

## Streszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Tekielego

Niniejsza praca skupia się na opisie procesu projektowania i implementacji systemu wizyjnego do analizy pól deformacji elementów strukturalnych. Zaproponowany system bazuje na korelacji obrazów cyfrowych (ang. digital image correlation, DIC), będącej metodą optyczną i numeryczną umożliwiającą wyznaczanie pełnego pola deformacji na powierzchni badanej próbki. Pole deformacji otrzymywane jest poprzez przetwarzanie obrazów cyfrowych wykonanych przed i po deformacji badanego obiektu. Może być ono wyznaczone poprzez porównywanie fragmentów obrazów cyfrowych przekonwertowanych do skali szarości. Co więcej, metoda DIC może być wykorzystana do analizy różnego rodzaju materiałów takich jak stal, beton, guma, drewno, kompozyty, szkło, poddanych różnego rodzaju obciążeniom - przede wszystkim mechanicznym, ale również termicznym, elektrycznym i innym.

Jako środowisko deweloperskie do obliczeń i stworzenia prototypu systemu wybrano środowisko MATLAB. Funkcjonalności systemu zostały zaimplementowane nie wykorzystując zewnętrznych pakietów (ang. toolboxes). W przeciwieństwie do komercyjnych rozwiązań na polu pomiarów optycznych, w których wykorzystywane są kamery CCD, zaprojektowany system został przystosowany do funkcjonowania z wykorzystaniem jednej lub większej liczby jednoobiektywowych lustrzanek cyfrowych (ang. digital singlelens reflex camera). Jednakże przeprowadzono również praktyczne testy z wykorzystaniem standardowej kamery CCD.

Teoretyczna część pracy zawiera definicję obrazu cyfrowego i opis teorii związanej z przetwarzaniem obrazów cyfrowych. Przedstawiono tutaj również podstawowe zasady metody DIC, jak również opis systemów wizyjnych wraz z ich funkcjami oraz listą zalet i wad je charakteryzujących. Finalnie, przedstawiono skróconą teorię deformacji wykorzystywanej do generowania pól odkształceń.

Praktyczna część pracy rozpoczyna się od rozdziału przedstawiającego funkcjonalności i interfejs zaprojektowanego systemu. Zaprezentowano podstawowe i bardziej zaawansowane opcje konfiguracji systemu, jak również generowania różnego rodzaju wyników. Następnie opisano przeprowadzone testy, które miały na celu walidację systemu. Zawarte zostały tutaj wyniki z testów bazujących na próbkach wygenerowanych syntetycznie, jak również pochodzących z rzeczywistych eksperymentów.

Główna część pracy prezentuje liczne praktyczne zastosowania zaprojektowanego systemu w formie artykułów naukowych. Przedstawiono i przedyskutowano zastosowanie systemu do badania różnego rodzaju materiałów wykorzystywanych w inżynierii lądowej takich jak beton, drewno, szkło i inne, jak również do testowania różnego rodzaju ustrojów i elementów strukturalnych.

Na bazie praktycznych przykładów zaproponowano użycie systemu bazującego na pomiarze wizyjnym jako rozszerzenia tradycyjnych metod pomiarowych. Na podstawie zaprezentowanych wyników udowodniono, że wykorzystanie pomiaru optycznego może zapewnić dużo szerszy niż pomiar tradycyjny zakres wyników, które znacznie lepiej charakteryzują zachowanie i właściwości badanego materiału. Zaprezentowano, jak pomiar optyczny może wypełnić istniejącą lukę pomiędzy teorią, eksperymentem i symulacją.

Słowa kluczowe: obraz cyfrowy, pomiar wizyjny, pomiar optyczny, korelacja obrazów cyfrowych, pole odkształceń, subpikselowa rozdzielczość pomiaru

The presented work focuses on the design and implementation of the vision-based system for the analysis of structural element's deformation fields. Proposed system is based on digital image correlation (DIC) which is an optical and numerical technique that allows to determine full-field deformation on the surface of the tested specimen. The deformation field is obtained by using digital images of the specimen surface taken before and after deformation. The deformation field can be determined by comparing the grey values based subsets of both recorded images. Furthermore, DIC technique can be used on samples made of various materials such as steel, concrete, rubber, wood, composites, glass and others under different loading conditions especially mechanical but also thermal, electrical and others.

As a development environment for computing and system prototype design MATLAB has been selected. The system's functionalities have been implemented without the use of third-party toolboxes. In contrast to commercial solutions in the field of the optical measurement in which charge-coupled devices (CCD) are used, the system has been adapted to operate with one or more digital single-lens reflex cameras (DSLR). However, practical tests using the CCD camera have been also carried out.

The theoretical part of the work includes a definition of a digital image and a description of the theory of digital image processing. The basic principles of the DIC method are also presented as well as the description of the vision-based features with the list of advantages and disadvantages of using the optical measurement systems. Finally, a shortened deformation theory which is used to determine the deformation fields is discussed.

The practical part of the work begins with a chapter on the functionality of the designed system and its interface. Basic and advanced possibilities of system configuration and generation of various types of results have been presented. Next comes the section on tests designed to validate the system in different ways using synthetically generated samples as well as samples obtained during real experiments.

The main part of the work presents numerous practical applications of the designed system in the form of scientific papers. The application of designed system for testing various types of materials such as concrete, wood, glass and other as well as structural elements used in the field of civil engineering has been described and discussed.

In this work the use of a vision-based system as an extension to traditional measurement method is proposed in the form of practical examples. On the basis of the presented results, it has been proved that the use of an optical measurement system can provide a much wider range of results and can more accurately characterize the behaviour and the properties of the tested material or structural element. It has been presented how vision-based measurements can bridge the gap between theory, experiment and simulation.

**Keywords:** digital image, vision-based measurement, optical measurement, digital image correlation, deformation field, sub-pixel measurement accuracy