بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

رساله‌ی دکتری در رشته‌ی

مهندسی برق (مخابرات–سیستم)

به‌کارگیری روش‌های یادگیری تقویتی و کاهش ابعاد داده در حذف نویز به صورت فعال

به کوشش

بهروز رئیسی

استادان راهنما

دکتر شاپور گلبهار حقیقی

دکتر سید علی‌اکبر صفوی

شهریور ۱۳۹۲

اظهارنامه

اینجانب بهروز رئیسی دانشجوی رشته‌ی برق گرایش مخابرات-سیستم دانشکدهٔ برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم .کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

به نام خدا

به‌کارگیری روش‌های یادگیری تقویتی و کاهش ابعاد داده در حذف نویز به صورت فعال

به کوشش

بهروز رئیسی

رساله‌ی

ارائه‌شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه دکتری

در رشته‌ی

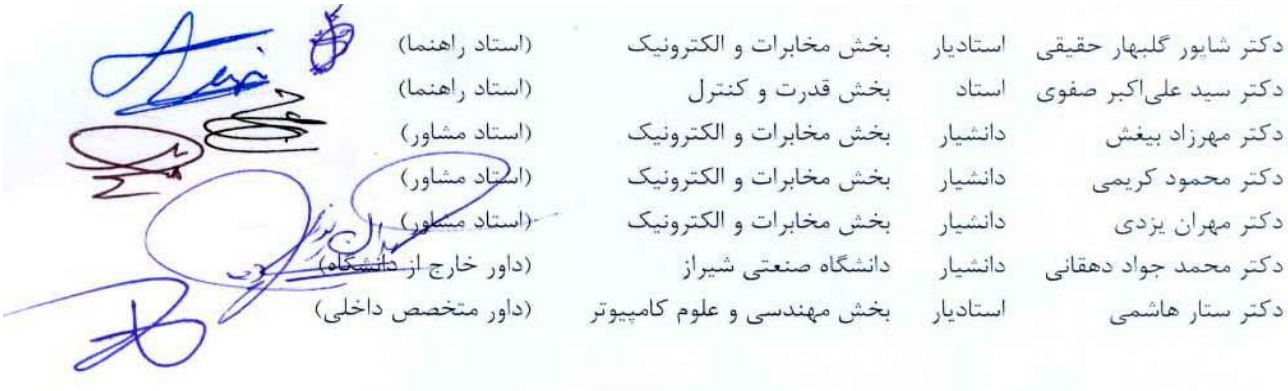
مهندسی برق، مخابرات - سیستم

دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی رساله، با درجه‌ی: عالی



دکتر شاپور گلبهار حقیقی	استادیار	بخش مخابرات و الکترونیک	(استاد راهنما)
دکتر سید علی‌اکبر صفوی	استاد	بخش قدرت و کنترل	(استاد راهنما)
دکتر مهرزاد بیغش	دانشیار	بخش مخابرات و الکترونیک	(استاد مشاور)
دکتر محمود کریمی	دانشیار	بخش مخابرات و الکترونیک	(استاد مشاور)
دکتر مهران یزدی	دانشیار	بخش مخابرات و الکترونیک	(استاد مشاور)
دکتر محمد جواد دهقانی	دانشیار	دانشگاه صنعتی شیراز	(داور خارج از دانشگاه)
دکتر ستار هاشمی	استادیار	بخش مهندسی و علوم کامپیوتر	(داور متخصص داخلی)

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به:

همسر و پسرم:

که رنج تحصیل من را به جان خریدند.

سپاسگزاری

اکنون که در آستانه اتمام مقطعی دیگر از مقاطع تحصیلی خود هستم خداوند را شاکرم و چون به مسیر طی شده می‌نگرم می‌بینم که برای به سلامت طی نمودن این طریق، ملازمت فراوانی از سوی بسیاری از عزیزان و سروران لازم بوده است که اکنون تشکر از تک‌تک همراهان را بر خویش فرض و واجب می‌دانم.

هر چند که ذکر اسامی همه به لیست طویلی انجامیده و غیرممکن، اما آنچه مشخص است در سرلوحه بایستی از اساتید محترم دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر بالاخص جناب دکتر گلبهار حقیقی و جناب دکتر صفوی نام برد که در طول این مدت خالصانه و گاه خارج از حد وظیفه پاسخگوی مشکلات اینجانب بوده‌اند و همواره مدیون ایشان خواهم بود. تلمذ در حضور اساتیدی چون جناب دکتر بیغش و جناب دکتر یزدی و جناب دکتر کریمی هم از افتخارات اینجانب بوده است و راهنمایی‌های ایشان نیز در مقاطعی حساس راهگشای طرح تحقیق اینجانب بوده است که بدین وسیله از ایشان نیز تشکر می‌گردد. در ضمن از جناب آقای دکتر دهقانی از دانشگاه صنعتی شیراز و جناب دکتر هاشمی از بخش کامپیوتر و جناب دکتر رهسپار از بخش مواد که با قبول زحمت در کمیته دفاع اینجانب حضور داشتند و با پیشنهادهای مفیدی که ارائه نمودند در بهبود ارائه نهایی کوشیدند، سپاس‌گزارم.

از طرف دیگر از مسؤولین فعلی و قبلی پژوهشکده مکانیک پژوهشگاه فضایی ایران جناب دکتر سرشار و جناب مهندس اقراء که با حمایت‌های همه‌جانبه راه را برای تحصیل اینجانب هموار نمودند کمال تشکر را دارم.

و در انتها همسر مهربانم را که با به دوش کشیدن قسمتی از وظایف اینجانب پیمودن این راه را برای من هموار نمود و پدر و مادر عزیزم را که به واقع هر موفقیتی در زندگی‌ام مرهون دعاهای خالصانه ایشان است، را دعا نموده و سربلندی همگی را از خداوند منّان خواستارم.

چکیده

آلودگی صوتی یکی از معضلات جدی جوامع صنعتی می‌باشد. هر چند روش‌های متکی بر جذب صوت کاربردهای فراوانی داشته اما در فرکانس‌های پایین کارایی لازم را ندارند. برای غلبه بر این مشکل رویه‌های فعال برای حذف نویز ارائه گردیده‌اند. در این تحقیق نیز به منظور کاهش نویز صوتی به صورت فعال، ایده‌هایی مبتنی بر یادگیری تقویتی ارائه گردید. در این مسیر ابتدا برای سیگنال‌های تناوبی یک روش پیشنهاد شد که در آن نیازی به دانستن اطلاعات دینامیک نبوده و بار محاسباتی اندکی داشت اما نیاز به حافظه زیاد در بسیاری از موارد عملکرد آن را محدود می‌نمود. با ترکیب این روش با تکنیک‌های کاهش داده - نظیر تقسیم و غلبه، تقریب تابع، تجمیع حالات و کد سازی غیریکنواخت - متدهای جدیدی با افزایش قابل ملاحظه‌ای در بازدهی شکل گرفت. حذف نویز صوتی تناوبی با چند هارمونیک به کمک مبحث سیستم چند عاملی نیز از دیگر روش‌های ارائه شده در این پایان‌نامه بود. در سیستم پیشنهادی، وظیفه در نظر گرفته شده برای هر عامل، حذف نویز در یک هارمونیک خاص بود اما تنها سیگنال تقویتی در دسترس، توان کل بود. برای حل این معضل و دست‌یابی به پاداش اختصاصی هر عامل از پاداش عمومی از ایده "تکنیکهای ارزیابی عامل نقاد مبتنی بر دانش" با تغییر مناسب استفاده گردید. در این تحقیق گستره استفاده از یادگیری تقویتی برای حذف نویز به صورت فعال تنها به سیگنال‌های تناوبی محدود نگشت و روش‌هایی نیز برای سیگنال‌های پهن باند ارائه گردید. بنابراین در مجموع در این پایان‌نامه ۲ روش برای حذف نویزهای صوتی پهن باند و ۱۱ روش برای نویزهای تناوبی ارائه و به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری عملکرد آن‌ها با یکدیگر و با روش‌های استاندارد دیگر مقایسه گردید و کارائی مناسب روش‌های پیشنهادی نشان داده شد.

واژگان کلیدی:

یادگیری تقویتی، روش‌های کاهش ابعاد، حذف نویز به صورت فعال، یادگیری کیو، تفاوت زمانی، نویز صوتی پهن باند، نویز صوتی باند باریک.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... ط

فهرست نشانه‌های اختصاری ..... ل

پیشگفتار ۱

۱) هوش مصنوعی و روش‌های یادگیری ۵

۱-۱) مقدمه ۵

۱-۲) یادگیری تقویتی ۹

۱-۳) مفاهیم کلیدی در یادگیری تقویتی ۱۱

۱-۳-۱) اجزای یادگیری تقویتی ۱۱

۱-۳-۲) نحوه عملکرد عامل و محیط ۱۲

۱-۳-۳) خاصیت مارکوف ۱۴

۱-۳-۴) فرایندهای تصمیم‌گیری مارکوف ۱۴

۱-۴) فرموله کردن مسائل موجود ۱۵

۱-۴-۱) پاداش ۱۵

۱-۴-۲) احتمال گذر و پاداش محتمل و دینامیک محیط ۱۶

۱-۴-۳) تابع ارزش(مقدار) ۱۷

۱-۴-۴) معادلات بلمن ۱۷

۱-۴-۵) تابع ارزش بهینه ۱۸

۱-۵) روش‌های بررسی یادگیری تقویتی ۲۰

۱-۵-۱) روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی پویا ۲۰
۱-۵-۲) یادگیری به روش مونت‌کارلو ۲۲
۱-۵-۳) روش‌های مبتنی بر یادگیری تفاوت زمانی ۲۳
۱-۵-۴) مقایسه روش‌های سه گانه در یادگیری تقویتی ۲۴
۱-۶) روش‌های انتخاب عمل ۲۵
۲) روش‌های کاهش ابعاد در مسائل یادگیری تقویتی ۲۷
۲-۱) رقومی نمودن غیریکنواخت ۲۸
۲-۲) عمومی‌سازی ۳۰
۲-۲-۱) پیش‌بینی تابع مقدار به وسیله روش‌های تقریب تابع ۳۱
۲-۲-۲) تابع اندازه گیر بازده فرایند تقریب تابع ۳۴
۲-۲-۳) روش‌های مبتنی بر تندترین شیب ۳۶
۲-۲-۴) روش‌های مناسب تقریب تابع جهت استفاده در تخمین مقدار ۳۸
۲-۳) روش تقسیم و غلبه ۳۹
۳) حذف نویز به صورت فعال ۴۱
۳-۱) تقسیم‌بندی‌های روش‌های حذف نویز به صورت فعال ۴۲
۳-۲) روش FX-LMS ۴۵
۳-۳) نمونه روش بدون نیاز به مدل برای حذف نویز سیگنالهای تناوبی ۴۷
۳-۴) سابقه پژوهش حذف نویز به صورت فعال در ایران ۴۸
۴) حذف نویز صوتی تناوبی به صورت فعال با روش یادگیری کیو ۵۳
۴-۱) حذف نویز برای سیگنال باند باریک تک آوا (ST-QL-AC) ۵۴
۴-۲) تعمیم به سیگنال باند باریک چند آوایی(MT-QL-AC) ۵۷
۴-۳) فلوچارت حذف نویز فعال به روش یادگیری تقویتی ۵۹
۴-۴) مزایای روش و مشکلات پیش‌رو ۶۱
۴-۵) شبیه‌سازی ۶۲
۴-۵-۱) معیارهای مقایسه ۶۲
۴-۵-۲) بررسی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی ۶۵

۴-۶) مروری بر مطالب ارائه شده در این فصل ۷۳

۵) بهبود روش‌ها ۷۵

۵-۱) شکستن مسئله به بلوک‌های کوچک‌تر (BR-QL-ANC) ۷۵

۵-۲) تنظیم گام به صورت وفقی ۷۹

۵-۳) استفاده از سیگنال دوتایی هم‌فاز با مؤلفه‌های سینوسی و کسینوسی (BF-QL-ANC) ۸۱

۵-۴) تولید سیگنال هم‌فاز از طریق سخت‌افزار ۸۴

۵-۵) استفاده از تعریف مجموع اعمال جدید ۸۶

۵-۶) شبیه‌سازی ۸۸

۵-۷) مروری بر مطالب ارائه شده در این فصل ۹۹

۶) حذف نویز صوتی باند پهن به روش یادگیری کیو ۱۰۱

۶-۱) استفاده از یادگیری کیو در تخمین فیلتر مناسب جهت حذف نویز صوتی باند پهن ... ۱۰۱

۶-۲) استفاده از یادگیری کیو در تصحیح تغییرات دینامیک مسیر ثانویه ۱۰۵

۶-۳) شبیه‌سازی ۱۰۶

۶-۴) مروری بر مطالب ارائه شده در این فصل ۱۱۱

۷) استفاده از تکنیک تقسیم پاداش در سیستم‌های چند عاملی در حذف نویز تناوبی .. ۱۱۳

۷-۱) سیستم‌های چند عاملی:مبانی و مفاهیم ۱۱۴

۷-۱-۱) اجزاء اصلی در یک سیستم چند عاملی ۱۱۶

۷-۱-۲) خصوصیات عامل ۱۱۶

۷-۱-۳) یادگیری ماشین و سیستم‌های چند عاملی ۱۱۹

۷-۱-۴) یادگیری در سیستم‌های چند عاملی ۱۲۱

۷-۲) تقسیم پاداش در سیستم‌های چند عاملی ۱۲۳

۷-۲-۱) روش مبتنی بر اطمینان (CB-MCA) ۱۲۶

۷-۲-۲) روش‌های مبتنی بر خبرگی ۱۲۷

۷-۲-۲-۱) روش پایه مبتنی بر خبرگی (EB-MCA) ۱۲۷

۷-۲-۲-۲) روش مبتنی بر پاداش و تنبیه یک عامل نسبت به سایر عامل‌ها (PRB-MCA) ۱۲۸

۷-۳) حذف نویز تناوبی با کمک تکنیک های سیستم‌های چند عاملی ۱۲۸
۷-۴) شبیه‌سازی ۱۳۲
۷-۵) مروری بر مطالب ارائه‌شده در این فصل ۱۳۵
۸) ساده‌سازی محاسبات با استفاده از اطلاعات مدل‌سازی سیستم..... ۱۳۷
۸-۱) روش تفاوت زمانی ۱۳۸
۸-۲) حذف نویز با روش تفاوت زمانی صفر با مدل‌سازی سیستم در فضای فرکانس ۱۳۹
۸-۳) بسط روش به تفاوت زمانی چند سطحی ۱۴۵
۸-۴) فلوچارت انجام کار ۱۴۹
۸-۵) استفاده از تکنیک تقریب تابع در روش تفاوت زمانی صفر ۱۵۱
۸-۵-۱) تعریف مسئله یادگیری تقویتی..... ۱۵۲
۸-۵-۲) الگوریتم روش تفاوت زمانی صفر با کمک تکنیک تقریب تابع (FA-TD-ANC)..... ۱۵۳
۸-۵-۳) بهینه‌سازی بردار $\mathbf{s}^*$ ۱۵۴
۸-۵-۴) الگوریتم روش تفاوت زمانی صفر با کمک تکنیک تقریب تابع چند سطحی (ML-FA-TD-ANC)..... ۱۵۵
۸-۶) شبیه‌سازی ۱۵۵
۸-۷) مروری بر مطالب ارائه شده در این فصل ۱۶۶
۹) دسته‌بندی و مقایسه روش‌های ارائه‌شده هوشمند در حذف نویز..... ۱۶۷
۹-۱) مروری بر روش‌های ارائه‌شده و مقایسه کیفی آن‌ها ۱۶۷
۹-۲) محاسبه بار محاسباتی در روش‌های مختلف باند باریک ۱۷۴
۹-۲-۱) روش MT-QL-ANC..... ۱۷۵
۹-۲-۲) روش BR-QL-ANC..... ۱۷۷
۹-۲-۳) روش BF-QL-ANC..... ۱۷۸
۹-۲-۴) روشهای مبتنی بر تخصیص پاداش در سیستمهای چند عاملی..... ۱۷۸
۹-۲-۵) روش ML-TD-ANC..... ۱۸۱
۹-۳) محاسبه بار محاسباتی در روش‌های پهن باند با روش پیش‌خور ۱۸۲
۹-۳-۱) بار محاسباتی در روش FX-LMS..... ۱۸۲

۹-۳-۲) بار محاسباتی در سیگنالهای پهن باند با روش یادگیری کیو..... ۱۸۳
۹-۳-۳) مقایسه دو روش..... ۱۸۴
۹-۴) مقایسه کمی روش‌های ارائه‌شده..... ۱۸۴
۹-۴-۱) معیارهای نشان‌دهنده قدرت سخت‌افزار مورد نیاز..... ۱۸۵
۹-۴-۲) معیارهای بیان کننده کارایی روش..... ۱۸۶
۱۰) پیشنهادها..... ۱۸۷
۱۰-۱) استفاده از تکنیک‌های هوشمند در سیستم حذف نویز چند کاناله..... ۱۸۷
۱۰-۲) حذف نویز در سیستم با دو فرکانس نزدیک و نامساوی ۱۸۷
۱۰-۳) پیش‌بینی تابع مقدار به وسیله شبکه عصبی..... ۱۸۸
۱۰-۴) استفاده از یادگیری تقویتی در تنظیم پارامترهای یک صف ۱۸۲
مراجع..... ۱۹۱

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول (۳-۱) دسته‌بندی روش‌های مختلف حذف نویز به صورت فعال ۴۳

جدول (۵-۱) مقایسه عملکرد SPSA-ANC، ABR-QL-ANC و ABF-QL-ANC..... ۹۳

جدول (۵-۲) مقایسه عملکرد روش‌های ABR-QL-ANC و ABF-QL-ANC در حضور نویز ۹۶

جدول (۷-۱) مقایسه معیارهای مختلف در روش‌های چند عاملی مبتنی بر تقسیم پاداش.. ۱۳۵

جدول (۸-۱) حافظه مورد نیاز برای تابع Vs در روش‌های قبلی و روش پیشنهادی فعلی.....۱۴۶

جدول (۹-۱) محاسبه بار محاسباتی در هر مرحله از روش MT-QL-ANC ۱۷۵

جدول (۹-۲) محاسبه بار محاسباتی در هر مرحله از روش BR-QL-ANC ۱۷۷

جدول (۹-۳) تعداد عملیات مورد نیاز برای محاسبه C_i برای یک عامل در روشCB-MCA-ANC..... ۱۷۹

جدول (۹-۴) تعداد عملیات مورد نیاز برای محاسبه E_i^r برای یک عامل در روشEB-MCA-ANC..... ۱۷۹

جدول (۹-۵) تعداد عملیات مورد نیاز برای تخصیص پاداش ۱۸۰

جدول (۹-۶) محاسبه تعداد عملیات در روش‌های تخصیص اعتبار سیستمهای چند عاملی ۱۸۰

جدول (۹-۷) محاسبه بار محاسباتی در هر مرحله از روش ML-TD-ANC ۱۸۱

جدول (۹-۸) محاسبه بار محاسباتی در روش FX-LMS ۱۸۲

جدول (۹-۹) محاسبه بار محاسباتی در روش پهن باند با روش یادگیری کیو ۱۸۳

جدول (۹-۱۰) جدول مقایسه معیارهای نشان دهنده قدرت سخت‌افزار مورد نیاز ۱۸۵

جدول (۹-۱۱) جدول مقایسه معیارهای مختلف کارایی روش ۱۸۶

جدول (۹-۱۲) روشهای کاهش ابعاد به‌کاررفته در متدهای حذف نویز پیشنهادشده.....۱۸۶

جدول (۱۰-۱) ضرایب مهم در الگوریتم RED و عملکرد هر کدام..... ۱۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل (۱-۱) سیستم پرتاب توپ به داخل هدف ۶

شکل (۱-۲) تعامل محیط و عامل در یادگیری تقویتی..... ۱۳

شکل (۱-۳) نحوه عمل بازگشتی در GPI برای رسیدن به سیاست بهینه..... ۲۲

شکل (۲-۱) ساختار درخت‌واره‌ای چندراهی با حداکثر دقت..... ۲۹

شکل (۲-۲) استفاده از ساختار درخت‌وارهای چند راهی با رقومی نمودن غیریکنواخت..... ۳۰

شکل (۳-۱) شرایط موثر بودن روش فعال و غیرفعال بودن..... ۴۱

شکل (۳-۲) تقسیم‌بندی روش‌های کنترل نویز بر اساس نحوه حل مسئله ۴۴

شکل (۳-۳) بلوک دیاگرام کنترل نویز با روش FXLMS..... ۴۵

شکل (۴-۱) حذف نویز برای سیگنال‌های باند باریک با روش یادگیری کیو..... ۵۳

شکل (۴-۲) فلوچارت حذف نویز فعال به روش یادگیری تقویتی..... ۵۸

شکل (۴-۳) تعریف معیاری برای سرعت حذف نویز یا همگرایی الگوریتم..... ۶۳

شکل (۴-۴) مقایسه معیار $\mathcal{E}_{e(t)}$ برای دو منحنی دارای زمان همگرایی متفاوت..... ۶۴

شکل (۴-۵) مقایسه معیار t_f برای دو منحنی دارای زمان همگرایی متفاوت ۶۵

شکل (۴-۶) نمایش منحنی‌های خروجی حذف نویز یک سیگنال تک آوا..... ۶۷

شکل (۴-۷) تابع چگالی طیفی توان سیگنال قبل و بعد از عملکرد سیستم فعال حذف نویز تک آوا. ۶۸

شکل (۴-۸) نحوه تغییر پارامترهای a_1 و a_2 به سمت مقدار نهایی..... ۶۹

شکل (۴-۹) نمایش منحنی‌های خروجی حذف نویز یک سیگنال تک آوا با معکوس نمودن مسیر ثانویه ۷۰

شکل (۴-۱۰) نمایش منحنی‌های خروجی حذف نویز یک سیگنال چند آوایی..... ۷۲

شکل (۴-۱۱) تابع چگالی طیفی توان سیگنال قبل و بعد از عملکرد سیستم فعال حذف نویز چند آوایی..... ۷۳

شکل (۵-۱) شکستن مسئله به بلوک‌های کوچک‌تر ۷۶

شکل (۵-۲) شباهت گام کوچک‌تر از اندازه رقومی سازی در گام وقفی و روش تجمیع حالات..... ۸۰

شکل (۵-۳) ساده‌سازی قسمت فیلتر و ضرب در یک قسمت..... ۸۱
شکل (۵-۴) جایگزینی سیگنال دوتایی و فیلتر مرتبه اول در شکل (۵-۱-پ)..... ۸۲
شکل (۵-۵) تولید سیگنال‌های سینوسی و کسینوسی مورد لزوم با کمک بازخورد غیر صوتی..... ۸۴
شکل (۵-۶) تولید سیگنال‌های مربعی هم‌فاز با سیگنال‌های سینوسی و کسینوسی مورد لزوم..... ۸۵
شکل (۵-۷) کُدبندی انجام گرفته در ساختار درخت‌واره‌ای..... ۸۷
شکل (۵-۸) بلوک دیاگرام سیستم شبیه‌سازی شده..... ۸۸
شکل (۵-۹) مقایسه چگالی طیفی توان در حالت وفقی و غیر وفقی..... ۹۰
شکل (۵-۱۰) مقایسه سیگنال خطا و نمایش زمان همگرایی در BR-QL-ANC و ABR-QL-ANC..... ۹۱
شکل (۵-۱۱) مقایسه منحنی میزان حذف نویز در BR-QL-ANC و ABR-QL-ANC..... ۹۲
شکل (۵-۱۲) مقایسه سیگنال خطا در SPSA-ANC، ABR-QL-ANC و ABF-QL-ANC. ۹۴
شکل (۵-۱۳) مقایسه میزان حذف نویز در SPSA-ANC، ABR-QL-ANC و ABF-QL-ANC... ۹۵
شکل (۵-۱۴) حذف نویز یک سیگنال چند آوایی با روش BR-QL-QNC با معکوس نمودن مسیر ثانویه..... ۹۸
شکل (۶-۱) استفاده از QL در تخمین فیلتر مناسب جهت حذف نویز..... ۱۰۲
شکل (۶-۲) انتقال سیگنال خطا به حوزه فرکانس جهت شکستن مسئله به بلوک‌های کوچک‌تر. ۱۰۴
شکل (۶-۳): استفاده از QL در تصحیح تغییرات دینامیک مسیر ثانویه..... ۱۰۶
شکل (۶-۴): نتایج روش QL در حذف نویز برای سیگنال نویز با طیف گسترده..... ۱۰۷
شکل (۶-۵): نتایج روش QL در حذف نویز برای سیگنال نویز با طیف گسترده بدون ترم تناوبی..... ۱۰۸
شکل (۶-۶) مقایسه پاسخ سیگنال خطا در روش‌های مختلف در مقابل تغییر ناگهانی دینامیک مسیر اولیه و ثانویه..... ۱۰۹
شکل (۶-۷) تصحیح مشکل ایجاد ناپایداری و کاهش راندمان در روش حذف نویز FXLMS در هنگام تغییر دینامیک مسیر ثانویه در گذر زمان با کمک QL..... ۱۱۰
شکل (۷-۱) ارتباط سیستم‌های چند عاملی با سایر حوزه‌های علوم مرتبط..... ۱۱۵
شکل (۷-۲) دسته‌بندی روش‌های یادگیری ماشین..... ۱۲۰

شکل (۷-۳) دسته‌بندی روشهای مبتنی بر پاداش در یادگیری ماشین ۱۲۱
شکل (۷-۴) نقش عامل نقاد در تقسیم پاداش در سیستم‌های چند عاملی ۱۲۴
شکل (۷-۵) تقسیم‌بندی تقسیم دانش با تکیه بر دانایی عامل ۱۲۵
شکل (۷-۶) بلوک دیاگرام سیستم چند عاملی با تکنیک تقسیم پاداش برای حذف نویز.... ۱۲۹
شکل (۷-۷) نمایش منحنی خطا و معیار $\mathcal{E}_{e(t)}$ در سه روش چند عاملی مبتنی بر تقسیم پاداش ۱۳۳
شکل (۷-۸) نمایش منحنی معیار $NL_{dB}(t)$ در سه روش چند عاملی مبتنی بر تقسیم پاداش ۱۳۴
شکل (۸-۱) روش عمومی تکرار سیاست..... ۱۳۹
شکل (۸-۲) نمایش سیستم حذف نویز در فضای فرکانس..... ۱۴۰
شکل (۸-۳) نقش پارامتر قابل تنظیم $\mathbf{g}$ در سیستم حذف نویز ۱۴۱
شکل (۸-۴) نمایش حالت و سیاست بهینه برای یک مسئله نمونه..... ۱۴۲
شکل (۸-۵) محاسبه جدول $V(s)$برای مسئله نمونه شکل قبل ۱۴۴
شکل (۸-۶) حرکت به سمت جواب در روش تفاوت زمانی چند سطحی..... ۱۴۸
شکل (۸-۷) فلوچارت روش زمانی چند سطحی در حذف نویز صوتی تناوبی ۱۵۰
شکل (۸-۸) فلوچارت الگوریتم روش FA-TD-ANC..... ۱۵۳
شکل (۸-۹) حذف نویز در یک سیگنال تک آوا با روش تفاوت زمانی چند سطحی..... ۱۵۷
شکل (۸-۱۰) حرکت به سمت جواب در روش تفاوت زمانی چند سطحی در داخل محدوده فرض شده اولیه ۱۵۸
شکل (۸-۱۱) حرکت به سمت جواب در روش تفاوت زمانی چند سطحی به خارج از محدوده فرض شده اولیه ۱۵۹
شکل (۸-۱۲) حذف نویز با روش تفاوت زمانی چند سطحی برای سیگنال با سه هارمونیک..... ۱۶۰
شکل (۸-۱۳) پاسخ روش تفاوت زمانی چند سطحی به تغییر ناگهانی مسیر اولیه و ثانویه..... ۱۶۲
شکل (۸-۱۴) اثر افزایش سطوح رقومی سازی بر زمان همگرایی و سطح حذف نویز در روش حذف نویز با تکنیک تقریب تابع..... ۱۶۴
شکل (۸-۱۵) حذف نویز با روش تقریب تابع چند سطحی..... ۱۶۵
شکل (۹-۱) دسته‌بندی روش‌های ارئه شده برای حذف نویز فعال به کمک یادگیری تقویتی... ۱۷۳
شکل (۹-۲) فلوچارت حذف نویز فعال به روش یادگیری تقویتی ۱۷۴

فهرست نشانه‌های اختصاری

ABF-QL-ANC	Adaptive Binary Feedback QL-ANC
ABR-QL-ANC	Adaptive Broken QL-ANC
AI	Artificial Intelligence
AMT-QL-ANC	Adaptive Multi-Tonal QL-ANC
ANC	Active Noise Control
AOE	Area Of Expertnes
AQM	Active Queue Management
BF-QL-ANC	Binary Feedback QL-ANC
BR-QL-ANC	Broken QL-ANC
CB-MCA	Certainty Based MCA
EB-MCA	Expertness Based MCA
DAI	Distributed Artificial Intelligence
FA-TD-ANC	Frequency Approximation Temporal Difference ANC
FFT	Fast Fourier Transform
FX-LMS	Filtered-X Least Mean Square
GPI	Generalized Policy Iteration
IFFT	Inverse Fast Fourier Transforms
KEBCA	Knowledge Evaluation Based Critic Assignment
LMS	Least Mean Square
LPF	Low Pass Filter
MAS	Multi-Agent System
MCA	Multi-agent Crediet Assignment
MDP	Markov Decision Process
ML-FA-TD-ANC	Multi-Level Frequency Approximation Temporal Difference Active Noise Control
ML-TD-ANC	Multi-Level Temporal Difference Active Noise Control
MSE	Mean Square Error

MT-QL-ANC	Multi-Tonal QL-ANC
PRB-MCA	Punishment and Rewards based MCA
PSD	Power Spectral Density function
QL	Q-Learning.
QL-ANC	ANC algorithms based on QL techniques
RED	Random Early Detection
RL	Reinforcement Learning.
RLS	Recursive Least Square
SPSA-ANC	Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation ANC
TD	Temporal Difference

پیشگفتار

یادگیری تقویتی[1] یکی از روش‌های موجود در هوش مصنوعی و مبحث یادگیری ماشین[2] می‌باشد. در حل مسائل با ابزار یادگیری تقویتی همانند سایر روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، سیستم خود را با تغییرات وفق داده و چندان نیازی به مدل‌سازی سیستم و محیط وجود ندارد. از طرف دیگر پیاده‌سازی آن نسبتاً ساده و با محاسبات بسیار کم و بر اساس روش‌های مبتنی بر تکرار[3] می‌باشد به نحوی که در هر گام به هدف نهایی نزدیک و نزدیک‌تر می‌گردد. این روش با سیستم‌های آماری به خوبی کار نموده و اثر اغتشاشات در اندازه‌گیری به خوبی قابل حذف شدن می‌باشد. اما از طرف دیگر در این روش ابعاد مسئله بسیار مهم می‌باشد و با زیاد شدن بعد، پیچیدگی حل به صورت نمایی افزایش می‌یابد به گونه‌ای که گاهی حل مسئله از این راه با چالش روبرو می‌گردد. هرچند که روش‌هایی برای فائق آمدن بر آن در برخی از کاربردها یافته می‌شود اما در هر صورت بالا رفتن ابعاد باعث می‌شود که زمان یادگیری به شدت افزایش یافته به نحوی که برای کاربردهای بلادرنگ[4] مناسب نگردد.

در هر صورت با وجود مشکل فوق نمی‌توان چشم را بر روی مزایای فراوان این روش بست. در این تحقیق سعی گردیده است که با کاهش ابعاد، این ابزار را در مسئله مخابراتی حذف نویز به صورت فعال بکار گرفت. روش‌های "تقسیم و غلبه[5]" ، "تجمیع حالات[6]"، "رقومی سازی

---

[1] Reinforcement Learning
[2] Machine Learning
[3] Iterative
[4] Online
[5] Divide & conquer
[6] State aggregation

غیریکنواخت[1]" و "تقریب تابع[2]" از روش‌هایی هستند که در این تحقیق برای کاهش ابعاد به کار رفته‌اند.

در گزارش این پایان‌نامه در سه فصل آغازین به مفاهیم و مبانی تئوری در موضوع مبحث یادگیری تقویتی(RL) ، مروری بر روش‌های کاهش ابعاد داده و حذف نویز به صورت فعال(ANC[3]) پرداخته خواهد شد. در فصل چهارم روشی پایه مبتنی بر یادگیری کیو(QL[4]) برای کاهش نویز صوتی تناوبی به صورت فعال برای سیگنالی تک آوا[5] معرفی می‌گردد و سپس روش به نحوی تکمیل می‌گردد که برای سیگنال‌های چند آوایی باند باریک[6] با تعداد هارمونیک محدود نیز عملکرد مناسبی داشته باشد[۱]. در این روش سیستم بر خلاف سایر روش‌های معمول حذف نویز، بدون داشتن مدل دینامیکی محیط و یا تخمین آن در حین عملکرد و تنها با نگاه کردن به سیگنال نویز موجود در محیط می‌تواند یاد بگیرد که چگونه این سیگنال را به سمت صفر میل دهد. هر چند بار محاسباتی این روش بسیار کم بوده اما با توجه به تعدد عمل‌ها و حالت‌های موجود، با بالا رفتن تعداد هارمونیک‌های غالب در نویز صوتی، حافظه مورد نیاز نیز افزایش انفجارگونه خواهد داشت. لذا در فصل بعد با کمک تکنیک‌های کاهش داده، روش‌هایی برای رفع این معضل و همچنین کاهش زمان همگرایی ارائه شده است[۲].

اولین گام پیشنهادی استفاده از روشی مشابه الگوریتم "تقسیم و غلبه" می‌باشد که در آن کاهش بعد نهایی با شکستن مسئله به مسائلی با ابعاد کوچک‌تر انجام خواهد شد. نشان داده خواهد شد که در این صورت، هم زمان همگرایی به صورت قابل ملاحظه پایین آمده و هم حافظه مورد نیاز به شدت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مسئله به ساختارهای مشابه و

---

[1] Non-Uniform quantization
[2] Function Approximation
[3] Active Noise Control
[4] Q-Learning
[5] Single tone
[6] Narrow-Band multi-tonal signal