

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Ільїн Максим Анатолійович

УДК 621.397.44

**ТЕЛЕВІЗІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИМ
СЕРЕДОВИЩЕМ ПРИ СТУДІЙНИХ ВІДЕОЗЙОМКАХ**

05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Коритцев Ігор Васильович,

Харківський національний університет

радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України,

доцент кафедри радіоелектронних систем.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Гороховатський Володимир Олексійович,

Харківський інститут банківської

справи Університету банківської справи

Національного банку України,

завідувач кафедри інформаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент, професор

Усс Михайло Леонтійович,

Національний аерокосмічний університет

імені М.Є. Жуковського «ХАІ» Міністерства освіти і науки

України, завідувач кафедри проектування радіоелектронних

систем літальних апаратів.

Захист відбудеться “04” червня 2014 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 66166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 66166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий “30” квітня 2014 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради _____

В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основною перевагою вимірювальних оптико-електронних систем є висока точність дистанційного вимірювання лінійних та кутових переміщень об'єктів як у діапазоні хвиль денного світла, так і вночі – у діапазоні інфрачервоних хвиль. Ця обставина визначила широке застосування цифрових телевізійних систем у виробництві, космічних дослідженнях, робототехніці та у навчальних тренажерах різного призначення. Матричний оптоелектронний перетворювач цифрової телевізійної камери дозволяє з точністю до кількох міліметрів та кутових хвилин визначити відповідні переміщення об'єктів у площині паралельній матриці перетворювача. Однак є ряд задач, пов'язаних з необхідністю визначення переміщень об'єктів у тривимірному просторі, наприклад, при керуванні переміщенням вантажів, роботів, механізмів, а в телебаченні є важлива задача керування віртуальним середовищем залежно від переміщення студійної телевізійної камери та її кутів зйомки. Існуючі методи вимірювання параметрів руху студійної камери (СК) для керування віртуальним середовищем містять різноманітні контактні давачі переміщень та обертання СК, складне та коштовне апаратно-програмне забезпечення. Відома фірма Ograd використовує метод оптичного розпізнавання шаблону для вимірювання координат СК. Цей метод оснований на аналізі оптичної сітки, яка нанесена на стіни телевізійної студії. Незважаючи на деякі переваги цієї системи, вона має один великий недолік, сітка має бути постійно у фокусі СК. Система Brainstorm ESTudio іспанської фірми DIGIMEDIA використовує рухомий п'єдестал, що повністю обмежує керування віртуальним середовищем і має тільки два ступеня свободи. Таким чином, існує необхідність створення методу визначення координат СК, який дозволив би дистанційно визначати тривимірні координати з урахуванням нахилу або обертання СК, незалежно від її положення і налаштувань.

Це визначає актуальність теми дисертаційних досліджень, спрямованих на розробку методу та телевізійної системи для визначення переміщень об'єкта в обмеженому тривимірному просторі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з плановою науково-дослідною роботою №260-3 «Дослідження потенційних можливостей ефективного функціонування мережних реконфігурованих інформаційно-вимірювальних систем екологічного моніторингу» (№ ДР0111U002903), яка виконувалась у Харківському національному університеті радіоелектроніки відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України (у якій здобувач був виконавцем).

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертації є розробка методу функціонування вимірювальної телевізійної системи для керування віртуальним середовищем при відеозйомці на телецентрах та створення на базі розробленого методу самої системи.

Для досягнення мети в роботі були висунуті такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів і систем керування віртуальним середовищем при студійних відеозйомках.

2. Розробити та експериментально перевірити методику та алгоритм синхронного керування альфа-каналом та рир-проекцією віртуального середовища.

3. Обґрунтувати метрологічні властивості багатопозиційної телевізійної системи з матричними перетворювачами світло-напруга.

4. Розробити метод визначення переміщення знімальної студійної відеокамери з інфрачервоними (ІЧ) маркерами та математично його обґрунтувати.

5. Побудувати алгоритм моделювання процесу визначення переміщень студійної відеокамери за даними багатопозиційної телевізійної системи (ТВС) за різних умов зйомки.

6. Дослідити якість керування віртуальним середовищем за об'єктивними критеріями.

7. Дослідити можливість використання радіомережі для синхронізації багатопозиційної ТВС та передачі відеоінформації зі стисненням.

Об'єкт дослідження – процес керування віртуальним середовищем студії телецентру синхронно зі зміною положення телевізійної СК у тривимірному просторі.

Предмет дослідження – метод вимірювання переміщень СК з інфрачервоними маркерами за даними багатопозиційної телевізійної системи.

Методи дослідження. В ході виконання дисертаційної роботи використовувалися такі методи: методи епіполярної геометрії та математичного моделювання, лінійної алгебри, методи комп'ютерного статистичного моделювання сигналів і систем.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі отримано такі результати:

1. Вперше в багатопозиційній ТВС застосовано метод матричного перетворення двовимірних координат з растрів цифрових відеокамер у тривимірні координати рухомого об'єкта, що дозволило провести моделювання ТВС та її оптимізацію.

2. Розроблено нову методику обробки цифрових відеозображень маркерів розташованих на СК у ТВС, яка відрізняється від існуючих можливістю здійснити окрему ідентифікацію кожного маркеру для точного слідкування за студійною камерою, без обмеження на їх кількість, спектр випромінювання та розміри.

3. Розроблено новий метод синхронізації декількох вимірювальних камер багатопозиційної ТВС, який на відміну від відомих, не потребує додаткових дротових ліній зв'язку та додаткових блоків синхронізації, і за допомогою радіоканалу дозволяє однозначно співвідносити отримані від них зображення.

4. Удосконалено принципи побудови багатопозиційної ТВС для вимірювання координат рухомого об'єкта та розроблено новий метод слідкування за студійною камерою з метою керування віртуальним середовищем при відеозйомках.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для модернізації існуючих та в ході розробки нових віртуальних студій.

1. Розроблений метод розрахунку координат точок переміщення СК та кутів її орієнтації, заснований на багатоканальному відеоспостереженні за СК, дозволяє:

обчислити координати точок переміщення СК у тривимірному просторі студії;

обчислити кути орієнтації СК у горизонтальній та вертикальній площинах, а також кут крену СК;

сформувані команди керування на зміну складу рір - проекції та альфа-каналу віртуального середовища.

2. Розроблені структурно-функціональна схема вимірювальної ТВС та алгоритми дозволяють впровадити систему керування віртуальним середовищем у малобюджетні телевізійні студії.

3. Розроблений метод розрахунку координат точок переміщення може бути застосований також для інших об'єктів, наприклад, роботів, транспорту, тренажерів, тощо, в ході їх обладнання інфрачервоними маркерними пристроями.

4. Використання радіотехнології Wi-Fi новітнього стандарту для автоматичної синхронізації вимірювальних камер ТВС та передачі відеоінформації для обробки дозволяє використовувати систему в умовах відсутності дротового живлення.

5. Розроблені методи та алгоритми впроваджені в ХНУРЕ (№260-3), а також у навчальний процес на кафедрі «Радіоелектронні системи» та в наукові дослідження НТЦ АН ПРЄ, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Обґрунтованість і достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі, забезпечується та підтверджується коректним використанням методів епіпольярної геометрії та математичного моделювання; відповідністю результатів моделювання і розрахунків за допомогою розроблених методів з результатами досліджень інших авторів, результатами експерименту, а також впровадженням розроблених моделей і методів.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати, які викладені у дисертації, отримано здобувачем самостійно або за його безпосередньою участю. У роботі [1] здобувачем проведено аналіз існуючих систем слідкування за рухомими об'єктами та методами оцінки їх координат та запропоновано алгоритм оцінки координат рухомого об'єкта на основі вимірювання переміщень та кутів поворотів ІЧ маркерів. У роботі [2,4,5] здобувачем наведено метод визначення координат рухомого об'єкта за допомогою визначення координат ІЧ маркерів. У роботі [3] здобувач брав участь у знаходженні виразів для побудови алгоритмів реставрації зображень з малою кількістю математичних операцій, проведенні розрахунків та аналізі отриманих результатів. У патентах [6,7] здобувач брав участь у розробці корисної моделі, де були впроваджені і застосовані результати його експериментів і математичних розрахунків.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації були представлені, доповідалися й обговорювалися на міжнародних конференціях і фору-

мах, а саме на: 12-му Міжнародному молодіжному радіоелектронному форумі "Радіоелектроніка й молодь" (м. Харків, 2008 р.), 4-му Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011 (Харків, 2011), на 1-й науково-практичній конференції "Современные технологии кино" (Шахтарск, 2013).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць. Серед них 4 – статті, опубліковані у фахових наукових виданнях, які включені до переліку ДАК України, 1 стаття у закордонному журналі 4 – матеріали міжнародних форумів і конференцій, 2 патенти на корисні моделі.

Структура дисертаційної роботи

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел. Загальний обсяг складає 118 сторінок, з них 102 сторінок основного тексту. Дисертація містить 34 рисунки і три таблиці. Список використаних джерел нараховує 106 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень. Визначено наукову новизну роботи та її практичне значення, наведено дані про особистий внесок автора в роботах, виконаних самостійно та в співавторстві, апробацію результатів дисертації та відомості про публікації за темою дисертації.

У першому розділі надано опис стереоефекту, на якому заснована робота систем спостереження за рухомими об'єктами, існуючі технології визначення об'єктів у просторі, у тому числі види систем і принципи роботи систем, які використовуються для визначення положення телевізійної відеокамери в студії, показано актуальність розробки нової системи спостереження.

У першій частині наведено особливості побудови систем спостереження й дано опис їх основних елементів. Призначення систем спостереження за об'єктом полягає в тому, щоб забезпечити користувачів або групу користувачів — вчених, інженерів, дизайнерів — координатами реального об'єкта, що дає можливість працювати з віртуальним робочим простором, у якому вони можуть спостерігати, досліджувати й створювати в реальному часі необхідні їм віртуальні об'єкти. Більшість систем стеження мають подібну апаратурну конфігурацію. Насамперед це графічний оброблювач, тобто спеціально розроблене для створення стереоскопічних зображень програмне забезпечення. Наступним обов'язковим елементом є проєкційна система, яка відображає перелічену сцену на екран. Пристрій спостереження, що вимірює положення й орієнтацію об'єкта, дозволяє графічному оброблювачеві обчислювати перспективно правильне зображення для будь-якого положення об'єкта в просторі, а користувачеві надає можливість інтерактивної роботи з даними.

У другій частині розглянуто застосування системи спостереження за СК у віртуальній студії, розглянуто принципи роботи віртуальних студій, описано існуючі технології сполучення віртуального й реального простору за допомогою системи стеження за СК.

У третій частині введено визначення системи спостереження, описано основні параметри систем, розглянуто існуючі системи спостереження й принципи їх роботи. Зроблено детальний опис, порівняння й аналіз переваг і недоліків різних систем спостереження за положенням СК. Описано основні проблеми, які виникають при створенні таких систем. Наведено класифікацію існуючих систем спостереження. Насамперед вони підрозділяються на механічні, магнітні, неінерційні, оптичні, акустичні, інерційні. Показуються слабкі й сильні місця цих технологій. Зазначено виробники деяких популярних комерційних систем спостереження і їх технічні характеристики.

У четвертій частині описується взаємодія людини з віртуальним середовищем, описано технічні системи використовувані в різних віртуальних студіях, для того щоб можна було визначати положення людини відносно об'єкта спостереження. У деяких системах використовуються світлові плями, деякі системи визначають взаємоположення реальних і віртуальних об'єктів з використанням додаткової камери відеоспостереження.

У п'ятій частині описано існуючі студії віртуальної реальності, наводяться переваги кожної й недоліки, описуються й обґрунтовуються технічні вимоги до систем спостереження для визначення положення студійної камери та синхронної роботи з нею системи віртуальної реальності, за якими авторіві вдалося сформулювати концепцію нової системи спостереження й вимоги до неї.

В другому розділі наведено математичні моделі відстеження переміщень маркерів за даними оптоелектронної системи, заснованої на геометрії декількох проєкцій та використовуваної для оптичного трекінгу в ході створення анімації, комп'ютерного зору й реконструкції тривимірної сцени.

У першій частині описується модель камери обскури, точкоподібний отвір якої фокусує промені світла на звороті напівпрозорої площини. У такий спосіб тривимірні (3D) точки можна проєціювати на двовимірну (2D) площину і за допомогою простої моделі описати перспективне перетворення. Розглядаються проєкційна матриця, внутрішні й зовнішні параметри камери.

У камері обскури координати виражаються відношеннями

$$\frac{X}{u} = \frac{Z}{f}, \quad \frac{Y}{v} = \frac{Z}{f}. \quad (1)$$

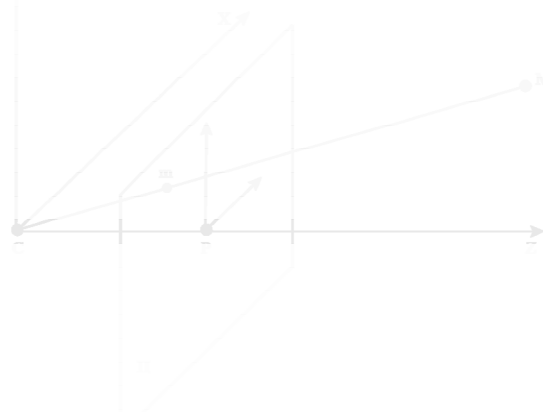


Рис. 1. Проєціювання точки на двовимірну площину

Модель камери обскури (рис. 1) дозволяє отримати перехід із тривимірного простору у двовимірний

$$M = (X, Y, Z)^T \rightarrow m = (x, y)^T = (f \cdot X / Z, f \cdot Y / Z)^T \quad (2)$$

Перехід точки із тривимірного простору у двовимірний виглядає, як

$$m = PM, \quad (3)$$

де матриця проєкції камери P містить і враховує внутрішні параметри камери. Для цього вона виражена через матрицю калібрування, яка надалі дуже важлива для калібрування камер системи

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де f – фокусна відстань, u_0 та v_0 – координати центру матриці камери.

При переході від тривимірних координат до двовимірних необхідно врахувати вектори обертання R й переміщення C між координатними системами

$$t = -RC \quad (5)$$

Радіальні викривлення, які виникають за рахунок об'єктива, враховуються за допомогою виразів

$$u_{d,i+1} = \frac{u_{d,i+1} + u_0(k_1 r_i'^2) + k_2 r_i'^4}{k_1 r_i'^2 + k_2 r_i'^4}, \quad (6)$$

$$v_{d,i+1} = \frac{v_{d,i+1} + v_0(k_1 r_i'^2) + k_2 r_i'^4}{k_1 r_i'^2 + k_2 r_i'^4}, \quad (7)$$

де $u_{d,0} = u_d$; $v_{d,0} = v_d$; $r_i' = \sqrt{x_{d,i}^2 + y_{d,i}^2}$; $(x_{d,i}, y_{d,i})^T = K^{-1}(u_{d,i}, v_{d,i})^T$.

У другій частині наведено математичний опис 3D реконструкції. Аналізується, як з отриманих точок 2D зображень з різних камер системи стереозору при їхніх відомих проєкційних матрицях отримати положення точки в 3D просторі.

Розглядаються два методи відновлення координат – метод найменших квадратів

$$M = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (8)$$

і метод ітераційно-найменших квадратів

$$J_1 = \sum_{i=0}^N \left\| w_i \begin{bmatrix} v_i p_i^3 - p_i^2 \\ u_i p_i^3 - p_i^1 \end{bmatrix} \right\|^2 \quad (9)$$

У третій частині описано математичні моделі тривимірного переміщення набору точок.

У третьому розділі розглядається розроблена автором багатопозиційна ТВС. Спочатку подаються етапи створення системи: насамперед це вибір і конфігурування узгоджено працюючого апаратного забезпечення; після цього описуються основні модулі й структура програмного забезпечення. Наступні етапи — калібрування камер, створення інтерфейсу до середовища розробки програми віртуальної реальності.

Щоб зменшити вплив навколишнього освітлення на роботу системи, був обраний інфрачервоний (ІЧ) діапазон. ТВС базується на трьох відеокамерах, чутливих в ІЧ діапазоні і обладнаних фільтрами, що зменшують потік видимого світла. Камери за допомогою оптоелектронних перетворювачів (L/U) передають зображення ІЧ маркерів, які закріплені на об'єкті спостереження, цифровими сигналами через WIFI модуль до комп'ютера (рис. 2).

Для синхронізації використовується та ж радіомережа зв'язку ТВС, що і для передачі основних даних. У мережі створено один майстер синхросигналів, який отримує від зовнішнього джерела точний час. Цей майстер розсилає по мережі ТВС короткі синхросигнали, що забезпечує синхронну роботу відеокамер. Як маркери були обрані ІЧ світлодіоди, на базі яких автором було створено пристрій для трекінгу. ТВС відслідковує одночасно переміщення шести маркерів.

Маркери для керування віртуальним середовищем закріплені на СК, що дозволяє визначити її переміщення у тривимірному просторі, а також кути повороту в горизонтальній і вертикальній площинах і кут "крену". Принципових обмежень для збільшення кількості маркерів не має, збільшення їхньої кількості поліпшує точність системи, але ускладнює обробку інформації. ТВС може включати безліч відеокамер для покриття великого простору й для більш точного визначення координат об'єктів, що перебувають у межах видимості камер. Камери забезпечуються об'єктивами з фіксованою фокусною відстанню. Об'єktiv вибирається залежно від конкретного завдання, більш широкий кут огляду дозволяє спостерігати за більшим простором і зменшити кількість камер у системі, але при цьому широкий кут об'єктива збільшить викривлення, що призведе до збільшення похибки й складності калібрування камер. Пристрій обробки інформації ідентифікує кожний маркер і сортує розраховані координати центрів засвічень за їхньої приналежності до певного маркера. У кожній камері здійснюється перетворення 3D координат об'єкта у 2D координати на площині зображення фоточутливої матриці. Зіставляються дані з усіх камер і реконструюються координати об'єкта, що відслідковується, в 3D просторі. Далі відбувається також оцінка переміщення й обертання об'єкта.



Рис. 2. Структурна схема багатопозиційної телевізійної системи

Взагалі послідовність реконструкції тривимірної точки така:

1. Насамперед проводиться пошук яскравих плям, створених інфрачервоними пристроями.
2. Обчислюються координати центрів плям з компенсацією викривлень, внесених об'єктивом камери:

$$\bar{u} = \frac{\frac{1}{K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K jF(j,k)}{\frac{1}{K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F(j,k)} \quad \bar{v} = \frac{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K kF(j,k)}{\frac{1}{K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F(j,k)}. \quad (10)$$

3. Проводиться пошук відповідних один одному центрів на зображеннях із трьох камер

$$M = (A^T A)^{-1} A^T b . \quad (11)$$

4. Якщо відповідні точки знайдені хоча б на двох камерах, проводиться реконструкція 3D координат цієї точки. При цьому використовується інформація про локальні точності реконструкції, залежної від розташування камер.

Для синхронізації камер та ідентифікації маркерів між собою, щоб система могла відрізнити один маркер від іншого, автором був розроблен алгоритм ідентифікації.

Ідентифікація маркерів може бути здійснена за першим їхнім послідовним включенням й далі контролюється по ідентифікаційних областях маркерів (рис.3). Розміри ідентифікаційних областей маркерів вибираються в блоці синхронізації залежно від швидкості руху об'єкта, щоб координати нових положень маркерів не виходили за межі своїх областей. При можливому перекритті двох областей ідентифікація маркерів здійснюється згідно з векторам їх руху. Якщо якусь мить не можливо ідентифікувати маркери, що мало ймовірно, то їх координати не беруть участь в розрахунках 3D координат об'єкта.



Рис.3. Ідентифікаційні області маркерів

Після включення, у кожному наступному кадрі (рис.4) пристрій обробки інформації визначає нові координати центрів плям засвічування маркерів, ідентифікує засвічування маркерів за їхнім знаходженням у відповідних ідентифікаційних областях попереднього кадру й переміщає ці області для розташування їх центрів у точках растра з новими координатами центрів засвічувань відповідних маркерів з метою проведення подальших оцінок координат маркерів. У результаті визначаються поточні координати центрів засвічування усіх маркерів і здійснюється їх ідентифікація. Для прискорення ідентифікації автором було розроблено алгоритм, заснований на пророкуванні положення плями, почавши його в місці найбільш імовірної появи плями при різних обмеженнях, виявлених експериментальним шляхом.

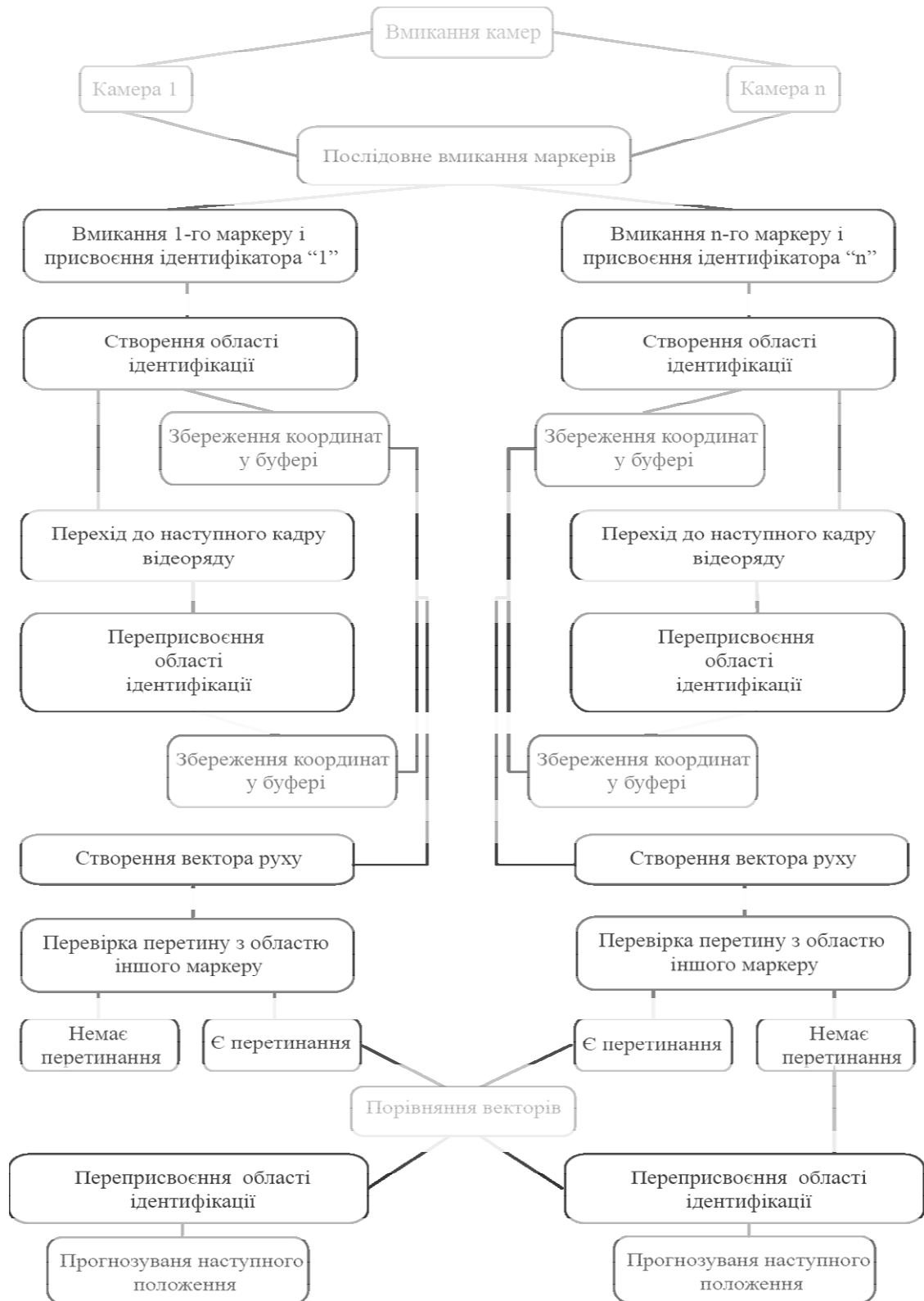


Рис. 4. Алгоритм ідентифікації маркерів

У четвертому розділі наведено методику калібрування камер, описано основні методи оцінки роботи системи спостереження, наведені розроблені автором методики оцінки надійності й визначення затримки оптичної системи трекінгу.

У першій частині формулюється завдання калібрування камери, що полягає в обчисленні внутрішніх і зовнішніх параметрів камери залежно від моделі. Докладно наведено методи прямого лінійного перетворення й Р. Цая, які використовувалися автором.

Калібрування камер проводилося у два етапи за допомогою калібрувальної цілі, яка є кубом з розподіленими всередині нього на спеціальних ребрах точками з відомими координатами.

На першому етапі обчислювалися внутрішні параметри камери, а саме фокусна відстань, коефіцієнт радіального викривлення, центр радіального викривлення, масштабні коефіцієнти. На другому етапі обчислювалися зовнішні параметри камери — параметри зсуву й обертання.

При кожній зміні положення камери потрібно калібрувати камеру заново, хоча міняються тільки зовнішні параметри. Але, як показали дослідження, перший етап калібрування не вимагає повторення при зміні положення камери і є більш складним і тривалим процесом. Тому, проробивши перший етап калібрування тільки один раз, при зміні положення камери можна застосовувати тільки калібрування за другим етапом, зберігаючи високу точність реконструкції.

У другій частині було проведено технічний аналіз ТВС, основна увага приділялась точності реконструкції, стійкості до похибок визначення 2D координат, швидкості реакції системи й робоча область. Крім того, важливо було порівняти працездатність систем, що використовують три й дві камери.

Точність реконструкції й робоча область були обмірювані автором безпосередньо. При цьому для визначення точності вимірюлося середньоквадратичне відхилення реконструйованої відстані між двома жорстко закріпленими маркерами. Точність реконструкції й робоча область показані на рис.5.

У роботі показано, що подовжні похибки реконструкції e_r не залежать від фокусної відстані f , стереобазиса b , точності визначення центрів світлових плям e_p і відстані r від об'єкта, що відслідковується, до лінії, що з'єднує камери, $e_r \approx \frac{r^2 e_p}{fb}$. На великій відстані від камер з визначеною розподільною здатністю

зменшується сигнал світлодіодів, у результаті чого збільшуються помилки реконструкції. Тому допустимою відстанню між студійною камерою й камерами спостереження, є відстань від двох до чотирьох метрів.

Локальні помилки реконструкції оцінені за допомогою зворотного проектування, тобто обчислення за допомогою матриці проективного перетворення 2D координат зображень точок на камері за їхніми реконструйованими 3D координатами. Стійкість до помилок визначення 2D координат визначається двома способами. Обчислювалася коваріаційна матриця, що зв'язує похибки визначення 2D координат з похибками визначення 3D координат при диференціюванні рівняння (8) по частинними похідними. Стійкість вимірює також експериментально шляхом додавання нормально розподіленого шуму до вхідних параметрів і обчислення кінцевих значень цих параметрів. Допустима похибка реконструкції, визначена шляхом обчислення відношення успішно реконструйованих кадрів (тобто таких кадрів, де похибка реконструкції не перевищує за-

дану) до загальної кількості кадрів. Чим ближче це ставлення буде до одиниці, тим вище буде точність системи. Використання трьох камер дозволяє за рахунок додаткової інформації про маркери збільшити точність реконструкції 3D координат. Шляхом аналізу та реконструкції деяких характерних рухів камери, було встановлено, що у трикамерній системі істотно менша кількість кадрів, де реконструкція неможлива і де похибка реконструкції перевищує допустиму.

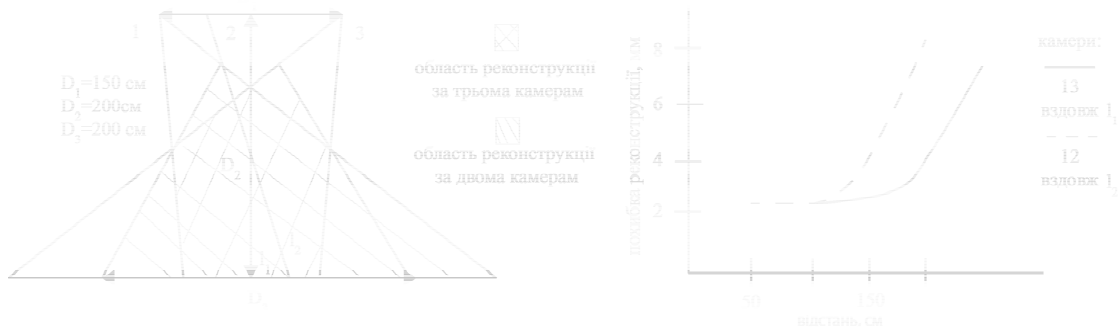


Рис. 5. Робоча область (ліворуч) і точність реконструкції (праворуч)

Запізнювання системи показує, наскільки швидко система спостереження реагує на переміщення об'єкта. Припустимим значенням запізнювання є величина менш 100 мс. Були проаналізовані параметри, які викликають затримку. Загальне запізнювання системи складається з таких затримок: затримка реєстрації сигналу від випромінювачей камерами, затримка за рахунок стиснення відеоінформації та її передачі по радіоканалу до пристрою обробки зображення, затримка при передачі зображень з камер програмному забезпеченню, затримка під час обробки зображень і реконструкції позиції й орієнтації, затримка даних при передачі їх віртуальній камері. Для виміру загальної затримки автором використовувався спеціально розроблений пристрій, що формував імпульс у момент засвічування маркеру і подавав його на вхід двопроменевого осцилографа, інший вхід з'єднувався з послідовним сервера трекінгу, який був запрограмований на генерацію імпульсу при одержанні реконструйованих даних. За різницею між імпульсами визначалася загальна затримка системи, що склала 60 мс.

Компенсація затримки має бути виконана введенням додаткової затримки у тракт студійної відеокамери.

Похибки зворотнього проектування обчислено для точок, використаних при калібруванні, щоб переконатися в її якості. Для якісного калібрування така похибка має бути суттєво менше розміру пікселя.

У цілому точність системи визначається точністю її калібрування, яку можливо охарактеризувати нормалізованою похибкою калібрування (NCE)

$$NCE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_{ri} - x_i)^2 + (y_{ri} - y_i)^2}{z_{ri}^2 (\alpha_u^{-2} + \alpha_v^{-2}) / 12} \right)^{1/2}, \quad (12)$$

де α_u й α_v — масштабні коефіцієнти, помножені на фокусну відстань, (x_{ri}, y_{ri}, z_{ri}) — реконструйовані, а (x_i, y_i, z_i) — реальні 3D координати i -ї точки (при цьому координати x_{ri}, y_{ri} обчислюються як точки перетинання променя зворотного проектування із площиною $z_{ri} = z_i$). Значення NCE трактуються в такий спосіб: $NCE \ll 1$ свідчить про те, що похибка реконструкції значно менше вкладу шуму в реконструкцію на даній відстані; $NCE \sim 1$ — про якісне калібрування, коли залишкові викривлення зневажливо малі; $NCE \gg 1$ — про погане калібрування. NCE в експериментальних калібруваннях був рівний 1, що було показником досить точного калібрування системи. Із зростанням кількості каліброваних точок значення NCE може як збільшуватися, так і зменшуватися, залежно від якості каліброваних даних. Якщо визначити точки, які вносять найбільшу похибку в калібрування й виключити їх з неї, то можна поліпшити точність калібрування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу визначення тривимірних координат рухомих об'єктів (з урахуванням їх нахилу та обертання) методом багатоканального відеоспостереження за об'єктом, що дозволило дистанційно відстежувати координати СК для керування віртуальним середовищем або відстежувати координати будь-якого об'єкта для подальшого вирішення більш складної задачі.

При цьому отримано такі наукові і практичні результати:

1. Були визначені переміщення СК та кутів її обертання за даними відеоспостережень у рознесеній багатопозиційній ТВС.
2. Застосовано метод матричного перетворення тривимірних координат рухомого об'єкта у двовимірну площину растра цифрової відеокамери.
3. Вдосконалено методику вимірювання лінійних та кутових переміщень СК за рахунок використання просторово рознесених відеоканалів ТВС та інфрачервоних маркерів на СК.
4. Розроблено математичну модель просторово рознесеної ТВС, яка на відміну від існуючих спроможна визначати усі координати точок лінійних переміщень СК та її кутову орієнтацію.
5. Розроблено алгоритм ідентифікації маркерів між собою, що дозволяє відстежувати кожний маркер окремо один від одного і дозволяє прогнозувати наступне положення маркеру.
6. Розроблено метод синхронізації вимірювальних камер багатопозиційної ТВС та передачі їх відеоінформації з високою розподільною здатністю на базі радіотехнології Wi-Fi новітнього стандарту.
7. Розроблено методи та алгоритми, які впроваджені в ХНУРЕ (№260-3), а також у навчальний процес на кафедрі «Радіоелектронні системи» та в наукові дослідження НТЦ АН ПРЄ, що підтверджується відповідними актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ильин М.А. Оценка координат подвижных объектов с инфракрасными маркерами/ Ильин М.А// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків. – 2012.- №1 .– с.14-18.
2. Ильин М.А. Вычисление координат инфракрасных вспышек/ Ильин М.А // Радіотехніка. Збірник наукових праць.- Харків. –2011. - . Випуск 167. – с.153-158.
3. Ильин М.А., Афанасьев В.А, Наталуха Ю.В., Токарев В.В. Реставрация изображений на основе финитных деконволюционных окон/ Ильин М.А., Афанасьев В.А, Наталуха Ю.В., Токарев В.В // Бионика интеллекта. Харьков. – 2012. – №2 (79). – с. 80-83.
4. Наталуха Ю.В., Ильин М.А., Токарев В.В. Об одном подходе к идентификации динамических систем/ Наталуха Ю.В., Ильин М.А., Токарев В.В.// Информатика, математическое моделирование, экономика. Смоленск. – 2013. – Т.2, – с. 103-109.
5. Ильин М.А. Вычисление координат инфракрасных вспышек на объекте для оценки его местоположения/ Ильин М.А// Радиоэлектроника и информатика. - Харьков. - 2013. - № 4. -с. 21-24.
6. Ильин М.А., О.В. Зубков, І.В.Коритцев, В.М. Олейников, Г.І. Сідоров// Стрілецький лазерний тренажер з відображенням траєкторії точки прицілювання// Патент на корисну модель №59466.- Бюл. №9. – 10.05.2011.
7. Ильин М.А., Карпенко В.П., Коритцев І.В., Сідоров Г.І., Ямніков О.Г.// Удосконалений електронний лазерний стрілецький тренажер// Патент на корисну модель № 71578, Бюл. – №14, 25.07.2012.
8. Ильин М.А. Управление масштабированием видеоизображения виртуальных декораций в телевизионной студии/ Ильин М.А.// 12 Міжнародний радіоелектронний форум «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке», тези доп. – Харків, – 2008. – с. 341.
9. Ильин М.А.// Вычисление координат инфракрасных вспышек на фоне световых засветок// 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011., тез. докл. доп.- Харьков, 2011 .-Т.1, – с. 374-375.
10. Ильин М.А., Корытцев И.В., Сидоров Г.И.// Универсальный мультимедийный стрелковый тренажер// // 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011., тез докл. – Харьков, 2011. – Т.1, – с. 371-373.
11. Ильин М.А., Корытцев И.В.// Особенности построения виртуальных студий// 1 научно-практическая конференция «Современные технологии кино», тез докл. – Шахтерск, 2013, -с. 7-9.

АНОТАЦІЯ

Ільїн М.А. Телевізійна система для керування віртуальним середовищем при студійних відеозйомках. –Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17.- радіотехнічні та телевізійні системи. –Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2014.

Дисертація є дослідженням, у якому отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі, яка полягає в необхідності визначення переміщень об'єктів у тривимірному просторі.

Принципово важливий внесок результатів дисертації полягає в застосуванні методу матричного перетворення двовимірних координат рухомого об'єкта з растрів цифрових відеокамер у його координати у тривимірному просторі та вдосконаленні методики вимірювання лінійних та кутових переміщень студійної камери з інфрачервоними маркерами багатопозиційної телевізійної системи з радіоканалами передачі відеоінформації.

Практична цінність роботи визначається тим, що розроблений метод розрахунку координат точок переміщення може бути застосований для різноманітних об'єктів, наприклад, роботів, транспорту, тренажерів, тощо, при їх обладнанні інфрачервоними маркерними пристроями.

Проведені експерименти підтвердили достовірність викладених у дисертації наукових положень і принципів. Її результати впроваджено в ряді організацій і в навчальний процес ВНЗ.

Ключові слова: керування віртуальним середовищем, багатопозиційна телевізійна система, радіоканал, інфрачервоні маркери, координати точок переміщення студійної камери.

АННОТАЦИЯ

Ильин М.А. Телевизионная система для управления виртуальной средой при студийных видеосъемках. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17. - Радиотехнические и телевизионные системы. - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2014.

Диссертация является исследованием, в котором получено новое решение актуальной научно - практической задачи, которая заключается в необходимости определения перемещений объектов в трехмерном пространстве.

Принципиально важный вклад результатов диссертации состоит в применении метода матричного преобразования двухмерных координат подвижного объекта из растров цифровых видеокамер в его координаты в трехмерном пространстве и совершенствовании методики измерения линейных и угловых перемещений студийной камеры с инфракрасными маркерами многопозиционной телевизионной системы с радиоканалами передачи видеоинформации.

Новый метод идентификации маркеров, основанный на определении и прослеживании идентификационной области, позволяет идентифицировать любые маркеры без ограничения их количества, спектра излучения, а также прогнозировать дальнейшие положения маркеров.

Использование нового метода синхронизации измерительных видеокамер позволяет использование багатопозиционных ТВС на открытом пространстве без проводных линий связи.

Практическая ценность работы определяется тем, что разработанный метод расчета координат точек перемещения может быть применен для различ-

ных объектов, например, роботов, транспорта, тренажеров и т.д., при их оборудовании инфракрасными маркерными устройствами.

Проведенные эксперименты подтвердили достоверность изложенных в диссертации научных положений и принципов. Ее результаты внедрены в ряде организаций и в учебный процесс вуза.

Ключевые слова: управление виртуальной средой, многопозиционная телевизионная система, радиоканал, инфракрасные маркеры, координаты точек перемещения студийной камеры.

ABSTRACT

Ilyin M.A. Television system for managing the virtual environment in studio video shootings. - Manuscript.

Dissertation for the degree of Ph.D. in the specialty 05.12.17 . - Radioengineering and television systems. , Kharkov National University of Radio Electronics , Kharkiv, 2014.

The thesis is a study in which the new decision of actual science and practical problem which needs determining translation of object in tree dimensional space has been performed.

Fundamentally important contribution to the dissertation results is due to application of matrix transform moving two dimensional object coordinates from images of digital video cameras into its coordinates in the three dimensional space and due to modernizing the technique of studio camera linear and angle translation measurements in the multiposition television system with radio channels for transmission of video information.

The practical value of the work is determined by possibility of the designed method of points coordinates translation application to different objects, for example – robots, transports, trainers, etc., when they being equipped with infra red markers.

The experiments confirmed the authenticity of the thesis outlined statements and principles. The results are implemented in some organizations and educational process of the university.

Key words:management of virtual environment, multi position television system, radio channel, infrared markers, coordinates of moving studio camera positions.

Підп. до друку 24.04.2014. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам.1/24. Ціна договірна.

Віддруковано ФЛП Андрєєв К.В.
Харків, просп. Леніна, 14