

А.А. Каньовський, А.О. Саченко, В.В. Кочан, А.Ф. Карачка

**ВІРТУАЛЬНЕ ПРОСТОРОВЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ  
ГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Розглянуто апаратне та програмне забезпечення методу відображення графічних об'єктів. Показано, що сучасні засоби мікроелектроніки дають змогу їх просторового відображення у динамічному режимі. При цьому віртуальне відображення є дійсно об'ємним, його можна розглядати з різних сторін. Рис. 6, дж. 28.

Ключові слова: графічні об'єкти, просторове відображення, віртуальне відображення, динамічний режим, матриця світлодіодів.

**JEL Y90**

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Проблему просторового відображення графічних об'єктів найчастіше пов'язують з мистецтвом та рекламою. Однак її вирішення також посприяло би створенню технічних об'єктів, які були би дуже корисними у багатьох сферах. Наприклад, автори роботи [1] стверджують, що вирішення задачі просторового відображення динамічних графічних об'єктів дало би змогу створювати моделі повітряного простору біля аеропортів, що посприяло би кращому сприйняттю ситуації у повітряному просторі аеродромними диспетчерами. Таке візуальне сприйняття зменшило би навантаження на диспетчерів, що, у свою чергу, посприяло би безпеці польотів та пропускній здатності аеропортів. Використання трьохвимірного відображення, на даний момент є найбільш технологічним методом для покращення сприйняття графічної інформації, оскільки всі предмети та світ, що оточує людину є об'ємними, а не плоскими. Коли людина бачить об'ємний предмет вона може більш комфортно його сприйняти (для зору), ніж якби людині показали зображення цього ж предмета із різних ракурсів (такий підхід комфортний лише для тих, хто звик читати креслення). Але при трьохвимірному представленні об'єктів можна максимально повно представити і їх внутрішню структуру, тому трьохвимірне представлення є бажаним і у сфері конструювання (наприклад, будівництво чи конструювання складних великих об'єктів – там дуже часто виконують об'ємні макети об'єктів). Єдиним, на даний момент широко розповсюдженим способом для представлення трьохвимірних об'єктів досить точно – це креслення (у різних проекціях та виглядах), але не кожна людина здатна їх адекватно сприймати/читати, оскільки для цього необхідне хороше просторове мислення та уява. А у випадку із трьохвимірним представленням кожна людина, не залежно від сфери її діяльності може адекватно сприйняти те, що вона побачила. Тому на більшості презентацій нових технологій, підходів, конструкцій, майже обов'язковим елементом є макет об'єкта або масштабна модель.

**Аналіз останніх досліджень, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, виділення невирішених раніше частин.** Одним з найдавніших методів просторового відображення графічних об'єктів можна вважати скульптуру [2]. Однак такий метод дуже трудомісткий та вимагає значного часу на створення зображення. Крім того, отримані таким шляхом зображення графічних об'єктів статичні. Їх практично не можливо змінити. Останнім часом появились скульптурно-механічні композиції, у яких різні частини змінюють своє

положення. Однак такий метод просторового відображення графічних об'єктів не можна вважати вирішенням задачі. Метод також дуже трудомісткий та вимагає не лише значного часу на створення зображення, а і значних затрат ресурсів. Відображається лише обмежений набір рухів графічного об'єкта. Зміна відображуваних об'єктів практично не можлива.

Значно більш досконалі методи псевдо-просторового відображення графічних об'єктів за допомогою світлових ефектів, їх прикладами можуть служити кінотеатр та планетарій [3, 4]. Michael C. King допускає, що можливе створення ілюзії перспективи за допомогою напівпрозорих дзеркал [5]. Такі методи мають значно меншу трудомісткість, формовані зображення можна доволі легко змінювати. При умові комп'ютерного керування, названі вище методи створюють можливість динамічного відображення графічних об'єктів. Однак такі методи створюють лише плоскі зображення. Хоча можлива проєкція такого зображення на не плоску поверхню (наприклад, на сферичну, як це зроблено у планетарії), таке зображення не є об'ємним, воно залишається плоским, тобто його не можна побачити збоку або ззаду. Використання різних художніх методів (закони перспективи тощо) також дає змогу створити ілюзію просторового відображення, але така ілюзія виникає лише тоді, коли спостерігач знаходиться у визначених місцях простору (його точка зору може відхилитися від осі, що проходить перпендикулярно до центра зображення, на суттєво обмежений кут).

Останнім часом отримують розвиток методи віртуального просторового відображення, зокрема методи віртуальної (VR) [6], доповненої (AR) [7, 8] та змішаної (MR) [9] реальностей.

Технологія віртуальної реальності (VR) передбачає створення технічними засобами віртуального світу, який користувачем сприймається через зір та слух, що забезпечується відповідним апаратним забезпеченням. Створений віртуальний світ повинен максимально відповідати реальному, тобто вигляд предметів, взаємодія із ними та їх поведінка при взаємодії повинні максимально нагадувати фізику реального світу. Основною перевагою віртуальної реальності та віртуального світу в цілому, є те, що користувач може робити те, що він фізично не може зробити у реальному світі, наприклад: проходити крізь стіни та предмети, літати, створювати предмети та тварин, а також змінювати віртуальний світ під свої потреби. Основною проблемою при роботі із віртуальним світом, окрім обладнання для взаємодії із ним, є обчислювальні потужності, які необхідні для опрацювання вхідної інформації та виведення реалістичного зображення на обладнання користувача (користувачів). Також важливим аспектом є те, що 3D-моделі займають досить багато пам'яті через їх кількість та деталізацію. Вимоги до обчислювальних потужностей настільки значні, що більшість сучасного обладнання використовує комп'ютери із потужними відеокартами для забезпечення опрацювання даних в реальному часі, оскільки затримки у відповіді обладнання негативно впливають на самопочуття користувача.

Технологія доповненої реальності (AR) передбачає у додаванні штучних (віртуальних) елементів у поле сприйняття (зору) людини, що дозволяє доповнити інформацію про оточення штучною, яку людина може не мати можливості отримати самостійно. Доповнена реальність - розширена версія реальності, в якій живі прямі або непрямі спостереження реальних фізичних користувачів підсилюються накладеними комп'ютерними зображеннями через уявлення користувача про реальний світ, тим самим посилюючи своє поточне сприйняття дійсності. На відміну від віртуальної реальності, яка вимагає, щоб користувач перебував в цілковито віртуальному середовищі, доповнена

(розширена) реальність використовує існуюче природне середовище і просто накладає додаткову віртуальну інформацію. Оскільки віртуальні та реальні світи гармонійно співіснують, користувачі доповненої реальності випробовують та досліджують новий та покращений природний світ, де віртуальна інформація використовується як інструмент надання допомоги в повсякденній діяльності користувачів.

Існує декілька категорій технології доповненої реальності AR, кожна з яких має свої особливості щодо мети та випадків прикладного використання:

- маркери на основі AR [10];
- безмаркерна AR;
- проекція на основі AR;
- накладання на основі AR.

Дана технологія доповненої реальності AR, як і технологія віртуальної реальності VR, вимагає значних обчислювальних потужностей для опрацювання графічної інформації, у даному випадку обчислення необхідних для «природної» інтеграції віртуальних (штучних) об'єктів у реальний світ, а точніше у поле зору користувача. Це потрібно для того, щоби віртуальний об'єкт максимально комфортно сприймався користувачем. Якщо об'єкт нерухомий, то треба щоби він залишався нерухомим при переміщенні користувача та його огляді із різних ракурсів. У тому випадку, коли віртуальний об'єкт повинен рухатися – то його траєкторія руху повинна відповідати заданій не залежно від переміщення користувача та поля його зору (віртуальний предмет повинен рухатися незалежно від користувача-спостерігача). Такими обчислювальними потужностями, що можуть задовольнити мінімальні технічні потреби технології доповненої реальності AR, володіють сучасні смартфони, у яких знаходяться відповідні датчики (гіроскоп, акселерометр, е-компас, та ін.)

Технологія змішаної реальності (MR), на відміну від віртуальної VR та доповненої AR реальностей, передбачає взаємодію віртуального об'єкта із реальним. Тобто, якщо користувач у випадку із доповненою реальністю може лише спостерігати за віртуальним об'єктом, то технологія доповненої реальності передбачає організацію взаємодії користувача із віртуальними об'єктами, інтегрованими у реальний світ. Для організації такої взаємодії знову ж таки необхідні значні обчислювальні потужності, але значно більші ніж для доповненої реальності, тому такі обчислення вже не можуть виконати портативні пристрої – смартфони.

Дані технології (VR, AR, MR) є чисто віртуальними і розраховані на роботу із одним оператором для одного пристрою, а інші користувачі можуть брати участь у взаємодії лише якщо вони синхронізовані та використовують відповідні пристрої. Тобто один користувач не завжди має змогу бачити те, що бачить інший користувач. Для реалізації цих методів необхідно використовувати відповідне апаратне забезпечення: шоломи віртуальної реальності [11], окуляри доповненої реальності [12], рукавиці віртуальної реальності [13] та значна кількість інших спеціалізованих засобів (таких як тактильні рукавиці із зворотнім зв'язком [14]).

До нових методів слід віднести методи відображення 3D-графіки на основі технологій, які використовують 3D-телевізори, а саме: метод анагліфу, поляризаційний та затворний методи [15]. Всі ці методи передбачають використання спеціальних окулярів для користувача та телевізора, як джерела інформації.

Метод анагліфу полягає у кольоровому кодуванні зображення. Для того, щоби реалізувати цей метод необхідно забарвити кожен клас об'єктів у один колір. При перегляді цих об'єктів через світлофільтр такого ж кольору їх

зображення не буде видно, а при використанні світлофільтра іншого кольору зображення проявиться (цей метод називається кольоровим кодуванням). Без використання світлофільтра зображення буде свого звичного кольору, але суть кодування полягає у комбінації кількох зображень різних кольорів, які по різному проявляються при різних світлофільтрах. Кольорове кодування зображення дозволяє отримати ефект об'ємного зображення, якщо при його проведенні відповідно забарвлювали об'єкти для їх сприйняття лівим і правим оком. Зазвичай для лівого ока використовують червоний колір, а для правого блакитний чи синій.

Технологія анагліфа вважається застарілою та зараз не використовується, оскільки має ряд недоліків:

- різні люди по різному реагують на сприймання зображення, можуть втомлюватися очі, виникати головні болі (це проявляється лише при тривалому спостереженні);
- викривлення кольорової гама, деякі кольори втрачаються через світлофільтри;
- різна яскравість при спостереженні об'єктів з ракурсів (лівим і правим оком).

Поляризаційний метод розділення зображення (він також називається «пасивне 3D») полягає у використанні спеціальної матриці, яка може або відображати комбіноване зображення одночасно для лівого і правого ока (але при цьому вдвічі зменшується його якість, оскільки за один кадр відображаються обидва зображення), або відображати зображення для лівого і для правого ока послідовно, одне за одним. Незалежно від способу передачі зображення, для того, щоб воно сприйнялося необхідним оком, світлові потоки, що формують зображення для кожного ока, повинні бути поляризованими різним чином. А перед кожним оком (в окулярах) повинно бути розташоване скло із відповідним світлофільтром. Залежно від поляризації зображення світлофільтр або пропускає зображення (стає прозорим для нього) або не пропускає його. Таким чином на кожне око потрапляє окреме (потрібне) зображення. Таким чином, ключовим елементом при передачі зображення є поляризаційні окуляри, в яких встановлені спеціальні поляризаційні фільтри, причому різні для лівого і правого ока.

Затворний метод (він також називається «активне 3D») розділення зображень, що базується на особливостях людського зору, знайшов широке застосування в сучасних телевізорах. Даний метод полягає у почерговій демонстрації зображень для лівого і для правого ока. Для розділення зображення використовуються спеціальні окуляри, які синхронізуються із телевізором і здатні затемнювати свої лінзи. Цей метод потребує використання складних окулярів, із власним апаратним та програмним забезпеченням та живленням. Їх лінзи представляють собою рідкокристалічні матриці, які здатні затемнюватися, чим і досягається передача зображення саме до відповідного ока, оскільки лінза навпроти іншого ока затемнена.

Із переваг затворного методу можна виділити лише одну – повна роздільна здатність зображення для кожного ока. Але даний метод, хоча і вважається більш технологічним, має ряд недоліків:

- значна втрата яскравості зображення;
- висока ймовірність перехресних перешкод (коли зображення двоїться);
- висока вартість окулярів;
- необхідність власного живлення у окулярів;
- підвищена втомлюваність очей.

Gregory R. Brotz і Zheng J Gen запропонували варіант 3D відображення

статичної або динамічної інформації з проектуванням світлових точок, які цю інформацію відображають, на обертову криволінійну поверхню спеціальної гвинтоподібної форми [16, 17]. Таке зображення вже не можна вважати плоским. Однак це зображення не є просторовим, так як його не можна побачити ззаду, хоча можна побачити дещо збоку.

Одним із найчастіше використовуваних є метод [18] відображення графічної інформації шляхом її відтворення за допомогою набору закріплених на поверхні світлогенеруючих елементів (наприклад, світлодіодів). Цей метод дає можливість відображати просторово не лише статичну графічну інформацію, її можна змінювати шляхом ввімкнення/вимкнення світлодіодів, тобто реалізувати динамічне відображення графічної інформації. Але таке відображення також є плоским, тобто його не можна побачити збоку або ззаду. Аналогічно до попередніх методів, використання різних художніх заходів також створює ілюзію просторового відображення, але така ілюзія також виникає лише тоді, коли спостерігач знаходиться у визначених місцях простору. Реалізація цього методу вимагає достатнього для відображення графічної інформації із заданою чіткістю набору світлодіодів. У випадку прямокутного зображення, яке вимагає роздільної здатності по горизонталі  $m$ , а по вертикалі –  $n$ , сумарна кількість світлодіодів буде рівна  $s = m \cdot n$ .

Якщо виникає потреба відображати просторову графічну інформацію, то, по аналогії з попереднім методом, можна створити паралелепіпед, у якому світлодіоди закріплені по трьох осях. У випадку прямокутного паралелепіпеда, зображення, яке вимагає роздільної здатності по горизонталі  $m$ , по вертикалі –  $n$ , а по глибині  $k$ , вимагає сумарної кількості світлодіодів  $s = m \cdot n \cdot k$ . Це означає, що навіть найпростіше зображення, яке вписується у куб  $10 \times 10 \times 10$  елементів, вимагає  $s = 1000$  світлодіодів. Таким чином, такий шлях відображення просторової графічної інформації веде до стрімкого зростання кількості світлодіодів, тобто лавиноподібного зростання вартості високоякісного (з великою роздільною здатністю) відображення просторової графічної інформації. Крім того, у такому паралелепіпеді світлодіоди, розміщені біля поверхні паралелепіпеда, затіняють світлодіоди, розміщені біля центра паралелепіпеда. Таким чином, шлях прямого переходу від плоскої поверхні, на якій розміщені світлодіоди, до паралелепіпеда неприйнятний.

Sherry Verjeron розробив метод зменшення необхідної кількості світлогенеруючих елементів для відображення графічної інформації шляхом обертання рейки, на якій послідовно закріплено набір світлодіодів [19]. Ці світлодіоди вмикаються/вимикаються відповідно до кута повороту рейки. При відповідній швидкості обертання (та синхронізації ввімкнення/вимкнення світлодіодів відповідно до потреб графічної інформації, що відображається) око людини сприймає таку систему як цілісне зображення. При необхідності відображення прямокутного зображення з роздільною здатністю  $m$  по горизонталі та  $n$  по вертикалі, сумарна кількість світлодіодів буде рівна

$s = \sqrt{m^2 + n^2}$ . Таким чином, якщо треба відобразити зображення, яке вписується у прямокутник  $10 \times 10$  світлодіодів, сумарна кількість світлодіодів буде  $s = 14$ .

Якщо при реалізації цього методу змінювати у необхідній послідовності моменти ввімкнення/вимкнення світлодіодів, можна забезпечити також динамічне відображення графічної інформації. Але таке відображення також є плоским, тобто його не можна побачити збоку або ззаду.

Edwin P. Berlin і Rufus Butler Seder запропонували технічні рішення [20, 21],

які можна вважати одним із найбільш досконалих. Ці технічні рішення передбачають обертання панелі із світлодіодами, закріпленої на вертикальній осі. При ввімкненні світлодіодів у відповідні моменти, синхронізовані із періодом обертання панелі, отримуємо реальне об'ємне зображення. Однак у роботах [20, 21] не вирішено питання алгоритмічного і програмного забезпечення, потрібного для реалізації засобу просторового відображення динамічних графічних об'єктів. А запропоноване апаратне забезпечення має ряд суттєвих недоліків, які можна усунути за рахунок використання сучасних вузлів та програмного забезпечення, зокрема, безпровідного зв'язку.

**Мета статті.** Таким чином, метою даної статті є розроблення апаратного та алгоритмічного забезпечення засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

*Апаратне забезпечення засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів.* Запропоноване у [20] технічне рішення з точки зору механіки є не зовсім вдалим. Розміщена на одній стороні вертикальної осі панель із світлодіодами та схемою керування ними, яка обертається із відносно великою швидкістю (мінімально 25 обертів за секунду) створює значні динамічні навантаження на підшипники та вібрацію. Цей недолік усунуто у [21], де симетровано положення панелі світлодіодів відносно осі обертання. Але живлення матриці світлодіодів здійснюється через контактні кільця, що викликає значні втрати та завади, а також необхідність періодичного обслуговування цього вузла (заміни щіток). Тому у даній роботі пропонується використати живлення за допомогою електромагнітного зв'язку

Також не вдалим рішенням є використання оптичного зв'язку для передачі у обертову частину коду відтворюваного графічного об'єкта, значно кращим є використання безпровідного зв'язку [22, 23].

Структура запропонованого апаратного забезпечення засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів подана на рис. 1. Вона містить Двигун, на осі якого закріплена площина, де розміщено лінійки 1V, 2V, ... nV світлогенеруючих елементів (світлодіодів) VD1.1, VD1.2 ... VD1.m, VD2.1, ... VD2.2 ... VD2.m ... VDn.1, VDn.2 ... VDn.m. Ці світлодіоди ввімкнені за схемою матриці, тобто їх аноди підключені до провідників, що створюють лінійки 1V, 2V, ... nV. А катоди світлодіодів об'єднані у стовбці 1H, 2H, ... mH. На осі обертання закріплено схему синхронізації Синхрон. Її вихід підключено до відповідного входу мікроконтролера МК. Виходи останнього запалюють світлодіоди у моменти, що відповідають відображуваній графічній інформації. Ці моменти визначаються положенням площини світлодіодів, яка визначається схемою синхронізації Синхрон.

Матричний спосіб адресації елементів може забезпечити довільний доступ (активацію) кожного із елементів матриці. У кожному циклі, що задається мікроконтролером і відповідає формуванню зображення у одному із положень матриці (згідно сигналу схеми синхронізації Синхрон), запалюються всі потрібні світлодіоди. Для цього кожен цикл розбито на такти, наприклад, за кількістю стовбців (можна розбити кожен цикл на такти за кількістю лінійок). На протязі кожного такту задається активний стовбець (або лінійка) та одночасно запалюються всі світлодіоди, які необхідно запалити у даному стовбці (лінійці) для даного положення матриці. За кожен цикл повинні бути перебрані всі стовбці (лінійки) матриці. У результаті за кожен цикл формується одна площина відтворюваного зображення.

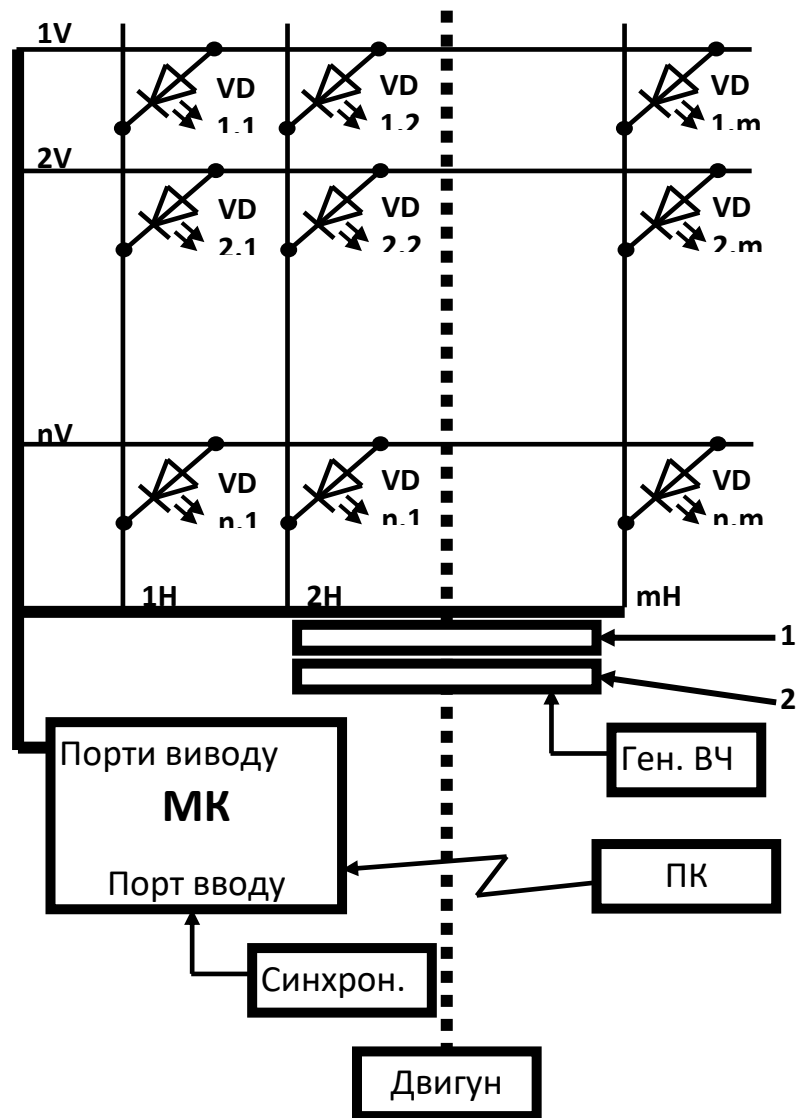


Рис. 1. Структура апаратного забезпечення засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів

Повне просторове зображення формується за один оберт площини, на якій закріплені лінійки та стовбці світлодіодів. Воно складається із плоских зображень, які формуються у кожному циклі роботи мікроконтролера. Всі цикли ініціюються схемою синхронізації Синхрон, їх кількість визначає роздільну здатність засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів. Комфортне сприйняття відображуваної динамічної графічної інформації забезпечується відповідною швидкістю обертання осі електродвигуна та числом імпульсів, які формує схема синхронізації Синхрон за один оберт (тобто кількістю зображень, які формуються у кожному циклі роботи мікроконтролера).

Матричний метод адресації елементів дає змогу суттєво економити лінії управління матрицею. Якщо матриця має розмірність 8x8 елементів (тобто їх загальна кількість рівна 64), то для їх адресації використовуватиметься лише

8+8, тобто 16 фізичних ліній.

Таким чином, запропонований засіб може забезпечити просторове відображення графічної інформації як у статичному режимі (тоді мікроконтролер МК постійно повторює потрібну для відображення графічної інформації послідовність кодів на своїх виходах), так і у динамічному режимі (тоді мікроконтролер МК постійно змінює коди, які поступають на його виходи, згідно потреб відображення зміни графічної інформації). Тобто, у випадку відображення статичної графічної інформації, вимоги до обчислювальних ресурсів мікроконтролера МК доволі незначні. Адже, через інерційність ока людини, частота обертання двигуна не мусить бути більшою за 25-30 обертів за секунду. При швидкості обертання  $f$ , роздільній здатності по горизонталі  $m$ , а по вертикалі –  $n$ , сумарна кількість даних про зображення буде рівна  $s = m \cdot n \cdot f \cdot \sqrt{2}$ . Для прямокутного зображення  $10 \times 10$  та швидкості обертання 30 обертів за секунду потрібно 800 байт пам'яті.

При відображенні динамічної графічної інформації вимоги до обчислювальних ресурсів мікроконтролера МК суттєво зростають. Вони залежать не лише від сумарної кількості даних про зображення, а і від розподілу функцій між комп'ютером та мікроконтролером МК при опрацюванні зображень. Це питання буде розглянуто у наступних розділах.

Живлення мікроконтролера МК та світлодіодів відбувається через приймаючу котушку 1, яка має тісний індуктивний зв'язок із передаючою котушкою 2. Котушка 2 живиться від високочастотного генератора Ген.ВЧ [24].

Дані про зображення поступають на мікроконтролер МК із персонального комп'ютера ПК через безпроводний інтерфейс (Bluetooth, Zig-Bee).

*Алгоритмічне забезпечення віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів.* Програмне забезпечення просторового відображення динамічних графічних об'єктів у даному випадку повинно працювати на двох обчислювальних пристроях – мікроконтролері МК та персональному комп'ютері ПК. Основним завданням персонального комп'ютера ПК є попередня підготовка зображення для того, щоби зменшити потрібні ресурси мікроконтролера МК. Алгоритм підготовки заданого графічного об'єкта для відображення подано на рис. 2.

Цей алгоритм передбачає перетворення координат кожної точки зображення у Декартовій системі координат у циліндричну систему координат. Для цього передбачено цикл А. Результатом виконання алгоритму є файл, у якому подано яскравість кожного світлодіода відповідно до його лінійки та стовбця, а також відповідно до суб-кадру зображення. При цьому одним суб-кадром зображення вважаємо прямокутне зображення, яке відтворює матриця світлодіодів при поступленні кожного синхроімпульсу. Набір суб-кадрів, що відповідає повному обороту матриці світлодіодів, називаємо повним 3D кадром зображення.

На вхід алгоритму підготовки заданого графічного об'єкта для відображення надається файл із описом координат та параметрів точок вхідної 3D-моделі («Coordinates of the points of the input 3D model»), тобто власне сама 3D-модель. Спочатку, згідно із алгоритмом визначається масштаб наданої 3D-моделі, у блоці «determine the scale of the model» [25], який на основі зчитаних даних із вхідного файлу, та власне налаштувань самої програми/алгоритму, де вказано точні технічні параметри пристрою (апаратного забезпечення) такі як: частота обертання матриці, фізичні розміри матриці, кількість елементів матриці по горизонталі і вертикалі, колір матриці, кількість суб-кадрів на один кадр/оборот, бажана частота кадрів відеоряду, та ряд інших важливих параметрів, які



описують певний, конкретний екземпляр пристрою. Дана операція (визначення масштабу 3D-моделі) необхідна для того, щоб максимально повно використати наданий пристроєм віртуальний простір, оскільки на ці дані опиратимуться наступні блоки, які розраховуватимуть координати конкретних точок та здійснюватимуть їх опис.

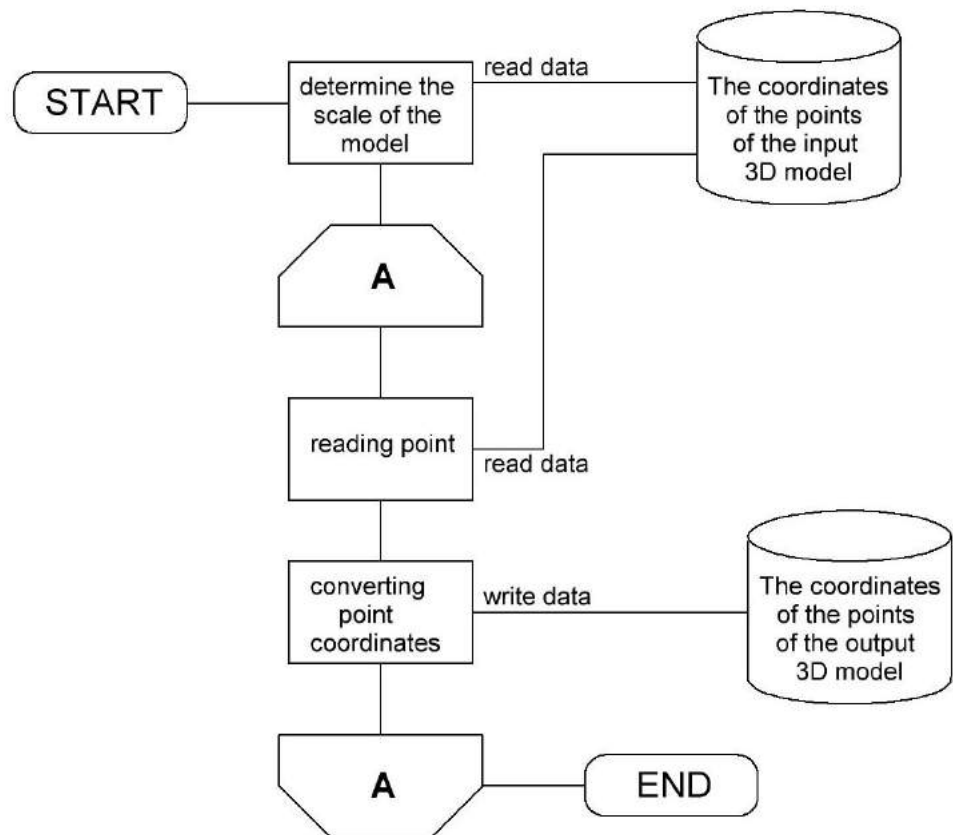


Рис. 2. Алгоритм підготовки заданого графічного об'єкта для відображення

Цикл «А» виконується для кожної точки вхідної 3D-моделі і він матиме стільки ітерацій (повторів), скільки точок має вхідна 3D-модель. Враховуючи даний факт важливим моментом є те, що операції («reading point» - зчитування із вхідного файлу координат та опису певної, конкретної точки, «converting point coordinates» - конвертування координат точки, згідно налаштувань та масштабу моделі), які виконуються в рамках даного циклу повинні бути максимально оптимізовані, щоб не займати занадто багато часу та обчислювальних ресурсів для проведення необхідних розрахунків.

Блок/операція «reading point» полягає у зчитування із вхідного файлу координат та опису певної, конкретної точки, по чергово для кожної із точок вхідної 3D-моделі згідно із циклу «А». Даний блок постійно зчитує дані дочок вхідної 3D-моделі, тому доцільно, для збільшення швидкодії та зменшенню часу на проведення розрахунків, помістити файл опису 3D-моделі у оперативну пам'ять комп'ютера, для зменшення часу на зчитування та звертання до жорсткого диску. Також значно пришвидшити процес зчитування можна,

використовуючи високошвидкісний тердотільний SSD-накопичувач.

Блок/операція «converting point coordinates» виконує конвертування координат точки, згідно налаштувань та масштабу моделі. Даний блок має найбільшу обчислювальну складність оскільки виконує основні обчислення по конвертуванню координат точок. Також важливим моментом є те, що хоча і даний блок опрацьовує точки координат вхідної 3D-моделі по одній, але для основних розрахунків враховуються координати всіх точок, оскільки, враховуючи різницю у роздільній здатності вхідної та вихідної 3D-моделей, у зв'язку із фізичними обмеженнями апаратного забезпечення, присутні злиття близько розташованих точок 3D-моделі, що, в певній мірі, впливає на геометрію вихідної, результуючої, 3D-моделі. Тому основним завданням даного блоку і алгоритму в цілому являється конвертування 3D-моделі із зміною її масштабу та кількості вихідних точок, із заданими параметрами із мінімальними геометричними викривленнями.

На виході даного алгоритму і файл «Coordinates of the points of the output 3D model» де кількість вихідних точок може відрізнятись, в меншу сторону, від кількості точок вхідної 3D-моделі («Coordinates of the points of the input 3D model») у зв'язку із обмеженнями, пов'язаними із апаратним забезпеченням і формованим ним трьохвимірним адресним простором фізичними елементами апаратного забезпечення.

Слід зауважити, що на сьогодні процес перетворення координат кожної точки зображення у Декартовій системі координат у циліндричну систему координат має доволі велику обчислювальну складність та виконується для кожної точки послідовно (виконання циклу А у алгоритмі виведення підготовленого графічного об'єкта на світлодіодну матрицю (див. рис. 2). Це вимагає попередньої підготовки зображення, тобто виконання алгоритму, поданого на рис. 2 у два етапи – попередньої підготовки та безпосереднього завантаження. Тому, при роботі у реальному часі, можуть виникати труднощі через високі вимоги до комп'ютера ПК при попередній підготовці зображення.

Для більш наочної демонстрації суті конвертування і роботи алгоритму в цілому, на рис. 3 та 4 подано зображення теоретичної вхідної 3D-моделі та теоретичний адресний простір у межах якого може здійснюватися відображення даної 3D-моделі.

На рис. 5 подано алгоритм роботи мікроконтролера МК при формуванні імпульсів керування світлодіодною матрицею. Цей алгоритм передбачає два цикли – А і В. Цикл А забезпечує перебір суб-кадрів, в цикл В – перебір лінійок у кожному суб-кадрі.

Алгоритм відображення підготовленої 3D-моделі складається із двох, основних вкладених циклів «А» та «В» та операцій, що неодноразово повторюються в рамках цих циклів. Цикл «А» повторюється стільки разів, скільки 2D суб-кадрів [26] містить один повноцінний 3D-кадр. Цикл «В» повторюється стільки разів скільки елементів містить світлодіодна матриця, що формує один суб-кадр.

Блок «scan section» (сканування секції) виконує операції із зчитування даних підготовленої 3D-моделі, які описують стан елементів одного суб-кадру, оскільки дані, що описують 3D-модель є структурованими згідно архітектури апаратного забезпечення та особливостей його функціонування, з метою зменшення потреби у обчислювальних потужностях мікроконтролер та максимально пришвидшити відтворення заданої 3D-моделі, для покращення взаємодії та із користувачем [27, 28] та сприйняття зображення.

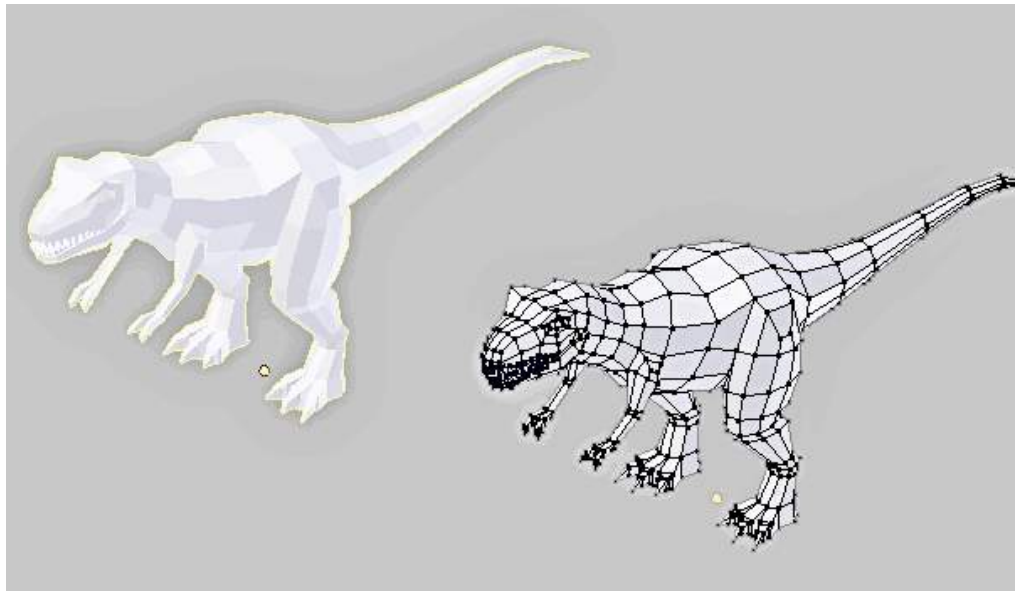


Рис. 3. Теоретична вхідна 3D-модель для конвертування координат

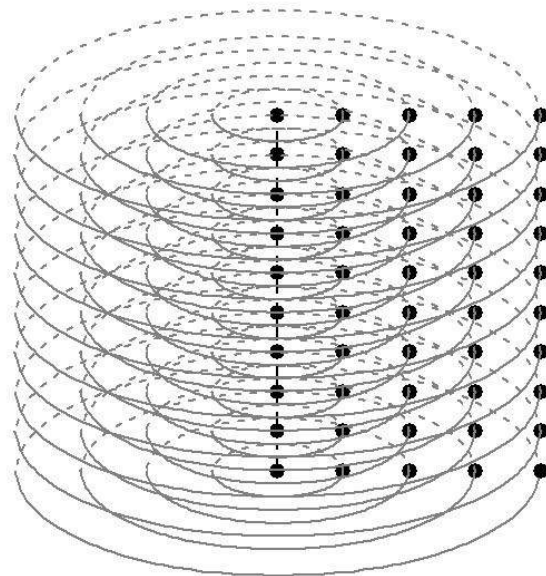


Рис. 4. Теоретичний, циліндричний, адресний простір для конвертування 3D-моделі

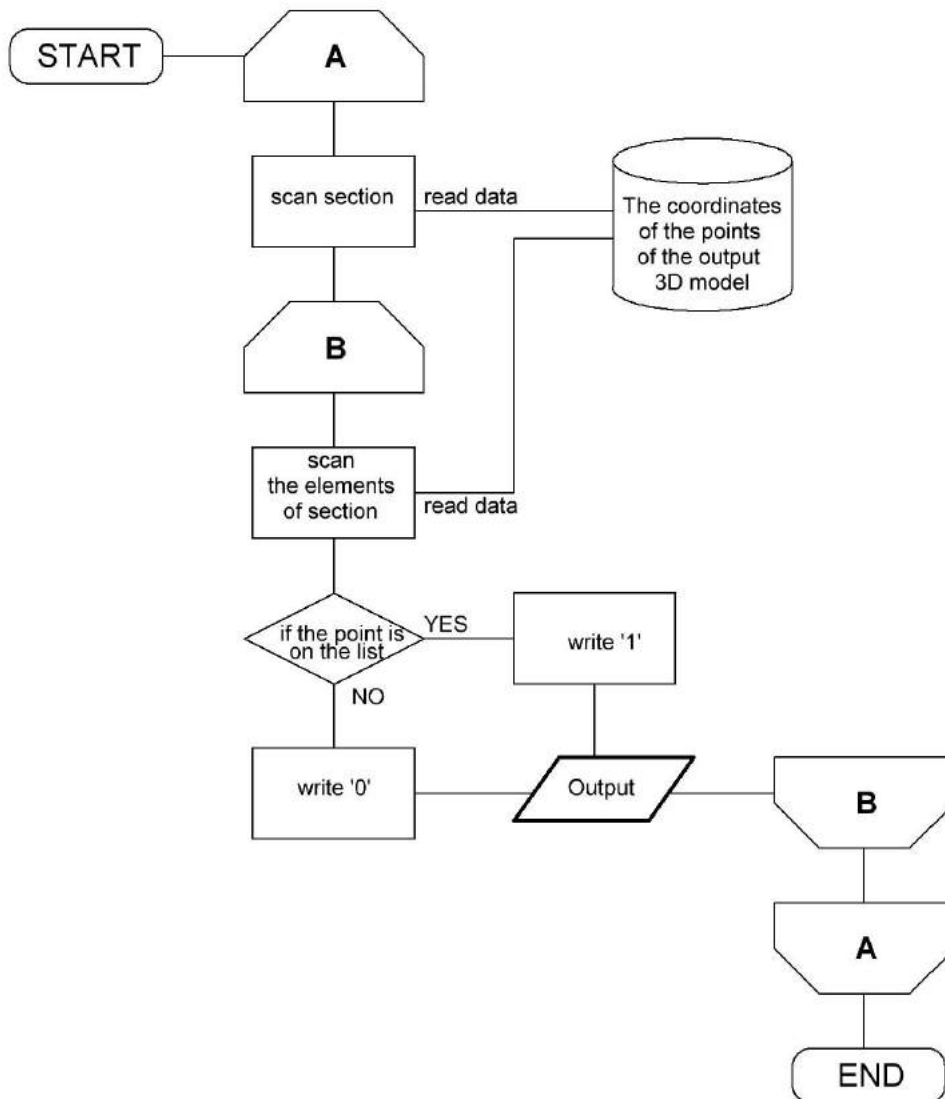


Рис. 5. Алгоритм виведення підготовленого графічного об'єкта на світлодіодну матрицю

У циклі «В» виконується оброблення/виведення одного 2D суб-кадру. Блок «scan the elements of section» виконує опрацювання даних про одну точку суб-кадру зображення (дані про яскравість та активність точки).

Умова «if the point is on the list» відповідає за активацію опрацьовуваної у даний момент точки, якщо точка є у переліку активних – то вона активується, спрацьовує блок «write '1'», що безпосередньо активує відповідний елемент світлодіодної матриці, у необхідний момент часу. У випадку якщо точки немає у переліку тих, що повинні активуватися то виконується блок «write '0'», що дезактивує певний елемент світлодіодної матриці до моменту початку побудови наступного суб-кадру де діятимуть вже інші умови активації елементів.

Блок «Output» відповідає за активацію обраних елементів світлодіодної

матриці, оскільки спосіб активації елементів, що використовує апаратне забезпечення, передбачає одночасну активацію всієї вертикалі (стовбець) або горизонталі (лінійка) для пришвидшення виведення та збільшення яскравості світіння елементів, за рахунок більшого часу світіння елементів, у порівнянні із по елементною активацією.

Якщо яскравість свічення світлодіодів не регулюється (можливі лише два стани – ввімкнений/вимкнений) то на кожен стовбець поступають лише біти керування станом безпосередньо з мікроконтролера МК. У такому випадку яскравість світіння всіх активних світлодіодів однакова, при цьому також використовується мінімальний потік даних, а сама 3D-модель займає відносно малий об'єм пам'яті, порівняно із об'ємом пам'яті, який займає 3D-модель із регулюванням яскравості світіння кожного елементу світлодіодної матриці.

Якщо передбачити регулювання яскравості світлодіодів (для формування високоякісного зображення), то мікроконтролер МК повинен передати для кожного світлодіода даного стовбця байт, що характеризує його яскравість. Цей байт поступає на відповідні канали багатоканального широтно-імпульсного модулятора (на рис. 1 ці широтно-імпульсні модулятори не показані). Кількість каналів багатоканального широтно-імпульсного модулятора визначається кількістю лінійок (стовбців), тобто максимальною кількістю світлодіодів, які можуть бути запалені у одному циклі.

Таким чином, при формуванні високоякісних динамічних зображень вимоги до апаратного забезпечення суттєво зростають. Також зростає об'єм пам'яті, яку займає підготовлена 3D-модель, що в свою чергу збільшує вимоги до пропускної здатності каналу передачі даних у випадку із безпроводною передачею даних 3D-моделі. Збільшення об'єму даних, займаних 3D-моделлю пов'язано також із необхідністю збереження інформаційних бітів яскравості світіння кожного із елементів. Для порівняння: якщо інформацію про активність елементу матриці можна представити одним бітом даних (0 – елемент неактивний, 1 – елемент активний), то інформація про яскравість світіння може вимагати вже кількох бітів даних, бо дві градації яскравості світіння вимагатимуть ще один інформаційний біт, чотири градації – два біти, вісім градацій – три біти. Тобто  $2^n$  градацій яскравості світіння вимагатимуть  $n$  бітів даних. А в загальному випадку кількість бітів, необхідних для збереження інформації про яскравість світіння однієї точки можна представити у такому ж вигляді -  $2^n$  (де  $n$  – кількість необхідних бітів даних), за умови, що перша (нульова) комбінація бітів (напр. 00b, при 4-х градаціях яскравості) відповідатиме неактивному елементу. Наприклад: якщо вимагається мати вісім градацій світіння, то для того, щоб визначити скільки бітів вимагається необхідно вирахувати в якому степені  $n$  число 2 дасть 8, у даному випадку  $n = 3$ , тобто для кодування 8-ми градацій яскравості (включно із неактивністю елемента) необхідно три біти даних для кожної точки відображуваної 3D-моделі.

На рис. 6 подано відображення елементарної 3D-моделі у вигляді двох частин витків вертикальної спіралі за допомогою макетного варіанта засобу віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів. Макетний варіант використовує світлодіодну матрицю із 50-ти світлодіодів АЛ307Б (5 стовбців по 10 світлодіодів) діаметром 3.2мм, червоного кольору. Фізичні розмірами матриці 7x5см.

*Забезпечення відтворення динамічних зображень.* При постійному відтворенні одного і того самого кадру отримуємо статичне 3D графічне просторове зображення. У такому випадку вимоги до передачі даних значно зменшуються, оскільки при цьому одноразово передані дані для побудови

одного 3D-кадру використовуються багаторазово впродовж всього часу відображення статичного кадру.

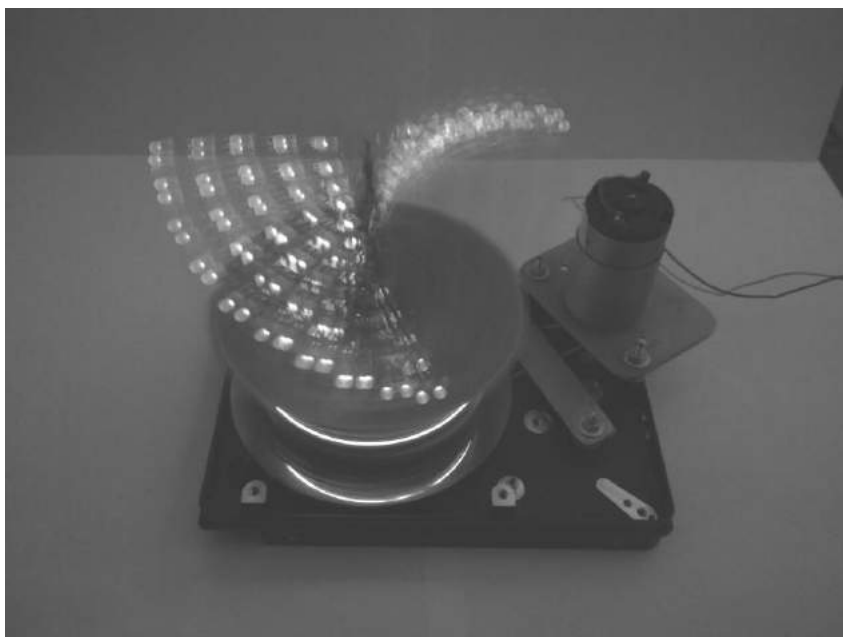


Рис. 6. Відображення елементарної 3D-моделі у вигляді двох половин вертикальної спіралі

Забезпечити відтворення динамічних зображень досить просто, оскільки ця можливість вже закладена в конструкцію пропонуваного засобу. Оскільки елементи світлодіодної матриці постійно періодично вмикаються та вимикаються впродовж всього часу роботи пристрою, це означає, що пропонуваний засіб постійно працює в динамічному режимі. У такому випадку для реалізації відтворення динамічних зображень достатньо при кожному новому обороті матриці відображати новий 3D-кадр, активуючи при цьому відповідні елементи відповідно до потреб відтворюваного при кожному оберті нового варіанту зображення. Технічно це реалізується за рахунок передачі нових даних на матрицю світлодіодів. При цьому можливі два випадки:

- 1) всі потрібні кадри завантажуються у пам'ять мікроконтролера МК, який перебирає їх послідовно;
- 2) кожен наступний кадр передається з комп'ютера ПК на мікроконтролер МК у режимі реального часу.

Перший варіант вимагає відповідного об'єму пам'яті. Її необхідний об'єм, наприклад, для матриці 20 x 10 світлодіодів при відтворенні 60 кадрів на секунду та статичному зображенні можна оцінити за формулою

$$m \cdot n \cdot s = 20 \cdot 10 \cdot 60 = 12000 \approx 12 \text{ кБ} .$$

де  $n$  та  $m$  – кількість світлодіодів у матриці по горизонталі та вертикалі, відповідно;  $s$  – кількість кадрів на кожен повний оберт матриці.

Такий об'єм постійної пам'яті (ROM) може забезпечити навіть дешевий 8-ми бітний мікроконтролер. Але слід відзначити, що така матриця світлодіодів забезпечить дуже низьку якість (роздільну здатність) зображення.

При відтворенні динамічного зображення необхідний об'єм пам'яті зростає у кількість відтворюваних кадрів разів. Через те, що на сьогодні мікросхеми Flash пам'яті доволі великого об'єму мають невисоку ціну, слід вважати перший метод перспективним. Тим більше, що для його виконання не ставляться великі вимоги до засобів зв'язку між мікроконтролером МК та комп'ютером ПК. Можливий варіант – завантаження всіх потрібних кадрів у пам'ять перед початком відтворення. Тоді навіть безпровідний зв'язок не потрібний – завантаження можна здійснити за допомогою провідного інтерфейсу перед ввімкненням двигуна, що обертає світлодіодну матрицю. Але у такому випадку можна обійтися взагалі без інтерфейсів – перед початком демонстрації (обертання двигуна) можна підключити до мікроконтролера МК Flash пам'ять з уже записаними кадрами. Для 100 хвилинної демонстрації із частотою 25 кадрів за секунду (така частота достатня для створення ілюзії 3D зображення) необхідно  $100 \times 60 \times 25 = 150000$  кадрів. При виконанні умов, заданих при оцінці статичного зображення, ці кадри вимагають  $150000 \times 12000 = 1,8 \times 10^9$  байт, тобто 1,8 ГБ. На сьогодні випускається Flash пам'ять значно більшого об'єму. Крім того, немає необхідності використовувати швидкісний інтерфейс. Задачею на майбутнє залишається лише створення програмного забезпечення для зчитування мікроконтролером МК пам'яті відповідного об'єму за рахунок її посторінкової організації.

Другий варіант не вимагає значного збільшення об'єму пам'яті для тривалих демонстрацій. Однак цей варіант вимагає достатньої пропускної здатності безпровідного інтерфейсу. Приблизно оцінити цю пропускну здатність для раніше заданих умов можна за формулою

$$m \cdot n \cdot s \cdot k = 20 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 25 = 300000 \text{ б/с} \approx 300 \text{ кБ/с},$$

де  $k$  – кількість кадрів, що демонструється за секунду.

Слід відзначити, що при проведеній оцінці пропускної здатності не врахована наявність службових бітів та проміжків між пакетами даних. Однак популярні безпровідні інтерфейси (Bluetooth, Zig-Bee) забезпечують значно більшу пропускну здатність, тобто є навіть запас пропускної здатності.

Суттєвою перевагою другого варіанту є можливість керування процесом відтворення динамічних графічних об'єктів у реальному часі. Це дозволяє керувати самим процесом відображення, зокрема, перемикаючи режими роботи (статичне/динамічне відображення), призупиняти процес відображення, перемикаючи статичні кадри та динамічні відеоряди, а також виконувати багато інших функцій з керування пропонованим засобом. Для реалізації функції керування достатньо забезпечити передачу відповідних даних на мікроконтролер. Це виконується програмними засобами персонального комп'ютера ПК, без потреби втручання в апаратне забезпечення.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.**

Розроблено засіб віртуального просторового відображення динамічних графічних об'єктів, який є простим і порівняно дешевим і не вимагає освоєння нових технологій. Він може бути використаний як при створенні рекламних засобів нового покоління, так і просторових моделей технологічних процесів.

До одного із напрямків подальших досліджень можна віднести оптимізацію методів опрацювання даних при підготовці зображень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Patent USA #354,636. Three Dimensional Display Device. Frederick A. Schwertz, Pittsford, N.Y., assignor to Xerox Corporation, Rochester, N.Y., a corporation of New York Filed Mar. 23, 1962.
2. Tate [Електронний ресурс]: SCULPTURE / Колектив Tate – URL: <https://www.tate.org.uk/art/art-terms/s/sculpture>
3. Kinephanos [Електронний ресурс]: New Mode of Cinema / Kristen M. Daly – URL: <https://www.kinephanos.ca/2009/new-mode-of-cinema-how-digital-technologies-are-changing-aesthetics-and-style/>
4. HOW IT WORKS [Електронний ресурс]: How do planetariums work? / HOW IT WORKS TEAM – 2016 – URL: <https://www.howitworksdaily.com/how-do-planetariums-work/>
5. Patent USA #3,632,866. THREE-DIMENSIONAL DISPLAY. Michael C. King Basking Ridge, N.J. assignee BellTelephone Laboratories, Incorporated Murray Hill, N.J. Oct. 22, 1969.
6. Trottier, D. Using immersive virtual reality and anatomically correct computer-generated characters in the forensic assessment of deviant sexual preferences / Dominique Trottier, Patrice Renaud, Joanne-Lucine Rouleau, Mathieu Goyette, Chantal Saumur, Tarik Boukhalfi, Stéphane Bouchard // International Journal Virtual Reality – 2015, №19.
7. Cruz E. An augmented reality application for improving shopping experience in large retail stores / Edmanuel Cruz, Sergio Orts-Escolano, Francisco Gomez-Donoso, Carlos Rizo, Jose Carlos Rangel, Higinio Mora, Miguel Cazorla // International Journal Virtual Reality – 2018, №11.
8. Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., Ivkovic, M. (2011) Augmented reality technologies, systems and applications. Multimed Tools Appl 51(1):341–377.
9. Faust, Fernanda Gomes. Correction to: Mixed prototypes for the evaluation of usability and user experience: simulating an interactive electronic device / Fernanda Gomes Faust, Tiago Catecatilsabella de Souza, Sierra Fernanda Steinbruch, Araujo Alejandro, Rafael Garcia, Ramirez Elton, Moura Nickel, Marcelo Gitirana, Gomes Ferreira // International Journal Virtual Reality – 2018, №2.
10. Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z., Hui, P. (2017) Mobile augmented reality survey: from where we are to where we go. IEEE Access 5:6917–6950. ISSN 2169-3536.
11. Hui, Zhang. Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry / Zhang Hui // International Journal of Mining Science and Technology – 2017, № 27.
12. Rauschnabela, Philipp A. Antecedents to the adoption of augmented reality smart glasses: A closer look at privacy risks / Philipp A. Rauschnabela, Jun He, Young K.Ro // Journal of Business Research – 2018, №92.
13. Coburn, Joshua Q. A Review of the Capabilities of Current Low-Cost Virtual Reality Technology and Its Potential to Enhance the Design Process / Joshua Q. Coburn, Ian Freeman and John // Journal of Computing and Information Science in Engineering – 2017, №17.
14. Martin, T.B. Tactile gloves for autonomous grasping with the NASA/DARPA Robonaut / T.B. Martin, R.O. Ambrose, Myron Diftler, R. Platt Jr // Conference Paper in Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation January 2004.
15. Zhu, Ce. 3D-TV System with Depth-Image-Based Rendering / Ce Zhu, Yin Zhao, Lu Yu, Masayuki Tanimoto // Book – 2013.
16. Patent USA #6,115,006. Gregory R. Brotz, ROTATING DISPLAY DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING A THREE-DIMENSIONAL REAL IMAGE. Sep. 5, 2000.
17. Patent USA #7,098,872. Zheng J Geng, METHOD AND APPARATUS FOR ANINTERACTIVE VOLUMETRIC THREE DIMIENSIONAL DISPLAY. Aug. 29, 2006.
18. Integral [Електронний ресурс]: STADIUM LED SCREEN / Колектив Integral – 2018 - URL: <https://www.ledscreenpanels.com/stadium-led-screen/>
19. Patent USA #9,984,605. Sherry Berjeron. Wearable display. May 29, 2018
20. Patent USA #4,160,973. Edwin P. Berlin, Jr., Huntington. THREE-DMENSONAL DISPLAY. Jul. 10, 1979.
21. Patent USA # 9,390,643. Rufus Butler Seder. ROTATABLE ANIMATION DEVICES WITH STAGGERED LLUMINATION SOURCES. Jul. 12, 2016.
22. Wikipedia [Електронний ресурс]: Bluetooth / Колектив Wikipedia – URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
23. Wikipedia [Електронний ресурс]: ZigBee / Колектив Wikipedia – URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>



<https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

24. Wordpress [Електронний ресурс]: Wireless Energy Transfer By Using Electromagnetic Induction / Satu Tanggapan – 2010 – URL: <https://muhammadaltway.wordpress.com/2010/10/18/wireless-energy-transfer-by-using-electromagnetic-induction/>

25. Steuer, J. (1992) Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. J. Commun., 42(4), pp. 73–93.

26. Blender 3d [Електронний ресурс]: Моделирование низкополигонального динозавра Артём Гильванов – 2014 – URL: <https://blender3d.com.ua/modelirovaniye-nizkopolygonalnogo-dinozavra-v-blender/>

27. Huang, F.-C. , Chen, K. , and Wetzstein, G. (2015). The Light Field Stereoscope: Immersive Computer Graphics Via Factored Near-Eye Light Field Displays With Focus Cues, ACM Trans. Graphics, 34(4), pp. 60:1–60:12.

28. Bochenek, G. M. , and Ragusa, J. M. (2004). Improving Integrated Project Team Interaction Through Virtual (3D) Collaboration, Eng. Manage. J., 16(2), pp. 3–12.

Рецензент статті  
д.т.н., проф. Бушуев С.Д.

Стаття рекомендована до  
публікації 18.09.2018 р.

УДК 005.8

**В.А. Ситник, П.О. Тесленко, Д.І Бедрій, О.І. Шерстюк**

### **УПРАВЛІННЯ ПРОТОТИПУВАННЯМ ТА РИЗИКАМИ ІТ-ПРОЕКТІВ З ВІДКРИТИМ КОДОМ**

Запропонована методика аналогового моделювання ІТ-проектів. Методика теоретично обґрунтована та дозволяє на ранніх етапах прогнозувати час та вартість майбутнього проекту. Визначено критерії обґрунтування вибору ІТ-проекту з відкритим кодом, створено життєвий цикл вибраного класу проектів. Сформульовано алгоритм застосування теорії подібності для визначення часу прототипування проекту. Визначено ризики відкриття коду, шляхи їх розв'язання та обсяги планування. Методика може бути застосована при створенні нових ІТ-проектів різних класів. Дж. 25.

Ключові слова: управління ІТ-проектами, теорія подібності, системний аналіз, критеріальне рівняння, життєвий цикл, аналіз розмірностей, управління ризиками ІТ-проектів, об'єм планування.

JEL O220

**Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами.** Управління проектами розробки програмного забезпечення з відкритим кодом на даний момент стало великим полем як наукової, так і практичної діяльності. В галузі створення програмного забезпечення задіяно понад два мільйони інженерів по всьому світу, 20% яких становлять менеджери. В Україні за оцінками асоціації "ІТ-України" кількість інженерів і менеджерів на 2017 рік становить 175 тис. осіб, до того ж кожен рік навчальні заклади випускають понад 13 тисяч фахівців. До цього, приблизно 38% всіх розробників беруть участь у ІТ-проектах створення програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом.

У зв'язку з такою популярністю програмних проектів з відкритим кодом і їх значенням для індустрії розробки програмного забезпечення виникає необхідність володіти знаннями з їх управління. Однак останні дослідження були спрямовані лише на опис моделі і на дослідження конкретних випадків її