بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه کامپیوتر

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی

ارزیابی خودکار میزان رضایت کاربر از کیفیت مکالمه صوتی

استاد راهنما:

دکتر ناصر موحدی نیا

استاد مشاور:

دکتر بهروز شاهقلی قهفرخی

پژوهشگر: حمید رضا حسنی

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتـایج مطالعـات، ابتکـارات و نـوآوری هـای ناشـی از تحقیـق موضوع این پایان نامـه متعلـق بـه دانشـگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه کامپیوتر

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی آقای حمیدرضاحسنی تحت عنوان

ارزیابی خودکار میزان رضایت کاربر از کیفیت مکالمه صوتی

در تاریخ ۹۰/۷/۲۳ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

1- استاد / استادان راهنمای پایان نامه دکتر ..... با مرتبه علمی دانشیار امضاء .....

2- استاد / استادان مشاور پایان نامه دکتر ..... بامرتبه علمی استادیار امضاء .....

3- استاد / استادان داور داخل گروه دکتر ..... با مرتبه علمی استادیار امضاء .....

4- استاد / استادان داور خارج از گروه دکتر ..... بامرتبه علمی استادیار امضاء .....

امضاء مدیر گروه آموزشی .....

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام و کلیه کسانیکه در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده اند کمال تشکر را بنمایم .

و به طور ویژه از همسر مهربانم که با صبر و تحمل زیاد و همفکری‌های مهربانه خود، انجام پروژه را برای من آسانتر کرد، تشکر می‌کنم.

همچنین از زحمات جناب آقای دکتر ناصر موحدی نیا که با راهنمایی‌های خود، بنده را در به اتمام رساندن پروژه یاری فرمودند و جناب آقای دکتر بهروز شاهقلی که در تمامی مراحل پروژه با کمک‌های بیش از اندازه و دوستانه خود، در پیش بردن مراحل پروژه و اتمام آن به بنده کمک کردند، کمال تشکر را می‌نمایم.

چکیده

روند روز افزون گسترش شبکه‌های بی‌سیم و در صدر توجه قرار داشتن مکالمات صوتی در این شبکه‌ها، موجب شده است تا تأمین رضایت کاربران از سرویس مکالمه صوتی از اهمیت بالایی برخوردار شود. کیفیت در این حوزه به دو روش کلی فردی و عینی ارزیابی می‌گردد. در روش‌های مبتنی بر ارزیابی فردی، در یک محیط آزمایشگاهی، از کاربران راجع به کیفیت سیستم مورد آزمایش سوأل شده و متوسط نظر آنها به عنوان نظر کاربر نهایی در نظر گرفته می‌شود. در روش‌های ارزیابی عینی، تخریبی که بر اثر عبور سیگنال صحبت از کانال مورد آزمایش ایجاد شده است، محاسبه شده و به عنوان تخمینی از روش فردی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش‌های متداول برای ارزیابی میزان رضایت کاربر یا آزمایشگاهی، غیر وابسته به شرایط محیطی و پر هزینه بوده (روش‌های ارزیابی فردی) و یا اینکه تنها تخمینی از میزان کیفیت مکالمه صوتی را ارائه می‌دهند (روش‌های ارزیابی عینی). علاوه بر این، مشخصات فردی کاربر مثل سلایق، شرایط روحی کاربر و همچنین شرایط محیطی و زمانی مکالمه (که در میزان رضایت و دریافت کاربر از کیفیت مکالمه صوتی تأثیرگذار می‌باشند) در روش‌های گذشته مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

در این تحقیق دریافت کاربر از کیفیت ارتباط صوتی مد نظر قرار داده شده و با بررسی رفتار صوتی و عکس‌العمل‌های کاربر، میزان رضایت کاربر نهایی نسبت به کیفیت مکالمه، ارزیابی شده است. رفتارهایی که در مدل ارائه شده بررسی می‌گردند، شامل بار درکی، هیجان و رفتار کاربر می‌باشند که از روی صحبت‌های وی استنباط می‌شوند. در حین مکالمه، این رفتارها به عنوان عکس العمل کاربر نسبت به کیفیت مکالمه ارزیابی شده و بر اساس آن میزان کیفیت مکالمه در مدل نهایی بدست می‌آید. نتایج مقایسه روش پیشنهادی و استاندارد ارزیابی عینی یکطرفه در مقایسه با نظر کاربر، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد موارد نتایجی بهتر یا بسیار نزدیک به خروجی روش P.563 داشته‌اند.

کلمات کلیدی: کیفیت دریافت کاربر، کیفیت مکالمه صوتی، رفتار صوتی کاربر، هیجان، بار درکی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول مقدمه

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ مقدمهای راجع به کیفیت دریافت ۲

۱-۳ راهکار ارائه شده ۱۰

۱-۴ جمع بندی ۱۲

فصل دوم پیشینه

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ بررسی کارهای انجام شده در زمینه ارزیابی کیفیت دریافت کاربر ۱۵

۲-۳ بررسی رفتار کاربر در کاربردهای مختلف ۱۹

۲-۴ بررسی کارهای انجام شده در زمینه ی ارزیابی بار درکی و هیجان ۱۹

۲-۵ جمع بندی ۲۳

فصل سوم راهکار پیشنهادی

۳-۱ مقدمه ۲۵

۳-۲ بار درکی ۲۶

۳-۲-۱ داده های آزمون ۲۸

۳-۲-۲ روش محاسبه بار درکی ۳۰

۳-۲-۳ نرمال سازی بار درکی ۳۴

۳-۳ محاسبه هیجان کاربر از روی صوت ۳۴

۳-۳-۱ روش محاسبه هیجان ۳۵

عنوان **صفحه**

۳-۳-۲ داده های آزمون و کلاسه بندی ۳۶

۳-۳-۳ نرمال سازی هیجان ۳۶

۳-۴ مدل نهایی ۳۸

۳-۵ جمع بندی ۴۲

فصل چهارم نتایج ارزیابی

۴-۱ مقدمه ۴۳

۴-۲ ایجاد محیط آزمون مکالمه ۴۳

۴-۳ نتایج بدست آمده از ارزیابی بار درکی ۴۶

۴-۴ نتایج بدست آمده از مدل نهایی ۴۹

۴-۴-۱ نتایج ارزیابی بدون در نظر گرفتن تکرار لغات ۴۹

۴-۴-۲ نتایج ارزیابی مدل نهایی با در نظر گرفتن تکرار لغات ۵۳

۴-۴-۳ مقایسه نتایج خروجی مدل با خروجی روش ارزیابی عینی یکطرفه P.563 ..... ۵۵

۴-۵ جمع بندی ۵۹

فصل پنجم جمع بندی و ارائه پیشنهادات ۶۰

مراجع ۶۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: کیفیت در سیستم‌های انتقال [۲] ۳

شکل ۱-۲: تخمین کیفیت به روش دو طرفه ۶

شکل ۱-۳: تخمین کیفیت به روش یکطرفه ۷

شکل ۱-۴: مقایسه ارزیابی یکطرفه و دوطرفه ۸

شکل ۱-۵: جایگاه روش ارائه شده در مقایسه با سایر روشها ۱۱

شکل ۲-۱ مقایسه بدست آوردن هیجانات در ۹ کشور مختلف [۴۳] ۲۳

شکل ۳-۱: فرآیند یادگیری و استفاده از بار درکی ۲۸

شکل ۳-۲: نمونه ای از کارتهای آزمون استروپ ۲۹

شکل ۳-۳: دیاگرام پردازش طیفی برای حذف نویز [۵۵] ۳۳

شکل ۳-۴: فرآیند یادگیری و استفاده از هیجان کاربر ۳۵

شکل ۳-۵: روند یادگیری و استفاده از مدل نرمال بار درکی و هیجان ۳۸

شکل ۳-۶: مدل نهایی پیشنهاد شده برای تعیین میزان رضایت کاربر در حین مکالمه ۳۹

شکل ۳-۷: نمونه ای از یک شبکه عصبی با سه نود ورودی، دو نود میانی و دو نود خروجی ۴۰

شکل ۴-۱: نمونه ای از جدول iSCT ۴۴

شکل ۴-۲: برنامه نظرخواهی پیرامون کیفیت ۴۶

شکل ۴-۳: بار درکی کاربر در یک مکالمه صوتی ۴۷

شکل ۴-۴: بخشی از میزان بار درکی کاربر در یک مکالمه صوتی طولانی تر ۴۸

شکل ۴-۵: میزان بار درکی کاربر در مکالمه صوتی سوم ۴۸

شکل ۴-۶: خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر A بدون در نظر گرفتن تکرار لغات ۴۹

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۷: خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر B بدون در نظر گرفتن تکرار لغات ۴۹

شکل ۴-۸: میانگین گیری از خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر A بدون در نظر گرفتن تکرار لغات ۵۰

شکل ۴-۹: میانگین گیری از خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر B بدون در نظر گرفتن تکرار لغات ۵۱

شکل ۴-۱۰: آستانه گذاری نظر کاربر ۵۲

شکل ۴-۱۱: خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر A با در نظر گرفتن تکرار لغات ۵۳

شکل ۴-۱۲: خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر B با در نظر گرفتن تکرار لغات..... ۵۳

شکل ۴-۱۳: میانگین گیری از خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر A با در نظر گرفتن تکرار لغات..... ۵۴

شکل ۴-۱۴میانگین گیری از خروجی مدل ارائه شده در مقایسه با نظر مستقیم کاربر B با در نظر گرفتن تکرار لغات..... ۵۴

شکل ۴-۱۵: نمودار میله ای مقایسه مدل ارائه شده، با P.563 و نظر کاربر A در بازه های زمانی کیفیت پایین و کیفیت بالا ۵۶

شکل ۴-۱۶: مقایسه مدل ارائه شده، با P.563 و نظر کاربر A در بازه های زمانی کیفیت پایین و کیفیت بالا..... ۵۷

شکل ۴-۱۷ نمودار میله ای مقایسه مدل ارائه شده، با P.563 و نظر کاربر B در بازه های زمانی کیفیت پایین و کیفیت بالا ۵۷

شکل ۴-۱۸مقایسه مدل ارائه شده، با P.563 و نظر کاربر B در بازه های زمانی کیفیت پایین و کیفیت بالا..... ۵۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: نتایج تخمین کیفیت بدون در نظر گرفتن تکرار، کاربر A ۵۲

جدول ۴-۲: تخمین کیفیت بدون در نظر گرفتن تکرار، کاربر B ۵۲

جدول ۴-۳: تخمین کیفیت با در نظر گرفتن تکرار، کاربر A ۵۵

جدول ۴-۴: تخمین کیفیت با در نظر گرفتن تکرار، کاربر B ۵۵

جدول ۴-۵: اختلاف خروجی مدل ارائه شده و استاندارد P.563 با نظر کاربر A ۵۸

جدول ۴-۶: اختلاف خروجی مدل ارائه شده و استاندارد P.563 با نظر کاربر B ۵۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

به دلیل نقش مهم کیفیت مکالمات صوتی در رضایت کاربر[1] و در نتیجه افزایش مشتری و یا حفظ مشتری‌های فعلی، توجه به کیفیت دریافت کاربر از مکالمه، امروزه به یک موضوع مهم در مدیریت شبکه‌های تلفنی تبدیل شده است. در سال‌های اخیر، سرویس‌دهی صوتی در حال انتقال از سرویس‌دهی در مکان ثابت به سرویس‌دهی با قابلیت جابجایی است. در کنار این گسترش روز افزون، کاربران این شبکه‌ها انتظار دارند بدون توجه به مکان و نوع تکنولوژی که استفاده می‌کنند، کیفیت مکالمه آنها مانند شبکه ارتباط سیمی رضایت بخش باشد. بحث مشابهی، پیرامون ارتباطات صوتی مبتنی بر IP[2] نیز قابل طرح است، چرا که در این نوع سرویس‌ها نیز کیفیت کانال شرایط ناپایداری دارد و نسبت به متغییرهای مختلف (مثل ترافیک خطوط و میزان کاربران برخط[3]) تغییر می‌کند، لذا کاربران انتظار کیفیت مطلوبی را دارند.

---

[1] User Satisfaction
[2] Voice Over IP (VoIP)
[3] Online

برای نیل به این مقصود، دخیل کردن نظر کاربر در تصمیم‌گیری‌های مهم شبکه نظیر دست به دست کردن[1] ارتباطات [۱]، در سال‌های اخیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در این پژوهش بر مبنای عکس العمل کاربر نسبت به کیفیت دریافت شده، میزان رضایت وی ارزیابی می‌شود. در روش ارائه شده علاوه بر اینکه کیفیت به صورت برخط قابل ارزیابی می‌باشد، ارزیابی کاملا منطبق بر نظر کاربر بوده و کلیه شرایط محیطی و روحی کاربر در آن مدنظر قرار می‌گیرد. کاربر روش فوق در کلیه بسترهایی است که کیفیت متغییری وجود داشته و بدست آوردن رضایت کاربر در آنها از اهمیت برخوردار است. به عنوان نمونه‌ای از این بسترها می‌توان به چت‌های صوتی، انتقال صحبت در بستر IP و تلفن‌های همراه اشاره نمود.

در ادامه این فصل در بخش ۱-۲ مقدمه‌ای راجع به کیفیت دریافت و مشکلات موجود خواهد شد. در ادامه و در بخش ۱-۳ راه کار ارائه شده و کاربردهای آن بیان می‌گردد و در نهایت در بخش ۱-۴ جمع بندی فصل آورده شده است.

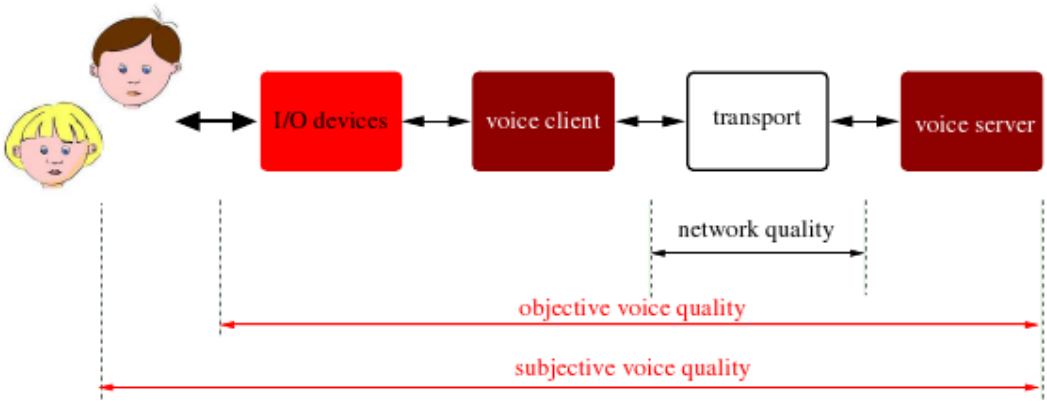
۱-۲ مقدمه‌ای راجع به کیفیت دریافت

برای اینکه بتوان کاربران را راضی نگه داشت، باید به نوعی نظر کاربر نسبت به ارتباطی که برقرار شده است را بررسی نمود و در صورت عدم رضایت کاربر، با تغییر پارامترهای شبکه، کاربر را راضی نگه داشت. اما اینکه از کاربر خواسته شود که در هر لحظه نظر خود راجع به کیفیت مکالمه را بگوید، برای کاربر خسته کننده بوده و موجب عدم رضایت کاربر می‌شود، بنابراین باید نظر کاربر به طور خودکار دریافت شده و بر مبنای آن تصمیم‌گیری شود.

اندازه‌گیری کیفیت خطوط ارتباطی با روش‌های متعدد و در سه رده کلی، نشان داده شده در شکل۱-۱ [۲] مشخص می‌شود. رده اول کیفیت در سطح شبکه[2] است که کیفیت را با در نظر گرفتن خصوصیات کانال ارتباطی و پارامترهای کیفی شبکه مثل تاخیر[3] و لرزش[4] محاسبه می‌کند. بنابراین کیفیت ارتباط از دیدگاه شبکه را می‌توان به QoS نزدیک دانست.

---

[1] Handover
[2] Network Quality
[3] Delay
[4] Jitter



شکل ۱-۱: کیفیت در سیستم‌های انتقال /۲/

تأثیر سرویس ارائه شده بر کاربر در تعیین میزان رضایت وی از سرویس را QoS می‌گویند [۳]. می‌توان گفت QoS با ترکیب مشخصات مختلف سرویس مثل پشتیبانی سرویس، کارائی عملکرد سرویس و امنیت سرویس تعیین می‌شود [۳]. رضایت کاربر از عوامل متعددی تاثیر می‌پذیرد که بخش‌های مختلفی از سیستم ارتباطی (که بعضا در QoS مطرح هستند) می‌توانند در آن تاثیر گذار باشند.

پارامترهایی که در نهایت منجر به رضایت کاربر می‌شوند، به طور کامل توسط QoS بررسی نمی‌گردند. برای در نظر گرفتن تمام مسائلی که منجر به رضایت کاربر می‌گردند، اصطلاح دیگری تحت عنوان کیفیت تجربی[۱] (QoE) مطرح گردید [۴]. کیفیت تجربی در توصیه‌نامه P.10/G.100 به این صورت تعریف شده است: «تمام مسائلی که با توجه به دریافت و نظر کاربر منجر به پذیرفته شدن یک سیستم یا کاربرد[۲] می‌گردند را کیفیت تجربی می‌گویند». طبق این تعریف بر خلاف QoS، تمام مسائل انتها به انتها مثل مشتری[۳]، پایانه نهایی[۴]، شبکه و زیربنای سرویس[۵] در تعریف QoE جای می‌گیرند [۴]. با توجه به مفهوم QoE، اندازه‌گیری کیفیت، نیاز به درک انسانی دارد و باید توسط کاربر نهایی اندازه‌گیری شود، این درحالی است که QoS توسط بخش دیگری غیر از کاربر نهایی، مثل سازنده سیستم قابل ارزیابی است [۵].

---

[1] Quality of Experience
[2] Application
[3] Client
[4] Terminal
[5] Service infrastructure

بنابراین برای اینکه روش‌های ارزیابی کیفیت بتوانند به تخمین کیفیت دریافت کاربر نهایی نزدیک‌تر شوند، کیفیت در دو رده دیگر می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد که عبارتند از: فردی[۱] و عینی[۲] (جایگاه ارزیابی فردی و عینی در شکل۱-۱ مشخص شده است).

در این دو روش علاوه بر مشکلات شبکه که باعث افت کیفیت یا کاهش رضایت کاربر می‌شوند، پارامترهای دیگری مثل شیوه کدینگ، دیجیتال و آنالوگ کردن سیگنال صحبت، نویزهای محیطی و به طور کلی تمام عواملی که از لحظه دریافت سیگنال صحبت توسط میکروفن، تا تبدیل سیگنال از آنالوگ به دیجیتال، انتقال و در نهایت تبدیل مجدد از دیجیتال به آنالوگ وجود دارد، در نظر گرفته می‌شوند. در این دو رده ارزیابی، حتی انتظار می‌رود تا نویزهای محیطی که در لحظه ضبط صدا و یا کیفیت بد وسیله ضبط کننده وجود دارند و یا به طور کلی عواملی که باعث ایجاد تخریب در سیگنال صحبت می‌شوند، در محاسبات نهایی در نظر گرفته شوند.

در رده ارزیابی فردی، از چند کاربر خواسته می‌شود تا با گوش دادن به یک مکالمه زنده یا از قبل ضبط شده، به کیفیت آن امتیازی بدهند. ارزیابی میزان رضایت کاربر از کیفیت ارتباط در استاندارد P.800.1 موسسه بین‌المللی ITU-T تحت عنوان MOS بیان شده است. MOS در P.800.1 به این صورت تعریف شده است:

«متوسط درجه رضایت[۳] (MOS) میزان ارزشی است که کاربر به نظر خود (با مقیاس از قبل تعریف شده) در رابطه با میزان کیفیت سیستم انتقال دهنده تلفنی چه در حالت مکالمه و چه در حالت فقط گوش دادن نسبت می‌دهد [۶]»

توصیه نامه ITU-T، متوسط درجه رضایت (MOS) را در پنج سطح: بد[۴]، ضعیف[۵]، متوسط[۶]، خوب[۷] و عالی[۸] دسته‌بندی می‌کند، البته مقیاس‌های دیگری مثل مقیاس‌های هفت گانه یا مقیاس‌های ده گانه، نیز ایجاد شده‌اند. در این پروژه از همان مقیاس توصیه شده در ITU-T یعنی MOS در پنج سطح، بهره برده شده است. بنابراین روش ارزیابی فردی مستقیماً با نظر کاربر نهایی در ارتباط است و می‌توان گفت این روش دقیق‌ترین

---

[1] Subjective
[2] Objective
[3] Mean Opinion Score
[4] Bad
[5] Poor
[6] Fair
[7] Good
[8] Excellent

سیستم ارزیابی کیفیت مبتنی بر نظر کاربران انسانی است که تا کنون مطرح شده است. مشکل اساسی که در این روش وجود دارد، آزمایشگاهی، پر هزینه و زمان‌گیر بودن آن است که امکان استفاده از آن در کاربردهای برخط را منتفی می‌کند. از طرفی در این روش به جای در نظر گرفتن نظر کاربر نهایی، متوسط نظر چندین کاربر در نظر گرفته می‌شود که معمولا کاربران نهایی، استفاده کننده از سیستم نیز نمی‌باشند. به عنوان مثال برای کدینگ‌های مختلف مثل GSM[1]، PCMA[2] و PCMU[3] نظر چندین کاربر در یک محیط آزمایشگاهی جمع‌آوری شده و با توجه به متوسط نظر آن‌ها، امتیازی برای هر کدینگ در نظر گرفته می‌شود.

برای فائق آمدن بر مشکل آزمایشگاهی و پر هزینه بودن روش ارزیابی فردی، روش ارزیابی عینی مورد استفاده قرار گرفت. در این روش به جای در نظر گرفتن متوسط نظر کاربران، سعی می‌شود تا با محاسبه تخریبی که در اثر عبور صوت از کانال به وجود آمده، تخمینی از ارزیابی فردی زده شود.

مرجع [۲] روش‌های ارزیابی عینی کیفیت صحبت را به طور کلی به سه کلاس تقسیم‌بندی کرده است: روش *مبتنی بر پارامترهای شبکه*، روش *صوتی-روانشناختی*[4] و روش *مبتنی بر پارامترهای اولیه*[5].

در اندازه‌گیری با استفاده از *پارامترهای شبکه*، سیگنال صحبت واقعی برای محاسبات مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، در عوض جمع تخریبی که هر کدام از اجزاء شبکه ایجاد می‌کنند را محاسبه می‌کنند. به عنوان مثال در G.107 میزان از بین رفتن بسته‌ها[6] و تاخیر[7] با استفاده از تابع تبدیلی که در E-Model معرفی شده، به فاکتور تخریب ترجمه شده و بر اساس آن تخمینی از کیفیت زده می‌شود.

روش‌های *صوتی-روانشناختی*، سیگنال صوت را به یک نمایش مختصر انتقال داده و سعی می‌کنند تا با محاسبه تخریب‌های مختلفی که روی صوت ایجاد شده، تخمینی از ارزیابی فردی ارائه دهند. با توجه به تنوع تخریب‌های قابل محاسبه، تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی کیفیت بر مبنای این روش ارائه شده است، از جمله

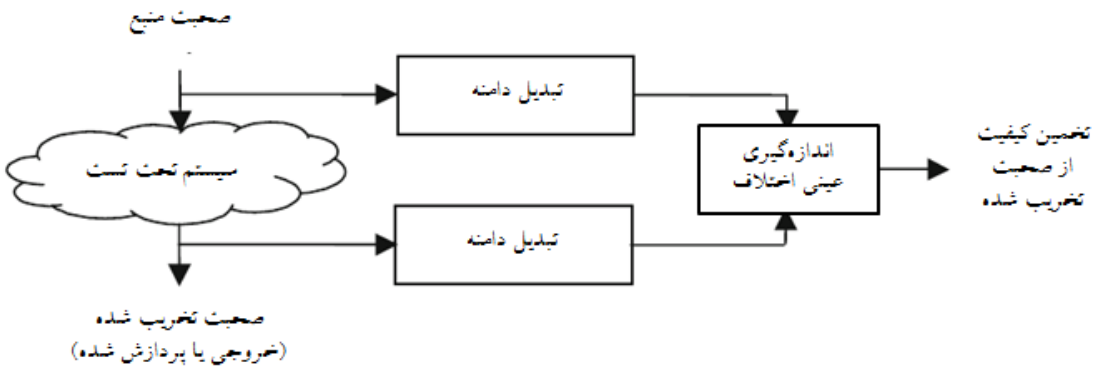
---

[1] Global System for Mobile Communications
[2] Pulse Code Modulation A-law
[3] Pulse Code Modulation μ-law
[4] Psycho-Acoustic
[5] Elementary
[6] Packet Loss
[7] Delay

این تکنیک‌ها می‌توان به فاصله طیفی بارک[1] و تکنیک بلاک‌های نرمال شده[2] (MNB) [۷] و یا معیار اندازه-گیری PESQ [۸] که در سال‌های اخیر توسط ITU-T تحت نام P.862 استاندارد شده است، اشاره نمود.

در کنار تقسیم بندی فوق، با توجه به نحوه محاسبات و اینکه چه قسمت‌هایی در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارزیابی عینی را می‌توان به دو دسته ارزیابی دو طرفه[3] و ارزیابی یکطرفه[4] تقسیم‌بندی کرد.

همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، روش ارزیابی دو طرفه مبتنی بر مقایسه سیگنال ارسال شده از طرف فرستنده و سیگنال دریافت شده در طرف گیرنده می‌باشد. نتیجه این مقایسه تخمینی از کیفیت کانال انتقال است، که با محاسبه تخریب بوجود آمده در سیگنال نهایی، بدست می‌آید.



شکل ۱-۲: تخمین کیفیت به روش دو طرفه

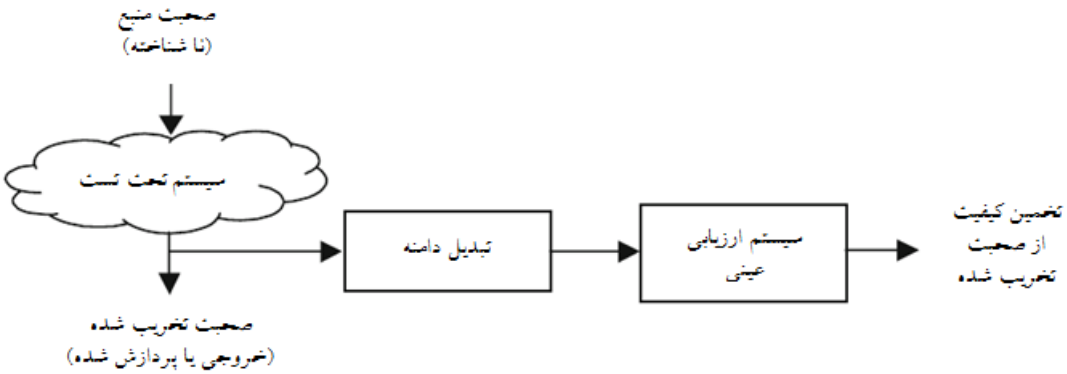
برای مقایسه سیگنال اصلی با سیگنال دریافتی از کانال، دو مشکل اساسی وجود دارد؛ ۱) مشکل همزمانی سیگنال‌ها، و ۲) عدم دسترسی به سیگنال صحبت منبع. در مشکل اول، تفاوت زمانی بین صوت ورودی و خروجی، وجود خطاها، محو شدن صدا[5] و یا حتی از بین رفتن قسمتی از سیگنال، باعث می‌شود تا مقایسه بین صحبت تولید شده در طرف فرستنده و صحبت دریافت شده در طرف گیرنده با مشکل مواجه شود. مشکل دوم، عدم امکان دسترسی به صوت اصلی در بیشتر کاربردهای عملی است. علاوه بر این ممکن است صوت اصلی، در هنگام ضبط شدن در طرف فرستنده، متأثر از نویزهای محیطی مثل نویز پس زمینه باشد که در این حالت نیز به سیگنال صحبت اصلی دسترسی نخواهیم داشت و مقایسه سیگنال صحبت اصلی با سیگنال صحبت دریافت شده

---

[1] Bark Spectral Distance
[2] Measuring normalizing blocks
[3] Double Ended
[4] Single Ended
[5] Fade

در طرف گیرنده، حتی در بهترین شرایط، کیفیت واقعی را عنوان نمی‌کند. علاوه بر دو مشکلی که در حین مقایسه سیگنال‌ها وجود دارد، امکان استفاده از این روش به صورت برخط نیز وجود ندارد.

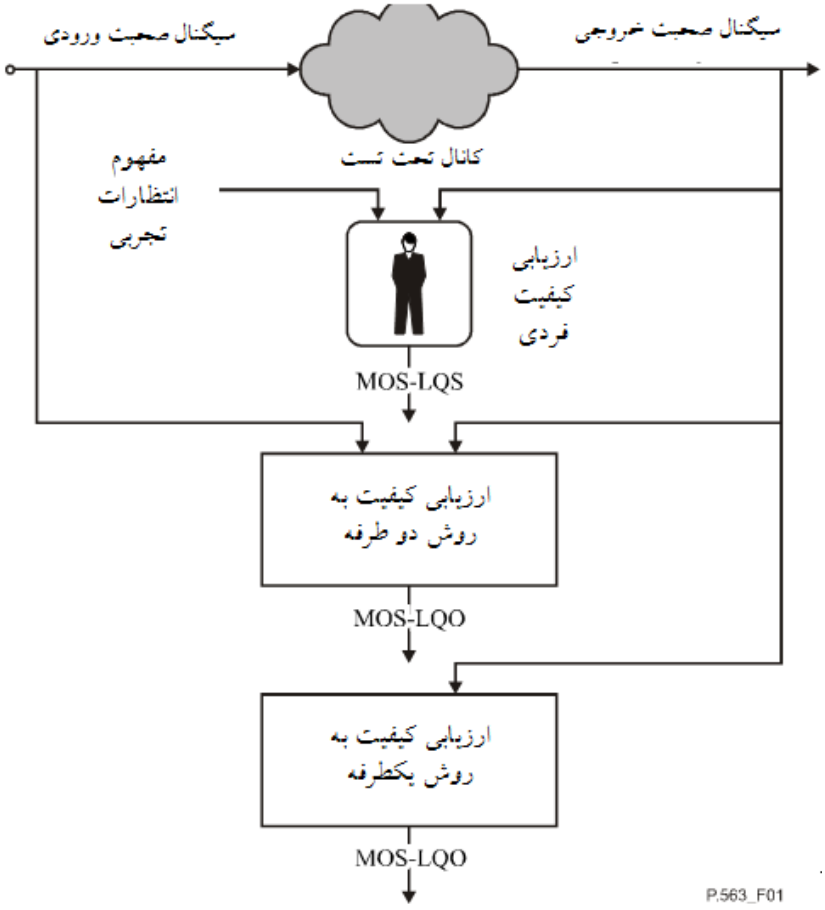
برای غلبه بر مشکلات موجود در روش ارزیابی دو طرفه، روش ارزیابی یکطرفه مطرح شد. در این روش، ارزیابی فقط بر مبانی سیگنال عبور داده شده از کانال انجام می‌شود و نیازی به صوت اصلی وجود ندارد. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، در روش ارزیابی یکطرفه سعی می‌شود تا اعوجاج‌هایی که در سیگنال به وجود آمده، محاسبه شده و بر اساس آن تخمینی از کیفیت زده شود. موسسه ITU-T نمونه‌ای از این روش را در استاندارد P.563 معرفی کرده است [۹].



شکل ۱-۳: تخمین کیفیت به روش یکطرفه

در بعضی پیاده‌سازی‌ها که در جهت بهبود کارایی روش یکطرفه مطرح شده‌اند، ابتدا سیگنال صحبت اصلی تخمین زده می‌شود مثلا با ایجاد یک بانک صوت و با مقایسه صحبت تخمین زده شده و صحبت عبور داده شده از کانال، کیفیتی که به کاربر نهایی می‌رسد، محاسبه می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نتایج روش یکطرفه در بهترین حالت معادل روش دوطرفه خواهد بود.

شکل ۱-۴ [۹] مقایسه تخمین کیفیت با استفاده از روش‌های ارزیابی فردی، ارزیابی عینی یک طرفه و ارزیابی عینی دو طرفه را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، روش ارزیابی فردی بر مبنای تجربه کاربر و سیگنال صحبت خروجی از کانال، کیفیت را محاسبه می‌کند. روش ارزیابی عینی دو طرفه، سیگنال صحبت فرستنده و سیگنال صحبت عبور داده شده از کانال ارتباطی را در محاسبات خود مورد استفاده قرار می‌دهد و در روش ارزیابی عینی یکطرفه تنها از صوت خروجی از کانال، برای تخمین کیفیت بهره برده می‌شود. مساله بدست آوردن کیفیت به صورت یکطرفه، یک مساله پژوهشی باز است و تحقیقات زیادی در این زمینه وجود دارد [۱۰] [۱۱] [۱۲] [۱۳] [۱۴] [۱۵].



شکل ۱-۴: مقایسه ارزیابی یکطرفه و دوطرفه

دقت شود که تقسیم‌بندی دیگری هم برای اندازه‌گیری کیفیت صوت انجام گرفته که در آن محاسبات را به دو دسته محاسبات بر مبنای بسته‌های ارسالی، مثل محاسبه از روی تعداد بسته‌های ارسالی که به مقصد نرسیده‌اند و محاسبات بر مبنای سیگنال تقسیم بندی شده است[۱۶] . اکثر روش‌های ارزیابی عینی مطرح شده، در دسته دوم از این تقسیم بندی قرار می‌گیرند.

روش‌هایی که تاکنون بیان شد، و سایر روش‌هایی که در مقالات به آنها برخورد شده است، نظر کاربر نهایی را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در نظر نمی‌گیرند و تنها سعی می‌کنند تا تخمینی از نظر کاربر نهایی را محاسبه کنند. این در حالی است که کیفیت ارتباط با مشخصات شبکه‌ای یکسان ممکن است در شرایطی برای کاربر نهایی راضی کننده باشد و در شرایط دیگر همان مشخصات، کاربر را راضی نکند. آنچه در کیفیت یک ارتباط تعیین کننده است، کیفیت دریافت کاربر (UPQ)[1] یا هیجان و نظری است که کاربر نهایی از کیفیت دارد.

[1] User Perceived Quality

برای حل این مشکل، در بعضی از کاربردها از کاربر خواسته می‌شود تا در هر لحظه نظر خود راجع به کیفیت را با فشردن کلید خاصی بیان کند [۱].

از نگاه کاربر، برای تضمین QoE، باید پارامترهای مختلف شبکه با پارامترهای فردی کاربر قابل انطباق باشند و کاربر را راضی کنند. از نگاه شبکه، پارامترها و توابع مختلف شبکه باید طوری تقسیم‌بندی و تنظیم شوند که تمام کاربران را راضی نگه دارند. QoE فاکتورهای مختلفی را دارد که برخی از آنها فردی و غیر قابل کنترل و بعضی دیگر عینی بوده و ممکن است قابل کنترل باشند [۱۷][۱۸] . فاکتورهای فردی عبارتند از هیجان، تجربه و انتظارات کاربر و فاکتورهای عینی نیز عبارتند از: فاکتورهای فنی و غیر فنی. کیفیت انتها به انتها[1] و پوشش شبکه و سرویس از فاکتورهای فنی و نحوه سرویس دادن، قیمت سرویس، کیفیت طراحی سرویس و پشتیبانی، پارامترهای غیر فنی هستند [۱۹].

به طور کلی بعضی از فاکتورهای فردی و عینی، به صورت پویا در طول ارتباط تغییر می‌کنند، در حالی که برخی دیگر ثابت می‌باشند. فاکتورهای پویا عبارتند از فاکتورهای فردی و بعضی از فاکتورهای عینی مثل پارامترهای موثر در کیفیت شبکه. مساله دیگر، توجه به این نکته است که ارزیابی فردی کاربر از کیفیت در شرایط کیفیت عینی یکسان، متاثر از شرایط هیجانی، تجربی و انتظارات متفاوت وی، متفاوت می‌باشد. لذا ممکن است با وجود دریافت کیفیت سرویس یکسان در شرایط مختلف، QoE متفاوتی برای کاربر وجود داشته باشد [۱۹].

ارزیابی QoE به صورت برخط به دو صورت فردی و عینی قابل ارزیابی است [۱۸]. صحت ارزیابی QoE به صورت فردی بسیار بالا می‌باشد، چرا که نشان‌دهنده دریافت کاربر از کیفیت سرویس و به صورت برخط می‌باشد. ولی معمولا کاربران علاقه‌ای به صرف وقت خود برای ارزیابی کیفیت ندارند، مگر اینکه دریافت کیفی آنها بسیار ضعیف شده باشد [۲۰]. از طرفی روش‌های عینی با استفاده از پارامترهای شبکه میزان QoE را ارزیابی می‌کنند. از آنجایی که QoE به نظر کاربر نهایی وابسته است، معمولا جهت اطمینان از صحت ارزیابی QoE در روش‌های عینی، نظر کاربر نهایی ارزیابی شده و به عنوان بازخورد[2] استفاده می‌شود.

---

[1] End-to-End
[2] Feed back