

## **Възможност за измерване на линейно преместване на плетени структури при двумерно циклично натоварване с компютърно зрение**

Даниела Софронова, Каролина Илиева

*Доказано е, че компютърното зрение може успешно да се интегрира към измервателен стенд за двумерно многоциклово натоварване с малки опънови сили. С него е възможно освен да се измерва линейното преместване с достатъчна точност на база на разпознаване на маркери, но и да се извършва наблюдение на деформационното поведение на изпитваните образци в реално време и да се оценяват различни параметри. Описани и визуализирани са стъпките за изготвяне на алгоритъма на програмата в среда на NI Vision за обработка на изображенията, заснети с камера при извършване на експериментално изпитване на плетени структури.*

**Ключови думи:** компютърно зрение, линейно преместване, стенд, двумерно многоциклово натоварване, малки опънови сили

## **A possibility for measuring a linear displacement of knitted structures by biaxial cycle loading via computer vision**

Daniela Sofronova, Karolina Ilieva

*It has been demonstrated that computer vision can be successfully integrated into a testing device for biaxial cycle loading with small tensile forces. It is possible with it to measure the linear displacement with sufficient accuracy based on marker recognition, but also to monitor the deformation behavior of the test samples in real time and to evaluate different parameters. The steps of making the algorithm of the program in NI Vision environment for processing camera-captured images in performing experimental testing of knitted structures are described and visualized.*

**Keywords:** computer inspection, linear displacement, homemade device, biaxial cycle loading, low stress

### **Въведение**

В последните години заедно с развитието на компютърните технологии се наблюдава засилен интерес от прилагането на системите за компютърно (машинно) зрение при автоматизирането на редица инженерни решения [6, 9, 14, 15, 17]. В литературата са описани огромен брой приложения на компютърното зрение, свързани със събиране и автоматична обработка на изображения на обекти от реалния свят с цел да се извлече и интерпретира визуална информация от тях: геометрични параметри, форма, цветови характеристики, текстура на повърхността и други признаци, въз основа на които може да се определя качеството на детайли, продукти и изделия. Визуалните сцени биха могли да бъдат двумерни изображения или двумерни изображения на тримерни обекти.

Интегрирането на компютърното зрение в специализирани уреди за експериментално изследване на механичното поведение на различни по вид материали, в частност и на площни текстилни материали, с цел измерване на линейното преместване, се среща рядко. В повечето случаи последното се измерва със сензори (електрически или оптични) от висок или по-нисък клас [2, 3, 4, 5, 20]. При тях точността на измерването е в пряка зависимост от параметрите на отделните елементи и начина на организация на системата, докато при

компютърно зрение [8, 10] тя се влияе единствено от разработения алгоритъм. Измервателните системи с компютърно зрение са стабилни, като обработката може да се извършва в или извън реално време. Безспорно преимущество на визуалната инспекция е и възможността за наблюдение и анализ на възникналите в образа деформации в резултат от прилагането на различни видове натоварвания, както и за оценка на различни параметри.

Целта на настоящия доклад е да се изследва възможността за интегриране на компютърно зрение към стенд за изпитване на бримкови структури при двумерно циклово натоварване с малки опъновни сили за измерване на линейното преместване на база на идентифициране и следене на маркери.

### **Теоретична част**

#### ***Структура на системите за машинно зрение***

Системите за машинно зрение включват няколко елемента, основният от които е една или няколко *цифрови или аналогови камери* (черно-бяла или цветна) с подходяща оптика за възприемане на изображения.

Системите поддържат интерфейс на камерата за цифровизиране на образите, известен като кадров уловител, който превръща аналоговите видеосигнали в цифров протокол под формата двумерен масив от числа, отговарящ на нивото на светлинната интензивност на съответните точки от зрителното поле (пиксели). Данните се записват в компютърната памет, за да могат да се обработят от *софтуера за машинно зрение*.

Другите елементи са *леци за фокусиране на желаното поле от образа* върху сензора за изображение, както и подходящи *специализирани източници на светлина* - светодиодни излъчватели, флуоресцентни, халогенни или инфрачервени лампи и др. От значение е осигуряване на осветяване на обекта с оглед подчертаване на негови характерни особености и прикриване и намаляване на тези, които не са съществени за него, например отражения или сенки.

Част от структурата са още *синхронизиращ сензор за откриване обекта за проверка*, който превключва между получаване на изображението и обработката му, и различни видове *изпълнителни механизми*.

#### ***Методи за разпознаване на маркери***

Един от начините на извличане на желана информацията от заснетите изображения е свързан с откриване и следене на маркери, които могат да бъдат част от инспектирания елемент или изкуствено добавени в най-различни варианти. Най-често се използват маркерите с форма на квадрат, правоъгълник или окръжност, тъй като тези геометрични примитиви по принцип са лесно откриваеми в изображенията.

Съдържанието в квадрата е равномерно достъпно само с хомография, като кадрите се изчисляват от върховете на квадрата, което ги прави уникални [3].

При маркерите с кръгла форма позите се изчисляват от целия контур на маркера, вместо от 4-те върхове, което води до по-лесното им откриване.

Съгласно [1] квадратните маркери носят по-голям символичен товар в сравнение с кръглите със същия размер, но кръглите маркери дават по-голяма точност за местоположение.

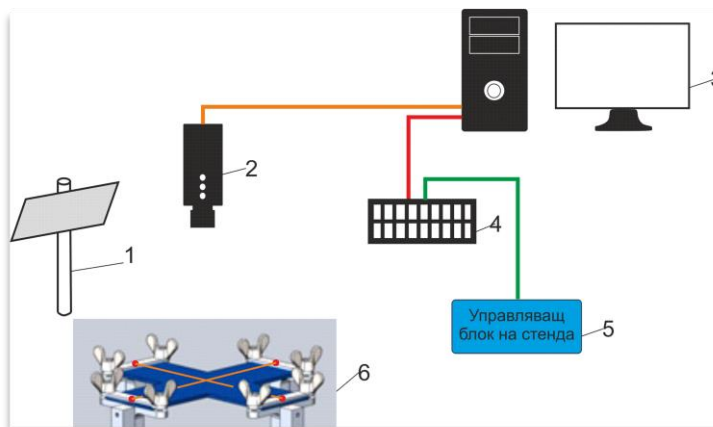
За идентификация на маркерите с цел измерване на линейно преместване се прилагат различни оптични техники като фотоеластичност, геометрично моаре, моаре интерферометрия, холографска интерферометрия, метод на мрежата и корелация на модела (DIC) и др. [9, 17]. Трябва да се отбележи, че някои от тези техники могат да измерват преместванията единствено в равнината, а други - и извън нея, при това за всякакъв вид образци (равнинни или не). За всички подходи е характерно, че се влияят от дизайна на маркера [5, 13].

Най-често използваният метод за различни приложения е DIC, в резултат на неговата простота и гъвкавост. При него се измерва степента на корелация на модела, открит в изображението, с известни модели. Използват се още дигиталните методи, при които се чете бинарен код или се извличат маркерите от топологията на изображението [5, 13].

### Експериментална част

#### **Структура на интегрираното компютърно зрение към измервателен стенд**

Основавайки се на научно-приложния опит в областта [1, 6, 9, 11, 12], авторът прилага представената на Фиг. 1 схема на системата за компютърно зрение с приложение за измерване на линейно преместване на база на разпознаване на маркери. Маркерите са разположени върху клемите на стенда 6 за извършване на дву- и тримерни многоциклови натоварвания в областта на малките опънови сили. За провеждане на изследването е осигурена определена осветеност 1 на обекта (визуална сцена), който се явява в случая образец от плетен плат. С 2 е означена камерата, с която се извършва заснемане на процеса, а с 3 – персонален компютър. Данните, постъпващи от камерата, се събират и обработват от програма, развита в среда на NI Vision Builder, която от своя страна може да се интегрира в логиката на програмата за управление на устройствата 4 и 5, което е описано подробно в [18, 19, 20].



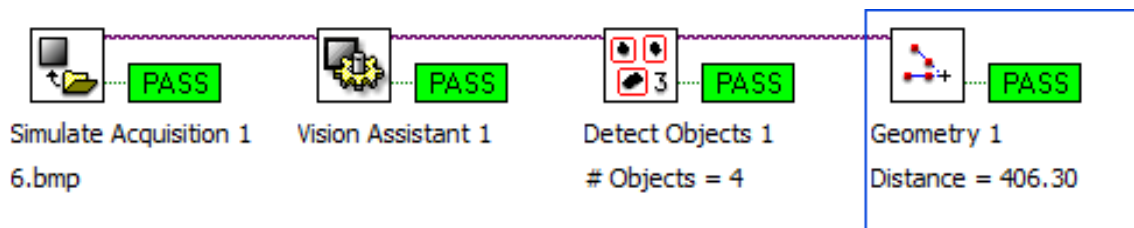
Фиг. 1 Схема на интегрираното компютърно зрение към измервателен стенд за измерване на линейно преместване на база на разпознаване на маркери

В настоящия доклад изследването се провежда извън реално време с цел предварително оценяване възможностите на компютърното зрение в конкретния случай. За целта се прилага видеозапис на изпитване, проведено с плетена структура при едновременно натоварване на опън по двете направления. Видео е заснето с цифров фотоапарат Panasonic FZ 2000 с резолюция за заснемане на изображения 3840x2160 пиксела до 30 кадъра. От значение в случая е единствено цветът на пробата, без да се интересуваме от вида и параметрите на структурата. Видеофайлът е конвертиран в цифрови изображения с определена стъпка. В бъдещи изследвания ще бъдат представени и теоретичните изчисления за отстоянието на камерата съобразно оптиката ѝ и площта на визуалната сцена. А според резолюцията, отстоянието и максималното поле за инспектиране ще се определи и точността на измерването – брой пиксели за мм. От значение е също определянето на скоростта на обработката на изображенията, поради което в бъдеще ще бъдат тествани няколко алгоритми, базирани се на различни методики за обработка на изображенията, за разпознаването на маркерите и за изчисляване на разстоянието между тях.

#### **Разработване на алгоритъм в среда на NI Vision Builder**

За следене на позицията на физически обекти е необходимо да се разработи алгоритъм, включващ няколко последователни стъпки. Първоначално се задава местоположението на изображенията, подлежащи на обработка, след което се извършват манипулации, намаляващи шумовете или преобразуващи част от нюансите на сивото в обикновена комбинация на черно и бяло (т.нар. бинаризация). Следващата стъпка е свързана с броене, измерване и/или идентифициране на обекти или други характеристики на изображението. Най-често се прилага метода за откриване на маркери от топологията на изображението [1]. Последният стадий в работата на програмното осигуряване е да вземе решение, съобразно заложените критерии.

На Фиг. 2 е представен разработеният алгоритъм, състоящ се от четири основни стъпки.



Фиг. 2 Алгоритъм за изчисляване на линейното преместване

1) *Регистриране на изображенията*

За регистриране на изображенията се задава пътят до тях. На Фиг. 3 е илюстрирано оригиналното изображение с разположението на маркерите.

2) *Обработка на изображението*

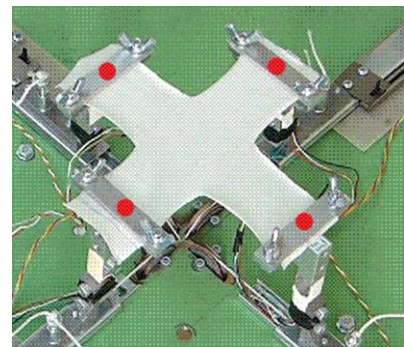
Програмното осигуряване на системите за машинно зрение, което се предлага на пазара, обикновено включва различни техники за обработка на изображения, някои от които са сравнително елементарни, а други се базират на много сложни алгоритми. Броенето на пиксели е сред използваните техники, при което се определя количеството светли и тъмни точки в изображението. Първоначално обработката се свързва с извличане на единия от основните цветове на изображението – синия или зеления цвят, след което се прави прагово преобразуване за преработка на сивите тонове в опростени черни и бели. Обработеното изображение е представено на Фиг. 4.

3) *Откриване и следене на маркерите*

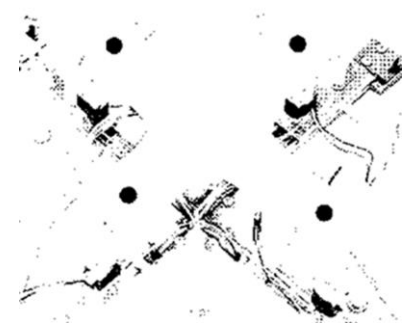
За откриване и следене на позицията и ориентацията на маркерите също могат да се приложат различни функции. Една от тях е *Detect Objects*. При нея има възможност както за избор на осветеността на търсения обект – светъл, тъмен и сив, така и на метода за идентифициране на обектите. Методите са разделени в три основни групи: ръчно, автоматично и локално търсене. За целите на настоящото изследване е използван локалният метод, при който има възможност за въвеждане на размерите на прозореца, с който се осъществява търсенето на маркерите. Освен това, чрез функцията *Detect Objects*, могат да се дефинират минималната и максималната площ на обектите, които се търсят в границите на цялото изображение или в допълнително зададени граници. Откритите обекти, отговарящи на зададените параметри, се извеждат в списък заедно със съответните им параметри. Като допълнение могат да бъдат зададени още очакваният минимален и максимален брой обекти.

4) *Изчисляване на разстоянията между маркерите по двойки*

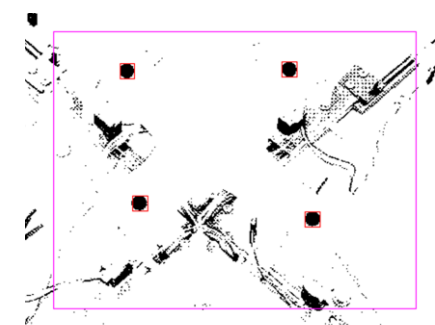
Определянето на линейното преместване става чрез изчисляване на разстоянията между идентифицираните маркери по двойки. Изведеният резултат е в пиксели, както се вижда от Фиг. 2, тъй като не е направена калибрация на камерата.



Фиг. 3 Оригинално изображение



Фиг. 4 Обработка на оригиналното изображение



Фиг. 5 Откриване на маркерите

### **Симулация на работата на алгоритъма**

Програмата позволява извършване на симулация за определяне на необходимото време за изпълнение на всяка една от стъпките на алгоритъма. Може да се оцени също ефективността на разработения алгоритъм. В табл. 1 са представени резултатите от извършената симулация със стъпка на итерациите 15. От илюстрираните в таблицата данни се вижда, че най-времеемък е етапът за откриването или разпознаването на маркерите. Най-малко време отнемат стъпките за изчисляване на разстоянията между маркерите.

Таблица 1

Резултати от симулацията на алгоритъма

№	Описание на стъпките от алгоритъма	Време, ms	Средна стойност, ms	Средно-квадратично отклонение, ms	Най-малко време, ms	Най-дълго време, ms
1	Регистриране на изображение	591,000	39,400	2,551	36,000	46,000
2	Обработка на изображението	347,000	23,133	2,093	20,000	28,000
3	Откриване на маркерите	636,368	42,425	3,083	36,828	47,960
4	Изчисляване на разстоянието 1	9,526	0,635	0,497	0,391	2,371
5	Изчисляване на разстояние 2	4,411	0,294	0,079	0,245	0,570
6	Визуализация на резултатите	78,006	5,200	4,957	1,603	14,790
<b>Сумарно</b>		<b>1749,011</b>	<b>119,601</b>	<b>8,635</b>	<b>103,462</b>	<b>138,947</b>

Средната стойност на времето за осъществяване на една итерация от инспекцията е 119,601 ms със стандартно отклонение 8,635 ms, което означава, че за 1 секунда е възможно да се обработват 8,36 изображения.

### **Изводи**

От направеното в настоящия доклад изследване се установява, че компютърното зрение може успешно да се интегрира към измервателен стенд за изчисляване на линейното преместване при дву- и тримерни циклови натоварвания с малки опъновни сили на база на разпознаване на маркери. Ni Vision Builder е подходяща среда за разработване на алгоритми за визуална инспекция. Въпреки че извършената симулация е извън реално време, тя дава първоначална представа за точността и скоростта на извличане на търсените данни. В бъдеще предстои да се проведат изследвания за тестване на различни алгоритми, с които да се търси минимизиране на времето за инспекция, като се варира с формата на маркерите, техниките за обработка на изображенията, идентификацията на маркерите и изчисляването на разстоянието в реално време.

*Настоящото изследване е извършено в рамките на проект към НИС на ТУ-София №171ПР0009-02.*

### **Литература**

1. Beglov, V., Object information based on marker recognition, Thesis in University of Eastern Finland, Department of Computer Science, 2013.
2. Ben Abdessalem, S., Elmarzougui, S., Saki, F., Dynamic Fatigue of Plain Knitted fabric, Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, Vol. 5 (2), 2006.
3. Das, P., R. Ghoshal, D. Kole, R. Ghosh, Measurement of Displacement and Velocity of a Moving Object from Real Time Video, International Journal of Computer Applications, Vol. 49 (1), pp.12-16, 2012.

4. Escárpita, D. A.A., Cárdenas, D., Elizalde, H., Biaxial Tensile Strength Characterization of Textile Composite Materials, <http://dx.doi.org/10.5772/48105>.
5. Geandier, G., D. Thiaudière, R. N. Randriamazaoro et al., Development of a synchrotron biaxial tensile device for in-situ characterization of thin films mechanical response, <http://romanee.lmt.ens-cachan.fr/PDFs/GEANDIER.2010.1.pdf>.
6. Hirzer, M, Marker Detection for Augmented Reality Applications, Thesis in Inst. for Computer Graphics and Vision Graz University of Technology, Austria, 2008.
7. Koehler, J., A. Pagant, D. Stricker, Detection and Identification Techniques for Markers Used in Computer Vision, DOI 10.4230/OASlcs.VLUDS.2010.36, pp.36-44.
8. Miguel, E., Bradley, D., Thomaszewski, B., Bickel, B., Matusil, W., Otaduy, M.A., MArchner, S., Data-Driven Estimation of Cloth Simulation Models, Eurographics, Vol. 31 (2), 2012.
9. Orteu, J., 3D computer vision in experimental mechanics, Optics and Lasers in Engineering, Vol.47, 2009, pp. 282-291.
10. Quaglioni, V., Corazza, C., Poggi, C., Experimental characterization of orthotropic technical textiles under uniaxial and biaxial loading, Composites:Part A, Vol.39, 2008, pp. 1331-1342.
11. Sutton, M., J. Yan, V. Tiwari, H. Schreier, J. Orteu, The effect of out-of plane motion on 2D and 3 D digital image correlation measurements, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 46, 2008, pp.746-757.
12. Yilmaz, A., O. Javed, M. Shah, Object Tracking: A Survey, ACM Computing Surveys, Vol. 38, No. 4, Article 13, Publication date: December 2006.
13. Yoneyama, S., A. Kitagawa, K. Kitamura, H. Kikuta, In-plane Displacement Using Digital Image Correlation with Lents Distortion Correction, JSME International Journal, Vol. 49, No. 3, 2006, pp.458-467.
14. NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial, 2011.
15. Гълъбов, М., Въведение в компютърното зрение, Велико Търново, 2015, Available from: [https://www.researchgate.net/publication/280831839\\_VVEDENIE\\_V\\_KOMPUTRNOTO\\_ZRENIE](https://www.researchgate.net/publication/280831839_VVEDENIE_V_KOMPUTRNOTO_ZRENIE) [accessed May 3, 2017].
16. Маринов, Н., Цифрова обработка на изображения, Лекция 1, УАСГ, 2010.
17. Николов, А., Методи за откриване на характерни точки и тяхното съответствие в стереодвойки изображения, [http://www.iict.bas.bg/SPIR/papers/A\\_Nikolov/Feature%20Points%20Detection%20Methods%20and%20Their%20Correspondence%20in%20Stereo-images.pdf](http://www.iict.bas.bg/SPIR/papers/A_Nikolov/Feature%20Points%20Detection%20Methods%20and%20Their%20Correspondence%20in%20Stereo-images.pdf)
18. Софронова, Д., Създаване на нова методика за изпитване на плетени платове при двумерно и пасивно тримерно натоварване на опъване, Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция' 2014 „Иновации в текстила и облеклото“, 2014, с. 207-222.
19. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Стоилов, Т, Разработване на нов метод за изпитване на плетени платове на двумерно и пасивно тримерно многоциклово натоварване с малки опънови сили, Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция'2014 Иновации в текстила и облеклото, 2014, с. 194-206.
20. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Разработване на софтуер за управление на двигателите и сензорната система на стенд за двумерно многоциклово натоварване, Сборник доклади от XIX-та Научна конференция с международно участие ЕМФ' 2014, 2014, с.193-202.

гл. ас. д-р Даниела Софронова, ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02/ 965 39 21, e-mail: [dcholeva@tu-sofia.bg](mailto:dcholeva@tu-sofia.bg)

Каролина Илиева, студент в ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, email: [breathoflifex@gmail.com](mailto:breathoflifex@gmail.com)