

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

طراحی و پیاده سازی یک فیلتر فوقی به منظور حذف نویز به صورت فعال

نگارنده: حسین شریعتی

استاد راهنما:

دکتر امیدرضا معروضی

استاد مشاور:

دکتر هادی گرایلو

مهر ۱۳۹۹

تشکر و قدردانی:

در این جا بر خود لازم می دانم که از زحمات و محبت های بی دریغ خانواده عزیزم
تشکر و قدردانی کنم که در سخت ترین لحظات زندگی ام همواره پشتیبان و مایه امید
اینجانب بوده اند.

همچنین از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر امیدرضا معروضی که مرا در طول
این دوره با صبر و حوصله راهنمایی کرده اند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **حسین شریعتی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق - مخابرات دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی و پیاده سازی یک فیلتر وفقی به منظور حذف نویز به صورت فعال تحت راهنمایی دکتر امیدرضا معروضی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه 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 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 به «Shahrood University of Technology» چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، 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، 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

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ،کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها 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 بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه با گسترش شهرها و محیط های صنعتی و در نتیجه افزایش سر و صداهای ناهنجار در محیط اطراف ما، نیاز به آرامش و سکوت هنگام استراحت روز به روز بیشتر احساس می گردد. وجود سر و صداهای مزاحم در محیط زندگی طبق نظر سازمان بهداشت جهانی (WHO) باعث بروز بیماری مختلف روحی و جسمی مانند افسردگی و بیماری های قلبی می شود.

در این پایان نامه، با پیاده سازی یک سیستم کنترل فعال نویز بر روی تلفن های همراه هوشمند، سعی شده تا قدم مفیدی در زمینه سلامتی انسان برداشته شود. بدین منظور ابتدا روش های موجود برای کنترل فعال نویز مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. طبق آن چه که از مقالات و تحقیقات مورد بررسی قرار گرفت الگوریتم FxNLms فیدبکی با توجه به محدودیت ها و شرایط یک تلفن همراه، انتخاب گردید.

از جمله چالش هایی که در این مسیر وجود دارد، توان پردازشی کم تر گوشی های موبایل نسبت به کامپیوترها و پردازنده های DSP است. به همین منظور سعی شده است که الگوریتم کنترل نویز را حتی المقدور ساده تر نوشته شود و ایده های مختلفی در به کارگیری آن به کار برده شده است تا به بهترین حالت ممکن برسیم.

برای طراحی و پیاده سازی این برنامه کاربردی بر روی تلفن همراه از نرم افزار X-code و زبان های برنامه نویسی سوئیفت و Objective-C استفاده شده است. با توجه به آزمایش ها، کاهش نویز در فرکانس های ۵۰ الی ۱۰۰ هرتز، مقدار تقریبی ۳ الی ۱۰ دسی بل اندازه گیری شد.

کلمات کلیدی: نویز صوتی، کنترل فعال نویز، الگوریتم FxNLms، فیلتر فوقی، گوشی های هوشمند

فهرست مطالب

۱ فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ کنترل کننده فعال نویز چیست؟	۲
۳-۱ روش های پیاده سازی ANC	۳
۱-۳-۱ ANC های با مدار آنالوگ	۳
۲-۳-۱ ANC با پردازشگر دیجیتال	۴
۴-۱ روش های کنترل نویز	۵
۱-۴-۱ کنترل غیر فعال	۵
۲-۴-۱ کنترل فعال	۶
۵-۱ انواع نویز از لحاظ هندسی	۸
۶-۱ دلیل استفاده از فیلتر تطبیقی در ANC ها	۹
۷-۱ اجزای الگوریتم هوشمند	۹
۸-۱ کاربردهای سیستم کنترل فعال نویز	۱۰
۲ فصل دوم: حذف کننده های فعال نویز	۱۳
۱-۲ معرفی اصطلاحات در یک سیستم ANC	۱۴

- ۲-۲ انواع حذف کننده فعال نویز از لحاظ محیط ۱۵
- ۳-۲ مؤلفه های اساسی سیستم ANC ۱۶
- ۴-۲ انواع سیستم های کنترل فعال نویز ۱۷
- ۱-۴-۲ سیستم کنترل کننده پیشرو پهن باند ۱۷
- ۲-۴-۲ سیستم ANC پیشرو باند باریک ۱۸
- ۳-۴-۲ سیستم ANC Feedback ۲۰
- ۴-۴-۲ سیستم ANC مختلط: ۲۱
- ۵-۴-۲ سیستم ANC چند کاناله ۲۳
- ۵-۲ کاربردهای ANC ۲۴
- ۱-۵-۲ کاهش نویز در فرودگاه ها و هواپیماها ۲۴
- ۲-۵-۲ ANC در صنعت خودرو سازی ۲۵
- ۳-۵-۲ هدفون اکتیو ۲۶
- ۴-۵-۲ صنایع نظامی ۲۶
- ۵-۵-۲ کنترل نویز تطبیقی برای از بین بردن صدای خروپف ۲۷
- ۶-۵-۲ سیستم کنترل نویز پیشخور با انتخاب گر فیلتر ثابت ۲۸
- ۷-۵-۲ مقایسه توانایی بین سیستم حذف نویز تک کاناله پسخور و پیشخور ۲۹
- ۸-۵-۲ طراحی و اجرای هدفون کنترل صدای نویز فعال ۳۰

۳۳	فصل سوم: بررسی الگوریتم ها
۳۴	۱-۳ انواع الگوریتم های ANC
۳۴	۱-۱-۳ الگوریتم LMS
۳۷	۲-۱-۳ الگوریتم FxLMS
۴۰	۳-۱-۳ الگوریتم FuLMS
۴۳	۲-۳ بررسی تأثیر درجه فیلتر بر سرعت و میزان همگرایی
۴۷	فصل چهارم: روش پیشنهادی
۴۸	۱-۴ مقدمه
۴۹	۲-۴ مشخصات اجرایی پژوهش
۵۰	۳-۴ الگوریتم پیشنهادی
۵۲	۴-۴ نرم افزار ها، کتابخانه ها و زبان های برنامه نویسی مورد استفاده
۵۳	۵-۴ طراحی برنامه کاهش نویز به صورت فعال
۵۳	۱-۵-۴ تصاویری از محیط برنامه
۵۴	۲-۵-۴ تصاویری از محیط برنامه کاربردی
۵۷	فصل پنجم: نتایج، جمع بندی و پیشنهادها
۵۸	۱-۵ سناریو تست
۶۰	۲-۵ نتایج تست

۶۳ ۳-۵ جمع بندی

۶۴ ۴-۵ پیشنهادات و کارهای آینده

۶۵ مراجع

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱) ANC با مدارات آنالوگ [۱] ۳
- شکل (۲-۱) دیوار جاذب صوتی که در یکی از بزرگراه های کشور پرتغال بنا شده است. [۳] ۶
- شکل (۳-۱) نحوه عملکرد ANC [۲] ۸
- شکل (۱-۲) ساختار سیستم ANC [۴] ۱۵
- شکل (۲-۲) قسمت های اصلی سیستم ANC [۸] ۱۷
- شکل (۳-۲) شماتیک سیستم کنترل کننده پیشرو پهن باند [۹] ۱۸
- شکل (۴-۲) شماتیک سیستم ANC پیشرو باند باریک [۱۰] ۱۹
- شکل (۵-۲) شماتیک سیستم ANC فیدبکی [۱۱] ۲۱
- شکل (۶-۲) شماتیک سیستم ANC مختلط [۱۲] ۲۲
- شکل (۷-۲) فلوچارت سیستم مختلط [۱۳] ۲۳
- شکل (۸-۲) شماتیک سیستم ANC چند کاناله [۱۴] ۲۴
- شکل (۹-۲) طرح مفهومی ANC در ماشین Toyota [۱۶] ۲۵
- شکل (۱۰-۲) بلوک دیاگرام پردازش از روش SFANC [۱۸] ۲۹
- شکل (۱۱-۲) مقدار خطای باقیمانده روش پیشخور ۳۰
- شکل (۱۲-۲) مقدار خطای باقیمانده روش پسخور ۳۰
- شکل (۱۳-۲) سمت راست حالت حذف نویز کامل و سمت چپ حذف نویز جهت دار [۲۰] ۳۱
- شکل (۱-۳) بلوک دیاگرام سیستم ANC اجرا شده به کمک الگوریتم Lms [۷] ۳۵
- شکل (۲-۳) زمان همگرایی در الگوریتم های LMS و NLMS ۳۶
- شکل (۳-۳) بلوک دیاگرام الگوریتم FxLms [۷] ۳۷

شکل (۴-۳) زمان همگرایی برای الگوریتم های FxNLMS و FxLMS	۳۹
شکل (۵-۳) بلوک دیاگرام الگوریتم FuLms [۷]	۴۰
شکل (۶-۳) زمان همگرایی برای الگوریتم های FuNLms و FuLms	۴۲
شکل (۷-۳) میزان همگرایی بافیلتر درجه ۱۲۸	۴۳
شکل (۸-۳) میزان همگرایی با فیلتر درجه ۲۵۶	۴۴
شکل (۹-۳) میزان همگرایی با فیلتر درجه ۵۱۲	۴۴
شکل (۱-۴) بلوک دیاگرام روند کلی برنامه	۵۱
شکل (۲-۴) صفحه اصلی X-code	۵۳
شکل (۳-۴) محیط نرم افزار طراحی شده	۵۵
شکل (۱-۵) شماتیک اتاق تست	۵۹
شکل (۲-۵) محیط نرم افزار SoundMeter	۶۰
شکل (۳-۵) میزان شدت نویز در حالتی که بلندگو لغو خاموش است	۶۱
شکل (۴-۵) میزان شدت نویز در حالتی که بلندگو لغو روشن است	۶۲
شکل (۵-۵) مقایسه میزان تضعیف نویز با سایر مقالات	۶۳

مقدمہ

۱-۱ مقدمه:

در دنیای امروز ماشین ها با سر و صداهای فراوانی که تولید می کنند باعث ایجاد خستگی ذهنی می شوند. با گسترش محیط های صنعتی و تجاری در شهرها این مشکل روز به روز بیشتر و بیشتر احساس می شود. روش های سنتی برای تضعیف نویز و یا کنترل آن مانند عایق های صوتی، موانع مکانیکی و غیره وجود دارد. این روش ها برای فرکانس های بالاتر کاربرد دارند اما برای فرکانس های پایین نسبتاً پرهزینه و حجیم و نا کارآمد هستند. به این جهت در سال های اخیر کنترل کننده های فعال نویز یا ANC ها^۱ محبوبیت زیادی را برای از بین بردن سر و صداهای نا خواسته به دست آورده اند.

سیستم های کنترل فعال نویز بر اساس اصل جمع آثار^۲ شکل می گیرند. سیستم های کنترل فعال نویز با مشکلات زیادی هنگام ساخت و در عمل مواجه شده است که بیشتر این مسائل تا حدودی حل و فصل شده اند. اما به دلیل کارایی و قیمت مناسب و هزینه نگهداری پایین آن همواره با استقبال زیادی از سوی مشتری ها مواجه می شوند.

۱-۲ کنترل کننده فعال نویز چیست؟

کنترل کننده فعال نویز، یک سیستم کاهش دهنده سر و صدای بلند و ناخواسته محیط است. کنترل کننده فعال نویز اساساً از چند بخش تشکیل می شود که در ذیل نام برده شده است:

۱. سنسورهای شناسایی نویز

این سنسور یا سنسورها وظیفه اندازه گیری سر و صدای محیط را دارند.

۲. پردازش گرها

¹ Active Noise Control

² Super position

پردازش گر ها به کمک الگوریتم ها نویز اندازه گیری شده توسط سنسور ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده، سپس نویزی با همان اندازه و با فاز مخالف تولید کرده و توسط بلند گو پخش می کند و در نهایت باعث از بین رفتن نویز محیط می شود.

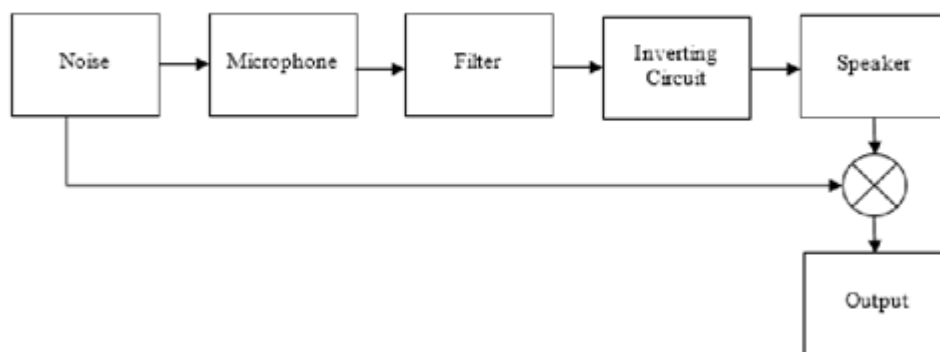
البته ANC ها نمی توانند کاملاً نویز را بر طرف کنند اما آن را تا حد قابل قبولی کاهش می دهند.

۳-۱ روش های پیاده سازی ANC:

۱-۳-۱ ANC های با مدار آنالوگ

در این سیستم از یک حلقه باز فیذبکی استفاده می شود. این مدل از چهار المان کلیدی که در

شکل (۱-۱) نشان داده شده است، که به شرح زیر است. [۱]



شکل (۱-۱) ANC با مدارات آنالوگ [۱]

۱. میکروفون : که وظیفه تبدیل سیگنال صوتی به سیگنال الکتریکی را دارد.
۲. فیلتر: از آن جایی که نیاز به پردازش سیگنال های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز به دلیل محدودیت شنوایی گوش انسان نداریم، یک فیلتر پایین گذر جهت حذف فرکانس های بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز قرار داده شده است.

۳. مدار معکوس کننده: طراحی مدار معکوس کننده بسته به نوع کاربرد می تواند متفاوت باشد اما با

استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی^۱ و یک شبکه خازنی می توان به آن دست پیدا کرد.

۴. بلندگو: انتخاب بلندگو می تواند وابسته به این که برای چه شدت صدایی مورد استفاده قرار گیرد،

متغیر است. برای نویزهای صنعتی و با شدت زیاد از نوع بزرگ آن و برای محیط های خانگی از

انواع کوچک تری می توان بهره گرفت.

۱-۳-۲ ANC با پردازشگر دیجیتال

کنترل فعال نویز یا ANC بر پایه تداخل امواج تعریف می شود و به کمک الگوریتم تطبیقی یک نویز

مشابه با نویز محیط که فاز آن شیفت پیدا کرده یا معکوس شده باشد تولید می کند، سپس این سیگنال

معکوس تقویت شده و یک مبدل موج صوتی آن را متناسب با دامنه شکل موج اصلی پخش می کند و در

نهایت باعث از بین رفتن نویز می شود.

¹ Op-Amp

۴-۱ روش های کنترل نویز

۱-۴-۱ کنترل غیر فعال^۱

در گذشته روش هایی که برای کنترل نویز صوتی به کار گرفته می شد، غالباً روش های غیرفعال بودند. در این روش ها برای ایجاد محیط آرام و بدون سر و صدا، از تکنیک های غیر فعال مانند خفه کننده-ها^۲، موانع صوتی، عایق های صوتی و جاذب های صوتی کمک گرفته می شد و یا با روش های خاصی فرکانس صوت مزاحم به خارج از محدوده شنوایی انسان منتقل می شد تا بدین وسیله از شدت نویز ناخواسته کاسته شود. شکل (۱-۲) نمونه اجرا شده کنترل غیر فعال نویز را نشان می دهد.

خفه کننده های غیر فعال از روش تغییر امپدانس استفاده کرده تا نویز ناخواسته را حذف کنند یا به وسیله مواد جاذب صوت، صدای ناخواسته را کاهش دهند. خفه کننده ها معمولاً برای موتور های احتراق داخلی در اگزوز استفاده می شوند. روش های مکانیکی معمولاً صدا را خوب تضعیف می کنند، اما گران تمام شده و همچنین غیرقابل استفاده بودن آن ها در فرکانس های پایین موجب غیر عملی شدن آن ها می شود. از جمله مشکلات دیگر آن ها این است که اگر مجرای صدا دارای هوا باشد، خفه کننده ها باعث بازگشت فشار می شوند و این یکی از معایب بزرگ آن ها است.

¹ passive

² Exhaust



شکل (۲-۱) دیوار جاذب صوتی که در یکی از بزرگراه های کشور پرتغال بنا شده است. [۳]

۱-۴-۲ کنترل فعال^۱

در سال های اخیر با پیشرفت چشم گیر تکنولوژی و پیدایش پردازش گرهایی با سرعت بسیار بالا ایده حذف فعال نویز صوتی مطرح شده اند. یک سیستم فعال کنترل نویز بر پایه ی اثر حذف کنندگی تداخل دو موج صوتی هم دامنه و هم فرکانس اما با فاز مخالف ساخته می شود. این کار با صرف هزینه کمتر نسبت به روش های غیر فعال می تواند میزان نویز صوتی را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. سیستم های غیر فعال کنترل نویز در مقایسه با سیستم های ANC، بسیار سنگین، حجیم و پرهزینه هستند. علاوه بر این

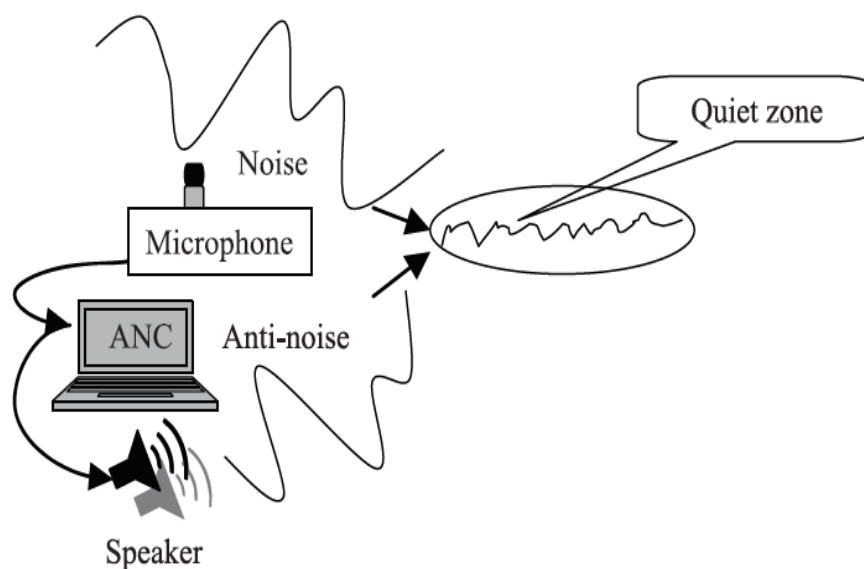
¹ Active

سیستم ANC برای حذف نویز های فرکانس پایین عملکرد بهتری نشان می دهد.

برای پیاده سازی یک سیستم فعال کنترل نویز سیگنال ضد نویز معمولاً توسط یک فیلتر وفقی ساخته می شود. شکل (۱-۳). ایده حذف نویز صوتی به روش فعال ANC در سال ۱۹۳۰ توسط لیوگ مطرح شد. البته تا زمانی که مدارات کوچک مدرن و کامپیوتر های دیجیتال اختراع نشدند این ایده عملی نشد. در سال های اخیر با توسعه پردازشگر های دیجیتال با سرعت بالا این موضوع به طور گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته و مقالات زیادی در رابطه با آن چاپ شده است و شرکت های مختلفی در حال تولید محصولات تخصصی و تجاری در زمینه ANC می باشند. [۴] حذف کردن نویز تونلی بر اساس فیلترهای وفقی اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط Burgess مطرح شد [۵]؛ اما تنها با وارد شدن DSP ها^۱ و FPGA^۲ های سریع، عملاً وارد تکنولوژی شدند.

¹ Digital Signal Processing

² Field Programmable Gate Array



شکل (۳-۱) نحوه عملکرد ANC [۲]

۵-۱ انواع نویز از لحاظ هندسی

از لحاظ هندسی، کنترل فعال نویز را به چهار گروه می توان دسته بندی کرد:

- نویز تونلی: تونل ها و مجرا های یک بعدی مانند لوله های هوا
- نویز داخلی: نویز داخل یک فضای بسته
- نویز داخلی بسیار فشرده: محافظت شنوایی شخصی
- نویز فضای آزاد: نویز مربوط به یک فضای کاملاً باز

۶-۱ دلیل استفاده از فیلتر تطبیقی در ANC ها:

تغییر شرایط و ویژگی های محیط ممکن است آرام یا به سرعت انجام گیرد، از آن جا که این تغییرات مشخص نیست از فیلتر های تطبیقی یا وفقی^۱ برای کاهش و یا حذف کامل سیگنال نویز استفاده می شود. از آن جا که امکان وجود نویز در فرکانس های مختلف وجود دارد تنها راه ممکن برای تولید ضد نویز^۲ استفاده از فیلترهای تطبیقی است. چراکه اگر برای حذف نویز از فیلتر های ثابت مثل پایین گذر^۳ استفاده کنیم، فقط امکان حذف نویز در فرکانس های خاصی را داریم و اگر نویز در فرکانس های نامشخص دیگری رخ دهد امکان حذف آن وجود ندارد. بنا براین فیلتر تطبیقی به دلیل شناسایی محیط و نویز در آن می تواند نویز هایی با فرکانس های گوناگون را حذف و یا تضعیف نمایند.

دلیل دیگر استفاده از فیلتر های تطبیقی نداشتن شناخت کامل از فضایی است که نویز در آن انتشار می یابد. چون ابعاد محیط و همچنین تأثیر برخورد نویز با جداره ها روی نویز تولیدی و تغییرات آن مؤثر است، در این مواقع برای تخمین مناسب نویز باید از الگوریتم های هوشمند استفاده کرد و شاکله ی این الگوریتم ها فیلتر های تطبیقی یا همان وفقی می باشند.

۷-۱ اجزای الگوریتم هوشمند :

الگوریتم های هوشمند از دو بخش تشکیل می شوند:

۱. فیلتر های تطبیقی:

فیلتر دیجیتالی است که خاصیت خود تطبیقی دارد. این فیلتر به صورت خودکار با تغییر سیگنال ورودی تطبیق می یابد.

¹ Adaptive filters

² Anti Noise

³ Low Pass

۲. الگوریتم تطبیقی:

در این مرحله برای بروز رسانی ضرایب فیلتر از الگوریتم تطبیقی استفاده می شود. وزن های فیلتر متغیر با زمان هستند و با توجه به ورودی فیلتر و اختلاف خروجی و سیگنال مطلوب توسط الگوریتم تطبیقی تخمین زده می شوند تا خطا را به کمترین میزان ممکن کاهش دهند. فیلتر های تطبیقی اساساً فیلتر های بدون حافظه ای هستند که داده ها را بدون هیچ اطلاعات قبلی در مورد محیط سیگنال و سیگنال دریافتی پردازش می کنند.

۸-۱ کاربردهای سیستم کنترل فعال نویز:

شرکت های مختلفی در سراسر دنیا در این زمینه فعال هستند. از جمله آن ها می توان به انجمن تحقیقاتی دیراک^۱ که تحت حمایت کنسول تحقیقاتی سوئد می باشد، اشاره کرد که در زمینه زیر فعالیت می کند.[۶]

• High End HiFi

• Automotive

• Professional Cinema

High End HiFi : انجمن دیراک در این بخش به کنترل نویز در فضاهای بسته کوچک با کاربرد های عام مانند حذف صدای ترانسفورماتور ها می پردازد.

Automotive: طراحی سیستم های کاهش نویز داخل کابین یک اتومبیل

Professional Cinema : طراحی سیستم هایی برای کاهش نویز داخل سالن های بزرگ سینما،

¹ Dirac

کنفرانس، ارکستر و...

علاوه بر آن چه اشاره شد، کاربردهای بسیار زیاد دیگری نیز وجود دارند که از جمله آن ها کاربردهای نظامی مانند هواپیما های جاسوسی بدون صدا و راکت های بی صدا در کاربرد های سونار که راکت به وسیله صدایش ردیابی می شود، اشاره کرد.

حذف کننده های فعال

نویز

۱-۲ معرفی اصطلاحات در یک سیستم ANC :

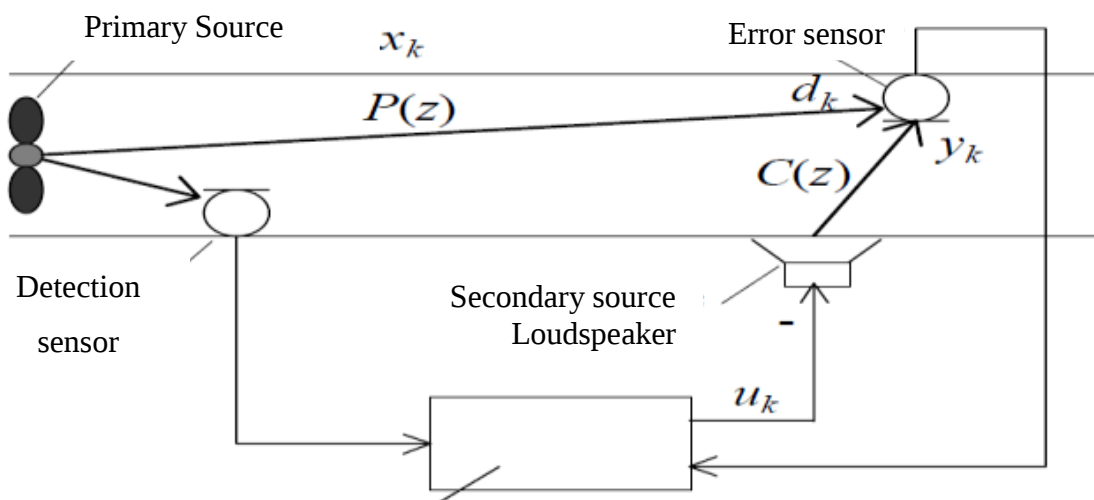
- **نویز اولیه (primary Noise):** که همان نویزی است که از منبع تولید می شود، در واقع نویز

به یک صدای ناخواسته ای گفته می شود که در یک محیط آکوستیکی مثل کانال انتشار می یابد.

- **مسیر اولیه (primary Path):** به مسیری که نویز در آن شروع به انتشار می کند مانند کانال یا داکت.

- **نقطه مرجع:** بعد از انتشار سیگنال نویز در محیط اولیه، در نقطه مشخصی می خواهیم این صدا به حداقل برسد، که به این نقطه، نقطه مرجع می گویند و میکروفنی جهت اندازه گیری سیگنال خطا یا نویز باقی مانده (Residual noise) در این نقطه قرار داده می شود که میکروفن خطا نام دارد.

سیستم حذف کننده فعال نویز از فیلتر تطبیقی جهت پردازش و تولید سیگنال ضدنویز استفاده می کند به این صورت که از یک میکوفن موسوم به میکروفن اولیه جهت نمونه برداری صدای نویز مرجع استفاده می شود. از یک بلندگو موسوم به بلندگوی کنترل جهت پخش سیگنال تولید شده توسط سیستم به محیط استفاده می شود. در شکل (۱-۲) $y(n)$ سیگنال خروجی فیلتر تطبیقی است. مسیری که این سیگنال در محیط اکوستیکی تا رسیدن به میکروفن خطا طی می کند، مسیر ثانویه (Secondary path) نامیده میشود. این مسیر معمولاً شامل مبدل های آنالوگ به دیجیتال و تقویت کننده و... است. تابع تبدیل $s(n)$ تخمینی از مسیر ثانویه است که جهت جبران اثر مسیر فیزیکی در این الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته است. تخمین بهینه تابع تبدیل مسیر ثانویه اثر بسیار مهمی در کارایی سیستم کنترل فعال نویز دارد. [۷]



شکل (۱-۲) ساختار سیستم ANC [۴]

۲-۲ انواع حذف کننده فعال نویز از لحاظ محیط

امواج صوتی در محیط های مختلف رفتار های متفاوتی دارند و این مسئله باعث به وجود آمدن سه

گروه مختلف از ANC می شود. [۴]

- لغو سراسری در فضای آزاد
- لغو حفره ای
- لغو منطقه سکوت

لغو سراسری در فضای آزاد: از بین بردن یک میدان صوتی در سراسر فضای آزاد را لغو سراسری می

گویند. برای این کار نیاز به یک یا چند منبع حذف کننده سر و صدا در نزدیکی منبع نویز داریم.

لغو حفره ای: لغو صدای ناخواسته در فضاهای محدود مثل یک اتاقک یا مجرای تهویه هوا لغو حفره

ای نامیده می شود. اگر صدا در مجرا و در کل سطح مقطع آن ثابت باشد، اصطلاحاً گفته میشود که امواج صوتی، امواج صفحه ای هستند.

لغو منطقه سکوت: لغو محلی میدان صوتی را فراهم میکند. معمولاً منطقه لغو نویز حدود یک دهم طول موج در قطر مجرا است.

لغو نویز توسط روش ANC بهترین روش برای حذف نویز های فرکانس پایین است. برای فرکانس های بالا به خاطر افزایش تعداد مدهای فرکانسی روش ANC با پیچیدگی محاسباتی زیادی روبرو می شود و لذا سیستم دیگر نمی تواند به صورت برخط^۱ به حذف نویز پردازد. بنابراین روش های غیرفعال در فرکانس های بالا موفق تر بوده و بیشتر توصیه می شوند.

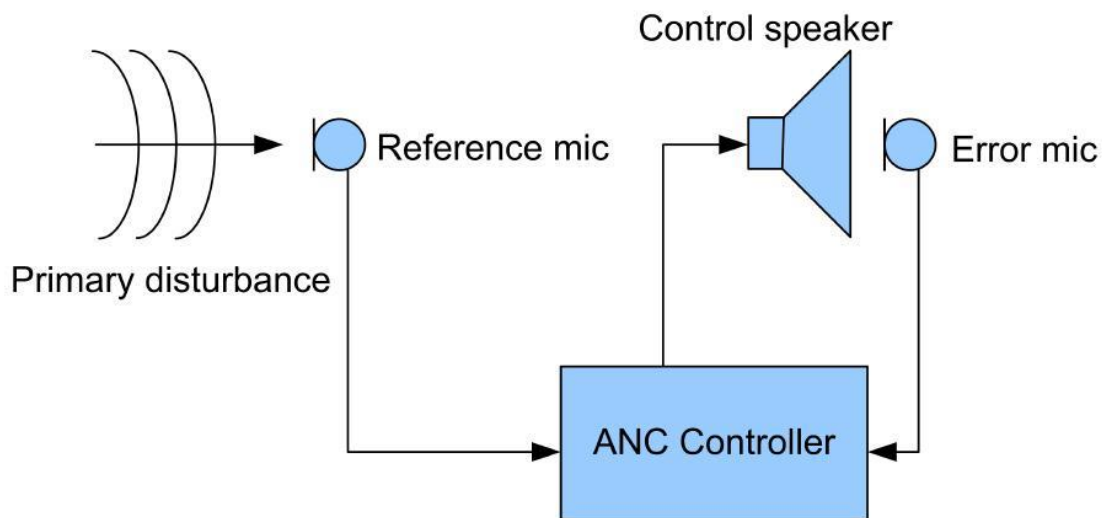
۳-۲ مؤلفه های اساسی سیستم ANC :

شکل (۲-۲) اجزای اصلی سیستم ANC را نشان می دهد که در ادامه به معرفی آن ها می پردازیم:

۱. منبع نویز: معمولاً یک منبع نویز وجود دارد که عامل پخش نویز در محیط می شود.
۲. میکروفون مرجع: از طریق میکروفون مرجع سیگنال صوتی اولیه را دریافت میکنیم که آن را $X(n)$ مینامیم.
۳. بخش پردازشی: در این قسمت سیگنال $X(n)$ مورد پردازش و تحلیل قرار میگیرد و ضد نویز تولید می شود. که آن را $Y(n)$ می نامیم و توسط بلندگو پخش می شود.

¹ Online

۴. میکروفون خطا: نویز باقی مانده را اندازه می گیرد، و به عنوان نوعی بازخورد به ANC منتقل می کند. هدف اصلی ما به حداقل رساندن خطا $e(n)$ است. شکل زیر قسمت های اصلی مشخص است.



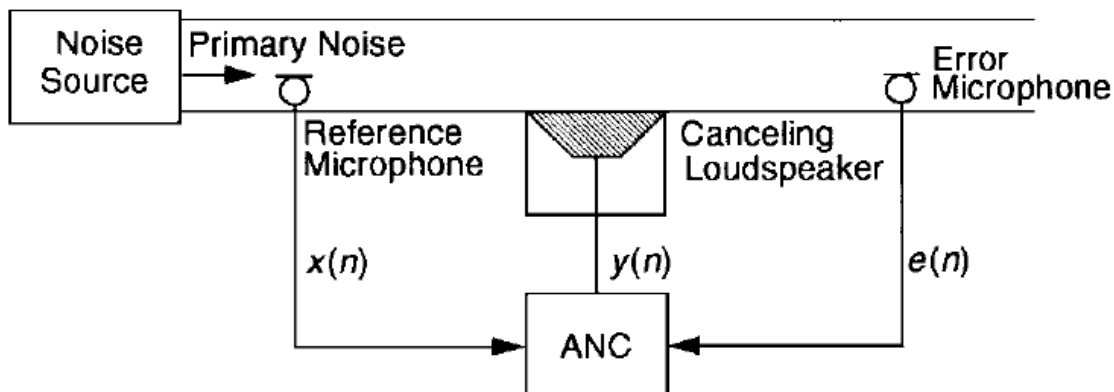
شکل (۲-۲) قسمت های اصلی سیستم ANC [۸]

۴-۲ انواع سیستم های کنترل فعال نویز:

۱-۴-۲ سیستم کنترل کننده پیشرو پهن باند^۱

این سیستم شامل حسگر سیگنال مرجع و سیگنال خطا و سیگنال منبع مسیر ثانویه است. [۹]

^۱ Feedforward Broadband



شکل (۳-۲) شماتیک سیستم کنترل کننده پیشرو باند [۹]

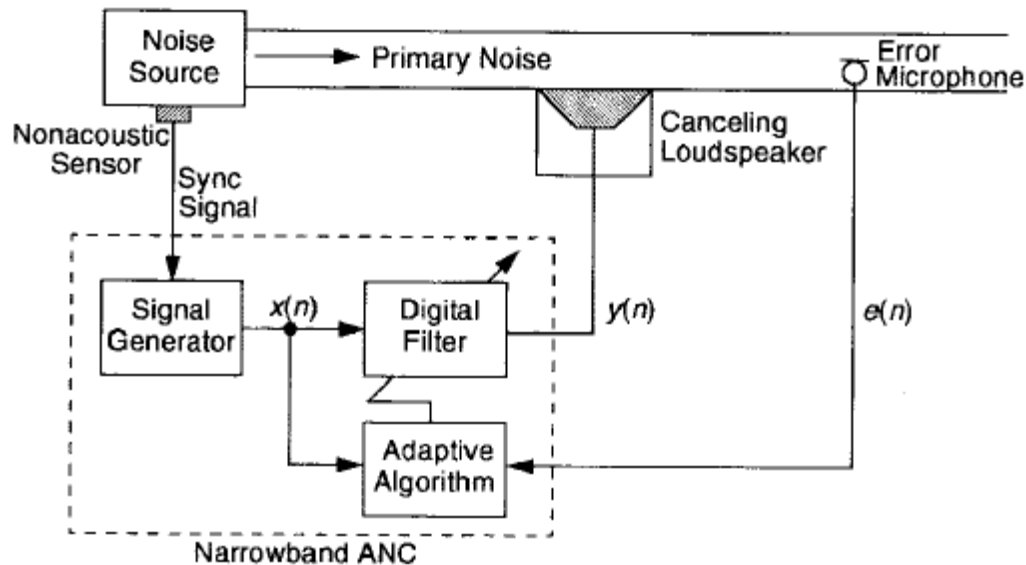
با توجه به شکل (۲-۲) سیگنال نویز مرجع توسط میکروفون مرجع نمونه برداری می شود. این سیگنال توسط سیستم ANC پردازش می شود تا سیگنال ضدنویز تولید شده و توسط بلندگو پخش نماید. از میکروفون خطا جهت نظارت بر سیستم استفاده می شود.

۲-۴-۲ سیستم ANC پیشرو باند باریک^۱

بسیاری از نویزها پریودیک می باشند، مانند نویز هایی که موتورها و کمپرسورها تولید می کنند. این

^۱ Feedforward Narrowband

روش با اطلاعات لحظه ای سیگنال مرجع کار می کند.



شکل (۴-۲) شماتیک سیستم ANC پیشرو باند باریک [۱۰]

در نویز های پریودیک می توانیم از سنسورهای غیر صوتی نیز استفاده کنیم. همان طور که در شکل (۴-۲) نشان داده شده است، به جای استفاده از میکروفون در قسمت ورودی نویز مرجع، از یک سنسور غیر صوتی استفاده شده است. به عنوان مثال در برخی از خودروهای مجهز به سیستم ANC به جای استفاده از سنسور صوتی از سنسور دور موتور خودرو کمک می گیرند تا میزان نویز تولید شده توسط موتور را محاسبه کنند. [۱۰]

این روش دارای مزایای زیر است:

- فیدبک آکوستیک از بازگشت ضد نویز بلندگو به طرف میکروفون مرجع جلوگیری می کند.
- از مشکلات غیر خطی همراه با میکروفون خطا جلوگیری می کند.
- متناوب بودن نویز، محدودیت علی بودن را از بین می برد.

دو نوع سیگنال مرجع در نویز باریک باند بکار می رود:

۱. پالس با پریودی برابر با معکوس فرکانس نویز پریودیک مرجع

۲. موج سینوسی که دارای فرکانس هایی همانند تن های حذف شده می باشند.

۳-۴-۲ سیستم ANC Feedback

خروجی میکروفون خطا توسط سیستم ANC پردازش می شود تا سیگنال ضد نویز را تولید کند.

سیستم های فیدبکی ANC تک کاناله در [۹] و چند کاناله در [۱۰] بیان شده اند.

اساس ANC فیدبکی تخمین نویز اولیه است.

$$D(t) = E(t) + \hat{s}(t)y(t) \quad (۱-۲)$$

$E(t)$ از میکروفون خطا، $y(t)$ از مسیر ثانویه می گذرد، اگر $\hat{s}(t) = s(t)$ باشد، می توان تخمین زد

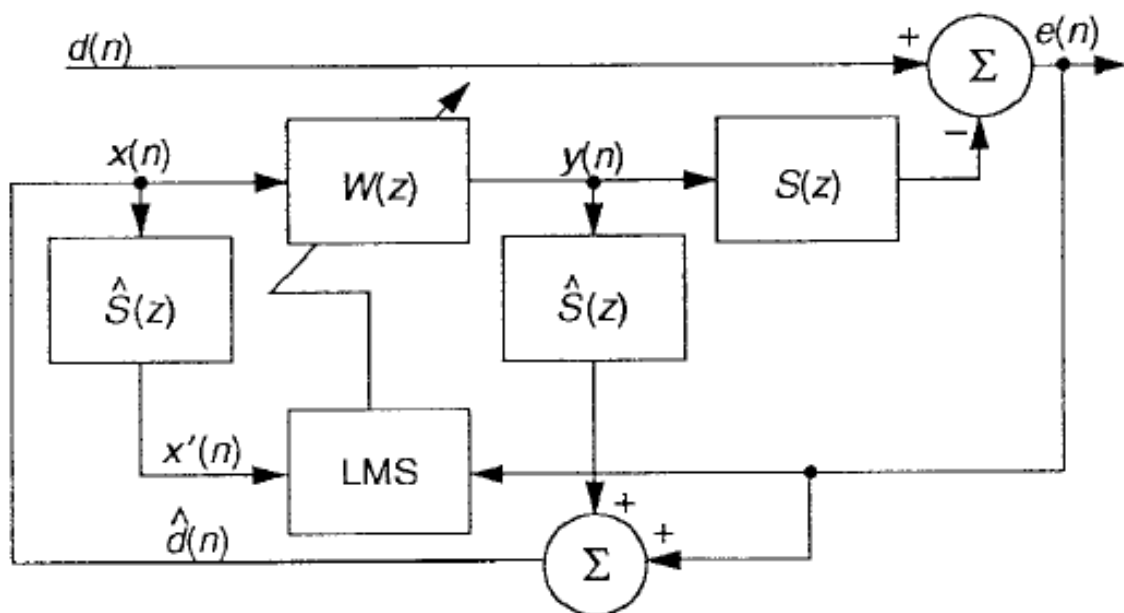
که $d(n)$ و $x(n)$ با هم برابرند.

$$E(t) + \hat{s}(t)y(t) = \hat{d}(t) = x(t) \quad (۲-۲)$$

در این روش سیگنال شبیه سازی می شود، اگر سیگنال ثانویه $y(t)$ با مسیر ثانویه تخمین زده شده

$\hat{s}(t)$ فیلتر شود و با $e(t)$ می تواند ترکیب شود. در این حالت می تواند $\hat{d}(t)$ را تولید کند.

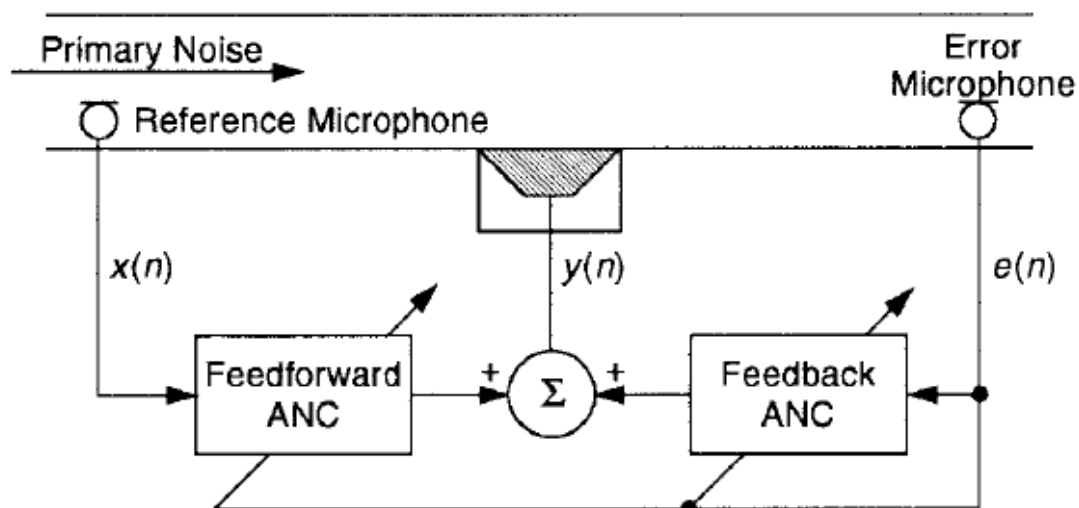
$$\hat{d}(n) = e(n) + \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m(n)y(n-m) \quad (۳-۲)$$



شکل (۵-۲) شماتیک سیستم ANC فیدبکی [۱۱]

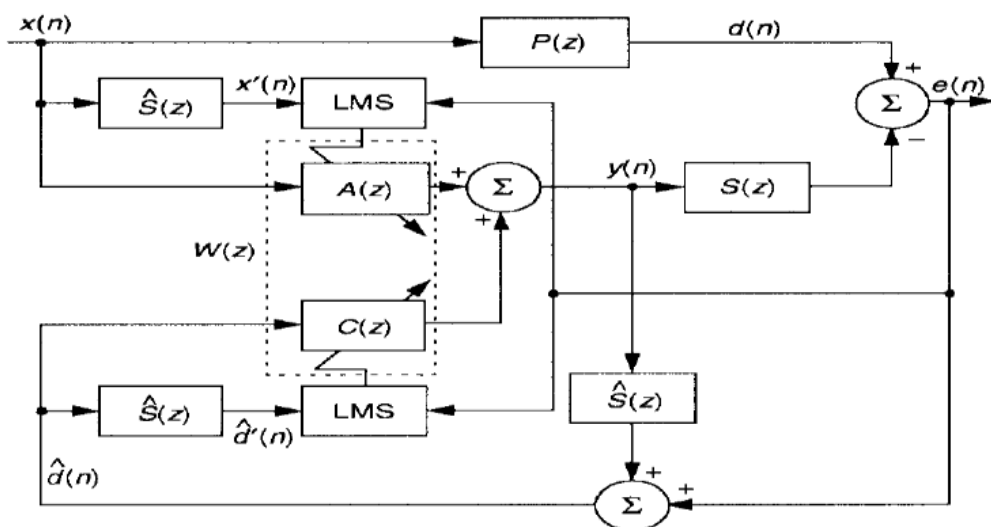
۴-۴-۲ سیستم ANC مختلط:

سیستم فیدبک دارای یک میکروفون خطا است که برای حذف مؤلفه های نویز پیش بینی شده از نویز اولیه به کار می رود. سیستم پیشرو از دو میکروفون مرجع و خطا استفاده می کند. میکروفون خطا برای نظارت بر اجرای سیستم ANC و میکروفون مرجع برای حذف، نویز اولیه را اندازه گیری می کند. ترکیب ساختار پیشرو و فیدبکی را مختلط گویند. [۱۲]



شکل (۶-۲) شماتیک سیستم ANC مختلط [۱۲]

میکروفن خطا در آخر سیستم برای اندازه گیری خطای باقی مانده، قرار داده می شود که برای سنتز نویز مرجع در سیستم فیدبکی استفاده می شود و تطبیق ضرایب در هر دو سیستم با هم انجام می شود. سیستم پیشرو نویز اولیه که هماهنگ با نویز مرجع است را میرا می کند و سیستم فیدبک برای از بین بردن مؤلفه های پیش بینی شده نویز اولیه بکار می رود.



شکل (۷-۲) فلوجارت سیستم مختلط [۱۳]

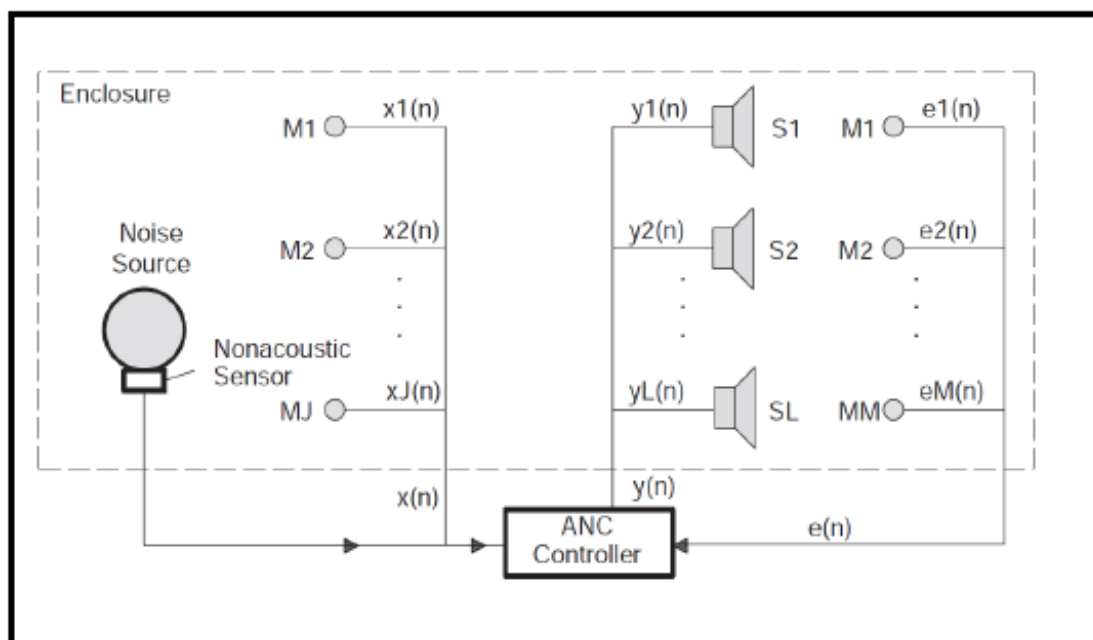
سیستم ANC مختلط از یک فیلتر تطبیقی^۱ FIR در سیستم پیشرو و یک فیلتر تطبیقی فیدبک دار استفاده می کند.

۲-۴-۵ سیستم ANC چند کاناله

به دلیل ابعاد بزرگ کانال ها یا محیط های محصور که دارای پیچیدگی هستند، احتیاج به سیستم چند کاناله است و احتمال وجود چندین منبع ثانویه، میکروفن خطا و حتی چندین مرجع نویز وجود دارد.

[۱۴]

^۱ Finite impulse response



شکل (۸-۲) شماتیک سیستم ANC چند کاناله [۱۴]

برای بهبود اجرای سیستم ها فاصله اولیه تا منبع ثانویه باید کمتر از ربع طول مرجع بزرگترین فرکانس باشد در غیر این صورت تداخل دو موج صوتی به خوبی انجام نمی گیرد. رفتار پایدار سیستم ANC چندکاناله در مکان میکروفن خطا و منبع ثانویه نویز تاثیر بهینه ای دارد. روش های چند کاناله وابسته به ویژگی های همگرایی و بعضی فرکانس های خاص دارد. [۱۵]

۵-۲ کاربردهای ANC

کاربرد های بسیار زیادی برای ANC وجود دارد که در ادامه به چند مورد از آن ها می پردازیم.

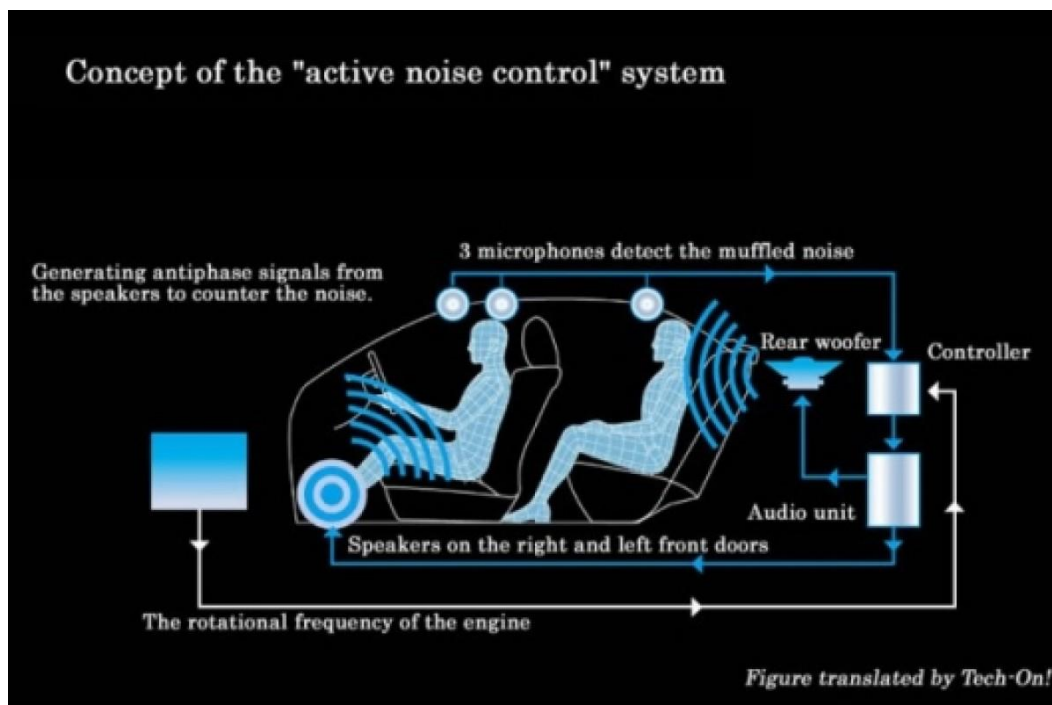
۱-۵-۲ کاهش نویز در فرودگاه ها و هواپیماها

استفاده از ANC برای حذف نویز فرکانس پایین داخل کابین هواپیما برای راحتی مسافران محبوبیت زیادی بدست آورده است. بیشتر کارخانه های هواپیما سازی این سیستم را برای حذف صدای نویزی محور

پروانه هواپیما استفاده می کنند. به طور مثال این سیستم در هواپیمای شرکت Saab وجود دارد که تقریباً حدود ۶ دسیبل کاهش نویز را در این هواپیما داریم. دیگر سیستمی که در هواپیمای Saab 2000 برای حذف صدای ملخ هواپیما استفاده شده است یک چند کاناله می باشد که دارای ۲۷ بلندگو و ۷۲ تا میکروفن برای دستیابی به کاهش نویز برای ۴ هارمونیک اول صدای ملخ هواپیما می باشد. [۴] امروزه فرودگاه های پیشرفته در دنیا برای برقرار کردن سکوت نسبی در محیط های انتظار مسافران از این سیستم استفاده می کنند.

۲-۵-۲ ANC در صنعت خودرو سازی

امروزه کارخانه های خودروسازی مطرح در دنیا برای تولیدات لوکس خود از سیستم ANC استفاده می کنند. از جمله دو شرکت تویوتا و بی ام دبلیو اقدام به طراحی سیستمی کرده اند که فضای ساکتی را در داخل کابین خودرو برای مسافران ایجاد می کند. شکل (۲-۹)، سیستمی را که شرکت تویوتا طراحی کرده است را نشان می دهد.



شکل (۲-۹) طرح مفهومی ANC در ماشین Toyota [۱۶]

مشکل اساسی در طراحی یک سیستم ANC برای خودرو آن است که سیستم باید نسبت به صدای صحبت مسافران کاملاً غیر حساس باشد و نباید هیچ تاثیری سوئی روی آن بگذارد. به عبارت دیگر این سیستم باید قابلیت تشخیص گفتار انسان از نویز محیط را داشته باشد. همین دلیل باعث می شود که عملکرد سیستم از این نوع کاهش بیابد.

۲-۵-۳ هدفون اکتیو

یکی از کاربردهای ANC که به موفقیت گسترده تجاری دست پیدا کرده است هدفون های اکتیو در حذف نویز فرکانس پایین می باشد. در حقیقت دو نوع مختلف از این هدفون های اکتیو داریم که فقط یک نوع آن ANC استفاده می کند. [۴]

۱. هدفون اکتیو: این هدفون ها مجهز به یک میکروفون در خارج از فنجان گوشی برای اندازه گیری نویز می باشند. سپس این نویز توسط فرستادن یک ضدنویز با استفاده از بلندگوها حذف می شود. این نوع هدفون ها کاربرد زیادی برای خلبان های هلیکوپتر و هواپیما دارد.
۲. هدفون حذف صدای ناگهانی : از روش پسینو برای تضعیف نویز استفاده می کند. این هدفون ها صدای آرام و معمول را از خود عبور می دهند اما صداهای بلند و ناگهانی مانند صدای شلیک گلوله را تا حدودی حذف می کنند.

۲-۵-۴ صنایع نظامی

ANC در صنایع مختلف نظامی از جمله صنعت هوایی و صنعت دریایی تأثیر به سزایی داشته است. به عنوان مثال در صنعت هوایی با تولید هواپیماهای جاسوسی و رادارگریز که از دید سیستم های راداری در امان هستند، نیاز دارند که برای دور ماندن از دیدبان های بصری و صوتی نیز پنهان بمانند. لذا اکثر آنها از موتور های برقی استفاده می کنند و سیستم ANC نیز در آن ها وجود دارد صدای ملخ آن ها را به حداقل

برساند. در صنایع دریایی نیز برای این که راکت های شلیک شده توسط سیستم های رادار دریای (سونار) رهیابی نشوند از ANC استفاده می شود تا صدای تولید شده حرکت اثر از بین رفته یا این که موقعیت آن در رادار دشمن با خطا ظاهر شود.

۲-۵-۵ کنترل نویز تطبیقی برای از بین بردن صدای خروپف

در [۱۷] برای از بین بردن صدای خروپف در تخت خواب از سیستم کنترل فعال نویز استفاده کرده است. از آن جا که سیگنال خروپف سیگنال متغیر با زمان و غیر ایستانی هستند، الگوریتم های سنتی Lms نمی توانند نویز را به خوبی کاهش دهند. لذا یک سیستم چند کاناله پیشخور که توسط الگوریتم Lms تطبیقی (Alms) معرفی می شود. در الگوریتم Alms اندازه گام تطبیقی برای بروز رسانی ضرایب فیلتر استفاده می کند، البته الگوریتم Alms در مقایسه با Lms همگرایی سریع تری دارد اما بسته به نوع نویز ورودی ممکن است پایداری خوبی نداشته باشد و سیستم واگرا شود. همپنین از لحاظ پیچیدگی محاسباتی نیاز به پردازشگرهای سریع تر و قدرتمند تری دارد. بنابراین ، یکی از ویژگیهای مهم الگوریتم LMS سادگی آن است که باعث می شود پردازش زمان واقعی^۱ در روش پیشنهادی امکان پذیر باشد. با این حال ، از آنجا که سیگنال های خروپف سیگنال های متغیر با زمان و غیر ثابتی هستند، الگوریتم های سنتی LMS نمی توانند صدای خروپف را بطور موثری کاهش دهند. علاوه بر این ، از آنجا که سیگنال های خروپف هر یک از ویژگی های فرکانس زمانی منحصر به فرد خود را دارند ، بنابراین طراحی یک الگوریتم LMS سازگار برای بهترین عملکرد لغو برای سیگنال های خروپف ضروری است. جهت رفع این مشکل از روش اندازه گام متغیر استفاده شده است. مزیت این روش این است که پیچیدگی محاسباتی تغییر چندانی نخواهد کرد و خللی در سرعت اجرا برنامه ایجاد نخواهد شد.

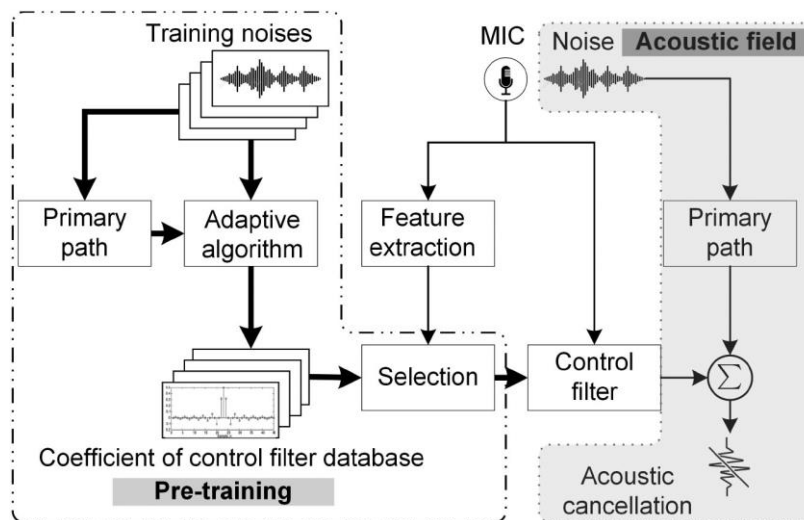
¹ Real Time

۲-۵-۶ سیستم کنترل نویز پیشخور با انتخاب گر فیلتر ثابت

در مقاله [۱۸] یک سیستم کنترل نویز پیش خور با فیلتر انتخابی^۱ (SFANC) معرفی شده است. در این سیستم برای مقابله با انواع مختلف سر و صداها یک فیلتر خاص تبدیل می شود، بدین صورت که سیستم پس شنیدن صدای نویز محیط، فیلتر مناسب برای حذف نویز را فعال می کند. از آن جا که در این سیستم فیدبک وجود ندارد پایداری برنامه حتی برای سیگنال های غیر ایستار بسیار بالا است. سیستم SFANC در دو مرحله اجرا می شود:

- مرحله پیش فرض آفلاین: در این مرحله یک بانک اطلاعاتی از فیلترهای کنترل سر و صدا قبل از اجرا شدن سیستم آموزش داده می شوند.
- مرحله کنترل آنلایین: در این مرحله نویز با یک فیلتر که انتخاب شده است کاهش اساسی می یابد و به صورت آنلایین عملیات کاهش نویز به کمک فیلتر انتخاب شده صورت می گیرد.

¹ selective fixed-filter active noise control



شکل (۲-۱۰) بلوک دیاگرام پردازش از روش SFANC، که شامل مرحله اول استخراج مجموعه ای از فیلترهای کنترل بر اساس انواع نویز و مسیرهای نویز است. پس از آن، الگوریتم انتخابی نزدیکترین فیلتر کنترل را استخراج می کند تا صدای واقعی را در زمان واقعی فیلتر کند. [۱۸]

در این مقاله حذف نویز به مقدار قابل قبولی صورت گرفته اما با چالش های اساسی نیز برخورد کرده اند، از جمله آن ها می توان به چالش انتخاب فیلتر مناسب با نویز اشاره کرد که باعث تاخیر زیاد از حد سیستم می گردد.

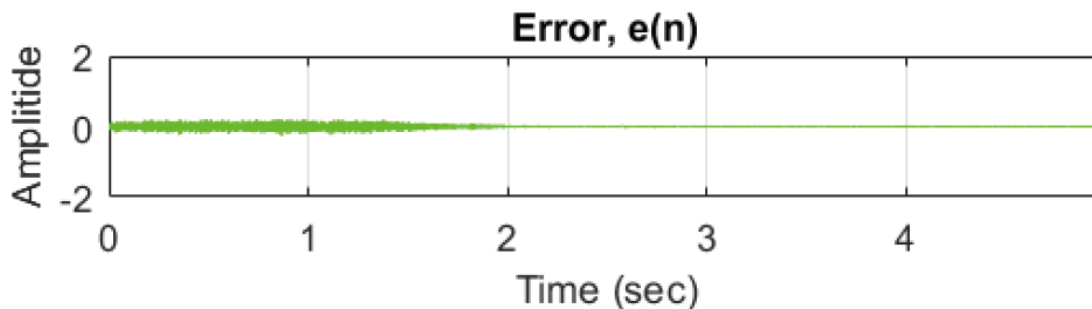
۷-۵-۲ مقایسه توانایی بین سیستم حذف نویز تک کاناله پسخور و پیشخور

در مقاله [۱۹] دو سیستم ANC پیشخور تک کاناله و پسخور تک کاناله توسط نرم افزار متلب^۱ برای یک کلاس درس دانشگاه شبه سازی شده است. کلاس فوق الذکر در کنار یک فرودگاه بزرگ بین المللی واقع شده است و لذا به طور متوسط در یک بار صدای درخواستن یا فرود هواپیما به گوش می رسد. برای بروز رسانی بردار وزن در سیستم ANC به کار می رود.

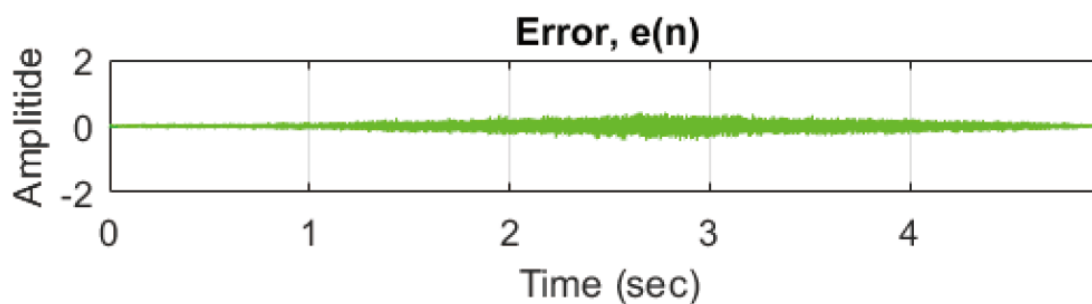
^۱ Matlab

۲-۵-۷-۱ مقایسه روش ANC پیشخور و پسخور: در شکل (۲-۱۱) و (۲-۱۲) میزان خطای باقیمانده

پس از اعمال سیگنال آنتی نویز در دو حالت پیشخور و پسخور نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۱) مقدار خطای باقیمانده روش پیشخور



شکل (۲-۱۲) مقدار خطای باقیمانده روش پسخور

از نتایج فوق می توان نتیجه گرفت که سیستم پیشخور بازده بهتری نسبت به سیستم پسخور دارد اما سیستم پسخور نیاز به پردازش بیشتر سیگنال دارد و به همین دلیل به پردازنده قوی تر نیاز دارد تا بتواند تاخیر ناشی از پردازش بیشتر را جبران کند.

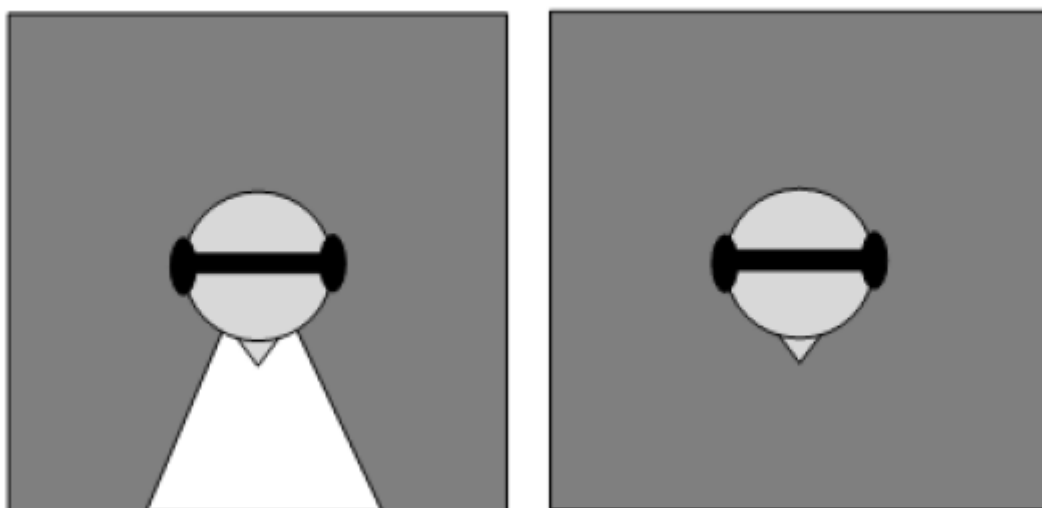
۲-۵-۸ طراحی و اجرای هدفون کنترل صدای نویز فعال با قابلیت گوش دادن جهت

دار

در مقاله [۲۰] طراحی و اجرای یک سیستم هدفون با کنترل نویز فعال با قابلیت شنوایی جهت دار انجام شده و نتایج آن با هدفون های معمولی مقایسه شده است. این هدفون از آرایه ی میکروفون های

بسیار حساس تشکیل شده و قابلیت دریافت امواج صوتی را در تمام جهات دارا می باشد. شکل (۲-۱۳).

در این مجموعه یک سیستم ANC برای حذف نویز طراحی شده است، سپس خروجی یک سیستم جهت یابی نویزی به کمک سیستم ANC می آید. عملکرد سیستم این گونه است که آرایه میکروفونی که برای این هدفون طراحی شده، صدای نویز رو را از تمام جهات محاسبه می کند و سپس با توجه به نیاز کاربر نویز را در جهتی که کاربر نیاز ندارد حذف می کند. به عنوان مثال می توان در جهت نگاه کاربر صدای نویز شنیده شود و در بقیه جهات میزان نویز به حداقل برسد.



شکل (۲-۱۳) سمت راست حالت حذف نویز کامل و سمت چپ حذف نویز جهت دار [۲۰]

بررسی الگوریتم ها

۳-۱ انواع الگوریتم های ANC:

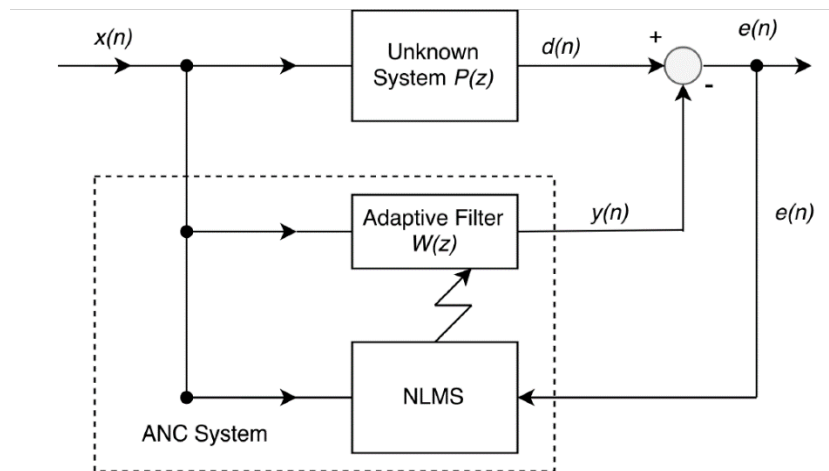
۳-۱-۱ الگوریتم LMS:

امروزه الگوریتم LMS پایه و اساس سیستم کنترل فعال نویز است. بلوک دیاگرام الگوریتم LMS در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. سیگنال نویز توسط میکروفن مرجع نمونه برداری می شود و $X(n)$ نام گذاری شده است. وزن های فیلتر وقتی $W(z)$ است که به طور مداوم توسط الگوریتم به روز رسانی می گردد. الگوریتم LMS برای به روز رسانی ضرایب اوزان $W(z)$ از الگوریتم شیب نزولی^۱ استفاده می کند تا زمانی که میزان نویز در میکرون خطا به حداقل ممکن برسد.

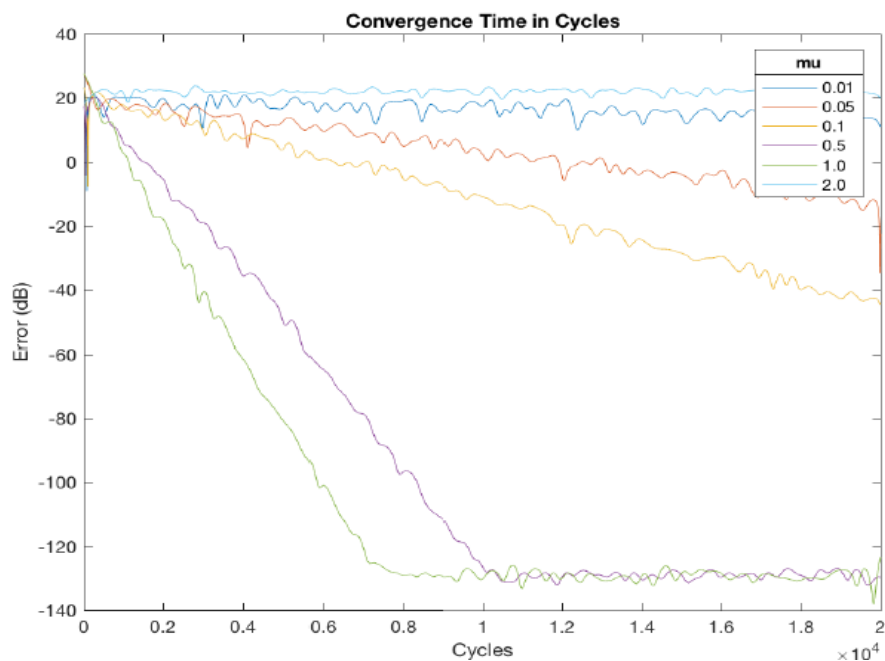
$$e(n) \rightarrow 0, W(z) \rightarrow P(z) \quad (۳-۱)$$

الگوریتم NLms در واقع نرمال شده همان الگوریتم Lms است که به دلیل نرمالیزه شدن معادلات سرعت پردازش بیشتر می شود. نتایج همگرایی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. اگرچه بهترین زمان های همگرایی بین بهترین حالت LMS و NLMS قابل مقایسه است، اما نتایج نشان می دهد که NLMS نسبت به برآوردهای اولیه، همگرایی بیشتری دارد. بسیاری از سیستم های شکل (۳-۳) (ب) ناپایدار شده اند و بنابراین در نمودار نشان داده نمی شوند، در حالی که تمام سیستم های (الف) حداقل اگر همگرا نباشند، پایدار هستند.

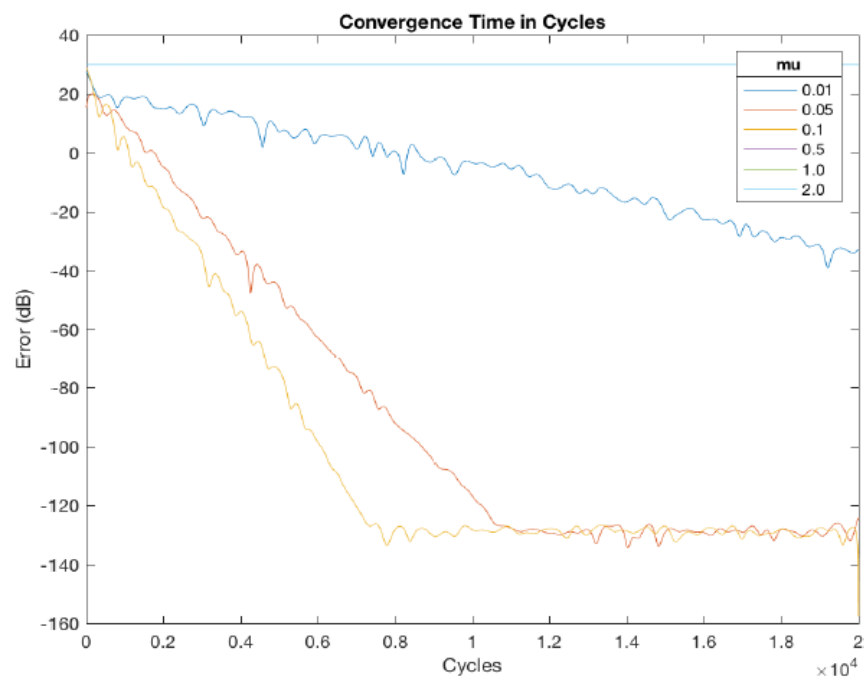
¹ Stochastic gradient descent



شکل (۱-۳) بلوک دیاگرام سیستم ANC اجرا شده به کمک الگوریتم Lms [۷]



الف) NLMS

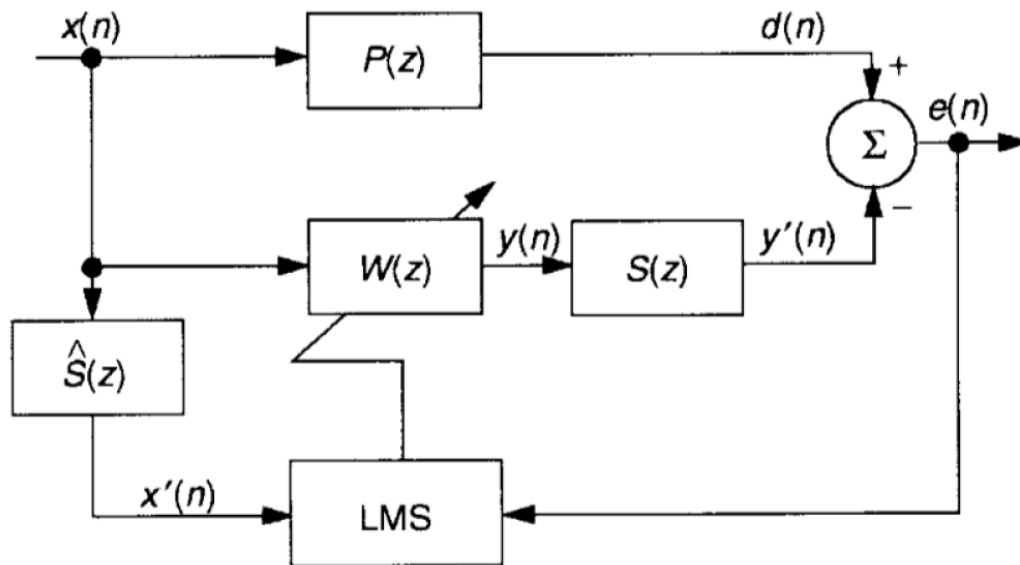


ب) LMS

شکل (۲-۳) زمان همگرایی در الگوریتم های LMS و NLMS

۳-۱-۲ الگوریتم FxLMS^1 :

استفاده از الگوریتم LMS در پیاده سازی عملی دچار مشکل می شود، چرا که در این الگوریتم مسیرهای عبور سیگنال صوتی از مبدل های دیجیتال به آنالوگ، مبدل آنالوگ به دیجیتال و همچنین تقویت کننده ها در نظر گرفته نمی شود. به همین دلیل سیگنال دچار نقص می گردد، لذا از الگوریتم های جبران ساز استفاده می شود. الگوریتم جبران سازی $y(n)$ اولین بار توسط مورگان و برگس پیشنهاد داده شده است. بنابراین با در نظر گرفتن تابع تبدیل جبران ساز تغییرات سیگنال ورودی را جبران می کنیم. به دلیل این که اطلاعاتی از ضرایب فیلتر S در دست نیست آن را توسط فیلتر مسیر ثانویه با ضرایب $\hat{S}(z)$ تخمین می زنیم.



شکل (۳-۳) بلوک دیاگرام الگوریتم FxLms [۷]

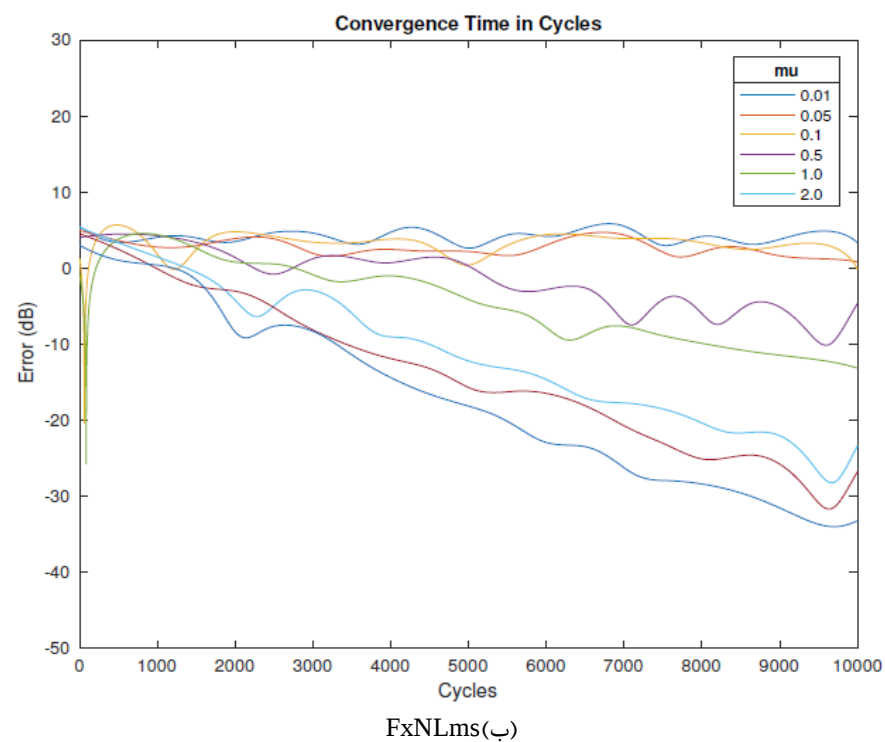
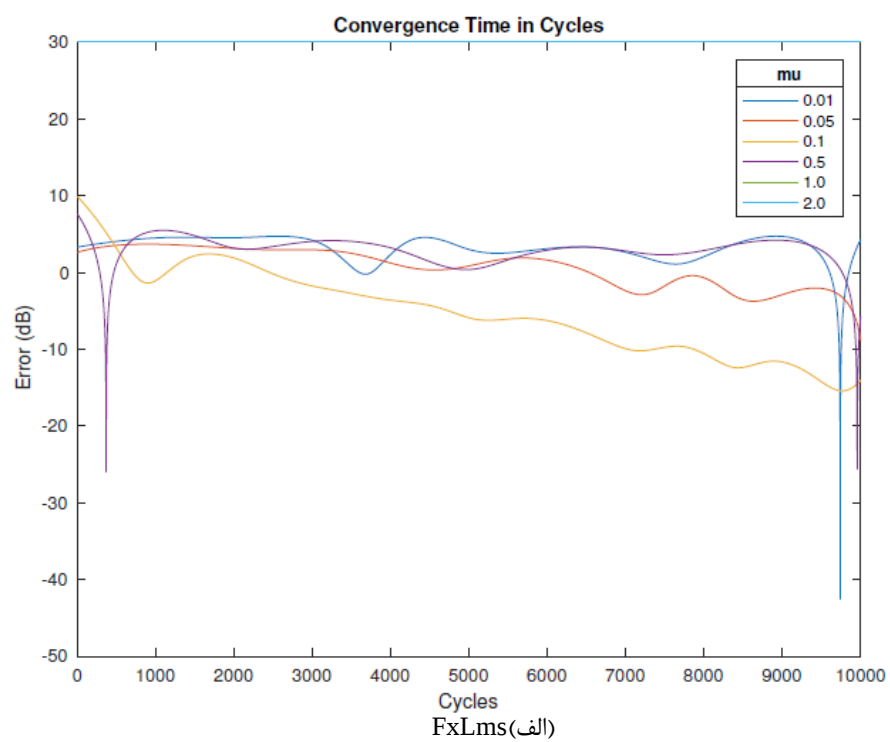
در شکل (۳-۳) بلوک دیاگرامی از الگوریتم FxLMS نشان داده شده است. $P(z)$ تابع تبدیل مسیر عبور سیگنال نویز در محیط انتشار و $W(z)$ ضرایب فیلتر وفقی هستند. برای مقابله با اعوجاج معرفی شده

¹ Filtered-X Least mean squared

توسط $S(z)$ ، یک فیلتر معکوس $\hat{S}(z)$ بین میکروفون مرجع و الگوریتم LMS قرار داده شده است. این امر باعث می شود که الگوریتم به همگرایی برسد. برای به دست آوردن پاسخ ضربه ای از $S(z)$ ، سیستم قبل از اجرای ANC باید بصورت آفلاین آزمایش شود. اگرچه روش های بسیاری برای تعیین $S(z)$ وجود دارد، اما یک راه آسان استفاده از الگوریتم LMS با نویز سفید به عنوان ورودی سیستم است. معکوس پاسخ ضربه با وارد کردن پاسخ تکانه ای $S(z)$ به دامنه فرکانس ، گرفتن معکوس آن و سپس آوردن مجدد آن به دامنه زمان حاصل می شود. معادلات برای به روزرسانی وزن فیلترها با استفاده از الگوریتم FxLMS در معادله (۲-۳) نشان داده شده است که در آن $\hat{x}(n) = \hat{S}(n) * x(n)$ (کانولوشن مسیر ثانویه معکوس و بردار ورودی) و $\hat{S}(n)$ پاسخ ضربه فیلتر مسیر ثانویه معکوس برآورد شده $\hat{S}(z)$ است. [۷]

$$w(n+1) = w(n) - \mu \hat{x}(n)e(n) \quad (2-3)$$

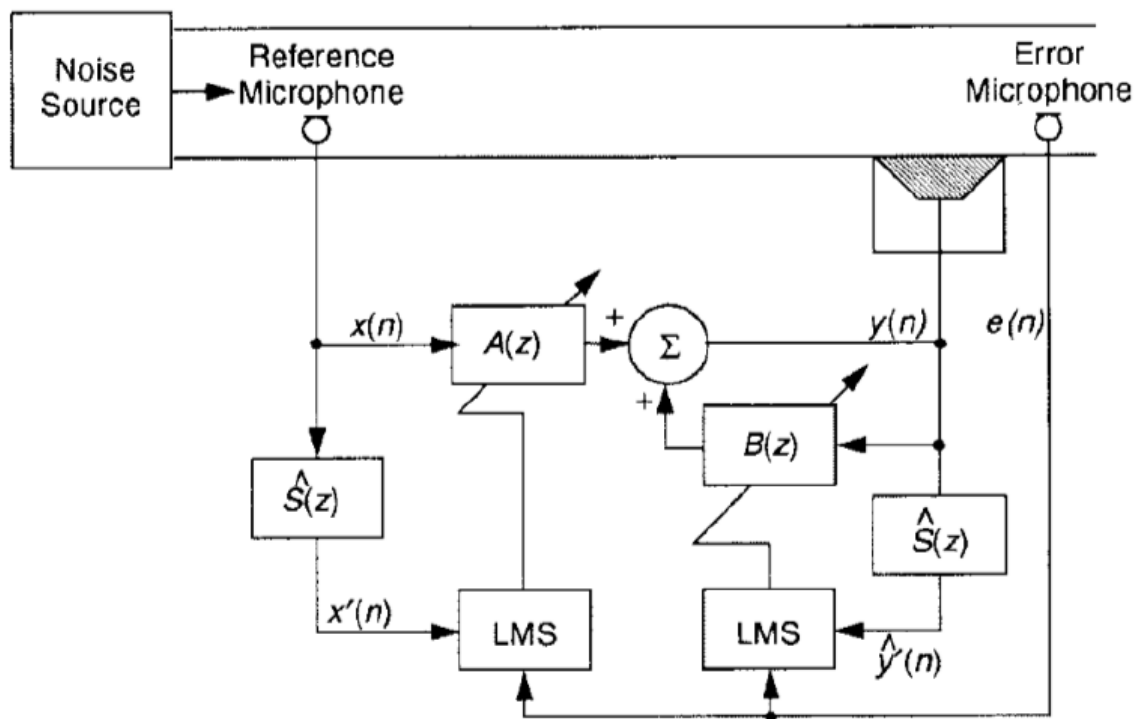
نتایج آزمایش میزان همگرایی برای FxLMS در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. زمان همگرایی برای FxLMS با الگوریتم اندازه گام متغیر بسیار بهتر است. همچنین ، مانند LMS ، نوع نرمال نسبت به برآورد های نرخ همگرایی متفاوت تحمل بیشتری دارد. نتایج همچنین نشان می دهد که الگوریتم FxLMS با سرعت کمتری نسبت به الگوریتم LMS به یک مینیمم مطلق تبدیل می شود.



شکل (۳-۴) زمان همگرایی برای الگوریتم های FxLMS و FxNLMS

۳-۱-۳ الگوریتم $FuLMS^1$

الگوریتم $FuLMS$ به موضوع بازخورد به میکروفون مرجع از بلندگو لغو در اجرای دنیای واقعی ANC می پردازد. الگوریتم $FuLMS$ یک فیلتر تطبیقی بازگشتی IIR است و $B(z)$ را به زنجیره سیگنال اضافه می کند، که عملکرد آن به حداقل رساندن خطا بر اساس یک نسخه تاخیری یک نمونه $\hat{y}(n)$ است که در شکل (۵-۳) نشان داده شده است.



شکل (۵-۳) بلوک دیاگرام الگوریتم $FuLms$ [۷]

معادلات بروزرسانی بازگشتی برای سیستم $FuLMS$ در معادلات (۳-۳) تا (۵-۳) نشان داده شده

¹ Filtered-U least mean square

است که $A(z)$ فیلتر ANC تطبیقی اولیه FIR است، $B(z)$ یک فیلتر IIR برای از بین بردن بازخورد است.

و $\hat{y}(n-1) = \hat{s}(n) * y(n-1)$ یک نسخه با تأخیر در یک نمونه از سیگنال لغو فیلتر شده از طریق

معکوس فیلتر سیگنال مسیر ثانویه است. a و b به ترتیب ماتریس ضرایب فیلتر $A(z)$ و $B(z)$ می باشند.

$$y(n) = a^T(n)x(n) + b^T(n)y(n-1) \quad (3-3)$$

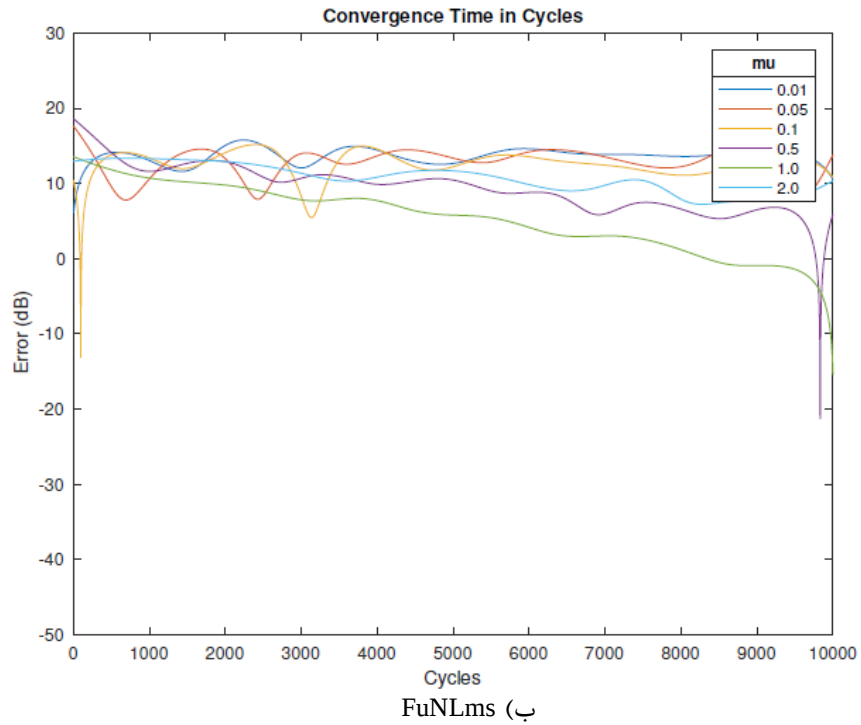
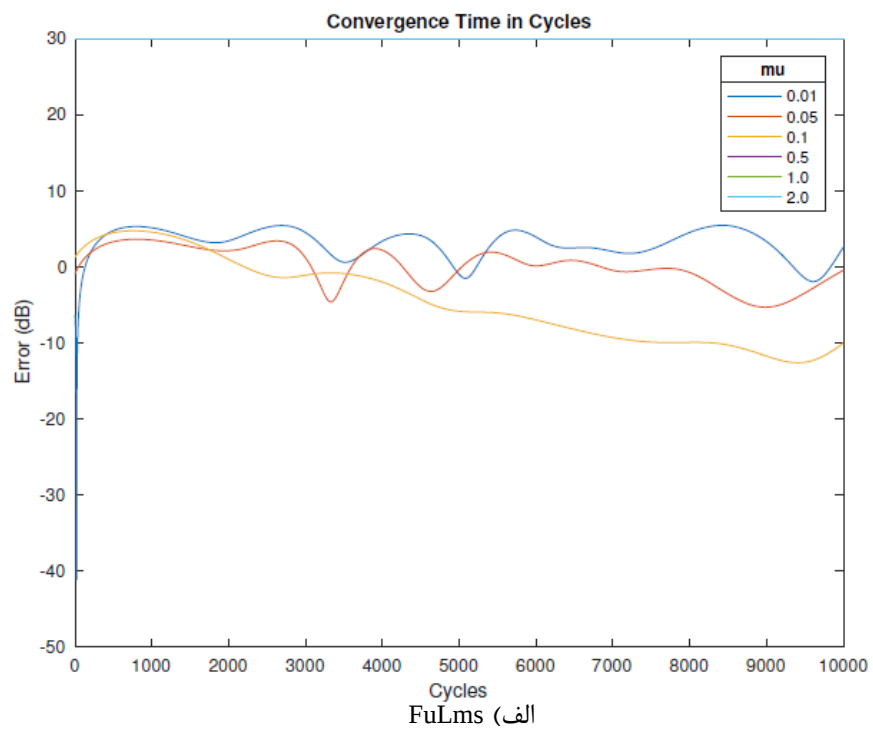
$$a(n+1) = a(n) + \mu \hat{x}(n)e(n) \quad (4-3)$$

$$b(n+1) = b(n) + \mu \hat{y}(n-1)e(n) \quad (5-3)$$

الگوریتم FuLMS دارای اشکالاتی است، مهمترین آنها این است که هیچگاه به طور ریاضی به اثبات نرسیده و تضمینی برای همگرایی آن وجود ندارد. این امر از این واقعیت ناشی می شود که عملکرد خطا به دلیل ماهیت نامتقارن بودن فیلترهای IIR ممکن است به مینیمم های محلی همگرا شود [۵]. علاوه بر این، فیلترهای IIR بدون قید و شرط پایدار نیستند، که ممکن است بر کل سیستم نیز تأثیر بگذارد. با این حال، یک نوع از الگوریتم FuLMS معروف به SHARF [۹] نشان داده شده است که بسیار پایدار است. در این نسخه از یک فیلتر پایین گذر برای صاف کردن سیگنال خطایی که با الگوریتم LMS در حال به روزرسانی $B(z)$ است، استفاده می شود.

همانطور که در شکل (۳-۶) نشان داده شده است، روند همگرایی بین اندازه گام ثابت و متغیر برای FuLMS نسبت به سایر الگوریتم های آزمایش شده متفاوت است، برای اندازه گام متغیر همگرایی آرام تر نسبت به گام ثابت صورت می گیرد. این ممکن است به این دلیل باشد که دو فیلتر تطبیقی در FuLMS وجود دارد که هر دو دارای یک مقدار به روز شده یکسان هستند. شاید اولیه باید بطور مستقل برای فیلتر

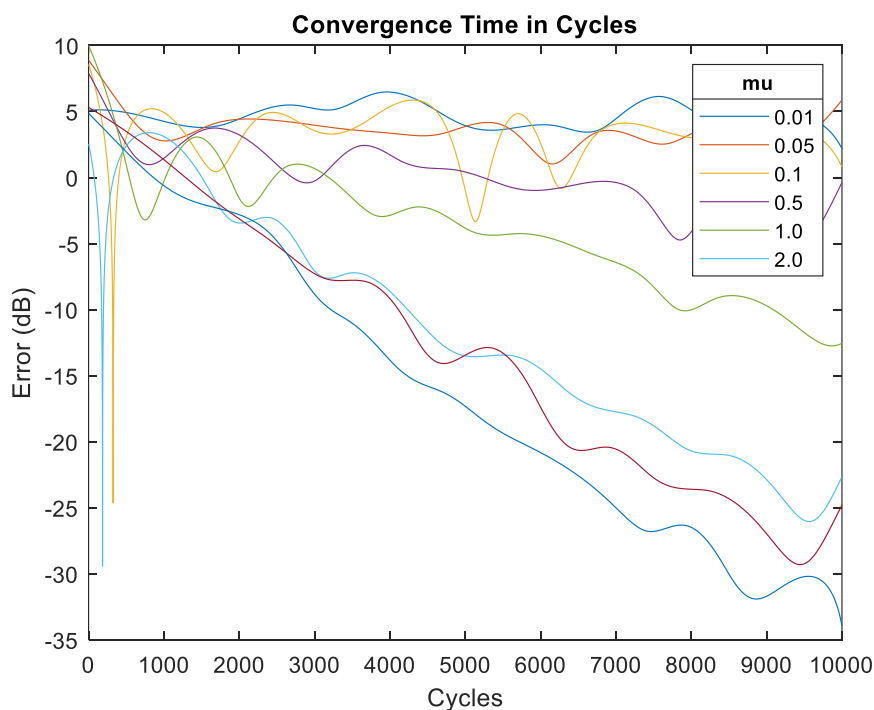
IIR انتخاب شود. همگرایی ممکن است با میزان بازخورد اضافه شده به میکروفون مرجع نیز متفاوت باشد.



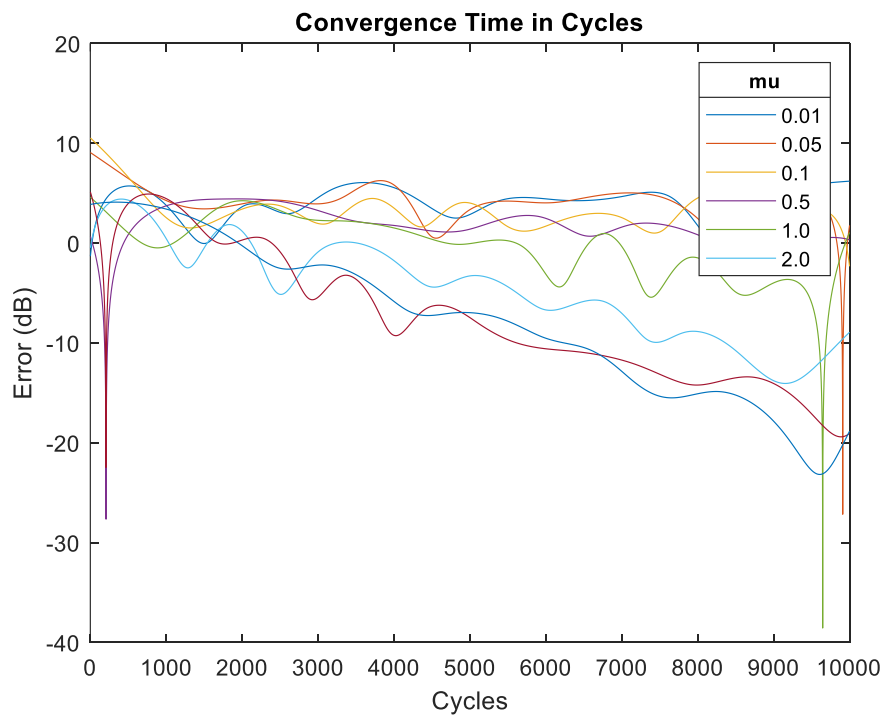
شکل (۶-۳) زمان همگرایی برای الگوریتم های FuLms و FuNLms

۲-۳ بررسی تأثیر درجه فیلتر بر سرعت و میزان همگرایی

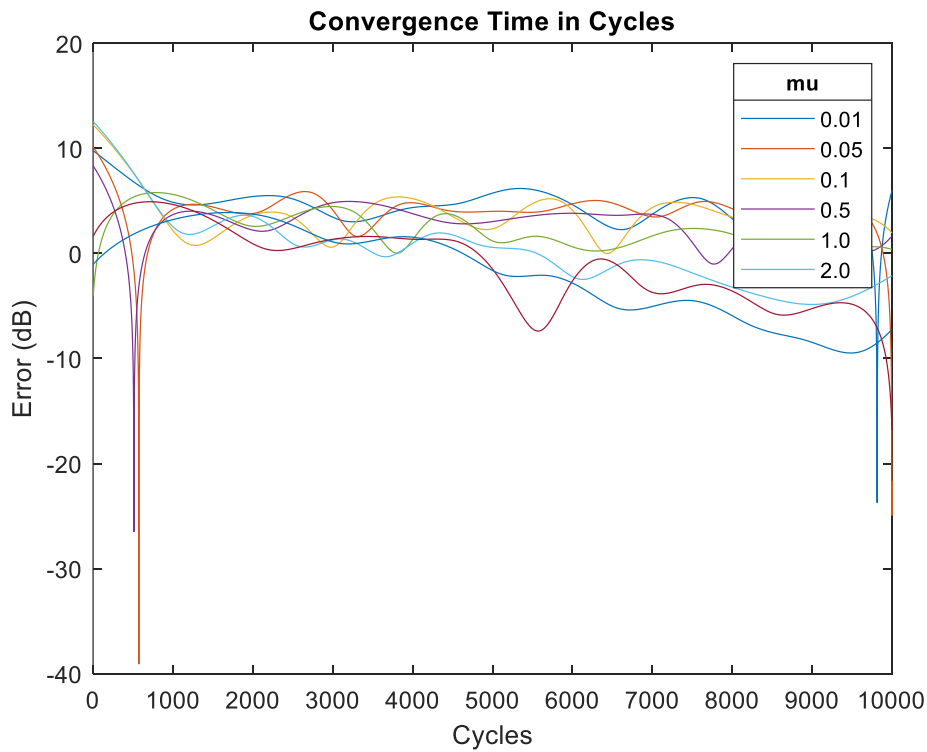
همان طور که می دانیم هر چه درجه فیلتر ما بیشتر باشد میزان خطا کمتر می شود. اما زیاد کردن درجه فیلتر باعث می شود سرعت سیستم ما کم شود. بنا براین نیاز است که سخت افزار قوی تری را به کار گیریم تا این مشکل را جبران کند. در ادامه تأثیر درجه فیلتر را در سه حالت برای الگوریتم FxNLms مقایسه می کنیم. فیلتر مورد بررسی از نوع FIR بوده و به منظور مقایسه میزان همگرایی، تمام الگوریتم ها با اندازه گام های $[0.1; 0.05; 0.1; 0.5; 0.1; 0.5; 0.1; 0.5]$ و نرخ نمونه برداری 8kHz با سیستم ورودی نویز سفید به طول 10k نمونه تنظیم شد.



شکل (۲-۳) میزان همگرایی با فیلتر درجه ۱۲۸



شکل (۸-۳) میزان همگرایی با فیلتر درجه ۲۵۶



شکل (۹-۳) میزان همگرایی با فیلتر درجه ۵۱۲

همان طور که از نتایج شبیه سازی ها مشخص است، افزایش درجه فیلتر همگرایی تا حدی کمک به کاهش میزان خطا می کند، اما افزایش بیش حد آن نه تنها باعث کند شدن سیستم می شود بلکه میزان خطا نیز کاهش چندانی نمی یابد. بنابر این فیلتر با درجه ۱۲۸ بسیار مناسب است.

روش پیمایشی

۴-۱ مقدمه

در این پژوهش برای پیاده سازی سیستم حذف نویز فعال، سخت افزار های مختلفی را بررسی کردیم که از جمله آن ها می توان بورد های DSP ، Raspberry Pi ها و تلفن های هوشمند را نام برد. پس از بررسی هر یک از موارد فوق ویژگی های زیر استخراج گردید.

پردازنده های DSP : خانواده بوردهای DSP شامل انواع مختلفی هستند که کاربردهای تخصصی خاص خود را دارند. در میان آن ها بورد های ویژه ای برای پردازش سیگنال صوتی به چشم می خورد. از جمله آن ها می توان پردازنده های سری ۵۰۰۰ شرکت Texas Instrument اشاره کرد که سرعت بسیار بالای آن در دستورالعمل های پیچیده ریاضی (مانند کانولوشن، تبدیل فوریه و...) بسیار مفید است. اما این پردازنده ها در دسترس همگان نبوده و همچنین قیمت آن در حالتی که روی یک بورد با تجهیزات صوتی (مانند مبدل آنالوگ به دیجیتال و بلعکس، تقویت کننده های صوتی، و پراب های دریافت و ارسال سیگنال صوتی و...) پیاده شده باشد بسیار گران است.

بورد های Raspberry pi: این بوردها اولین بار در سال ۲۰۰۹ توسط یک شرکت انگلیسی به بازار جهانی معرفی شدند. به دلیل ابعاد کوچک و قیمت بسیار مناسب و همچنین پورت های GPIO محبوبیت بسیار زیادی در بین برنامه نویسان پیدا کرد. مهمترین ویژگی این بورد، وجود پورت های GPIO است که به برنامه نویس ها این امکان را می دهد که از این کامپیوتر کوچک جهت انجام انواع مختلف پروژه های کاربردی استفاده کنند. سرعت پردازنده رزبری پای ها مناسب بوده اما در مواقعی که محاسبات پیچیده ریاضی وجود دارد، به خصوص در حالت پردازش سیگنال های صوتی عملکرد نسبتاً ضعیفی دارند.

گوشی های هوشمند: امروزه تلفن های هوشمند به دلیل گره خوردن زندگی و کار جوامع با اینترنت و همچنین ارتقا سطح ارتباطات، در دسترس همگان قرار دارد. گوشی های هوشمند نیز با پیشرفت علم و

تکنولوژی و همچنین سرمایه گذاری های کلان شرکت های مختلف در سراسر جهان روز به روز پیشرفته تر و قدرتمندتر می شوند. امروزه قدرتمندترین پردازنده های در قلب گوشی های هوشمند جای گرفته اند که می توانند پردازش های سنگین را در کسری از ثانیه انجام دهند. در کشور ما نیز گوشی هوشمند در دسترس همگان قرار دارد و از آن جا که در این پژوهش قصد داریم که برنامه کاربردی باشد و بتوان آن را در حالت عمومی گسترش داد، به همین دلیل تصمیم گرفته شد که پژوهش خود را بر روی تلفن های هوشمند پیاده سازی کنیم. گوشی های هوشمند از مزیت وجود انواع مبدل های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ و تقویت کننده های صوتی و . . . در کنار پردازنده قدرتمندشان بهره مندند که در این پروژه وجود این ابزارها به شکل متمرکز^۱ باعث کاهش نویز محیطی بر روی سیگنال های ورودی و خروجی می شود.

۴-۲ مشخصات اجرایی پژوهش

برای پیاده سازی سیستم فعال حذف نویز انواع سیستم عامل های موجود در تلفن های همراه بررسی شدند. در حالت کلی دو سیستم عامل قدرتمند بر روی گوشی های هوشمند وجود دارد که در ادامه به آن ها می پردازیم:

سیستم عامل اندروید^۲: سیستم عامل اندروید از محبوبیت بسیار بالایی در سراسر دنیا برخوردار است. توسعه دهندگان بسیاری^۳ با آن به تولید محتوا می پردازند. ما نیز برای پیاده سازی این پژوهش ابتدا سعی کردیم برنامه نویسی ها را در سیستم عامل اندروید اجرا کنیم، اما به دلیل پیچیدگی های بسیاری که

^۱ Compact

^۲ Android

^۳ Developer

در زمینه پردازش صوت در این سیستم وجود داشت، تصمیم بر آن شد که پیاده سازی را در یک سیستم عامل دیگر که در ادامه معرفی خواهد شد انجام دهیم.

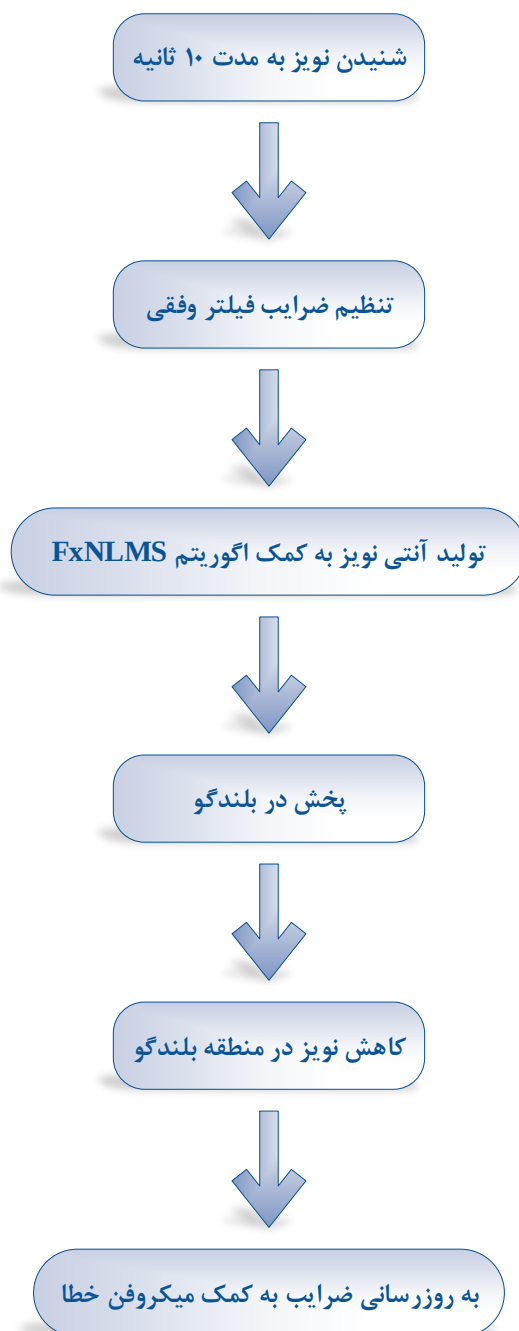
سیستم عامل^۱ iOS: سیستم عامل iOS جز قدرتمندترین، سبک ترین و سریع ترین سیستم عامل های دنیا است و فقط با تولیدات خود شرکت اپل عرضه می گردد. این سیستم عامل قادر است برنامه ها و پردازش های سنگین را با مقدار حافظه رم^۲ کمتر نسبت به رقیب اندرویدی خود اجرا کند. همچنین برنامه نویسی در برخی از کاربردها در سیستم iOS راحت تر از اندروید است. به همین دلیل از این سیستم عامل برای پیاده سازی پژوهش خود کمک گرفتیم.

۳-۴ الگوریتم پیشنهادی

پس از انتخاب سخت افزار مناسب برای پیاده سازی، باید یک الگوریتم مناسب با توجه به محدودیت-ها و شرایط یک تلفن همراه انتخاب شود. به دلیل این که در تلفن همراه غالباً یک میکروفون ورودی صدا و یک بلندگو داریم، باید از الگوریتم فیدبکی استفاده کنیم. بدین صورت که ابتدا میکروفون به مدت ۱۰ ثانیه صدای نویز محیط را ضبط می کند و ضرایب فیلتر با آن به روزرسانی می شوند و سپس شروع به تولید آنتی نویز مناسب با نویز موجود در محیط می کند بلوک دیاگرام کلی الگوریتم در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

^۱ iPhone Operating System

^۲ Ram



شکل (۱-۴) بلوک دیاگرام روند کلی برنامه

پس از گذشت ۱۰ ثانیه ضرایب فیلتر وفقی به کمک نویز محیط بروزرسانی می شود و مقدار می گیرند. در مرحله بعد به کمک الگوریتم FxNLms سیگنال آنتی نویز ساخته می شود. علت استفاده از الگوریتم FxNLms سرعت همگرایی مناسب و پایداری نسبتاً خوب آن در کنار پیچیدگی کم نسبت به سایر الگوریتم ها مانند Lms و NLms می باشد. در نهایت پس از تولید آنتی نویز آن را توسط بلندگو پخش می - کنیم و نویز باقیمانده را توسط میکروفون دریافت کرده و ضرایب فیلتر را اگر نیاز باشد بروز رسانی می کنیم.

۴-۴ نرم افزار ها، کتابخانه ها و زبان های برنامه نویسی مورد استفاده

به منظور توسعه یک نرم افزار iOS، باید از محیط برنامه نویسی X-code استفاده کرد. نرم افزار X-code یک برنامه مادر است که در آن قابلیت نوشتن کد به دو زبان برنامه نویسی Objective-c و سوئیفت^۱ وجود دارد. در حال حاضر به دلیل سطح بالای زبان سوئیفت و در نتیجه راحتی کار با آن، بیشتر برنامه نویسان از این زبان استفاده می کنند. اما استفاده از زبان C مزیت های خاصی از جمله دسترسی بیشتر به منابع سیستمی را به ما می دهد. همچنین نوشتن برنامه به این زبان سرعت پردازش را چند برابر می کند.

در برنامه نویسی سیستم عامل iOS ابزار هایی به نام فریم ورک^۲ وجود دارند که کمک بسیار زیادی در کم کردن حجم کدها و سرعت توسعه می کنند. مفهوم فریم ورک در iOS مشابه مفهوم کتابخانه در زبان برنامه نویسی C می باشد. ما با فراخوانی یک کتابخانه در زبان C می توانیم از کدهای مخصوص آن کتابخانه در برنامه خود استفاده کنیم. در نتیجه برنامه سبک تر شده و سرعت اجرای آن در سیستم بالاتر می رود. در این پژوهش از فریم ورکی به نام Audio kit استفاده شده است.

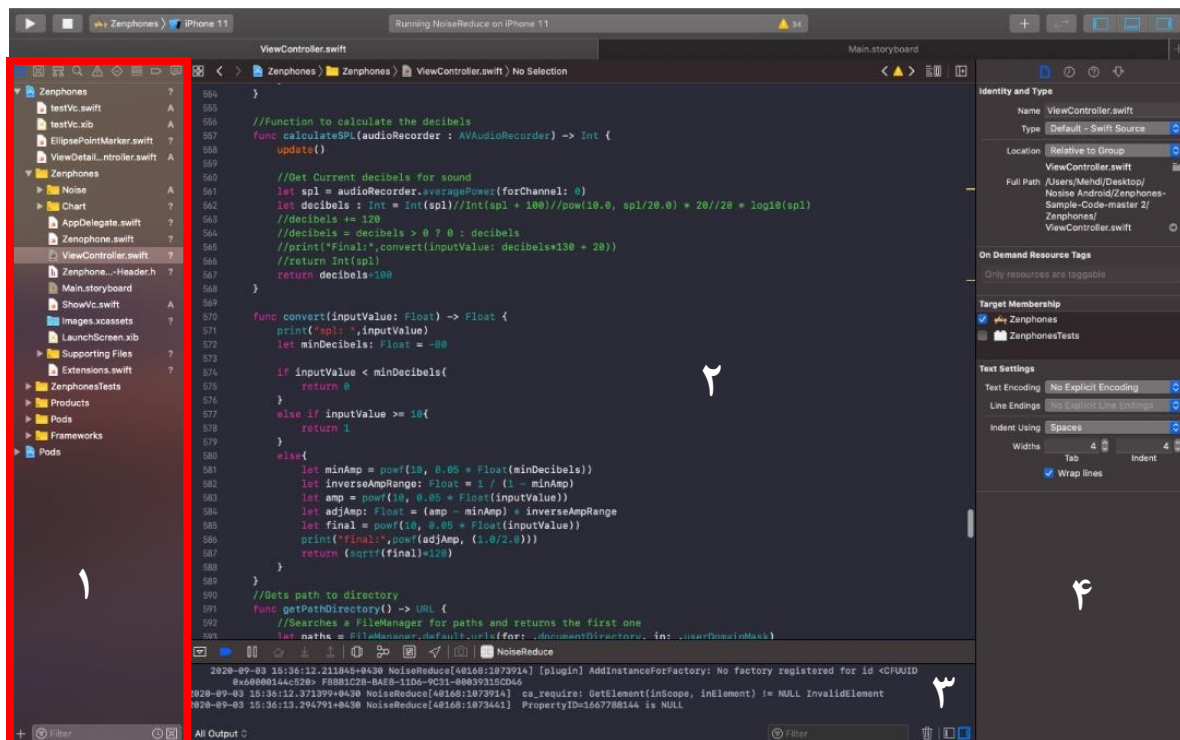
¹ Swift

² Framework

۴-۵ طراحی برنامه کاهش نویز به صورت فعال

۴-۵-۱ تصاویری از محیط برنامه

در این مرحله می خواهیم با محیط برنامه نویسی ۱۰ Xcode آشنا شویم و ببینیم که از چه قسمت هایی تشکیل شده است.



شکل (۴-۲) صفحه اصلی X-code

۱. پنل پیمایش^۱: در این پنل آیتم های متعددی نهفته است که مهم ترین این آیتم ها

Project Navigator، Search Navigator و Issue Navigator می باشد.

Project Navigator: این قسمت شامل تمامی فایل های برنامه مانند سورس کد، تصاویر،

ویدیو ها، فونت ها، آیکون ها و فایل تنظیمات برنامه می باشد.

¹ Navigation Area

Search Navigator: در این قسمت می توانیم متنی را که در پروژه به دنبالش هستیم پیدا کنیم به عنوان مثال این متن می تواند نام یک تابع یا یک متغیر یا حتی نوشته در یک پیغام چاپ باشد.

Issue Navigator : این قسمت تمامی خطا ها و مشکلات برنامه را نشان می دهد. برای مثال خطاهای RunTime ، خطاهای کامپایلر و هشدارهای مربوط به اشکالات مهم برنامه در این قسمت نمایش داده می شوند.

۲. **پنل اشکال زدایی^۱:** وقتی در جایی از برنامه از Breakpoint یا نقطه توقف استفاده می کنیم می توانیم در این قسمت مقادیر متغیرهای برنامه را مشاهده کنیم. این ویو (View) ی کاربردی به ما کمک می کند تا بفهمیم آیا متغیر ما مقداری دارد یا خیر. مثلاً زمانی که قرار است از وب سرویس مقادیر مورد نظرمان را پر کنیم، می توان از این قسمت تشخیص داد که مقادیر دریافت شده اند یا خیر.

۳. **پنل ابزار:** یکی از کاربردهای این پنل زمانی است که میخواهیم رابط کاربریمان را طراحی کنیم. مثلاً قرار دادن دکمه ها و ...

۴-۵-۲ تصاویری از محیط برنامه کاربردی

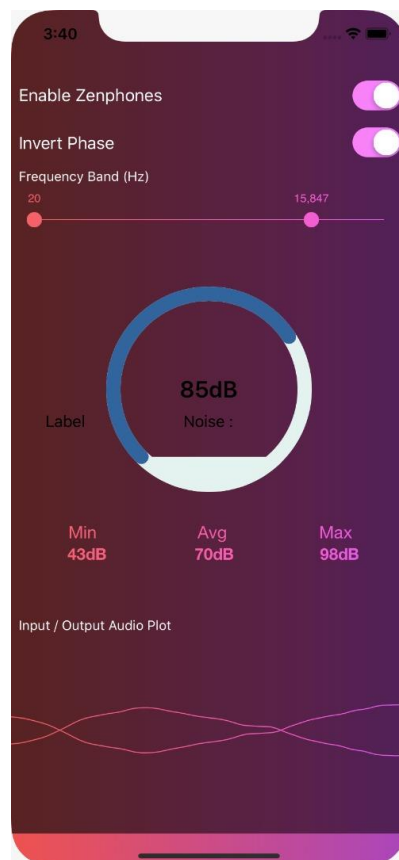
این نرم افزار شامل سه قسمت اساسی می شود.

قسمت اول Frequency Band: در این قسمت پهنای باند صوتی میکروفون ورودی را می توان محدود

¹ Debug Area

کرد. این ویژگی به ما کمک می کند محدوده فرکانس های مختلفی را مورد آزمایش قرار دهیم. عملکرد سیستم های ANC در فرکانس های پایین بهتر است.

قسمت دوم تابلو شدت نویز محیط: در این تابلو که به صورت مداوم در حال بروز رسانی است شدت نویز محیط بر حسب dB نشان داده می شود. این تابلو کاربرد دیگری دارد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. قسمت سوم نمودار ها: در این قسمت نمودار سیگنال ورودی و خروجی برنامه نشان داده شده اند. البته این نمودار ها صرفاً حالت نمایشی داشته و نمودار های حاوی اطلاعات در یک صفحه دیگر به صورت اختصاصی قابل نمایش هستند.



شکل (۳-۴) محیط نرم افزار طراحی شده

همان طور که در رابطه (۲-۳) اشاره شد، متغیری به نام μ (گام حرکت) وجود دارد که در حقیقت اندازه آنتی نویز تولید شده را کنترل می کند. معمولاً مقدار گام را عددی بهینه با توجه به شبیه سازی ها انتخاب می کنند. اما این روش همیشه عملی نیست. در آزمایش هایی که انجام دادیم متوجه شدیم که برخی مواقع با اندکی تغییر صدای نویز ناگهان سیستم واگرا شده و گوشی موبایل صدای ناهنجار و بلندتری از منبع نویز پخش می کند. اگر صدایی که از منبع نویز به میکروفون تلفن همراه می رسد به هر دلیلی (شرایط محیطی یا صدای کاربر) دچار یک پیک لحظه ای شود، سیستم نمی تواند به خوبی ضرایب را تنظیم کند و دچار خطای شدید می شود. در این حالت تلفن همراه خود مانند یک منبع نویز با صدای قوی تر عمل کرده و موجب از کار افتادگی کلی سیستم می گردد.

پس از بررسی دریافتیم که دلیل این اتفاق می تواند در تنظیم اندازه گام فیلتر باشد. برای حل این مشکل دو راه کار وجود دارد که باید با یکدیگر به کار گرفته شوند:

- ابتدا در لحظه شروع به کار که نرم افزار در ۱۰ ثانیه اول آموزش خود می باشد، باید صداهای بیشتر و یا کمتر از جمع میانگین نویز با انحراف معیار غربال شده و حذف گردند. پس صداهای ناگهانی که ممکن است کاربر ناخواسته ایجاد کند تاثیری در شکل گیری ضرایب نخواهند داشت.
- شدت صدای خروجی نرم افزار باید با شدت صدای نویز برابری داشته باشد. پس اندازه آنتی نویز هنگام آموزش بر اساس میانگین نویز تعیین می شود.

با اعمال این تکنیک ها توانستیم تا حدود زیادی جلوی واگرایی های نرم افزار را بگیریم.

نتائج، جمع بندی و

پیشهاد

۵-۱ سناریو تست

برای این که بفهمیم برنامه به درستی کار می کند، یک روند آزمایش به صورت زیر طراحی کردیم:

- انتخاب یک محیط تقریباً ساکت با منبع نویزی که تنها در باند فرکانسی محدودی تولید نویز می کند.
- اندازه گیری نویز محیط در محدوده بلندگو تلفن همراه قبل از به کار افتادن برنامه کاربردی
- اندازه گیری نویز محیط در همان محدوده پس از روشن شدن برنامه کاربردی

برای اندازه گیری نویز محیطی نیاز به ابزاری به نام صدا سنج داریم که متأسفانه این دستگاه در مجموعه آزمایشگاهی دانشگاه وجود نداشت. لذا از یک برنامه کاربردی دیگر به نام Sound Meter استفاده کردیم. این برنامه را در یک تلفن همراه با سیستم عامل اندروید نصب کردیم و در محیط تست نتایج را استخراج کردیم.



شکل (۵-۱) شماتیک اتاق تست

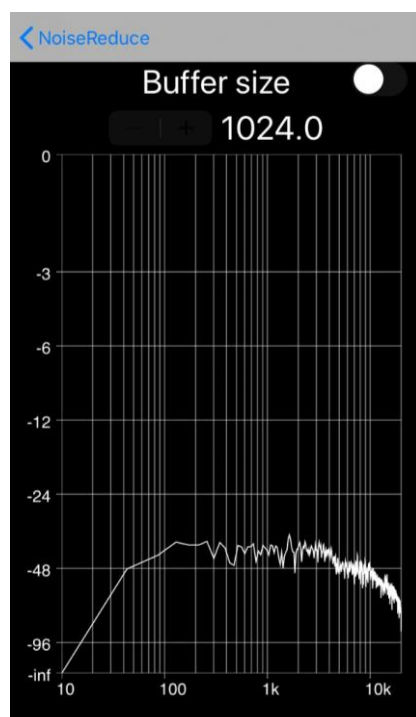


شکل (۵-۲) محیط نرم افزار SoundMeter

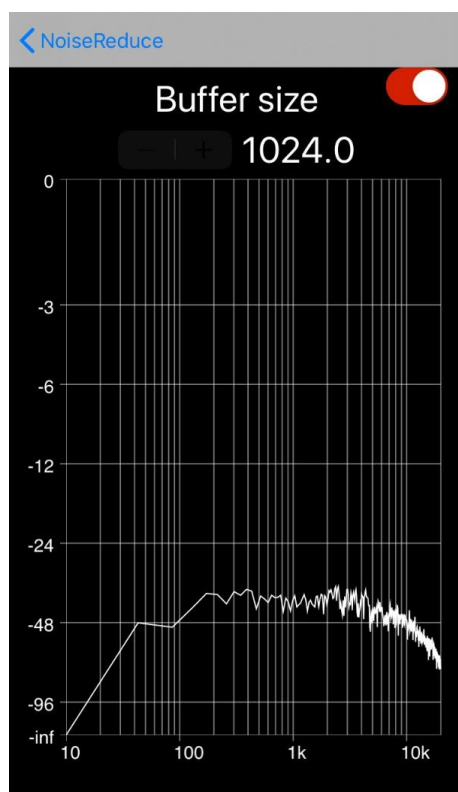
این نرم افزار در قسمت عدد نویز احتمال دارد خطا داشته باشد، اما در کار ما خللی ایجاد نمی کند چراکه برای ما فقط میزان کاهش این عدد مهم است. البته ما با برنامه خود نیز میتوانیم میزان کاهش نویز را محاسبه کنیم. به این صورت که میکروفون فیدبک ما پس از گذشت ۱۰ ثانیه و اجرای برنامه شروع به شنیدن صدای نویز باقیمانده می کند. بنا براین اگر ما صدای نویز را قبل و بعد ۱۰ ثانیه مقایسه کنیم باید شاهد کاهش شدت صدا باشیم.

۵-۲ نتایج تست

ما برای قسمت حذف نویز برنامه یک دکمه خاموش و روشن قرار دادیم تا بتوانیم نمودار خروجی میکروفون خطا را در هر دو حالت مشاهده کنیم. پس از مقایسه شکل (۵-۳) و شکل (۵-۴) مقدار کاهش در محدوده فرکانسی ۵۰ الی ۱۰۰ هرتز، تقریباً ۱۰ دسی بل می باشد.



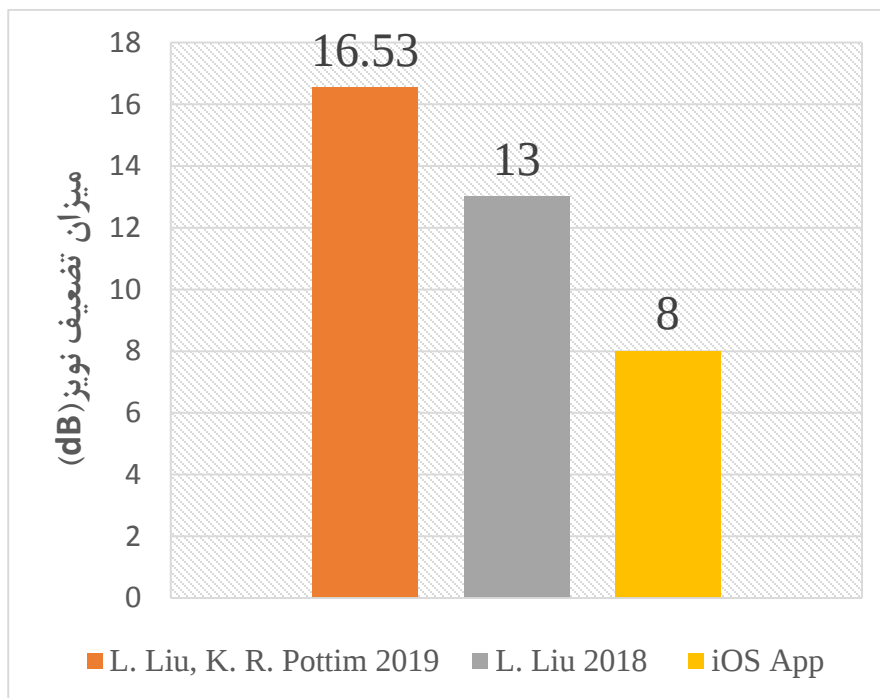
شکل (۳-۵) میزان شدت نویز در حالتی که بلندگو لغو خاموش است



شکل (۴-۵) میزان شدت نویز در حالتی که بلندگو لغو روشن است

پس از جست و جو های فراوان در فروشگاه های نرم افزار در سیستم های عامل اپل و اندروید نرم افزاری تحت عنوان و کارایی حذف نویز فعال یافته نشد تا آن را با نرم افزار ساخته شده خودمان مقایسه کنیم. لذا میزان حذف نویز را با زیرساخت^۱ های اجرا شده در محیط های دیگر مانند پردازنده های DSP مقایسه کردیم که در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.

^۱ Platform



شکل (۵-۵) مقایسه میزان تضعیف نویز با سایر مقالات

۵-۳ جمع بندی

در این پایان نامه یک برنامه کاربردی در محیط نرم افزاری iOS توسعه دادیم که برای حذف نویز نیاز به هیچ گونه وسیله جانبی غیر متعارف ندارد. این برنامه برای اولین بار تولید شده است و هیچ نمونه مشابهی حتی در سیستم عامل اندروید وجود ندارد. هدف اصلی ما ساخت یک برنامه بود که بتواند نویزهای پررودیک مانند صدای تهویه یا کولر را در یک اتاق خواب در محدوده گوش کاربر به حداقل ممکن برساند. همچنین توسعه این برنامه برای تلفن های هوشمند می تواند منبع درآمد خوبی باشد چرا که پس از بررسی، مشاهده شد برنامه های کاربردی با مضمون آرام بخشی^۱ مثلاً به کمک صدای باران و موزیک های بی کلام

¹ Relaxation

طرفداران بسیاری دارد.

در انجام این پایان نامه به سراغ نرم افزار ها و زبان های برنامه نویسی مختلفی رفتیم که از این میان نرم افزار برنامه نویسی X-code و زبان های برنامه نویسی سوئیفت را برای قسمت های ظاهری و محیطی برنامه انتخاب کردیم و Objective C را برای قسمت پردازشی به کار گرفتیم. قسمت پردازشی برنامه را در نرم افزار متلب هم اجرا کردیم و مقادیر بهینه فیلتر مانند درجه و گام حرکت اولیه را از آن استخراج کردیم.

۴-۵ پیشنهادها و کارهای آینده

در این پژوهش به دلیل توسعه برنامه کاربردی بر روی گوشی های موبایل ناچاریم که تا جای ممکن برنامه را ساده بنویسیم تا از تأخیر جلوگیری شود. هرگونه پردازش اضافه یا پیچیده کردن الگوریتم باعث کاهش زمان پاسخ سیستم شده و عملاً نه تنها نویز کاهش نمی یابد بلکه مقدار آن نیز افزایش می یابد.

پیشنهادی که برای ادامه این مسیر وجود دارد طراحی گجت های مخصوص کاهش نویز با چندین میکروفون و اسپیکر است. وجود فقط یک میکروفون باعث می شود که فقط بتوان از الگوریتم های پسخور استفاده کرد و این الگوریتم ها قدرت حذف نویز کمتری نسبت به الگوریتم های پیشخور دارند.

همچنین می توان این نرم افزار را در سیستم عامل های اندروید و ویندوز فون هم گسترش داد.

مراجع

- 1- Channa, Ritik, Anubhaw Dwivedi, and Sandeep Sharma. "Reduction in Ambient Noise Levels using Low Cost Scalable ANC Device." In *2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, pp. 697-700. IEEE, 2018.
- 2- Liu, Lichuan, and Chao Jiang. "Noise Reduction for ICU by Using Feedforward Active Noise Control System." In *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1-6. IEEE, 2018.
- 3- Palma, M. J. C., and A. Samagaio. "Acoustic performance of a noise barrier coated with an absorptive material." *Noise control engineering journal* 54, no. 4 (2006): 245-250.
- 4- Milosevic, Aleksandar, and Urs Schaufelberger. "Active noise control." *University of Applied Sciences Rapperswil HSR* (2005)..
- 5- Meyer-Baese, Uwe, and U. Meyer-Baese. *Digital signal processing with field programmable gate arrays*. Vol. 65. Berlin: springer, 2007
- 6- <https://www.dirac.com/company>
- 7- Patel, Vinal, Jordan Cheer, and Simone Fontana. "Design and Implementation of an Active Noise Control Headphone With Directional Hear-Through Capability." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 66, no. 1 (2019): 32-40.
- 8- <https://fisitech.wordpress.com/2010/07/06/active-noise-control-wiping-up-unwanted-sound>
- 9- Kuo, Sen M., and Dennis R. Morgan. "Active noise control: a tutorial review." *Proceedings of the IEEE* 87, no. 6 (1999): 943-973.
- 10- LJ, Eriksson. "II. Recursive Algorithms for Active Noise Control." *IEEJ Transactions on Industry Applications* 111, no. 10 (1991): 819-822.
- 11- Popovich, S. S., D. E. Melton, and M. C. Allie. "New adaptive mulit-channel control systems for sound and vibration." In *INTER-NOISE and NOISE-CON*

Congress and Conference Proceedings, vol. 1992, no. 1, pp. 405-408. Institute of Noise Control Engineering, 1992.

- 12- Swanson, David C. "Active noise attenuation using a self-tuning regulator as the adaptive control algorithm." *Proc. Internoise'89* (1989): 467-470.
- 13- Lopez-Caudana, Edgar Omar. "Active Noise Cancellation: The Unwanted Signal and the Hybrid Solution." *Adaptive Filtering Applications, Dr. Lino Garcia (Ed.)* (2011): 49-84.
- 14- Elliot, S. J., P. A. Nelson, I. M. Stothers, and C. C. Boucher. "In-flight experiments on the active control of propeller-induced cabin noise." *Journal of Sound and Vibration* 140, no. 2 (1990): 219-238.
- 15- Swanson, D. C. "The generalized multichannel filtered-X algorithm." In *Proc. Second Conference on Recent Advance in Active Control of Sound and Vibration*, 1993.
- 16- <https://newatlas.com/toyota-employs-noise-canceling-tech-on-new-hybrid/9637/>
- 17- Liu, Lichuan, Karunakar Reddy Pottim, and Sen M. Kuo. "Ear field adaptive noise control for snoring: an real-time experimental approach." *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 6, no. 1 (2019): 158-166.
- 18- Shi, Dongyuan, Woon-Seng Gan, Bhan Lam, and Shulin Wen. "Feedforward Selective Fixed-Filter Active Noise Control: Algorithm and Implementation." *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* 28 (2020): 1479-1492.
- 19- Sookpuwong, Chadaporn, and Chow Chompoo-Inwai. "Performance comparisons between a singlechannel feedforward ANC system and a singlechannel feedback ANC system in a noisy-enviroment classroom." In *2017 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, vol. 1, pp. 203-206. IEEE, 2017.
- 20- Hansen, Colin N. *Understanding active noise cancellation*. CRC Press, 2002.

Abstract

Today, with the development of cities and industrial environments and thus increasing the noise and harsh sounds in the environment around us, the need for quiet and silence is felt more and more. The existence of noise and troubling noises in the environment, according to the World Health Organization (WHO), causes a different mental illness, such as depression and heart disease.

In this thesis, by implementing an active noise control system on smart phones, it has been tried to take a useful step in human health. For this purpose, first, the existing methods for noise active noise control were analyzed. According to the papers and researches, the FxNLms feedback algorithm was selected based on the limitations and conditions of a cell phone.

One of the challenges in this direction is the lower processing power of mobile phones than computers and DSP processors. In this thesis, we have tried to write the noise control algorithm as simple as possible and have different ideas used in applying it to achieve the best possible mode.

For design and implementation of this application on mobile phones, X- Code software and Swift and Objective - C programming languages have been used. The amount of noise reduction was measured at frequencies ranging from 50 to 100 Hz ranging from 3 to 10 db.

Keywords: Audio Noise, Active Noise Control, FxNLms Algorithm, Adaptive Filter, Smartphone



Faculty of Electrical and Robotics Engineering

M.Sc. Thesis in Telecommunication Systems Engineering

**Design and implementation of an adaptive filter for active noise
cancellation**

By: Hossein Shariati

Supervisor:

Dr OmidReza Marozi

Advisor:

Dr Hadi Geraylu

Sep 2020