



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет по Електронна Техника и Технологии

Катедра „Електронна Техника“

Маг. инж. Борислав Тодоров Ганев

**ИНТЕЛИГЕНТНИ СЕНЗОРНИ СИСТЕМИ ЗА ЕНЕРГИЙНО-
ЕФЕКТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СГРАДНИ ИНСТАЛАЦИИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електронизация

Научни ръководители: доц. д-р инж. Марин Маринов
 доц. д-р инж. Георги Николов

СОФИЯ, 2019 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електронна Техника“ към Факултет по Електронна Техника и Технологии на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 15.04.2019 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 16.09.2019 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.2-43/ 07.05.2019 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Доц. д-р инж. Петър Якимов – председател
2. Доц. д-р инж. Марин Маринов – научен секретар
3. Проф. д-р инж. Стефан Табаков
4. Проф. д-р инж. Иван Доцински
5. Доц. д-р инж. Нина Джерманова

Рецензенти:

1. Доц. д-р инж. Петър Якимов
2. Проф. д-р инж. Стефан Табаков

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по Електронна Техника и Технологии на ТУ-София, блок №1, кабинет № 1355.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Електронна Техника“ на Факултет по Електронна Техника и Технологии. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Борислав Ганев

Заглавие: Интелигентни сензорни системи за енергийно-ефективно управление на сградни инсталации

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

През последните две десетилетия се провеждат интензивни изследвания в областта на т.нар. интелигентни сгради. Тази концепция интегрира нови технологии от области като: сензорните системи, компютърна автоматизация, модерни материали и управление на енергийното потребление. Чрез интелигентни сензорни системи се следят множество параметри както в сградите, така и извън тях, за да се постигне оптимална ефективност на работа на инсталациите и комфорт на обитателите. В съвременните системи за сградна автоматизация се наблюдава все по-ясна тенденция към децентрализация и повишаване на "интелигентността" на техните компоненти.

Сградите изискват много разнообразни ресурси, за да функционират - природен газ, електричество, вода, свеж въздух за вентилация и др. Потреблението на тези ресурси също води до значително въздействие върху околната среда с изхвърляне на отпадъци и директни емисии на CO_2 . Тъй като сградите стават все по-големи, по-сложни и многофункционални, това въздействие и търсенето на горивни ресурси драстично се увеличават.

Въпреки усилията за повишаване на енергийната ефективност, прогнозираните нива на потребление за следващите две десетилетия остава относително постоянно. Основните потребители на енергия в сградите са инсталациите за *вентилация/климатизация, осветление и отопление*. При голям брой обитатели и разнообразно използване на пространството в търговски сгради, автоматизираното управление на сгради, включващо координиране на множество подсистеми, става все по-важно.

Синхронизирането на работата на множество вградени процесори, сензори и актуатори в комплексни системи за *интелигентно управление* и постигане на висока производителност е същността на *интелигентните сградни инсталации*. Необходимостта от технология с такова предназначение създава идеална възможност за иновативни разработки от инженери и изследователи.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Основната цел на дисертационния труд е проектиране, реализация и изследване на сензорни системи за измерване на основни параметри на сградни инсталации – за постигане на енергийно ефективното им управление и подобряване на условията за живот.

За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните задачи:

- Проучване на основните инсталации в интелигентни сгради в контекста на потреблението им на енергия и намаляването на вредните им въздействия.
- Изследване на основни видове сензори за измерване на основни параметри на качеството на въздуха в закрити помещения.
- Изследване и разработка на методи за подобряване точността на сензори за качество на въздуха.
- Проектиране и реализация на сензорни системи за изследване на качеството на въздуха за нуждите на климатизацията.
- Проектиране и разработка на сензорно базирани системи за управление на осветлението в промишлени/логистични центрове и офис сгради.

- Изследване на основните параметри, характеризиращи шумовото „замърсяване“ в сгради и около-сградни пространства.
- Проектиране и реализация на системи за измерване на конвенционални и алтернативни параметри на шума в сгради и около-сградни пространства.

Научна новост

В дисертационния труд са изследвани подходи за повишаване на точността на недисперсивни оптични сензори за измерване на концентрация на въглероден диоксид. Разработен е интелигентен сензорно-актуаторен модул за многозонова вентилация и климатизация управлявана според нуждите. Изследвани са основни методи за локализация в закрити помещения. Предложен е подход за локализация на обекти в индустриални сгради със значителна площ ($> 5000 m^2$) и концепция за интелигентна система за управление на осветлението с хибридна архитектура. Разработен е модел на интелигентна система за осветление в офиси, оползотворяваща дневната светлина. Въз основа на модела са изведени превила за управление на осветлението. Специфицирани са изискванията и структурата на система за измерване на шумови параметри. Разработени са анализатори на конвенционални и психоакустични параметри.

Практическа приложимост

Предложените методи и подходи биха били полезни за проектантите и инженерите работещи в областта на системите за управление на сградни инсталации.

Апробация

Разработената система за локализация на обекти и управление на осветлението в индустриални сгради е реализирана в голям логистичен център. Постигната икономия на енергия за осветление от около 30 %.

Част от разработките по глава 3 и 4 са внедрени в лабораторни упражнения по „Електронни Системи за Екологичен Мониторинг“ и „Оптоелектронни и сензорни елементи“.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 11 научни статии, от които 2 самостоятелни. Седем от тях са публикувани на английски език и четири на български. Две са в годишни периодични издания, останалите са представени на конференции. Три публикации са представени на международни конференции и са реферирани в SCOPUS.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 168 страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията, използвана литература и 12 страници приложения. Цитирани са общо 167 литературни източници, като 140 са на латиница и 9 на кирилица, 27 са стандарти, директиви и наредби, 18 са интернет адреси. Работата включва общо 59 фигури и 8 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. УВОД

Построените сгради и околосградните пространства са неразделна част от съвременното ни общество. Сградите предлагат подслон, сигурност, неприкосновеност на личния живот и пространство за работа и забавление. Сградите изискват много разнообразни ресурси, за да функционират - природен газ, електричество, вода, свеж въздух за вентилация и др. Потреблението на тези ресурси също води до значително въздействие върху околната среда, с изхвърляне на отпадъци и директни емисии на CO₂. Тъй като сградите стават все по-големи, по-сложни и многофункционални, това въздействие и търсенето на гореизброените ресурси драстично се увеличават. В доклад на Американската администрация за енергийна информация (EIA) през 2015 г. около 40 % от общото потребление на енергия в САЩ и почти 75 % от електричеството са от жилищни и търговски сгради. Тези показатели са подобни и за страните от Европейския съюз.

Въпреки усилията за повишаване на енергийната ефективност, прогнозираните нива на потребление за следващите две десетилетия остава относително постоянно. Основните потребители на енергия в сградите са инсталациите за *вентилация/климатизация, осветление и отопление*. При голям брой обитатели и разнообразно използване на пространството в търговски сгради, автоматизираното управление на сгради, включващо координиране на множество подсистеми, става все по-важно.

ГЛАВА 2. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИЕТО НА ИНСТАЛАЦИИТЕ В ИНТЕЛИГЕНТНИ СГРАДИ

Изследванията в дисертацията обхващат основно сензорни системи за управление на вентилация и климатизация (HVAC), и осветление. На измерването на шумови нива в сградни и околосградни пространства също е отделено внимание, поради все по-нарастващата важност на този параметър за здравето на хората.

2.1.1 Системи за климатизация и вентилация

Поради големия дял на енергията, консумирана от подсистемите за вентилация и климатизация, тяхното управление обикновено е най-добре изученият аспект на управлението на сградните инсталации. Основна задача при тези системи е регулирането на въздушния поток във всяка зона и поддържане на зададен от потребителя температурен профил при наличие на променливост на околната среда, включително външна температура, слънчева радиация, обитатели и генериране на топлина от оборудването.

2.1.2 Системи за осветление

Осветлението е ключов фактор за създаването на комфортен вътрешен интериор и засяга здравето, производителността, настроението, комфорта, сигурността и безопасността на обитателите. Над 400 милиарда киловатчаса (*kWh*) електроенергия са били използвани за изкуствено осветление в жилищния и търговския сектори в САЩ през 2015 г., което е около 15 % от общото потребление на електроенергия от тези два сектора и около 10 % от общото потребление на електроенергия в САЩ. Подобни са и процентните съотношения в ЕС [6].

2.1.3 Системи за измерване на шумови параметри

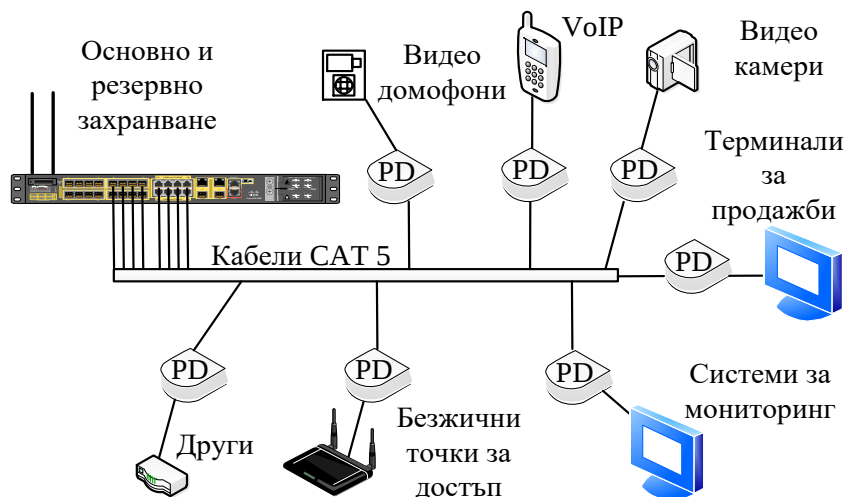
Основна задача на акустичната измервателна техника е да се определи шумовото натоварване на мястото на изследването - напр. на работни места, офиси, жилищни сгради и др. Целта е да се очертае комплексната ситуация, свързана с шумовото натоварване с възможно най-прости параметри. Тези параметри трябва да позволяват обективна оценка за нивото на шумовото въздействие и неговата допустимост.

2.2 Интелигентни сензорни системи и сензорни мрежи

Сензорните мрежи ще играят фундаментална роля в бъдещите интелигентни сгради. Има две основни области, за които се предвижда, че тези технологии ще имат огромно въздействие: икономия на енергия и сигурност. По-голямата част от потреблението на електроенергия в повечето държави се осъществява вътре в сградите. Освен това, най-големите потребители на енергия са най-богатите и развити страни, като делът на енергията, използвана в сградите, е много по-голям в тези страни, отколкото в останалите [8].

2.2.3 Технологията PoE

През последните 15 години са положени сериозни усилия за усъвършенстване и налагане на стандарти за промишления Ethernet, за да може той да отговори на критични индустриални изисквания, като възможности за приоритизиране, по-бързо възстановяване при повреда и др. [4]. Power-over-Ethernet (PoE) е технология, използвана в Ethernet локални мрежи (LAN), която доставя електрическа енергия и данни по един кабел [42]. Това намалява броя на кабелите, които трябва да бъдат монтирани, за да могат устройствата едновременно да бъдат захранени и свързани в една мрежа (Фиг. 2.3).



Фиг. 2.3 Типична PoE архитектура[45].

2.3 Сензорни системи за следене качеството на въздуха и управление на климатизацията

Изискванията за мониторинг на качеството на въздуха в помещенията са доста различни от тези за открито. Външните замърсители се инфилтрират в сграда в зависимост от степента на изолиране и вентилация. Но качеството на вътрешния въздух също се влияе

от типичните вътрешни източници. Повишените концентрации на въглероден диоксид (CO_2), ($> 1000\text{ ppm}$) могат да доведат до замайване и намалена способност за концентрация. Повишените нива на CO_2 също могат да се използват като общ индикатор за лоша вентилация. За повечето замърсители предизвикателството е да се определят количествено в g/m^3 или части на милиард ppb нива в сложна смес от газове и частици с различна температура и влажност [49].

2.4 Сензорни системи за управление на осветление в сгради

2.4.4 Интерфейси за управление на осветлението

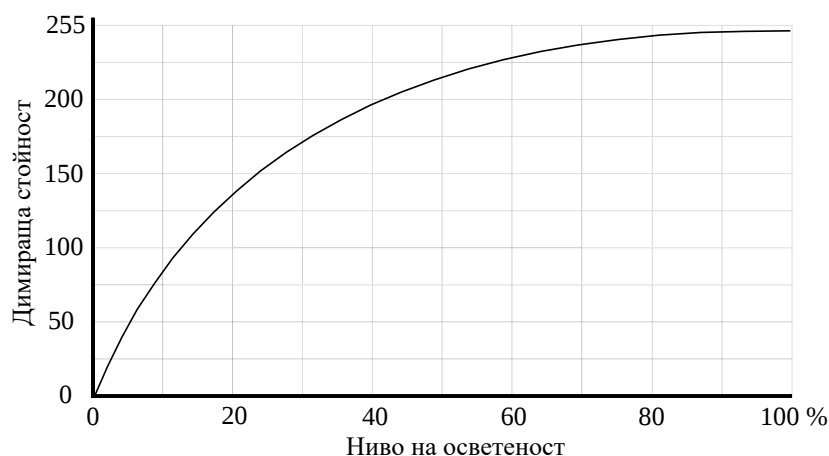
Съществуват много видове протоколи за управление на осветлението, като основно те могат да се разделят на аналогови и цифрови. От аналоговите най-често използвани са 0 - 10 V, D54 и AMX192 (Analog MultipleXing) [68]. Наложилите се протоколи с цифрово предаване на информацията са DALI (Digital Addressable Lighting Interface) и DMX-512 (Digital MultipleXing). Все по-често започват да се използват устройства с инфрачервено и радио управление, но за момента употребата им се ограничава главно до системи за домашно ползване, предназначени да регулират до няколко осветителни тела.

DALI

По своята същност DALI е индустриален стандарт, който създава необходимата база за унифициране на компонентите и гарантира пълна взаимозаменяемост на продуктите от различни производители. При него всеки актуатор притежава собствен адрес, на който получава команди и връща по интерфейса информация за актуалното си състояние.

По отношение на пусково-регулиращата апаратура се получава обратна информация за: включен/изключен източник, повреда в лампа, отсъствие на запалване, прегряване на баласта, дефекти в осветителните тела и други. Предаването на данни се осъществява по стандартна самостоятелна двупроводна линия, чиято максимална дължина не бива да превишава 300 m.

Зависимостта на интензивността на светлината от управляващото двоично число е логаритмична, но поради особеностите си човешкото око я възприема като линейна. Всички баласта и контролери в стандарта се придържат към дефинираната логаритмична крива [56, 71] (Фиг. 2.13).



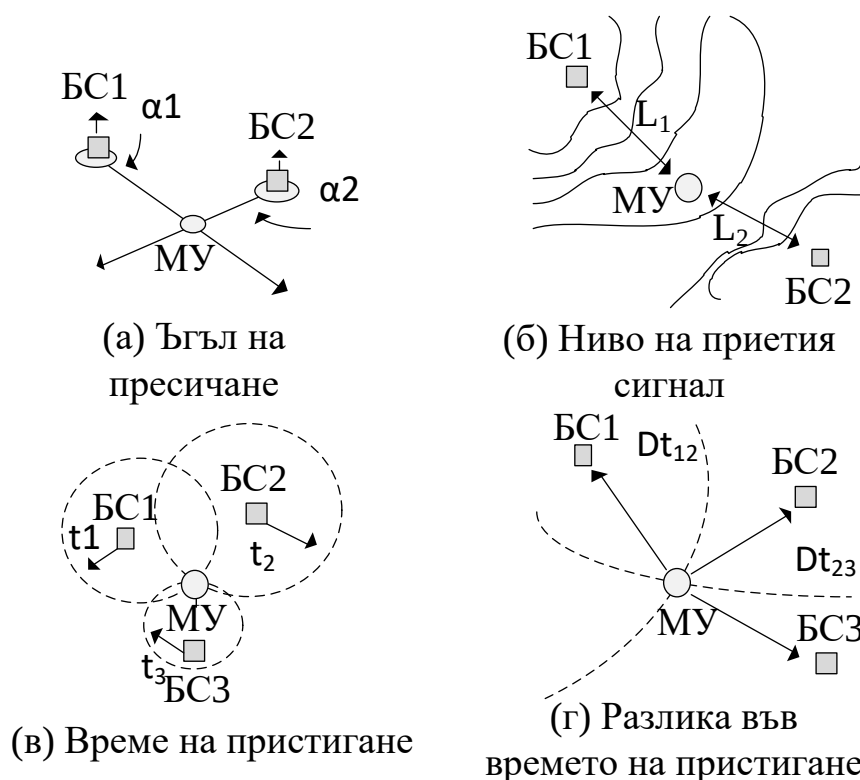
Фиг. 2.13 DALI Логаритмична крива на управление.

2.4.5 Локализация на обекти в закрити помещения

За да се локализируют обекти в закрити помещения с безжични мрежи, обикновено се използва някой от следните четири различни метода (Фиг. 2.16):

- Ъгъл на пресичане (AOA)
- Измерване нивото на приетия сигнал (RSSI)
- Време за пристигане (TOA)

Разлика във времето на пристигане (TDOA)



Фиг. 2.16 Основни методи за локализиране на обекти в закрити помещения.

ГЛАВА 3. СИСТЕМИ ЗА МОНИТОРИНГ НА КАЧЕСТВОТО НА ВЪЗДУХА И УПРАВЛЕНИЕ НА КЛИМАТИЗАЦИЯТА В СГРАДИ

3.1 Избор на сензори за измерване на CO_2 и изследвания на точността им

Най-често срещаната на пазара технология за измерване концентрацията на въглероден диоксид е инфрачервената от недисперсивен тип (NDIR). Повечето производители на CO_2 сензори предлагат продукти с точност в границите на $\pm(50-100)$ ppm при измервания на сертифицирани смеси за калибриране. Когато грешката в точността на газовите смеси за калибриране (обикновено $\pm 2\%$) се добави към точността на сензора, често се получават нива на абсолютни грешки при измерванията, които значително надхвърлят допустимите от стандартите ± 75 ppm [98].

3.1.1 Основни източници на грешки при сензорите за въглероден диоксид в DCV системи

В рамките на актуално обхванато изследване [103] е установено, че за нива на CO_2 от 760 *ppm*, почти 50 % от тестваните сензори са с абсолютни грешки над ± 75 *ppm*, а при 37 % нивата на грешките са над ± 100 *ppm*. За концентрации от 1010 *ppm*, 40 % от сензорите имат нива на грешките над ± 75 *ppm*, а 30 % от сензорите имат грешки над ± 100 *ppm*. Още по-сериозен проблем се оказва това, че значителна част от сензорите са с грешки, значително надхвърлящи 100 *ppm* – например, за нива от 1010 *ppm*, почти 20 % от сензорите са с нива на грешките над 200 *ppm*.

Системите за DCV, при такива нива на грешките на сензорите, на практика не постигат основната си цел за пестене на енергия при гарантирано качество на въздуха в помещенията.

Всичко това налага по-нататъшни изследвания и работа по подобряване на технологиите за производство. Възможни технически решения са [104]:

1. Осъществяване на значителни технологични (хардуерни и софтуерни) подобрения, чрез които да се гарантира повишаване на точността и стабилността на сензорите.
2. Предприемане на специални мерки, които да позволяват ефективно калибриране на сензорите на приемливи разходи при монтажа и експлоатацията им.
3. Разширяване на системите с допълнителни сензорни елементи: сензори за температура, налягане, влажност и др., позволяващи ефективна динамична корекция на показанията с цел повишаване на точността на сензорите;

Изследването в дисертационния труд е насочено основно към третото от гореизброените решения за подобряване ефективността на системите за DCV. При този подход се използват интелигентни мулти-сензорни модули със мащабируема архитектура и стандартни интерфейси, които лесно се интегрират в разнообразни приложения.

3.1.2 Основни източници на грешки на NDIR сензори

Инфрачервените газови сензори генерират сигнал, който е пропорционален на молекулната плътност (брой молекули/обем на газа), независимо от това, че резултатът от измерването се дава стандартно в *ppm*. За газовете молекулната плътност е право пропорционална на налягането и обратно пропорционална на температурата.

Следователно промените на налягането и температурата на околната среда (и на измервания газ) са два основни източници на грешки. Неизменното наличие на водни пари в околната среда води до промени на съотношението между компонентите на газовите смеси. Промените на влажността са трети основен източник на грешки при измерването на концентрация на газове с NDIR сензори.

Моделът на идеалния газ позволява изследването на влиянието на температурата и налягането с достатъчна точност. От уравнението за състоянието на един мол идеален газ, лесно се преминава към общия случай на уравнението за идеален газ с маса m , чрез зависимостта $V = \frac{m}{\mu} V_{mol}$, където μ е моларната маса на газа. Ако е известна плътността на газа при „стандартни условия“, формулата за плътността може да се запише като:

$$\rho(P, T) = \rho(P_{ST}, T_{ST}) \cdot \frac{P_M}{P_{ST}} \cdot \frac{T_{ST}}{T_M}, \quad (3.1)$$

където P_M е измереното налягане, а T_M измерената абсолютна температура. При изчисленията се използват стандартно налягане и температура, според Европейската агенция за околната среда и стандарта ISO 13443 [105].

По този начин, чрез формулата за плътността, може да се направи относително точна оценка за отклоненията при измерване на концентрацията на CO_2 в случай на изменения на температурата и налягането при измерванията, спрямо "стандартните" стойности за температурата и налягането, за които обикновено са калибрирани сензорите.

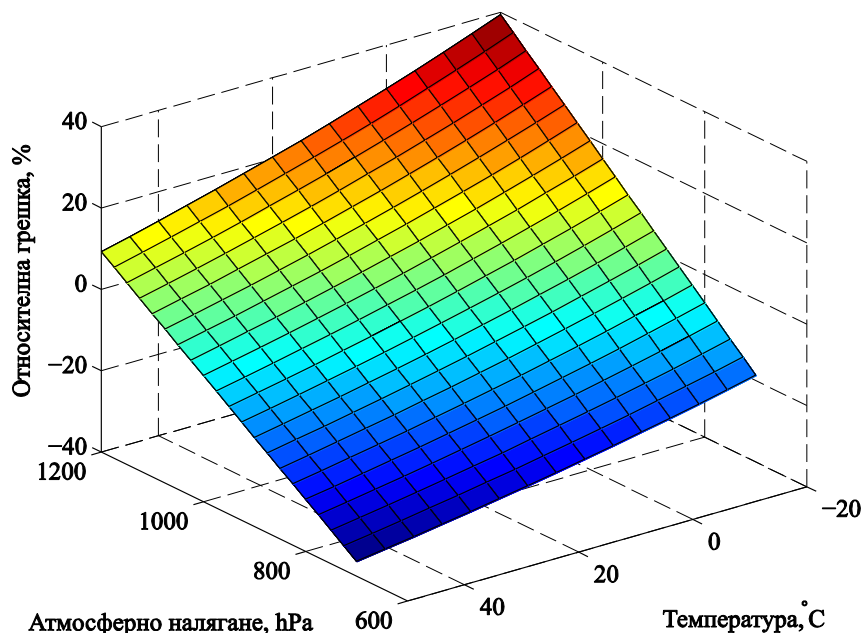
Връзката между концентрациите на газовете в среда с висока влажност $H_{M_{HIGH}}$ и среда с ниска влажност $H_{M_{LOW}}$, е следната:

$$\left(\frac{C_{wet_{HIGH}}}{C_{wet_{LOW}}}\right) = 1 - 0,01(H_{M_{HIGH}} - H_{M_{LOW}}), \quad (3.2)$$

където $C_{wet_{HIGH}}$ е измерената обемна концентрация на водата в среда с висока влажност, а $C_{wet_{LOW}}$ - съответно в среда с ниска влажност [106]. Така, въз основа на непрекъснатото измерване на относителната влажност, е възможно да се правят динамични корекции за измерваните концентрации на CO_2 . Уравнения ((3.1) и (3.2) са в основата на предложението от автора за динамична корекция на показанията на инфрачервени сензори за въглероден диоксид.

3.1.3 Оценка на комбинираното влияние на изменение на налягане и температура върху точността на NDIR сензори

Въз основа на формула (3.1) при „стандартни“ условия, може да се направи теоретична оценка на влиянието на измененията на налягане и температура върху точността на сензор. Резултатите от направената теоретична оценка са показани на Фиг. 3.1.



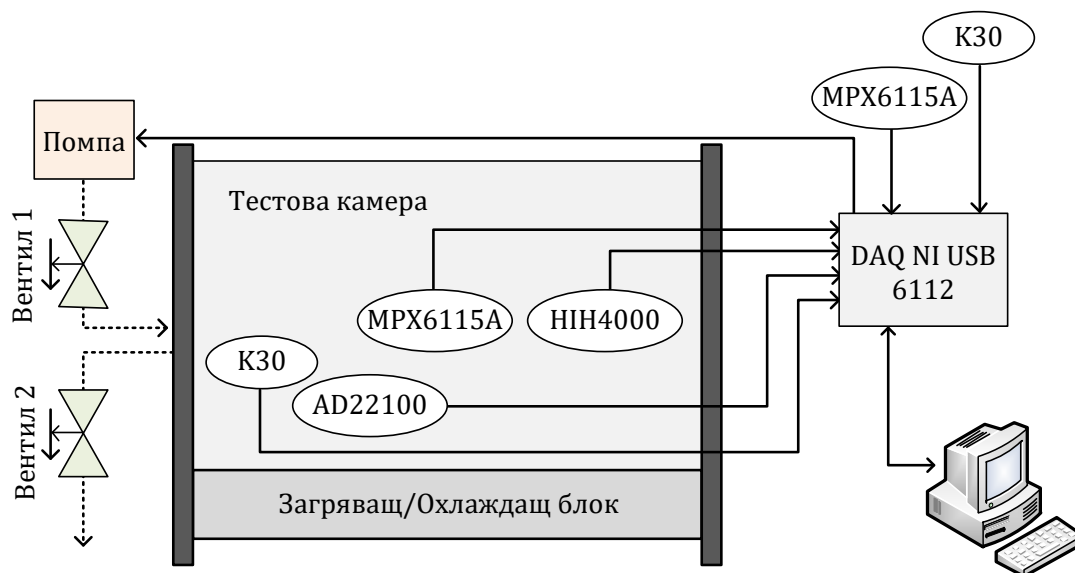
Фиг. 3.1 Нива на относителните грешки при вариация на налягането в интервала 700 ÷ 1200 hPa и на температурата в интервала -20°C до +50°C.

На ординатната ос са нанесени нивата на относителните грешки, а на абсцисната са нанесени вариациите на налягането в интервала 700–1200 hPa и на температурата в интервала от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Вижда се, че за екстремни комбинации от температура и налягане, могат да се достигнат относителни грешки, надхвърлящи нива от $\pm 35\%$.

3.1.4 Опитна постановка

За проверка на теоретичните разглеждания е създадена опитна постановка от Фиг. , на базата на системата за събиране на данни NI USB 6212 на фирмата National Instruments [108]. В изпитателната камера са монтирани изследваният сензор за въглероден диоксид и сензори за налягане, температура и влажност. Външен нагревател/охладител се използва за поддържане на необходимата температура. За поддържане на налягането в желаните граници, са предвидени изводи за напompване и изпompване на газ с известна концентрация на CO_2 .



Фиг. 3.2 Блок-схема на опитна постановка за изследване точността на NDIR CO_2 сензори.

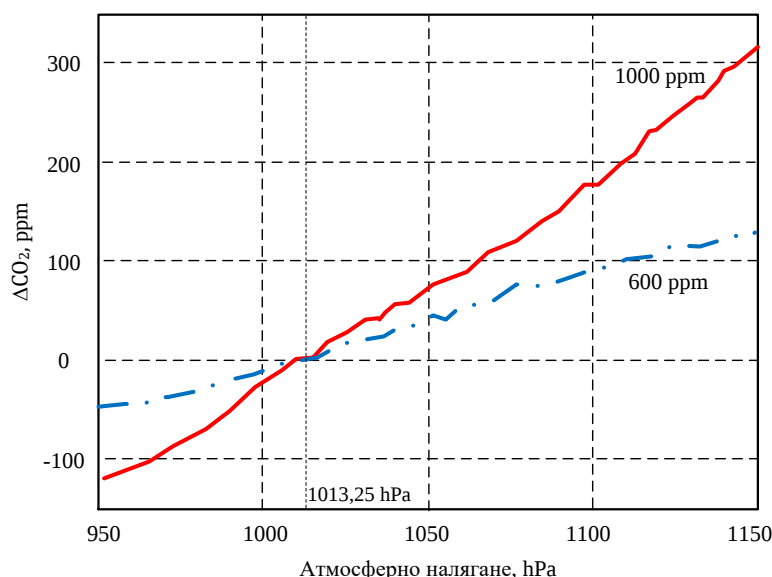
Управлението на опитната постановка и на измервателните процедури е реализирано в средата за графично програмиране LabVIEW.

В изпитателната камера са монтирани изследваният сензор за въглероден диоксид и сензори за налягане, температура и влажност. Външен нагревател/охладител се използва за поддържане на необходимата температура. За поддържане на налягането в желаните граници са предвидени изводи за напompване и изпompване на газ с известна концентрация на CO_2 . Изборът на сензорите в съответните модули се основава преди всичко на съображения за необходими нива на точност, които те трябва да гарантират, така че да е възможна достатъчно добра компенсация на смущаващите въздействия, а оттук и постигане на енергийно ефективно управление. За изследването е избран широко разпространен и достъпен инфрачервен сензор за въглероден диоксид тип K-30 на фирмата SenseAir [109]. AD22100 е сензор за температура със задоволителна точност и не се нуждае от

допълнителни корекции или калибриране [110]. Сензорът за относителна влажност НН-4000 е с капацитивен чувствителен елемент, с интегрирана на чипа електроника за обработка на аналоговия сигнал [111]. Сензорът МРХА6115А е избран за измерване на атмосферно налягане и съответна корекция на показанието на сензора за въглероден диоксид [112].

3.1.6 Експериментални резултати

Ефектът от промените на налягането върху показанието на сензорите е изследван чрез изменение на налягането в тестовата камера при концентрации на въглероден диоксид от 600 и 1000 *ppm*, температура 20 °C и относителна влажност 40 % (при 1013 *hPa* налягане). Измерванията са проведени при изменение на налягането в камерата със стъпка от 25 *hPa*. Тестовите са осъществени при следната последователност: Първоначално налягането в тестовата камера е установено на 950 *hPa*. След достигане на зададеното налягане и изчакване за редукция на динамичните грешки от сензора от 20 s се записват неговите показания. На Фиг. 3.4 са показани нивата на грешките на измерената концентрация, които се получават вследствие на отклонение на налягането от стандартната стойност 1013,25 *hPa*, при температура 20 °C и относителна влажност 40 %: $\Delta C_{CO_2}(p) = C_{CO_2 \text{ Measured}}(p) - C_{CO_2 @ 1013.25 \text{ hPa}}$.



Фиг.3.4 Нива на грешките, предизвикани от изменението на налягането.

Ефектът от промените на температурата върху показанието на сензорите е изследван чрез изменение на температурата в тестовата камера, като концентрацията на въглероден диоксид е поддържана 1000 *ppm* а налягането – 1013 *hPa*. Относителната влажност е поддържана на 40 % за 20 °C. Сензорният модул К-30 показва сравнително добра вградена температурна компенсация и отклоненията на показанията в изследвания температурен обхват от 25 °C до 45 °C не надхвърлят 50 *ppm*.

3.1.7 Изследване на еднаквост и повторяемост на сензори

За оценката на еднаквостта се използва нормализирана средна квадратична грешка (*nRMSE*) между два сензора (*S1* и *S2*) от един и същ тип, измерващи една и съща концентрация на газ:

$$nRMSE = \frac{\sqrt{Mean(CO_{2s1} - CO_{2s2})^2}}{Mean(CO_{2s1} + CO_{2s2})/2}, \quad (3.3)$$

където:

CO_{2s1} е концентрацията на CO_2 , измерена от сензор S1, а CO_{2s2} е концентрацията измерена от сензор S2 за определен интервал от време.

$Mean(CO_{2s1} + CO_{2s2})/2$ е средната концентрация на двата сензора от всички измервания. По-ниските стойности на nRMSE съответстват на голяма еднаквост между сензорите[114].

Точността обикновено се определя при т.нар. „Стандартни условия“, но определянето на тези условия е трудно и представлява проблем. Много организации в целия свят понастоящем използват много различни дефиниции на стандартни референтни условия.

Резултатите от nRMSE, показват много добра еднаквост на 5-те сензора. Табл. 3.1. показва резултатите за относително ниска концентрация на газ от 500 ppm.

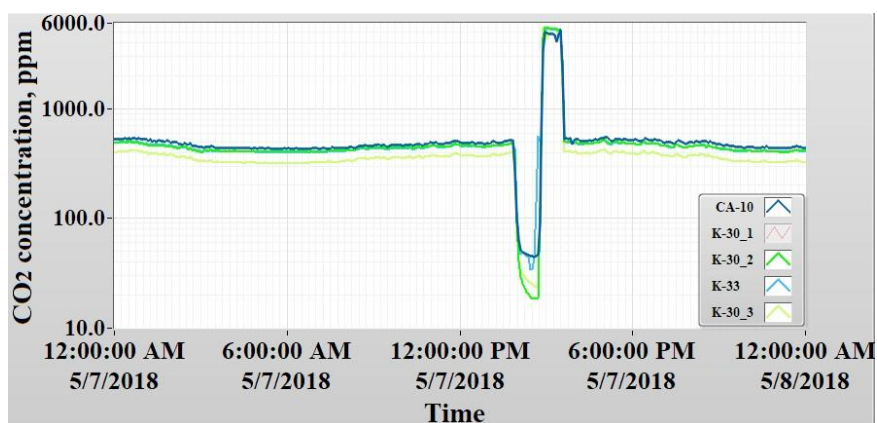
Табл. 3.1 Изчисляване на показатели за еднаквост на сензорите при концентрация 500 ppm.

Сензор А	Сензор В	nRMSE
1	2	0,066
1	3	0,116
1	4	0,054
1	5	0,084
2	3	0,050
2	4	0,013
2	5	0,019
3	4	0,063
3	5	0,032
4	5	0,031

Повторяемостта на сензорите се изчислява, като се използва стандартното отклонение на повторяемостта (на стойностите на сензорите за най-малко 3 последователни осреднени часа (при ~ 0 ppm и при около 80 % от пълната скала)[116]. Изчисленото стандартно отклонение е в интервала 12 – 14 ppm, а относителното стандартно отклонение е 2,73 %.

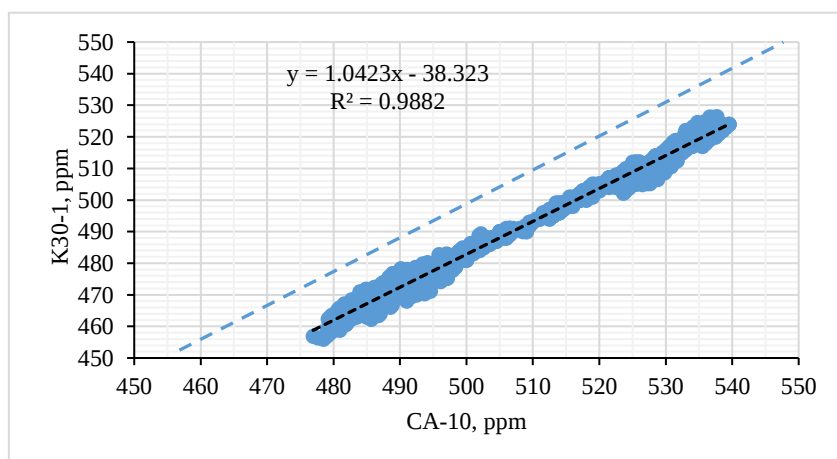
Калибриране и линейност

За целите на това изследване, измерванията с изпитваните нискобюджетни K-30 CO_2 сензори бяха съпоставени с анализатор СА-10 като еталон. Фиг. 3.8 показва 24-часови измервания с 2 бр. K-30 CO_2 сензори в лабораторна камера, включващи период на калибриране, когато е налице ниско ниво (около 100 ppm) и високо ниво (около 5000 ppm) чрез въвеждане на нулев газ и съответно на CO_2 в лабораторната камера. През това време, данните от всеки K-30 се събират на всеки двадесет секунди и след това се осредняват за 4 минути.



Фиг. 3.8 24-часови измервания на концентрации на въглероден диоксид от два сензора К-30 и референтен уред СА-10

За изпитваните сензори се изчислява функция за калибриране чрез допускане на линейна зависимост между изходите на сензора и референтните измервания. Функциите за калибриране са от типа $y = a + bx$, където y представлява реакцията на сензора, а x - съответното референтно измерване. Обратното уравнение (измервателната функция), $x = (y - a)/b$ се прилага към всички изходи на сензора за изчисляване на нивата на концентрация на CO_2



Фиг. 3.9 Функция за калибриране.

Коефициентът на определеност между референтния уред СА-10 анализатор и средната стойност на CO_2 сензорите е много висок $R^2 \approx 0.98$ (Фиг.3.9).

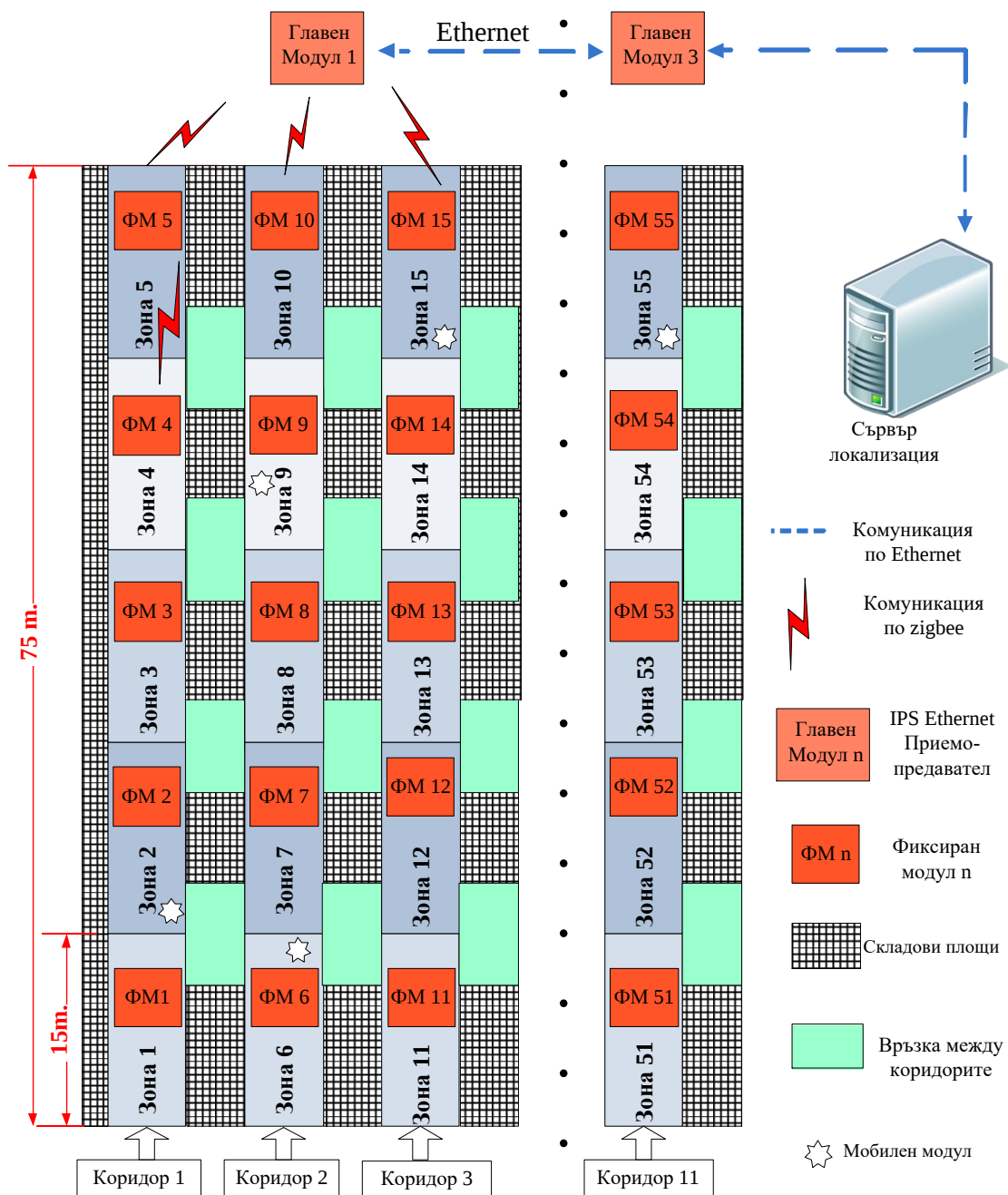
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОСВЕТЛЕНИЕ В СГРАДИ

4.1 Разработка на система в логистични центрове

4.1.1 Мотивация за изграждане на система за интелигентно управление на осветлението

В работата се разглежда едно специфично приложение, свързано с енергийно-ефективното управление на осветлението в индустриална сгради – логистичен център с

големи складови пространства. При това решение нивата на осветеност в зоните се управляват в зависимост от наличието или отсъствието на транспортни средства и оператори в отделните складови зони. В индустриални сгради с конвенционално управление на осветлението, то обикновено е включено непрекъснато, независимо дали в съответната зона се извършват дейности или не. Това води до ненужен преразход на електроенергия за осветление.



Фиг. 4.1 Опростен модел на осветяваните пространства за провеждане на мултимоментни заснемания.

За провеждане на мултимоментните заснемания е използван опростеният модел на осветяваните пространства, представен на Фиг. 4.1 Въз основа на проведените мултимоментни заснемания може да се установи с ниво на статистическа достоверност 95%, че процентът на зоните, заети с активна логистична дейност, най-често се колебае в

интервала 35-40%. При около 20% от проведените наблюдения се достигат нива на заетост от 60 – 65 %. Дори при разглежданията да се вземе за основа този по-неблагоприятен случай, може да се приеме, че потенциалът за пестене на енергията е над 35 %. Или при типични разходи за осветление 3 – 3,5 евро/ m^2 за година, ще се получи потенциал за пестене на разходи за осветление от порядъка на 1 – 1,25 евро/ m^2 за година.

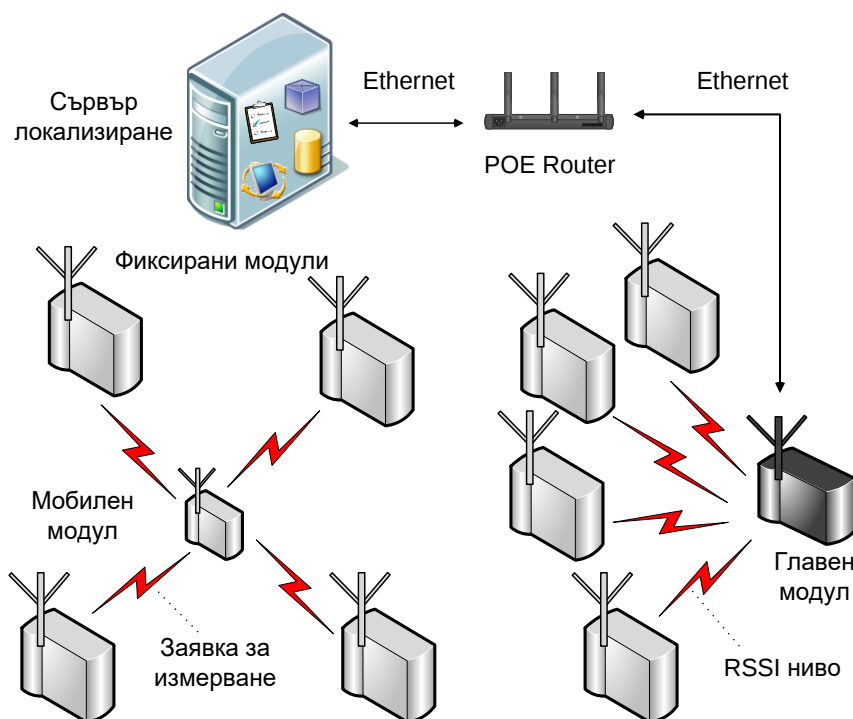
Настоящата разработка цели с помощта на система за локализиране на обекти на закрито, да се локализират транспортните средства и хората, извършващи различни дейности, и да се активира осветление със зададена интензивност само в съответните зони.

Избраният обект за провеждане на изследванията включва складова част и ограничен брой монтажни и опаковъчни работни места. За да се направи оценка на потенциала за пестене на енергия за осветление, са използвани статистически данни за разходите на енергия за $1m^2$ площ [127]. Допълнително е направена оценка на типичните стойности за процента заети с дейности площи спрямо общата площ на склада с помощта на метода на случайните моментни наблюдения [128].

Така например за склад с площ от порядъка на $10\,000\,m^2$, потенциалът за пестене е от порядъка на 10 – 12 000 евро, като при това се очаква постоянно да нараства, съобразно растящите цени на електроенергията.

4.1.2 Архитектура на безжична сензорна система за локализация на обекти в складови помещения.

В разработката се прилага метод за локализиране на обекти, използващ индикацията за мощността на приетия сигнал в безжични сензорни мрежи, базирани на стандарта "IEEE 802.15.4 ZigBee". Избран е подход, при който над пространствата, които се осветяват,

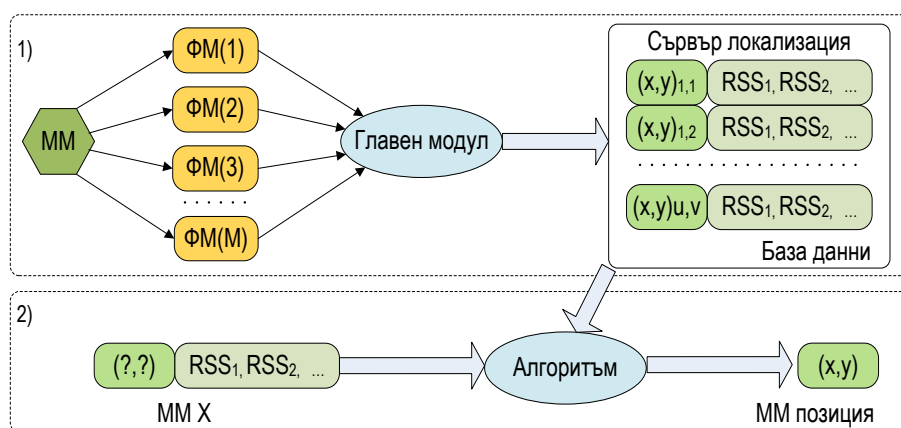


Фиг. 4.2 Архитектура на предложената система за локализация, използваща измерване на мощността на приетия сигнал в ZigBee сензорна мрежа.

са монтирани определен брой фиксирани модули – (ФМ), с помощта на които се определя положението на мобилните модули (ММ). Мобилните модули са безжични устройства, които изпращат периодично пакети данни до съседните фиксирани сензорни модули (в зоната, където се намират и в съседните зони). Фиксираните модули измерват мощността на получения сигнал (RSS) и изпращат данните до т.нар. Главен модул (Master module), който служи като концентратор на данни за зададена група от фиксирани модули.

Главните модули осъществяват предварителна обработка и препредаване на данните до т.нар. Сървър за локализиране (СЛ), който определя актуалното местоположение на обектите в помещението (Фиг. 4.2). При конкретната реализация изискванията за точността на локализиране са ниски. Избрани са дискретни зони за локализация на обекти и съответно за управление на осветлението над тях, с приблизителна дължина от 15 m и ширина около 2,2 m. При тази конфигурация за всяка зона е предвиден по един неподвижен приемник, респ. тя непосредствено да граничи с два приемника (Фиг. 4.1).

Методът на „пръстовите отпечатъци“ изисква предварително измерване на мощността на приетия сигнал (RSS данни) в определени позиции, за да се създаде база данни, която съдържа „пръстовите отпечатъци“ (етап на обучение). За да се определи позицията на даден мобилен модул (ММ), системата първо събира данни от фиксираните модули за актуално измерената мощност на приетия сигнал. Следващата стъпка е сравняването на актуалното измерване с „пръстовите отпечатъци“ в базата данни, при което се търси максимално съвпадение. Двете стъпки на този метод са показани схематично на Фиг. 4.3.



Фиг. 4.3 Илюстрация на метода за локализация, използващ т.нар. „пръстови отпечатъци“.

4.1.3 Реализация на безжичната сензорна система за интелигентно управление на осветлението

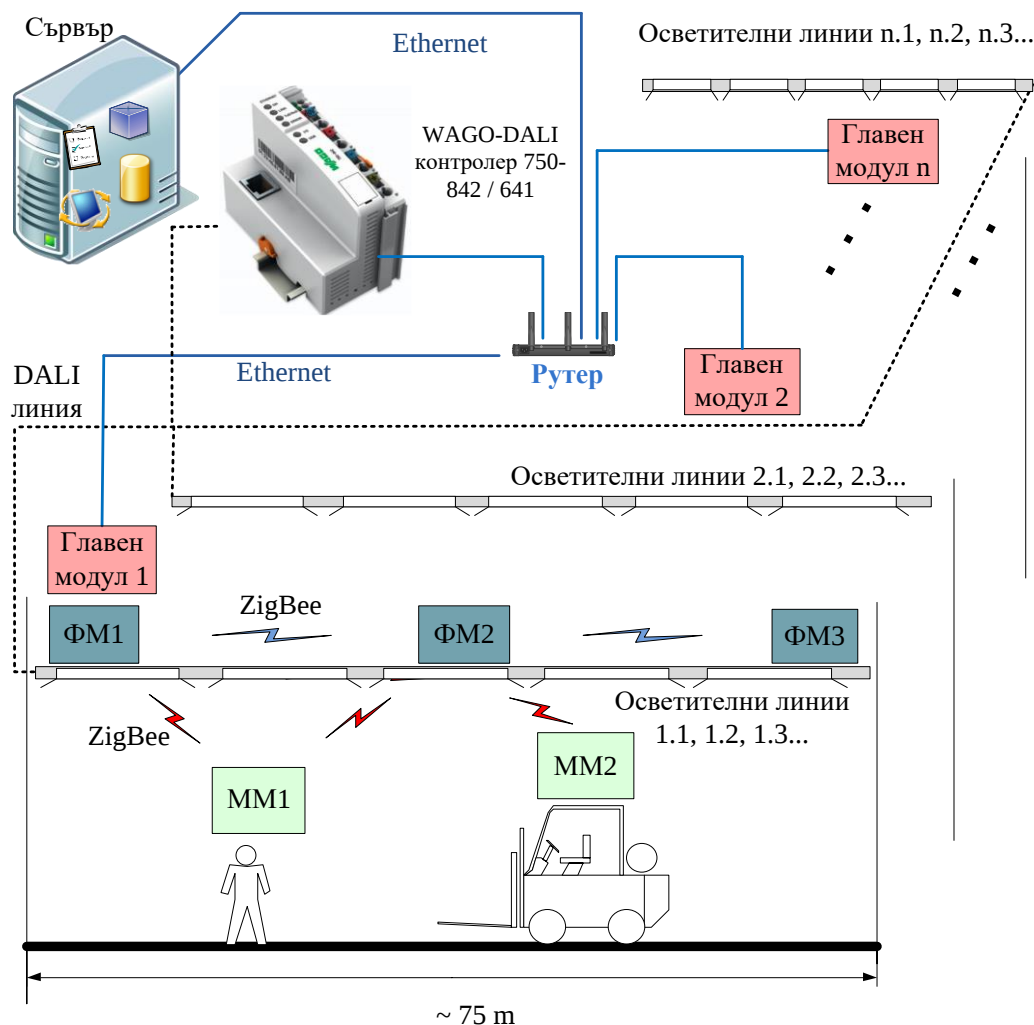
Мобилните и фиксирани модули са реализирани на базата на системата върху чип CC2530 на Texas instruments [131,132]. Тъй като мобилният модул е захранван от батерии, комуникацията с фиксираните модули не е постоянна. На програмно задавани интервали (обикновено до 2 – 3 пъти в секунда) мобилните модули правят опит за връзка с фиксираните модули, при което изпращат своя идентификационен номер, пореден номер на съобщението и данни за нивото на сигнала (RSS). Всеки главен модул е реализиран на базата на LM3S6911 Ethernet контролер със собствен IP адрес, SPI интерфейс и един модул CC2530. Той приема данни от асоциираните с него фиксирани сензорни модули и ги изпраща към Сървъра за локализиране по Ethernet интерфейс. След локализирането на мобилните модули в отделните зони, сървърът за локализиране установява

кореспондиращите адреси за осветителните тела и ги изпраща на контролера на осветлението по интерфейс DALI.

Фиксираните модули съдържат по два приемо-предавателя CC2530 – единият е за връзка с мобилните модули, а другият се използва за връзка с главен модул и предварително зададен набор от фиксирани сензорни модули. И двата приемо-предавателя работят непрекъснато, на различни канали. Те дават допълнителна информация за тяхното състояние, така че евентуални хардуерни проблеми с фиксираните модули да могат своевременно да бъдат открити.

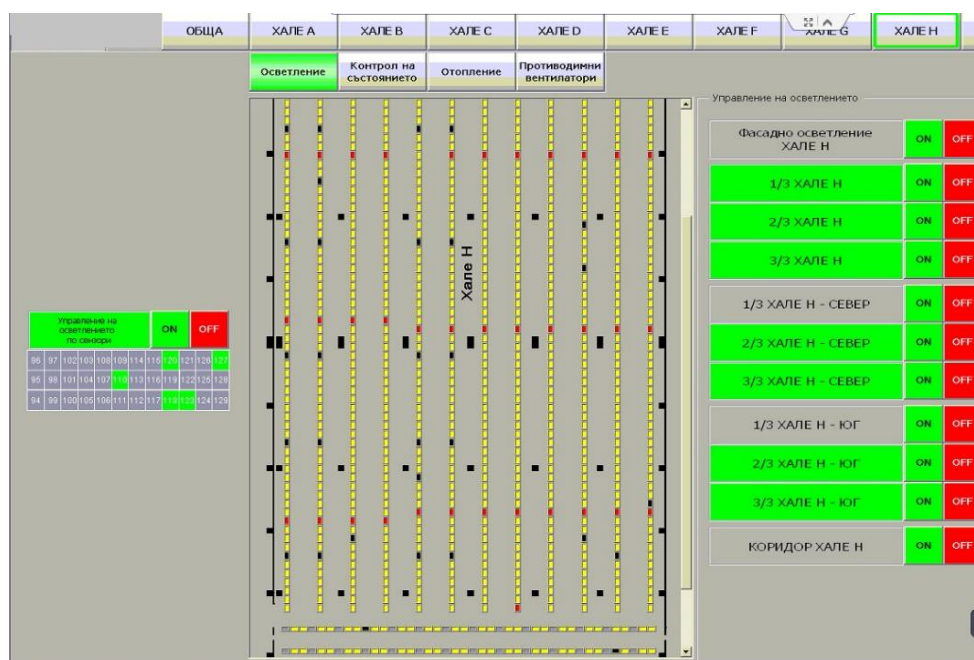
Всеки главен модул е реализиран на базата на LM3S6911 Ethernet контролер със собствен IP адрес, SPI интерфейс и един модул CC2530. Той приема данни от асоциираните с него фиксирани сензорни модули и ги изпраща към Сървъра за локализиране по Ethernet интерфейс.

Основните хардуерни компоненти, на системата за интелигентно управление на осветлението, са показани на Фиг. 4.6.



Фиг. 4.6 Основни компоненти на системата за интелигентно управление на осветление.

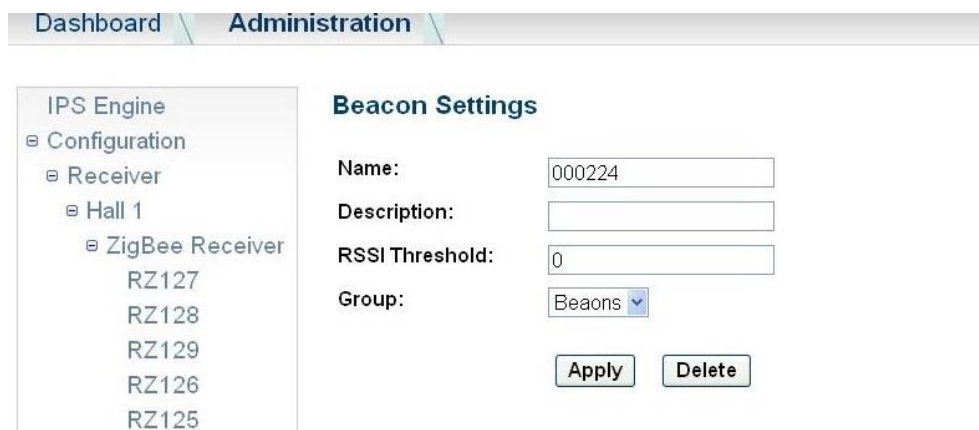
Контролерът за осветлението е реализиран на базата на програмируемия логически контролер 750-842 на фирмата WAGO с DALI/DSI модул 750-641[72,134,71].



Фиг. 4.7 Управляваща програма на PLC.

На Фиг. 4.7 е показан екран от управляващата програма на програмируемия логически контролер. С жълто са означени осветителните тела. С червено са показани местата на фиксираните модули. Със зелено в долния ляв ъгъл са показани активните зони.

Предвидени са настройки за всеки мобилен модул (Фиг. 4.8), където на всеки се задава ID и праг на чувствителност[133]. По този начин в локализацията участват само тези модули, които предварително са въведени в системата. Прагът на чувствителност се задава за да може да се редуцира комуникацията, и в локализацията за съответната зона да участват само мобилни модули, които се намират в някоя от съседните зони.



Фиг. 4.8 Конфигурация на мобилните модули.

Всеки фиксиран модул е присъединен към определена зона. Тук се задава към кой адрес на PLC-то да се запише, и каква стойност съответства за активна и не-активна зона. Активната зона съответства на включени на 100 % осветителни тела в съответната зона. Неактивната зона съответства на 3 % интензитет на осветителните тела в съответната зона.

Целта е да се намали броя на включванията и изключванията на осветителните тела, което драстично намалява живота им.



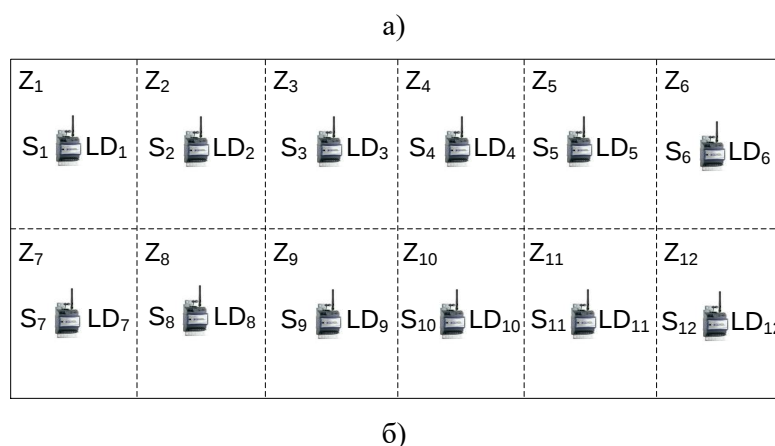
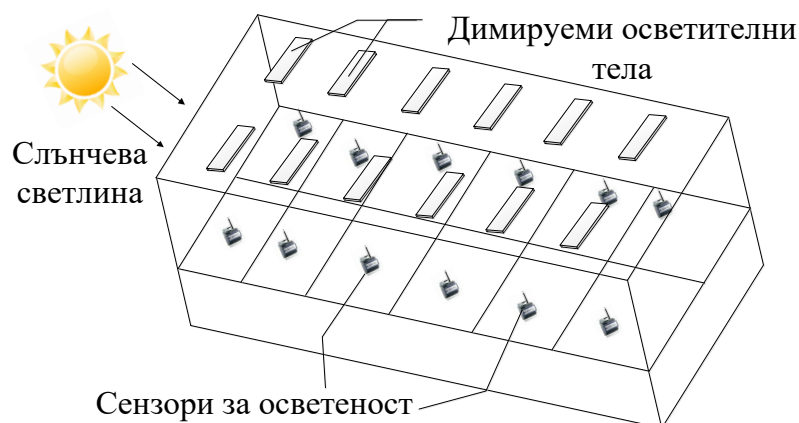
Фиг. 4.11 Снимка на активна зона с включено осветление с нива на осветеност 120 lx и на неактивна зона с нива на осветеност 20 lx .

Активната зона съответства на осветеност 120 lx , на височина 1 m от пода, а не-активната на осветеност 20 lx на същата височина(Фиг. 4.11).

4.2 Разработка на система за управление на осветление в офис сгради

4.2.1 Модел на системата

За нуждите на това изследване е използван модел на зала за провеждане на лекции с N на брой димиращи се флуорисцентни лампи подредени в R на брой редове и C на брой колони. На Фиг. 4.12 е показана примерна подредба състояща се от на $N = 12$ осветителни тела разпределени в $R = 2$ редове и $C = 6$ колони. Полето за осветяване е паралелно на осветителните тела и е разделено на N -брой еднакви зони Z_i , $i = 1 \div N$. Във всяка зона е поставен сензор за измерване на осветеността S_i . Осветителните тела са отбелязани с LD_i , $i = 1, \dots, N$, и се състоят от луминисцентна лампа с димер и са мрежово свързани чрез интерфейса DALI.



Фиг. 4.12 а) Модел на лекционна зала със свързани в мрежа осветителни тела, б) Схема на зоните.

4.2.2 Предложен подход за измерване на осветеността

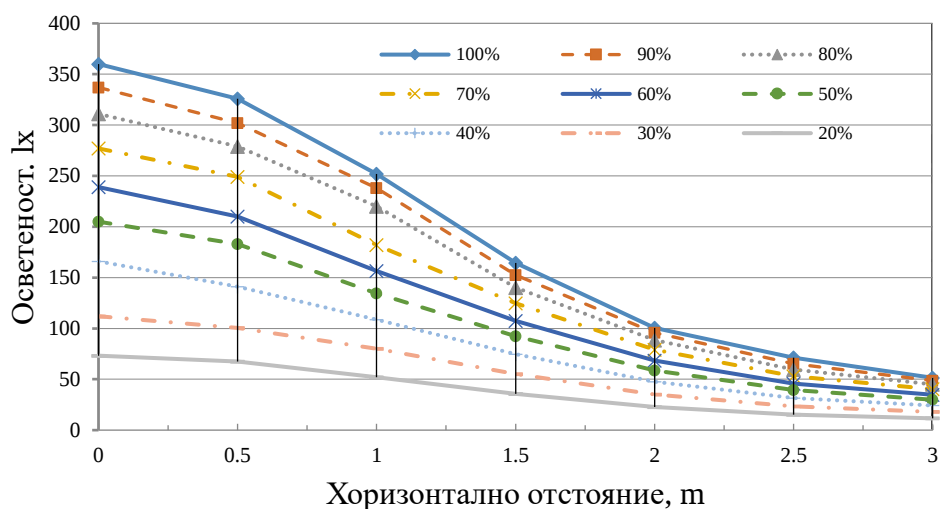
С цел опростяване и на базата на предходните обозначения се дефинират векторите на измерената осветеност, и на осветеността добавената от осветителните тела, както следва:

$$E_s = [e(s_1), e(s_2), \dots, e(s_N)]^T, \quad (4.1)$$

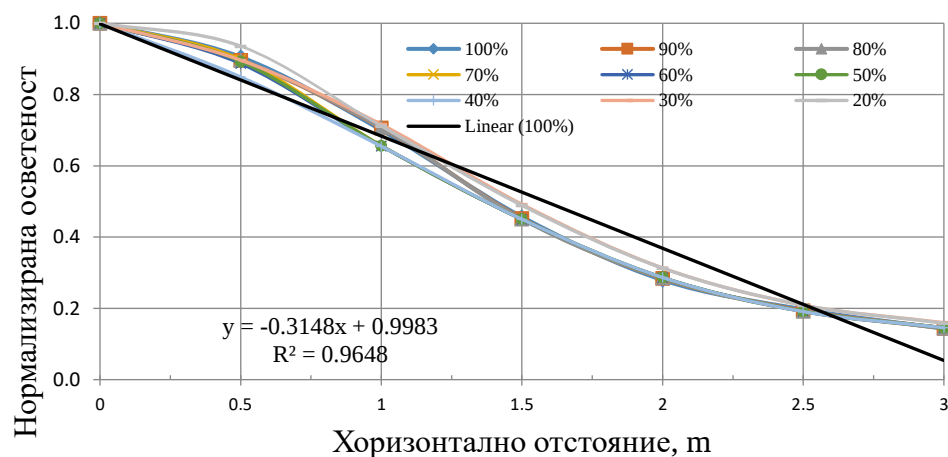
$$E_{LD} = [e(LD_1), e(LD_2), \dots, e(LD_N)]^T.$$

4.2.3 Изчисляване на E_{LD} и на димиращите нива на осветителните тела

Стойността на E_{LD} не може да се определи директно, и за определянето и е използван подхода предложен от M.S.Pan[135]. При наличието само на едно включено осветително тяло и отсъствието на дневна светлина се измерва осветеността на съответната зона и на съседните зони на различно разстояние от осветителното тяло. На Фиг. е показано, че осветеността намалява с разстоянието по предвидим и кохерентен начин при използването на различни нива на димиране (20– 100 %). Измерените резултати се нормализират според максималните стойности за осветеността при хоризонталното отстояние 0 m.



а) Измерена осветеност.



б) Нормализирана осветеност.

Фиг. 4.13 Експериментална оценка намаляване на нивата на осветеност с увеличаване на разстоянието от източника на светлина.

Осветеността допринесена от дневната светлина, измерена от фиксирания сензор е записана като вектор-стълб E_{Day} с размерност $N \times 1$.

$$E_S = W_N \cdot E_{LD} + E_{Day}. \quad (4.3)$$

Формула (4.3) може да бъде изразена по следния начин:

$$E_S - E_{Day} = W_N \cdot E_{LD} \Rightarrow E_{LD} = W_N^{-1}(E_S - E_{Day}), \quad (4.4)$$

където нормализираната матрица с тегловите коефициенти W_N е измерена предварително, а векторът E_{Day} е измерен след изключване на всички осветителни тела.

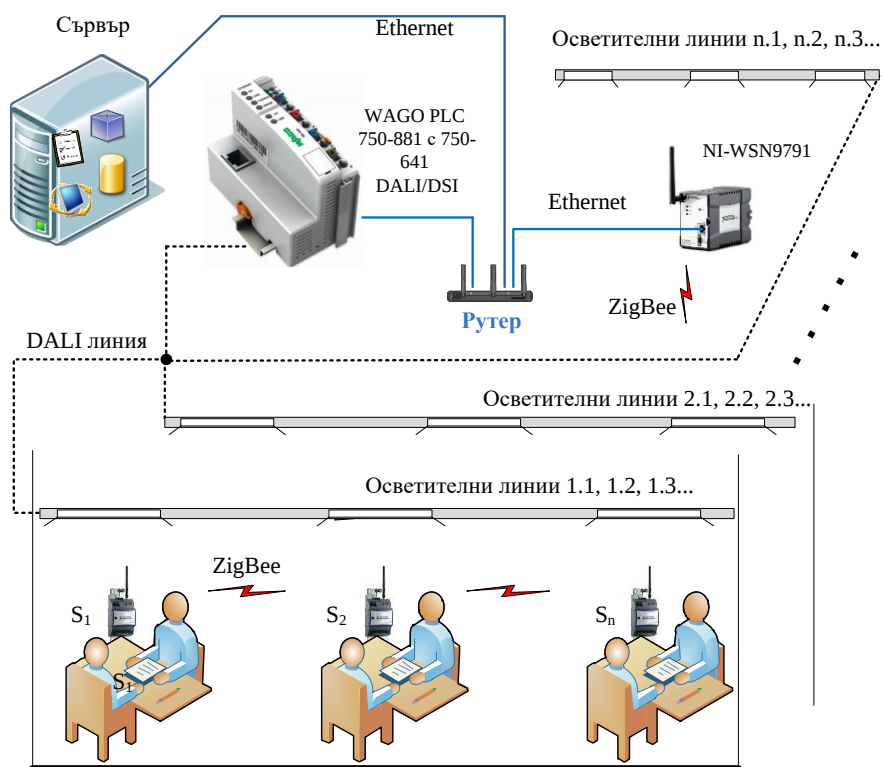
Осветителното тяло LD_1 , показано на Фиг. 4.12 б, има по-голямо влияние върху осветеността на зона z_1 , отколкото върху зони z_2, z_7 и z_8 , и на базата на установената зависимост за намаляване на осветеността във функция на разстоянието може да се

определи подходящо ниво под което е безсмислено да се преизчисляват всички влияещи фактори под този зададен праг.

4.2.4 Архитектура на предложената система за осветление

Основните компоненти на разработената интелигентна осветителна система са показани на Фиг. 4.14. Системата е разделена на три основни части:

1. Основен контролер
2. Контролер на осветеността с DALI комуникационен интерфейс
3. Безжична сензорна мрежа за измерване на осветеността.



Фиг. 4.14 Архитектура на предложената система.

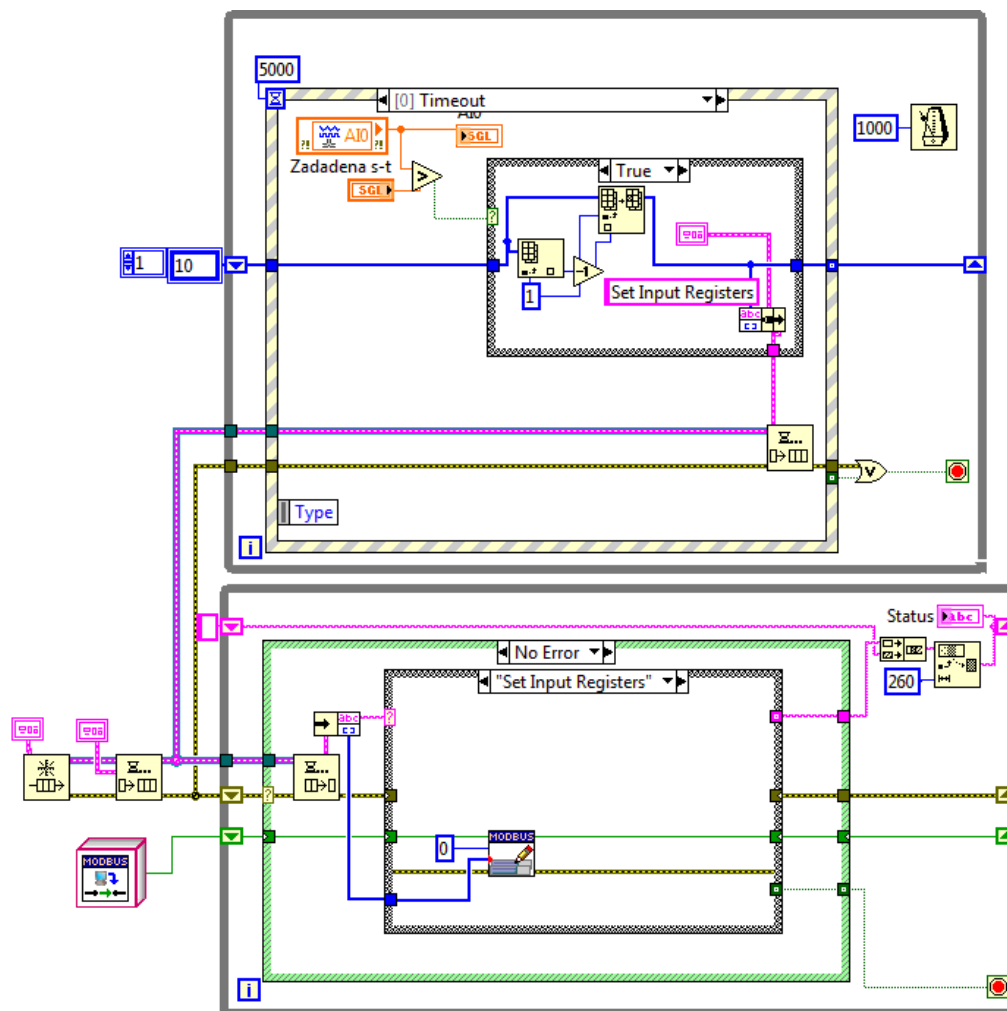
4.2.5 Реализация на системата

Показаната на Фиг. 4.15 блокова диаграма на софтуера за LabVIEW, реализира безжичната сензорна мрежа и контрола на осветлението. За реализацията на софтуера е избрана структурата производител / потребител, което позволява да се разделят двата основни компонента чрез използване на опашка между тях. Това предоставя възможност на производителите и потребителите да изпълняват различни процеси.

Горният цикъл действа като производител. В горния ляв ъгъл на опашката на събитията е позиционирана глобална променлива АЮ, която комуникира с един от безжичните модули. Тази глобална променлива съхранява текущите данни за измерената осветеност. Ако измерената осветеност е със стойност по-висока от желаната, производственият цикъл

вкарва в опашката командата и данните към потребителския с цел да се намали интензитета на излъчване на осветителното тяло и обратно.

Долният цикъл действа като потребител и неговата основна функция е да осигурява комуникационна информация през DALI интерфейса. Комуникацията е разработена чрез набор от функции от Modbus библиотеката за LabVIEW. Тази библиотека се състои от редица виртуални инструменти, които чрез комуникиране през стандартен Ethernet порт, осъществяват протокола за комуникация Modbus и предлага master/slave функционалност.



Фиг. 4.15 LabVIEW блокава диаграма: WSN контрол и Modbus комуникация.

ГЛАВА 5. МОНИТОРИНГ НА ШУМОВИ ПАРАМЕТРИ В СГРАДИ

5.1 Реализация на мобилна сензорна система за измерване на шумови параметри

5.1.1 Основни изисквания към системата

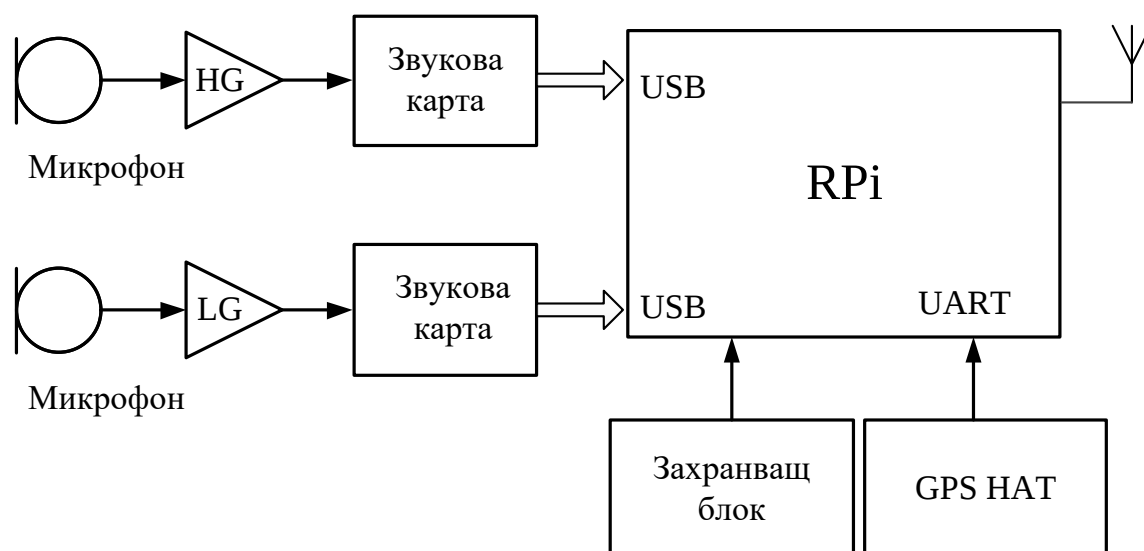
Изисквания към дизайна на разработваната сензорна система:

- висока надеждност и достъпност на устройството за дългосрочни измервания
- устройството трябва да се състои от нискобюджетни компоненти, позволяващи лесно интегриране в безжични сензорни мрежи и да поддържа различни комуникационни протоколи

- възможност за дистанционно наблюдение на състояние и за обновяване на софтуера
- точността на измерване трябва да отговаря на изискванията на стандарта IEC 61672 за клас 2 уреди за измерване на шум
- достатъчна изчислителна мощност за обработка на постъпващите звукови данни
- мащабируема архитектура, която позволява лесно разширение с периферни устройства, напр. звукови карти, микрофони, сензори за измерване на допълнителни параметри (температура, относителна влажност, налягане и др.)
- акумулаторно захранване, позволяващо продължителна автономна работа
- системата да позволява лесно интегриране в среди за програмиране като MATLAB и LabVIEW
- Времевата разделителна способност за часовника трябва да бъде най-малко 1 s [141]

5.1.2 Реализация на мобилната сензорна система

Предложената сензорна система се състои от два MEMS микрофона (ADMP 401), две GEMBIRD USB звукови карти, LoRa/GPS HAT модул и Raspberry Pi 3 (RPi) платформа. Захранващият източник на възела е акумулаторна батерия с капацитет 16000 mAh PB-T3, поставена в кутия с IP 67 защита. На Фиг. 5.1 е показана цялостната блокова диаграма на възела.



Фиг. 5.1 Блокова диаграма на възел от сензорната система, базирана на RPi платформа

Микрофон и усилвател

Уредът трябва да може да измерва шум с обхват от 40 до 120dB. Чувствителността на аналоговите микрофони, обикновено се задава в единици dBV и показва какво напрежение, ще има изходният сигнал за дадено ниво на звуковото налягане. Чувствителността изразява връзката между линейната единица mV/Pa и логаритмичната единица dBV и се дава както следва:

$$Sensitivity_{dBV} = 20 \lg\left(\frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{Output_{AREF}}\right), \quad (5.2)$$

където $Sensitivity_{dBV}$ е чувствителността на микрофона изразена в dBV, $Sensitivity_{mV/Pa}$ е чувствителността на микрофона в mV/Pa, а $Output_{AREF}$ е еталонното напрежение със стойност 1000 mV.

От (5.2) за ефективната стойност на изходното напрежение V_{mic_RMS} на микрофона се получава:

$$V_{mic_RMS} = 10^{\frac{Sensitivity_{dBV}}{20}} \quad (5.3)$$

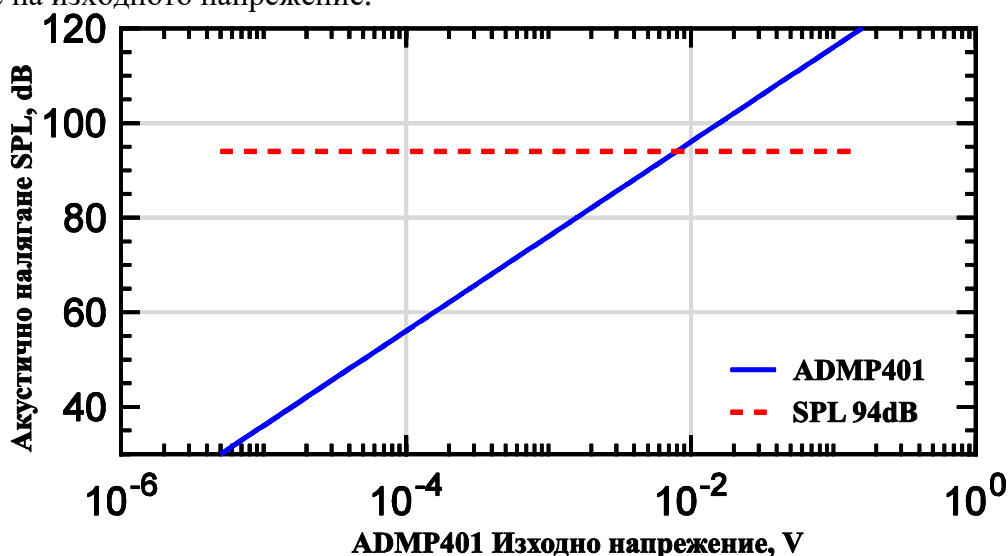
Типичната чувствителност на ADMP401 е -42 dBV , поради което е избран за измерване както при високо, така и при ниско налягане. Тя се използва за определяне на $Sensitivity_{mV/Pa}$ чрез следната зависимост:

$$-42\text{ dBV} = 20 \lg \left(\frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{1000\text{ mV}} \right), \quad (5.4)$$

откъдето

$$Sensitivity_{mV/Pa} \approx 7,94\text{ mV/Pa}. \quad (5.5)$$

Чувствителност -42 dBV , при ниво на звуково налягане 94 dB (1 Pa), съответства на изходно напрежение 7.94 mV_{RMS} при 94 dB SPL акустичен вход. Тези спецификации са в ефективни стойности. Максималното ниво на изходното напрежение на ADMP 401 е 158 mV при $SPL = 120\text{ dB}$, както е показано на Фиг. 5.2. Тези нива изискват допълнително усилване на изходното напрежение.



Фиг. 5.2 Предавателна функция на микрофона ADMP 401.

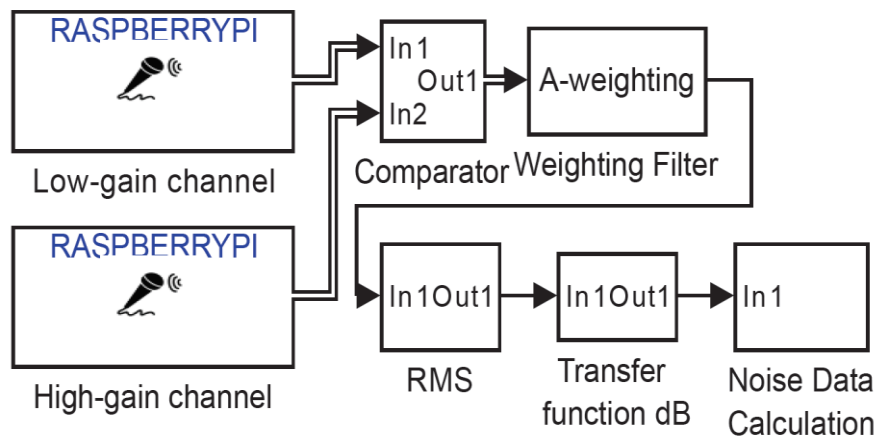
Предходните изчисления за максималното изходно напрежение са необходими, за да може да се изчисли коефициентът на усилване на усилвателя след микрофона. Използването само на един коефициент на усилване, съответстващ на SCV_{max} , ще доведе до лоши резултати както при ниско ниво, така и при пиково ниво на входния акустичен сигнал. Поради тази причина, се въвеждат два канала с различни коефициенти на усилване (висок и нисък), за да се постигне по-голяма точност при измерване нивата на звука в различни обхвати.

За двата канала са избрани стойности на коефициентите съответно $A_{LG} = 5$ и $A_{HG} = 500$. При тази конфигурация на усилвателните канали, увеличението на динамичния обхват E_{DR} се изчислява както следва:

$$E_{DR} = 10 \lg \frac{A_{HG}^2}{A_{LG}^2} = 10 \lg \frac{500^2}{5^2} = 40\text{ dB}. \quad (5.8)$$

Алгоритъм за събиране на данни

На Фиг. 5.3. е показан алгоритъма за събиране на данни и изчисляване на шумови параметри, реализиран в Simulink.

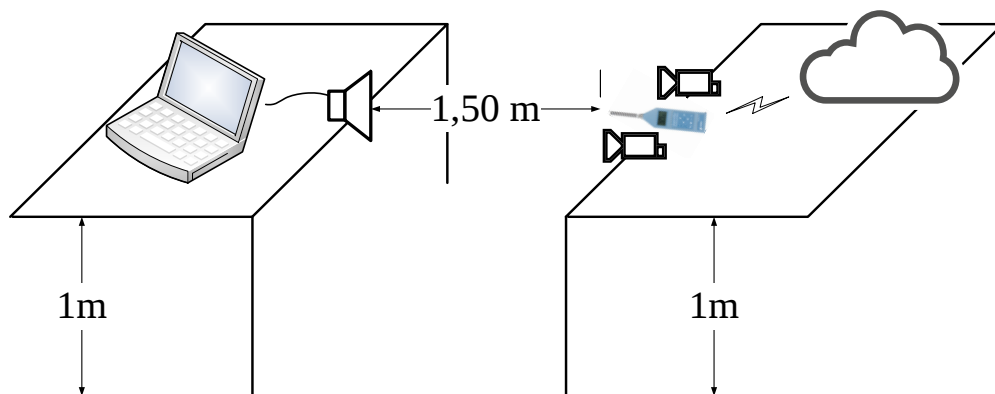


Фиг. 5.3 Simulink програма за събиране на данни и изчисляване на шумови параметри

Изходът на звуковата карта се записва чрез *ALSA Audio Capture* блок с честота на дискретизация 48 kHz и дължина на записа с 6000 дискретни стойности, което съответства на звукови данни с продължителност 125 ms . Звуковите данни от двата канала се подават към блок за сравнение и ако стойностите в канала с висок коефициент на усилване достигнат насищане, се превключва към канала с нисък коефициент на усилване. Данните се подават на А-филтър, след което записите с продължителност 125 ms се подават на блок за изчисляване на ефективна стойност (*RMS* блок) и блок „Предавателна функция“ (*Transfer function*), които съответно изчисляват средната квадратична стойност и нивото на звуковото налягане в децибели.

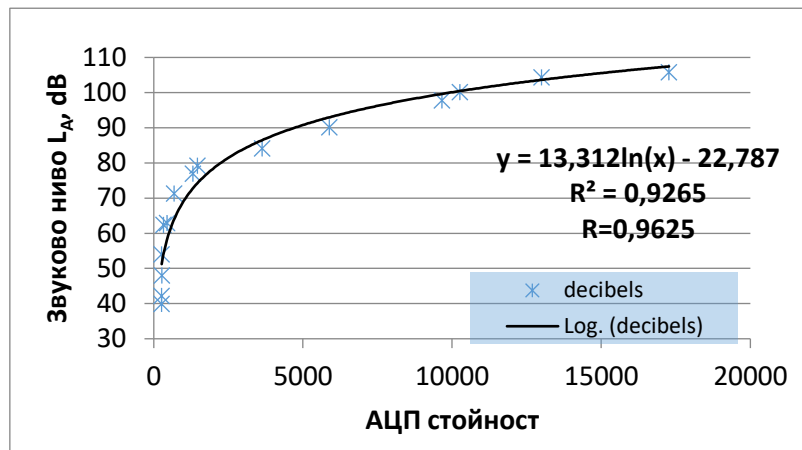
Калибриране

Конфигурацията за калибриране, според стандарта IEC 61672[91] е показана на Фиг. 5.4.



Фиг. 5.4 Опитна постановка за калибриране на системата

Като еталонен уред е използван интегриращ шумомер клас 1 Pulsar Model 91 [146]. На Фиг. 5.5 са показани резултатите от: 1) измервания на нивото на шума с еталонния уред, Pulsar Model 91, 2) обработения изход на звуковата карта и 3) съответната регресионна крива за канала с висок коефициент на усилване на сензорната система. Аналогично е установена и предавателната функция за канала с ниско ниво на усилване.



Фиг. 5.5 Функция за калибриране на канала с високо усилване

Поради логаритмичната природа на разпространението на звука, при определяне на регресионната крива се предполага, че предавателната функция е също логаритмична. Изчисленото от автора уравнение на предавателната функция е следното:

$$L_{pA} = 13,312 \cdot \ln(ADC_{rms}) - 22,787, \quad (5.9)$$

където L_{pA} е нивото на звука в dB , ADC_{rms} е А-филтрираната ефективна стойност на изхода на звуковата карта. Коефициентът на определеност е $R^2 = 0,9265$.

Модулът е поставен в пластмасов корпус с ниво на защита IP 67, с два микрофона, защита от вятър, GPS модул и акумулаторна банка за захранване. Общата цена на компонентите е около 135 евро. Сравняването на тази цена с типичната цена за шумомер клас 1 (1500 – 3000 евро) ясно показва, това WSN приложение е много конкурентно [147].

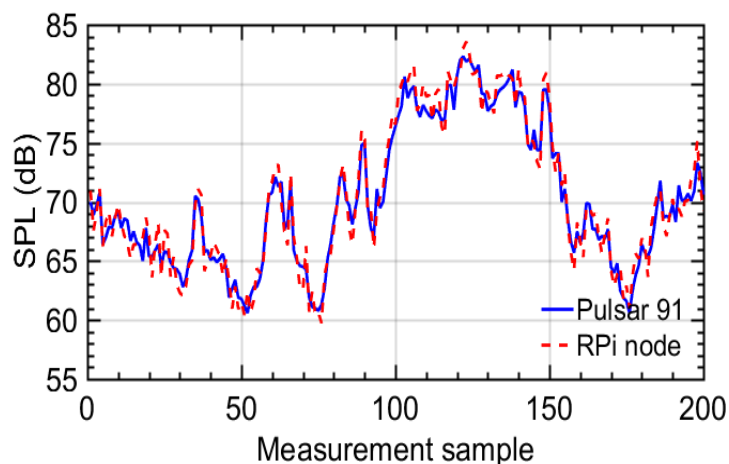


Фиг. 5.6 Хардуерни компоненти на сензорния модул

5.1.3 Експериментални резултати

Тест за точност на закрито

Точността на RPi взела е проверена с Pulsar 91 в шумозаглушена зала. Настройката на теста следва процедурата, показана във Фиг. 5.4, но източникът на звук е записан пътния трафик с продължителност 25 s. На Фиг. 5.7 е показано сравнение на 200 резултата от измервания направени с Pulsar 91 и разработената система. Средната разлика между техните стойности е $\pm 1,47 \text{ dB}$. Разликата се дължи основно на бързи преходни процеси.

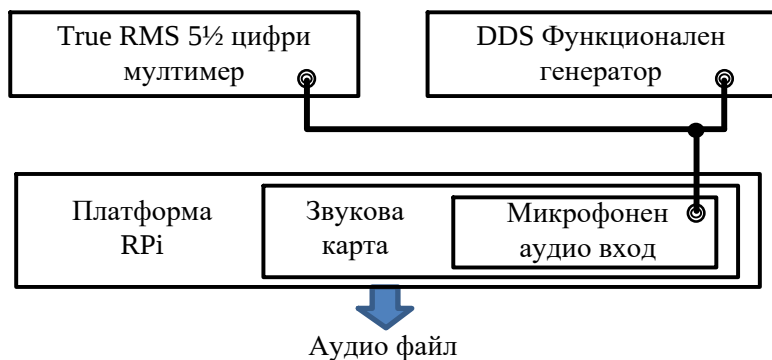


Фиг. 5.7 Резултати от сравняване на точността на модула с еталонен измервателен уред клас 1.

5.2 Сензорна система за измерване на психоакустични параметри

5.2.2 Калибриране на системата

За да се определи предавателната характеристика на звуковата карта, е реализирана опитната постановката, показана на Фиг. 5.8. Сигнал с честота 1 kHz и с различни амплитуди се генерира от DDS генератора (GW Instek SFG-1013 DDS). Амплитудата на сигнала се измерва с True RMS мултимер (HP3478A DMM) и се съхранява в паметта във .wav формат на аудиофайл. RMS стойностите на напрежението, генерирани от генератора, трябва да бъдат по-малки от $SCV_{max} = 828 \text{ mV}_{RMS}$. Запаменените аудио файлове с различни амплитуди се обработват в средата на LabVIEW.



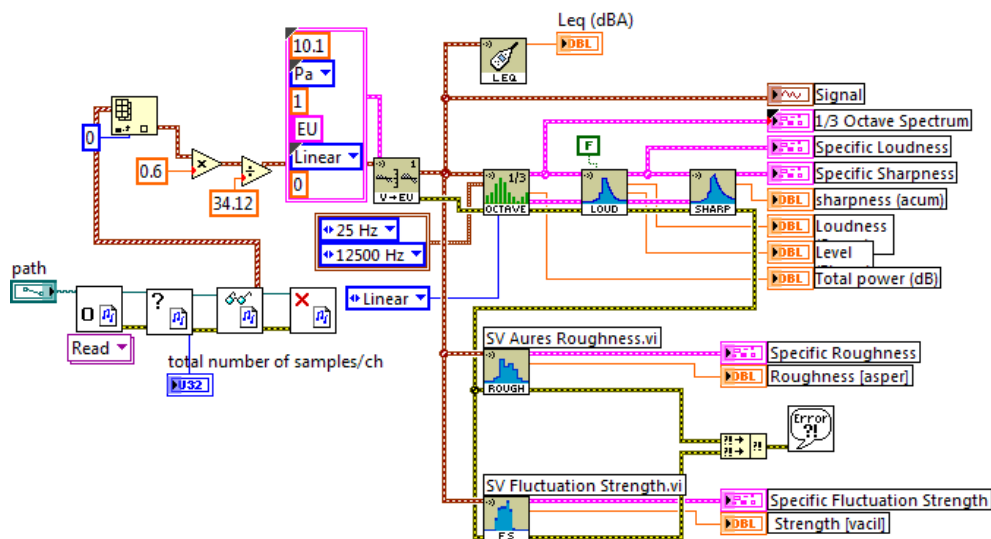
Фиг. 5.8 Опитна постановка за определяне на предавателната характеристика на звуковата карта.

5.2.3 Реализация в средата на LabVIEW

На Фиг. 5.9 е показана блоковата диаграма на разработения графичен софтуер за оценка качеството на звука. Първите четири функции отварят и четат данни от предварително съхранен .wav файл и го преобразуват в масив от сигнали.

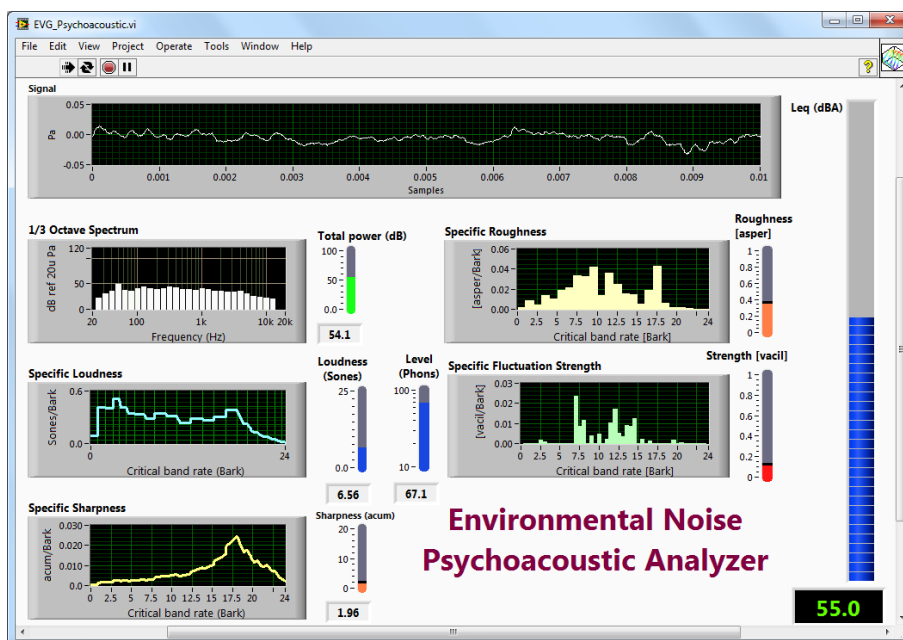
Първият виртуален инструмент, използван от *Sound and Vibration Toolkit* е *SVL Scale Voltage to EU.vi*. Този виртуален инструмент преобразува сигнала от напрежение в инженерни единици (ЕС), в този случай към Паскали. След това виртуалния инструмент *SVL Leq Sound Level.vi* изчислява еквивалентното ниво на звука L_{eq} . Чрез виртуален

инструмент *SVL Third – octave Analysis.vi* се осъществяват 1/3 октавни анализи в съответствие със стандарти IEC 1260:1995 и ANSI S1.11-2004. Функцията *SV Stationary Loudness.vi* изчислява стационарната сила на звука от сигнала на звуковото налягане или спектъра на 1/3-октавната лента, изчислена в честотния диапазон от 25 Hz до 12,5 kHz. Този параметър е известен също като специфична гръмкост на Цвикер. Последният виртуален инструмент от първия ред е *SV Aures Sharpness.vi*. Той изчислява „остротата“ от формата на сигнала на звуковото налягане, и спектъра на 1/3-октавната лента, изчислен в честотния диапазон от 25 Hz до 12,5 kHz, или специфичната сила на звука, която се подава и на входа на *SV Stationary Loudness.vi*.



Фиг. 5.9 LabVIEW блокова диаграма на виртуален инструмент за определяне на психоакустични параметри.

На Фиг. 5.10 е показан лицевият панел на системата за измерване на психоакустични параметри.



Фиг. 5.10 Лицев панел на системата за измерване на психоакустични параметри.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно приложни приноси

1. Формулирани са изисквания към сензори и цифрови интерфейси, приложими в системи за вентилация, климатизация, както и в осветителни системи.
2. На базата на задълбочено теоретично изследване, както и със специално разработена за целта опитна постановка, е изследвано влиянието на атмосферни параметри върху точността на сензори за CO₂. Изведени и експериментално са потвърдени зависимости за коригиране на внасяната грешка.
3. Предложен е подход и са проведени експериментални изследвания за локализация на обекти в големи индустриални сгради, за целите на управление на осветлението. С разработената система с хибридна архитектура, е постигната икономия на енергия от около 30 %.
4. Синтезиран е модел и алгоритъм за адаптивно управление на осветление в офиси, при отчитане на дневната светлина. Разработеният алгоритъм е вграден в интелигентна система, включваща многоточкова безжична сензорна мрежа, която позволява гъвкаво конфигуриране, съобразно архитектурните особености на помещенията.

Приложни приноси

1. Проектирана е и е разработена експериментална постановка за изследване влиянието на атмосферните параметри върху точността на сензори за CO₂.
2. Разработен е интелигентен сензорно-актуаторен модул за многозонова вентилация и климатизация, с помощта на който притокът на свеж въздух постоянно се адаптира към актуалните потребности.
3. Реализирана е система за локализация на различен по брой и характер обекти в големи индустриални сгради за целите на управление на осветлението и са проведени експерименти доказващи ефективността ѝ за пестене на енергия.
4. Проектирана и реализирана е осветителна система, която използва сензори за измерване на осветеност и се състои от контролер, управляван от графичната среда LabVIEW, контролер на осветеността и безжична сензорна мрежа.
5. Дефинирани са изисквания и е проектирана структура на система за измерване на шумови параметри в сгради. На тази база е създаден сензорен модул с разширен динамичен обхват, като е предложена и приложена методология за калибрирането му.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [A1] M. Marinov, **B. Ganev**, R. Ivanoff, Implementation of Innovative Air Conditioning System Using Power over Ethernet Sensor Nodes, Annual Journal of Electronics, v.3 Number 1, ISSN 1313-1842, pp. 164-167, Sozopol, 2012.
- [A2] M. Marinov, T. Djamiykov, **B. Ganev**, V. Zerbe. Sensor-based Multi-Zone Demand-Controlled Ventilation, XII International Scientific – Professional Symposium INFOTEH-JAHORINA, 20-22.03.2013, Bosnia and Herzegovina.
- [A3] **Б. Ганев** , „Сензорен Модул, Захранван през Ethernet“. Национален форум „Електронни, информационни и комуникационни системи“, 16 - 17.05.2013, Национален дом на науката и техниката, София, стр. 276-281.
- [A4] M. Marinov, G. Nikolov, E. Gieva and **B. Ganev**, Improvement of NDIR Carbon Dioxide Sensor Accuracy, 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 6-10 May 2015, Eger, Hungary, pp. 466-471, ISSN: 2161-2528, DOI: 10.1109/ISSE.2015.7248042. (Scopus, 1 цитиране)
- [A5] M. Marinov, **B. Ganev** and G. Nikolov, „Indoor Localization System for Lighting Control“. XXII International Scientific Conference Electronics - ET2015, Bulgaria, Sozopol, ISSN 1313-1842, pp. 85-88, September 2013.
- [A6] **Б. Ганев**, „Система Интелигентни Тела, Предназначени за Архитектурно-художествено Осветление“, Национална конференция с международно участие

- „България Светлина 2014“. ISSN 1314-0787, стр.73 - 78, България, Созопол, 10-13 Юни 2014.
- [A7] М. Маринов, **Б. Ганев**, Г. Николов, „Безжична Сензорна Система за Интелигентно Управление на Осветление в Индустриални Сгради“, Национална конференция с международно участие „България Светлина 2014“. ISSN 1314-0787, стр.67 - 72, България, Созопол, 10-13 Юни 2014.
- [A8] М. Marinov, G. Nikolov and **B. Ganev**, „Wireless Sensor Network based Illumination Control“. XXIV International Scientific Conference Electronics - ET2015, Bulgaria, Sozopol, ISSN 1314 - 0078, pp. 85-88, September 2015.
- [A9] М. Marinov, G. Nikolov, E. Gieva and **B. Ganev**. Environmental Noise Logging and Calculating. 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 18-22 May, 2016, Pilsen Czech Republic, pp. 424-429, ISSN: 2161-2528. (Scopus)
- [A10] М. Marinov, D. Nikolov, **B. Ganev** and G. Nikolov, Environmental Noise Monitoring and Mapping, 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 10-14 May, 2017, Sofia, Bulgaria, pp. 1-7, ISSN: 2161-2528. (Scopus, 1 цитиране)
- [A11] **Б. Ганев**, Д. Николов, Б. Георгиев. Мобилна сензорна система за мониторинг на шум в градска среда. (под печат) Годишник на ТУ-София, 2019.

INTELLIGENT SENSOR SYSTEMS FOR ENERGY EFFICIENT BUILDING MANAGEMENT

Borislav Todorov Ganev

The thesis focuses on tools, software development environments and usage of intelligent sensor systems for energy efficient building management, which are able to effortlessly control the complex systems for energy efficient building management.

The goal of the thesis is research, development, and implementation of intelligent sensor systems for measurement and control of significant parameters in buildings in order to achieve energy efficient building management and living condition improvement.

The thesis consists of 6 chapters, conclusion, references, and 4 appendices. The introduction section defines research questions, purpose and the main tasks to achieve the thesis goal.

The second chapter describes the state-of-the-art of intelligent sensor systems for energy efficient building management. In addition, examines the main systems in the intelligent buildings and a set of those on which the study is focused, i.e. sensor systems for air quality monitoring and air conditioning control, lighting control systems and noise pollution measuring systems.

The third chapter presents the development and implementation of a system for air quality monitoring and air conditioning management. Also discusses the main sources of errors of carbon dioxide sensors, as well as approaches for their reduction. A sensor and actuator module are implemented, and an alternative ventilation system concept is proposed.

The fourth chapter examines the implementation of two lighting management systems in logistics hubs and office buildings.

The fifth chapter describes the realization of two systems for noise monitoring in buildings. The first noise monitoring system shows measurement of conventional noise parameters with low-cost of-the-shelf electronic components. The second describes noise measurement and calculation of the its psychoacoustic parameters.

The sixth chapter presents an analysis of the improvements in the implemented sensor systems and outlines future work.