Archive of SID

مجلهٔ علمی- پژوهشی
«مهندسی برق مدرس»
دورهٔ دهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۸۹

بهسازی گفتار مبتنی بر روش ترکیبی تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک

سعیده سادات سدیدپور[۱]، محمدمهدی همایون‌پور[۲*]، مهدی فسنقری[۳]

۱- کارشناس‌ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشیار دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- مربی پژوهشکده فناوری اطلاعات، مرکز تحقیقات مخابرات ایران

homayoun@aut.ac.ir
(دریافت مقاله: بهمن ۱۳۸۸، پذیرش مقاله: آبان ۱۳۸۹)

چکیده- در بیشتر محیط‌های زندگی، نویزهای مختلفی حضور دارد که داده‌های صوتی را تخریب می‌کند. در این مقاله روشی را معرفی می‌کنیم که در آن با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک، نویز افزوده شده به داده‌های صوتی کاهش داده می‌شود تا داده‌های با کیفیت بهتری به‌دست آید. به این منظور ترکیب دو روش تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک برای بهسازی گفتار پیاده‌سازی شده است. در این روش در مرحله اول، نویز به روش تفاضل طیفی کاهش می‌یابد. در گام بعدی، برای بهسازی بیشتر، از روش برنامه‌نویسی ژنتیک استفاده می‌شود. در این گام درخت‌هایی آموزش داده می‌شود که گفتار خروجی الگوریتم تفاضل طیفی را به داده‌های تمیزتری نگاشت می‌کند. برتری روش ترکیبی پیشنهادی در بهسازی گفتار اثبات شده و بهبودی در حدود ۲ تا ٦/٥ دسی‌بل در نسبت سیگنال به نویز حاصل شده است. مقایسه روشهای برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه‌عصبی، تفاضل طیفی و روش ترکیبی حاضر در بهسازی گفتار نشان می‌دهد که در مجموع، روش ترکیبی تفاضل طیفی- برنامه‌نویسی ژنتیک نسبت به سایر روشها نتایج بسیار بهتری را ارائه می‌کند.

کلید واژگان: برنامه‌نویسی ژنتیک، تفاضل طیفی، گفتار نویزی، بهسازی گفتار.

۱- مقدمه

بهسازی گفتار به فرایند بازیابی گفتار تمیز از سیگنال نویزی گفتار گفته می‌شود و در مواردی به کار می‌رود که سیگنال گفتار تحت تأثیر نویز، انعکاس یا سایر عوامل تخریب قرار گرفته است. فرایند بازیابی می‌تواند به شکل بازیابی خود سیگنال گفتار برای افزایش سطح ادراک در سیستم شنوایی انسان یا به شکل بهسازی ویژگی‌های استخراج شده از گفتار برای استفاده در سیستم‌های بازشناسی گفتار یا گوینده مقاوم

www.SID.ir

Archive of SID

در برابر نویز باشد. اعوجاج می‌تواند ناشی از نویز جمع‌شونده محیطی یا حاصل از اعوجاج خطی یا غیرخطی در مسیر[1] انتقال باشد.

ورود نویز به سیستم ممکن است در محل منبع سیگنال، در مسیر مخابره یا در محل گیرنده رخ دهد. عوامل تخریبی وارد شونده در مسأله نیز می‌تواند ترکیبی از این سه حالت باشد [۱]. نویز ممکن است با سگینال اصلی جمع، ضرب، وحتی در حالت کلی‌تر پیچیده[2] شود و ممکن است نویز مستقل یا وابسته به سیگنال اصلی باشد.

کاربردهای متنوع بهسازی گفتار، اهداف متفاوتی را برای فرایند بهسازی ایجاد کرده است. افزایش قابلیت درک گفتار یا کاهش خستگی شنونده از جمله اهداف نهایی فرایند بهسازی گفتار هستند.

مسأله مهم دیگری که کیفیت عملکرد سیستم‌های بهسازی گفتار را تحت تأثیر قرار می‌دهد وجود تنوع در نویز است [۲] و [۳]. نویزهایی که داده‌های گفتاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ویژگی‌های مختلفی دارند. نویز ممکن است ایستان یا غیرایستان باشد. در نویز ایستان، چگالی طیف توان نویز، ثابت است و با زمان تغییر نمی‌کند. در نویز غیرایستان، مشخصات آماری نویز با زمان تغییر می‌کند. بیشتر نویزها در محیط‌های واقعی غیرایستان هستند. به‌عنوان مثال نویز همهمه[3] غیر ایستان است [٤]. این نویز با سیگنال اصلی همبستگی دارد و برای کاهش آن از روش‌هایی نظیر حذف وفقی انعکاس صدا[4] (AEC) استفاده می‌شود.

نویز یا سیگنال تداخل‌کننده ممکن است ناشی از همهمه، موسیقی، باد یا ترافیک باشد و لذا طیف توان آن می‌تواند دارای شکل‌های مختلفی باشد. از سوی دیگر نویزهای مختلف، تأثیر متفاوتی بر شنونده می‌گذارند. برای مثال نویز در محدوده فرکانسی ٤۰۰ هرتز تا ۵ کیلو هرتز می‌توانند قابلیت درک گفتار را کاهش دهد. اما نویزهای فرکانس بالاتر، تأثیر کمتری بر قابلیت فهم گفتار داشته و بیشتر باعث خستگی شنونده می‌شوند.

در ادامه، به مرور کارهای پیشین می‌پردازیم و سپس ساختار سیستم ارائه شده در مقاله بیان و روش تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک[5] (GP) توضیح داده می‌شود. در بخش بعدی مروری کلی بر اجزای تشکیل دهنده سیستم بهسازی گفتار خواهیم داشت. سپس روش پیشنهادی تشریح شده و نتایج استفاده از آن برای بهسازی گفتار، با روشهایی مانند تفاضل طیفی و شبکه عصبی مقایسه می‌شود. در پایان دربارهٔ نتایج به‌دست آمده بحث شده و روشهای بهسازی از نظر کارایی و محاسبات مورد نیاز مقایسه خواهند شد. در بخش آخر به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- مرور کارهای پیشین

هدف اصلی سیستم‌های بهسازی گفتار، ارتقای یک یا چند جنبه ادراکی گفتار مانند کیفیت عمومی و قابلیت درک برای ماشین است.

به دلیل اهمیت و کاربردهای متنوع سیستم‌های بهسازی گفتار، روشهای مختلفی در سه دهه گذشته بدین منظور توسعه یافته است. در سیستم‌های تک‌مسیره، تخمین طیف نویز اهمیت زیادی دارد. از جمله روشهایی که برای این منظور استفاده می‌شود، تعیین قاب‌های فاقد گفتار و سپس به‌روز کردن تخمین طیف نویز از روی آنها است. چنانچه اطلاعات پیشینی از گفتار در دست باشد؛ یک راه حذف نویز، کم کردن تخمین طیف نویز به‌دست آمده از قاب‌های فاقد گفتار از سیگنال نویزی در حوزه فرکانس[6] است.

1. Channel
2. Convolve
3. Babble Noise
4. Adaptive Echo Canceling
5. Genetic Programming
6. Spectral Domain

www.SID.ir

Archive of SID

بعضی از روشهای بهسازی گفتار عبارتند از روش تفاضل طیفی[1] [۵] و [٦] و استفاده از فیلترهای تطبیقی [۷] مختلفی مانند فیلتر کالمن، وینر و شانه‌ای[2] به‌صورت مجزا یا در ترکیب با سایر روشها که به‌منظور حذف نویز از سیگنال گفتار مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۸].

تفاضل طیفی، جزو اولین الگوریتم‌های پیشنهادی برای کاهش نویز [۵] و [۹] و از جمله روشهای موفق مبتنی بر پردازش سیگنال است [۵]. این روش، مبتنی بر اصول ساده‌ای بوده و پیاده‌سازی آن ساده و بار محاسباتی آن اندک است. در این روش، نویز جمع‌شونده فرض می‌شود و از تفاضل طیف نویز تخمین‌زده شده از گفتار نویزی، تخمینی از طیف سیگنال تمیز به‌دست می‌آید. اگر مقدار کم‌شده زیاد باشد، بخش‌هایی از گفتار حذف می‌شود و اگر کم باشد، مقداری نویز باقی می‌ماند. از معایب اصلی این روش - که در سایر روشهای پردازش طیف سیگنال نیز مشاهده می‌شود - ایجاد نویز موزیکال[3] ناراحت‌کننده در سیگنال بهبودیافته است؛ لذا به‌منظور بهبود نتایج از روشهای کمکی استفاده می‌شود [۱۰]. به‌دلیل سادگی پیاده‌سازی، در بیشتر پژوهشها، نتایج روش پیشنهادی با نتایج حاصل از این روش مقایسه می‌شود [۱۱] تا [۱۳].

در کاربردهایی مانند تلفن‌بانک و ارتباطات تلفنی با مراکز مختلف، امکان اضافه شدن انواع نویز به سیگنال وجود دارد. به‌ویژه اگر ماشین پاسخ‌دهنده باشد، نویز باعث بروز مشکلات و کاهش کارایی سیستم می‌شود. بیشتر روشهای به‌کار رفته برای بهسازی سیگنال گفتار محدودیت‌های زیادی دارند که نیاز به میکروفون اضافی یکی از آنها است. برای داده‌هایی که از خطوط تلفن به دست می‌آیند، دسترسی به میکروفون اضافی ممکن نیست. در تبدیل گوینده که یکی از زیرشاخه‌های پردازش گفتار است، از روشهای نگاشت استفاده می‌شود اما در بهسازی گفتار، تاکنون از نگاشت داده نویزی به داده تمیز استفاده نشده بلکه فقط به منظور یافتن بخش‌های از دست رفته از آن استفاده شده است [١٤]. فکر استفاده از نگاشت در بهسازی گفتار، به دلیل مشابهت بهسازی با تبدیل گوینده مطرح می‌شود. در هر دو مورد، سیگنال خروجی، شکل تبدیل یافته سیگنال ورودی است. در این مقاله، روش جدیدی بررسی می‌شود که در آن از برنامه‌نویسی ژنتیک که یکی از قدرتمندترین روشهای تخمین‌زننده به شمار می‌رود، به‌منظور نگاشت داده نویزی به داده تمیز و بهسازی گفتار تلفنی استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی بعدی به‌منظور بهبود بیشتر کیفیت، ترکیب برنامه‌نویسی ژنتیک با روش مرسوم تفاضل طیفی مطرح می‌شود تا بدین ترتیب از مزایای هر دو روش استفاده شود. تفاضل طیفی، سیگنال مناسبی را در نواحی گفتار ایجاد می‌کند و برنامه‌نویسی ژنتیک، تأثیر نویز در نواحی سکوت را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. این روش ترکیبی، کیفیت سیگنال را بسیار بهبود می‌دهد.

۳- ساختار سیستم

هدف این مقاله، تحقیق و بهبود شیوه‌های کنونی بهسازی گفتار است. پیشنهاد اول، استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک برای بهسازی گفتار است. برنامه‌نویسی ژنتیک نوعی نگاشت از ضرایب طیف فوریه هر قاب از گفتار نویزی را به طیف فوریه گفتار بهسازی‌شده انجام می‌دهد که این نگاشت توسط درخت‌های GP آموزش دیده برای همین منظور صورت می‌گیرد.

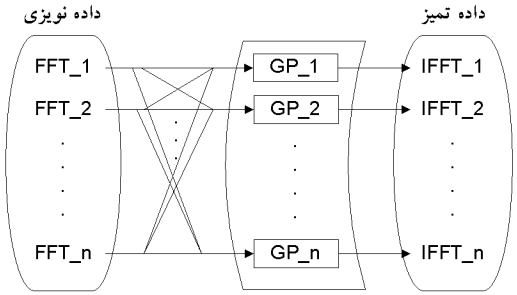
در آموزش درخت‌های GP، طیف فوریه هر فریم داده نویزی، به‌عنوان ورودی درخت‌های حاصل از برنامه‌نویسی ژنتیک و طیف فوریه داده تمیز به‌عنوان خروجی آن استفاده می‌شود. تعداد درخت‌هایی که باید بدین منظور آموزش داده شود، به اندازه تعداد ضرایب فوریه قاب تحلیل در نظر گرفته شده است. هر ضریب فوریه سیگنال حاصل از بهسازی، به

1. Spectral Subtraction
2. Comb Filtering
3. Musical Noise

www.SID.ir

Archive of SID

تمامی ضرایب فوریه سیگنال نویزی ورودی وابسته است یعنی هر درخت GP، تمامی نمونه‌های طیف قاب ورودی را به یک ضریب طیف خروجی می نگارد. شکل ۱)، بهسازی گفتار به‌روش GP را نشان می‌دهد.

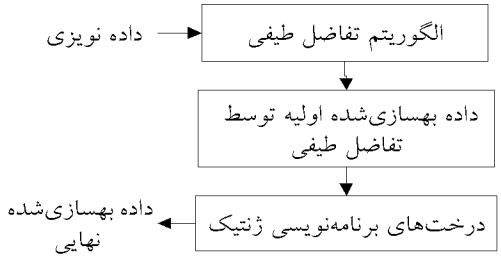


شکل ۱ روش پیشنهادی بهسازی گفتار با استفاده از GP

نوعی تعادل در تعداد نمونه‌های گفتار قاب ورودی و در نتیجه در تعداد نقاط تبدیل فوریه سریع (FFT) به کار رفته لازم است وجود داشته باشد، زیرا تعداد کم نمونه‌ها، باعث افت شدید کیفیت سیگنال بهسازی شده می‌شود و تعداد زیاد نمونه‌ها نیز، تعداد درخت‌هایی را که باید آموزش داده شوند و در نتیجه، زمان آموزش را افزایش می‌دهد.

می‌توان بردار ویژگی را با طول بیشتری مانند ۱۲۸ انتخاب کرد و با اعمال روشهایی طول بردار را کاهش داد. برای کاهش بعد بردار ویژگی، استفاده از میانگین‌گیری روی چند نمونه یا استفاده از کاهش فرکانس نمونه‌برداری[1] پیشنهاد می‌شود. در هر دو مورد، پس از اعمال GP بر داده آزمایشی، درونیابی انجام می‌شود تا تعداد ضرایب طیف و در نتیجه تعداد نمونه‌های فریم حاصل از بهسازی به اندازه اولیه باز گردد. برای آنکه کیفیت بهسازی افت نکند، طول قاب اولیه کمی کاهش داده شده و زمان بیشتری برای آموزش در نظر گرفته می‌شود. هر دو روش کاهش نمونه‌برداری و میانگین‌گیری، کیفیت داده‌های بهسازی شده را کاهش می‌دهند.

پیشنهاد دیگر به‌منظور بهبود بیشتر سیگنال بهسازی‌شده، ترکیب سری دو روش تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک است. در این روش، بهسازی اولیه با الگوریتم تفاضل طیفی صورت گرفته و سپس دادهٔ به‌دست آمده به درخت‌های برنامه‌نویسی ژنتیک ارائه می‌شود. مراحل روش پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده شده است. روش ترکیبی، مزایای هر دو روش را داشته و بهبود مناسبی را ایجاد می‌کند.



شکل ۲ روش بهسازی پیشنهادی مقاله

۳-۱- تفاضل طیفی

الگوریتم تفاضل طیفی، یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین روشهای بهسازی گفتار است که برای بازیابی طیف توان سیگنال آلوده به نویز جمع‌شونده استفاده می‌شود. این روش طیف توان نویز تخمین زده شده را از طیف توان سیگنال نویزی کم کرده و سیگنال بهسازی‌شده را تولید می‌کند. در این روش، باید نواحی گفتار و سکوت از هم تشخیص داده شوند. همچنین فرض می‌شود که نویز در کل نواحی سکوت ایستا باقی می‌ماند و با سیگنال اصلی ناهمبسته[2] است.

در الگوریتم تفاضل طیفی، ابتدا طیف اولیه‌ای از نویز تخمین زده می‌شود. سپس این تخمین با استفاده

1 Down-Sampling

2 Uncorrelated

www.SID.ir

Archive of SID

از دوره‌های زمانی سکوت - که فقط نویز حضور دارد - به‌روز می‌شود. در این روش فرض بر آن است که نویز با سیگنال اصلی جمع شده است. اگر $s(n)$ سیگنال تمیز، $y(n)$ سیگنال نویزی، $w(n)$ نویز جمع‌شونده و $\hat{s}(n)$ سیگنال بهسازی شده باشند، معادله زیر برقرار است:

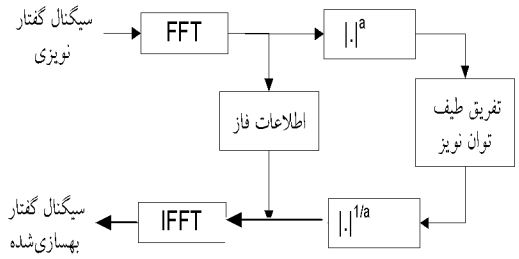
$$y(n)=s(n)+w(n) \qquad (۱)$$

با فرض جمع‌شونده و ناهمبسته بودن نویز با سیگنال اصلی، رابطه زیر برقرار است [۵]:

$$Y(\omega)=S(\omega)+W(\omega) \qquad (۲)$$

که $Y(\omega)$، $S(\omega)$ و $W(\omega)$ به‌ترتیب طیف توان سیگنال نویزی، سیگنال بدون نویز و نویز است. در روش تفاضل طیفی، تخمین اندازه طیف توان نویز، با استفاده از نواحی سکوت و از طریق میانگین‌گیری اندازه طیف توان نویز در پنجره‌های مختلف این نواحی انجام می‌شود.

برای بازیابی سیگنال، طیف دامنه لحظه‌ای با فاز سیگنال نویزی ترکیب شده و با استفاده از تبدیل معکوس فوریه به حوزه زمان بازگردانده می‌شود. یکی از اشکال‌های اصلی روش تفاضل طیفی، تولید نویز باقی‌مانده‌ای به نام نویز موزیکال است. دلیل به‌وجود آمدن نویز موزیکال، آن است که $|\hat{S}(\omega)|$ به‌دست آمده ممکن است منفی باشد. بنابراین در بسیاری از سیستم‌های ساده، به جای این مقادیر منفی، از صفر یا مقدار کوچک مثبتی استفاده می‌شود. در نتیجه در سیگنال بهسازی‌شده، برخی مؤلفه‌های طیف به تناوب خاموش و روشن شده و به صورت نویز موزیکال شنیده می‌شوند. شکل ۳، فرایند پردازشها را در این روش نشان می‌دهد.



شکل ۳ روش تفاضل طیفی

۳-۲- برنامه‌نویسی ژنتیک

برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)، زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های ژنتیک است که توسط کزا[1] گسترش یافت [۱۵] و [۱۶]. در این روش اعضای جمعیت، درخت‌هایی (گراف‌هایی) هستند که با استفاده از عملگرهای ژنتیکی بازترکیبی و جهش تولید می‌شوند. هر فرد از جمعیت توسط گره‌های غیرپایانه‌ای یا توابع و گره‌های پایانه‌ای یا برگ‌ها که متغیرها یا ثابت‌ها هستند نشان داده می‌شود [۱۷].

برنامه‌نویسی ژنتیک را می‌توان در مدل‌سازی معادلات ریاضی و شبیه‌سازی خطوط و منحنی‌های مختلف به کار برد. برنامه‌نویسی ژنتیک، شامل مراحل زیر است:

۱) با تولید تصادفی جمعیت راه حل‌های با اندازه N، کار شروع می‌شود.

۲) هر راه حل از جمعیت، ارزیابی شده و مقدار شایستگی آن به‌دست می‌آید.

۳) یک عملگر ژنتیک به صورت احتمالی انتخاب می‌شود.

- اگر عملگر انتخابی تکثیر باشد، فردی از جمعیت جاری انتخاب و به جمعیت جدید کپی می‌شود. عملگر تکثیر، اصول انتخاب طبیعی و بقای شایسته‌ترین‌ها را تکرار می‌کند.

1 Koza

www.SID.ir

Archive of SID

- اگر عملگر انتخابی بازترکیبی باشد، دو فرد انتخاب می‌شوند. سپس به صورت تصادفی، یک زیر درخت در هر فرد انتخاب و با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. دو فرزند تولید شده، در جمعیت جدید قرار می‌گیرند. بازترکیبی نقشی حیاتی را در فرایند تکامل ایفا می‌کند.

- اگر عملگر انتخاب شده جهش باشد، فردی از جمعیت جاری و سپس زیر درختی از آن انتخاب و عمل جهش بر روی آن انجام می‌شود. جهش، تنوع را حفظ می‌کند.

٤) مرحله ٣ تا رسیدن جمعیت جدید به N عضو، ادامه می‌یابد.

٥) به خلاف الگوریتم ژنتیک، برنامه‌نویسی ژنتیک همگرا نمی‌شود. بنابراین، مراحل ٢ تا ٤، تا رسیدن به راه حل مطلوب ادامه می‌یابد و اگر به نتیجه مطلوب دست نیابد، پس از تعداد تکرار معینی خاتمه می‌یابد.

٤- معیار ارزیابی

بر حسب نوع کاربرد سیستم بهسازی گفتار، ممکن است بهبود نظری[1] یا عینی[2] سیگنال گفتار مورد توجه باشد. در نتیجه، ارزیابی‌های متنوعی برای بهسازی گفتار مطرح است. در این مقاله از دو روش: میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز (SNR) و ارزیابی ادراکی کیفیت گفتار (PESQ) استفاده شده است.

٤-١- میزان بهبود نسبت سیگنال به نویز

معیار سیگنال به نویز، روشی معمول برای اندازه‌گیری کیفیت گفتار است و همانگونه که از نام آن پیداست نسبت توان سیگنال به توان نویز در واحد دسیبل را می‌سنجد. نسبت سیگنال به نویز بهبودیافته یکی از روشهای ارزیابی کمّی است. برای محاسبه SNR بهبودیافته، از رابطه زیر استفاده می‌شود [١٨].

$$SNR_{IMP} = SNR_{OUT} - SNR_{IN} \qquad (٣)$$

که در آن SNR_{IN}، SNR_{OUT} و SNR_{IMP}، به‌ترتیب نشان‌دهنده سیگنال به نویز سیگنال نویزی، سیگنال به نویز سیگنال بهسازی شده و مقدار بهبود سیگنال به نویز است. SNR_{IN} و SNR_{OUT} از معادلات زیر بدست می‌آیند [١٨]:

$$SNR_{IN} = ١٠ \log_{١٠} \frac{\sum s^{٢}(n)}{\sum (y(n) - s(n))^{٢}} \qquad (٤)$$

$$SNR_{OUT} = ١٠ \log_{١٠} \frac{\sum s^{٢}(n)}{\sum (\hat{s}(n) - s(n))^{٢}} \qquad (٥)$$

که در آن، $s(n)$، $y(n)$ و $\hat{s}(n)$، به‌ترتیب سیگنال گفتار بدون نویز، سیگنال گفتار نویزی و سیگنال بهسازی شده است.

٤-٢- میزان بهبود در ارزیابی ادراکی کیفیت گفتار

ویژگی PESQ سعی می‌کند ارزیابی کیفی را بدون نیاز به ارزیابی‌های شنیداری، به صورت کمّی بیان کند و نیاز دارد که سیگنال تمیز اولیه را در اختیار داشته باشد. نتیجه ارزیابی PESQ، عددی بین صفر تا ٤/٥ است. هر چه این عدد بالاتر باشد، سیگنال بهسازی شده به سیگنال تمیز اولیه بیشتر شبیه است. امتیاز PESQ، به صورت ترکیبی خطی از میانگین مقدار اعوجاج[3] D_{ind} و میانگین مقادیر اعوجاج نامتقارن A_{ind} به شکل زیر بیان می‌شود:

1. Subjective
2. Objective
3. Average Disturbance Value

www.SID.ir

Archive of SID

$$PESQ = a_0 + a_1 D_{ind} + a_2 A_{ind} \quad (٦)$$

که در آن a_0=٤/٥، a_1=-۰/۱ و a_2=-۰/۰۳۰۹ [۱۹].

۵- تفاضل طیفی- برنامه‌نویسی ژنتیک

برای انجام عملیات بهسازی گفتار، ابتدا فایل صوتی به قاب‌هایی تفکیک می‌شود. در این مرحله، در این مقاله ابتدا بهسازی به روش تفاضل طیفی که روشی مرسوم در بهسازی گفتار است [۲۰] و [۲۱]، انجام می‌شود. اصولا دو روش تفاضل طیفی وجود دارد: یکی با استفاده از تفریق بزرگی طیف توان نویز از بزرگی طیف توان سیگنال نویزی (روش تفاضل طیفی توان[1]) و دیگری با استفاده از تفریق بزرگی طیف نویز از بزرگی طیف سیگنال نویزی (روش تفاضل طیفی بزرگی[2]). در این مقاله فقط از روش اول استفاده شده است؛ یعنی به‌منظور بهسازی به روش تفاضل طیفی، توان نویز در بازه‌های سکوت تخمین زده شده و از توان طیف هر قاب از سیگنال نویزی کاسته می‌شود. سپس به‌همراه فاز اولیه سیگنال نویزی تبدیل فوریه معکوس گرفته شده و سیگنال بهسازی شده به‌دست می‌آید [۲۰].

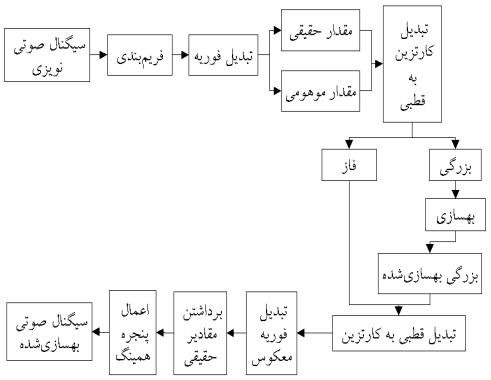
در گام بعدی، با توجه به شکل (۲) از برنامه‌نویسی ژنتیک برای بهسازی بیشتر استفاده می‌شود. در این مرحله، در قسمت آموزش، تبدیل فوریه هر قاب از سیگنالی که در یک مرحله به روش تفاضل طیفی بهسازی شده، محاسبه می‌شود. سپس نتایج تبدیل فوریه از حالت دکارتی به قطبی تبدیل شده و اندازه و فاز بردار حاصل استفاده می‌شود. مقادیر اندازه به‌دست آمده، برای آموزش به سیستم برنامه‌نویسی ژنتیک، ارائه و فاز نمونه‌های طیف داده نویزی نگاه داشته می‌شود تا بعداً به‌عنوان فاز نمونه بهسازی‌شده استفاده شوند. شکل (۱) چگونگی کار GP را در بهسازی گفتار نشان می‌دهد. وظیفه GP را مطابق شکل، نگاشت داده‌های نویزی به داده‌های تمیز در حوزه فرکانس است.

همان‌طور که در شکل (٤) دیده می‌شود، در مرحله آزمایش، عمل قاب‌بندی و به‌دست آوردن مقدار حقیقی و موهومی ضرایب تبدیل فوریه و سپس تبدیل از دکارتی به قطبی انجام می‌شود. برای بهبود بیشتر کیفیت بهسازی، مقداری هم‌پوشانی بین قاب‌ها در نظر گرفته می‌شود. بزرگی طیف فوریه، به مدل‌های GP آموزش داده شده ارائه شده و خروجی‌های هر درخت GP حاصل می‌شود. در اصل GP طیف سیگنال نویزی را به طیف سیگنال تمیز نگاشت می‌کند. خروجی‌ها به‌عنوان بزرگی طیف داده‌های بهسازی‌شده در نظر گرفته می‌شود. برای بازسازی داده صوتی، بزرگی طیف بهسازی‌شده همراه با فاز سیگنال نویزی، از قطبی به دکارتی تبدیل می‌شود. در ادامه با تبدیل معکوس فوریه نمونه‌های سیگنال تمیز شده به‌دست می‌آید. در انتها با توجه به همپوشانی در نظر گرفته شده برای قاب‌های داده نویزی اعمال شده به GP، نوعی همپوشانی و جمع[3] بر روی نمونه‌های قاب‌های بازسازی شده صورت می‌گیرد. برای این منظور قاب‌های بازسازی شده در پنجره همینگ ضرب و با در نظر گرفتن همپوشانی، با یکدیگر جمع می‌شوند. نتیجه به‌دست‌آمده، فایل صوتی بهسازی شده نهایی است.

1. Power Spectral Subtraction
2. Magnitude Spectral Subtraction
3. Overlap And Add (OLA)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤ مراحل بهسازی گفتار بـه روش برنامـه‌نویـسی ژنتیـک پیشنهادی

بردارهـای خروجـی حاصـل از درخـت‌هـای GP، بـه پردازش‌هایی نیاز دارند تا کیفیت فایل‌های بازسازی شـده بهبود یابد. یکی از مشکلات نتایج بـه‌دسـت آمـده، منفـی شـدن برخـی مقـادیر بزرگـی طیـف حاصـل از نگاشـت صورت گرفته توسط GP است که موجب پیـدایش نـویز موزیکال می‌شوند؛ برای حل این مشکل، مقادیر منفـی بـه صفر تبدیل شد. مشکل دیگر در فایل‌های بهـسازی‌شـده، ایجـاد مقـادیری بـزرگ بـرای بزرگـی طیـف در بعـضی فرکانس‌ها در قاب‌های متوالی است که در بیشتر قـاب‌هـا موجود است. نمونه‌ای از طیف‌نگاره فایـل بهـسازی‌شـده قبل از حذف این اثر در شکل (٥) نشان داده شـده اسـت. نوارهای پررنگ درون شکل به مشکل فوق مربوط هستند.

برای حل این مشکل، میانگین هر یـک از نمونـه‌هـای بزرگی طیف ظاهر شده در خروجـی GP در قـاب‌هـای متوالی محاسبه شـده و در صـورتی کـه در حـداقل ٨٠٪ مواقع دامنه یک نمونه از طیـف در قـاب‌هـای متـوالی از میانگین آن نمونه بزرگتر باشد یا در نمونه‌هـای دو سـوم انتهایی فریم‌ها، اگر مجموع اختلاف نمونه‌ها از میـانگین به‌دست آمـده، مثبـت و مقـدار نمونـه بزرگتـر از نـصف میـانگین باشـد، مقـدار نمونـه بزرگـی طیـف بـا صـفر جایگزین می‌شود. از آنجا که هـر مقـدار بزرگـی طیـف توسط یـک درخـت GP بـه‌دسـت مـی‌آیـد، ایـن بـدان معناست که درخت بدست آمده، بـرای نمونـه مـوردنظر مطلـوب نبـوده و بهتـر اسـت حـذف شـود. شـکل (٦) نمونه‌ای از فایل بهسازی‌شده به روش GP پس از حذف اثر گفته شده را نشان می‌دهد.

٦- ویژگی‌های برنامه‌نویسی ژنتیک

به دلیل آن‌که برنامه‌نویسی ژنتیک، روش مدل‌سـازی پایـه در این مقاله است، با بـه‌دسـت آوردن بهتـرین تنظیمـات، می‌توان نتایج حاصل را بهبود داده و بهینه کرد. جدول (١) مقادیر بهینه ویژگی‌های به‌دست آمده در تولید جمعیت را نشان می‌دهد.

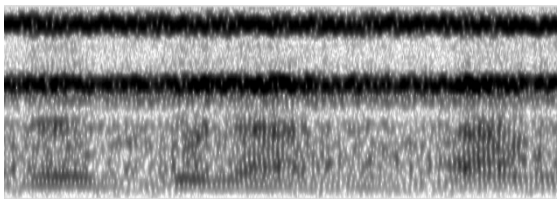
جمعیت اولیه زیاد، امکان دیـدن جوابهـای بیـشتری را ممکن می‌سازد اما مدت زمان محاسبه تـابع شایـستگی را افزایش می‌دهد؛ بنـابراین ١٠٠٠ بـه‌عنـوان جمعیـت اولیـه انتخاب می‌شود. برای دیدن حالـت‌هـای مختلـف بـا ایـن تعداد جمعیت، تعداد نسل بیشتری باید در نظر گرفته شود که ١٥٠ است.

چهار عمل اصـلی حـسابی، بـه عنـوان توابـع پایـه در مجموعه توابع در نظر گرفته شـد. بـرای بهبـود نتـایج، از لگاریتمها، جذر، سینوس و کسینوس و تانژانت نیز استفاده شد. با توجه به استفاده از توابع سینوسی، بهتر است عـدد π نیـز بتوانـد در بـرگ‌هـای درخـت GP انتخـاب شـود. محدوده عددی ٠ تـا ١٠، بـرای پوشـش محـدوده اعـداد مناسب است. بازترکیبی، از نوع «یک نقطه‌ای یکنواخـت» درنظر گرفته شده که بیانگر جابه‌جایی والدین از یک نقطه تصادفی در هر یک از آنها است. انتخـاب بازمانـدگان، بـه

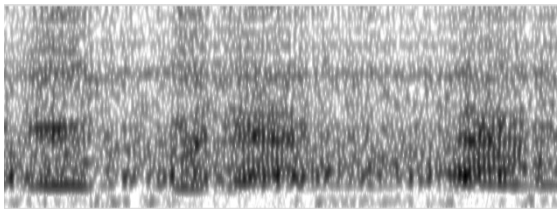
www.SID.ir

Archive of SID

روش مسابقات دوره‌ای[1] با اندازه تور برابر سه صورت می‌گیرد که به معنای انتخاب تصادفی سه فرد و برگزیدن یکی از آنها است.



شکل ۵ طیف‌نگاره داده بهسازی‌شده قبل از حذف اثر مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ



شکل ٦ طیف‌نگاره داده بهسازی‌شده با استفاده از روش GP پس از حذف اثر مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ

نخبگان و بازماندگان افرادی هستند که بدون شرکت در بازترکیبی یا جهش، به نسل بعدی منتقل می‌شوند. با توجه به انتخاب یک فرد به‌عنوان بهترین فرد نهایی، تعیین ۲۰ نخبه که بهترین‌های نسل هستند، مناسب است. بازماندگان، لزوماً بهترین‌های نسل نیستند و از بین افراد انتخاب شده به اندازه تور، انتخاب می‌شوند. جهش قوی، سه بار اعمال جهش است. مجموع نرخ جهش و جهش قوی زیاد در نظر گرفته شده تا کاهش جمعیت را جبران کند و افراد با حالت‌های متنوع‌تری دیده شوند. به‌خلاف برنامه‌نویسی ژنتیک پایه، تعدادی افراد جدید در هر نسل تولید می‌شوند تا افراد نامناسب‌تر هر نسل حذف شده و افرادی ایجاد شوند که شاید بتوانند جزو بهترین‌ها باشند.

٦-۱- جهش

در این مقاله، از چند نوع جهش استفاده شده که به تفصیل بررسی می‌شوند. در جهش، نخست عددی تصادفی تولید می‌شود که انجام یا عدم انجام جهش را با توجه به مقایسه با نرخ جهش تعیین می‌کند. سپس، در صورت انجام جهش، محل جهش به طور تصادفی انتخاب می‌شود.

جدول ۱ مقادیر ویژگی‌های تولید جمعیت

ویژگی GP	مقدار ویژگی
جمعیت اولیه	۱۰۰۰
تعداد نسل	۱۵۰
مجموعه توابع	{+ ، - ، * ، / ، sqrt ، log ، log10 ، tan ، sin ، cos}
توابع مورد استفاده در برگ	π
محدوده عدد مورد استفاده در پایانه	۰-۱۰
روش بازترکیبی	یک نقطه‌ای یکنواخت
روش انتخاب	مسابقات دوره‌ای
اندازه تور در مسابقات دوره‌ای	۳

جهش مقدار ساده[2]: اگر محل انتخاب شده برای جهش، از برگ‌ها و پایانه‌هایی باشد که مقدار عددی دارد، می‌تواند با مقدار عددی دیگری که به طور تصادفی انتخاب می‌شود، جایگزین شود. انتخاب مقادیر عددی ثابت، یکی از مهمترین مسائل در آموزش مدل GP است که برای شایسته‌تر کردن مدل‌ها در هر مسأله، به کار می‌روند. برای یافتن اعداد جایگزین و به‌منظور پیدا کردن مقادیر بهتر، از راهبرد تکاملی یا ES استفاده شده است. به‌دلیل زمانبر بودن راهبرد تکاملی، به‌عنوان جهش در نظر گرفته شده تا ضمن استفاده از بهبود ایجاد شده توسط آن، از افزایش بسیار زیاد زمان آموزش مدل‌ها جلوگیری شود.

1. Tournament

2. Simple Value

www.SID.ir

Archive of SID

جهش جایگزینی[1]: در این روش، اگر درخت به حد اشباع نرسیده باشد، می‌توان گره را با درختی تصادفی جایگزین کرد. گره انتخاب شده برای جایگزینی، همان محل جهش است که به‌طور تصادفی انتخاب شده. زیردرخت برای جایگزینی نیز به طور تصادفی تولید می‌شود. این جهش به‌منظور تکامل افراد انجام می‌شود.

جهش جایگشت[2]: در این روش، عملوندهای گره که تابع است، جایگزین یکدیگر می‌شوند. این روش لزوما بر روی تابعی انجام می‌شود که بیش از یک عملوند داشته باشد. در توابعی که بیش از دو عملوند دارند، جابه‌جایی عملوندها به‌طور تصادفی تعیین می‌شود. از این جهش به‌منظور بهینه‌سازی مدل‌ها استفاده می‌شود.

جهش ویرایش: این جهش، به کل ژنوم اعمال شده و اطلاعات اضافی و افزونه ژنوم را هرس می‌کند. از میان چند روشی که برای ویرایش به کار رفته، یک نمونه با توجه به بررسی گره و نیاز آن انتخاب می‌شود. اگر گره پایانه باشد، عملی انجام نمی‌شود و اگر تابع با عملوندهای عدد صحیح یا اعشاری باشد، تابع به عملوندها اعمال شده و مقدار نتیجه، جایگزین زیردرخت موردنظر می‌شود. اگر گره تابع ضرب یا تقسیم با عملوند صفر باشد که پاسخ را صفر می‌کند، زیردرخت با گره پایانی آن زیردرخت جایگزین می‌شود. اگر تابع جمع یا تفریق با عملوند صفر باشد که تأثیری در نتیجه ندارد، زیردرخت با ریشه عملوند غیرصفر، جایگزین درخت با ریشه گره تابع موردنظر خواهد شد. مشکل چاقی یا رشد بیش از حد درخت‌ها، یکی از مشکلاتی است که برنامه‌نویسی ژنتیک با آن درگیر است و یکی از روشهای پیشنهادی برای کنترل آن این است که ابتدا درخت هرس شده و شاخ و برگ‌های زاید آن حذف شود. در نتیجه، این جهش به قصد رفع چاقی بوده - و به دلیل اینکه زمان آموزش را افزایش داده و نیز ممکن است در بازترکیبی‌های مختلف، بخشهایی که با مدل‌های دیگر جابه‌جا می‌شوند مفید باشند - به‌صورت جهش در نظر گرفته شده و برای تمامی افراد اعمال نمی‌شود.

جهش معاوضه[3]: در این روش، هر گره با گرهی با تعداد ویژگی مشابه تعویض می‌شود؛ چنانچه گره پایانه باشد، با پایانه‌ای که می‌تواند عدد صحیح، اعشاری، توابع بدون عملوند مانند عدد π یا ویژگی باشد، تعویض می‌شود؛ چنانچه گره یکی از توابع باشد، تابعی با تعداد عملوند مشابه، به‌طور تصادفی تولید شده و با گره غیرپایانه‌ای محل جهش، جایگزین می‌شود. این جهش نیز برای بهبود دقت مدل آموزشی استفاده می‌شود.

جهش تلنگری[4]: در این روش، دو گره مجاور که تعداد ویژگی‌های مشابهی دارند، تعویض می‌شوند. چنانچه گره‌های مجاور، پایانه‌ای (که می‌توانند عدد صحیح، اعشاری، توابع بدون عملوند مانند عدد π یا ویژگی) باشند، با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. چنانچه گره‌های مجاور یکی از توابع باشند، در صورتی که تعداد عملوندهای یکسانی داشته باشند، با هم جایگزین شده و در اصل ویژگی‌های دو تابع با هم تعویض می‌شوند. از این جهش به‌منظور انتخاب بهینه‌تر ویژگی و توابع استفاده می‌شود.

٦-٢- دادگان

دادگان مورد استفاده، از دادگان گفتاری TPersianDat استخراج شده است. این دادگان در آزمایشگاه سیستم‌های

1. Substitution
2. Permutation
3. Swap
4. Flip

www.SID.ir

Archive of SID

هوشمند صوتی-گفتاری دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، در طی دو سال ضبط شده و حاوی گفتار بیش از ۱۲۰ گوینده است که هر گوینده، در پنج جلسه با سیستم تلفنی ضبط صدا تماس گرفته و در جلسات ضبط شرکت کرده است. فرکانس نمونه‌برداری ۸KHz است و نمونه‌ها ۱٦ بیتی است، که از فایل‌های PCM لگاریتمی با استاندارد A-Law به‌دست آمده.

سیستم بهسازی گفتار توسط GP، برای ۱۰ گوینده مرد آموزش داده شده است. به‌منظور آموزش درخت‌های بهسازی گفتار، از دو جلسه از گفتار هر یک از گویندگان، عبارت «روح بلند پرواز» استفاده شده است. استفاده از جملات ثابت به این دلیل است که هدف نهایی بهسازی، استفاده از گفتار بهسازی شده در تصدیق هویت گوینده وابسته به متن بوده است. در تصدیق هویت وابسته به متن، از جملات یا عبارتهایی ثابت برای انجام تصدیق هویت استفاده می‌شود. در مرحله آزمایش از سه جلسه دیگر ۱۰ گوینده با بیان همان عبارت‌ها استفاده شده است. قاب‌های استخراج شده طول ٦٤ دارند. در مرحله آموزش، قاب‌ها همپوشانی نداشته و دلیل این کار این است که زمان آموزش کوتاهتر شده و GP نیز هر یک از نمونه‌ها را یک بار دیده باشد. اما قاب‌های مرحله آزمایش، به اندازهٔ ۰/٦۷ طول فریم، همپوشانی دارند.

نویز شبیه‌سازی‌ها، از پایگاه داده نویز NoiseX انتخاب شده و از میان نویزهای موجود، سه نوع نویز سفید، کارخانه و نویز همهمه، به‌صورت جمع‌شونده با سیگنال گفتار ورودی، ترکیب شده است.

۷- نتایج و تحلیل

برای هر یک از ۱۰ گوینده، ٦٤ درخت GP به‌طور جداگانه آموزش داده می‌شود. داده آموزشی در سمت ورودی درخت GP، به صورت داده آغشته به نویز سفید با SNRهای برابر صفر، ۱۰ و ۲۰ بوده و در سمت خروجی، داده تمیز متناظر با هر یک از داده‌های ورودی قرار داده شده است. دلیل انتخاب نویز سفید برای آموزش آن است که طیف نویز سفید در تمامی فرکانس‌ها یکنواخت بوده و طیف نویزهای دیگر زیرمجموعه‌هایی از پوشش این طیف را دارند و در ضمن بدترین نتایج در آزمایشهای انجام شده از نتایج نویز سفید حاصل شده است.

برای ارزیابی کارایی روش ترکیبی پیشنهادی، نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از دو روش پایه یعنی تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک مقایسه شده است. در ضمن نتایج به‌دست آمده با نتایج روش شبکه‌عصبی نیز مقایسه شده است. علت انتخاب شبکه‌عصبی آن است که عملکردی مشابه روش برنامه‌نویسی ژنتیک داشته و منحنی را آموزش می‌دهد که داده‌های ورودی را به داده‌های خروجی نگاشت می‌کند و کارایی آنها با یکدیگر قابل مقایسه است. شبکه‌عصبی مورد استفاده، نوعی شبکه‌عصبی سه‌لایهٔ پرسپترونی است که تعداد نرون‌های لایه میانی پنج برابر نرون‌های لایه ورودی هستند. شبکه ۱۰۰۰ مرحله به‌روز می‌شود تا بهترین نتایج حاصل شود.

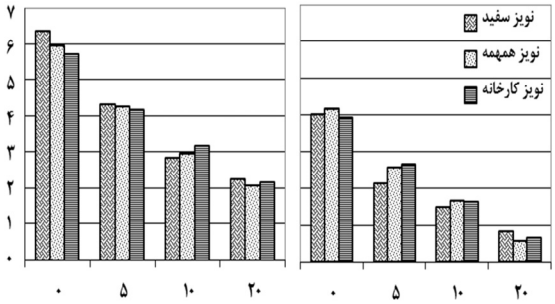
آزمایش بر روی داده‌های نویزی با ٤ نسبت سیگنال به نویز متفاوت ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ برای نویز سفید، همهمه و کارخانه انجام شده است. ارزیابی نتایج بهسازی گفتار، با معیارهای ارزیابی SNR و PESQ انجام گردید.

نخست اثر حذف مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ بر میزان بهبود SNR و PESQ بررسی شد. نتایج بررسی در شکل (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است. این شکل‌ها به‌ترتیب میزان بهبود SNR و PESQ را قبل و پس از حذف اثر مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ در روش GP نشان می‌دهند.

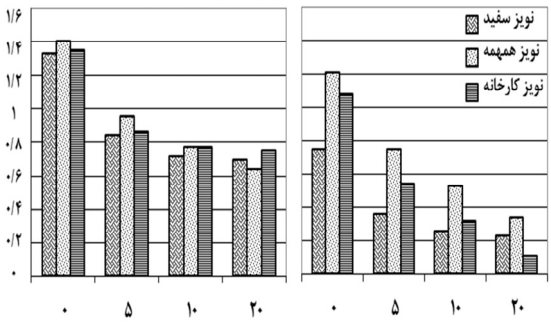
www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان می‌دهد که این مؤلفه‌های بزرگ اثر نامطلوبی بر نتایج می‌گذارند و حذف آنها نقش به‌سزایی در بهبود نتایج دارد.

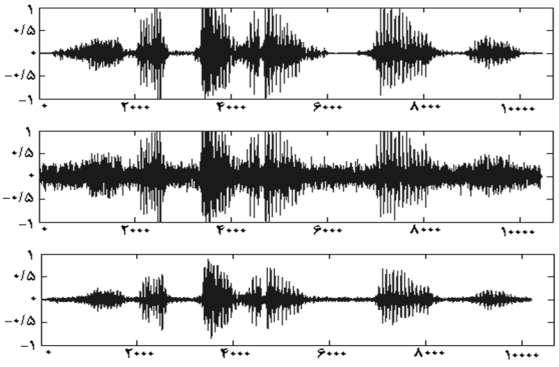


شکل ۷ میزان بهبود SNR داده نویزی با نویزهای مختلف به‌ترتیب از راست به چپ: قبل و پس از حذف اثر مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ در روش GP



شکل ۸ میزان بهبود PESQ داده نویزی با نویزهای مختلف به‌ترتیب از راست به چپ: قبل و پس از حذف اثر مؤلفه‌های طیفی با مقادیر بزرگ در روش GP

شکل (۹) گفتار تمیز، گفتار نویزی و گفتار بهسازی‌شده به روش ترکیبی تفاضل طیفی- برنامه‌نویسی ژنتیک را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که داده بهسازی‌شده کاملا شبیه به داده تمیز بوده و به‌خوبی نویز از داده نویزی حذف شده و فقط اثر اندکی از نویز بر داده بهسازی‌شده باقی مانده است.



شکل ۹ از بالا به پایین: گفتار تمیز، نویزی و بهسازی‌شده توسط روش ترکیبی

به‌منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی ترکیبی، بهسازی گفتار با استفاده از روشهای شبکه‌عصبی و تفاضل طیفی، برنامه‌نویسی ژنتیک و روش ترکیبی انجام و نتایج آنها در جدول (۲) و جدول (۳) با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با وجود موفقیت روشهای برنامه‌نویسی ژنتیک و تفاضل طیفی، روش شبکه‌عصبی نه تنها موفقیت چندانی به‌دست نیاورده بلکه در بسیاری از موارد موجب تخریب بیشتر سیگنال شده است.

مشاهده می‌شود که نتایج بهبود SNR توسط شبکه‌عصبی بسیار نامطلوب است. نتایج نشان می‌دهند که برنامه‌نویسی ژنتیک در نویزهای همهمه و کارخانه مطلوبتر عمل کرده است اما روش پیشنهادی ترکیبی، در تمامی نویزها بسیار بهتر از روشهای دیگر عمل کرده و نتایج مطلوب‌تری را ارائه می‌کند.

برای مقایسه کیفیت سیگنال بهسازی‌شده از نظر شنیداری، نتایج PESQ بهبودیافته نیز بررسی شده است. دیده می‌شود که برنامه‌نویسی ژنتیک به تنهایی نیز برتر از روشهای شبکه‌عصبی و تفاضل طیفی عمل کرده است.

اما روش ترکیبی، نتایجی بسیار مطلوبتری را ارائه کرده که نشان‌دهنده کارایی و عملکرد این روش پیشنهادی است.

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از برتری‌های روش تفاضل طیفی، محاسبات کم مورد نیاز در آن است. در این مقاله علاوه بر بررسی میزان بهبود در بهسازی گفتار توسط روشهای مورد بررسی، زمان اجرا نیز به‌عنوان معیاری برای انتخاب روش بررسی شده است. زمان اجرا روی کامپیوتر شخصی با میکروپروسسور پنتیم دو هسته‌ای با فرکانس ۲ گیگاهرتز، حافظه RAM ۱ گیگابایت و کاشهٔ ٤ مگابایت برای بهسازی گفتار «روح بلند پرواز» که در حدود ۲ ثانیه به‌طول می‌انجامد در روشهای مختلف در جدول (٤) ارائه شده است. در اینجا با توجه به اینکه طول هر قاب گفتار شامل ٦٤ نمونه در نظر گرفته شده و قاب‌ها به‌اندازه دو - سوم همپوشانی دارند و جابه‌جایی فریم‌ها به اندازه یک - سوم طول فریم است، لذا با توجه به فرکانس نمونه‌برداری ۸۰۰۰ هرتز، تعداد قاب‌ها در ۲ ثانیه گفتار در حدود ۷۵۰ قاب خواهد بود. لذا مقادیر ارائه شده در جدول (٤) زمان بهسازی برای ۷۵۰ قاب هر یک به طول ٦٤ نمونه است.

جدول ۲ میزان بهبود SNR و PESQ داده نویزی با نویزهای مختلف پس از بهسازی توسط شبکه‌عصبی و تفاضل‌طیفی

SNR	شبکه‌عصبی						تفاضل طیفی					
	نویز سفید		نویز هممهم		نویز کارخانه		نویز سفید		نویز هممهم		نویز کارخانه	
	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ
۰	-۰/۹۳	۰/۵۰	-۱/۳۷	۰/۱۸	-۱/۷۰	۰/۷۳	٤/۷۰	۰/٤٤	٤/۰۲	۰/۵۵	۳/٤۸	۰/۵۲
۵	-۲/٦۷	۰/۳۲	-۳/۲۸	۰/۰۷	-۳/۲۱	۰/۳۷	۲/۸۵	۰/٤٤	۲/٦۱	۰/۵٤	۲/٤۸	۰/۵۱
۱۰	-٤/۰۵	۰/۱۸	-٤/۲۲	۰/۰۷	-٤/۰۸	۰/۳۱	۱/٦۳	۰/٤۷	۱/۵۵	۰/۳۷	۱/۵۹	۰/٤۱
۲۰	-٤/۹۱	۰/۰۷	-٤/۸۱	۰/۰۳	-٤/۹۲	۰/۱۰	۰/٦۵	۰/۲۵	۰/٦٦	۰/۱۳	۰/٦٦	۰/۱۸

جدول ۳ میزان بهبود SNR و PESQ داده نویزی با نویزهای مختلف پس از بهسازی توسط برنامه‌نویسی ژنتیک و روش ترکیبی

SNR	برنامه‌نویسی ژنتیک						تفاضل طیفی- برنامه‌نویسی ژنتیک					
	نویز سفید		نویز هممهم		نویز کارخانه		نویز سفید		نویز هممهم		نویز کارخانه	
	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ	بهبود در مقدار SNR	بهبود در ویژگی PESQ
۰	٤/۳۰	۰/۹۵	٤/۳٤	۰/۳۷	٤/۱۲	۰/۷٦	٦/۳٤	۱/۳۳	۵/۹۲	۱/٤۱	۵/٦۹	۱/۳۵
۵	۲/٦۲	۰/۸۵	۲/۷۰	۰/۲۷	۲/۰۸	۰/٦۳	٤/۳۱	۰/۸۵	٤/۲٦	۰/۹٦	٤/۱۵	۰/۸۷
۱۰	۱/۳۵	۰/۷۲	۱/٦۰	۰/۱۵	۱/٦۰	۰/٤۳	۲/۸۲	۰/۷۲	۲/۹۳	۰/۷۷	۳/۱٦	۰/۷۷
۲۰	۰/۷٤	۰/۳۵	۰/۹۱	۰/۰۱	۱/۰۷	۰/۱٦	۲/۲۲	۰/۷۰	۲/۰٦	۰/٦٤	۲/۱٤	۰/۷۵

www.SID.ir

Archive of SID

در روش برنامه‌نویسی ژنتیک به کار رفته در بهسازی گفتار، به ازای هر قاب، ٦٤ مدل که هر یک در حقیقت یک معادله ساده ریاضی است، ارزیابی شده و فریم بهسازی شده به‌دست می‌آید. در صورتی که در روش تفاضل طیفی، به‌ازای هر قاب گفتار، باید طیف توان نویز محاسبه شده و از طیف توان سیگنال نویزی کم شود. با توجه به محاسبات مورد نیاز و زمان اجرای به‌دست آمده در جدول (٤) زمان مورد نیاز در روش بهسازی با برنامه‌نویسی ژنتیک قابل مقایسه و حتی کمتر از روش تفاضل طیفی بوده و در روش ترکیبی نیز بار محاسباتی افزایش قابل توجهی ندارد و بهسازی در زمانی کمتر از زمان فایل گفتاری که هدف بهسازی آن است صورت می‌گیرد.

جدول ٤ زمان اجرا برای بهسازی گفتار در روشهای مختلف بر حسب ثانیه

	روش بهسازی			
	برنامه‌نویسی ژنتیک	تفاضل‌طیفی	شبکه‌عصبی	ترکیبی
زمان‌اجرا	۰/۳۳	۰/٤۰	۰/۵۱	۰/٦۲

این بررسی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، در کنار بهبود نتایج از نظر زمان و حجم محاسبات مورد نیاز نیز بر سایر روشها برتری دارد.

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برنامه‌نویسی ژنتیک، یکی از قدرتمندترین الگوریتم‌های تکاملی و روشهای پردازش هوشمند است که توانایی زیادی نسبت به بیشتر روشهای یادگیری ماشین دارد و عملکرد آن با شبکه‌عصبی مقایسه می‌شود. در این مقاله فکر استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک برای بهسازی گفتار پیشنهاد شده است. برای این منظور، درخت‌هایی در روش برنامه‌نویسی ژنتیک GP آموزش داده می‌شود که داده‌های نویزی را به داده‌های تمیز نگاشت می‌کند. در این روش پس از آموزش درخت‌های GP، هر ضریب طیف فوریه قاب سیگنال به یک درخت GP داده می‌شود تا آن درخت ضریب فوریه بهسازی شده معادل را تخمین بزند. مجموعه ضرایب فوریه بهسازی شده با تبدیل معکوس فوریه به قاب گفتاری تبدیل و با جمع همپوشان قاب‌های متوالی، سیگنال گفتار بازسازی می‌شود.

در گام بعدی و به‌منظور بهبود بیشتر سیگنال بهسازی‌شده، از ترکیب دو روش تفاضل طیفی و برنامه‌نویسی ژنتیک استفاده شد. سیگنال نویزی در ابتدا توسط الگوریتم تفاضل طیفی بهسازی می‌شود و سپس خروجی به‌دست آمده به درخت‌های برنامه‌نویسی ژنتیک ارائه شده و بهسازی نهایی بر روی آن صورت می‌گیرد.

روش برنامه‌نویسی ژنتیک در مقایسه با شبکه عصبی و روش تفاضل طیفی، کارایی بهتری داشته و حدود ٤/۳- ۰/۷ دسی‌بل بهبود را در SNR نشان می‌دهد. بهبود نسبت سیگنال به نویز به روش ترکیبی، از ۲ تا ٦/۵ دسی‌بل و بسیار قابل ملاحظه است. مقایسه سه روش برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه‌عصبی و تفاضل طیفی با روش ترکیبی در بهسازی گفتار نشان داد که در مجموع روش تفاضل طیفی- برنامه‌نویسی ژنتیک نسبت به سایر روشها در کیفیت سیگنال بهسازی‌شده نتایج بهتری ارائه می‌کند.

در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود که روشهایی برای برطرف ساختن خطاهای ایجاد شده توسط برنامه‌نویسی ژنتیک بررسی شود. در ضمن، می‌توان ترکیب سایر روشها با برنامه‌نویسی ژنتیک را نیز بررسی کرده و ترکیب‌های بهتری به‌دست آورد.

www.SID.ir

Archive of SID

۹- منابع

[1] Y. Ephraim, "Statistical- Model-Based Speech Enhancement Systems," Proceedings of the IEEE, vol. 80, pp. 1526-1555, 1992.

[2] L. Cheng-Yuan and J. Jang, "New Refinement Schemes For Voice Conversion," in Proc. ICME, 2003, pp. 725-728.

[3] B. Gillett and S. King, "Transforming Voice Quality," in Eurospeech Conf., Geneva, 2003, pp. 1713-1716.

[4] B. Rivet, et al., "Mixing Audiovisual Speech Processing And Blind Source Separation For The Extraction of Speech Signals From Convolutive Mixtures," IEEE Trans. on Audio, Speech, And Language Processing, 2006.

[5] S. Boll, "Suppression of Acoustic Noise in Speech using Spectral Subtraction," IEEE Trans. on Acoust., Speech, And Signal Processing, vol. 27, pp. 113-120, 1979.

[6] P. Loizou, *Speech Enhancement: Theory and Practice*, ed: CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2007.

[7] L. Deng and D. O'shaughnessy, *Speech Processing*: Marcel Dekker Inc, 2003.

[8] H. Ding, et al., "A spectral filtering method based on hybrid wiener filters for speech enhancement," Elsevier, Speech Communication, vol. 51, pp. 259–267, 2009.

[9] M. Weiss, et al., "Study and the development of the INTEL technique for improving speech intelligibility," Nicolet Scientific Corporation, 1974.

[10] S. Kamath and P. Loizou, "A multi-band spectral subtraction method for enhancing speech corrupted by colored noise," in IEEE International. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002.

[11] Y. Lu and P. C. Loizou, "A geometric approach to spectral subtraction," Elsevier, Speech Communication, vol. 50, pp. 453–466, 2008.

[12] N. Yoma, et al., "Improving performance of spectral subtraction in speech recognition using a model for additive noise," IEEE Trans. Speech Audio Processing, vol. 6, pp. 579–582, 1998.

[13] N. Evans, et al., "An assessment on the fundamental limitations of spectral subtraction," in Proc. IEEE Internat. Conf. on Acoustics, Speech, Signal Processing, 2006, pp. 145–148.

[14] E. Zavarehei, et al., "Noisy Speech Enhancement Using Harmonic-Noise

www.SID.ir

Archive of SID

Model and Codebook-Based Post-Processing," IEEE Trans. on Audio, Speech, And Language Processing, vol. 15, pp. 1194-1203, 2007.

[15] N. Cramer, "A Representation For The Adaptive Generation of Simple Sequential Programs," in In J. Grefenstette (Ed.), Proceedings of the 1st Internat. Conference on Genetic Algorithms, 1985, pp. 183–187.

[16] J. Koza, *Genetic Programming: on The Programming of Computers By Means of Natural Selection* MIT Press, 1992.

[17] G. Liai, et al., "A New Codebook Design Method Based on Genetic Programming," IEEE, ICEMI, vol. 3, pp. 250-253, 2007.

[18] W. R. Wu and P. C. Chen, "Subband Kalman Filtering for Speech Enhancement," IEEE Trans. on Circuit and Systems, vol. 45, pp. 1072-1083, 1998.

[19] Y. Hu and P. C. Loizou, "Evaluation of Objective Quality Measures For Speech Enhancement," IEEE Trans. on Audio, Speech, And Language Processing, vol. 16, 2008.

[20] R. Martin, "Noise power spectral density estimation based on optimal smoothing and minimum statistics," IEEE Trans. Speech and Audio Processing, vol. 9, pp. 504-512, 2001.

[21] VOICEBOX is a MATLAB toolbox for speech processing. Available: http://www.ee.ic.ac.uk/hp/staff/dmb/voicebox/voicebox.html

www.SID.ir