

*Роман Єршов, Олександр Савенко, Максим Карпенко,
Євгеній Лимаренко, Іван Мозговий*

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ВБУДОВАНОГО ПРИСТРОЮ «РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ» НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА MSP430

Актуальність теми дослідження. Освітлення споживає 17,5 % всього об'єму виробленої на Землі електроенергії. В деяких регіонах рівень споживання доходить до 50 %. Вдосконалення елементної бази та алгоритмів автономного керування освітленням дозволяє скоротити споживання більше, ніж вдвічі (до 60 %).

Постановка проблеми. Існуючі на сьогодні пристрої «розумного освітлення» або поставляються у вигляді централізованої системи з закритими керуючими протоколами та потужним обчислювачем, або активно використовують існуючу комунікаційну мережу, яка не завжди передбачає розширення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто централізовані та децентралізовані рішення, в яких детектування людини в приміщенні виконується за допомогою існуючої мережі пристроїв бездротового обміну даними (ZigBee), відеоспостереження, мікрофонів звукового діапазону. Особлива увага – на способи технічної реалізації апаратної та програмної частин, а також, технології та алгоритми, які при цьому використовувалися: вейвлет-перетворення, розпізнавання образів та регуляторів неklasичної структури.

Виділення не досліджених частин загальної проблеми. Досі не розглянутий клас децентралізованих пристроїв «розумного освітлення», які вбудовуються в освітлювальний пристрій, а також використовують спосіб визначення присутності людини на основі властивих їй діяльності шумів звукового спектру.

Постановка завдання. Спроекувати дешевий та компактний пристрій «розумного освітлення», який може вбудовуватися локально в кожному приміщенні чи навіть його ділянці. Кожен окремих пристрій повинен мати якомога меншу споживану потужність та мінімальний набір датчиків.

Викладення основного матеріалу. Для попереднього підсилення та фільтрації звукового сигналу розраховано аналоговий смуговий фільтр на основі ОП з однополярним живленням. Експериментально отримані АЧХ спектрів шумів, властивих людській діяльності, з урахуванням виконаної класифікації видів діяльності людини. На основі отриманих АЧХ виконувались налаштування фільтру. Поєднано існуючі інструменти для розробки ПЗ таким чином, що дозволяють розробляти та компілювати проект під будь-якою ОС, не використовуючи при цьому закритого та платного ПЗ.

Висновки відповідно до статті. Виконано виділення критеріїв для порівняння децентралізованих пристроїв «розумного освітлення». Запропоновано структуру пристрою, який є дешевою та масштабованою, та такою, що легко модифікується, альтернативою вже існуючим зразкам. По критерію собівартості сенсорної частини пристрій випереджає аналогічні існуючі.

Ключові слова: розумне освітлення; балансування освітленості; детектування присутності людини; децентралізоване керування; наднизьке енергоспоживання; мікрофон; вільне програмне забезпечення.

Постановка проблеми. Електрична енергія відіграє одну з найвизначніших ролей у сучасному житті. Хоча на сьогодні її і виробляють з надлишком, цей процес часто супроводжується забрудненням довкілля, тому людство завжди хотіло зменшити нецільове використання електричної енергії. Це досягається або створенням альтернативних джерел енергії, або зменшенням енергоємності споживачів за рахунок підвищення їх ККД. В еру силової імпульсної та керуючої цифрової техніки, цикл розробки сучасної напівпровідникової електроніки йде шляхом мініатюризації фізичних розмірів та оптимізації процесу перемикавання вентилів, наближаючись до фізично можливих меж. Тому подальша оптимізація енергоспоживання полягає у вдосконаленні системно-техніки приладів-споживачів та вдосконаленні алгоритмів їх функціонування.

Згідно зі звітом Європейської комісії [1], освітлювальне обладнання споживає близько 17,5 % всього об'єму виробленої на Землі електроенергії. Зокрема, у спальних районах міст та регіонах, де відсутнє масштабне виробництво, рівень споживання доходить до 50 %. Використання нової елементної бази світлогенеруючих пристроїв, вдосконалення технологій генерації та передачі електроенергії та її напівпровідникових перетворювачів, використання адаптивних до активності та потреб людини алгоритмів комутації та керування штучною освітленістю дозволяє скоротити кількість спожитої енергії більше ніж вдвічі (до 60 %). Це робить дослідження способів підвищення енергетичної ефективності освітлювальної техніки актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологія автоматичного «розумного» керування освітленням (Smart Lighting) не є новинкою, але вже не тільки стала окремою

темою для досліджень, але й світовим брендом. Кожний наявний у виробництві зразок контролера використовує свої індивідуальні набори датчиків, алгоритми обробки та схемотехніку. Основне завдання таких пристроїв – приймати рішення про ввімкнення світла тільки тоді, коли воно потрібні людині. Ця задача в свою чергу зводиться до визначення присутності людини в зоні дії пристрою.

У фундаментальному огляді [2] розглянуті всі можливі методики детектування й аналізу переміщень людини у просторі за допомогою алгоритмів розпізнавання образів та комп'ютерного бачення. Виділяють такі різновиди цих алгоритмів:

1. Детектування руху – за допомогою сегментування рухів у часі (методи обчислення різниці між картинками фону, статистичного аналізу цієї різниці та детектування оптичного потоку) та класифікації рухомих об'єктів (на основі аналізу форми об'єкта та на основі аналізу динаміки руху);

2. Слідкування за рухом (супроводження) – на основі виділення та спостереження за 2D або 3D моделями фігури людини, за контуром її постаті або ж за специфічними опорними точками (очі й ніс);

3. Визначення поведінки об'єкта – використовують методи на основі динамічного трансформування шкали часу, прихованих ланцюгів Маркова, нейронних мереж, кореляції з шаблоном, за допомогою простору станів та семантичного опису.

Всі вищезгадані методики дозволяють отримати системі керування набагато більше відомостей про людину, ніж необхідно для того, щоб визначити коли і на якому рівні вмикати освітлення, і використовуються для зовнішнього візуального спостереження для визначення об'єму та швидкості руху в натовпі; інтелектуального інтерфейсу взаємодії «людина – машина»; з метою діагностування стану здоров'я та настрою по динаміці руху.

У роботі [3] пропонується детектування рухової активності людини на міських вулицях та в офісних будівлях за допомогою існуючої розгалуженої системи приладів зовнішнього відеоспостереження (сигналізації, відеокамери, відеореєстратори). Зокрема, підвищення ефективності освітлення досягається не лише за рахунок розпізнавання образів рухомих статур людей, а й з урахуванням орієнтації їхніх голів та за напрямками поглядів. Це рішення потребує наявності розподіленою мережі регульованих контролерів світлодіодів та потужного сервера у складі розгалуженої комп'ютерної мережі. Сервер перехоплює відеопотік, у режимі реального часу розпізнає образи, приймає рішення про зону й інтенсивність ввімкнення освітлення та відправляє команди на локальні контролери.

Компромісне і відносно недороге рішення для хатнього Smart Lighting з практичним втіленням наведено у [4]. Побудована на загальнодоступних датчиках та ПК загального призначення з адаптивністю до зображення з Web-камери керує яскравістю та кольором розподілених RGB LED стрічок. Мережева взаємодія побудована на інтерфейсах Wi-Fi та Bluetooth, а програмне забезпечення – на мовах C++ та C#, які можуть легко перетворитись на виконувані файли за допомогою безкоштовно розповсюджуваних компіляторів. Інша практична реалізація [5] демонструє просту методику взаємодії вбудованої частини на основі Arduino та керуючої програми, реалізованої як мобільне застосування Android.

У роботі [6] організація Smart Lighting мережі показана у розрізі структури інтелектуальної електричної мережі Smart Grid, одним з кінцевих вузлів якої є адаптивна система освітлення. Розкриті декілька прийомів та методів, які у сукупності дозволили зекономити 44 % електроенергії, а саме: на етапі моделювання та під час зонального керування освітленість приміщення представлена у вигляді ізоліній освітленості, нанесених на план приміщень; вдало обрано тип мережі за її охопленням – персональна бездротова мережа датчиків (PWSN на основі мікросхем MSP430 та CC2500 від Texas Instruments), а також вузлові комунікаційні пристрої (DALI); регулятор змішаної струк-

тури, який містить класичний ПІД-алгоритм для швидкого регулювання у видимому діапазоні та планувальник, що виконує фонове регулювання на основі часу доби та наявності руху (в інфрачервоному діапазоні) у приміщенні.

Подальший розвиток алгоритмів керування освітленістю полягає в децентралізації самого процесу керування та виборі датчиків з простим принципом роботи, що різко зменшує як собівартість системи (з рахунок усунення комутаційного обладнання), так і спрощує ієрархію програмного забезпечення та складність обчислень.

Децентралізовані алгоритми балансування освітленості, запропоновані у [7], ставлять за мету отримати максимально рівномірне освітлення щодо підлоги приміщення, маючи мінімальну кількість інформації з датчиків та за умови відсутності контролера для централізованого балансування освітленості між його окремими джерелами. Задача вирішена за допомогою інтеграції контролера в кожне джерело освітлення, при цьому виникають проблеми з алгоритмом урахування ефекту перехресного освітлення, якому необхідний апріорний цільовий рівень освітленості. Докладно показано й математичну модель балансування освітленості, вказані структурні елементи регулятора та ділянки тракту обробки, де необхідно виконувати калібрування показників.

Запропонований у [8] алгоритм на основі вейвлет-перетворення дозволяє визначити не тільки відмінності у формі звукового сигналу, а й враховує зміну форми цього сигналу з плином часу. Оброблені звуки зберігаються в системі обробки через набір розрахованих вейвлет-коефіцієнтів для всіх частотних діапазонів. З них набирається статистична вибірка великого об'єму, збережена у вигляді гістограми коефіцієнтів, яка у свою чергу слугує вибіркою для машинного навчання класифікатора на основі методу опорних векторів (State Vector Method, SVM). Також у роботі зазначається, що ВЧ складові шумів мають значно менші амплітуди коливань, і це може негативно вплинути на якість детектування всіх можливих рухів людини. Тому використовується масштабування отриманих вейвлет-коефіцієнтів з підсиленням в області ВЧ.

У роботі [9] запропоновано оригінальний спосіб детектування людини у приміщенні на основі спостереження за зміною рівня потужності сигналу (на боці приймача), випромінюваного передавачем бездротового інтерфейсу ZigBee. Цей спосіб заснований на факті, що людське тіло є перешкодою для проходження електромагнітних хвиль, розсіюючи частину потужності як тепло чи відбиваючи в різні боки. Метод використовує можливості вбудованого в кожний приймач ZigBee детектора (RSSI) несучої частоти 2,4 ГГц, тому може використовувати вже наявні канали бездротового зв'язку. До переваг вищезгаданої роботи варто віднести й наведену структуру апаратної та програмної частини системи, а також використання вільного програмного забезпечення (ПЗ), що відповідає стандарту POSIX/C.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З розглянутих вище джерел випливає, що перший крок до економії електроенергії – вмикати освітлення, коли у приміщенні є людина, і відрізнити присутність людини від пересування тварин або рухомих електромеханічних пристроїв. Другий крок – регулювати рівень освітленості і залежності від часу доби, пори року та існуючого рівня природного освітлення у приміщенні. Третій крок – ідентифікувати вид активності людини і відповідно до цього додатково регулювати інтенсивність та кольорову температуру освітлення.

Серед розглянутих рішень можна виділити дві великі групи: централізовані системи, які оперують даними з вже існуючої мережі датчиків, з показань яких методами непрямого аналізу приймають рішення про наявність людини у приміщенні, та децентралізовані системи з набору однакових пристроїв, які балансують освітленість окремих ділянок на основі локальних показань датчиків.

Водночас відсутній клас пристроїв, в яких не обов'язково наявність комунікаційного інтерфейсу в поєднанні з набором датчиків на основі загальнодоступної елементної бази та відкритості циклу розробки програмного забезпечення.

Мета статті. Метою дослідження, висвітленого в цій статті, є вибір алгоритмічних, схемотехнічних та конструкторських рішень, які дозволять створити дешевий та компактний пристрій інтелектуального керування освітленням (Smart Lighting), який може вбудовуватися локально в кожному приміщенні чи навіть його ділянці. Виходячи з цього, кожний окремих пристрій повинен мати якомога меншу споживану потужність та мінімальний набір датчиків.

Виклад основного матеріалу. Виходячи з робіт [1–9] можна класифікувати види активності людини та, згідно з діючими в міжнародному законодавстві нормами, зіставити кожному різновиду вимоги до рівня освітленості (Brightness Level, BL) та світлової температури (Color temperature, CT) (рис. 1).

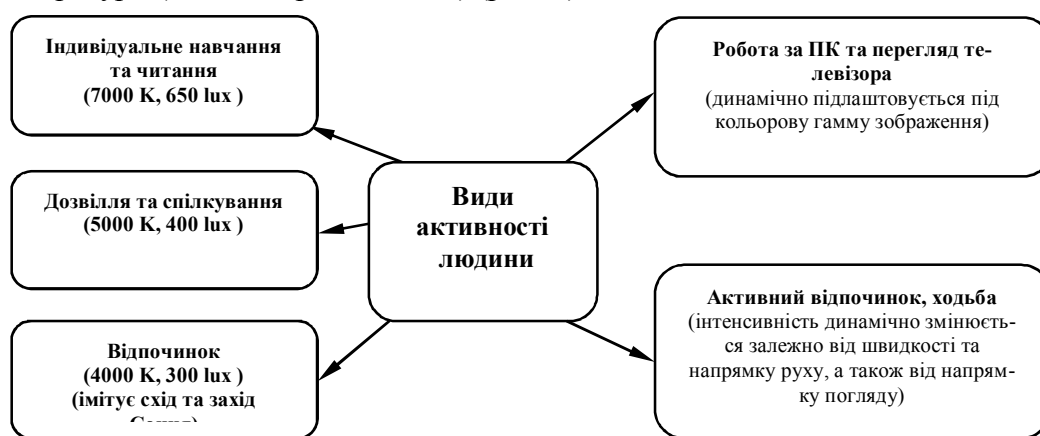


Рис. 1. Узагальнені види активності людини протягом дня та необхідна для цього освітленість

Незважаючи на високу вибірковість і точність прийняття рішення про ввімкнення освітлення у розглянутих вище системах, вони непридатні для встановлення безпосередньо у складі освітлювального пристрою як вбудованої частини, оскільки потребують габаритних і відносно дорогих датчиків, а також обчислювальної системи.

Рухи людини по приміщенню супроводжуються звуками, які мають широкий звуковий спектр. Так, низькочастотні складові зумовлені тертям шкіри, тканин та паперів, а високочастотні – цоканням підборів, проковзуванням абразивної підошви в моменти торкання підлоги ногою.

Один з можливих способів детектування присутності та руху людини є використання датчика на основі мікрофона. Це дуже дешеве та просте в апаратній реалізації рішення. Структурну схему пристрою «розумного освітлення», запропонованого авторами, показано на рис. 2.

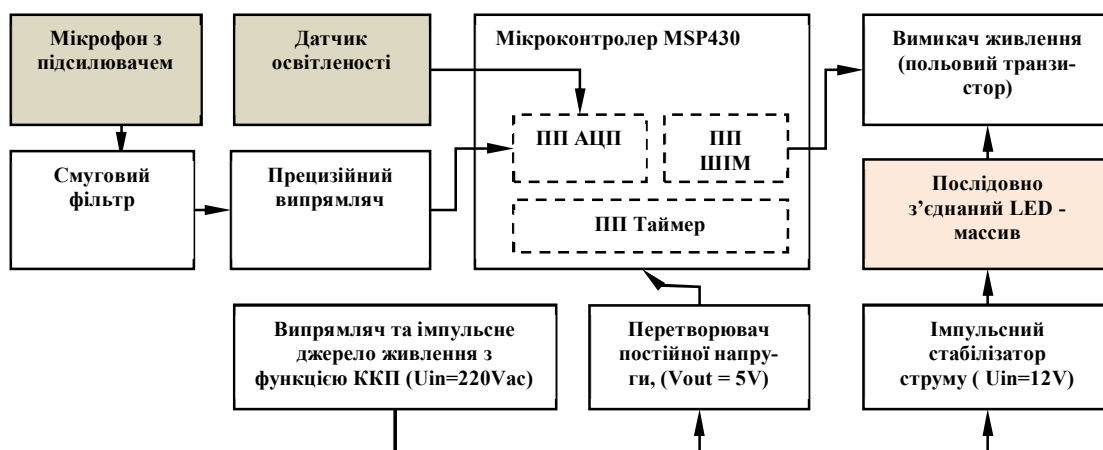


Рис. 2. Структурна схема запропонованого автономного пристрою «розумного освітлення»

Відповідно до схеми на рис. 2, мікрофон та його підсилювач слугують датчиком присутності людини. Основна проблема полягає в тому, що він чутливий і до інших шумів, спричинених будь-яким зовнішнім джерелом звуку. Підсилювач, розташований за фільтром, слугує для розділення шуму на високі та низькі частоти.

Мікроконтролер (МК) необхідний для обробки вхідного звукового сигналу та керування масивом LED. У більшості МК є багатоканальний інтегрований АЦП, який працює на напругах від 0 до 3 В. Для належного узгодження АЦП з підсилювачем нам потрібен прецизійний випрямляч, який забезпечить такий рівень напруги [10–12]. Для живлення МК та ОП, що працюють на напругах 5 В, встановлено імпульсний понижуючий перетворювач з 12 у 5 В. Для аналізу рівня навколишнього освітлення встановлено датчик освітленості, який виключає джерело освітлення за ясної погоди вдень. Вимикач живлення реалізовано на польовому транзисторі, затвор якого приєднаний до вихідної ніжки МК, на яку комутується вихід ПП ШІМ у складі МК. Це дозволяє не тільки вмикати масив LED, а й регулювати рівень його яскравості.

Для побудови смугового фільтра [10–12] використано багатоконтурний від’ємний зворотний зв’язок. Його передаточна характеристика описана залежністю (1), а відповідна принципова схема фільтра зображена на рис. 3.

$$A(s_n) = \frac{-\frac{R_2 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_r s_n}{1 + \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_r s_n + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 \omega_r^2 s_n^2} \tag{1}$$

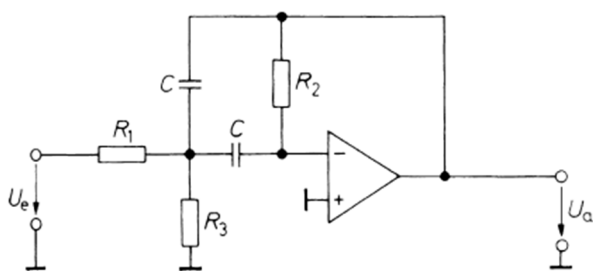


Рис. 3. Смуговий фільтр низьких частот з багатоконтурним від’ємним зворотним зв’язком

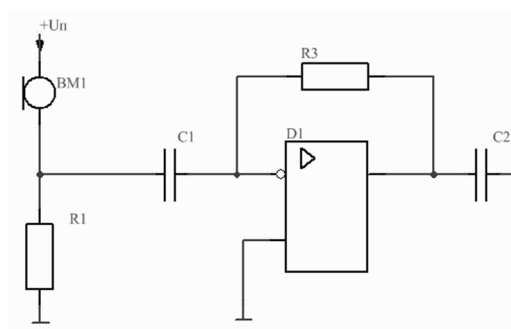


Рис. 4. Підсилювач мікрофона

Коефіцієнт добротності фільтра:

$$Q = \pi R_2 C f_r,$$

де f_r – резонансна частота. З попереднього виразу смугового фільтра:

$$B = \frac{f_r}{Q} = \frac{1}{\pi R_2 C}.$$

Для підсилювача мікрофона (рис. 4) може бути обчислене виключення f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_i C_1},$$

де R_i – подільник напруги опору R_1 , який паралельно приєднаний до мікрофона; C_1 – ємність, яка встановлена перед операційним підсилювачем.

Коефіцієнт підсилення по напрузі K_U для підсилювача мікрофона:

$$K_U = -\frac{R_3}{R_i},$$

де R_3 – резистор у зворотному зв'язку; R_i – подільник напруги опору R_1 , який паралельно приєднаний до мікрофону.

У процесі розробки пристрою проведено дослідження з метою виявлення, в яких діапазонах частот людина створює шуми протягом її основних видів діяльності (рис. 1). Цей етап надзвичайно важливий, тому що саме він впливає на відсоток хибних спрацьовувань пристрою, спричинених такими джерелами шумів, як гроза, транспорт, падаючі речі тощо.

Деякі з зафіксованих шумів були проаналізовані з використанням середовища MATLAB. Нині пристрій визначає 4 типи найбільш типових шуми, які можуть бути результатом людської діяльності. Для них побудовано АЧХ, які зображено на рис. 5.

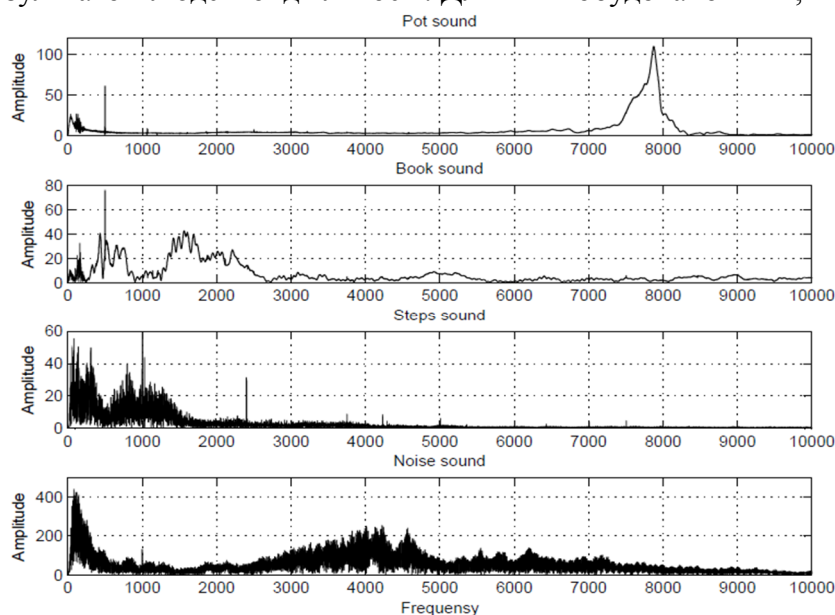


Рис. 5. АЧХ різних типів шумів: а – удар по металевому предмету (чашці); б – жбурляння паперового предмета (книжки); в – кроки людини; г – одночасно всі шуми

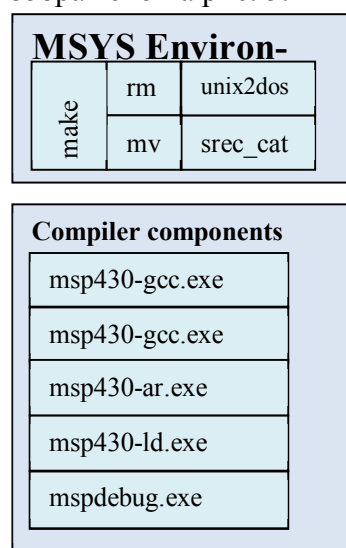


Рис. 6. Набір інструментів та оточення компілятора

Імпорт у середовище та візуалізація графіків шумів виконується тривіально за допомогою стандартної функції `wavread` MATLAB. Вона перетворює звуковий файл у масиви відліків амплітуд (та сітку часу), з якого у свою чергу отримується АЧХ за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Для кожного типу загальноновживаних типів датчиків детектування руху людини була розрахована собівартість пристрою, за умови створення його на цьому датчику та

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

необхідній для нього обв'язці без зміни інших структурних елементів схеми. Розрахунково проведено для таких типів:

- 1) Інфрачервоні датчики руху (Infrared, IR);
- 2) Ультразвукові датчики руху (Ultrasonic, US);
- 3) Мікрохвильові датчики руху (Microwave);
- 4) Комбіновані датчики руху (Combined motion sensor, CMS).

Таблиця показує основні відмінності між запропонованим рішенням (*) та найбільш популярними недорогими датчиками, наявними на ринку з урахуванням особливостей їх роботи.

Таблиця

Порівняння характеристик пристроїв з різними типами датчиків детектування руху

Тип датчика	Зона охоплення	Негативний вплив на людей та тварин	Працює крізь різні перешкоди	Наявність хибних спрацьовувань	Собівартість пристрою, УАН
IR	120° / 9m	-	-	++	198
US	170° / 7m	+	-	+	264
MICROWAVE	360° / 8m	++	+	+	317
CMS	150° / 9m	-	+	+	871
Мікрофонний (*)	360° / 15m	-	+	+++	105

Крім перерахованих особливостей пропонований нами пристрій має наднизький рівень споживання енергії завдяки тому, що більшість часу він залишається в «сплячому режимі» і обчислення проводяться лише з наявності високого рівня сигналу, що надходить з мікрофона. До недоліків варто віднести великий відсоток хибних спрацьовувань, який зумовлений невеликим набором еталонних зразків шуму.

Особливість процесу компіляції ПЗ полягає в тому, що він «подвійний» кросплатформний (рис. 6). По-перше, компіляція підтримується за допомогою універсального набору POSIX-утиліт, який був скомпільований для платформи Windows. Він представлений дистрибутивом MINGW-MSYS-1.0.11 [13]. Це дозволяє використовувати сценарії Makefile для утиліти make з метою виконувати автоматичну збірку, виконувати повторну вибірку компіляцію та очищувати проект, не потребуючи платних середовищ розробки вбудованого ПЗ для МК.

По-друге, ми виконуємо компіляцію на x86-сумісній платформі, але цільовою платформою є MSP430 (16-бітний RISC-мікроконтролер, який виробляється Texas Instruments). Він представлений набором інструментів MSP430-GCC [14], створений для POSIX-сумісних операційних систем (ОС), який скомпільований для платформи Windows. Це дозволяє нам використовувати препроцесор, компілятор, компоувальник мов C/C++ та утиліти відлагодження для виконання повного циклу компіляції, розгортки та тестування ПЗ. Повна послідовність дій по створенню прошивки МК зображено на рис. 7.

Після встановлення MSYS та MSP430-GCC необхідно додати шляхи до виконуючих файлів інструментарію та директорій бібліотек, відредагувавши змінну оточення ОС з назвою PATH. Також інструменти libusb повинні згенерувати *.INF-файл програмного драйверу для ІМС перетворювача інтерфейсів USB-to-JTAG, щоб та правильно визначалася ОС та працювала.

Для коректного процесу збірки ми повинні відправляти компоувальнику (linker) не лише об'єктні файли (*.o), скомпільовані користувачем та попередньо скомпільовані статичні бібліотеки (які є окремо скомпільованими частинами стандартної бібліотеки мов C/C++ для пристроїв з малим об'ємом пам'яті), а й специфічні ключі та файл конфігурації розмітки пам'яті (*.MAP), в якому типи пам'яті, наявної МК, представлені

пойменованими сегментами та налаштовані їх властивості (розмір сектора, початкова адреса та зміщення, обмеження доступу).

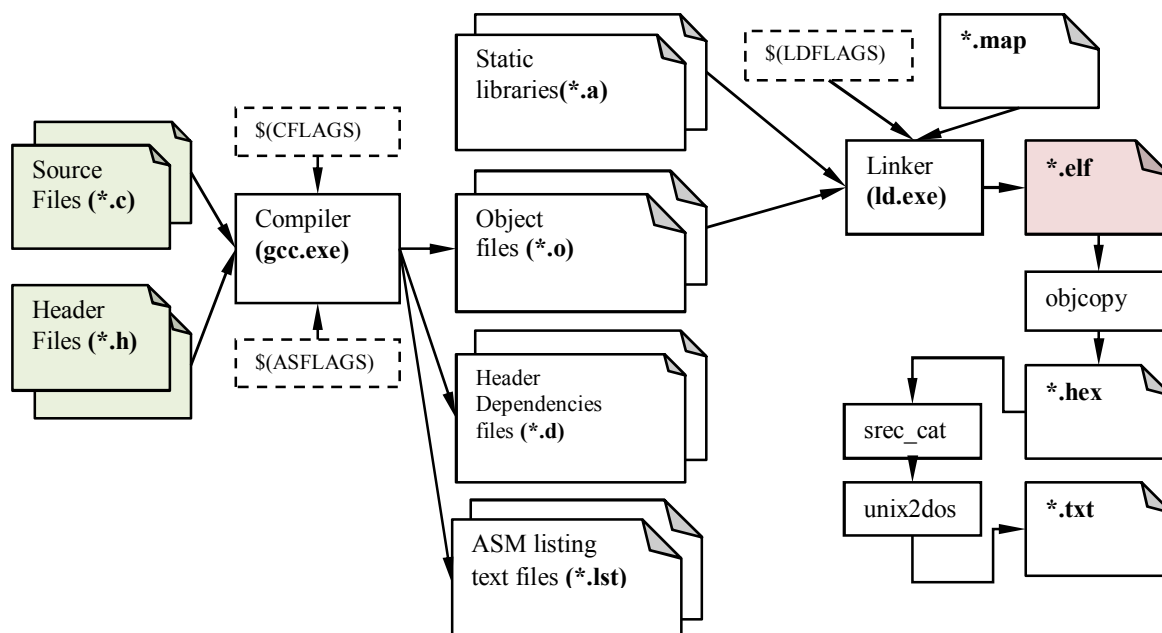


Рис. 7. Етапи компіляції, сформовані сценарієм «Makefile»

Для повної сумісності в результуючих тестових файлах між різними типами ОС, ми використовуємо одну з утиліт, – “unix2dos” чи “dos2unix”, – для перетворення коду нового рядка (повернення каретки (‘CR’) та переводу рядка (‘LF’)).

Відповідно до рис. 7 у кінці процесу узгодження міжмодульних зв’язків (компоновання) ми отримуємо декілька виконуваних файлів з різними розширеннями та внутрішньою організацією, які придатні для конфігурування МК за допомогою більшості використовуваних на практиці поєднань програматорів-відлагоджувачів та завантажувачів-відлагоджувачів пам’яті FLASH. Асемблерний лістинг присутній для більш глибокого розуміння процесу компіляції та оптимізації, і це особливо корисно у разі виявлення помилок при оптимізації програми.

Цільовий вихідний файл для МК MSP430G2553 з наднизьким енергоспоживанням збирається в Unix *.ELF формат. Його можна завантажити в пристрій, використовуючи утиліту mspdebug, яка також дозволяє інтерактивно очищувати програму з пам’яті FLASH, зупиняти та перезапускати попередньо завантажену конфігурацію, виконувати покрокове відлагодження в консольному режимі. Для встановлення з’єднання необхідно лише визначити модель МК та тип ІМС перетворювача інтерфейсів USB-to-JTAG, тому що є різні ревізії стенда MSP430-LAUNCHPAD [15] комплектуються різними ІМС USB-to-JTAG.

Висновки і пропозиції. На основі аналізу новіших періодичних джерел та існуючих на ринку рішень виділено досі не розглянутий клас пристроїв «розумного освітлення» – децентралізовані, які вбудовуються в освітлювальний пристрій та містять не більше двох типів загальнодоступних датчиків, а також спосіб визначення присутності людини на основі властивих їй діяльності шумів звукового спектра. Для попереднього підсилення та фільтрації звукового сигналу розраховано аналоговий смуговий фільтр на основі ОП з однополярним живленням. Налаштування фільтра виконувались на основі АЧХ спектрів шумів, властивих людській діяльності, які отримані нами експериментально та з урахуванням класифікації видів діяльності людини.

Запропоновано структуру пристрою, який є дешевою і масштабованою та такою, що легко модифікується, альтернативою вже існуючим зразкам. Виконано виділення критеріїв для порівняння децентралізованих пристроїв «розумного освітлення». За критерієм собівартості сенсорної частини пристрій випереджає аналогічні існуючі.

Поєднано існуючі інструменти для розробки ПЗ таким чином, що дозволяють розробляти та компілювати проект під будь-якою ОС, не використовуючи при цьому закритого та платного ПЗ. До подальших напрямків дослідження та вдосконалення варто віднести: детальнішу класифікацію видів шумів, які спричинені людиною й знаходження критеріїв для їх частотного відокремлення від сторонніх шумів та один від одного з метою зменшення числа хибних спрацьовувань пристрою; заміна частини аналогових каскадів на програмно реалізовані фільтри засобами МК, оскільки його обчислювальні ресурси використані не повністю завдяки використанню цілочисельної реалізації алгоритму ШПФ.

Список використаних джерел

1. Michael Ziegler et. al. (2013). "Lighting the cities-accelerating the deployment of innovative lighting in European cities," European Commission Report 0048. European Union.
2. L. Wang, W. Hu, and T. Tan (2003). "Recent developments in human motion analysis," in *Pattern recognition*, 36 (3), pp. 585–601.
3. S.Y. Chun, C.S. Lee, and J.S. Jang (2015). "Real-time smart lighting control using human motion tracking from depth camera," in *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(4), pp. 805–820.
4. M.A.E.L. Mowad, A. Fathy, and A. Hafez (2014). "Smart home automated control system using android application and microcontroller," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), pp. 935–939.
5. Sina Afshari, et al. (2012). "An adaptive smart lighting system," *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*. ACM.
6. Y.K. Tan, T.P. Huynh, and Z. Wang (2013). "Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system," *IEEE Transactions on smart grid*, 4(2), pp. 669–676.
7. M.T. Koroglu and K.M. Passino (2014). "Illumination balancing algorithm for smart lights," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22 (2), pp. 557–567.
8. K. Quennesson, E. Ioup and C.L. Isbell (2006). "Wavelet Statistics for Human Motion Classification," In *AAAI*.
9. B. Mrazovac, M.Z. Bjelica, D. Kukulj, B.M. Todorovic and D. Samardzija (2012). "A human detection method for residential smart energy systems based on ZigBee RSSI changes," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3).
10. Bonnie Baker (2005). "A Baker's Dozen: Real analog solutions for digital designers," Elsevier.
11. P. Horowitz and W. Hill (1989). "The art of electronics," Cambridge: Cambridge university press.
12. U. Tietze, C. Schenk and E. Gamm (2015). "Electronic circuits: handbook for design and application," Springer.
13. Minimalist GNU for Windows [Electronic resource], URL: <http://www.mingw.org/wiki/msys>
14. GCC – Open Source Compiler for MSP430 Microcontrollers [Electronic resource]. URL : <http://www.ti.com/tool/msp430-gcc-opensource>.
15. MSP430 LaunchPad Value Line Development kit [Electronic resource]. URL : <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>.

References

1. Michael Ziegler et. al. (2013). Lighting the cities-accelerating the deployment of innovative lighting in European cities. *European Commission Report* 0048. European Union.
2. L. Wang, W. Hu, and T. Tan (2003). Recent developments in human motion analysis. *Pattern recognition*, 36 (3), pp. 585–601.
3. S.Y. Chun, C.S. Lee, and J.S. Jang (2015). Real-time smart lighting control using human motion tracking from depth camera. *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(4), pp. 805–820.

4. M.A.E.L. Mowad, A. Fathy, and A. Hafez (2014). Smart home automated control system using android application and microcontroller. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), pp. 935–939.
5. Sina Afshari, et al. (2012). An adaptive smart lighting system. *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*. ACM.
6. Y.K. Tan, T.P. Huynh, and Z. Wang (2013). Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system. *IEEE Transactions on smart grid*, 4(2), pp. 669–676.
7. M.T. Koroglu and K.M. Passino (2014). Illumination balancing algorithm for smart lights. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22 (2), pp. 557–567.
8. K. Quennesson, E. Ioup and C.L. Isbell (2006). Wavelet Statistics for Human Motion Classification. In *AAAI*.
9. B. Mrazovac, M.Z. Bjelica, D. Kukulj, B.M. Todorovic and D. Samardzija (2012). A human detection method for residential smart energy systems based on ZigBee RSSI changes. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3).
10. Bonnie Baker (2005). *A Baker's Dozen: Real analog solutions for digital designers*. Elsevier.
11. P. Horowitz and W. Hill (1989). *The art of electronics*. Cambridge: Cambridge university press.
12. U. Tietze, C. Schenk and E. Gamm (2015). *Electronic circuits: handbook for design and application*. Springer.
13. *Minimalist GNU for Windows* Retrieved from <http://www.mingw.org/wiki/msys>.
14. *GCC – Open Source Compiler for MSP430 Microcontrollers*. Retrieved from <http://www.ti.com/tool/msp430-gcc-opensource>.
15. *MSP430 LaunchPad Value Line Development kit*. Retrieved from <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>.

*Roman Yershov, Aleksander Savenko, Maxym Karpenko,
Yevhenii Lymarenko, Ivan Mozghoviy*

TECHNICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT EMBEDDED “SMART LIGHTING” DEVICE BASED ON MSP430 MICROCONTROLLER

Urgency of the research. Lighting consumes around of 17.5% of the total volume of electricity produced on Earth. In some regions the consumption reaches to 50%. Improving of electronic devices and algorithms for autonomous lighting control reduces the consumption of more than a half (60%).

Target setting. Existing "smart lighting" devices is supplied as a centralized system with closed protocols and managers by a powerful computer, or actively using existing communications network, which is not always provides for extension.

Actual scientific researches and issues analysis. The centralized and decentralized solutions of the human indoors detection is performed by using the existing network devices for wireless communications (ZigBee), video surveillance, and audio range microphone. Particular attention was acted on how the technical implementation of the hardware and software parts, as well as technologies and algorithms that were used in those solutions, wavelet transform, pattern recognition and regulators non-classical structure.

Uninvestigated parts of general matters defining. Still not researched class of decentralized "smart lighting" devices, that are embedded into a lighting device and use method of determining the presence of humans by the their noise sound spectrum.

The research objective. Design a cheap and compact "smart lighting" device that can be built-in locally in each room, or even its part. Each device must have as less power consumption as possible and a minimal set of sensors.

The statement of basic materials. For pre-amplification and filtering of sound signal the analog band-pass filter based on unipolar OpAmp was designed. The frequency responses (spectrums) of the noises caused by human activity, taking into account the classification of those activities, was experimentally measured. Combinations of existing software development tools that allows to develop and compile a project under any operating system, without using proprietary software was composed and assembled.

Conclusions. The set of selection criteria for comparison decentralized "smart lighting" devices was done. The structure of the cheap and scalable device, which is easily modified unlike to existing models, was proposed. On the cost of sensor part the proposed device ahead of similar ones.

Key words: smart lighting, illumination balancing, human detection, decentralized control, ultra low-power, microphone sensor, freeware.

*Роман Ершов, Александр Савенко, Максим Карпенко,
Евгений Лимаренко, Иван Мозговой*

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВСТРОЕННОГО ПРИБОРА «УМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ» НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MSP430

Существующие устройства «умного освещения» или поставляются в виде централизованной системы с закрытыми управляющими протоколами и мощным вычислителем, или активно используют существующую коммуникационную сеть, которая не всегда предполагает расширение. До сих пор не рассмотрен класс децентрализованных устройств «умного освещения», которые встраиваются в осветительное устройство, а также используют способ определения присутствия человека на основе присущих его деятельности шумов звукового спектра.

Для усиления и фильтрации звукового сигнала рассчитан аналоговый полосовой фильтр на основе ОУ с однополярным питанием. Экспериментально получены АЧХ спектров шумов, присущих человеческой деятельности, с учетом выполненной классификации видов деятельности человека.

Предложена структура устройства, которое является дешевой альтернативой уже существующим образцам. Выполнено выделение критериев для сравнения децентрализованных устройств «умного освещения». По критерию себестоимости сенсорной части устройство опережает аналогичные.

Ключевые слова: умное освещение; балансировка освещенности; детектирование присутствия человека; децентрализованное управление; сверхнизкое энергопотребление; микрофон; свободное программное обеспечение.

Ершов Роман Дмитриевич – асистент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ершов Роман Дмитриевич – асистент кафедри промислової електроніки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yershov Roman – assistant of Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: roman.d.yershov@gmail.com

Савенко Олександр Васильович – старший викладач кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Савенко Александр Васильевич – старший преподаватель кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Savenko Alexander – Senior Lecturer of Biomedical Radio-Electronic Devices and System Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sav@inel.stu.cn.ua

Карпенко Максим Володимирович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Карпенко Максим Владимирович – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Karpenko Maxym – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: foksmaks@gmail.com

Лимаренко Євгеній Юрійович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Лимаренко Евгений Юрьевич – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Lymarenko Yevhenii – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: yevhen.lymarenko@gmail.com

Мозговой Иван Владиславович – студент, НТУУ "КПІ" ім. І Сікорського (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Мозговой Иван Владиславович – студент, НТУУ "КПІ" им. И. Сикорского (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Mozgoviiv Ivan – student, NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: mozg.v34@gmail.com