

ТРУБЧАНИНОВА К. А., д-р техн. наук, професор
ЧЕРКАШИН Є. А., магістрант
(Український державний університет залізничного транспорту)

Система «розумного» освітлення

Проведено аналіз навколишнього середовища, що впливає на освітлення приміщень, визначено оптимальні показники для користувач та основні етапи створення системи «розумне» освітлення в будинку. Показано, що побудову схеми освітлення слід починати з порівняння запропонованих варіантів комплектуючих, що входять до системи та мають характеристики, задані початковими умовами. Рекомендовано розрахувати складову проекту шляхом побудови дерева рішень. Проведено розрахунок бінарного дерева рішень і визначено, що дерево рішень будується після розрахунку інформаційної ентропії.

Ключові слова: інформаційна ентропія, «розумний» будинок, «розумне» освітлення, бінарне дерево рішень.

Вступ

З кожним днем смарт-технології стають усе більш зручними для використання і при цьому дешевшають. Так що нема нічого дивного в тому, що з рідкісного явища смарт-пристрої перетворилися в практично повсякденні речі. Це дає змогу створити систему «розумного» освітлення в кожному домі, але вимагає точного розрахування системи, для того щоб уникнути неприємних наслідків.

Постановка проблеми, аналіз досліджень і публікацій

Система «розумного» освітлення в «розумному» будинку передбачає економічність електроенергії та розподіл будинку на зони, що дозволяє продовжити строк служби ламп, і повне керування кімнатами як автоматично, так і в ручному режимі.

Формування системи «розумне» освітлення передбачає аналіз функцій, виконуваних такою системою. Для цього потрібно виявити бажані функції системи для користувачів будинку, побудувати модель нечіткої когнітивної карти в онлайн середовищі Mental Modeler [1] і створити дерево рішень за допомогою онлайн середовища Silver Decisions [2].

Системи автоматизації освітлення з'явилися ще наприкінці ХХ століття, але появу «розумного» освітлення можна приурочити лише до активного використання LED-ламп [3]. З початком оснащення джерел світла модулями зв'язку почалася взаємодія користувача з IoT технікою, що розширює можливості першого. Просто налаштування яскравості і кольору, і тим самим акцентувати увагу на певному об'єкті, відкриває можливості для мистецтва, безпеки і функціональності в повсякденних завданнях. За смарт-функціями розумні світильники поділяються на три типи.

Перший – пристрої, якими не можна керувати зі смартфона або планшета. Такі пристрої комплектуються пультом керування, встановленим у кімнаті або поруч з місцем освітлення. Також такими пристроями можна керувати з головного пульта керування «розумним» будинком, але підключити їх безпосередньо до смартфона або планшета для отримання розширеного набору можливостей не вдасться. Якщо в будинку є «розумний» пульт або смарт-система, то можна робити все те саме, що з пульта керування пристроєм, а крім того, використовувати схеми і сценарії роботи, для того щоб світильник спрацював за сигналом датчика або подією [4].

Другий тип пристроїв теж залежить від датчиків системного будинку, але в них вже є Wi-Fi або ZigBee, за допомогою яких можна керувати пристроєм зі смартфона [4].

Третій – самостійні повнофункціональні девайси, яким не потрібен для роботи жоден керуючий гаджет. Ви можете під'язувати їх безпосередньо до смартфона через мережі Wi-Fi або ZigBee, щоб потім керувати роботою світильника навіть поза межами будинку. У них вже є вбудовані датчики руху і освітлення, за якими вони можуть вмикатися, наприклад, якщо в кімнату заходить людина або світло з вікна стає занадто слабким, лампа вмикається автоматично [4]. Використання датчиків освітленості в системі освітлення дає можливість реалізувати функцію «розумного» освітлення, що самостійно вмикає і вимикає освітлення тоді, коли це потрібно. Додавши датчики руху та інфрачервоні датчики відстані, світло почне вмикатися при появі або знаходженні людини в приміщенні.

«Розумне» освітлення застосовується в громадських коридорах, кімнатах очікування, на зупинках і в інших місцях, що потребують освітлення та економії коштів. На сьогодні розумне освітлення

все частіше з'являється в будинках людей, з кожним днем вартість «розумних» пристроїв зменшується, а попит на енергозберігаючі технології збільшується, тому розроблення системи автоматизації приміщень з можливістю керування роботою її об'єктів (освітленням, електропостачанням) в автоматичному режимі є актуальним завданням [5].

Система автоматизації та керування «розумним» освітленням являє собою сукупність апаратних і програмних засобів, націлених насамперед на економічність, тобто зниження можливих витрат (електроенергії) користувача, а також дає додаткові можливості, наприклад контроль присутності [6]. Розроблення економічно збалансованої системи автоматизації та керування «розумним» освітленням складається з таких етапів (рис. 1).

Викладення основного матеріалу

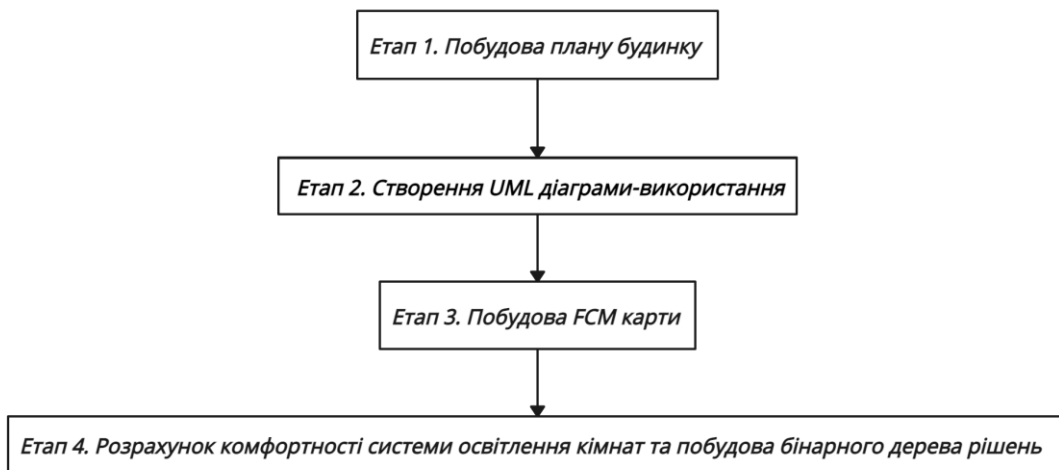


Рис. 1. Структура побудови системи автоматизації та керування «розумним» освітленням

Етап 1. Побудова плану будинку.

План будинку, що складається з трьох кімнат (спальня, дитяча та гостьова кімнати), кухні та ванної кімнати, наведений на рис. 2.

потужніші світлові пристрої або світлові пристрої денного освітлення. Схема випромінення світла в будинку показана на рис. 3.



Рис. 2. План будинку



Рис. 3. Схема випромінення світла в будинку

Для ефективності штучного освітлення потрібно створити зонування кожної кімнати і визначити, де найбільше проводиться час, і в тих місцях поставити

На схемі випромінення світла в кімнатах яскраво-жовтим кольором позначено найяскравіше випромінення в кімнаті, недостатньо жовтим кольором – більш розсіяний промінь із джерела освітлення.

Отже, схема випромінення світла в будинку дозволяє розрахувати ефективність встановлення штучного джерела світла в кожній кімнаті.

Етап 2. Створення UML діаграми-використання.

Після зображення плану будинку потрібно створити UML діаграму-використання, у якій буде зображено всі можливі варіанти користування сучасною системою освітлення.

UML – це уніфікована мова моделювання (UML), створена для формування загальної, семантично та синтаксично багатой мови візуального моделювання для архітектури, проектування та реалізації складних програмних систем як структурно, так і поведінково. UML має додаткові програми, окрім розроблення програмного забезпечення, такі як технологічний процес у виробництві. Він аналогічний кресленням, використовуваним в інших сферах, і складається з різних типів діаграм. У сукупності діаграми UML описують межу, структуру та поведінку системи та об'єктів у ній [7].

UML не є мовою програмування, але існують інструменти, які можна використовувати для генерації коду різними мовами за допомогою діаграм UML. UML має пряме відношення до об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування.

Існує чотири категорії моделей вирішення проблем: імперативні, функціональні, декларативні та об'єктно-орієнтовані мови. В об'єктно-орієнтованих мовах алгоритми виражаються визначенням «об'єктів» і забезпеченням взаємодії об'єктів між собою. Ці об'єкти – речі, якими слід маніпулювати, і вони

існують у реальному світі. Це можуть бути будівлі, віджети на робочому столі або люди.

Об'єктно-орієнтовані мови домінують у світі програмування, оскільки вони моделюють об'єкти реального світу. UML – це поєднання декількох об'єктно-орієнтованих позначень: об'єктно-орієнтованого проектування, техніки об'єктного моделювання та об'єктно-орієнтованої програмної інженерії [7].

UML використовує сильні сторони цих трьох підходів, щоб подати більш послідовну методологію, простішу у використанні. UML являє собою найкращі практики побудови та документування різних аспектів моделювання програмного забезпечення та бізнес-систем [7].

На рис. 4 зображена UML діаграма варіантів використання системою «розумного» освітлення будинку, у якій головним елементом є користувач – User. Користувач може перевіряти систему, слідкувати за загальним освітленням кімнат, природним освітленням кімнат, кімнатами, які автоматично регулюють жалюзі, додають або знижують освітлення кімнати, реагують на шум у кімнаті та закривають або відкривають штори.

Для забезпечення безпечного світла в кімнатах потрібно проаналізувати всі чинники та побудувати FCM карту, що дає змогу більш детально проаналізувати вплив чинників і компонентів, що впливають на користувача.

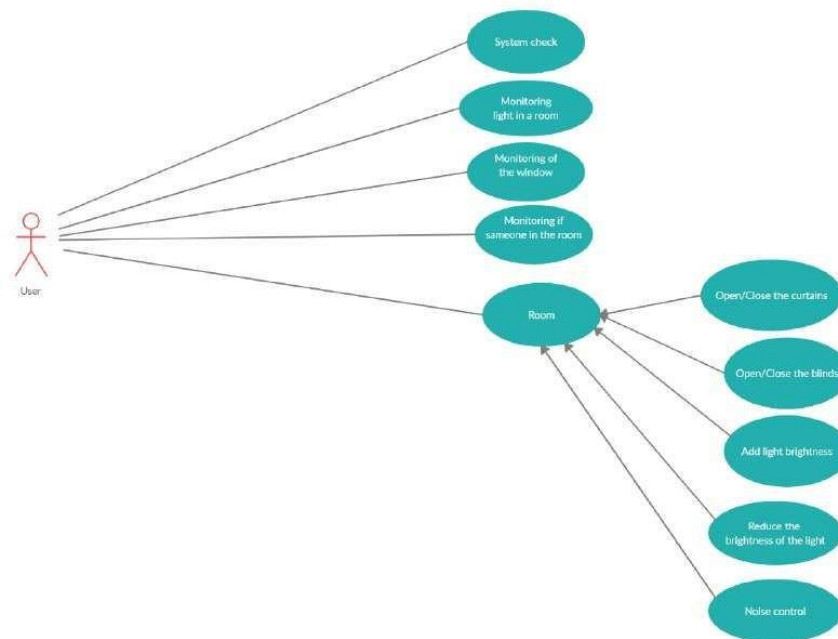


Рис. 4. UML діаграми-використання

Етап 3. Побудова FCM карти.

FCM карта показує більшу та меншу залежність усіх чинників у системі освітлення, що впливають на рівень освітлення в приміщенні. Це дає змогу визначити, які чинники є опорними в системі освітлення. Когнітивна FCM карта освітлення в будинку зображена на рис. 5.

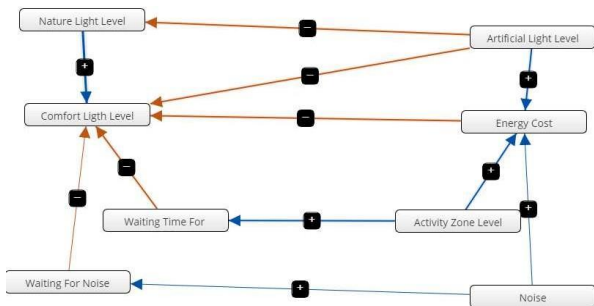


Рис. 5. Когнітивна FCM карта освітлення в будинку

Аналіз когнітивної FCM карти показує, що головним чинником є натуральне світло, яке визначає освітлення кімнати і вартість спожитої електроенергії за проміжок часу, коли природне світло було на високому рівні випромінювання або низькому рівні випромінювання. Велике значення має теплота світла,

тому що теплота впливає на зір і концентрацію користувача. Для великої продуктивності людини потрібно ввімкнути яскраво-білий колір, а для відпочинку - ввімкнути тепло-жовтий колір. У системі «розумного» освітлення має бути режим різнокольорового освітлення, такий режим дає змогу користувачу морально та емоційно відпочити.

Проаналізувавши параметри зовнішнього середовища, визначено такі головні показники:

- ✓ вартість лампи, грн;
- ✓ натуральне світло, люкс;
- ✓ штучне світло, люкс;
- ✓ теплоту випромінюваного світла з лампи, К;
- ✓ наявність мультикольорового режиму, К.

Етап 4. Розрахунок комфортності системи освітлення кімнат і побудова бінарного дерева рішень.

Після аналізу показників створено таблицю з розрахунками комфортності системи освітлення і класи даних, яким задано імена і діапазон їхніх значень (рис. 6).

Показники комфортності для різних кімнат будуть різними у зв'язку з типом користувача, тобто комфортні умови для дитячої кімнати будуть відрізнятися для них же, наприклад, у ванній кімнаті. У роботі наведено приклад для дитячої кімнати.

1	P	NL	AL	RGB	H	Comfort		P	NL	AL	RGB	H
2	10	25	650	0	3500	N.C		>=45	>=100	>=650	>=1	>=3500
3	25	50	800	1	4150	C		<45	<100	<650	<1	<3500
4	30	75	850	0	3800	N.C						
5	15	300	50	1	3200	N.C						
6	45	350	900	1	3600	C						
7	35	200	700	0	4500	C						
8	70	250	950	1	3100	N.C						
9	85	100	750	0	3000	C						
10	90	70	600	1	2800	N.C						
11	100	55	640	1	3555	C						

Рис. 6. Розрахунок комфортності системи освітлення дитячої кімнати

За результатами аналізу таблиці створено комфортні умови для користувача системи:

P (Price, 10 – 100 грн) – вартість елемента освітлення (середня ціна 45 грн за одиницю лампи);

NL (Natural Light, 25 – 350 Lux) – натуральне світло (комфортний рівень світла 100 люксів або більше);

AL (Artificial Light, 50 – 900 Lux) – штучне світло (комфортний рівень світла 650 люксів або більше);

RGB (Multicolor, 0 - 1) – підтримка різнокольорового режиму (корисний рівень різнокольорового освітлення - 1);

H (Temperature Light, 2800 – 4500 K) – теплота світла (комфортний рівень теплоти світла 3500 K або більше).

Для візуалізації бінарного дерева рішень потрібно розрахувати комфортні показники та визначити опорні точки комфортності для кожного елемента розумної системи освітлення. На рис. 7 зображено визначені опорні точки комфортності системи розумного освітлення.

P	NL	AL	RGB	H
>=45	>=100	>=650	>=1	>=3500
<45	<100	<650	<1	<3500

Рис. 7. Визначені опорні точки комфортності

Спираючись на визначені опорні точки розраховується інформаційна ентропія.

Інформаційна ентропія – поняття з теорії інформації. Вона повідомляє, скільки інформації містить подія. Загалом чим більш певною або детермінованою є подія, тим менше інформації вона міститиме. Простими словами, інформація – це збільшення невизначеності або ентропії [8, 9].

Інформаційна ентропія розраховується для візуалізації бінарного дерева рішень.

При розрахунку слід звернути увагу на задані дані комфортності системи освітлення дитячої кімнати (рис. 6):

- кількість даних, що задовольняють чи не задовольняють задані умови опорних точок; для кожного виду даних буде окремий розрахунок;
- кількість комфортних і некомфортних даних, заданих у попередніх умовах.

Одразу після визначення чинників потрібно окремо визначити кількість даних, що задовольняють

задані умови, і визначити серед них кількість комфортних (задовольняють всім умовам) і некомфортних даних (частково задовольняють деякі з умов).

Розглянемо розрахунок на прикладі одного з головних чинників – Р – це умовна вартість одного елемента освітлення, що має бути не більше вказаної в таблиці комфортності системи освітлення (рис. 6). Зазначена вартість становить не менше 45 грн за елемент освітлення. Це дає змогу стати системі економічно-комфортною для користувача, але за умови, що інші чинники потрапляють до заданих параметрів комфортності.

У нашому випадку є 10 елементів освітлення, серед яких п'ять мають вартість від 45 грн і більше, і ще п'ять, у яких вартість менше 45 грн, тому потрібно їх відокремити на початку розрахунків:

Var P has value >=45 for 5 records out of 10 and 5 records with value <45 value.

Після відокремлення елементів освітлення за вартістю потрібно визначити параметри комфортності у відокремлених елементах освітлення. Параметри комфортності залежать від характеристик елементів освітлення: якщо вартість і функції відповідають заданим умовам користувача, такий елемент вважається комфортним. В умовах вартості елемента більше 45 грн три елементи комфортні та два

некомфортні, їх потрібно розділити для точності розрахунку:

For Var P >= 45 & class == comfort: 3/5.

For Var P >= 45 & class == nocomfort: 2/5.

Наступним кроком потрібно поррахувати ентропію для параметрів, задані умовами вартості елемента більше 45 грн:

$$Entropy(3,2) = -1 * ((3/5)*log_2(3/5) + (2/5)*log_2(2/5)) = 0,979.$$

Розрахунок для елементів, що коштують менше 45 грн, виконується аналогічно.

Для розрахунку загальної ентропії вартості елементів освітлення потрібно вказати параметри комфортності та ентропії відокремлених елементів освітлення. Від отриманого результату загальної

ентропії залежить бінарне дерево рішень: якщо результат становить 0, цей параметр не впливає на систему та не позначається на дереві рішень. Розрахунок загальної ентропії вартості елементів освітлення матиме такий вигляд:

$$Entropy(Target, P) = P(>=45) * E(3,2) + P(<45) * E(2,3) = (5/10) * 0,979 + (5/10) * 0,979 = 1 - 0,979 = 0,021.$$

Загальний вигляд розрахунків за кожним параметром комфортності, що впливає на економічно комфортну систему, має вигляд

Var P has value >=45 for 5 records out of 10 and 5 records with value <45 value.

For Var P >= 45 & class == comfort: 3/5

For Var P >= 45 & class == nocomfort: 2/5

$$Entropy(3,2) = -1 * ((3/5)*log_2(3/5) + (2/5)*log_2(2/5)) = 0,979$$

For Var P <45 & class == comfort: 2/5

For Var P <45 & class == nocomfort: 3/5

$$Entropy(2,3) = -1 * ((2/5)*log_2(2/5) + (3/5)*log_2(3/5)) = 0,979$$

$$Entropy(Target, P) = P(>=45) * E(3,2) + P(<45) * E(2,3) = (5/10) * 0,979 + (5/10) * 0,979 = 1 - 0,979 = 0,021$$

Var NL has value ≥ 100 for 6 records out of 10 and 4 records with value < 100 value.

For Var NL ≥ 100 & class == comfort: 3/6

For Var NL ≥ 100 & class == nocomfort: 3/6

$$\text{Entropy}(3,3) = -1 * ((3/6)*\log_2(3/6) + (3/6)*\log_2(3/6)) = 1$$

For Var NL < 45 & class == comfort: 2/4

For Var NL < 45 & class == nocomfort: 2/4

$$\text{Entropy}(2,2) = -1 * ((2/4)*\log_2(2/4) + (2/4)*\log_2(2/4)) = 1$$

$$\text{Entropy}(\text{Target}, \text{NL}) = P(\geq 100) * E(3,3) + P(< 100) * E(2,2) = (6/10) * 1 + (4/10) * 1 = 1 - 1 = 0$$

Var AL has value ≥ 650 for 7 records out of 10 and 3 records with value < 650 value.

For Var AL ≥ 650 & class == comfort: 4/7

For Var AL ≥ 650 & class == nocomfort: 3/7

$$\text{Entropy}(4,3) = -1 * ((4/7)*\log_2(4/7) + (3/7)*\log_2(3/7)) = 0,99$$

For Var AL < 650 & class == comfort: 1/3

For Var AL < 650 & class == nocomfort: 2/3

$$\text{Entropy}(1,2) = -1 * ((1/3)*\log_2(1/3) + (2/3)*\log_2(2/3)) = 0.92$$

$$\text{Entropy}(\text{Target}, \text{AL}) = P(\geq 650) * E(4, 3) + P(< 650) * E(1,2) = (7/10) * 0.99 + (3/10) * 0.92 = 1 - 0,969 = 0,031$$

Var RGB has value ≥ 1 for 6 records out of 10 and 4 records with value < 1 value.

For Var RGB ≥ 1 & class == comfort: 3/6

For Var RGB ≥ 1 & class == nocomfort: 3/6

$$\text{Entropy}(3,3) = -1 * ((3/6)*\log_2(3/6) + (3/6)*\log_2(3/6)) = 1$$

For Var RGB < 1 & class == comfort: 2/3

For Var RGB < 1 & class == nocomfort: 1/3

$$\text{Entropy}(2,1) = -1 * ((2/3)*\log_2(2/3) + (1/3)*\log_2(1/3)) = 0.92$$

$$\text{Entropy}(\text{Target}, \text{RGB}) = P(\geq 1) * E(3, 3) + P(< 1) * E(2,1) = (6/10) * 1 + (3/10) * 0.92 = 1 - 1.476 = 0,124$$

Var H has value ≥ 3500 for 6 records out of 10 and 4 records with value < 3500 value.

For Var H ≥ 3500 & class == comfort: 4/6

For Var H ≥ 3500 & class == nocomfort: 2/6

$$\text{Entropy}(4,2) = -1 * ((4/6)*\log_2(4/6) + (2/6)*\log_2(2/6)) = 0.92$$

For Var H < 3500 & class == comfort: 1/4

For Var H < 3500 & class == nocomfort: 3/4

$$\text{Entropy}(1,3) = -1 * ((1/4)*\log_2(1/4) + (3/4)*\log_2(3/4)) = 0.843$$

$$\text{Entropy}(\text{Target}, \text{H}) = P(\geq 3500) * E(4, 2) + P(< 3500) * E(1,3) = (6/10) * 0.92 + (4/10) * 0.843 = 1 - 0.8852 = 0.1108$$

Отримані результати обчислення бінарного дерева (рис. 8) за критерієм отримання інформації можна застосовувати при візуалізації бінарного дерева рішень.

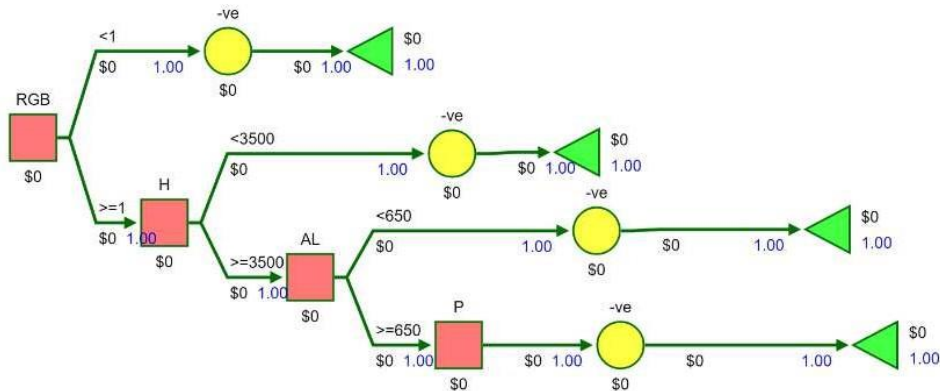


Рис. 8. Бінарне дерево рішень для дитячої кімнати

У свою чергу дерево рішень дає можливість створити концепт «розумного» освітлення в дитячій кімнаті та визначити ефективність системи «розумного» освітлення, тобто визначити помилки в системі. Наприклад, якщо датчик світла, який вийшов із ладу, передає від'ємні показники на мікроконтролер, то за допомогою дерева рішень система уникає негативних наслідків [10-12].

Розрахунки показників освітлення та побудова дерева рішень для всіх приміщень будинку проводяться за аналогічним алгоритмом.

Висновки

Показано, що «розумний» будинок займе своє місце у сфері побутової електроніки і ввійде в повсякденне життя багатьох користувачів. Цьому сприятимуть і поява простих, функціональних і відносно дешевих контролерів, і підвищення обчислювальної потужності смарт-пристроїв. Результати роботи можуть бути використані для розгортання системи автоматизації освітлення як у звичайному будинку, так і спеціалізованих приміщеннях з більш жорсткими вимогами.

Список використаних джерел

1. What is Mental Modeler? *MentalModeler*. URL: <https://www.mentalmodeler.com>.
2. SilverDecisions. URL: <https://silverdecisions.pl>.
3. A Brief History of Smart Home Automation. *Zeusintegrated systems*. URL: <https://zeusintegrated.com/blog/item/a-brief-history-of-smart-home-automation>.
4. Розумне освітлення в будинку – сучасні технології у вашому будинку. *Розумний дім*. URL: <https://noviydom.com.ua/umnoe-osveshhenie>.
5. Smart lighting for your home. *Atamate*. URL: <https://www.atamate.com/atamate-blog/what-is-smart-lighting>.
6. What is SysML? *Systems Modeling Language*. URL: <https://www.omg-sysml.org/what-is-sysml.htm>.
7. Панченко С., Серков О., Трубочанінова К. Теорія і практика електромагнітної сумісності телекомунікаційних систем: монографія. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 249 с.
8. Introduction to Lighting Controls. *Lighting Controls Association*. URL: <https://lightingcontrolsassociation.org/2017/07/21/introduction-to-lighting-controls>.
9. Serkov A., Kniyazev V., Yakovenko I., Trubchaninova K. *Electromagnetic Compatibility of Mobile Telecommunication Systems*. 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week, UkrMW 2020 (Kharkiv, 21 September 2020 – 25 September 2020). Proceedings. 2020. P. 1041–1044.
10. Neelam Verma, Anjali Jain. *Optimized Automatic Lighting Control in a Hotel Building for Energy Efficiency*. International Conference on Power Energy. 2018. 170 p.
11. Hajjaj M., Miki M., Shimohara K. *The Effect of Using the Intelligent Lighting System to Deduct the Power Consumption at the Office*. IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC). 2019. 66 p.
12. Smart lightning for top class schools. *Interact*. URL: <https://www.interact-lighting.com/global/what-is-possible/interact-pro/schools>.

Trubchaninova K., Cherkashyn Y. Smart lighting system.

Abstract. An analysis of the environment that affects the lighting of the premises was carried out and the optimal indicators for the user were determined. The main stages of creating a "smart lighting in the house" system have been determined. The construction of the lighting scheme should begin with a comparison of the proposed options of components that are part of the system and have the characteristics specified by the initial conditions. Some components have a negative effect on the lighting in the rooms, which leads to impaired vision, reduced immunity

and deterioration of health. In order to avoid problems with vision and health, it is necessary to correctly calculate the lighting in the rooms, for this, a lighting plan is built in the house, which indicates artificial and natural light sources that affect the user's condition. To build "smart" lighting, a UML diagram of use cases is created, which shows all the functions and shortcomings found in the given system. When constructing a use case diagram, all hardware capabilities and user preferences are taken into account. In advance, you need to create a cognitive FCM map in which to depict the relationship between the system of components and the environment in the conditions of a permanent stay in the house. The FCM map allows you to depict the dependence of all user needs and their impact on artificial lighting. The binary decision tree shows how comfortable and economical the system is for the user, if one of the factors does not meet the initial requirements, then the system becomes uncomfortable to use. It is recommended to calculate the project component by building a decision tree. A binary decision tree was calculated and it was determined that the decision tree is built after calculating the information entropy, this makes it possible to depict an economical and comfortable system of "smart" lighting in the house.

Keywords: entropy, smart home, smart lighting, binary decision tree.

Надійшла 16.02.2023 р.

Трубчанінова Карина Артурівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: tka2@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2078-2647>.

Черкашин Євгеній Андрійович, магістрант кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: evgenii.cherkashyn@gmail.com.

Trubchaninova Karyna, Doctor of sciences (engineering), Full Professor, Professor of Transport Communication Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: tka2@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2078-2647>.

Cherkashyn Yevhenii, Master's student of the Department of Transport Communication, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: evgenii.cherkashyn@gmail.com.