دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی مخابرات

پایان‌نامه
برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق- مخابرات (سیستم)

عنوان

استخراج ویژگی‌های گفتار جهت استفاده در تبدیل صدا

استاد راهنما
دکتر محمدعلی طینتی

استادان مشاور
دکتر علی آقاگلزاده
دکتر بهزاد مظفری تازه‌کند

پژوهش‌گر
مرتضی فرهید

۱۳۸۷ /۵/ ۱

اسفندماه ۸۶

۹۷۰۸۵

بسمه تعالی

دانشگاه: تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان :

استخراج ویژگی‌های گفتار جهت استفاده در تبدیل صدا

استاد راهنما : دکتر محمدعلی طینتی

دانشجو : مرتضی فرهید

این پروژه تحت قرارداد پژوهشی شماره ۱۰۷۸۷-۰ ۵۰-ت مورخ ۸۶/۷/۲۳ از پشتیبانی معنوی و مادی مرکز تحقیقات مخابرات ایران بهره‌مند شده است.

تقدیر و تشکّر:

حمد و سپاس خداوند را که به نام او کار را آغاز کردیم و به یاری حضرتش به پایان رساندیم.

در اینجا بر خود وظیفه می‌دانم تا از زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغ استادراهنمای گرامی، ریاست محترم دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، جناب آقای دکتر محمدعلی طینتی که در تمام مراحل پژوهش، یاری‌گر و پشتیبان بنده بودند، تشکر و قدردانی نمایم.

هم‌چنین از مشاورین گرانقدر آقایان دکتر علی آقاگلزاده و دکتر بهزاد مظفری تازه‌کند و نیز دکتر مسعود گراوانچی‌زاده به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

هم‌چنین جا دارد که از پدر، مادر، خواهر و برادر عزیزم که در این مدت با سعه‌ی صدر خود، بنده را تحمل کردند و هر یک به نحوی در انجام این پایان‌نامه یاری‌گر من بودند، قدردانی نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس امیر کریم‌پور، مهندس سعید مشگینی و مهندس میلاد پورمحمدی که همیشه مشوق من بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم و از خدای متعال برایشان سعادت و بهروزی طلب می‌نمایم.

لازم به ذکر است که این پژوهش با پشتیبانی مادّی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام گرفته است. بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به دلیل این پشتیبانی، تشکر و قدردانی می‌کنم.

نام خانوادگی: **فرهید** نام: **مرتضی**

عنوان پایان‌نامه: **استخراج ویژگی‌های گفتار جهت استفاده در تبدیل صدا**

استاد راهنما: **دکتر محمدعلی طینتی**

استادان مشاور: **دکتر علی آقاگلزاده و دکتر بهزاد مظفری تازه‌کند**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: **مهندسی مخابرات** گرایش: **سیستم**

دانشگاه: **دانشگاه تبریز** دانشکده: **مهندسی برق و کامپیوتر**

تاریخ فارغ‌التحصیلی: **اسفندماه ۸۶** تعداد صفحه: **۱۰۰**

کلید واژه‌ها: تبدیل صدا **(VC)، استخراج ویژگی‌ها ، ضرایب کپسترال فاکتور انسانی (HFCC)، کتاب‌کد(codebook) ، تست ABX**

چکیده:

در این پایان‌نامه برای بهبود کیفیت سیستمهای تبدیل صدا، از ضرایب کپسترال فاکتورانسانی، Human factor cepstral coefficient(HFCC)، استفاده شده است. الگوریتم های موجود در تبدیل صدا شامل دو مرحله مشترک هستند: مرحله آموزش و مرحله تبدیل. در مرحله آموزش سیستم تبدیل صدا، اطلاعات را از صداهای هر دو گوینده مبدا و مقصد جمع آوری کرده و به طورخودکار قوانین تبدیل صدا را فرمول بندی می‌کند. مرحله تبدیل، قوانین تبدیل را به کار می‌گیرد تا صدای گوینده مبدا را تا حد امکان با صدای مقصد تطبیق دهد. مرحله آموزش در حالت کلی شامل سه مرحله است: مدل سازی گفتار، یکسان سازی، نگاشت صوتی.

... ادامه‌ی چکیده‌ی پایان‌نامه:

در مرحله مدلسازی صوتی، پارامترهای ویژه‌ای از شکل موج گوینده گفتار استخراج می‌گردد. این پارامترها، مشخصات بلندمدت و کوتاه مدت مربوط به صداهای مبدا و مقصد را بیان می‌کند. مرحله دوم، یکسان سازی، لازم است تا تناظر مابین تکه صداهای مبدا و مقصد را ایجاد نماید. به خاطر این واقعیت که مدت ادا (برای مثال واج ها) در افراد مختلف، متفاوت است. مرحله نهایی آموزش ، تخمین تابع نگاشت صوتی ما بین فضاهای صوتی مبدا و مقصد با استفاده از تکنیکهای یادگیری ماشین می‌باشد. مرحله تبدیل، تکنیکهای آنالیز صوتی مشابه با مرحله مدل سازی صوتی در آموزش را به کار می‌گیرد. برای یکبار پارامترهای شکل موج ورودی مشخص می شود، قوانین تبدیل صدا به کار گرفته شده تا پارامترهای متناظر مقصد را به دست آورد. تغییرات لازم روی شکل موج ورودی صورت می گیرد تا مشخصات گوینده مقصد را مطابقت دهد. در این کار، یک طرح تازه برای گسترش سیستمهای تبدیل صدا پیشنهاد و شبیه سازی شده است. ما از فاکتور HFCC برای بیان مشخصات مجرای صوتی استفاده می‌کنیم که خاصیت دسته‌بندی مجازی اصوات را دارد و برای اولین بار در سیستم تبدیل صدا پیشنهاد می‌شود.

فهرست مطالب:

بخش نخست: بررسی منابع و پژوهش‌های پیشین **۱**

پیش‌گفتار ۱

مقدمه ۲

ساختار پایان‌نامه ۵

فصل اول: بررسی منابع ۷

۱-۱ مقدمه ۸

۱-۲ تبدیل صدا بر اساس کوانتیزآسیون برداری ۸

۱-۲-۱ الگوریتم LBG ۱۴

۱-۳ تبدیل صدا بر اساس مدلهای ترکیبی گوسی ۱۹

۱-۳-۱مدل ترکیبی گوسی ۲۰

۱-۳-۲تابع تبدیل ۲۲

۱-۳-۲-۱ تابع تبدیل بر اساس SD ۲۲

۱-۳-۲-۲ تابع تبدیل بر اساس JD ۲۳

بخش دوم: مواد و روش‌ها **۲۵**

فصل دوم: مدل سازی گفتار و نحوه استخراج ویژگی ها ۲۵

۲-۱ مقدمه ۲۶

۲-۲ تولید گفتار ۲۶

۲-۳ گیرنده گفتار ۲۸

۲-۴ فریم زمانی ۲۸

۲-۵ استخراج ویژگی‌ها ۳۰

۲-۶ ویژگی‌های گفتار استفاده شده در سیستم‌های تبدیل صدا ۳۱

۲-۶-۱ ویژگی‌های در ارتباط با مدل صوتی/آوایی گفتار ۳۱

۲-۶-۲ ویژگیهای در ارتباط با تخمین خطی ۳۲

۲-۶-۳ ویژگیهای بدون در نظر گرفتن هر گونه مدل

برای سیگنال گفتار ۴۰

۲-۶-۳-۱ ضرایب MFCC ۴۰

۲-۶-۳-۲ ضرایب HFCC ۴۴

۲-۶-۳-۲-۱ فیلتر بانکهای HFCC ۴۵

فصل سوم: فاکتورهای منحصر به فرد بودن گفتار ۴۹

۳-۱ مقدمه ۵۰

۳-۲ مشخصات صوتی منحصر به فرد بودن صدا ۵۰

۳-۲-۱ مشخصات منبع صدا ۵۰

۳-۲-۲ مشخصات رزونانس مجرای صوتی ۵۱

۳-۳ نتایج تحقیقات ۵۲

۳-۳-۱نتایج تحقیقات روی مشخصات رزونانس مجرای صوتی ۵۴

۳-۴ فاکتورهای منحصر بفرد بودن گفتار در تبدیل صدا ۵۷

۳-۵ نتیجه گیری ۵۸

بخش سوم: نتیجه‌گیری و بحث ۶۰

فصل چهارم: پیاده سازی کامل تبدیل صدا ۶۰

۴-۱ مقدمه ۶۱

۴-۲ تشخیص فریم‌های صدادار و بی‌صدا و سکوت ۶۵

۴-۲-۱ استفاده از اندازه‌گیری همواری طیفی ۶۶

۴-۲-۲ استفاده از معیار انرژی و نرخ عبور از صفر و خود همبستگی نرمالیزه ۶۸

۴-۳ یکسان سازی زمانی ۶۹

۴-۳-۱ الگوریتم DTW ۷۰

۴-۳-۲ مشخصات الگوریتم DTW ۷۱

۴-۴ تولید کتاب‌کد برای گوینده مبدا ۷۸

۴-۴-۱دسته‌بندی داده ها برای گوینده مقصد ۷۸

۴-۵ تخمین pitch ۸۰

۴-۶ تغییر کانتور pitch ۸۳

۴-۷ نتایج شبیه سازی ۸۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۲

۵-۱ خلاصه ۹۳

۵-۲ پیشنهادهایی برای کارهای پژوهشی آینده ۹۴

فهرست منابع و مراجع ۹۶

فهرست شکل‌ها :

شکل ۱ ساختار کلی سیستم تبدیل صدا ۴

شکل ۱-۱ نحوه آموزش و طبقه بندی توسط کوانتیزآسیون برداری ۹

شکل ۱-۲ روش تولید نگاشت کتاب کد ۱۱

شکل ۱-۳ بلوک دیاگرام تبدیل از گوینده مبدا به گوینده مقصد ۱۲

شکل ۱-۴ فلوچارت LPC vocoder ۱۳

شکل ۱-۵ فرآیند ایجاد کتاب رمز VQ ۱۷

شکل ۱-۶ نمودار روند الگوریتم تولید کتاب رمز ۱۹

شکل۱-۷ بیان فضای صوتی پیوسته گوینده ۲۱

شکل ۲-۱ مدل آناتومی تولید گفتار ۲۶

شکل ۲-۲ حرف صدادار و بی‌صدا ۲۷

شکل ۲-۳ نحوه فریم‌بندی سیگنال گفتار ۲۹

شکل ۲-۴ پاسخ فرکانسی پنجره ۳۰

شکل ۲-۵ نمودار شکل موج گفتار و پوش طیفی آن ۳۱

شکل ۲-۶ شکل موج گفتار و اسپکتوگرام مربوطه ۳۲

شکل ۲-۷ مدل تمام قطب تولید گفتار توسط بلوک ۳۴

شکل ۲-۸ مدل دیجیتالی تولید گفتار ۳۷

شکل ۲-۹ نمودار قطبها و نگاشت فرکانسهای طیفی روی دایره واحد ۴۰

شکل ۲-۱۰ یک بانک فیلتر فاصله‌گذاری‌شده در مقیاس Mel ۴۲

شکل ۲-۱۱ نمودار بلوکی پردازش‌گر MFCC ۴۲

شکل ۲-۱۲ نحوه مقیاس Mel ۴۳

شکل ۲-۱۳ مراحل استخراج ضرایب MFCC روی یک تکه از سیگنال گفتار ۴۳

شکل ۲-۱۴ فیلتر بانکهای ضرایب HFCC ۴۵

شکل۳-۱ دو کانتور pitch برای یک جمله مشابه ولی با اداهای مختلف ۵۱

شکل۳-۲ دو کانتور pitch برای جملات خبری و پرسشی ۵۱

شکل۳-۳ مسیر فرمنت برای دو کلمه متفاوت	۵۳
شکل۳-۴ سه فرمنت اول برای یک گوینده	۵۴
شکل۳-۵ درصد شیفت فرمنت و تغیرات منحصر به فرد بودن	۵۵
شکل۳-۶ گستردگی و فشرده سازی پهنای باند و درصد هویت فرد	۵۶
شکل۳-۷ درصد تغییرات شیفت فرکانسpitch و هویت گوینده	۵۶
شکل۴-۱ ساختار کلی سیستم تبدیل صدا	۶۲
شکل۴-۲شکل موج گوینده مبدا(مرد) و گوینده مقصد(مرد)	۶۳
شکل۴-۳ طیف گوینده مبدا طیف گوینده مقصد	۶۳
شکل۴-۴ تولید نگاشت کتاب‌کد	۶۴
شکل ۴-۵ تولید کتاب‌کد های صدادار و بی‌صدا از گوینده مبدا	۶۵
شکل۴-۶ SFM اندازه گیری شده یرای یک کلمه	۶۶
شکل۴-۷ سیگنال اصلی و یک فریم صدادادار و بی صدای جداشده توسط الگوریتمS FM	۶۷
شکل۴-۸ یک سیگنال گفتار و انرژی کوتاه مدت مربوطه و نرخ عبور از صفرسیگنال	۶۹
شکل۴-۹ DTW مابین دو رشته زمانی مبدا و مقصد	۷۲
شکل۴-۱۰ محدودیت شیب برای تابع warping	۷۵
شکل۴-۱۱ مسیرهای ممکن برای DTW با استفاده از DP	۷۵
شکل۴-۱۲ مسیر DTW به دست آمده توسط معادلات DP	۷۶
شکل ۴-۱۳ سیگنال مبداء مقصد، و نسخهwarped شده مقصد	۷۶
شکل۴- اسپکتوگرام گوینده مبدا قبل و بعد از الگوریتم DTW	۷۷
شکل۴-۱۵ اسپکتوگرام گوینده مقصد قبل و بعد از الگوریتم DTW	۷۷
شکل۴-۱۶ دسته بندی داده ها برای گوینده مقصد	۷۹
شکل۴-۱۷ مرحله نهایی سیستم تبدیل صدا	۸۰
شکل۴-۱۸سه حالت برش و فشرده سازی سیگنال گفتار	۸۱
شکل۴-۱۹ اعمال تابع خودهمبستگی بدون center-clipp	۸۱
شکل۴-۲۰ اعمال تابع خودهمبستگی با center-clipp	۸۲
شکل ۴-۲۱ کانتور pitch به دست آمده توسط تابع خود همبستگی	۸۲

شکل۵- ۲۲ pitch mark های یک فریم ۸۴

شکل۴-۲۳ مقایسه بین شکل موجهای گفتار(الف)مبدا(ب) مقصد(ج)تبدیل شده ۸۵

شکل۴-۲۲ مقایسه بین طیفهای گفتارزن به مرد، طیف مبدا، طیف مقصد و
طیف تبدیل شده ۸۵

شکل۴- ۲۵ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده مبدا ۸۶

شکل۴-۲۶ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده مقصد ۸۶

شکل۴-۲۷ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده تبدیل شده زن به مرد(باHFCC) ۸۷

شکل۴-۲۸ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده تبدیل شده زن به مرد(باMFCC) ۸۷

شکل ۴-۲۹ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده تبدیل شده مرد به زن(باHFCC) ۸۷

شکل ۴-۳۰ مسیر سه فرمنت اول برای گوینده تبدیل شده مرد به زن(باMFCC) ۸۸

شکل۴-۳۱ رابطه تعداد ضرایبMFCC با MOS در کلاسترهای مختلف ۸۹

شکل۴-۳۲ رابطه تعداد ضرایبHFCC با MOS در کلاسترهای مختلف ۹۰

شکل۴-۳۳ تست ABX ۹۲

فهرست جدول‌ها:

جدول ۲-۱ مشخصات مربوط به پنجره‌ها ۳۰

جدول ۴-۱ امتیازدهی MOS ۸۹

فهرست اختصارات:

DCT	Discrete cosine transform
DTW	Dynamic Time warping
EM	Expectation Maximization
GMM	Gaussian Mixture Model
HFCC	Human factor cepstral coefficient
LAR	Log Area Ratios
LBG	Linde-Buzo-Gray
LP	Linear Prediction
LPC	Linear Predictive Coding
LSF	Linear Spectral Frequencies
MFCC	Mel Frequency Cepstrum Coefficients
MLP	Multi-Layer Perceptron
MOS	Mean opinion score
PC	Predictive Coefficients
RBF	Radial Basis Function
RC	Reflection Coefficients
SVM	Support Vector Machine
VQ	Vector Quantization
VC	Voice conversion

پیش گفتار

Introduction

مقدمه

سیگنال گفتار[۱] حاوی چندین نوع اطلاعات است، بخشی مربوط به کلمات گفتار و بخش دیگر شامل هویت گوینده یا همان منحصر به فرد بودن[۲] صدا می باشد. یکی از اطلاعات مهم که سیگنال گفتار دربر دارد مربوط به هویت گوینده است. مثلا زمانی که با کسی از پشت تلفن صحبت می کنیم ، بدون دیدن او، قادر به تشخیص هویت وی می باشیم. البته اطلاعات دیگری مانند کلمات گفته شده، حالت احساسی فرد و محیط (جایی که شخص سخن گفته است) نیز قابل دسترسی است. جداسازی مشخصات گفتار و گوینده از سیگنال، یکی از چالشهای مهم در زمینه پژوهشهای گفتار است. استخراج اطلاعات مربوط به کلمات، تمرکز اصلی تشخیص گفتار[۳] می‌باشد. از سوی دیگر، تبدیل صدا[۴] با تکنیکهایی سروکار دارد که هویت گوینده را از یک سیگنال گفتار اقتباس کرده به روشی مناسب به گوینده دیگر تبدیل می‌کند. هدف از سیستم های تبدیل صدا، تبدیل گفتار یک شخص (گوینده مبدا[۵]) به طوری که شنونده تصور کند توسط شخص دیگری (گوینده مقصد[۶]) ادا شده است. هدف از این پژوهش، بسط و گسترش سیستمهای تبدیل گفتار، طوری که بتواند صدای دلخواه را تقلید کند یا یک صدای جدید با مشخصات دلخواه را ایجاد نماید. الگوریتمهای موجود در تبدیل صدا شامل دو مرحله مشترک هستند: مرحله آموزش[۷] و مرحله تبدیل[۸]. سیستم تبدیل صدا، در مرحله آموزش، اطلاعات را از صداهای هر دو گوینده مبدا و مقصد جمع آوری کرده وبه طورخودکار قوانین تبدیل صدا را در مرحله تبدیل، فرمول بندی می‌کند. مرحله تبدیل، قوانین تبدیل را به کار می‌گیرد تا صدای گوینده مبدا را تا حد امکان با صدای مقصد تطبیق دهد.

---

[1] Speech
[2] Individuality
[3] Speech recognition
[4] Voice conversion
[5] Source speaker
[6] Target speaker
[7] Training stage
[8] Transformation stage

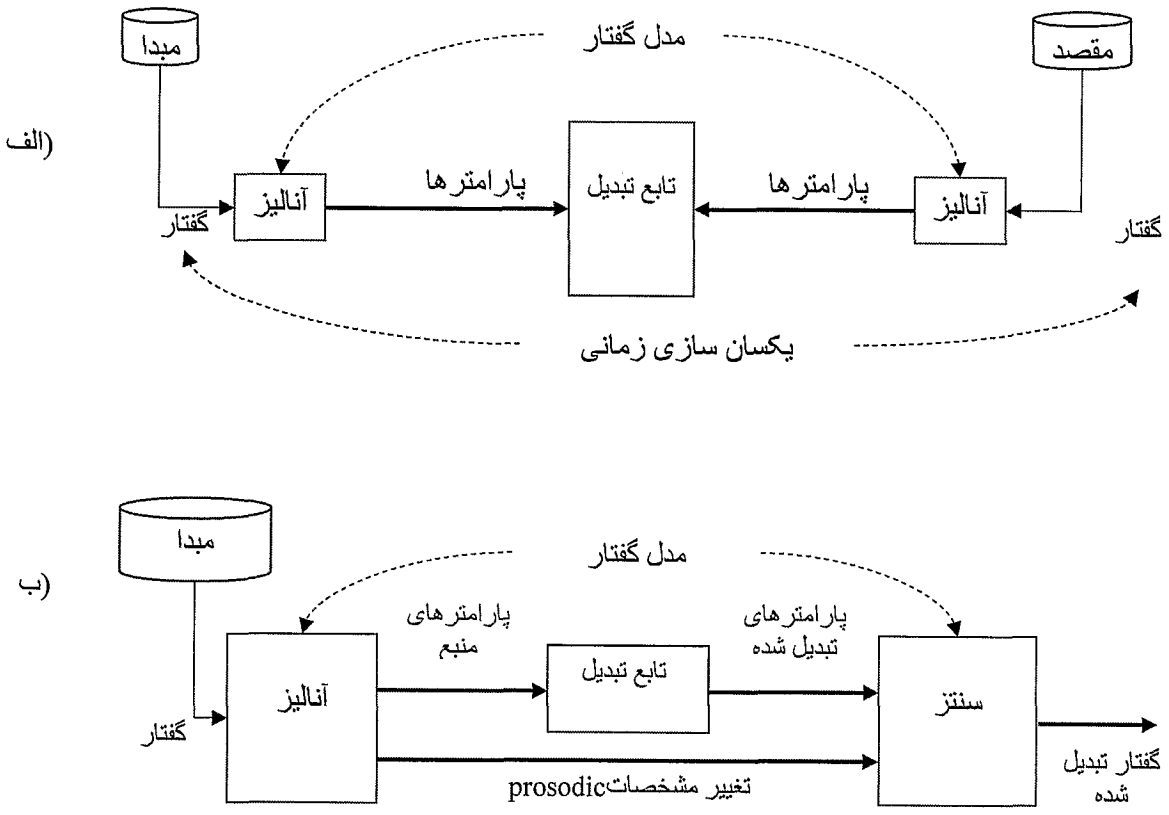
مرحله آموزش در حالت کلی شامل سه مرحله است: مدل سازی گفتار، یکسان سازی[۹]، نگاشت صوتی[۱۰].

در مرحله مدلسازی صوتی، پارامترهای ویژه‌ای از شکل موج گوینده گفتار استخراج می‌گردد. این پارامترها، مشخصات بلند مدت[۱۱] و کوتاه مدت [۱۲] مربوط به صداهای مبدا و مقصد را بیان می‌کند. مرحله دوم، یکسان سازی، لازم است تا تناظر مابین تکه صداهای مبدا و مقصد را ایجاد نماید. به خاطر این واقعیت که مدت ادا (برای مثال واج ها[۱۳]) در افراد مختلف، متفاوت است. مرحله نهایی آموزش، تخمین تابع نگاشت صوتی ما بین فضاهای صوتی مبدا و مقصد با استفاده از تکنیکهای یادگیری ماشین می‌باشد. مرحله تبدیل، اعمال قوانین تابع تبدیل به دست آمده در مرحله آموزش است. برای یکبار پارامترهای شکل موج ورودی مشخص می شود، قوانین تبدیل صدا به کار گرفته شده تا پارامترهای متناظر مقصد را به دست آورد. تغییرات لازم روی شکل موج ورودی صورت می گیرد تا مشخصات گوینده مقصد را مطابقت دهد. تبدیل صدا می‌تواند کاربردهای مختلفی از جمله در سازگاری سیستم‌های متن به گفتار[۱۴] (قادر به خواندن نامه الکترونیکی افراد با صدای خود فرستنده ویا هر صدای دلخواه دیگر)، سرگرمی‌های رسانه‌ای [11] (دوبلاژ فیلم‌ها و سیستم Karaoke)، کاربردهای پزشکی (بازسازی صدای افرادی که آسیب دیده‌اند، با استفاده از ثبت صداهای گذشته وی)، کاربردهای امنیتی و یا حتی تغییر صدای خود افراد داشته باشد. یک چالش مهم دیگر در زمینه تبدیل صدا، مستقل از زبان گویش بودن[۱۵] [20] است که باعث ارتباط راحت‌تر افراد با زبانهای مختلف می‌شود. به این ترتیب که منحصر به فرد بودن صدا در زبانهای مختلف، حفظ می‌گردد.

---

[9] Alignment
[10] Acoustic mapping
[11] long-term
[12] Short-term
[13] phonemes
[14] Text-to-speech adaptation
[15] Cross-language voice conversion

در شکل ۱-۱ ساختار کلی سیستم تبدیل صدا و مراحل آموزش و تبدیل-بازسازی نشان داده شده است. مرحله آموزش، قسمت off-line سیستم (شکل۱ (الف)) و مرحله تبدیل-بازسازی، بخش on-line سیستم تبدیل صدا (شکل۱ (ب)) است.



شکل ۱: ساختار کلی سیستم تبدیل صدا(الف) مرحله آموزش(ب) مرحله تبدیل

در این کار، یک طرح تازه برای گسترش سیستمهای تبدیل صدا پیشنهاد و شبیه سازی شده است. قبل از استخراج ویژگی‌ها، ما سیگنال گفتار را بعد از حذف بخش سکوت، به دو دسته صدادار و بی‌صدا تقسیم می‌کنیم. در ادامه برای بیان مشخصات مجرای صوتی از فاکتور Human factor cepstral coefficient(HFCC) استفاده می‌شود،که خاصیت دسته‌بندی مجازی اصوات را دارد و برای اولین

بار در سیستم تبدیل صدا پیشنهاد می‌گردد. سپس سیستم را وارد مرحله یادگیری کرده (data grouping) و قوانین تبدیل را برای سیستم، آموزش می‌دهیم. ضرایب HFCC تبدیل شده به علاوه سیگنال تحریک تغییر یافته، آماده برای بازسازی گفتار دلخواه می‌باشد.

ساختار پایان‌نامه

ساختار پایان‌نامه شامل دو بخش است. بخش اول شامل پیش‌گفتار و فصل های اول و دوم بوده و بخش دوم دربرگیرنده فصل های چهارم و پنجم می‌باشد. فصل اول به بحث در مورد کارهای انجام گرفته در سیستم‌های تبدیل صدا می‌پردازد. این مرور، شامل بررسی کلی روشهای تبدیل صدا و توضیح مبسوط دو الگوریتم از آنها، یعنی کوآنتیزاسیون برداری[۱۶] (به عنوان اولین روش تبدیل صدا) و دیگری مدلهای ترکیبی گوسی[۱۷] (روشی با کارایی بالا) است.

فصل دوم درباره نحوه مدل‌سازی سیگنال گفتار و نحوه فریم‌بندی سیگنال گفتار استخراج ویژگی‌های مختلف از روی سیگنال گفتار می‌باشد. در این فصل در مورد نحوه استخراج ویژگی مورد استفاده در سیستم تبدیل صدای پیشنهادی یعنی ضرایب HFCC و فیلتر بانکهای مربوطه توضیح داده خواهد شد.

فصل سوم درباره فاکتورهای منحصر به فرد صدای افراد خواهد بود. بدین‌منظور، یک بحث کلی در مورد پارامترهای صوتی داریم و پارامترهایی را بررسی می‌کنیم که بیشترین تاثیر در منحصر به فرد صدای افراد را دارند.

فصل چهارم شامل شرح کامل سیستم تبدیل صدا و شبیه سازی آن، خواهد بود.

---

16 Vector quantization(VQ)
17 Gaussian Mixture Models(GMM)

بالاخره، در فصل پنجم، از مطالب و مباحث مطرح شده در این پایان‌نامه نتیجه‌گیری شده و هم چنین پیشنهادهایی برای برخی از کارهای پژوهشی که در آینده می‌تواند روی سیستم‌های تبدیل صدا انجام گیرد، ارائه می‌گردد.

فصل اول: بررسی منابع

Chapter one: Review of Pervious Works