

статичного стану виходів, за якими спостерігають.

Висновки

Показана стратегія тестування складних проєктів цифрових систем, яка стоїть на засадах використання технології граничного сканування розгалужень, що сходяться, і вносять суттєві незручності в процес синтезу тестів та моделювання пошкоджень константного типу. Використання даної стратегії дозволяє значно зменшити часові витрати на генерацію детермінованих тестів і аналіз їх якості. Для підвищення швидкодії алгоритмів тестування запропоновані рішення, суттєві для автоматизації проєктування тестового забезпечення:

1) процедура зворотної суперпозиції для деревоподібних структур, що дає можливість підвищити швидкодію моделювання пошкоджень для складних цифрових проєктів в декілька разів;

2) аналіз структурних колізій, які пов'язані з опрацюванням РС, і зворотних зв'язків для можливості локалізації сфери їхнього негативного впливу на процес моделювання пошкоджень і синтезу тестів.

Література

1. Хаханов В. И. Моделирование и синтез тестов для цифровых схем с граничным сканированием /В. И.Хаханов, К. В. Колесников, А. Н. Парфентий, И. В.Хаханова // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 2. – С. 72–79.

2. Hahanov V.I. The Digital Circuit Models and Data Structure for High Performance Fault Simulation. – / V. Hahanov, O. Skvortsova, K. Kolesnikov, A. Parfenty // 10-th International Conference. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. – Poland. – Wroclaw. – 2003. – P. 334–339.

3. Колесников К. В. Методи синтезу тестів верифікації для цифрових ПЛІС-систем. / К. В. Колесников, М. В. Поліщук // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2004. – № 3. – С. 59–66.

4. Kolesnikov K. V. ASFtest – testbench generator for extended finite state machines./ K. V. Kolesnikov, E. Kovalyov, O. Skvortsova, A. Babaev, Y. Mirosnichenko // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDWTW'05). Odessa, Ukraine, 15–19 September. Kharkov: KHNURE., ISBN 966-659-113-8. P. 280–281.

5. Колесніков К. В. Дедуктивні методи створення тестів верифікації систем на ПЛІС / К. В. Колесніков, С. Д. Петренко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 3. – С. 107–112.

Надійшла 20.8.2011 р.

УДК 004.932

Д.Д. ПЕЛЕСЬКО, Н.О. КУСТРА, А.В. КЛЮВАК

Ну «Львівська Політехніка»

КОНЦЕПЦІЯ УСУНЕННЯ СПОТВОРЕНЬ ЗОБРАЖЕННЯ, ВИКЛИКАНИХ РУХОМ ОКРЕМИХ ОБ'ЄКТІВ

Дана робота присвячена змазам ділянок зображень від руху одиночних об'єктів. Цей тип спотворення зображення виникає при експонуванні об'єкта, що швидко рухається, на нерухомому фоні. Розглядається концепція усунення такого типу спотворень зображень. Основна думка полягає в тому, що деконволюція спотвореної ділянки зображення повинна проводитись на штучно затемненому фоні.

This work is devoted the blur areas of images from the movement of single object. This type of distortion occurs when exposure of the object that is moving rapidly on the stationary background. The basic idea is that deconvolution distorted image areas should be conducted on artificially darkened background.

Ключові слова: розмиття, деконволюція, уявна область, рухомі об'єкти.

Постановка задачі

В процесі експонування зображень з ними можуть відбуватися різноманітні спотворення: зашумлення, розфокусування, спотворення рухом. Але найчастіше комбінація цих видів спотворення. Спотворення від руху можуть виникати у трьох варіантах:

- Рух камери при нерухомій сцені
- Рух одного чи декількох об'єктів при нерухомій камері
- Рух одного чи декількох об'єктів при рухомій камері.

Метод усунення спотворень за другим варіантом є предметом дослідження в даній роботі.

Аналіз досліджень та публікацій

Усунення наслідків руху є об'єктом численних досліджень у всьому світі. Дуже непогані результати показують сучасні алгоритми деконволюції (усунення розмиття) зображень, спотворених рухом камери при

незмінній сцені, наприклад ітеративний алгоритм Ці Шана [4] або алгоритм сліпої деконволюції Фергюса [3]. Однак, значно менше досліджень присвячено алгоритмам усунення спотворення від руху окремого елемента сцени при нерухомій камері. До таких належить зокрема робота того ж Ці Шана по деконволюції спотворень, спричинених криволінійним рухом окремих ділянок зображення [1]. Складність в цій сфері викликана тим, що потрібно виділити контури рухомого об'єкта, обчислити параметри його руху, тобто ФРТ (функцію розсіяння точки), провести його деконволюція, не порушивши фон, і головна складність – розмежувати перед деконволюцією ділянки зображення, які одночасно належать рухомому об'єкту і фону.

Формулювання цілей

Враховуючи незначну дослідженість просторово інваріантних спотворень зображень, спробі запропонувати напрямок розв'язання даної проблеми присвячена ця робота. Мета її полягає у представленні частково алгоритмізованого методу подолання такого типу спотворень. Даний метод повинен втілитись у алгоритм реконструкції максимально якісного зображення предмета, що був розмитий на вихідному зображення, та реконструкції ділянок нерухомого фону, до яких був дотичний розмитий об'єкт.

Суть та механізм утворення часткового змазу зображення

Різноманітні спотворення, які відбуваються з зображенням, описує дискретна функція розсіяння точки (PSF – Point Spread Function), яка у загальному випадку представляє собою матрицю. Спотворення сигналу від впливом певного ядра розмиття (тобто ФРТ) означає, що кожна точка спотвореного зображення є результатом такої операції, відомої як операція згортки:

$$d_i = \sum_j p_{i,j} u_j \quad (1)$$

де $p_{i,j}$ – i, j елемент дискретної функції розсіяння точки, яка представляє собою масив (матрицю), кожен елемент якої означає, яка частинка світла з точки j спостерігається в точці i ;

d – значення кольору в точці i після операції згортки;

p – ідеальне значення кольору в точці i , тобто до операції згортки.

Звідси випливає, що усі значення матриці ФРТ в сумі дають одиницю.

Схема утворення розмитої ділянки наступна. В початковий момент часу t_0 відкривається затвор камери і елементи світлочутливої матриці починають набирати необхідного кольору. В цей момент однаково без змазування відображається як рухомий об'єкт так і фон. В момент t_n затвор закривається. За цей час рухомий об'єкт подолав певну відстань, яку враховуючи дискретну природу цифрової фотографії, можна оцінити в певну кількість точок, нехай m . Отож, час $dt=t_n-t_0$ можна розділити на m рівних відрізків. Протягом кожного з цих відрізків часу кожна точка рухомого об'єкта залишала відбиток свого кольору на іншій позиції в зображенні, накладаючи цей колір на той, який був відображений на цій позиції раніше. Внутрішні точки об'єкта накладають на інші точки цього об'єкта, і тут ми маємо звичайну задачу з деконволюції. Але зовсім інша ситуація на краях, які можна визначити, як область по периметру об'єкта по обидва боки в напрямку руху товщиною m точок. Тут відбувається змішування кольорів рухомого об'єкта із кольорами точок нерухомого фону. Оскільки увесь час експонування ми дискретизували на m періодів, то можна сказати, що за одиницю часу $1/m$ колір кожної точки буферної зони формується за рахунок $1/m$ частину кольору рухомого об'єкта та $1-1/m$ частину решти, яка в свою чергу утворюється кольором фону у цій точці та кольором інших точок рухомого об'єкта, які теж «пролітали» над цією позицією зображення, у тій же пропорції. Якщо це крайня точка об'єкта, то колір точки буде складатись на $1/m$ кольору цієї точки та $1-1/m$ частину кольору фону в цій позиції, якщо це наступна точка об'єкта, то колір точки буде складатись на $1/m$ кольору цієї точки, $1/m$ кольору крайньої точки та $1-2/m$ частину кольору фону в цій позиції, і так далі на всю глибину буферної зони, остання точка якої буде тільки на $1/m$ складатись з кольору фону. Це за умови рівномірного руху, у разі ж нерівномірного руху ці пропорції змістяться (що менший час перебувала точка об'єкта в цій позиції, то меншою буде її частка в результуючому кольорі даної координати), але закономірність залишиться та ж. Цю закономірність для j -ї точки буферної зони можна описати такою формулою:

$$u_j = a_j * c + (1 - a_j) * b, \quad (2)$$

$$a_j = \sum_{i=1}^j p_i \quad (3)$$

де $j \in [0; m]$; p_i – i -й ненульовий елемент дискретної функції розсіяння точки; b – значення кольору фону в даній точці; c – комбіноване значення кольору різних ронок рухомого об'єкта, які перебували в даній позиції під час руху об'єкта.

Конфігурація та розмірність матриці ФРТ залежать від швидкості, рівномірності, траєкторії руху та від часу експонування кадру. Розміщення ненульових елементів матриці ФРТ повторює траєкторію руху об'єкта за той час, поки світлочутлива матриця експонувала даний кадр. Значення елементів матриці пропорційні швидкості руху об'єкта у проміжок часу від t_n до t_{n+1} , який дорівнює $1/m$ часу експонування кадру, де m – кількість ненульових елементів матриці. Відповідно, при рівномірному русі ненульові елементи матриці будуть приблизно рівними, а при прямолінійному будуть вистроєні в лінію. Строго горизонтальний рух породить вектор рядок, а строго вертикальний – вектор-стовпець.

Звідси можна зробити висновок, що досліджувана буферна зона повторює конфігурацію ФРТ: так, якщо ФРТ представляє собою вектор стовпець розмірністю $1: 5$, то буферна зона буде мати товщину 5 точок

строго зверху та знизу зображення рухомого предмета.

Пропонована концепція усунення часткового змазу

У загальному виді задачу усунення рухового спотворення одиночного об'єкту можна розкласти на такі етапи:

1. Виділення контурів спотвореного об'єкта
2. Обчислення ФРТ точки всередині контурів спотвореного об'єкта
3. Перенесення зображення спотвореного об'єкта на чорний фон
4. Проведення операції деконволюції над виділеним об'єктом на чорному фоні
5. Повернення деконвульованого об'єкта назад на своє місце в зображенні.

В даній публікації ставляться 2 цілі: обґрунтування саме такої схеми алгоритму та пояснення пункту 3 даної схеми.

Для того, аби зфокусувати розмиту ділянку зображення, потрібно спочатку оцінити параметри цього змазу, тобто розрахувати функцію розсіяння точки. Саме тому розрахунок параметрів руху, який спричинив змаз, має передувати іншим діям зі спотвореною ділянкою. Адже, не маючи ФРТ, не можна ані провести деконволюцію, ані провести операцію заміни фону.

Саму деконволюцію найчастіше проводять класичними методами не сліпої деконволюції, тобто з вже відомою ФРТ – методом Віннерівської фільтрації або алгоритмом Річардсона-Люсі. Алгоритм Річардсона-Люсі є одним із найстарших алгоритмів (запропонований в 1974 р). Це ітеративний алгоритм відтворення розмитого зображення за відомим ядром розмиття. В основі алгоритму лежить припущення, що точка неспотвореного зображення розподіляється за розподілом Пуассона.

Звідси, на кожному кроці ітерації кожна точка спотвореного зображення розраховується, виходячи із попереднього свого значення, значення інших точок зображення з попереднього кроку ітерації, значень точок первісного спотвореного зображення та відомого ядра розмиття за такою формулою:

$$u_j^{(t+1)} = u_j^{(t)} \sum_i \frac{d_i}{c_i} p_{ij} \quad (4)$$

$$c_i = \sum_j u_j^{(t)} p_{ij} \quad (5)$$

Ітерації повторюються до отримання найбільш імовірної деконвульованої картини (практика показує, що найчастіше достатньо до ста ітерацій).

Недоліками алгоритму Річардсона-Люсі є необхідність знати наперед дискретну функцію розсіяння точки. Якщо спотворення було спричинене кількома невідомими факторами, цей алгоритм непридатний для відтворення зображення.

У випадку руху самої камери цей алгоритм застосовується до усього зображення, але у нашому випадку потрібно обробити тільки ділянку певної конфігурації. Але при проведенні деконволюції буферна зона між об'єктом і фоном вплине на результуюче зображення і спотворить його, тому перед цим необхідно виокремити зображення рухомого об'єкта і перенести його на новий рівномірний чорний фон. Вибір чорного фону пояснюється тим, що чорні точки зображення представляються нульовими значеннями, тому при наступних перетвореннях не впливатимуть на результат та не спотворюватимуть його. Демонстрація інваріантності чорного фону стосовно операції згортки буде приведена нижче, при огляді результатів експерименту.

Однак, просто скопіювати зображення з буферною зоною не має смислу, оскільки разом з буферною зоною буде скопійована і частина фону, тому треба провести операцію з їх розділення, виходячи із наведених вище особливостей їх змішання. Розділення проводиться з вже відомою ФРТ, яка розраховується при опрацюванні внутрішніх ділянок зображення рухомого об'єкта [3]. Знаючи ФРТ, ми знаємо, в якій точці буферної зони яка частина кольору представлена кольором об'єкта, а яка кольором фону. Усунення складової фону рівноцінне перенесення на чорний фон. Із викладених раніше особливостей формування буферної зони видно, що колір кожної точки буферної зони складається пропорційно з кольору конвульованого об'єкта і фону, що проглядається крізь напівпрозорий змазаний об'єкт. Частка в результуючому кольорі, яка припадає на колір фону в даній позиції, можна виразити так:

$$tb = (1 - \sum_{i=1}^j p_i) * b, \quad (6)$$

де b – колір фону в даній точці; $\sum_{i=1}^j p_i$ – сума значень елементів матриці ФРТ для попередніх, вже оброблених точок та поточної точки (0; 1).

Оскільки чорний колір передається нульовим значенням, для того, аби перенести розмитий об'єкт на чорний фон, потрібно просто відняти цю складову (6) від значення кольору оброблюваної точки буферної зони. Тому, починаючи від кожної крайньої точки буферної зони, і рухаючись від неї на всю глибину ФРТ, кожна точка перераховується за такою формулою:

$$u_j^* = u_j - (1 - \sum_{i=0}^j p_i) * b, \quad (7)$$

де u_j – старе значення кольору точки.

Перетворення проводиться по кожному каналу окремо і тільки для точок з ненульовим значенням відповідного їм елемента матриці ФРТ. Значення кольору фону усереднюється з значень найближчого околу

буферної зони, який не зазнав впливу рухомого об'єкта.

І тільки після цього можна проводити саму деконволюцію одним із методів при відомій ФРТ.

Після проведення деконволюції оброблене зображення слід повернути назад на рідний фон, ігноруючи при цьому чорні точки околу.

Висновки та результати практичних експериментів

Перевірка концепції усунення часткових змазів на основі заміни фону описаним алгоритмом з наступним проведенням деконволюції здійснювалась засобом середовища MATLAB.

Для здійснення операцій утворене зображення зі штучним змазом, який представляє собою рівномірний рух строго вниз зі шляхом 30 точок (рис. 1) на білому фоні. ФРТ представляє собою вектор стовпець 1×30 , кожен елемент якого дорівнює $1/30$ (питання обчислення ФРТ виходить за рамки даної публікації). Таким чином, обрано найпростіший варіант, але даний алгоритм розрахований і на більш складні форми руху.

Оскільки основною метою розробленого в середовищі Matlab програмного коду було експериментальне підтвердження тези про те, що часткові змази зображення потрібно деконволювати на чорному фоні, то його основними алгоритмічними особливостями були такі:

- Прохід зображення проводиться згори до низу, а не зліва на право (у реальному ужитку рішення про тип проходу має здійснюватись, виходячи із розмірності матриці ФРТ, яка дає нам інформацію про параметри руху, у тому числі і напрям);
- Презюмується, що колір фону під об'єктом є однаковим у всіх точках;
- Вважається, що контури об'єкта є визначеними – він починається там, де закінчується відомий нам колір фону.



Рис. 1. Вхідне зображення

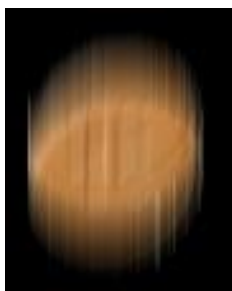


Рис. 2. Результат перенесення об'єкта на чорний фон



Рис. 3. Результат деконволюції на чорному фоні

Однак, такі особливості програмної реалізації не впливають на теоретичну цінність методу в цілому.

В результаті виконання програмної реалізації алгоритму, отриманого на основі запропонованої функції отримано зображення, яке наведено на рис. 2.

Над даним зображенням проводиться операція деконволюції за алгоритмом Річардсона-Люсі (80 ітераційних циклів). Результат представлений на рис. 3.

Згадана деконволюція на зображенні з рис. 1 проведена на білому (рідному) фоні засвідчила, що деконволюцію часткових змазів зображення слід проводити окремо від фону. Результат, який представлений на рис. 4, засвідчив спотворення зображення.



Рис. 4. Результат деконволюції не на чорному фоні

Література

1. Qi Shan, Wei Xiong, Jiajia Jia, "Rotational Motion Deblurring of a Rigid Object from a Single Image" <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.107.7009&rep=rep1&type=pdf>
2. S. Schuon, "The Nature of Motion Blur" http://ai.stanford.edu/~schuon/deblur/download/schuon_nature_of_motion_blur.pdf
3. R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S.T.Roweis, W.T.Freeman, "Removing Camera Shake from a Single Photograph" http://cs.nyu.edu/~fergus/papers/deblur_fergus.pdf
4. Qi Shan, Jiajia Jia, Aseem Agarwala, "High-Quality Motion Deblurring from a Single Image" http://www.cse.cuhk.edu.hk/~leo/jia/projects/motion_deblurring/deblur_siggraph08.pdf

Надійшла 25.8.2011 р.