



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان: بررسی آرایه منابع صوتی

استاد راهنما: جناب آقای دکتر زلفخانی

نگارش: کیانوش فروزش

شهریور 92

فصل 1: سیگنال صوتی

5 1-1: فشار صوت

6 2-1: سطح شدت صوت

7 3-1: بلندی صوت

7 4-1: سرعت انتشار صوت

7 5-1: گام

8 6-1: طنین

فصل 2: گوش انسان

9 1-2: آستانه مطلق شنوایی

10 2-2: حساسیت فرکانسی گوش

فصل 3: انتشار صوت

11 1-3: شدت صوت

13 2-3: پوش فرکانسی

14 3-3: گفتار و نحوه تولید آن

15 3-3-1: واج صدا دار، واج بی صدا

فصل 4: تبدیل صدای پیوسته به صدای رقمی

18 1-4: نمونه برداری صدای پیوسته

18 2-4: رقمی کردن

19 3-4: صدای چند کاناله

20 4-4: فرمتهای معروف فایل های صوتی

21 5-4: انواع پردازش صدای رقمی

21 6-4: بهسازی گفتار

22 7-4: نويز و انواع آن در يك گفتار رقمی

فصل 5: ترکیب صوت حاصل از چند منبع

فصل 6: آرایه های میکروفونی

28 1-1: جایگذاری صحیح میکروفونها برای ضبط بهینه صوت

28 6-1-1: میکروفون سوئیچد

28 6-1-2: درخت دکا

29 2-6: سازگاری استریو با مونو

30 1-2-6: میکروفون گذاری متقارن

32 2-2-6: میکروفون گذاری تقریبا متقارن

34 3-2-6: میکروفون گذاری فاصله دار

36 فصل 7: بلندگو

37 1-7: طراحی سیستم بلندگو

37 1-1-7: صدای متقاطع

39 2-2-7: محفظه ها

40 2-7: بلندگوهای بی سیم

40 فصل 8: ترکیب بلندگوها

41 1-8: صدای جهت دار

42 2-8: جایگذاری بلندگوها

42 3-8: آرایه های بلندگو

44 4-8: آرایه های خطی

45 فصل 9: نتیجه گیری

46 منابع و مراجع

مقدمات

صدا، احساس ارتعاشات و نوسانات هوا توسط گوش انسان است. این نوسانات، بر اثر عواملی مانند جابجایی، ارتعاش یا اصطکاک اشیاء ایجاد می شوند. در صدایی که انسان می شنود دو عامل نقش آفرینی میکنند: نوسانات هوا و گوش انسان. در واقع اولی سیگنال می باشد و دومی تشکیل دهنده یک سیستم است. در این قسمت ابتدا مطالبی در مورد قسمت اول مطرح خواهد شد و سپس به قسمت سیستم یعنی گوش انسان می پردازیم. در ادامه، در مورد گفتار و نحوه تولید آن، مطالب مختصری بیان خواهد شد و در انتها، مباحثی در مورد رقمی کردن صدای پیوسته مطرح خواهد شد.

فصل 1: سیگنال صوتی

سیگنال صوتی در واقع همان ارتعاشات و نوسانات هوا است که به گوش می رسد. در این قسمت مهم ترین پارامترهای مربوط به این سیگنال صوتی بیان می شود. در واقع تمایز و تفاوت میان اصوات ناشی از تفاوت در این پارامترها می باشد.

1-1: فشار صوت (Sound Pressure) - سطح فشار صوت (Sound Pressure Level)

فشار صوت، فشاری است که نوسات بر هوا وارد می کنند تا به گوش برسند. این فشار، با واحد پاسکال (Pa) که برابر 1 N/m^2 میباشد، سنجیده میشود. اگر فشاری که نوسانات بر هوا وارد می کنند از میزان مشخصی کمتر باشد، صدا قابل شنیدن نیست. در فرکانس 1 kHz ، کمترین میزان فشار هوا که برای گوش عادی، قابل شنیدن می باشد برابر 0.00002 N/m^2 میباشد. این قرارداد، در استاندارد ANSI S1.1-1994، ذکر شده است. این عدد را آستانه شنوایی (Threshold of hearing) خوانده و با p_0 نشان میدهند. سطح فشار صوت، لگاریتم فشار صدا نسبت به p_0 است.

$$\text{SPL}(p) = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ dB} \quad (1)$$

بر اساس این معادله، سطح فشار صوت آستانه شنوایی برابر 0dB می باشد. همچنین بیشترین فشار صوتی که بالاتر از آن موجب آسیب جدی به گوش می شود برابر $10^6 p$ یا 120 dB می باشد. در نتیجه محدوده شنوایی انسان 120 dB می باشد.

1-2: سطح شدت صوت (Sound intensity level)

در شنیدن یک صدا، علاوه بر فشار صوت، سرعت نوسانات نیز اهمیت دارد. حاصلضرب فشار در سرعت صدا، سطح شدت صدا یا به اختصار شدت صدا خوانده میشود.

$$I = Pv \quad (2)$$

در این رابطه، I و v بردارهای جهتدار بوده و به ترتیب نشاندهنده شدت و سرعت صدا میباشد P نیز فشار صوت میباشد. واحد سرعت، m/s و واحد فشار N/m^2 میباشد. در نتیجه واحد شدت صدا،

$$N/m^2 * m/s = N/ms = watt/m^2 \text{ است.}$$

پس میتوان گفت، شدت صوت در واقع توان صوت بر واحد سطح میباشد.

شدت صوت، نیز مانند پارامتر SPL، معمولاً به صورت لگاریتم نسبی و طبق رابطه زیر تعریف میگردد.

$$SIL(I) = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ dB} \quad (3)$$

در این رابطه $I_0 = 10^{-12} \text{ watt/m}^2$ انرژی ضعیف ترین سیگنال صوتی قابل شنیدن می باشد. در جدول 1 شدت بعضی صداها بر حسب dB آمده است.

جدول 1 شدت بعضی صداها (Thompson, 2005) و (Giordano, 2012) با تغییرات

نوع صدا	شدت (dB)
پچ (در یک متری)	10
صحبت معمولی	60-70
جاروبرقی	70
مترو	90
رعد و برق	110
طبل (در 30 سانتی متری)	130
موتور جت (در 10 متری)	150

3-1: بلندی صوت (Loudness)

برخلاف دو معیار قبلی که مقادیر کمی بودند، بلندی، یک معیار کیفی می باشد و نشان دهنده میزان قوت و وضعی است که شنونده از صدای رسیده دارد. به عنوان مثال، اگر صدایی با شدت زیاد داشته باشیم ولی به هر دلیلی (مثلا سنگینی گوش) گوش ما آن را ضعیف بشنود برای ما بلندی ضعیفی دارد حال آن که برای فردی دیگر ممکن است مناسب یا حتی قوی به نظر آید. پس این معیار بسته به افراد مختلف و در سنین مختلف تفاوت می کند. در یک سیستم شنوایی معمولی و در فرکانس 1 kHz بلندی صوت به صورت رابطه تجربی زیر تعریف شده است.

$$Loudness = 2^{(SPL-40)/10} \quad (4)$$

این رابطه نشان می دهد اگر فشار صوت 10 dB افزایش یابد یا به عبارتی 10 برابر شود بلندی صوت تنها 2 برابر می شود.

4-1: سرعت انتشار صوت

سرعت انتشار صوت در هوا از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_{air} = 331.3 + 0.6t \text{ (m/s)} \quad (5)$$

که در این رابطه t دمای هوا بر حسب درجه سانتیگراد است. سرعت انتشار صوت در مایعات بیشتر از هوا و در جامدات بیشتر از مایعات است. مثلاً سرعت صوت در آب حدود 1500 m/s است و در فلزات تا حدود 5000 m/s هم میرسد.

5-1: گام (Pitch)

قبل از توضیح مفهوم گام مناسب است با تعریف چند واژه، آشنا شویم. ابتدا با مفهوم تن (Tone) یا به عبارت کامل تر تن محض (Pure Tone) آشنا میشویم. تن، صدایی است که در حوزه فرکانس، تنها یک مؤلفه دارد. اگرچه صدایی با یک مؤلفه فرکانسی قابل تولید است، اما در عمل اکثر صداها ترکیبی از چند مؤلفه فرکانسی یا به عبارتی دیگر چندین تن است.

در بعضی صداها، بین مؤلفه های فرکانسی، رابطه f_1 ، $2f_1$ ، ... برقرار است. به f_1 ، فرکانس اصلی (Fundamental frequency) و به بقیه، فرکانسهای همساز (Harmonic frequency) اطلاق

میشود. در بعضی ابزارهای تولید موسیقی، مانند گیتار، چنین وضعیتی وجود دارد. یک راه مشخص کردن ترکیبی از تن ها، استفاده از خاصیتی به نام گام است. مشابه بلندی صدا، گام نیز یک معیار کیفی است و نشاندهنده درکی است که گوش از فرکانس اصلی یک صدا میکند.

هر چه گام بالاتر باشد صدا زیرتر و هر چه پایینتر باشد صدا بمتر به نظر می رسد. به بیان دیگر هر چه صدا زیرتر باشد میگوییم گام بالاتر است و هر چه بمتر باشد گام پایینتر است. نکته دیگر اینکه هرچه فرکانس اصلی بزرگتر باشد گام نیز بالاتر است و صدا زیرتر است و عکس این قضیه نیز صحیح میباشد. البته این رابطه (به خصوص در فرکانسهای زیر 1 KHz) به صورت خطی نیست.

1-6: مایه (طنین [Timbre])

تجربه نشان میدهد که هرگاه یک نت خاصی را یک دفعه با یک آلت موسیقی و دفعه دیگر با آلت موسیقی دیگر بنوازند و چشم همه بسته باشد، گوش به خوبی تشخیص میدهد که این دو صدا از اسباب مختلف است. این کیفیت را که صوتهای با یک فرکانس اصلی و هم شدت را از یکدیگر متمایز میسازد، مایه مینامند. در اینجا شدت و گام یکسان است اما در واقع داشتن ضرایب مختلف فوریه برای همسازها و به عبارت خلاصه داشتن تبدیل فوریه های نا یکسان در فرکانسهای همساز موجب این تفاوت می شود.

فصل 2: گوش انسان

در شنیدن یک صدا توسط گوش انسان چند عامل ایفای نقش میکنند و صدایی که در نهایت شنیده میشود تحت تأثیر این عوامل میباشد. در ادامه این عوامل را به اختصار توضیح میدهیم.

1-2: آستانه مطلق شنوایی (Absolute Threshold of Hearing (ATH))

یک ویژگی واضح سیستم شنوایی این است که اگر شدت صدا از حد مشخصی کمتر باشد قادر به شنیدن آن نخواهیم بود. این ویژگی را به صورت دقیق تر زیر بیان می کنند.

منحنی بر حسب فرکانس و شدت صوت وجود دارد که اصطلاحاً منحنی آستانه مطلق شنوایی (ATH) خوانده می شود.

در یک مؤلفه مشخص فرکانسی، اگر شدت صوت از حدی که منحنی ATH تعیین میکند کمتر باشد این مؤلفه فرکانسی توسط گوش در نظر گرفته نمی شود. نمونه ای از یک منحنی

ATH در شکل زیر نشان داده شده است. آستانه مطلق شنوایی در 100 Hz و شدت 10 db قابل درک و شنیدن توسط گوش انسان نخواهد بود.

نکته مهم: سؤالی که شاید به ذهن برسد این است که در تعریف ATH به حوزه فرکانس توجه نموده و

بحث خود را در این حوزه انجام دادیم. اما طبیعی تر آن است که در حوزه زمان بررسی را انجام داده و مثلاً بگوییم اگر یک نمونه از اندازه معینی کمتر باشد قابل شنیدن نخواهد بود.

اما این گفته صحیح نیست. چرا که نشان داده شده است که گوش انسان بیشتر از آنچه به مقدار نمونه

های زمانی حساس باشد به میزان تغییر بین نمونه ها حساس است و میدانیم مفهومی که میزان تغییر را مدل میکند فرکانس است.

اصولاً اغلب تحلیلهای مربوط به صدا به جای حوزه زمان (نمونه های زمانی) در حوزه فرکانس انجام میگیرد.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فصل 9: نتیجه گیری

در این جا سعی کردیم با بررسی مکانیزم گفتار انسان، نحوه انتشار صوت در هوا و بررسی مکانیزم و عملکرد گوش انسان، بهترین روش برای کارکرد بهینه سیستمهای صوتی را بیابیم. نخست صوت و مکانیزم آن بررسی شد. سپس سراغ میکروفونها رفتیم. با بررسی انواع میکروفونها، روشهای مختلف برای ضبط صدا مرور شد. باید در نظر داشت که هر روشی مخصوص یک نیاز بخصوصی میباشد که در مکانهای مختلف متفاوت است. باید با آرایه های میکروفونی مختلف آشنا شد، نقاط قوت و ضعف آنها را دانست، و در زمان مورد نیاز از آنها بهره برد.

بعد از آن به سیستمهای صوتی و بلندگو پرداخته شد. روند پیشرفت بلندگوها را دیدیم و با اجزای آن آشنا شدیم. مهمترین نکته در عملکرد سیستمهای صوتی، آرایه بلندگو آن میباشد. با توجه به هدف مورد نظر در استفاده از سیستم صوتی، باید آرایه های بلندگو مختلف را بررسی کرد و مورد بهینه را استفاده نمود. یکی از موثرترین آرایه ها، آرایه خطی میباشد که بیشترین برد مورد نظر را برای سیستم صوتی تامین میکند. همچنین از شدت صدای مناسبی برخوردار میباشد. ما میتوانیم با استفاده از آرایه های مختلف، مخصوصا آرایه خطی، به هدف خود در طراحی سیستم صوتی برسیم.

منابع و مراجع

مقالات:

[1] Rabiner, Lawrence R., Shafer, Ronald W., "Introduction to Digital Speech Processing", Electrical Engineering, Vol1, 2007

[2] Webb, Bill, Baird, Jason, "Advances in line array technology for live sound", Martin Audio Limited, No 23, 2009

[3] Michaud, Francois, "Robust sound source localization using a microphone array on a mobile robot", Universite de Sherbrooke, 2010

[4] Aarabi, Parham, "Self-localizing microphone arrays", IEEE transactions on systems, man and cybernetics, 32(4), November 2002

[5] Franck Giron, Investigations about the directivity of sound sources, Shaker-Verlag, London, 1996

[6] V. Capel, Microphones in action, Fountain Press, Hertfordshire, 1978

پایان نامه:

[7] محمدی، حمیدرضا: طراحی و پیاده سازی یک سیستم کنترل عبارت عبور صوتی، دانشگاه اصفهان،

تابستان 81.