



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет по Телекомуникации

Катедра Радиокомуникации и видеотехнологии

маг. инж. Станислав Юлиянов Филипов

**Разработване на методи и алгоритми за
изследване на акустичните свойства на
системи за ефективно маскиране на звукови
източници**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен

"ДОКТОР"

Професионално направление: 5.3 Комуникационна и компютърна
техника

Научна специалност: “Електроакустика, звукотехника и
кинотехника“

Научен ръководител: проф. д-р Снежана Плешкова

Рецензенти:

проф. д-р. инж. Димитър Неделчев Карастоянов

доц. д-р инж. Иво Руменов Драганов

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“ към Факултет Телекомуникации на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 14.05.2018.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 02.10.2018 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-177 / 28.05.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Снежана Плешкова-Бекярска – председател
2. доц. д-р инж. Иво Драганов – научен секретар
3. проф. д-р инж. Димитър Карастоянов
4. проф. д-р инж. Кирил Конов
5. доц. д-р инж. Кирил Алексиев

Рецензенти:

1. доц. д-р инж. Иво Драганов
2. проф. д-р инж. Димитър Карастоянов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по Телекомуникации на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1254.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Радиокомуникации и видеотехнологии“ на факултет Телекомуникации. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Станислав Филипов

Заглавие: Разработване на методи и алгоритми за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране звукови източници

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

През последните две десетилетие работната среда в корпоративните сгради се промени в посока масово използване на отворени офис площи, в които работят над сто служители в едно затворено помещение. Това разбира се има безспорни предимства като лесната комуникация между хората и намалените сградни разходи, но също така създава и един основен недостатък повишен фонов шум. Установено е, че повишеният околнен шум създава в човешкият слух артефакти от психоакустичен характер, предизвикващи състояния на умора, разсеяност и ниска продуктивност. Още през 60-те години заедно със създаването в Германия на модела за отворения офис са създадени и първите системите за маскиране на звука, които да маскират разсейващите фонов шумове. По-късно през 70-те години концепцията за събирането на по-голям брой служители в едно помещение е доразвита и именно тогава започва основното разработване на първите системите за маскиране на звука. Независимо от постоянния стремеж за подобряване на акустичната обстановка в отворените офиси, основните пречки за масовото разпространение на системите за маскиране на звука в миналото са главно следните: ниското ниво в миналото на развитие на апаратните средства в областта на акустичните системи, в чиято област са основните апаратни средства на системите за маскиране на звука; свързана с това е и високата цена в миналото на системите за маскиране на звука; липса на достатъчно ефективни алгоритми и програмни средства, чрез които да се осъществи и то в реален мащаб на времето на действието на системите за маскиране на звука в отворените офиси. Именно тези причини и проблеми на системите за маскиране на звука от миналото, които постепенно, особено в близките години, се решават успешно аргументира актуалността на настоящия дисертационен труд – да способства за по-пълно разрешаване на тези проблеми чрез предлагане на апаратни и програмни средства за повишаване на ефективността на системите за маскиране на звука. По-конкретно в настоящия дисертационен труд се разработват методи и алгоритми за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се разработят методи и алгоритми за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници.

Основните задачи на дисертацията, произтичащи от поставената обща цел, могат да се дефинират по следния начин:

- да се създаде математически модел и метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открит офис;
- да се разработят алгоритми за генериране на маскиращи сигнали предназначени за разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси;
- да се изследва експериментално ефективността на създадения математически модел и метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото

маскиране чрез измерване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКА ОСНОВА

Представените резултати в дисертационния труд са получени чрез използване на математическия апарат на акустичен модел, аналитични и числени методи. За разработването на акустичния модел във втора и трета глава е използван геометричен метод с изчисляване на траекториите.

Научна новост

Предложен е метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси. За целта е създаден математически модел със съответен геометричен вид, чрез който са дефинирани същественият за маскиране на звука траектории на звуковите вълни и е предложен обективен критерий за оценка, чрез измерване и анализ на индекса на предаване на говор (STI), на степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

Предложена е вторична обработка чрез филтрация за повишаване на точността при определяне на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси при тяхното използване в предложения метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране.

Предложен е видът на нов модифициран, в съответствие с определените за всеки работещ в открития офис индивидуални психофизични характеристики, маскиращ сигнал и съответни модели за неговото генериране в реално действащи системи за маскиране на звука или чрез симулации.

Практическа приложимост

Разработена е експериментална постановка със съответен алгоритъм за измерване индивидуалните психофизични характеристики и използване на получените от измерванията стойности при реална практическа настройка на локалното ниво на модифицирания маскиращ сигнал, в съответствие с предложия метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

Разработена е, приложима практически и в реално време, методика за обективна оценка, чрез измерване и анализ на индекса на предаване на говор (STI), на степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложия метод за определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

Апробация

Практически са разработени и са реализирани два проекта на звукомаскиращи системи в отворения офис на фирмата Телерик и Кол Центъра на Райфайзен Банк, които функционират в настоящия момент нормално с успешно и значително повишаване

на степента на локалното звукомаскиране чрез измерване и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ за модифициране и индивидуална настройка на маскиращия сигнал във всяко отделно работно място в отворения офис на фирмата Телерик и Кол Центъра на Райфайзен Банк.

Публикации

Основните теоретични и експериментални резултати са изложени в 5 публикации, съответно в три международни научни конференции и две международни списания: International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS), Issue 24, Volume 1, 2018, pp. 18-23, **IF 6.3**; Comptes Rendus del'Académie Bulgaredes Sciences, Tome 71, No 3, 2018, pp.407-416, Scopus, Web of Science, **IF 0.233**; International Spring Seminar on Electronics Technology, Sofia, Bulgaria, 2017, IEEE Conference, Proceeding of Abstracts, IEEE-Explore, Scopus, Web of Science, pp.244-245; International Conferences on Electrical, Electronic and computing Engineering IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, IEEE Conference, Proceeding of Abstracts, 2017, pp.12, AKI2.3.1-4; Communications, Electromagnetics and Medical Applications (CEMA'16), Athens,Greece, October 13th -15th , 2016, pp.66-76.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **138** страници, като включва увод, **5** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **84** литературни източници, като **64** са на латиница и **3** на кирилица, а **17** са интернет адреси. Работата включва общо **57** фигури и **13** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ПРЕГЛЕД НА МЕТОДИ, АЛГОРИТМИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АКУСТИЧНИТЕ СВОЙСТВА НА СИСТЕМИ ЗА ЕФЕКТИВНО МАСКИРАНЕ НА ЗВУКОВИ ИЗТОЧНИЦИ

В глава първа на дисертационния труд е извършен задълбочен преглед на съществуващи методи, алгоритми и средства за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници. Основната цел на извършения преглед е свързана със съблюдаване на изискването да се опишат кратко принципите и характеристиките на следните определенотипични представители на съществуващи методи, алгоритми и средства, от които на основата на критичен анализ да се очертаят изводи и чрез тях да се дефинират правилно целта и задачите на дисертационния труд:

- основни принципи за маскиране на звука и неговото психологическо влияние върху слуховото възприятие;

- основни функционални възли на системите за маскиране на звука;

- класификация на методите за генериране на маскиращи сигнали по следния начин: под формата на псевдослучаен шум; на основата на флуктуации на параметрите на електронни компоненти и на основата на нестационарен случайни процеси; на основата на записи на естествени звуци в природата или музикални звукови сигнали; чрез симулиране на шум със спектър на говор;

- класификация на съществуващите системи за маскиране на звука в зависимост от тяхната топология: централизирани, разпределени и хибридни системи за маскиране на звука;

- представяне и сравнителен анализ на методи за маскиране на звука в зависимост от свойствата на слуховото възприятие на следния принцип: спектрални методи в зависимост формата и широчината на съществуващите честотни анализатори (слухови филтри); спектрални методи използващи психоакустична скала в модела на Флетчър; спектрални методи на базата на определяне еквивалентната правоъгълна честотна лента ERB; методи на базата на определяне на психоакустични криви – PTCs; методи чрез използване на маскиращи шаблони; методи чрез използване на прозоречен шум;

- методи за оценка на ефективността на маскиране на звука в системите за маскиране на звука на следната база: дефиниране на основните фактори за поверителност на говора, приложими при оценка на ефективността на маскиране на звука; определяне нивата на поверителност на говора чрез артикулационния индекс AI; чрез индекса на поверителност PI.

1.9. ИЗВОДИ

Въз основа на извършения преглед на съществуващи методи, алгоритми и средства за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници са дефинирани следните по-важни в аспект на дисертационния труд изводи:

- представените основни принципи и основни функционални възли за маскиране на звука демонстрират съществените структурни елементи, както на методите и алгоритмите за маскиране на звука, така и на функционалните възли на системите за маскиране на звука, в които следва да се насочи вниманието в настоящия дисертационен труд, за да се търсят методи и средства за повишаване на ефективността на маскирането на звукови източници, смущаващи работещите в отворените офиси;

- чрез съставяне в структурна форма (Фиг.1.3 в дисертацията) на изчерпателна класификация са анализирани основните методи за генериране на маскиращи сигнали в системите за маскиране на звука: чрез псевдослучаен шум, флуктоации на параметрите на електронни компоненти на основата на нестационарен случайни процеси, записи на звукови сигнали на естествени звуци в природата и околната среда, записи на

подходящи музикални звукови сигнали, симулиране на шум със спектър на говор и др., с помощта на които могат да се разработят модифицирани методи за генериране на маскиращи сигнали, които да бъдат приложени в настоящия дисертационен труд и да доведат до повишаване на ефективността на маскиране на звука;

- в представената подробна класификация на съществуващите системи за маскиране на звука в зависимост от тяхната топология са разгледани и анализирани възможностите на следните основни видове: централизирани разпределени и хибридни системи за маскиране на звука, при което резултатите от този анализ са особено полезни и са използвани при избора на вида на системата за маскиране на звука като разпределена система, която да бъде приложена при експерименталните изследвания на разработваните методи за повишаване на ефективността при маскиране на звукови източници в отворени офиси;

- съществуват многобройни изследвания за следните особености на слуховото възприятие относно маскирането на звук: формата и широчината на честотните анализатори (слухови филтри), психоакустична скала в модела на Флетчър, еквивалентната правоъгълна честотна лента *ERB*, психоакустични криви *PTCs*, маскиращи шаблони, използване на прозоречен шум и др., които е целесъобразно да бъдат изследвани в настоящия дисертационен труд и да се използват като основа за разработване на методи за повишаване на ефективността при маскиране на звукови източници в отворени офиси;

- специално внимание при изследванията в настоящия дисертационен труд следва да се насочи към използване на индивидуалните особености на слуховото възприятие, известни като индивидуални психофизични характеристики (*PTCs* - *Psychophysical Tuning Curves*), които могат да бъдат реална основа за разработване на метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране на всеки работещ в открити офиси;

- проведено е сравнение на методите за маскиране на звука в зависимост от свойствата на слуховото възприятие, резултатите от което представени синтезиран вид (Таблица 1.2 в дисертационния труд) са особено полезни и следва да бъдат в основата при създаването в настоящия дисертационен труд на методи и алгоритми използващи свойствата на слуховото възприятие за постигане на по-висока ефективност на звуковото маскиране в открити офиси;

- съществуват методи, съответни фактори и способности (артикуляционен индекс *AI*, индекса на поверителност *PI* и др.) за оценка ефективността на маскиране на звука в системите за маскиране на звука, които следва да бъдат обект на изследване и прилагане в настоящия дисертационен труд, особено за извършване на субективна оценка при разработването на методи и алгоритми за повишаването на ефективността на звуковото маскиране в открити офиси;

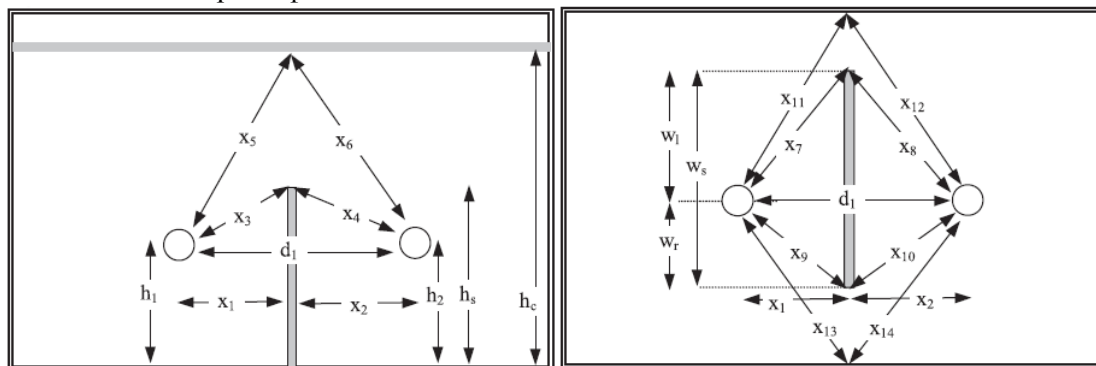
- специфичните акустични особености на отворените офиси показват , че в тях преобладават смущаващи звуци главно от говор и разговори, затова е целесъобразно и препоръчително да се предложат подходящи критерии и средства за обективна оценка на ефективността на маскиране на звука чрез определяне и практически измервания на степента наразбираемост на речта.

II. ОРИГИНАЛНА ЧАСТ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 2. СЪЗДАВАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ И МЕТОД ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЗВУКОВОТО МАСКИРАНЕ

2.1. Създаване на математически модел на акустичната обстановка в отворен офис

На фиг. 2.1 е представен в геометричен вид предложеният математически модел на акустичната обстановка в отворен офис с цел да се опишат достатъчно пълно траекториите на разпространението на основните звуковите вълни между две работни места в един отворен офис.



Фиг. 2.1. Геометричен вид на предложеният математически модел на акустичната обстановка в отворен офис.

В общия случай броят на траекториите на звуковите вълни е случаен и зависим от множество фактори, но преобладаващата част от това множество от траектории има несъществено значение (главно поради пренебрежимо малки нива на тези звукови вълни). Това дава основание в геометричния вид, представения (Фиг. 2.1), да се третират само седем звукови вълни, които могат да се опишат по следния начин:

- звукови вълни означени на Фиг.2.1 като x_1 , x_2 , x_3 и x_4 и траектории със съответни номера № 1, № 2, № 3 и № 4, съдържащи звукова информация за говор от близките работни места в отворения офис;
- звукови вълни означени на Фиг.2.1 като x_5 , x_6 , и x_7 и траектории със съответни номера № 5, № 6 и № 7, съдържащи звукова информация от най-важните или активни фонові източници на шум в отворения офис;
- височините на седящите на работните места в отворения офис хора са означени с h_i на Фиг.2.1, частичните разстояния до звукоизолиращите екрани с x_i , а разстоянията на траекториите на звуковите вълни - с d_i .

2.2. Определяне на звуковите нива в зависимост от траекториите на звуковите вълни в геометричния вид на предложеният математически модел

2.2.1. Определяне нивото на звука от директните звукови вълни в геометричния вид на предложеният математически модел

Директното разпространение на звуковите вълни с траектория № 0, което създава ниво на звука на разстояние d_1 в звуково поле без отражения, се определя от следния израз, ако се приеме, че нормалното ниво на звука от човешки глас е $L_{p,1m} = 59.23 \text{ dB}$ според ANSI-3.5:

$$L_w = L_{p,1m} + 10 \log S = L_{p,1m} + 11 \text{ dB}, \quad (2.1)$$

където

$S(m^2)$ е площта на сферична повърхност на разстояние $r = 1 \text{ m}$ от източника на звук, тоест $S = 4\pi r^2 = 12.56 \text{ m}^2$.

Нивото на звука $L_{p,0}$ на директната звукова вълна, при отсъствието на акустичен екран, може да бъде определено чрез следния израз:

$$L_{p,0} = L_w + 10 \log \frac{Q}{\Omega d_1^2} = L_w - 10 \log(4\pi d_1^2), \quad (2.2)$$

където

Q е индекс на насоченост;

$d_1 = x_1 + x_2$ – разстояние, представено на Фиг.2.1;

Ω - пространствен ъгъл на звуковата енергия.

2.2.2. Определяне нивото на звука от звукови вълни, проникващи през акустичния екран в геометричния вид на предложения математически модел

Проникването на звуковите вълни от говор през акустичния екран е незначително (коефициента на затихване на звука R на акустичния екран е по-голям от 15 dB). Въпреки това, в настоящия дисертационен труд проникването на звуковите вълни от говор през акустичния екран участва в предложения математически модел на акустичната обстановка в отворен офис чрез следния израз:

$$L_{p,1} = L_{p,0} - R, \quad (2.3)$$

Необходимо е да се подчертае, че практически резултати от измервания на затихването на акустичните екрани също са рядко достъпни и затова при определянето на коефициента на затихване на звука R най-често се използва следния израз:

$$R = 20 \log(mf) - 47 \text{ dB}, \quad (2.4)$$

където

m е повърхностната маса на акустичния екран (kg/m^2);

f - честота на звука.

2.2.3. Определяне нивото на звука от звукови вълни, отразени от стените или тавана, в геометричния вид на предложения математически модел

Прието е да се пренебрегват отраженията от стени и таван едновременно по границите на отворения офис, ако се приеме, предположението за разполагане на работните места единствено в централната зона на отворения офис. В такъв случай се определя нивото на звука от звукови вълни отразени само от стените или тавана, както е означено в геометричния вид на предложия математически модел.

Коефициента на затихване на звуковия интензитет поради отражения от повърхности може да се определи чрез следния израз:

$$\Delta L = 10 \log \frac{1}{1 - \alpha_c}, \quad (2.5)$$

където

α_c е коефициента на звукопоглъщане от повърхността.

Ако се предположи, че тавана има коефициент на звукопоглъщане $\alpha_c = 0.5$, то това означава намаляване на нивото на отразените звукови вълни само с 3 dB, а при $\alpha_c = 0.9$ намаляването на нивото на отразените звукови вълни е около 10 dB. Нивото на отразеният звук от тавана може да се опише чрез следния израз:

$$L_{p,2} = L_w - 10 \log(4\pi d_2^2) - \Delta L, \quad (2.6)$$

където

$d_2 = x_5 + x_6$ е дължината на траекторията на отражението (фиг.2.1b).

2.2.4. Определяне нивото на звука от дифракция на звуковите вълни през акустичния екран в геометричния вид на предложия математически модел

Затихването вследствие дифракция на звуковите вълни през акустичния екран внесено от екрана - R , се определя, чрез разликата на нивото на звука в точката на приемане без и с акустичен екран. В разглеждания геометричен вид на предложени математически модел на акустичната обстановка в отворен офис е приложен модела на затихване в стандарта ISO 17624:

$$R = 10 \log \left(3 + 40 \frac{z}{\lambda} \right), \quad (2.7)$$

където

$z = x_3 + x_4 - d_1$ е разстоянието между пътя на дифракцията и пътя на директните звукови вълни между източника и приемника;

$\lambda = c_0 / f$ - дължина на вълната на звука;

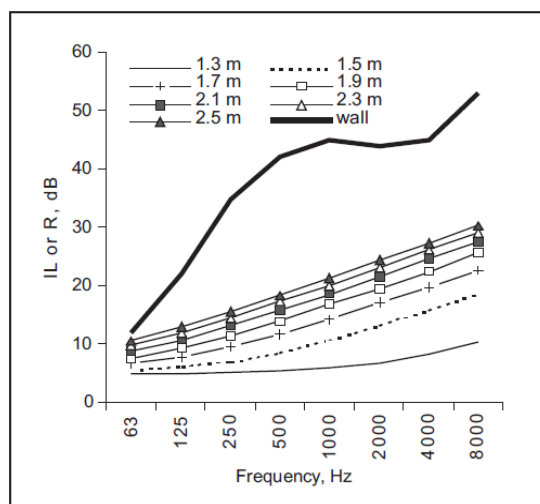
f е честотата на звука;

c_0 е скорост на звука (343 m/s).

В разглежданият геометричен вид на предложени математически модел на акустичната обстановка в отворен офис отраженията са представени отделно така, че за определяне на дифракцията през акустичния екран се използва израз (2.7). Следователно, генерираното звуково ниво от дифракцията се следва да се определя чрез израз:

$$L_{p,3} = L_{p,0} - IL, \quad (2.8)$$

На фиг.2.3 са илюстрирани резултатите от уравнение (2.7), които очертават че стойностите на R , се получават с известен толеранс поради отраженията в помещението.



Фиг.2.3. Графичен вид на израз (2.7), показващ затихването R внесено от акустичния екран във функция от височината на екрана

2.2.5. Определяне нивото на звука от реверберация на звукови вълни от фонове звуци в геометричния вид на предложени математически модел

Ако се пренебрегне реверберацията и околните фонове шумове и се вземе пред вид, че траекториите на ранните отражения не се различават съществено, следва да се приеме, че те (траекториите) се наслагват една върху друга и разбираемостта на говора се подобрява. Тоест, за да се подобри разбираемостта на говора е нужно времето на реверберация да е по-малко и нивата на фоните шумове по-ниски. В случая, в дисертационния труд за целите на маскирането на говора в отворените офиси, задачата е да се направи точно обратното, а именно да се намали разбираемостта на говора, използвайки в звукомаскиращата система маскиращи сигнали, чийто спектър и звуково

ниво може да бъде контролирано, за разлика от фоновият шум, който има стохастически характер, т.е. той не може да се контролира.

Ако се разглежда точков звуков източник в дифузно пространство, нивото на генерирания звуков сигнал ще бъде функция от разстоянието r :

$$L_{p,4} = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{\Omega r^2} + \frac{4(1 - \alpha_R)}{S \alpha_R} \right), \quad (2.9)$$

където

S е площта на всички повърхности в помещението;

α_R - средният коефициент на звукопоглъщане.

Най-подходящият и прост начин да определяне на средният коефициент на звукопоглъщане α_R е да се измери практически времето на реверберация - $T(s)$ и да се определи обема на помещението $V(m^3)$. Изразът (известен като уравнение на Сабин) е свързан с времето на реверберация - T , обема V и общата абсорбация на помещението $S\alpha_R$:

$$T = 0.163 \frac{V}{A} = 0.163 \frac{V}{S \alpha_R}, \quad (2.10)$$

Средният коефициент на звукопоглъщане α_R може да бъде прогнозиран от повърхностните коефициенти на звукопоглъщане α_i на i на брой повърхности имащи площ S_i чрез изрази:

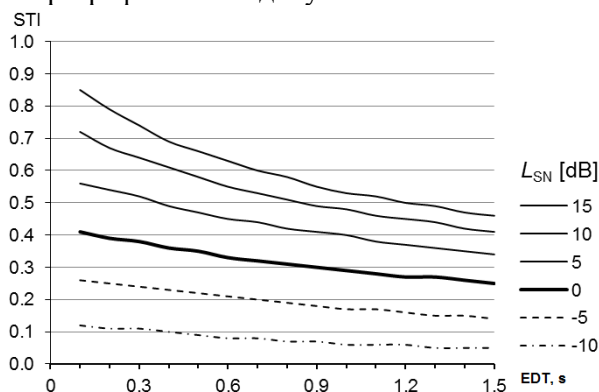
$$\alpha_R = -\frac{1}{S} \sum_i S_i \ln(1 - \alpha_i), \quad (2.11)$$

където

$S(m^2)$ е общата площ на всички повърхности в помещението в отворения офис.

2.2.6. Определяне нивото на звука от звукови вълни от системата за маскиране на звука в геометричния вид на предложения математически модел

Звуковите нива на маскиращият звук и на фоновия звук дефинират отношението говорен сигнал-шум L_{SN} , което има по-съществено влияние върху определянето на стойностите на индекса за предаване на говор (STI), отколкото влиянието на ранните отражения (EDT). Това е илюстрирано графично на фиг.2.4, използвайки различни комбинации между звуковото ниво от маскиращата система L_{SN} и звуковото ниво $L_{p,4}$ от ранните отражения (EDT) на фоновия звук в изразите 2.24 ÷ 2.26, представени в параграф 2.3 по-надолу.



Фиг.2.4 Въздействие на ранните отражения (EDT) и отношението говорен сигнал-шум L_{SN} върху стойностите на индекса за предаване на говор STI.

Приведените по-горе изисквания при определяне нивото на звука от звукови вълни с траектория № 5 могат да се дефинират следните полезни в практически реализации препоръчителни изводи: типичните стойности на времето на ранните отражения EDT в отворените офиси са между $0.3 \text{ s} < \text{EDT} < 1.0 \text{ s}$; в много офиси звуковите нива на маскиращите сигнали могат да се дефинират спрямо постоянни нива на съответните звукови източници, например вентилационни системи и офис оборудване, за които е характерно трудност или невъзможност за управление.

2.3. Разработване на метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открит офис

Принципите на изследване на слуховия апарат, чрез измерване на индивидуалните психофизичните характеристики (PTCs) на всеки човек са разработени, като цяло за определяне на честотната селективност на кохлеята и определянето на неактивните зони в нея. В дисертационния труд чрез изразите от 2.12 до 2.22 са дефинирани следните сигнали, с които се извършва измерване на индивидуалните PTCs: синусоидален тестов сигнал $s_{test}(t)$ с избрана честота f_{tsig} и с ниво на слухово възприятие $T_{sl} = 10\text{dB}$ във вид на повтарящ се цикъл от импулси с продължителност $T_{tsig}^{pulse} = 300\text{ms}$ и паузи с продължителност $T_{tsig}^{pause} = 200\text{ms}$ и време за нарастване и затихване на импулсите $T_{rise}^{pulse} = T_{decay}^{pulse} = 20\text{ms}$, съответстващо на прозоречна функция на Hanning във времето; маскиращ сигнал с промяна на нивото $nl_{smask}^{chg} = 2\text{dB/sec}$ извършвано чрез помощта на теснолентов маскиращ сигнал $s_{mask}(t)$ с променлива централна честота f_{cmask} варираща от $f_{cmask}^{\min}$ до $f_{cmask}^{\max}$ за спектрално/симултантно маскиране или от $f_{cmask}^{\max}$ до $f_{cmask}^{\min}$ за обратно маскиране, при условие че е съществува следната разлика между $f_{cmask}^{\min}$ и $f_{cmask}^{\max}$: $f_{cmask}^{\max} - f_{cmask}^{\min} = 4f_{cmask}^{\min}$, т.е. две октави.

На базата на изразите от 2.12 до 2.22, изведени в дисертационния труд, е предложена следната последователност на измервания на индивидуалните PTCs на всеки работещ в отфторения офис:

- регистриране на фиксираните минимални нива на теснолентов маскиращ сигнал $s_{mask}(t)$ при различни честоти, чрез който да се маскира синусоидален тестов сигнал $s_{test}(t)$ с фиксирано звуково ниво;
- използване на регистрираните фиксирани минимални нива на теснолентовия маскиращ сигнал $s_{mask}(t)$ в предложения метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открит офис;
- анализ на резултатите от измерванията на индивидуалните психофизични характеристики (PTCs) на всеки работещ в открит офис, като този анализ има за цел да определи минималната стойност на централната честота

$$f_{cmask} = f_{cmask}^{\min}, \quad (2.21)$$

при която нивото $L_{smask}(f_{cmask})$ на сигнала на маскиращия шум $s_{mask}(t)$, като функция на f_{cmask} , достигне минимална стойност, т.е.

$$L_{smask}(f_{cmask}) = L_{smask}^{\min}(f_{cmask}^{\min}), \quad (2.22)$$

При определянето и особено при практическо измерване на индивидуалните психофизични характеристики (PTCs) на всеки работещ в открит офис се използват

измерените нива на маскиращия шум $s_{mask}(t)$ като функция на централната честота f_{cmask} , но при тяхното графично представяне се забелязва значителна локална неравномерност (виж Фиг. 4.5, Фиг. 4.6 и Фиг.4.7 в Глава 4 в дисертационния труд). Тя може да бъде причина за грешки определяне стойността на централната честота $f_{cmask}^{\min}$, за която се получава минималната стойност $L_{smask}(f_{cmask}) = L_{smask}^{\min}(f_{cmask}^{\min})$, а тя участва в определянето на индивидуални психофизични характеристики (PTCs) на всеки работещ в открит офис. Необходимо е тази неравномерност да се отстрани или намали чрез допълнителна обработка, т.е. чрез филтрация. За целта, при експерименталното определяне в Глава 4 на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открит офис, е предложено да се извършва филтриране на неравномерността във формата на измерените нива на маскиращия шум $s_{mask}(t)$, с цел повишаване точността за определяне минимално ниво на маскиращият сигнал $L_{smask}(f_{cmask}) = L_{smask}^{\min}(f_{cmask}^{\min})$, и с това да се повиши съответно точността на определяне на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открит офис, които се използват в предложения метод за локално повишаване ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране.

2.4. Дефиниране на критерии за обективна оценка на степента на повишаване ефективността на звуковото маскиране чрез предложения метод

Субективните методи и критерии се базират главно на експериментални тестове (проведени в Глава 4 на дисертационния труд) с подходящи звукомаскиращи сигнали и усредняване на индивидуалните (субективни) оценки на участниците (работещите в отворения офис) за тяхното възприятие на ефекта от действието на маскиращия сигнал, в случая за разработвания в дисертационния труд метод на маскиране на звука. Обективните методи се основават на теоретично дефиниране и практическо измерване на разбираемостта на говора и могат да се разделят на две групи, основни представители на които са следните два широко разпространети метода:

- метод за определяне индекса за предаване на говор Speech Transmission Index (STI), при който се взима пред вид и влиянието на реверберацията в отворените офиси;
- метод, предложен в стандарта ANSI S3.5, за определяне индекса за разбираемост на говор Speech intelligibility index (SII), при който не се отчита влиянието на реверберацията в отворените офиси.

Основните принципи на първия метод за определяне на STI са описани теоретично (изрази от 2.24 до 2.29 в дисертационния труд), в резултата на което са изведени следните два крайни изрази 2.28 и 2.29 за определяне индекса за предаване на говор STI и неговата разновидност RASTI (представен графично на Фиг. 2.5), съответно:

$$STI = \frac{15 + \sum_{j=1}^7 k_j \left(\frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} SN_{app}(Fi, fi) \right)}{30}, \quad (2.28)$$

при $SN_{app} > 15 \text{ dB}$ се приема $SN_{app} = 15 \text{ dB}$; при $SN_{app} < -15 \text{ dB}$ се приема $SN_{app} = -15 \text{ dB}$ където

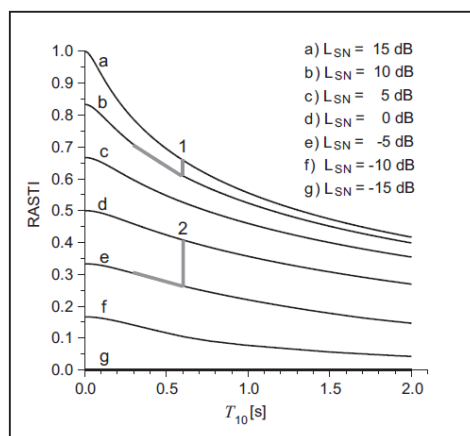
k_j са тегловни коефициенти за всяка октава (в случая за седемте честотни октави от 125 до 8000 Hz) със стойности 0.13, 0.14, 0.11, 0.12, 0.19, 0.17 и 0.14.

$$RASTI = \frac{1}{2} + \frac{1}{270} \sum_{i=3,6,9,12} SN_{app}(Fi, 500\text{Hz}) + \frac{1}{270} \sum_{i=2,5,8,11,13} SN_{app}(Fi, 2000\text{Hz}), \quad (2.29)$$

Предлагат се изрази 2.28 и 2.29 за определяне на STI и RASTI да се използват в настоящият дисертационен труд като основен метод и критерий за обективна оценка на

степената на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

Паралелно с това в Глава 4 на дисертацията са проведени също и симулационни изследвания в програмната среда Matlab за определяне на STI с предварително подготвени аудио записи на говор на работещите в един открит офис.



Фиг. 2.5. Графично представяне на RASTI във функция от ранното време RT_{10}

Извършена е сравнителна оценка с резултатите от измерванията на STI в реална акустична среда на индивидуалните психофизични характеристики на работещите в открити офиси.

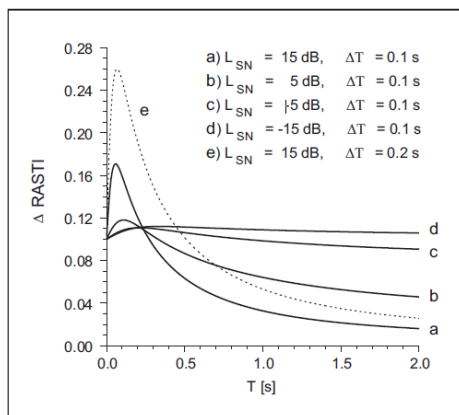
2.5. Анализ и оценка на точността на определяне на STI при използването му като критерий за обективна оценка на повишаването ефективността на звуковото маскиране

Анализирането и оценката на точността при определяне на STI е проведено, за да се аргументира неговото използване като обективен критерий за степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и използване на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открити офиси. От изведените изрази (от 2.24 до 2.29) може да се установи, че теоретичното определяне на индекса за предаване на говор (STI) зависи главно от стойностите на общото ниво на говора L_{sn} и времето на реверберация, включваща ранните отражения Early Decay Time (EDT). В проведенения анализ (изрази от 2.30 до 2.37 в дисертационния труд) е прието по-конкретно изследванено на точността да се извърши за параметъра RASTI. Причината за този избор е посоченото по-горе предимство при определянето на RASTI, свързано със значително намаляване на сложността, съответно и времето за определянето му. В резултат на този анализ е изведен следния израз за зависимостта на абсолютната грешка $\Delta RASTI$ от основните входни параметри и техните абсолютни грешки:

$$\left| \frac{\partial L_s}{\partial \alpha_c} \Delta \alpha_c \right| \leq 1dB \text{ и } \left| \frac{\partial L_s}{\partial \alpha_r} \Delta \alpha_r \right| \leq 2dB, \quad (2.38)$$

Анализът на изведения израз (2.38) показва, че абсолютната грешка на нивото на говор е $\Delta L_s \leq 3dB$. На фиг.2.6 е представена в графичен вид на $\Delta RASTI$ за пет различни начални стойности на отношението говорен сигнал/шум L_{SN} и грешката от определянето на времето на реверберация ΔT . На фиг.2.6 се проявяват следните признаци на неопределеност при прогнозиране на $\Delta RASTI$: при по-голямо време на

реверберация грешката $\Delta RASTI$ е по-малка, което означава, че грешките са по-вероятни в помещения с кратко време за реверберация; също така е очевидно, че при по-малки стойности отношението говорен сигнал/шум L_{SN} се влияе по-малко от промените във времето на реверберация ΔT . Общият полезен за практиката извод от тези заключения е че, ако при малко отношение говорен сигнал/шум L_{SN} , не е необходимо (задължително) да се познава времето на реверберация и неговите изменения ΔT .



Фиг.2.6 Зависимост на абсолютната грешка на индекса за предаване на говор - $\Delta RASTI$ от отношението говорен сигнал/шум L_{SN} и времето на реверберация ΔT

2.6. Приноси към глава 2 на дисертационния труд

Въз основа на извършените теоретични изследвания за създаване на математически модел и метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси могат да се дефинират следните основни приноси в глава 2:

- предложен е геометричен вид (фиг.2.1) на математически модел на акустичната обстановка в отворен офис с цел използването му при разработването на метод за повишаване ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне на персоналните характеристики или криви за индивидуална психофизична настройка на всеки работещ в открит офис;

- изведени са изрази (от 2.1 до 2.11) за определяне на звуковите нива в зависимост от траекториите на звуковите вълни, представени в геометричния вид на предложения математически модел на акустичната обстановка в отворен офис;

- разработен е метод за определяне, чрез изведените крайни изрази (2.21 и 2.22), на индивидуалните RCTs на всеки работещ в открит офис, при което са използвани изведените изрази (от 2.1 до 2.11) за определяне на звуковите нива в зависимост от траекториите на звуковите вълни, представени в геометричния вид на предложения математически модел на акустичната обстановка в отворен офис;

- дефиниран е индексът за предаване на говор (STI) като критерий (изрази 2.28 и 2.29) за обективна оценка на степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси;

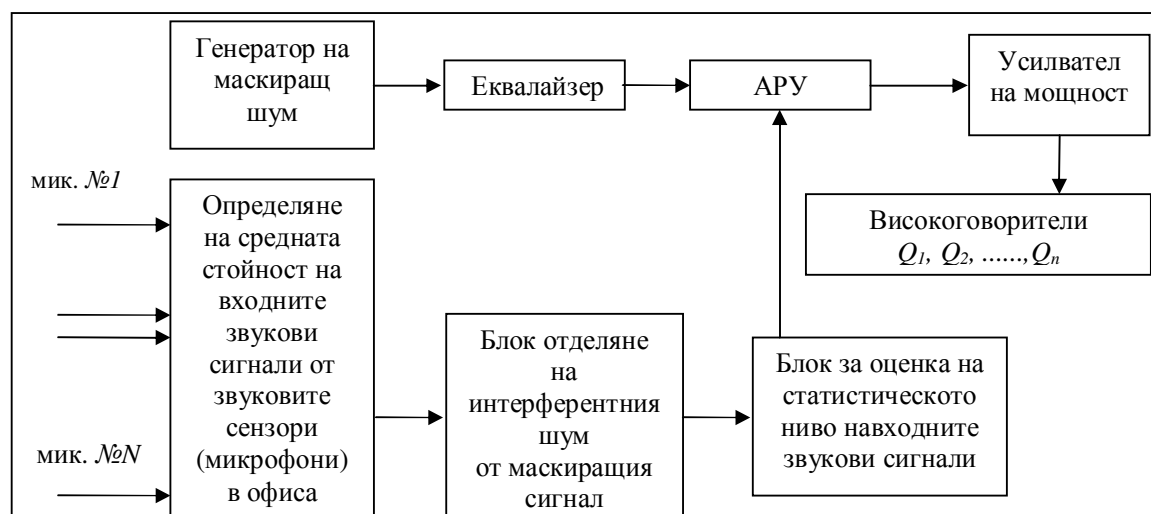
- извършен е анализ и оценка, чрез изведените изрази (от 2.30 до 2.38), на точността на определяне индекса за предаване на говор (STI) при използването му като критерий за обективна оценка на степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и

използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

ГЛАВА 3. АЛГОРИТМИ ЗА ГЕНЕРИРАНЕ НА МАСКИРАЩИ СИГНАЛИ В РАЗРАБОТВЕНИЯ МЕТОД ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЗВУКОВОТО МАСКИРАНЕ

3.1. Дефиниране на функциите на генератора на маскиращи сигнали в системите за маскиране на звука

Фиг.3.1 показва мястото и функциите на генератора за маскиращи сигнали.

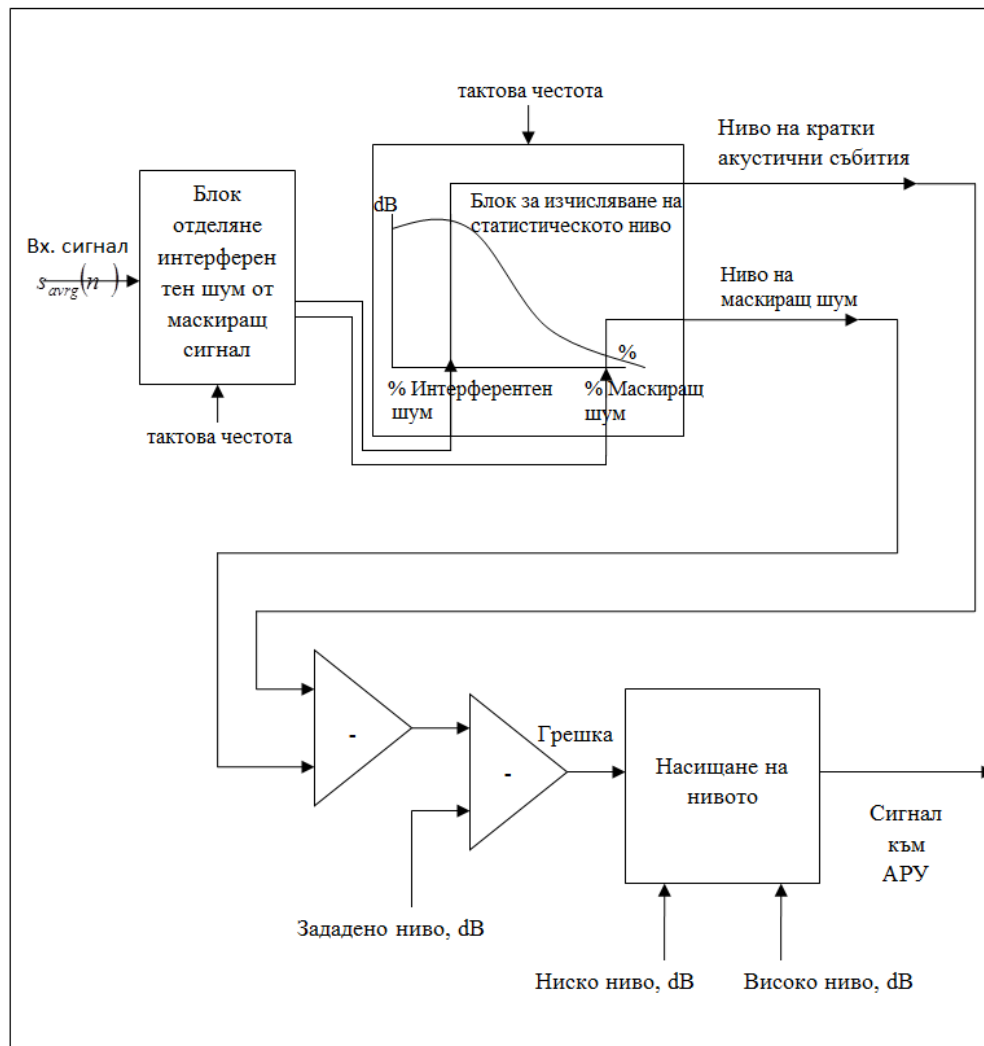


Фиг.3.1. Функционална блокова схема на система за маскиране на звука, показваща мястото на генератора за маскиращи сигнали

Генераторът на маскиращ сигнал създава маскиращ сигнал с определена форма и вид, подходящ за излъчване от звукомаскираща система. Този сигнал преминава през блок за промяна на неговото ниво (Еквалайзер), с цел създаване на модифициран маскиращ сигнал, усилването му се регулира автоматично (АРУ) и след усилвателя на мощност се разпределя към $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ високоговорители, разположени над съответните n работните места работни места в отворения офис. Чрез звукови сензори (микрофони), мик. №1, мик. №2, ..., мик. №N се следи постоянно нивото на шума в отворения офис, като се определя на неговата средна стойност и статистическото ниво (фиг.3.2).

3.2. Алгоритъм за моделиране на маскиращ сигнал в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

Действието на предложената чрез фиг.3.1 и 3.2 функционална блокова схема е представено под формата на следния алгоритъм, представен на фиг.3.3: стартна звукомаскиращата система; въвеждане на информация за акустичната среда; определяне статистическите нива и нивото на изходния модифициран маскиращ сигнал в зависимост от статистическите нива; определяне и сравняване на разликата между общите статистически нива на кратки акустични събития и фоновият шум с фиксиран набор от прагови стойности на звуковите нива; настройка на нивото на изходния модифициран маскиращ сигнал в зависимост от определената статистическа грешка. В случай, че действието на звукомаскиращата система трябва да продължи, се пристъпва към обновяване (въвеждане на нова) на информацията за акустичната среда в отворения офис, а в противен случай се спира действието на маскиращата система.



Фиг. 3.2 Блок за оценка на статистическото ниво на интерференционния шум.

3.3. Дефиниране на математическото определение на предложения вид „бял шум“ на генерирания модифициран маскиращ сигнал

От дефинираните основни функции на генератора за маскиращи сигнали следва, че маскиращият сигнал е бял шум с постоянно ниво и автокорелационна функция K :

$$F(w) = F_0 = \text{const} \quad (3.1)$$

$$K(\tau) = \frac{F_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{jw\tau} dw = F_0 \delta(\tau), \quad (3.2)$$

модифициран в съответствие с измерените индивидуални PTCs на съответния работещ $WR_1, WR_2, \dots, WR_n$ в открития офис.

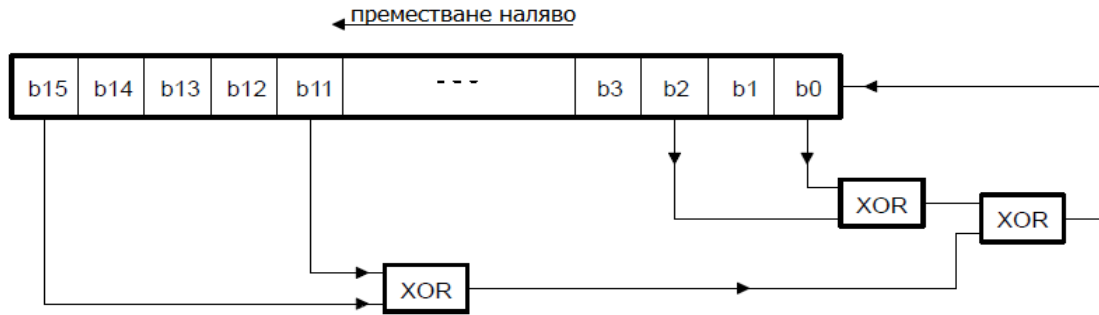
Дефинираното чрез изразите 3.1 и 3.2 понятие за бял шум е теоретично и абстрактно. Практически белият шум винаги е „псевдо случаен“ и се генерира чрез множество различни способи, които са анализирани в настоящия дисертационен труд и са предложени за реално използване и прилагане следните конкретни методи, алгоритми и средства: генериране чрез псевдо-случаен генератор; формиране и излъчване на насочен в определено направление маскиращ сигнал; допълнителна обработка цел подобряване на неговите характеристики и неговото модифициране в съответствие със стойностите на измерените индивидуални PTCs на всеки работещ в открити офиси.



Фиг. 3.3. Алгоритъм за моделиране на маскиращ сигнал в звукомаскиращите системи

3.4. Генериране на бял шум чрез първичен източник на базата на псевдо случаен генератор в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

Генерирането на бял шум чрез псевдо-случаен генератор може да се реализира апаратно или програмно с преместващи регистри (фиг.3.4).



Фиг. 3.4. Генериране на бял шум на базата на псевдо-случаен генератор

Дължината L на генерираната псевдо случайна последователност се определя от броя на разрядите M на преместващия регистър:

$$L = 2^M - 1 \quad (3.3)$$

3.5. Генериране на насочен в определено направление маскиращ сигнал чрез закъснение в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

Възможно е в отворените офиси смушаващите звукови сигнали да имат насочено действие към съответно работно място, от което следва и маскиращият сигнал да се формира като насочен в определено направление. В настоящия дисертационен труд е предложено чрез микрофонна решетка (в общия случай от N на брой звукови сензори (микрофони) мик. №1, мик. №2,....., мик. № N на фиг.3.1.) да се определя посоката, от която пристигат смушаващите звукови сигнали в съответното работно място и тя да се използва за формиране и насочване на маскиращите сигнали към съответното работно място, където трябва да действа маскирането, чрез Q на брой източници на звук, разпределени произволно, генерирайки сигнал $u(t; r_q)$ в позиция r_q . При тази постановка приетият звуков сигнал от N -тия микрофон, разположен в позиция r_m , може да бъде преставен чрез следния израз:

$$x_m(t) = \sum_{q=1}^Q u(t; r_q) * h(t; r_m; r_q), \quad (3.4)$$

където

r_m и r_q са координатите на N -тия микрофон и съответно Q -тия звуков източник;

$h(.)$ - импулсна характеристика на разпространението на звука:

$$h(t; r_m, r_q) = \sum_{k=0}^{\infty} a_{qm,k}(t - \tau_{qm,k}); \quad (3.5)$$

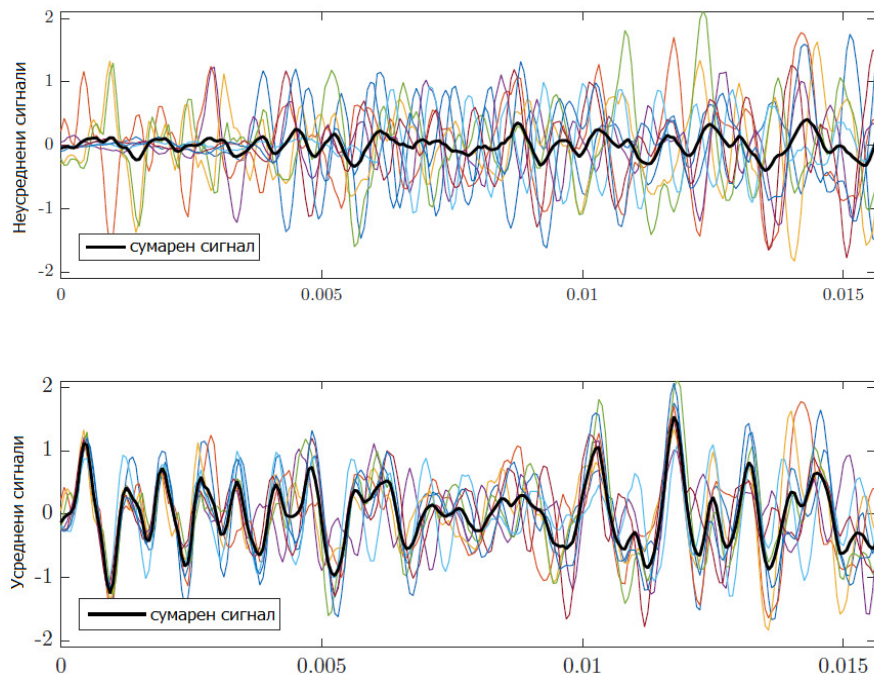
$a_{qm,k}$ - характеристика на затихване от k -тата траектория на разпространение на звука;

$\tau_{qm,k}$ - съответното закъснение от звуковия източник до k -тия микрофон.

В дисертационния труд е представено подробно преобразуването на приетия звуков сигнал от всеки N -ти микрофон (изрази от 3.6 до 3.14), в резултат на което е получен следния краен израз за формирания с насочено действие маскиращ сигнал:

$$y(r_p)[n] = \sum_{m=1}^M |w_m| \cdot x_m[n - \tau_{pm} \cdot f_s] \quad (3.15)$$

На фиг.3.5 са показани времедиаграми с цветни линии на реалните маскиращи сигнали, приети от отделните микрофони, а с плътна линия формирания с насочено действие маскиращ сигнал в съответствие с получения израз (3.15).



Фиг.3.5. Визуализиране с цветни линии маскиращите сигнали от отделните микрофони, а чрез черна линия - формирания с насочено действие маскиращ сигнал

3.6. Генериране на маскиращия сигнал чрез алгоритъма на Грифит и Джим с цел подобряване на неговите характеристики чрез отделяне на интерферентния смушаващ шум

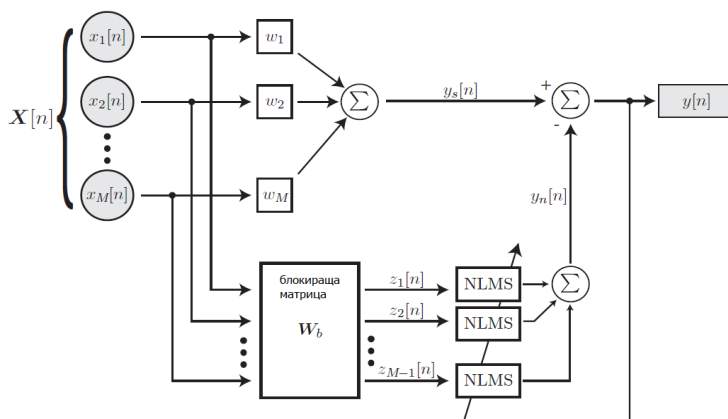
В настоящата дисертация е предложен алгоритъм за допълнителна обработка (подробно представена в дисертационния труд чрез изразите от 3.16 до 3.20) на маскиращия сигнал за подобряване на характеристиките му чрез отделяне на интерферентния смушаващ шум по метода на Грифит и Джим, (фиг.3.6), в резултат на което маскиращият сигнал се описва чрез следния израз:

$$y[n] = y_s[n] - \sum_{k=1}^{M-1} w_k^T[n] z_k[n], \quad (3.19)$$

където

$z_k[n]$ е k -тия ред на блокиращата матрица;

$w_k[n]$ е k -тата колона на NLMS филтъра.



Фиг.3.6. Отделяне на маскиращия сигнал по метода на Грифит-Джим

3.7. Генериране на маскиращ сигнал при времево-честотно маскиране с разпределени микрофони в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

В отворените офиси има източници на звук (например говорещи хора), разпръснати произволно и затова в настоящия дисертационен труд е предложено генериране на маскиращ сигнал, подходящ за времево-честотно маскиране с разпределени звукови сензори (микрофони) мик. №1, мик. №2,.....,мик. №N), приемащи и регистриращи аудио информацията главно от говор и разговори в отворения офис, представена чрез следния израз за всеки микрофон:

$$Y[k, i, r_p] = \sum_{q=1}^Q G_{pq}[k].X[k, i, r_q], \quad (3.21)$$

където

i е индексът на избрания времеви прозорец;

k - индекс на честотната лента;

$X[.]$ – означение на преобразуване от времевата в честотна област на звуковите сигнали от източника в позиция r_q ;

$G_{pq}[k]$ - дискретна функция на преобразуването дефинирана за източник при позиция r_q с точка на фокусиране на звуковия лъч r_p .

В дисертацията са представени по-детайлно изразите от 3.22 до 3.24, чрез които е получен крайния израз 3.25, описващ генерирането на сигнал за времево-честотно маскиране:

$$Y'[k, i, r_p] = T_p[k, i].Y[k, i, r_p]. \quad (3.25)$$

При генерирането на маскиращ сигнал за времево-честотно маскиране (израз 3.25) с разпределени микрофони се реализират следните предимства: намаляване на разбираемостта на смущаващия говор; възможност за обективна оценка на това намаляване чрез измерване на STI.

3.8. Случай на генериране на маскиращ сигнал само с един маскиращ източник за времево-честотно маскиране в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

Дефинирането и генерирането на маскиращ сигнал чрез предложеното времево-честотно маскиране (израз 3.25) може да се демонстрира за прост случай само с един единствен източник на първичен маскиращ сигнал в позиция r_1 и единичен интерферентен шумов източник в позиция r_2 . Тогава маскиращият сигнал $|Y[k, i, r_1]|^2$ може да бъде описан чрез следния израз:

$$\begin{aligned} & |G_{11}[k]|^2 \cdot |X[k, i, r_1]|^2 + |G_{12}[k]|^2 \cdot |X[k, i, r_2]|^2 \\ & + 2|\Re\{(G_{11}[k]G_{12}^*[k])(X[k, i, r_1]X^*[k, i, r_2])\}| \end{aligned} \quad (3.26)$$

Съответно звуковата мощност на маскиращия сигнал $|Y[k, i, r_2]|^2$ се описва чрез израза:

$$\begin{aligned} & |G_{21}[k]|^2 \cdot |X[k, i, r_1]|^2 + |G_{22}[k]|^2 \cdot |X[k, i, r_2]|^2 \\ & + 2|\Re\{(G_{22}[k]G_{21}^*[k])(X[k, i, r_2]X^*[k, i, r_1])\}| \end{aligned}, \quad (3.27)$$

където

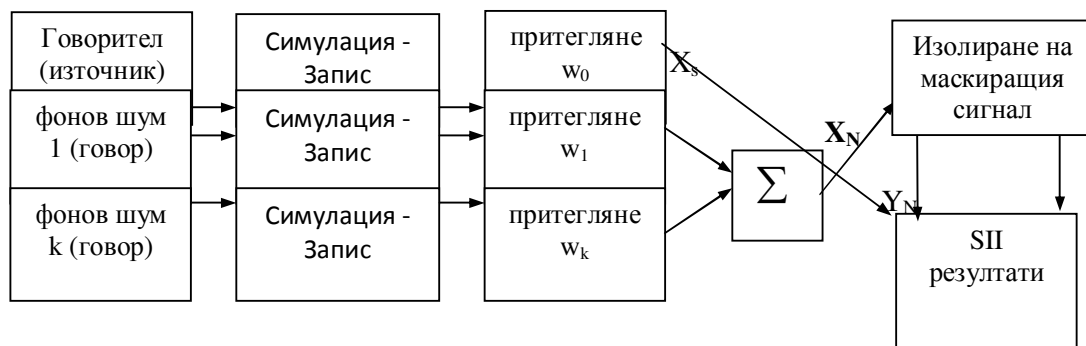
G_{11} и G_{22} са коефициенти на усилване, представящи формиращият маскиращ сигнал в точките на фокусиране r_1 и r_2 и техните стойности са по-големи от стойностите на коефициенти G_{12} и G_{21} , описващи маскиращия сигнал извън точките на фокусиране;

$R\{.\}$ - реалната част от сигнала.

В дисертационния труд чрез изразите 3.26 и 3.27 този случай е анализиран детайлно, като се дефинирани полезни за практиката гранични условия чрез изведените изрази 3.28, 3.29 и 3.30, представени в дисертационния труд.

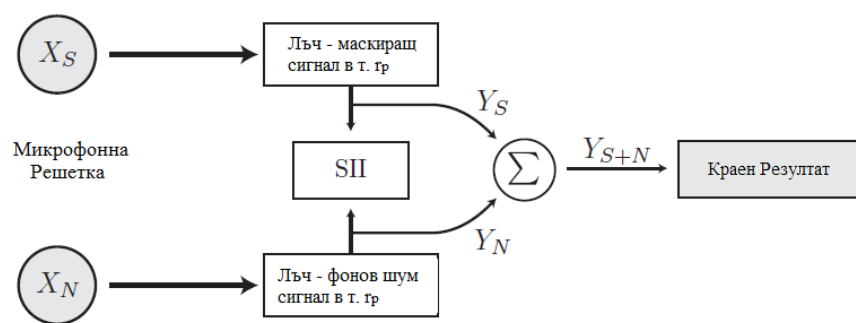
3.9. Създаване на симулационен модел за изследване на предложените варианти за генериране на маскиращи сигнали в разработвания метод за повишаване ефективността на звуковото маскиране

Създаден е симулационен модел (Фиг.3.7), с който да се изследват чрез моделиране и симулации възможностите и характеристиките на предложените варианти за генериране на маскиращи сигнали подходящи за използване в разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PTCs на всеки работещ в открити офиси.



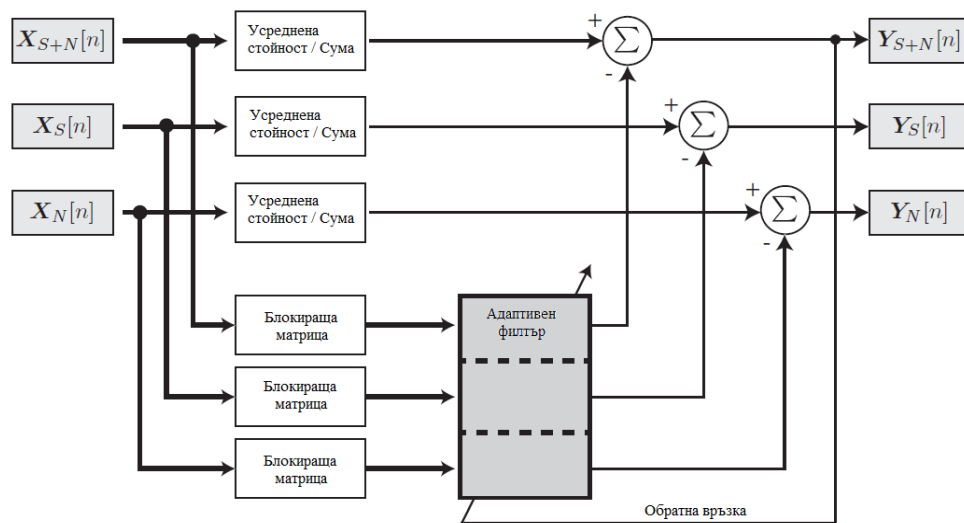
Фиг.3.7. Функционална схема на създадения симулационен модел за изследване на предложените варианти за генериране на маскиращи сигнали

На фиг.3.8 е представен симулационния модел на варианта за формиране на маскиращ сигнал със закъснение, включващ по-детайлно целия процес от приемането на звуковите сигнали чрез микрофоните, т.е. от събирането (или запис на аудио информацията), като входни данни при симулацията или измерванията, до крайния етап - оценката на разбираемостта на говора чрез определяне или измерване на STI.



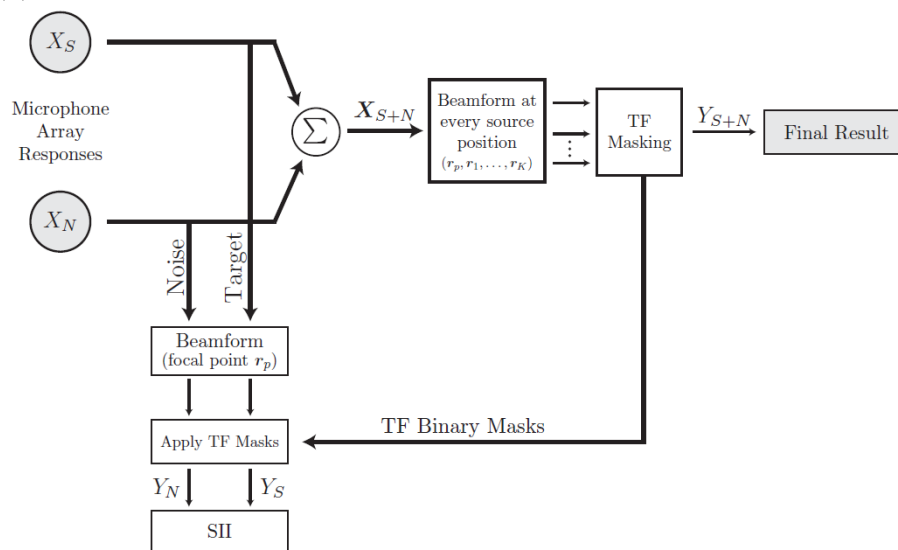
Фиг.3.8. Функционална схема на адаптиран симулационен модел на варианта за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} със закъснение

Представеният на фиг.3.8 симулационен модел на варианта за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} със закъснение може да се сравни с описания по-горе алгоритъм на Грифит и Джим, като за целта е разработен съответен адаптиран вариант на симулационен модел, показан на фиг.3.9.



Фиг.3.9. Функционална схема на адаптиран симулационен модел на варианта за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} чрез алгоритъма на Грифит-Джим

Симулационният модел на вариант за време-честотно маскиране е показан на фиг.3.10 и също може да бъде сравнен с представените по-горе варианти на симулационни модели за формиране на маскиращия сигнал със закъснение и чрез алгоритъма на Грифит-Джим.



Фиг.3.10. Функционална схема на разработения симулационен модел на варианта за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} при време-честотно маскиране

Описаните по-горе функционални схеми на следните три варианта на симулационни модели:

- за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} със закъснение (фиг.3.8);
- за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} чрез алгоритъма на Грифит-Джим (фиг.3.9);
- за формиране на маскиращия сигнал Y_{S+N} при време-честотно маскиране (фиг.3.10),

са детайлно изследвани при провеждане на експерименталните изследвания в Глава 4 на настоящия дисертационен труд, с цел сравнение на техните възможности за

маскиране в аспект на използване в разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси.

3.10. Приноси към глава 3 на дисертационния труд

Въз основа на предложените и разработените варианти на алгоритми за генериране на маскиращи сигнали, предназначени за разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси, могат да се дефинират следните основни приноси в глава 3:

- дефинирани са (Фиг.3.1 и Фиг.3.2) функциите на генератора на маскиращи сигнали в системите за маскиране на звука в съответствие с изискванията на разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси;

- предложен е алгоритъм (Фиг.3.3) за моделиране на маскиращ сигнал в системите за маскиране на звука в съответствие с изискванията на разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси;

- дефинирано е математическото определение (изрази 3.1 и 3.2) на предложения вид „бял шум“ на генерирания маскиращ сигнал, модифициран в съответствие с определенията чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открития офис;

- предложена е функционална схема (Фиг. 3.4) за генериране на бял шум за звуково маскиране на базата на псевдо случаен генератор, изпълнен апаратно или програмно с преместващи регистри, в съответствие с определенията чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открития офис;

- теоретично са описани предложените три варианта на алгоритми за генериране на маскиращ сигнал: чрез използване на микрофонни решетки и закъснение (изрази 3.11 и 3.15); по метода на Грифит и Джим (изрази 3.19 и 3.20) и при времево-честотно маскиране (изрази 3.23, 3.24 и 3.25), които са предназначен за използване в разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси;

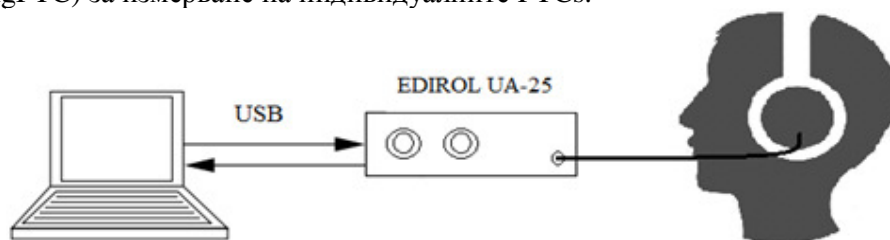
- предложен е симулационен модел (Фиг.3.7), чрез който са разработени функционалните схеми на предложените три варианта на алгоритми за генериране на маскиращ сигнал: чрез използване на микрофонни решетки (Фиг.3.8) и закъснение; по метода на Грифит и Джим (Фиг.3.8) и при времево-честотно маскиране (Фиг.3.8), предназначени за експериментално изследване в Глава 4 на разработвания метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси.

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА СЪЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ И МЕТОД ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ЗВУКОВОТО МАСКИРАНЕ

4.1. Експериментална постановка за измерване на индивидуалните PCTs на работещите в отворени офиси

Експерименталното изследване на разработения в Глава 2 (Параграф 2.7.1) метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез определяне на индивидуалните PCTs на всеки работещ в открити офиси се базира

на изведените изрази (2.12 – 2.20). Създадена е опитна постановка (Фиг. 4.1), която включва: компютър за генериране на тестови звукови сигнали; външен USB интерфейс (Фиг. 4.2 вляво) и слушалки (Фиг. 4.2 вдясно); програмна система SWPTC (SweepingPTC) за измерване на индивидуалните PTCs.



Фиг.4.1 Опитна постановка за измерване на индивидуалните психофизични характеристики (PTCs) на работещите в реално действащ отворен офис



Фиг.4.2 Апаратни средства в експерименталната постановка: външен USB интерфейс тип EdiolUA-25(вляво) и слушалки тип SHURESRH-440 (вдясно)

4.2. Разработване на алгоритъм за провеждане измервания на индивидуалните PTCs на работещите в отворен офис

Чрез експериментална постановка (Фиг.4.1) са проведени действия за измерване на индивидуалните PTCs под формата на следния алгоритъм:

- стартира се от компютъра програмната система SWPTC за измерване на PTCs;
- извършва се калибриране на усилването на възпроизвеждане на звука;
- въвеждат данни за участника в измерванията;
- задават се параметрите на чистия тон и на маскиращия бял шум (фиг.4.3);
- стартира се, чрез бутона Start (Фиг.4.3), процедурата за измерване на индивидуалните PTCs на съответния работещ в отворения офис, която протича автоматично под управлението на вграден в програмната система SWPTC алгоритъм.

The screenshot shows the SWPTC software interface. It has several sections:

- Initial data:** Subject name: ABC, Test ear: R.
- Probe signal:** Load Signal button, Signal frequency: 1000 Hz, Signal duration: 0.2 s, Interval between signal pulses: 0.2 s, Signal level: 40 dB SPL, Threshold measurement button.
- Sweeping noise:** Load Noise button, Lowest frequency of the masker: 500 Hz, Highest frequency of the masker: 1500 Hz, Noise duration: 180 s, Bandwidth: 200 Hz, Sweep direction: Forward, Rate of change of masker level: 2 dB/s, Initial noise level: 45 dB SPL, and a checkbox for 'Low pass noise present'.
- Control buttons:** Preview, Load input data, Save input data as ..., Start.

Фиг.4.3. Дефиниране на параметрите на чистия тон и на маскиращия бял шум в диалоговия прозорец на програмната система SWPTC

4.3. Обработка и анализ на резултатите от измерването на индивидуалните PTCs

Резултатите от измерването на индивидуалните PTCs за всички участници в измерването, се съхраняват в компютъра след приключване на всички измервания и са обект на следваща обработка, която се базира на изведените в Глава 2 на дисертацията изрази 2.21 и 2.22 и включва следните етапи:

- обработка, с цел повишаване на точността чрез филтриране на локалната неравномерност на измерените нива на маскиращия шум ;
- анализиране на тази функция с цел чрезнамиране на минималната стойността на централната честота $f_{cmask}^{\min}$;

$$f_{cmask} = f_{cmask}^{\min}, \quad (4.1)$$

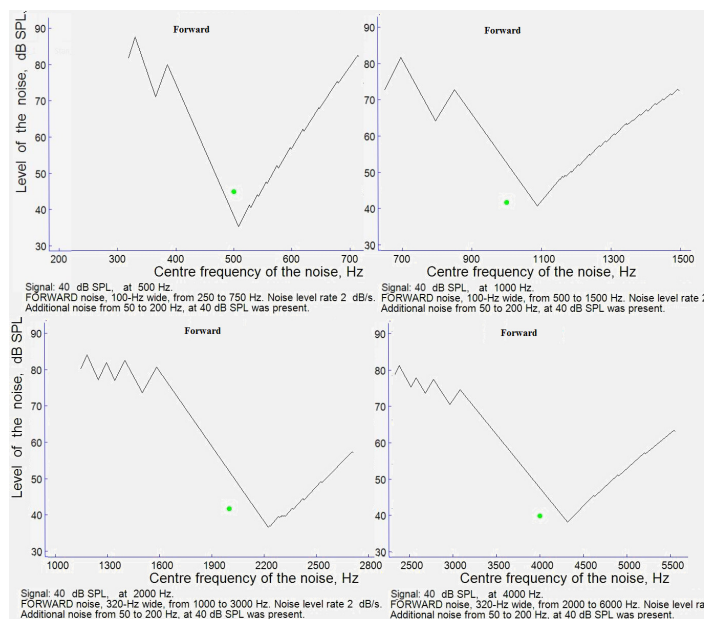
да се определи минималната стойност на нивото $L_{smask}(f_{cmask})$ на маскиращия шум:

$$L_{smask}(f_{cmask}) = L_{smask}^{\min}(f_{cmask}^{\min}) ; \quad (4.2)$$

- използване на определеното минимално ниво на маскиращият сигнал $L_{smask}(f_{cmask})$ за локално повишаване на ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране.

4.3.1. Филтриране на неравномерността във формата на измерените нива за повишаване точността за определяне минимално ниво на маскиращият сигнал

Наличие на локална неравномерност се забелязва в измерените нива на маскиращия шум $s_{mask}(f)$ за всички участници (в дисертационния труд на фигури от фиг.4.5, 4.6 и 4.7 за тримата участници), а на фиг.4.5 това може да се види за участник №1. Тази неравномерност води до грешки при определяне на минималната стойност на централната честота $f_{cmask}^{\min}$. Поради трябва да се извърши филтриране на функцията на измерените нива на маскиращия шум $s_{mask}(f)$ с цел повишаване на точността при определянето на минималната стойността на централната честота $f_{cmask}^{\min}$.



Фиг.4.5 Измерени нива на маскиращият сигнал $s_{mask}(f)$ във функция на централната честота f_{cmask} за Участник №1.

За филтриране на неравномерността във формата на функцията на измерените нива на маскиращия шум $s_{mask}(t)$ от централната честота f_{cmask} са избрани три метода: - moving average (или плъзгаща се средна стойност с използване на две и четири точки при усредняването); double pass filtering (или филтриране с двузвнен лентов филтър); quadratic function (или филтър с квадратична функция). В дисертационния труд са разгледани трите метода, а в автореферата е представен накратко чрез следния израз само метода moving average (или плъзгаща се средна стойност с използване на две и четири точки при усредняването):

$$L_{smask}^{smt}(f_{cmask}^k) = \frac{1}{2n+1} \sum_{i=-n}^{i=+n} L_{smask}(f_{cmask}^{k+i}), \quad (4.3)$$

където

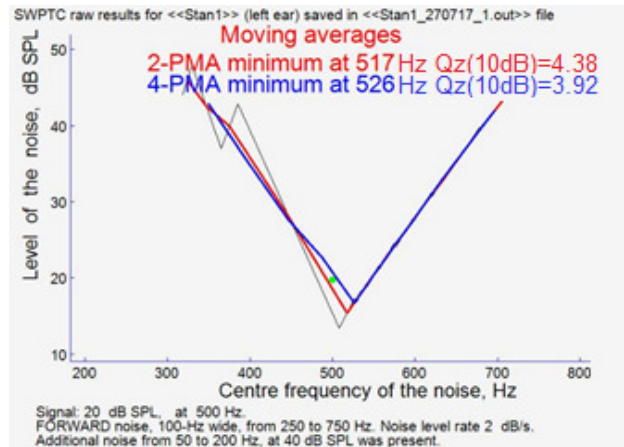
$L_{smask}^{smt}(f_{cmask}^k)$ е филтрираната k -th стойност на нивата $L_{smask}(f_{cmask})$;

f_{cmask}^k - текущата k -th стойност на централната честота f_{cmask} ;

$2n+1$ - нечетно число, дефиниращо порядъка на филтъра.

4.3.2. Експериментална проверка на филтрирането на неравномерността във формата на измерените нива на маскиращия шум

При експерименталното прилагане на изглаждането на неравномерността на функцията на измерените нива на маскиращия шум са дефинирани конкретни стойности за n и $2n+1$: $n=2$ и $n=4$, и съответно $2n+1=5$ и $2n+1=9$ и на фиг.4.8 е представен резултатът от филтрирането по метода на moving average (или плъзгаща се средна стойност) за стойностите $n=2$ и $n=4$, означени съответно като PMA = 2 и PMA = 4.



Фиг. 4.8. Резултат от филтрирането по метода moving average

Визуалната оценка на резултатите от филтрирането за намаляване на неравномерността показва следното:

- неравномерността е по-малка в случай на избор на PMA = 4, а минимумът на нивото на маскиращия шум $s_{mask}(t)$, отбелязано с $L_{smask}(f_{cmask})$ е по-ясно изразен;

- има разлики в позициите на минимума на нивото на маскиращия шум $s_{mask}(t)$ на фиг. 4.8 без и с използване на изглаждане.

Получените резултати за филтрация на кривата на нивата на маскиращият сигнал $s_{mask}(t)$ по метода на moving average (или плъзгаща се средна стойност) са сравнени с проведени в дисертационния труд експерименти и с другите два метода за филтрация: double pass filtering (или филтриране с двузвнен лентов филтър) и quadratic function (или филтър с квадратна функция). Резултатите от сравнението са показани в

дисертационния труд под формата на сравнителни таблици 4.1, 4.2 и 4.3 за Участник №1, №2 и №3, а в автореферата е представена само Таблица 4.1 за Участник №1.

Таблица 4.1. Резултати (за Участник №1) от определянето на стойностите на минималната централна честота f_{cmask}^{min} , и разлики при трите метода

Резултати за Участник 1, възраст 37г.				
Честота на тестовия сигнал, Hz	500	1000	2000	4000
Минимална централна честота f_{cmask}^{min} и девиацията спрямо нея при метода с плъзгаща се средна стойност при n=2 или РМА=2	$f_{cmask}^{min} = 517$ Разлика 17	$f_{cmask}^{min} = 1090$ Разлика 90	$f_{cmask}^{min} = 2228$ Разлика 228	$f_{cmask}^{min} = 4468$ Разлика 468
Минимална централна честота f_{cmask}^{min} и девиацията спрямо нея при метода с плъзгаща се средна стойност при n=4 или РМА=4	$f_{cmask}^{min} = 526$ Разлика 26	$f_{cmask}^{min} = 1060$ Разлика 60	$f_{cmask}^{min} = 2243$ Разлика 243	$f_{cmask}^{min} = 4615$ Разлика 615
Минимална централна честота f_{cmask}^{min} и девиацията спрямо нея при филтриране с двойно преминаване	$f_{cmask}^{min} = 540$ Разлика 40	$f_{cmask}^{min} = 1055$ Разлика 55	$f_{cmask}^{min} = 2200$ Разлика 200	$f_{cmask}^{min} = 4630$ Разлика 630
Минимална централна честота f_{cmask}^{min} и девиацията спрямо нея при квадратна функция	$f_{cmask}^{min} = 515$ Разлика 15	$f_{cmask}^{min} = 1040$ Разлика 40	$f_{cmask}^{min} = 2186$ Разлика 186	$f_{cmask}^{min} = 4302$ Разлика 302

4.3.3. Анализ на резултатите от филтрирането на неравномерността във формата на измерените нива на маскиращия шум

Анализирайки резултатите, обобщени в Табл. 4.1, Табл. 4.2 и Табл. 4.3, е възможно да се направят следните основни и полезни за практическите приложения изводи:

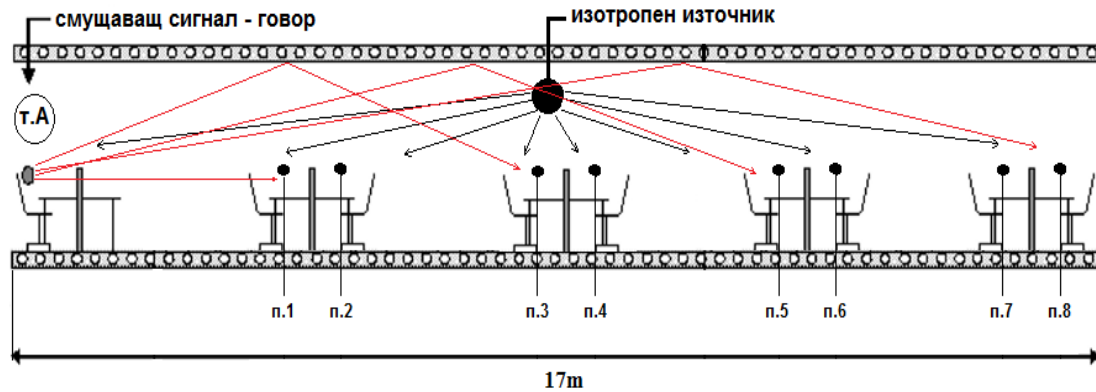
- най-точният метод за определяне на стойностите на минималната централна честота f_{cmask}^{min} или "честотният връх" е методът quadratic function (или филтър с квадратна функция), а другите два метода показват сходни, но малко по-големи отклонения;

- изборът на метод за филтриране на кривата на нивата на маскиращия сигнал следва да бъде направен не само в зависимост от точността на определяне на минималната централна честота f_{cmask}^{min} или „честотният връх”, но и от степента на изчислителната сложност на методът за филтрация, когато измерванията се извършват в реално време.

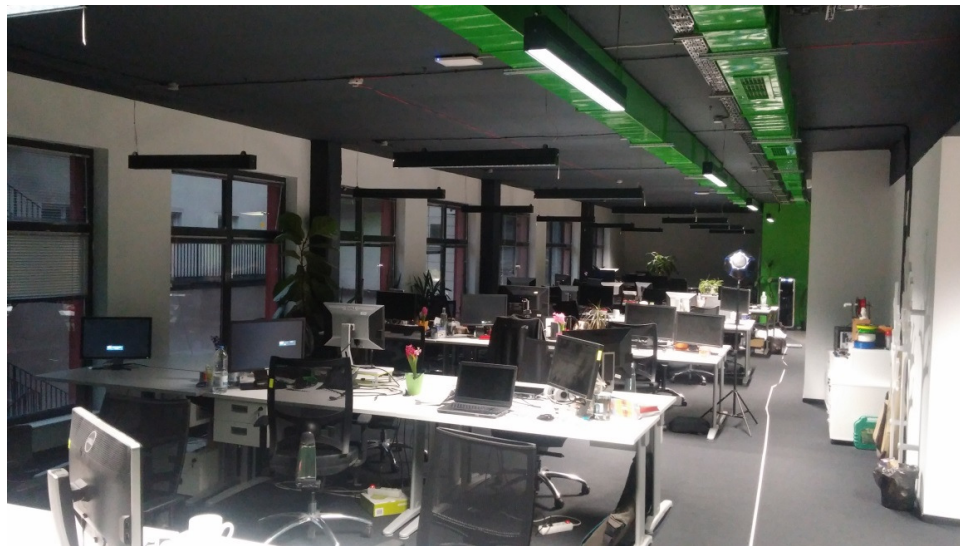
4.4. Измерване индекса за предаване на говор (STI) с цел оценка на повишаването на ефективността на звуковото маскиране чрез разработения метод

Предложено да се извърши реална оценка на локално повишаване на ефективността на индивидуално възприемане на звуковото маскиране чрез измерване на **STI** в конкретна акустична работна среда на отворен офис, представена схематично на Фиг. 4.9 и в общ

вид на Фиг. 4.10, а на Фиг. 4.11 са показани използваните при измерванията спектрален анализатор и изотропен източник.



Фиг.4.9. Схема на акустичната работна среда на отворен офис



Фиг.4.10 Общ вид и работните станции на отворения офис



Фиг.4.11. Спектрален анализатор XL2 и изотропен източник Dodec Speaker

4.4.1. Разработване на алгоритъм за провеждане измерванията на STI

Последователността от действия за правилно провеждане на измерванията на *STI* за оценка на ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране е разработена под формата на следния алгоритъм: генерира се смушаващ говорен сигнал

с ниво $L_{sim} = 60 \text{ dBA}$; стойностите на STI в избраните осем измервателни точки (фиг.4.9), се измерват и се записват с помощта на спектралния анализатор; всеки от участници в експеримента дава субективна оценка за разбираемостта на говора; включва се източника на маскиращ сигнал; повторно, с помощта на спектралния анализатор XL2, се измерват и се записват стойностите на STI в избраните осем измервателни точки; всеки от избраните участници в експеримента дава повторно субективна оценка.

4.4.2. Сравнителна оценка на получените резултати от провеждане измерванията на STI

Резултатите от измерванията (за краткост само за трима от всички участници в експеримента) на стойностите на STI в показаните на фиг.4.9 осем измервателни точки са показани в Таблица 4.4 (за Участник № 1 в експеримента), а в дисертационния труд присъстват и данни за участник № 2 и участник № 3 (Таблица 4.5 и Таблица 4.6 в дисертацията). В Таблица № 4.7 тези резултати са представени в усреднен вид за тримата участници в експеримента.

Таблица 4.4. Резултатите от измерване на STI в 8 точки с маскиращ сигнал определен чрез индивидуалните PTCs на участник №1

Позиция №	Разстояние до смущаващия източник, метри	Разстояние до омни източника, метри	Ниво на смущаващия сигнал-говор dB(A)	Ниво на маскиращ сигнал dB(A)	STI без маскиращ сигнал	STI със маскиращ сигнал	Субективна оценка за разбираемост без маскиращ сигнал	Субективна оценка за разбираемост със маскиращ сигнал
1	4	3.5	59.9	56.7	0.71	0.60	Отлична	Добра
2	4.8	2.7	59.3	56.1	0.72	0.61	Много добра	Средна
3	7.5	0	57.2	57.8	0.65	0.35	Много добра	Слаба
4	8.2	0.9	56.3	57.6	0.64	0.35	Средна	Средно - Слаба
5	10.9	3.4	51.4	55.6	0.63	0.48	Средна	Слаба
6	11.6	4.1	48.7	53.1	0.60	0.49	Слаба	Слаба
7	14.2	6.7	45.3	49.1	0.61	0.49	Слаба	Почти никаква
8	15.5	8.0	41.1	47.2	0.58	0.44	Много слаба	Пълна неразбираемост

Таблица 4.7. Резултати в усреднен вид за тримата участници в експеримента

Участник №	Усреднено ниво(L_{Aeq}) на смущаващ сигнал dB(A)	Усреднено ниво(L_{Aeq}) на маскиращ сигнал dB(A)	STI (усреднен) с бял шум определен чрез психофизични характеристики	STI (усреднен) с обикновен бял шум	Субективна оценка за разбираемост с бял шум определен чрез психофизични характеристики	Субективна оценка за разбираемост с обикновен бял шум
1	60.0	57.0	0.48	0.39	слаба	слаба
2	59.9	57.0	0.41	0.37	Много слаба	слаба
3	60.0	57.0	0.49	0.40	слаба	слаба

Сравнението на резултатите от измерванията на STI, отразени в Таблица 4.4, Таблица 4.5, Таблица 4.6 и Таблица 4.7, позволява да се направят следните основни изводи:

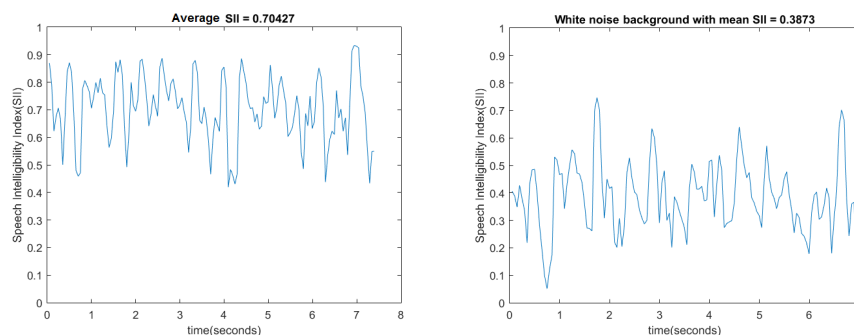
- разбираемостта на смущаващия говорен сигнал намалява, което означава постигане на определена ефективност на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране, вследствие прилагането на локално определяне на нивото на маскиращия сигнал със спектър на бял шум;
- констатира се също субективно усещане за намаляване на разбираемостта на смущаващия говорен сигнал, което потвърждава обективната оценка за постигане на определена ефективност на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране, вследствие прилагането на локално определяне нивото на маскиращия сигнал със спектър на бял шум.

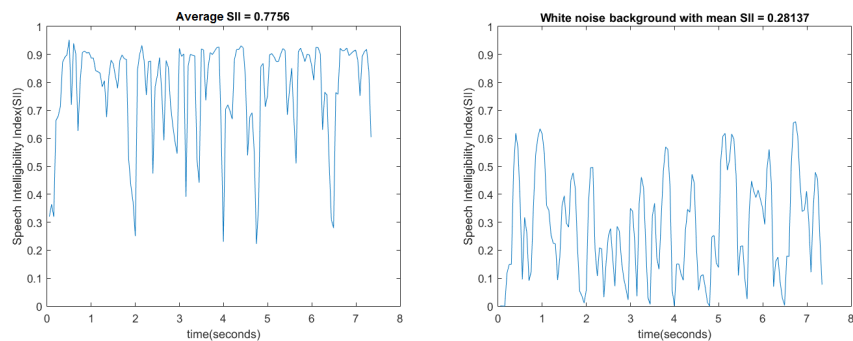
Важни резултати от сравнението са следните изводи полезни за практиката:

- обикновеният бял шум намалява разбираемостта на говора в отворения офис, а субективната оценка на участниците при двата случая (без и с маскиращ сигнал) почти съвпада с обективната оценка;
- предимство на системите за маскиране на звука, използващи обикновен бял шум, е възможността да бъдат използвани в големи отворени офиси с брой на работните места до 100, но недостатък е изискването за постоянен интензитет навсякъде в помещението, което оскъпява системата за маскиране на звука;
- системата за маскиране на звука с модифициран бял шум се опростява до толкова, че е необходимо да бъде монтиран само един източник на маскиращ сигнал в работната зона на конкретният служител в отворения офис;
- недостатък на модифицираният бял шум е необходимостта от измерване на PTCs за всеки служител и персонална настройка на системата за маскиране на звука, което до известна степен ограничава допустимия брой работни места от 30 до 50.

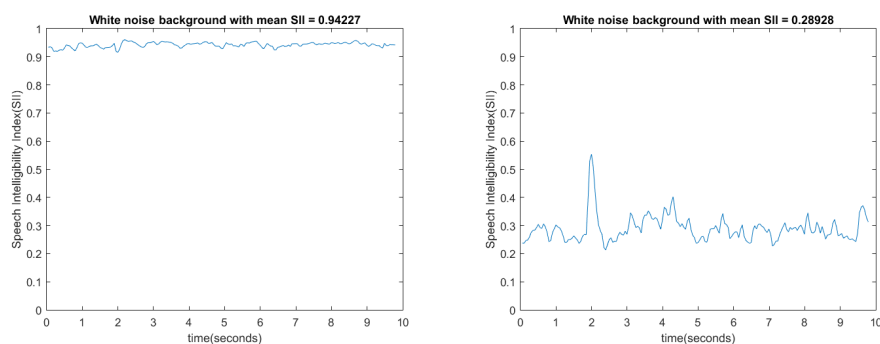
4.5. Симулационни изследвания в програмната среда Matlab на разработения метод за повишаване на ефективността на звуковото маскиране

Чрез измерванията на STI в реална акустична среда се постига висока точност, но при използване на специализирани измервателни апаратни средства, значително време за измерване и съответно висока цена. Затова в настоящия дисертационен труд са проведени също и симулационни изследвания в програмната среда Matlab при следните изходни условия и последователност на симулационното изследване: създаване, в безехова акустична среда на аудио записи от 10 сек. на говор на всеки от участниците № 1 и № 2 и запис от 10 сек на разговор между тримата участници №1, № 2 и № 3; провеждане на симулационното изследване в програмната среда Matlab за определяне на индекс за разбираемост на речта (SII), който е идентичен с индекса за предаване на говор (STI), но не отчита времето на реверберация, с цел по-малко време за изчисление. Резултатите от определянето на индекса за разбираемост на речта (SII са представени в следния резюмиран графичен вид: за Участник № 1 и № 2 без и с маскиращ сигнал на Фиг. 4.13, съответно; при общ разговор между Участници № 1, № 2 и № 3 без и с маскиращ сигнал на Фиг.4.14, съответно.





Фиг.4.13.Резултати от определянето на (SII) приговор на Участник № 1и №2 без и с маскиращ сигнал, съответно



Фиг.4.14.Резултати от определянето на (SII) при общ разговор между Участници № 1, № 2 и № 3 без и с маскиращ сигнал на Фиг.4.14, съответно.

4.6. Сравнителна оценка на резултатите от симулационното изследване в програмната среда Matlab и проведените измервания в реална акустична среда

Резултатите от извършената сравнителна оценка от симулационното изследване с измерванията в реална акустична са представени в Таблица 4.8 и чрез тяхното анализиране могат да се направят следните изводи:

Таблица 4.8. Резултати от симулационното изследване в програмната среда Matlab, и от проведените измервания в реална акустична среда

Участник №	STI, измерено чрез модифициран бял шум (психофизични характеристики)	SII - симулация на Matlab	STI - бял шум	STI - музика
1	0.48	0.38	0.59	0.70
2	0.41	0.28	0.49	0.65
3	0.49	0.29	0.57	0.63

- има значително сходство между резултатите от измерванията в реална среда (Таблица 4.8 колона - STI) и от симулациите в Matlab (Таблица 4.8 колона - SII);

- целесъобразно да се използва симулационното изследване в Matlab при определянето на SII, вместо STI в реалната акустична среда, за да се редуцира високата цена и времето, за трудоемките измервания и за вторичната обработка на резултатите;

- има известни различия между получените стойности за отделните участници, но те следва да се обяснят с възрастовите разлики между участниците (от 27 до 37 години);

- сравнението между стойностите на (Таблица 4.8 колона - STI - бял шум) и (Таблица 4.8 колона - STI - музика) показва, че разбираемостта на смущаващия говор намалява (STI - бял шум е по-малко от STI - музика), т.е. действието на белия шум като маскиращ сигнал е по-ефективно от случая, когато се използва като маскиращ музикален сигнал.

Съществуващата тясна връзка на определените експериментално стойности на (STI), разбираемостта на говора, степента на поверителност на разговорите, видът на помещенията и условия на експериментите в отворения офис е чрез Таблица 4.9.

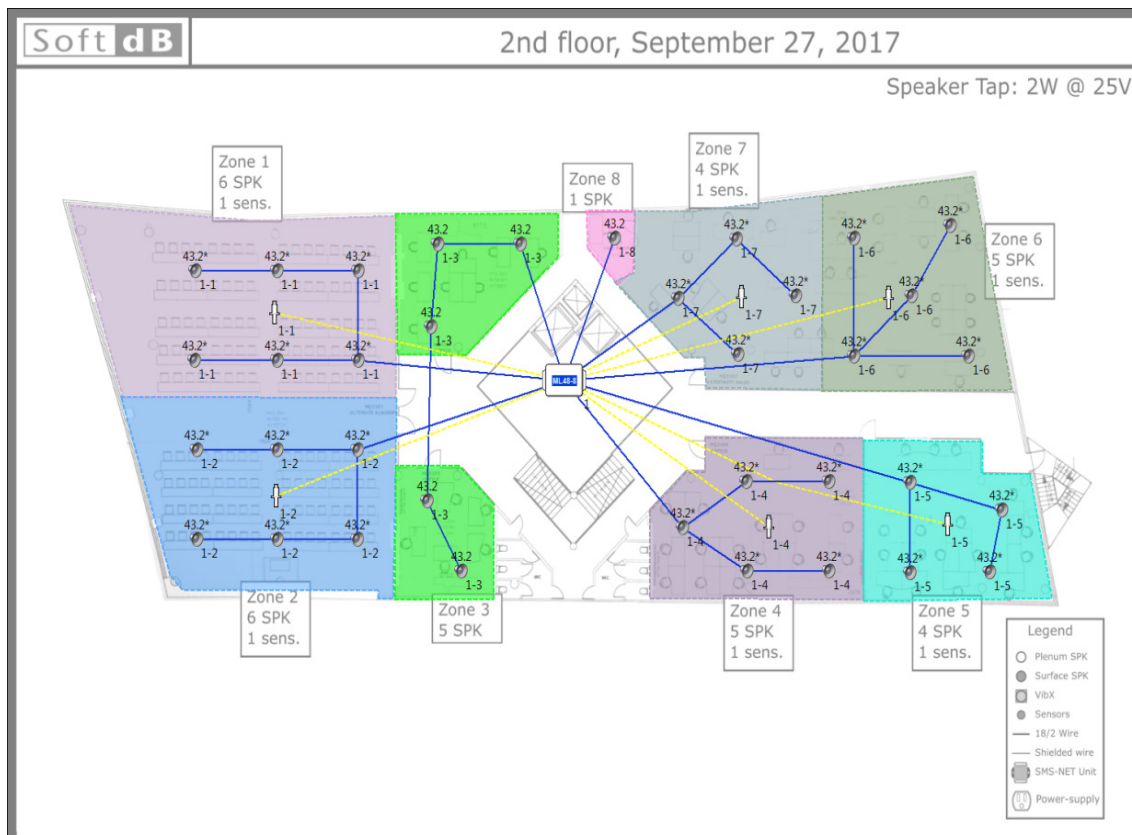
Таблица 4.9. Резултати, показващи връзката между индекса за предаване на говор (STI), разбираемостта на говора, степента на поверителност на разговорите, видът на помещенията и условия на експериментите в отворения офис

Стойности на индекса STI	Разбираемост на говора	Степен на поверителност на разговорите	Вид на помещенията и условия на експериментите в отворения офис
0.00... 0.05	много лоша	конфиденциална	Между две офисни помещения, висока звукоизолация
0.05... 0.20	лоша	добра	Между две офисни помещения, нормална звукоизолация
0.20... 0.40	слаба	приемлива	Между две работни места в отворен офис
0.40... 0.60	средна	слаба	Между две бюра в отворен офис - добре акустично проектиран офис
0.60... 0.75	добра	много слаба	Между две бюра в отворен офис - средно ниво на проектиран офис
0.75... 0.99	отлична	не е необходима	Между две бюра в отворен офис - без акустично оформяне

4.7. Разработване и реализация на проекти на звукомаскиращи системи с прилагане на предложения метод за повишаване на ефективността на звуковото маскиране

Теоретичните и експериментални резултати от дисертационния труд са приложени при разработването и реализацията на следните два проекта: проект на звукомаскираща система за отворения офис на фирма Телерик (Фиг.4.19 - архитектурен план); проект

на звукомаскираща система за Кол Центъра на Райфайзен Банк (Фиг.4.21 - архитектурен план). Основните апаратни средства, използвани в звукомаскиращите системи при разработването на двата проекта, са показани на Фиг. 4.20.

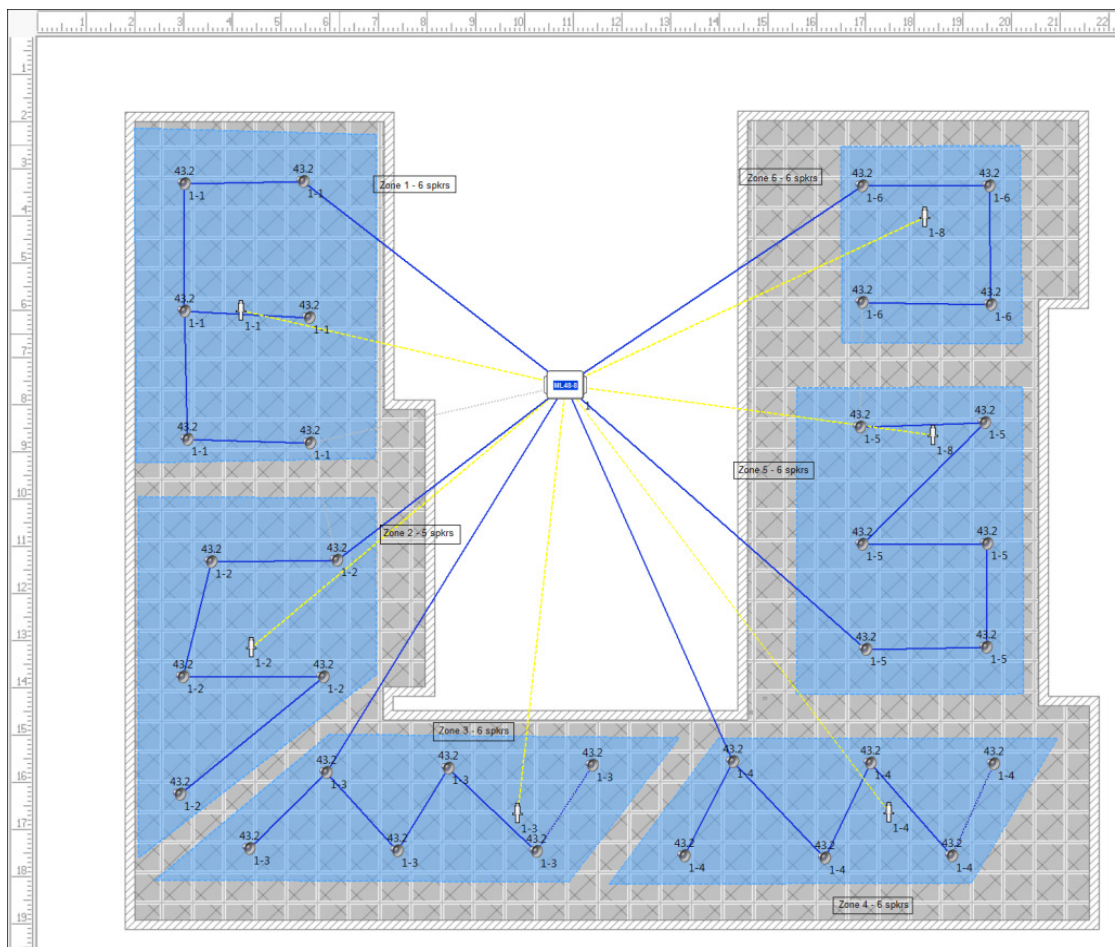


Фиг.4.19. Архитектурен план на отворения офис на фирма Телерик с разработеното разположение на апаратните средства на звукомаскиращата система



Фиг. 4.20. Основните апаратни средства, използвани в звукомаскиращите системи при разработването на двата проекта

В резултат на проведените измервания е доказана постигната ефективност на локалното възприятие на звуковото маскиране. Субективните мнения също потвърждават, чрез изразеното задоволство, подобряването на микроклимата, акустичната обстановка и атмосфера, предполагаща съответно по-висока работоспособност, липса на умора и разсейване при изпълнение на служебните задължения.



Фиг.4.21. Архитектурен план на Кол Центъра на Райфайзен Банк с разработеното разположение на апаратните средства на звукомаскиращата система

4.8. Приноси към глава 4 на дисертационния труд

Въз основа на извършеното експериментално изследване на ефективността на разработените модели и алгоритми чрез симулации и с реално действащи системи за маскиране на звукови източници в отворени офиси могат да се дефинират следните основни приноси в глава 4:

- създадена е експериментална постановка (Фиг.4.1) и съответен алгоритъм (параграф 4.2) за измерване индивидуалните РТСs, използвани в разработения метод за повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране на всеки работещ в открити офиси;

- предложен е метод за обработка чрез филтрация (изрази 4.1, 4.2 и 4.3) на неравномерността на измерените нива на маскиращия шум, при което чрез експериментална проверка (Фиг.4.5, 4.6, 4.7 и Фиг.4.8) и анализ на резултатите (Таблица 4.1, Таблица 4.2 и Таблица 4.3) е доказано реализирането на по-висока точност на определяне минимално ниво на маскиращият сигнал при локално повишаване ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране;

- разработен е алгоритъм (параграф 4.4.1) за измерванията на STI, чрез който се извършва обективна сравнителна оценка (Таблица 4.4, Таблица 4.5 и Таблица 4.6 и Таблица 4.7) на ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране в зависимост от измерените индивидуални РТСs за всеки работещ в конкретно избран отворения офис (Фиг.4.9 и Фиг. 4.10);

- проведени са симулационни изследвания (Фиг.4.13 до Фиг.4.18) и извършената сравнителна оценка (Таблица 4.8) с резултатите от измерванията в реална акустична среда на индивидуалните PTCs на работещите в открити офиси потвърждават целесъобразността за използване на програмната среда Matlab при определянето на СИ с предварително подготвени аудио записи на говор на участниците, чрез което се постига редуциране на по-високата цена и намаляване значително на времето, както за по-трудоемките измервания в реалния офис, така и за вторичната обработка и анализиране на резултатите;

- разработени са и са реализирани практически два проекта (Фиг.4.19 и 4.21) на звукомаскиращи системи в отворения офис на фирмата Телерик и Кол Центъра на Райфайзен Банк, в които е постигнато повишаване на степента на локалното звукомаскиране чрез използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в офисите.

ГЛАВА 5. ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

При разработването на настоящия дисертационен труд са постигнати следните основни научни, научно-приложни и приложни приноси:

Научни приноси:

1. Предложен е геометричен вид (Фиг.2.1) на математически модел, за който са изведени изрази (от 2.1 до 2.11) за траекториите на звуковите вълни, изрази (2.21 и 2.22) за индивидуалните PTCs, изрази (2.28, 2.29) за индекса на предаване на говор (STI) и неговото анализиране чрез изрази (2.30 до 2.38), с цел аргументиране на изборът му като критерий за обективна оценка на степента на повишаване ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране чрез предложения метод за определяне и използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в открити офиси.

Научно-приложни приноси:

1. Дефинирани са (Фиг.3.1 и Фиг.3.2) функциите на генератора на маскиращи сигнали, предложен е чрез Фиг.3.3, Фиг.3.7 и изразите (3.1 и 3.2) симулационен модел за генериране на модифициран маскиращ сигнал в три варианта: чрез използване на микрофонни решетки и закъснение (изрази 3.11 и 3.15); по метода на Грифит и Джим (изрази 3.19 и 3.20) и при времево-честотно маскиране (изрази 3.23, 3.24 и 3.25), за които са разработени съответни функционални схеми Фиг.3.8, Фиг.3.9 и Фиг.3.10;

2. Предложена е обработка чрез филтрация (изрази 4.1, 4.2 и 4.3) на неравномерността на измерените нива на маскиращия шум, при което чрез експериментална проверка (Фиг.4.5, 4.6, 4.7 и Фиг.4.8) и анализ на резултатите (Таблица 4.1, Таблица 4.2 и Таблица 4.3) е доказано реализирането на по-висока точност на определяне минимално ниво на маскиращият сигнал при локално повишаване ефективността на индивидуалното възприемане на звуковото маскиране.

Приложни приноси:

1. Създадена е експериментална постановка (Фиг.4.1) със съответен алгоритъм (параграф 4.2) за измерване индивидуалните психофизични характеристики и е разработен е алгоритъм (параграф 4.4.1) за измерванията на индекса за предаване на говор (STI), чрез който е извършена обективна сравнителна оценка (Таблица 4.4, Таблица 4.5 и Таблица 4.6 и Таблица 4.7) на ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране в зависимост от измерените индивидуални PTCs за всеки работещ в конкретно избран отворения офис (Фиг.4.9 и Фиг. 4.10).

2. Проведени са симулационни изследвания в програмната среда Matlab за определяне индекса на разбираемост на речта (SII) (Фиг.4.13 до Фиг.4.18) и тяхната сравнителна оценка (Таблица 4.8) с измерванията в реална акустична среда, като е потвърдена целесъобразността от използването на Matlab при определяне на ефективността на локалното възприемане на звуковото маскиране, с цел намаляване цената и времето на измерване, в сравнение с по-трудоемките измервания в реалния офис, вторичната обработка и анализирането на резултатите.

3. Разработени са и са реализирани практически два проекта (Фиг.4.19 и 4.21) на звукомаскиращи системи в отворения офис на фирмата Телерик и Кол Центъра на Райфайзен Банк, за които са приложени съответни документи, като е постигнато повишаване на степента на локалното звукомаскиране чрез използване на индивидуалните психофизични характеристики на всеки работещ в тези офиси.

ОСНОВНИ НАСОКИ ЗА БЪДЕЩА ДЕЙНОСТ В НАУЧНАТА ОБЛАСТ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Проведените теоретични изследвания и получените експериментални резултати подробно представени в отделните глави на дисертационния труд и резюмирани като научни, научно-приложни и приложни приноси са досатъчно основание да се очертаят следните по-важни насоки за бъдеща научна и приложна дейност на докторанта:

- разработване на нови модифицирани варианти на предложените математически модели за определяне и разработване на методи и алгоритми за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници и публикуването им в научни списания или конференции;
- изследване чрез реални експерименти, както на разработените методи за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране на звукови източници, така също и на варианти с нови по-ефективни звукомаскиращи методи и апаратни средства.
- прилагане на резултатите от теоретичните изследвания и получените експериментални резултати чрез участие в национални и международни конкурси и проекти, внедряване в конкретни фирмени проекти по поръчка на клиенти и др.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ КЪМ ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Pleshkova Sn., St.Filipov. Analysis of impulse response measurement signals used in room acoustic. Journal of Applied Electromagnetism, October 2016, Communications, Electromagnetics and Medical Applications (CEMA'16), Athens, Greece, October 13th -15th, 2016, pp.66-76
2. Filipov St. Achieving and estimation of acoustical or speech privacy in open plant offices via sound masking systems. International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS), Issue 24, Volume 1, 2018, pp. 18-23, **IF 0.233**
3. Pleshkova S., St. Filipov. Analysis of Loudspeakers Directivity Diagram versus frequency and Impact to Sound Systems Effectiveness, 40th International Spring Seminar on Electronics Technology, Sofia, Bulgaria, 2017, IEEE Conference, Proceeding of Abstracts, IEEE-Explore, Scopus, Web of Science, pp.244-245
4. Filipov St., Sn. Pleshkova. Using Psychophysical Tuning Curves Measurements to Locally Extend the Effectiveness of Individual Sound Masking Perception of Persons in Open Offices. Comptes Rendus de l'Académie Bulgare des Sciences, Tome 71, No 3, 2018, pp.407-416, Scopus, Web of Science, **IF 0.233**
5. Filipov St., Sn. Pleshkova, Iv. Hristev. Sound masking systems effectiveness in open offices estimation from speech transmission index measurements. 4th International

Conferences on Electrical, Electronic and computing Engineering IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, IEEE Conference, Proceeding of Abstracts, 2017, pp.12, AKI2.3.1-4

Участие в договори и проекти

1. Договор № 172 ПД0034-07/30.03.2017 г. към НИС при ТУ София на тема: „Разработване на методи и алгоритми за изследване на акустичните свойства на системи за ефективно маскиране звукови източници”, Ръководител: проф. д-р инж. Снежана Георгиева Плешкова-Бекярска
2. НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТ № 161ЦФ0003-07 към НИС при ТУ София на тема: «Методи и средства за изследване на аудио сигнали», Ръководител: проф. д-р инж. Снежана Георгиева Плешкова-Бекярска
3. Проект на звукомаскираща система в отворения офис на фирма Телерик
4. Проект на звукомаскираща система в Кол Център на Райфайзен Банк

SUMMARY

Development of methods and algorithms for the investigation of the acoustic properties of systems for effective masking of sound sources

Author: Msc. Eng. Stanislav Philipov

The working places known as “Open Offices” are widespread for the companies with great number of people. The main drawback of the open offices is the existence of the so many persons, placed close each other, talking to each other or on the phones, etc. This leads to distraction, fatigue, and finally to bad efficiency and quality of the works people done. This drawback can be decreased both by sound insulation between workspaces and by using sound masking systems. The sound insulation is suitable to apply in the time of building one new open office with the corresponding acoustic insulation materials. If the open office already exist, applying sound masking system is more preferable from the sound insulation. Therefore, the area of this dissertation are the sound masking systems and the goal of dissertation is to develop of methods and algorithms for the investigation of the acoustic properties of systems for effective masking of sound sources.

On the base of this goal are defined the following tasks: to create a mathematical model and method for increasing the effectiveness of the local perception of sound masking by measuring the individual psychophysical characteristics of every office worker; to develop algorithms for generating masking signals designed for the proposed method; to experimentally investigate the effectiveness of the proposed mathematical model, method and algorithms for increasing the effectiveness of the local perception of the sound masking in open offices.

The experimental results, comparing objective Speech Transmission Index (STI) measurements without and with the proposed modified masking signal, demonstrate the achieved significant increase in the efficiency of the individual perception of the sound masking according to the measurements of the individual psychophysical characteristics (PTCs) for employees in the open office. This is also confirmed by the comparison of the results of the objective STI measurements with the subjective assessment of everyone working in open offices regarding the reduction of the intelligibility of the disturbing speech signal in the presence of the proposed modified masking signal.

Two projects have been developed and implemented in the open office of the Telerik and Kol Center of Raiffeisen Bank, increasing the level of local sound-masking by using the individual psychophysical characteristics of each worker in the offices.

The main theoretical and experimental results are presented in 5 publications. Three of them are published in international scientific conferences. One of them is indexed in Scopus,

Web of Science and IEEE Explore. Two of them are in international journals and one of them is indexed in Scopus and Web of Science with the Impact Factor IF 0.233.