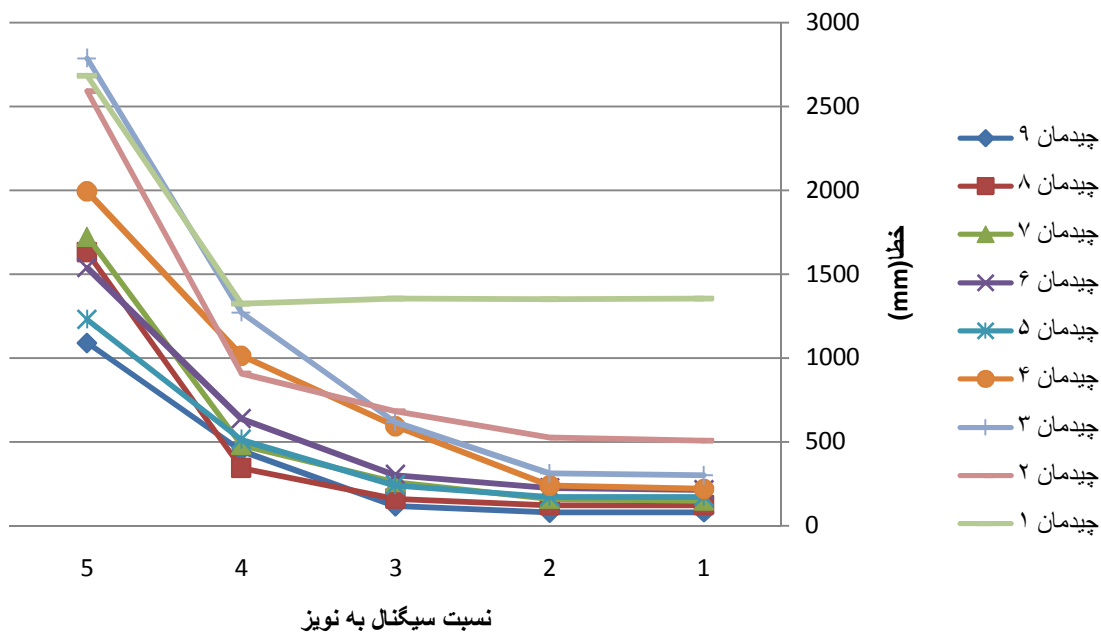
در جداول و نمودارهای فوق مشاهده می‌گردد که مقدار میانگین خطا با کاهش نسبت سیگنال به نویز افزایش می‌یابد. این افزایش در تغییر نسبت‌ها از ۵۰ دسی‌بل تا ۳۰ دسی‌بل کم بوده و برای نسبت‌های ۲۰ و ۱۰ دسی‌بل افزایش چشمگیری دارند.

^۱ Interpolation

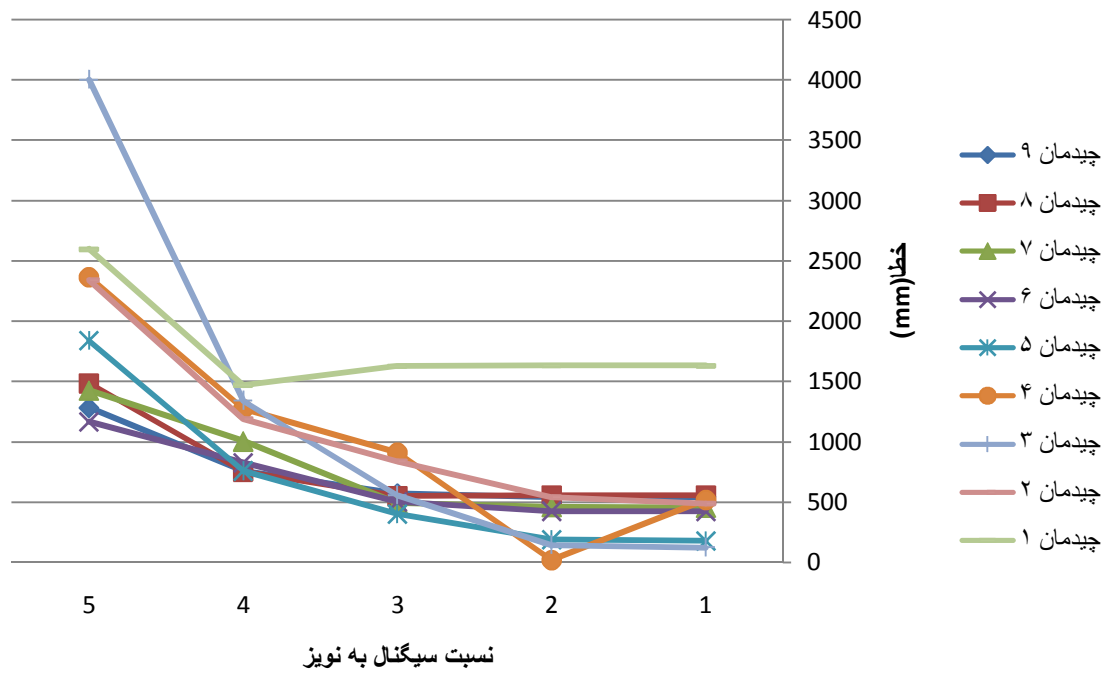
با توجه به مقادیر میانگین خطا برای ۹ چیدمان مختلف می‌توان نتیجه گرفت که چیدمان‌های شماره ۷، ۸ و ۹ در کلیه موقعیت‌های آزمایش شده نسبت به سایر چیدمان‌ها دارای جواب‌های مناسب‌تر، قابل پیش‌بینی‌تر و در عین حال تکرارپذیرتر می‌باشد.

در میان این سه چیدمان، چیدمان شماره ۷ در برخی موقعیت‌ها دارای میانگین خطای کمتری می‌باشد اما در برخی موارد نظیر قرارگیری منبع در موقعیت شماره ۵ و برای سیگنال به نویزهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌بل با مشکل غیرمنفرد شدن ماتریس Z_a مواجه می‌گردد که این یکی از دلایل عدم امکان استفاده‌ی دائمی از این چیدمان باشد.

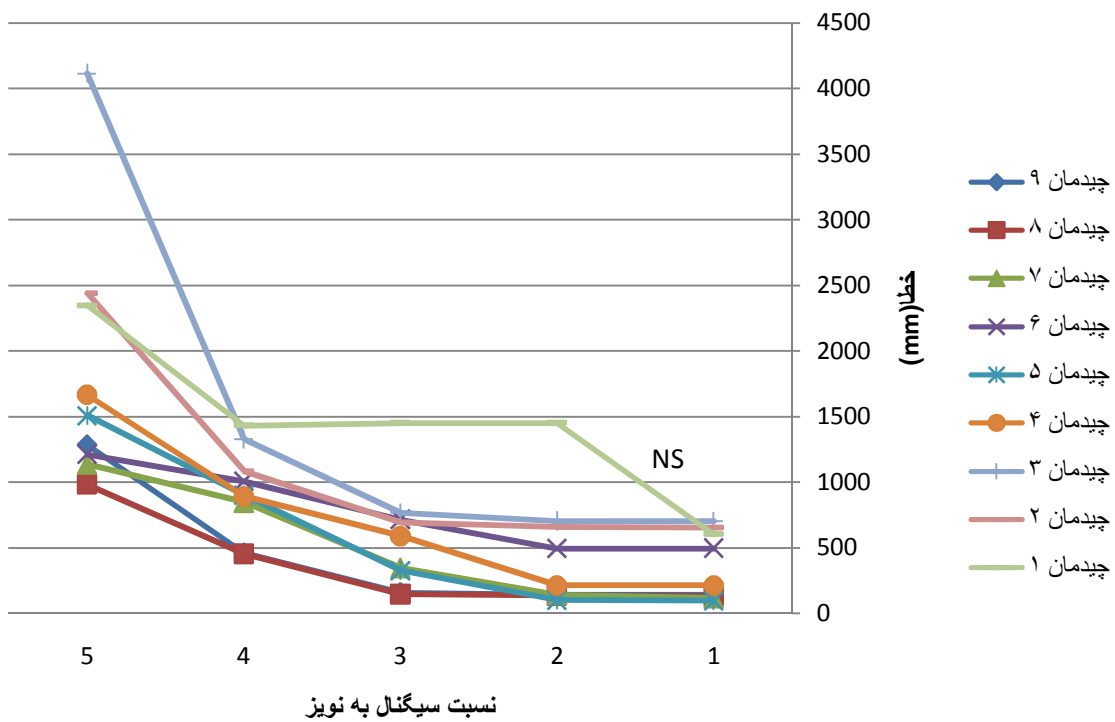
دو چیدمان ۸ و ۹ نیز به لحاظ قرارگیری میکروفون‌ها، به یکدیگر شباهت بسیاری دارند که با توجه به کمتر بودن میانگین خطا در چیدمان ۹ می‌توان این چیدمان را به عنوان چیدمانی مناسب جهت مکان‌یابی منبع صوت معرفی نمود.



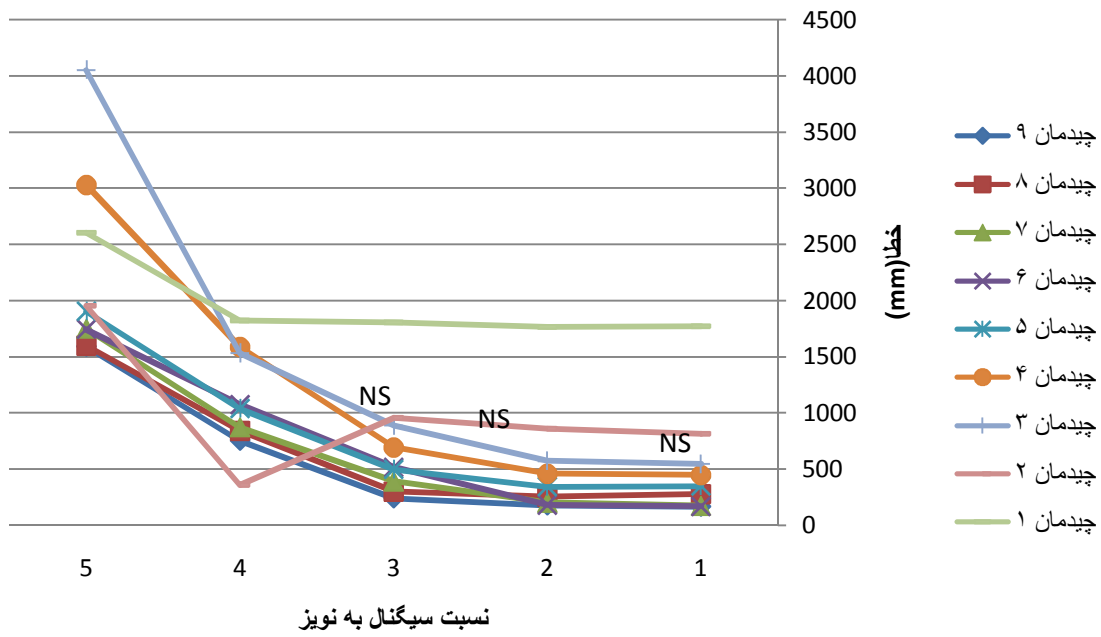
شکل ۴-۶- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت یک در چیدمان‌های ۹ گانه



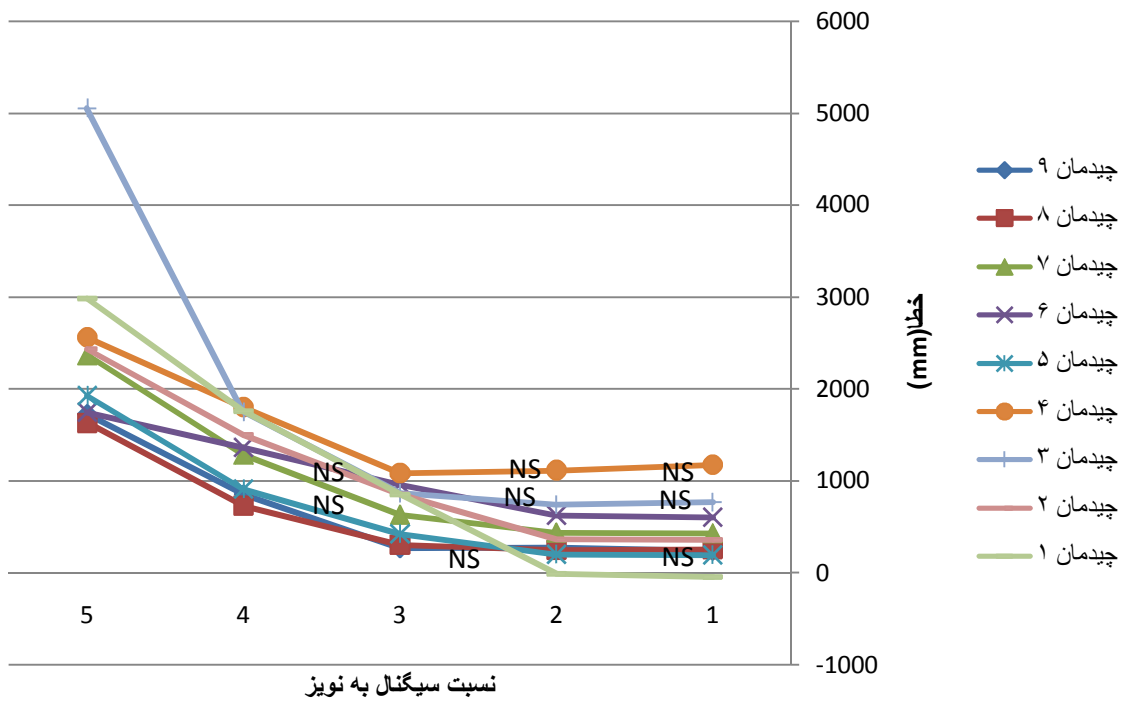
شکل ۴-۷- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت دو در چیدمان‌های ۹ گانه



شکل ۴-۸- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت سه در چیدمان‌های ۹ گانه



شکل ۹-۴- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت چهار در چیدمان‌های ۹ گانه



شکل ۱۰-۴- نمودار مقایسه تغییرات میانگین خطای مطلق موقعیت پنج در چیدمان‌های ۹ گانه

با توجه به جداول ۴-۱ تا ۴-۱۰ و شکل‌های ۴-۶ تا ۴-۱۰ مشاهده می‌شود که در میان کلیه‌ی موقعیت‌های آزمایش شده موقعیت شماره‌ی یک دارای میانگین خطای کمتری نسبت به سایر موقعیت‌هاست. مکان این موقعیت در نقطه‌ای قرار دارد که مکان مناسبی برای موقعیت‌یابی محسوب می‌شود.

موقعیت منبع باید نه فاصله‌ی زیادی با آرایه داشته باشد و نه فاصله آن کم باشد. فاصله‌ی زیاد باعث کم شدن تفکیک پذیری می‌گردد. این امر به دلیل افزایش فاصله‌ی منبع نسبت به فاصله‌ی میکروفون‌های آرایه از یکدیگر و نزدیک شدن فاصله‌ی آنهاست.

کم شدن فاصله باعث می‌گردد تا مدل انتشار سیگنال از حالت انتشار در مسیر مستقیم فاصله گرفته و به صورت کروی در آید که این باعث از بین رفتن دقت محاسبات و نقض فرض اولیه می‌گردد. لازم به ذکر است که مقادیر قرار داده شده به عنوان موقعیت منابع، نسبت به تقارن مختصات x و y حساسیت ندارند. جابجایی در راستای محور z بیشترین تأثیر را در افزایش خطا دارد که این به دلیل عدم گستردگی آرایه در راستای این مختصات دکارتی می‌باشد.

با توجه به جداول مشاهده می‌شود که علاوه بر میانگین خطا، واریانس خطا نیز با کاهش مقدار سیگنال به نوبه افزایش می‌یابد که این افزایش در مقادیر ۲۰ و ۱۰ دسی‌بل چشمگیر است.

در مواردی مشاهده می‌گردد که جواب‌های حاصله مطابق موارد مورد انتظار نمی‌باشد که این امر را می‌توان به دلیل خاصیت تصادفی نویز دانست.

۴.۲ منبع متحرک

آزمایش‌های انجام شده برای منبع متحرک روی چیدمان‌های ۹ گانه‌ی ذکر شده و برای ۵ نسبت سیگنال به نویز آزمایش شده در بخش منبع ثابت، انجام شده است. حرکات منبع متحرک در فضای سه بعدی و با گام ۲۵ میلی‌متر و به تعداد ۱۰۰ حرکت، به صورت تصادفی در یکی از ۳ جهت مختصات دکارتی انجام شده است. نقطه شروع حرکت منبع در این آزمایش‌ها موقعیت شماره‌ی یک می‌باشد.

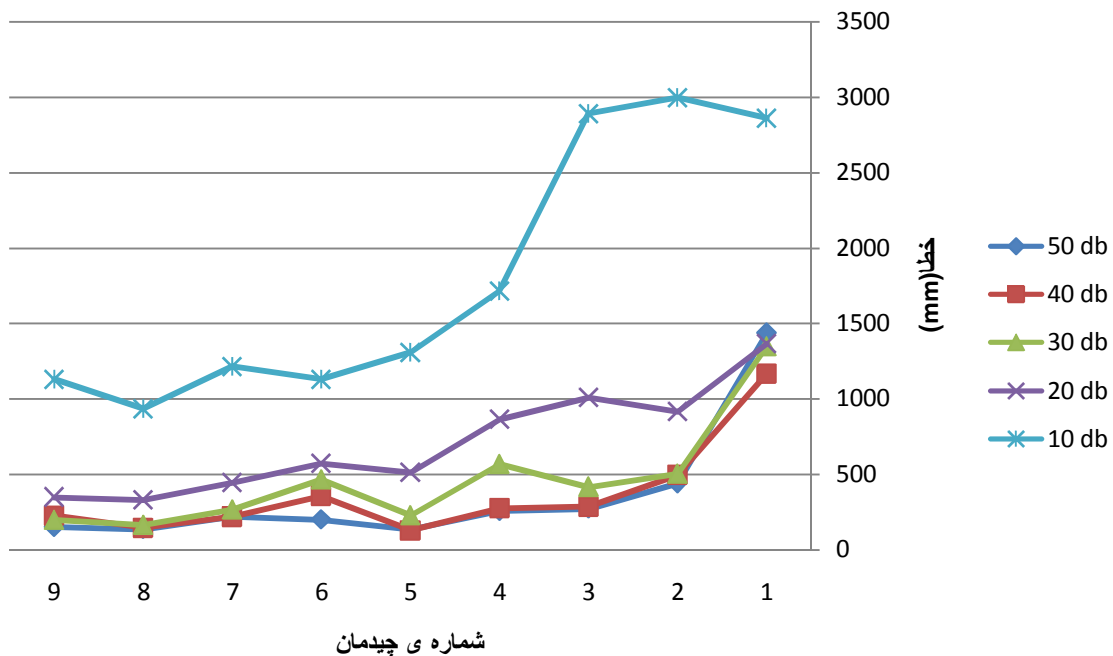
خطاهای مطلق و نسبی تخمین مکان منبع در جداول مربوطه ذکر شده است. موارد ذکر شده در جداول شامل کمینه، بیشینه، میانگین و واریانس خطا می‌باشد. نتایج حاصله از بررسی این جداول در نمودارهای مربوطه مقایسه شده‌اند.

جدول ۴-۱۱- خطای مطلق برای چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف

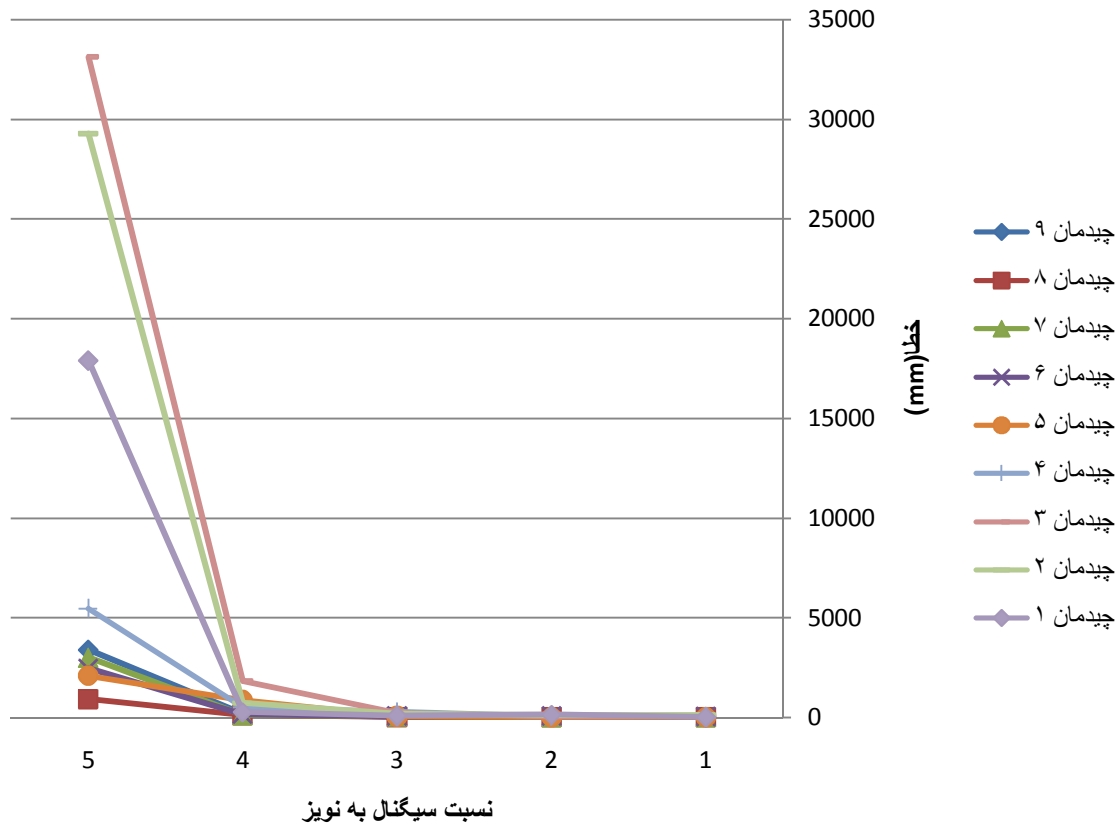
چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱		
21.8	16.7	24.6	16.8	29.3	75.4	29.9	46.4	1228	کمینه	s/n= 50 db
348.7	336.4	644.7	822.3	578	1247.8	1421.4	1484.1	1598	بیشینه	
150.6	135.9	218.9	201.1	135.4	257.7	272.8	439.8	1438.1	میانگین	
4.2	3.2	18.6	27.5	6.1	40.8	51.6	120.6	12.8	واریانس	
53.1	40	24.4	34.9	25.7	41.9	101.9	83.8	350.2	کمینه	s/n= 40 db
625.7	468.1	564.6	894.1	532.8	1396.4	1436.4	1613.4	1534	بیشینه	
226.3	143.9	219.1	355.3	128.1	274.6	284.8	495.2	1165.8	میانگین	
15.3	3.6	22.5	45.8	5.9	56.7	50.3	129	126.7	واریانس	
6.9	30	45.4	14.4	38.3	83.8	30	48.4	124.3	کمینه	s/n= 30 db
627.7	585.3	2203.8	1878.6	1258.9	1755.6	2647.3	2166.1	1591.5	بیشینه	
198.5	164.7	267	464.9	228	568	417.2	502.7	1349.6	میانگین	
15.7	11.2	64.2	69.4	47.5	260	204	176.4	76.1	واریانس	
5.8	7	20.5	30	33	22.8	26	106.7	607.1	کمینه	s/n= 20 db
2108.1	1223.8	1721.4	2179.6	5659.4	5409.3	10858	6886	5521.1	بیشینه	
350	331.1	446.1	573.4	512.2	866.8	1008	916	1365.5	میانگین	
152.5	96.1	130.1	149.7	844.8	503.9	1827.3	718.2	261.7	واریانس	
57.8	43.1	67.7	67.3	179.2	277.3	200.4	472.5	545.8	کمینه	s/n= 10 db
13666	5951.5	13316	13007	6752	18086	44437	39550	27230	بیشینه	
1129.7	935.4	1213.8	1129.6	1309.9	1714	2890.2	2996.8	2860.7	میانگین	
3380.5	909.1	2991.7	2450.9	2076	5444.7	33116	29286	17895	واریانس	

جدول ۴-۱۲ خطای نسبی برای چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف

چیدمان ۹	چیدمان ۸	چیدمان ۷	چیدمان ۶	چیدمان ۵	چیدمان ۴	چیدمان ۳	چیدمان ۲	چیدمان ۱		
16.7	14.7	17.4	9.8	20.8	34.9	15	21.6	557.4	کمینه	s/n= 50 db
277	277.8	448.9	447.2	418.7	621.4	623.7	698.3	689.5	بیشینه	
105	103.7	157.5	119.5	101.3	118.5	128.1	198.8	631.7	میانگین	
1.9	1.9	9.5	9.7	3.2	10	10.6	26.7	1	واریانس	
29.4	40.6	21	20	22.2	17.2	40	33.9	171.8	کمینه	s/n= 40 db
346.4	357.4	474.2	497.6	335.1	623.7	568.1	623.6	783.2	بیشینه	
106	171.6	190	208.5	98.3	119.6	114.9	178.1	596.9	میانگین	
2	6.6	17.4	14.4	3.2	10.7	8.2	18.6	25.4	واریانس	
5.8	22.5	32.3	10.6	18.8	35.6	13.8	18.8	55.2	کمینه	s/n= 30 db
478.7	407	1497.3	1443	849.1	806.7	1272.4	938.2	730.8	بیشینه	
139.5	120.2	193.4	328.6	138.8	253.9	181.5	218.6	624.3	میانگین	
8	6	29.9	37.1	19.9	50.4	40.5	34.4	16	واریانس	
3.1	5.3	17.7	20.6	28.5	11.8	12.4	45.7	290	کمینه	s/n= 20 db
1476.1	915.4	1362.1	1655.9	4129.1	2391.5	4439.9	2555.1	2717.3	بیشینه	
222	239.6	383	430.4	433.5	419.7	442.8	376.1	685.3	میانگین	
69.9	47.8	93.8	75.7	587.9	103.7	305.3	103.9	62.8	واریانس	
44.2	32.3	60.7	74.7	180.7	101.4	84.3	211.5	228.3	کمینه	s/n= 10 db
11236	4794.7	8829.7	9311.7	6146.8	7502.5	18429	13635	11618	بیشینه	
935.4	709.9	919	1045.1	1293.8	687.2	1197.6	1249.4	1205.8	میانگین	
2276.6	558.4	1415.3	1412.7	1660.1	935.9	5747.5	4002.3	3262.4	واریانس	



شکل ۴-۱۱- نمودار مقایسه خطای مطلق مکان‌یابی منبع متحرک در چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز



شکل ۴-۱۲- نمودار مقایسه واریانس خطای مکان‌یابی منبع متحرک در چیدمان‌های ۹ گانه با ۵ نسبت سیگنال به نویز

در جداول و نمودارهای فوق، نتایج حاصل از محاسبه‌ی خطای مکان‌یابی برای چیدمان‌های مختلف و برای نسبت‌های سیگنال به نویز مختلف ارائه شده است.

مطابق جدول ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۱، نسبت‌های سیگنال به نویز ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌بل در کلیه چیدمان‌ها نتایج نزدیکی را دربردارند. چیدمان‌های ۷، ۸ و ۹ نیز نسبت به سایر چیدمان‌ها نتایج بهتری دربردارند.

شکل ۴-۱۲ نمودار مقایسه واریانس خطا را برای کلیه چیدمان‌ها و به ازای سیگنال به نویزهای مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که نسبت‌های سیگنال به نویز ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دسی‌بل

دارای واریانس کمی می‌باشند. سیگنال به نویزهای ۱۰ . ۲۰ دسی بل دارای واریانس نویز بالایی برای منبع متحرک می‌باشند.

۴.۳ افزایش طول قاب

در این بخش اثر افزایش طول قاب مورد پردازش جهت محاسبه‌ی تأخیر بین سیگنال‌ها بررسی خواهد شد.

قاب‌هایی با طول کوچک‌تر بیشتر تحت تأثیر نویز قرار می‌گیرند و در نتیجه محاسبه‌ی تأخیر را با خطای بیشتری مواجه می‌سازند. قاب‌هایی با طول بیشتر تأثیرپذیری کمی از نویز دارند و تأخیرهای محاسبه شده با قاب‌های بزرگ‌تر قابلیت اعتماد بیشتری دارند.

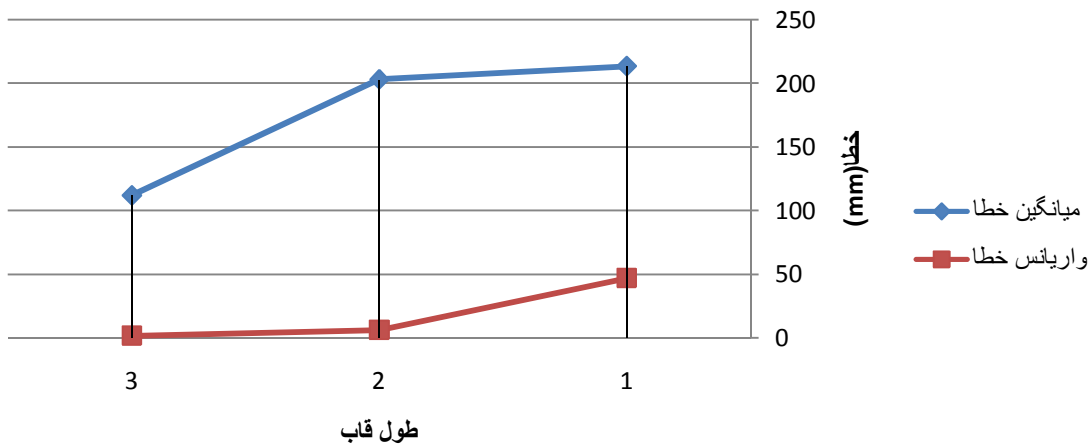
در زیر جداول خطای مطلق و نسبی منبع متحرک در حالت قرار گیری آرایه در چیدمان شماره‌ی ۹ و با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل بررسی شده است.

جدول ۴-۱۳- خطای مطلق تخمین مکان برای ۳ قاب با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل

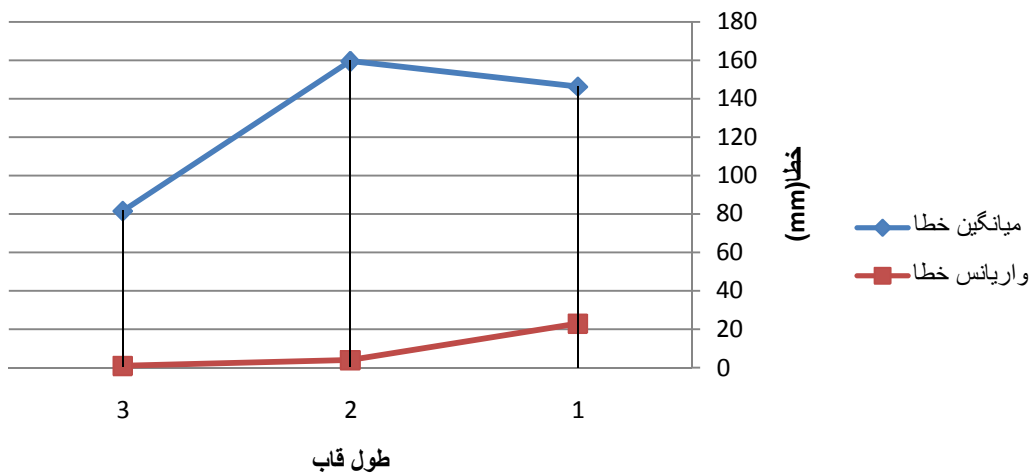
16384	8192	4096	طول قاب بر حسب تعداد نمونه	s/n= 50 db
34	21.8	45.4	کمینه	
231.7	384.3	975.4	بیشینه	
112	202.9	213.2	میانگین	
1.8	6.1	46.9	واریانس	

جدول ۴-۱۴ خطای نسبی تخمین مکان برای ۳ قاب با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی بل

طول قاب بر حسب تعداد نمونه	4096	8192	16384	s/n= 50 db
کمینه	29.1	16.7	23.9	
بیشینه	692.3	325.1	157.5	
میانگین	146.3	159.5	81.6	
واریانس	22.9	4	1	



شکل ۴-۱۳- نمودار مقایسه‌ی میانگین و واریانس خطای مطلق برای ۳ قاب با طول‌های مختلف



شکل ۴-۱۴- نمودار مقایسه‌ی میانگین و واریانس خطای نسبی برای ۳ قاب با طول‌های مختلف

در جداول ۱۳-۴ و ۱۴-۴ و شکل‌های ۱۳-۴ و ۱۴-۴ مشخص است که با افزایش طول قاب خطای تخمین مکان منبع کاهش می‌یابد. در استفاده از قاب‌هایی با تعداد نمونه‌های زیاد، باید به کاهش سرعت انجام عملیات توجه داشت. کاهش طول قاب به مقادیر کمتر از ۴۰۹۶ نمونه، نتایج غیرقابل قبولی را دربردارد.

۴.۴ تعداد عناصر آرایه

در این بخش به اثر افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه پرداخته خواهد شد. افزایش میکروفون‌های آرایه می‌تواند باعث کاهش خطای احتمالی در تخمین تأخیرها و در نتیجه کاهش خطای تخمین مکان گردد.

افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه باعث افزایش پیچیدگی محاسباتی الگوریتم و کاهش سرعت تخمین مکان می‌گردد که لازم است این نکته در کاربردهایی که در آنها نیاز به سرعت به روز رسانی بالا وجود دارد، نظیر کاربردهای زمان واقعی، مد نظر قرار گیرد.

در آزمایش انجام شده جهت بررسی افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه‌ی میکروفونی، آرایه‌ای با ۷ میکروفون به کار گرفته شده که چیدمانی مشابه چیدمان شماره‌ی ۹ برای آرایه‌ی ۵ میکروفونی دارند. آزمایش‌ها با نسبت سیگنال به نویز ۵۰ دسی‌بل و با قاب‌هایی با طول ۸۱۹۲ نمونه انجام شده‌اند. چیدمان آرایه‌ی ۷ میکروفونی که به صورت یک شکل هندسی ۶ گوش با یک میکروفون در مرکز می‌باشد در زیر آورده شده است.

$$m_1 = [0/25, 0/25, 0/45]; \quad m_2 = [0, 0, 0/3]; \quad m_3 = [0, 0/5, 0/6]; \quad m_4 = [0/25, 0/675, 0/3];$$

$$m_5 = [0/5, 0/5, 0/6]; \quad m_6 = [0/5, 0, 0/3] \quad m_7 = [0/25, -0/125, 0/6]$$

نتایج محاسبه خطای مطلق و نسبی تخمین مکان در جداول و نمودارهای مربوطه آورده شده

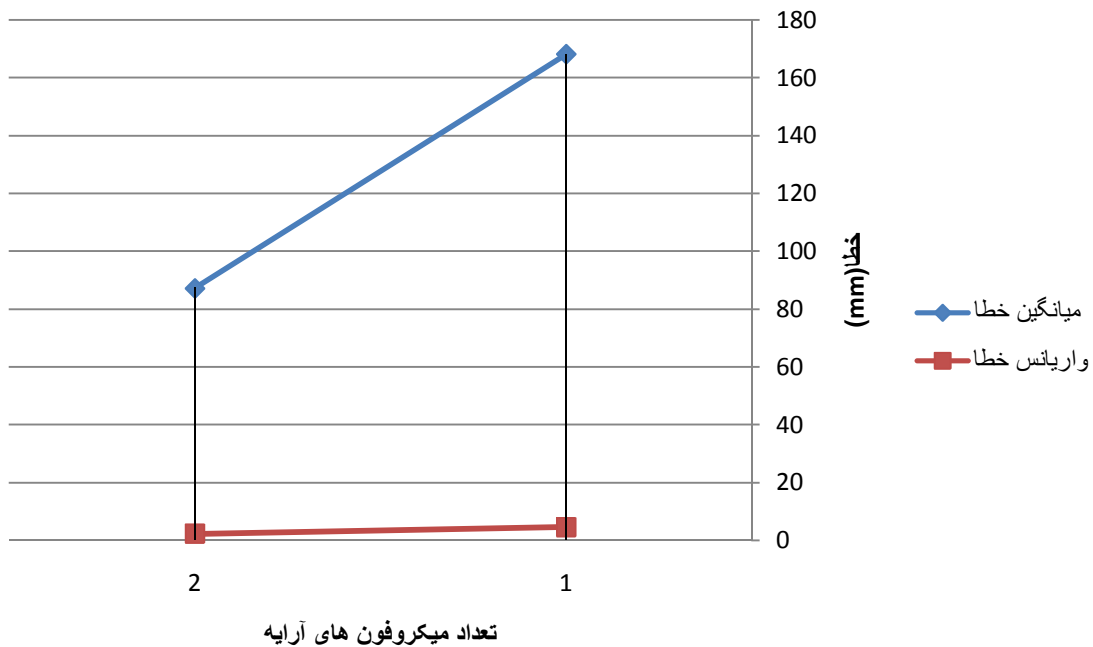
است.

جدول ۴-۱۵- خطای مطلق تخمین مکان برای آرایه‌هایی با تعداد میکروفون‌های مختلف

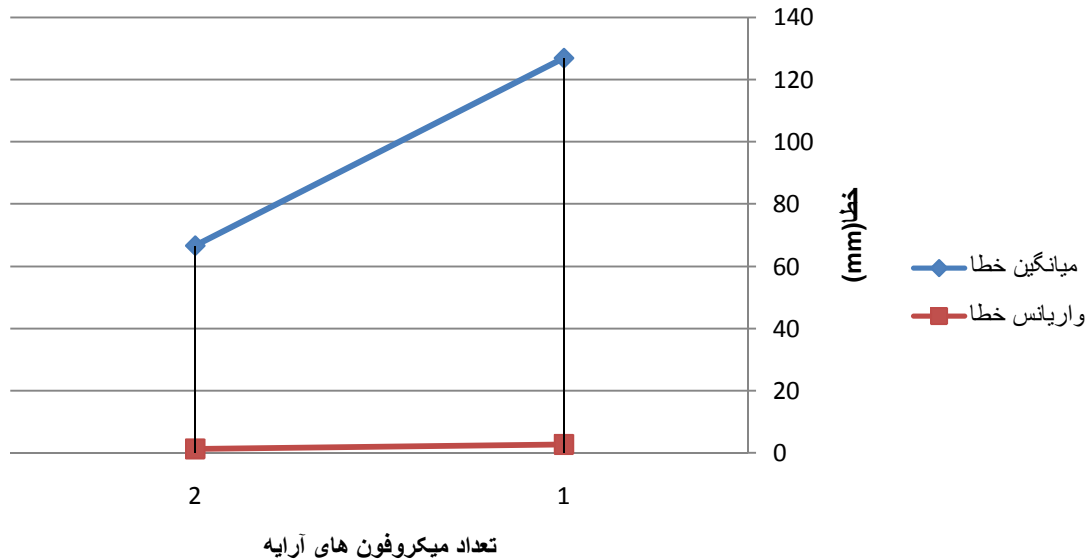
تعداد عناصر آرایه	۵ میکروفون	۷ میکروفون	s/n= 50 db
کمینه	41	79.9	
بیشینه	381.5	400.3	
میانگین	168	87.1	
واریانس	4.6	2.3	

جدول ۴-۱۶- خطای نسبی تخمین مکان برای آرایه‌هایی با تعداد میکروفون‌های مختلف

تعداد عناصر آرایه	۵ میکروفون	۷ میکروفون	s/n= 50 db
کمینه	36.2	61.1	
بیشینه	264.7	306.1	
میانگین	126.8	66.6	
واریانس	2.8	1.3	



شکل ۴-۱۵- نمودار مقایسه میانگین و واریانس خطای مطلق برای آرایه‌های با تعداد میکروفون متفاوت



شکل ۴-۱۶- نمودار مقایسه میانگین و واریانس خطای نسبی برای آرایه‌های با تعداد میکروفون متفاوت

در جداول ۴-۱۵ و ۴-۱۶ و شکل‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه مقادیر میانگین و واریانس خطا کاهش می‌یابد.

در افزایش تعداد میکروفون‌های آرایه باید به افزایش هزینه و نیز پیچیدگی‌های محاسباتی توجه داشت. در کاربردهایی نظیر کاربردهای زمان-واقعی که نیاز به سرعت بالا وجود دارد و یا کاربردهایی که هزینه‌ی محاسباتی کم مطلوب است، افزایش بیش از حد تعداد میکروفون‌ها باعث بوجود آمدن ضعف عملکرد در الگوریتم می‌گردد.

با توجه نتایج حاصله از چهار آزمایش انجام شده در فوق، چیدمان ۹ به عنوان چیدمانی مناسب جهت انجام عمل مکان‌یابی در نظر گرفته می‌شود. موقعیت شماره‌ی یک نیز به عنوان موقعیتی مناسب جهت انجام عمل مکان‌یابی در استفاده از منبع ثابت بررسی می‌گردد.

فصل پنجم

جمع بندی و پیشنهادات

در این تحقیق روش‌های مختلف تخمین تأخیر زمان دریافت سیگنال در آرایه‌ای از میکروفون‌ها و نیز نحوه تخمین مکان منبع از روی تأخیرهای بدست آمده در یک فضای آکوستیکی بررسی گردیده است.

با بررسی روش‌های محاسبه‌ی تأخیر، روش همبستگی متقابل تعمیم یافته و فیلتر CPSP به عنوان روشی مناسب‌تر جهت تخمین تأخیر سیگنال‌های دریافتی در شرایط وجود نویز و انعکاسات محیطی معرفی شده است.

در بررسی روش‌های تخمین مکان از روی تأخیرهای محاسبه شده، روش‌های گوناگونی بررسی گردیده است. روش Chan به دلیل امکان استفاده از تأخیر جفت میکروفون‌های اضافی و نیز عدم نیاز به استفاده از اطلاعات پیشین و ماتریس اطلاعات فیشر و در عین حال نزدیک بودن تخمین حاصله به نتایج تخمین گر ML، به عنوان روشی مناسب معرفی گردیده است.

پیاده سازی الگوریتم‌های فوق به همراه راه‌اندازی نرم‌افزار و سخت‌افزار مناسب جهت جمع‌آوری داده‌ها از محیط جهت مکان‌یابی صحیح منبع صوت، نکاتی است که در این تحقیق به آنها پرداخته شده است.

در پایان، آزمایش‌هایی جهت بررسی نتایج حاصل از پیاده‌سازی‌های انجام شده، صورت گرفته است.

آزمایش‌های انجام گرفته بر روی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده و با شرایطی خاص انجام گرفته است. در مکان‌یابی انجام شده فرض بر این بوده است که سیگنال‌های منتشر شده از یک منبع و به صورت ایده‌آل و رد مسیر مستقیم منتشر شده است. فرکانس نمونه برداری ۴۴۱۰۰ نمونه در ثانیه بوده است.

آزمایش‌های انجام شده به ۴ دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند. دسته‌ی اول برای منبع سیگنال ثابت در نظر گرفته شده است. دسته‌ی دوم آزمایش‌ها مربوط به منبع متحرک می‌باشد. دسته‌ی سوم تأثیر تغییر طول قاب مورد پردازش جهت تخمین تأخیر سیگنال‌های دریافتی در آرایه‌ی میکروفونی را بررسی می‌کند و در نهایت دسته‌ی چهارم آزمایش‌هایی هستند که به بررسی اثر تغییر تعداد میکروفون‌های آرایه می‌پردازند.

دسته‌ی اول آزمایش‌ها، برای منبع ثابت در ۵ موقعیت متفاوت، در ۹ چیدمان مختلف قرارگیری آرایه و برای ۵ نسبت سیگنال به نویز انجام گرفته است. آزمایش‌های انجام شده شامل ۲۲۵ آزمایش ۱۵ ثانیه‌ای می‌باشند.

دسته‌ی دوم آزمایش‌ها برای منبع متحرک در ۹ چیدمان ذکر شده و در ۵ نسبت سیگنال به نویز مختلف انجام شده است.

دسته‌ی سوم تأثیر تغییر طول قاب‌های پردازش شده برای تخمین تأخیر را بررسی کرده است. طول قاب‌های مورد ارزیابی ۴۰۹۶، ۸۱۹۲ و ۱۶۳۸۴ نمونه بوده‌اند. در آزمایش‌های دسته‌ی اول و دوم طول قاب ۸۱۹۲ نمونه در نظر گرفته شده است.

دسته‌ی چهارم آزمایش‌ها دو حالت مختلف قرارگیری ۵ و ۷ میکروفون در آرایه را بررسی کرده است.

در بررسی نتایج حاصله از آزمایش‌ها چیدمان شماره ۹ به عنوان چیدمانی مناسب جهت مکان‌یابی منبع صوت معرفی شده است. موقعیت شماره‌ی یک نیز به عنوان مکانی مناسب معرفی گردیده است. افزایش طول قاب مورد پردازش و افزایش تعداد میکروفن‌های آرایه به عنوان عاملی در جهت بهبود نتایج تخمین معرفی گردیده‌اند.

نرخ نمونه برداری نیز در دقت تخمین موثر می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان مبحثی برای انجام آزمایش‌های بعدی یاد کرد. کاهش نرخ نمونه‌برداری می‌تواند باعث کاهش دقت تخمین گردد که در مواردی می‌توان برای جبران آن از درون‌یابی استفاده نمود.

پیشنهاد می‌شود برای آزمایش‌های آینده روش‌هایی که شامل انجام محاسبات بر روی تعداد زیادی از میکروفون‌ها می‌باشد، مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است که روش‌های استفاده شده در این تحقیق این قابلیت را دارا می‌باشند. روشی چون Divide and Conquer نیز می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد.

علاوه بر استفاده از روش‌های ذکر شده در این پایان‌نامه، در سال‌های اخیر تحقیقات مربوط به بحث موقعیت‌یابی، در جهت بهینه‌سازی روش‌ها و کاهش خطاهای احتمالی و نیز کاهش هزینه‌های محاسباتی پیشرفته است. با توجه به در نظر داشتن موارد فوق، پیچیدگی‌هایی نیز بر مسائل مطرح، افزوده شده است که نیاز به بررسی‌های فراوان دارد. در زیر به بررسی خلاصه‌ی برخی از این روش‌ها جهت پیشنهاد به عنوان کارهای آینده می‌پردازیم.

اکثر بررسی‌های جدید برای موقعیت‌یابی منابع صوتی در فضای اتاق با نویز و به خصوص انعکاسات فراوان انجام گرفته‌است، به صورتی که از خصوصیات آماری نویز و انعکاسات هیچ اطلاعاتی در دست نیست. در واقع اکثر کاربردها مربوط به ساخت اتاق کنفرانس هوشمند می‌باشند.

در [۳۱] برای تسهیل در زمینه کاهش نویز و انعکاسات، با استفاده از دوربین، از خصوصیات تصویری مکان مورد نظر به عنوان اطلاعات پیشین^۱، استفاده می‌شود.

^۱ Prior knowledge

در [۳۲] بجای استفاده از اطلاعات تصویری، محدوده ردگیری، با استفاده از روش‌هایی محدود شده تا دقت افزایش یابد. در واقع این روش‌ها ابتدا جهت منبع صوتی را با تکنیکی به نام بیم‌فورمینگ^۱ تشخیص می‌دهند و سپس نقطه دقیق منبع را محاسبه می‌نمایند.

در این مقالات از معادلات غیر خطی هذلولوی و یا خطی سازی آنها استفاده نمی‌شود و استفاده از روش‌های فوقی یا تکرارپذیری چون فیلتر کالمن^۲ [۳۳] و یا فیلترهای ذره‌ای^۳ [۳۲] استفاده شده است که در برخی موارد نتایج بهینه‌تری را دربرداشته‌اند.

در [۳۴]، برای تشخیص محل دقیق منبع، محیط اطراف به بخش‌های مختلفی تقسیم می‌گردد و در حین انجام محاسبات، با تشخیص بخش مورد نظر و انجام سایر عملیات در آن بخش، بسیاری از هزینه‌های محاسباتی و نیز زمان را کاهش می‌دهند. این روش‌ها را اصطلاحاً SRP^۴ می‌نامند. این نیاز به پیش پردازش محیط اطراف دارد.

علاوه بر پیچیدگی‌های ذکر شده، موضوع افزوده شدن منابع سیگنال نیز مطرح است که نیاز به استفاده از روش‌های جدید، با شیوه‌ای نو را مطرح می‌نماید. در بررسی این روش‌ها، علاوه بر اختلال بوجود آمده‌ی حاصل از منابع متعدد، بررسی آنها در فرکانس‌های مختلف صوتی نیز، پیچیدگی‌هایی را دربر دارد.

علاوه بر مسئله موقعیت‌یابی منبع صوت، مسئله ردگیری آن نیز وجود دارد که در [۳۵] بررسی شده است.

برای آزمایش‌های آینده می‌توان روش‌های مذکور را مورد بررسی و آزمایش قرار داد. لازم به ذکر است که روش‌های فوق شامل روش‌های تک‌مرحله‌ای می‌باشند.

^۱ Beamforming

^۲ Kalman Filter

^۳ Particle Filters

^۴ Steered Response Power

در استفاده از ادوات و تجهیزات استفاده شده نظیر رله‌های مغناطیسی، باید به این نکته توجه داشت که رله‌های مغناطیسی بر روی عملکرد کارت‌های صوتی تأثیرگذار می‌باشند. این رله‌ها در هنگام قطع و وصل دارای اضافه جهش^۱ می‌باشند که این اضافه جهش باعث تضعیف عناصر الکتریکی مدار از جمله کارت‌های صوت می‌گردند. لذا لازم است در انتخاب رله‌ها دقت لازم به عمل آید.

در انتخاب رله‌ها باید به مشخصات مغناطیسی و الکتریکی آنها در برگی مشخصات^۲ توجه شود تا در حد امکان از مشخصات ایده‌آل‌تری مخصوصاً در زمینه‌ی اضافه جهش برخوردار باشند.

علاوه بر موارد فوق به جای استفاده از رله می‌توان از آی‌سی‌های متناظر موسوم به SPDT یا رله‌های الکتریکی استفاده نمود. یکی از آی‌سی‌هایی که چنین قابلیت را دارا می‌باشند آی‌سی 74HC4053 محصول شرکت فیلیپس^۳ می‌باشد که شامل ۳ رله‌ی الکترونیکی^۴ می‌باشد. در استفاده از این آی‌سی‌ها باید به تفاوت‌های موجود با حالت استفاده از رله توجه لازم را داشت.

^۱ Overshoot

^۲ Single Pole Double Throw

^۳ Philips

^۴ Triple SPDT

منابع و مراجع

-
- [1]. **Carter, G. Clifford.** *Time Delay Estimation for Passive Sonar Signal Processin.* IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, Vols. ASSP-29, June 1981.
- [2]. **Brandstein, M. S. and Ward, D. B.** *Microphone Arrays: Signal Processing Techniques and Applications.* New York : s.n., 2003.
- [3]. **Du, W. X., Thurber, Clifford H. and Phillips, Donna Eberhart.** *Earthquake Relocation Using Cross-Correlation Time Delay Estimates Verified with the Bispectrum Method.* Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, pp. 856-866, June 2004.
- [4]. **Sahmoudi, M. and Amin, M. G.** *Improved Maximum-Likelihood Time Delay Estimation for GPS Positioning in Multipath, Interference and Low SNR Environments.* 2006.
- [5]. **Viola, Francesco and Walker, William F.** *A Comparison of the Performance of Time-Delay Estimators in Medical Ultrasound.* IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, Vol. 50, April 2003.
- [6]. **Bekkerman, I. and Tabrikian, J.** *Target Detection and Localization Using MIMO Radars and Sonars.* IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, Vol. 54, OCTOBER 2006.
- [7]. **Zhiguo Yang, Wen Xu, Zhuan Xiao, and Xiang Pan.** *Passive Localization of an Autonomous Underwater Vehicle with Periodic Sonar Signaling.* Sydney, 2010. OCEANS IEEE. 978-1-4244-5221-7, 2010.
- [8]. **Guo, Y.Jay.** *Advances in Mobile Radio Access Network.* 2004.
- [9]. **N.Patwari.** *Location Estimation in Sensor Networks.* 2005.
- [10]. **Roy, R., Kailath, T.** *ESPRIT--Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques. 7,* IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 37, pp. 984 - 995, 1989.
- [11]. **Rappaport, Theodore S.** *Wireless Communications: Principles and Practice.* New Jersey : Prentice-Hall Inc., 1996.
- [12]. **Carter, C. H. Knapp and G. C.** *The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay.* IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. 24, pp. 320-327, August 1976.
- [13]. **Fuchs, J.-J.** *Multipath time-delay detection and estimation.* IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 47, pp. 237 - 243, January 1999.

-
- [14]. **Benesty, J.** Adaptive eigenvalue decomposition algorithm for passive acoustic source localization. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 107, pp. 384-391, January 2000.
- [15]. **wu, Y.** Time Delay Estimation of non-Gaussian Signal in Unknown Gaussian Noises Using Third-order Cumulants. *Electronics Letters* , Vol. 38, pp. 930 - 931, August 2002.
- [16]. **M.Omologo, P.Svaizer.** *Acoustic Event Localization Using a Crosspower Spectrum Phase Based Technique.* Adelaide :Proc. IEEE ICASSP, Vol. 2, pp. 273-276, 1994.
- [17]. **Brandstein, Michael S. and Silverman, Harvey F.** *A practical methodology for speech source localization with microphone arrays.* Language and speech issues in the engineering of companionable dialogue systems., Vol. 11, pp. 91-126, April 1997.
- [18]. **Lee, H.B.** *A novel procedure for assessing the accuracy of hyperbolic multilateration system.* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System., Vols. AES-11, pp. 2-15, January 1975.
- [19]. **Schmidt, R.O.** *A new approach to geometry of range difference location.* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System., Vols. AES-8, pp. 821-835, November 1972.
- [20]. **Friedlander, B.** *A Passive Localization Algorithm and Its Accuracy Analysis.* 1, IEEE Journal Of Oceanic Engineering, Vols. OE-12, pp. 234-244, January 1987.
- [21]. **Schau, H. and Robinson, A.** *Passive source localization employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences.* 8, , IEEE Transactions Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 35, pp. 1223 - 1225, August 1987.
- [22]. **Smith, J. and Abel, J.** *The spherical interpolation method of source localization.* 1, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 12, p. 246, January 1987.
- [23]. **Abel, J.S.** *A Divide and Conquer Approach To Least-Squares Estimation.* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, Vol. 26, pp. 423-427, March 1990.
- [24]. **Foy, W. H.** *Position-Location Solution by Taylor-Series Estimation.* IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, Vols. AES-12, pp. 187-194, March 1976.
- [25]. **S.Haykin.** *Adaptive Filter Theory.* 3rd. s.l. : Prentice-Hall, 1996.

- [26]. **Fang, B.T.** *Simple Solutions for Hyperbolic and Related Fixes*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System, Vol. 26, pp. 748-753. no.5, September 1990.
- [27]. **Y.T.Chan and K.C.Ho.** *A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location*. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 42. 8, August 1994.
- [28]. **Svaizer, P. Matassoni, M. Omologo, M.** Acoustic source location in a three-dimensional space using crosspower spectrum phase. ICASSP, Vol. 1, pp. 231-234, 1997.
- [29]. **Pi Sheng Chang and Alan N. Willson, Jr.** *Performance of 3D Speaker Localization Using a Small Array of Microphones*. IEEE : Signals, Systems & Computers, Vol. 1, pp. 328-332, 1997.
- [30]. موسسه آموزش غیرانتفاعی : *TDOA های سازی تخمین پیاده*. مرتضی قلعه ضیائی سه سجاد مشهد, 1386.
- [31]. **D. Bechler, M. S. Schlosser and K. Kroschel.** *System for Robust 3D Speaker Tracking Using*. Proc. IROS, pp. 2117-2122, 2004.
- [32]. **Jean-Marc Valin, Francois Michaud and Jean Rouat.** *ROBUST 3D LOCALIZATION AND TRACKING OF SOUND SOURCES USING BEAMFORMING AND PARTICLE FILTERING*. Acoustics, Speech and Signal Processing. ICASSP Proc, 2006.
- [33]. **Yun Woo-han, Oh Cheon-in, Ban Kyu-Dae and Ji Su-young.** *The impulse sound source tracking using Kalman filter and the cross-correlation*. SICE-ICASE. International Joint Conference, 2006.
- [34]. **J.P.Dmochowski, J.Benesty and S.Affes.** *A Generalized Steered Response Power Method for Computationally Viable Source Localization*. IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Processing., Vol. 15, pp. 2510 - 2526, November 2007.
- [35]. **Zhiwei Liang, Xudong Ma, Xianzhong Dai.** *Robust tracking of moving sound source using multiple*. s.l. : Elsevier-Applied Acoustics, 2007.

Abstract

One of the most important issues in array processing field is *acoustic source localization*. Two-phased algorithms are the most common recommended techniques because of their speed in implementing and updating. In these algorithms, at first phase, the time difference of arrivals (*TDOA*) of acoustic signal received at microphone pairs must be computed, then, some equation form and location of acoustic source estimate.

The most common method for computing the difference of arrival signals is *Cross-Correlation*. Because of being impressed by noise and environmental reverberation, this method is optimized by some prefilters. Acquired method known as a *Generalized Cross-Correlation*. One of the filters that have appropriate response is *PHASE Transform* also known as *CPSP*.

The most appropriate method for solving the equations resulted from applying TDOAs computed in the first phase is *CHAN's* method. This algorithm finds an approximate realization of the maximum-likelihood estimator.

In this research, the techniques for localizing the sound source in 3 dimensional space, and especially *CPSP* method for first phase and *Chan* method for second phase, have been reviewed.

The mentioned algorithms have been implemented by software and hardware and required instrument and equipment are designed. Finally, some experiments are performed for validating the accuracy of implemented algorithms.

Experiments have been done for fix and moving acoustic sources, different microphone arrangements, several signal to noise proportions, frames with different number of samples and arrays with different number of microphones.

According to results, special arrangement that have the best response, is introduced. Also, for fix source, the point recommended as a suitable location for localization. Finally, the effect of changes in samples of processed frame and the effect of increasing the number of microphones in array are analyzed.

Finally, the overall results of experiments and implemented algorithms and some techniques for future work are mentioned.



Shahrood University of Technology

Faculty of electrical and robotic engineering

Design and implementation of a system for tracking and localizing a single tone sound source in 3-D space

Mohammad Sadegh Aghazadeh

Supervisor(s):

Dr. Omid Reza Marozi

Advisor(s):

Dr. Ali Soleimani Ivvari

Date: Bahman 1389