

Lucjan KOZIELSKI

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, Katowice, e-mail: lucjan.kozielski@wst.com.pl

Katarzyna ŁUCZAK

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, Katowice, e-mail: katarzyna.luczak@wst.com.pl

WYKORZYSTANIE SYSTEMU WIZYJNEGO DO POMIARU UGIĘCIA KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

s. 151-156

STRESZCZENIE

W pracy zaprojektowano oraz wykonano stanowisko pomiarowe do badania linii ugięcia belek i konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem algorytmu suwmiarki wizyjnej. Zaprojektowanie stanowiska wiązało się z potrzebą powiązania analizy uzyskanego obrazu z kamery cyfrowej z zagadnieniem ugięcia belki. Wszystkie materiały i urządzenia wykorzystane do budowy stanowiska zostały dobrane w taki sposób, aby zoptymalizować stanowisko pod kątem wytrzymałości, lekkości i stabilności, a także zapewnić dokładny i jak najbardziej zautomatyzowany odczyt. Do budowy modelowej konstrukcji zostały wykorzystane profile stalowe, a układ pomiarowy został wykonany na bazie tensometrycznego czujnika nacisku i układu z mikrokontrolerem. Odczyt ugięcia belki jest realizowany poprzez program LabVIEW za pomocą modułu wizyjnego. Na zaprojektowanym stanowisku można, w praktyczny sposób, zmierzyć ugięcie belki obciążonej siłą skupioną. Pomiaru dokonywane na stanowisku testowym są obarczone błędem wynikającym z użycia kamery internetowej o niskiej rozdzielczości, natomiast może być ono w przyszłości modernizowane do precyzyjnych badań z zakresu zagadnień z mechaniki budowli.

SŁOWA KLUCZOWE

komputerowy system wizyjny, automatyka inteligentnego budynku, monitoring konstrukcji

WSTĘP

W celu podniesienia bezpieczeństwa użytkowania konstrukcji budowlanych stosowane są różnego rodzaju systemy monitoringu konstrukcji. Do automatycznego monitorowania wykorzystuje się albo naprężenia w elementach konstrukcji albo ugięcia. Pomiar ugięcia najczęściej jest realizowany poprzez laserowe pomiary pionowych przemieszczeń elementów konstrukcji. Rozwiązania różnią się co do zapisu, sposobu przekazu i analizy danych [1,2,3].

W ostatnich latach coraz większe zastosowanie w różnych dziedzinach mają systemy monitoringu wizyjnego, w których obrazy są rejestrowane przez urządzenia wizyjne. Czujnikami są tutaj kamery lub aparaty fotograficzne, dzięki czemu mogą być one znacznie dokładniejsze i dostarczać więcej informacji niż inne systemy [4].

Ogromny postęp technologiczny, związany z rozwojem wysokorozdzielczych kamer cyfrowych zmienił znacząco sposób w jaki inżynierowie i naukowcy podchodzą do zagadnienia pomiarów i automatyki, rozszerzając zakres zastosowań oraz możliwości systemów wizyjnych oraz technologii z nimi związanych. Systemy obrazowania ugięć i przemieszczeń konstrukcji najlepiej nadają się do zastosowań, w których ustawienie oraz położenie kamer jest niezmiennie i nie podlega dużym zakłóceniom. Akwizycja obrazów i ich komputerowa analiza zwiększa produktywność oraz obniża koszty w nawet bardzo wymagających zastosowaniach na całym świecie. Aplikacje takie znajdują w tej chwili coraz szersze zastosowania w wielu dziedzinach życia, począwszy od rozpoznawania twarzy w systemach bezpieczeństwa poprzez testowanie i kontrolę jakości na liniach produkcyjnych, a kończąc na przeprowadzaniu analiz drgań i ugięcia konstrukcji budowlanych [5].

Jest to możliwe dzięki integracji prostego w obsłudze graficznego środowiska programistycznego LabVIEW oraz wizyjnych i pomiarowych urządzeń modułowych, takich jak np. moduły PXI służące do akwizycji danych oraz sterowania przyrządami. Najważniejszymi tego typu modułami są:

1. Kamera inteligentna (Smart Camera) - niewielkich rozmiarów kamera przemysłowa z wbudowanym komputerem i sterownikiem PAC umożliwiającą autonomiczną analizę wizyjną i adekwatne sterowanie urządzeniami na podstawie analizy obrazu przy pomocy wbudowanych wejść i wyjść cyfrowych.
2. CVS (Compact Vision System) - urządzenie, które może współpracować z szeroką gamą dostępnych na rynku kamer, wyposażone również w wejścia cyfrowe wykorzystujące do ich sterowania bardzo szybkie układy FPGA, które dodatkowo wykorzystuje możliwości systemu czasu rzeczywistego do tworzenia wydajnego systemu wizyjnego (Real - Time Module).
3. Karty akwizycji obrazów pozwalające na wykorzystanie stacjonarnego komputera klasy PC jako kontrolera systemu wizyjnego.

Programy wykorzystywane do tworzenia systemów wizyjnych to:

1. Vision Development Module - zbiór funkcji przetwarzania i akwizycji obrazów dostępnych dla wielu języków programowania, takich jak: LabVIEW, C++, Visual Basic czy NET do przeprowadzania operacji polegających na dostrajaniu obrazów, wyszukiwaniu i identyfikacji obiektów ale przede wszystkim umożliwiające ich pomiar.
2. Vision Builder for Automated Inspection (AI) - proste i autonomiczne środowisko niewymagające programowania, służące do tworzenia aplikacji wizyjnych. Umożliwia ono rozwiązanie większości współczesnych wyzwań stawianych aplikacjom wizyjnym, bez potrzeby poznawania i stosowania języków programowania czy skomplikowanych narzędzi.

Do typowych zastosowań pomiarów odległości z wykorzystaniem systemów wizyjnych zalicza się nawigacja robotów mobilnych. Tego typu pojazdy autonomiczne używają danych o głębokości do mierzenia rozmiarów przeszkód i odległości do nich w celu sprawnego zaplanowania trasy i uniknięcia kolizji. Systemy wizyjne stereo mogą dostarczać dużych ilości danych trójwymiarowych dla aplikacji nawigacyjnych, mogą też działać wydajnie w zmieniających się warunkach oświetleniowych [6,7].

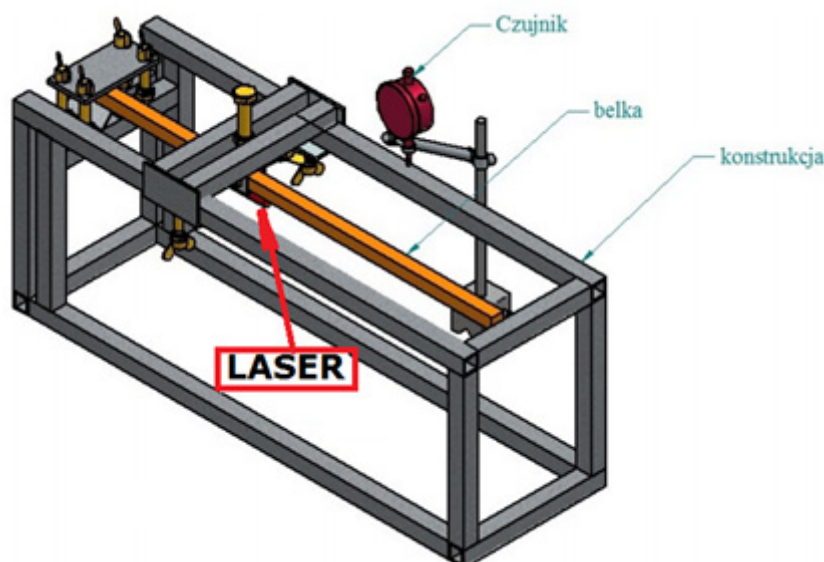
2. Część eksperymentalna.

Na cele eksperymentu zbudowano proste stanowisko składające się z konstrukcji stalowej, w której jest możliwe sztywne umocowanie belki (rys.1). Wywieranie nacisku na belkę realizowane jest poprzez śrubę zamontowaną na ruchomej platformie na

konstrukcji. Natomiast pomiar siły odbywa się poprzez układ elektroniczny z czujnikiem nacisku, co zapewnia odczyt do 1 N.

Rzutowanie ugięcia belki na płaszczyznę realizowane jest poprzez wskaźnik laserowy. Odczyt tego ugięcia jest dokonywany przez program komputerowy napisany w środowisku LabVIEW. Elementem rejestrującym przesunięcie się punktu laserowego jest kamera internetowa. Na belce zamontowano również czujnik zegarowy, który z dokładnością do 0,01 mm odczytuje ugięcie belki.

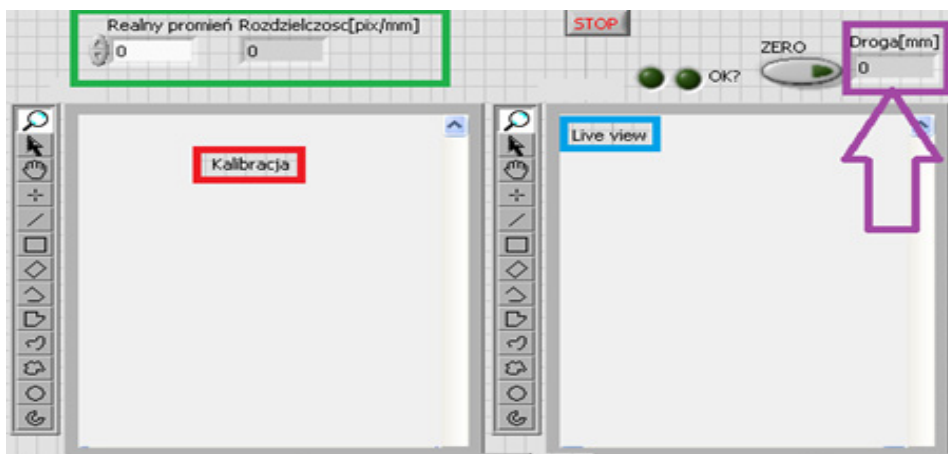
W celu uzyskania szczegółowych informacji na temat ugięcia konstrukcji mechanicznych został napisany program komputerowy analizujący przemieszczenie wyświetlanego punktu diody laserowej zespolonej z badaną konstrukcją. W opisywanym prototypie systemu monitorowania mechaniki budowli, w szczególności strzałki ugięcia belek konstrukcyjnych zastosowano prostą i tanią kamerę internetową typu Gopro. Charakteryzują ją niezbyt wygórowane parametry pracy, mała rozdzielczość – służy ona jedynie do testowania poprawności działania zaproponowanego rozwiązania. Docelowo, w zastosowaniach komercyjnych, będzie ona zastąpiona kamerą o większej rozdzielczości.



Rys. 1. Schemat zamontowania wskaźnika laserowego do pomiaru ugięcia w badanej konstrukcji.
 Fig. 1. Diagram of the laser pointer mounting to measure the deflection in the tested structure.

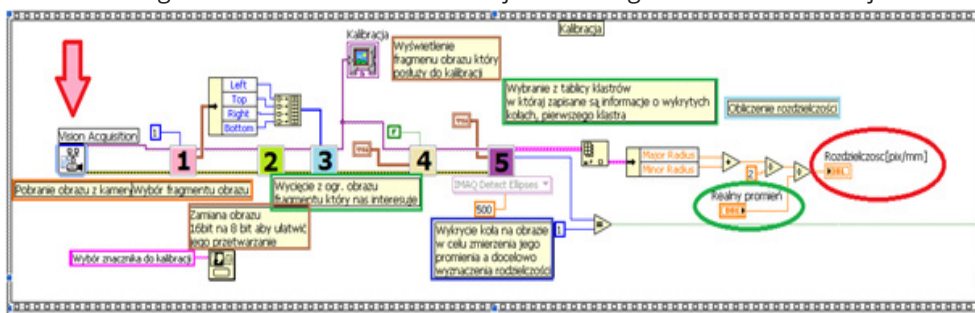
Do napisania programu wyznaczającego ugięcie monitorowanej konstrukcji wykorzystano moduł Vision Development. Widok panelu frontowego programu został przedstawiony na rysunku 2. Napisany program zawiera algorytmy do analiz pomiarowych, pozwalające na wyznaczenie danych o przemieszczeniu punktu wyświetlanego przez wskaźnik laserowy na podstawie analizy sygnałów z kamery.

Napisany program został podzielony na 3 sekwencje pomiarowe przedstawione na rysunkach 3, 4 i 5. W pierwszej części zostaje pobrany obraz punktu lasera z kamery i we fragmencie programu oznaczonego 1 jest wykrywana z całego zarejestrowanego kadru tylko część zawierająca fragment wyświetlanego punktu. W idealnej konfiguracji kamera jest umieszczona w niewielkiej odległości od wskaźnika laserowego i skierowana niemal równolegle. W bloku pomocniczym oznaczonym cyfrą 2 jest dokonywana transformacja obrazu do rozdzielczości 8 bitowej w celu przyspieszenia analizy wizyjnej dokonywanej na obrazie o niższej jakości. Taka transformacja jest dokonywana wyłącznie w aplikacji testowej, natomiast przy dokonywaniu wysokorozdzielczych pomiarów ten fragment programu jest oczywiście zbędny. W celu dalszego przyspieszenia w działaniu aplikacji w



Rys. 2. Widok Panelu Frontowego programu do pomiaru ugięcia konstrukcji.
 Fig. 2. View of the Front Panel of the program to measure the deflection of the structure.

bloku 3 jest wydzielany do dalszej analizy tylko fragment obrazu zawierający interesujący nas punkt wyznaczony w bloku 1. W blokach 4 i 5 dokonywana jest analiza obrazu pod kątem zarejestrowania wymiarów liniowych wyświetlanego punktu wskaźnika laserowego w celu finalnego obliczenia rozdzielczości zarejestrowanego obrazu do kalibracji.

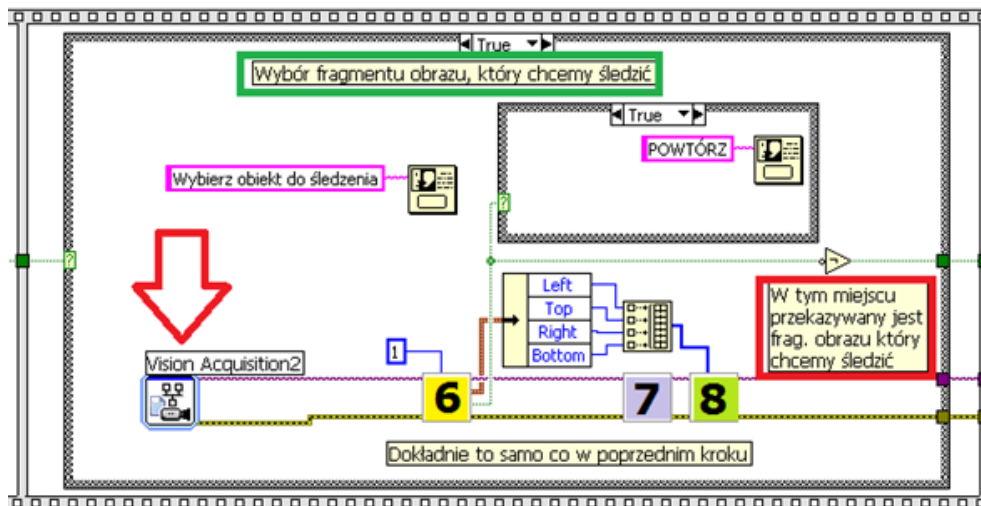


Rys. 3. Algorytm kalibracji kamery napisany w pierwszej sekwencji pomiarowej w programie LabView.
 Fig. 3. Camera calibration algorithm written in the first measurement sequence in the LabView program.

Po kalibracji kamery w celu rozpoznania relacji w przestrzeni dwu wymiarowej, czyli parametrów takich jak ugięcie i nachylenie, pozyskiwane są dwa równoległe obrazy, które pozwalają na zlokalizowanie wyświetlanego punktu i równoległe przetwarzanie obrazu w celu dokonania szybkich analiz (rys. 4). Dzięki zastosowanym algorytmom suwmiarki optycznej obecnym (bloki oznaczone jako 6,7 i 8 na rysunku 4) w module Vision Development można połączyć oba te obrazy w celu obliczenia danych o ugięciu. Obraz wyświetlanego punktu z systemu wizyjnego jest używany do obliczania współrzędnych (X, Y) przemieszczeń badanego obiektu. Punkty te są często nazywane chmurami punktów lub chmurą punktów. Informacje zawarte w chmurach punktów są bardzo przydatne podczas wizualizowania dwu i trójwymiarowych drgań obiektów, mogą być też używane w innych rodzajach oprogramowania do analiz 2D i 3D. Na przykład biblioteka AQSense 3D Shape Analysis Library (SAL3D), dostępna w repozytorium LabVIEW Tools Network, używa chmury punktów do bardziej zaawansowanego przetwarzania i wizualizacji zarejestrowanych przemieszczeń.

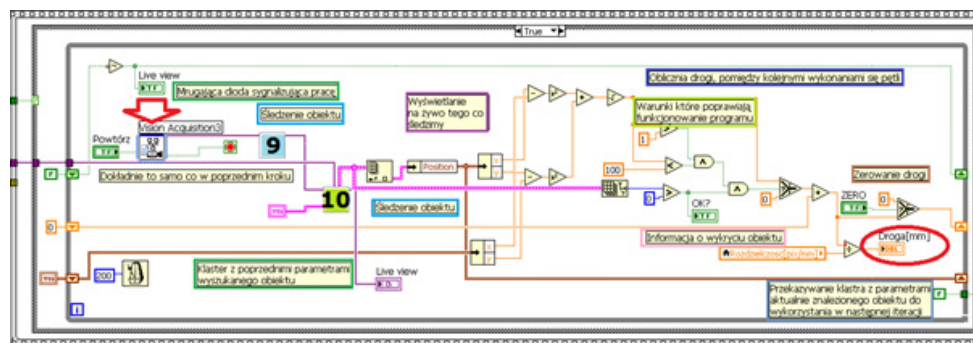
W blokach programowych 9 i 10 jest dokonywana transformacja obrazu w celu wizualizacji

procesu pomiarowego na ekranie komputera jak i finalnego wyliczenia ugięcia konstrukcji (rys. 5). Taka analiza obrazu jest dokonywana pod kątem zarejestrowania przemieszczeń wyświetlanego punktu w kolejnych sekwencjach rejestrowanych obrazów i obliczenia drogi wyświetlanego obrazu z wskaźnika laserowego.



Rys. 4. Algorytm rozpoznania relacji w przestrzeni dwu wymiarowej.
 Fig. 4. Algorithm of recognition of relationships in two-dimensional space.

Poprawność działania urządzenia sprawdzono poprzez wykonanie pomiarów wartości ugięcia w zależności od miejsca przyłożenia siły i jej wartości. Przesunięcie testowanej belki otrzymane dzięki analizie obrazu wyświetlanego przez punkt laserowy porównano z obliczeniami analitycznymi. Obliczeń dokonano wykorzystując równanie różniczkowe linii ugięcia belki określające zależność pomiędzy momentem zginającym a ugięciem. Obliczone błędy względne pomiarów mieściły się w granicach 0,3 do 1,5%. Błędy pomiaru prawdopodobnie są wynikiem użycia kamery internetowej o niskiej rozdzielczości.



Rys. 5. Algorytm wyliczenia ugięcia konstrukcji w trzeciej sekwencji pomiarowej w programie LabVIEW.
 Fig. 5. Algorithm for calculation of structure deflection in the third measurement sequence in the LabView program.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wykorzystanie systemu wizyjnego do pomiaru ugięcia konstrukcji. Metodę zobrazowano na przykładzie prostego stanowiska do badania ugięcia belek. Stanowisko zostało wyposażone w kamerę cyfrową oraz wskaźnik laserowy a do rejestracji i odczytu danych wykorzystano moduł wizyjny programu LabVIEW. Napisany

program pozwala na rejestrację danych o przemieszczeniu punktu wyświetlanego przez wskaźnik laserowy na podstawie analizy sygnałów z kamery oraz pozwala generować raporty analiz zarejestrowanego ugięcia. Pozwala to na kontrolę konstrukcji w zakresie wszelkich przesunięć i drgań oraz analizę danych pozwalających identyfikować i wykrywać wady konstrukcyjne. Pomiar dokonywany na stanowisku testowym są obarczone pewnymi błędami, jednak sama idea metody pomiaru ugięcia w oparciu o suwmiarkę wizyjną oraz program napisany do odczytu i analizy danych pomiarowych może być, po wykorzystaniu kamery o większej rozdzielczości stosowana do pomiarów ugięcia konstrukcji.

Literatura:

- [1] Sieńko R.: Monitorowanie konstrukcji budowlanych a wzrost ich bezpieczeństwa. Przegląd Budowlany 2007, nr 4, s. 34-37.
- [2] Huston D.: Structural Sensing, Health Monitoring, and Performance Evaluation. CRC Press, 2011.
- [3] Wierzbicki S.: Monitoring konstrukcji budynku halowego na przykładzie systemu WiSeNeMONIT. W: ZK 2014 Konstrukcje metalowe, Konferencja Naukowo-Techniczna 2-4 lipca 2014 Kielce-Suchedniów. s. 189-192.
- [4] Witakowski P.: Zdalne monitorowanie obiektów budowlanych podczas budowy i eksploatacji. Czasopismo Techniczne 2007, z. 1-5, s. 179-189.
- [5] Tylick H., Hoske M.T.: Systemy wizyjne maszyn. Control Engineering Polska, 2006.
- [6] Pochrubniak C.: Automatyczne systemy wizyjne. Control Engineering Polska, 2005.
- [7] Podgórski P., Bartyś M., Chojecki R.: Robotyka mobilna. PhD thesis, Politechnika Warszawska, 2001.
- [8] Chruściel M.: LabVIEW w praktyce. Legionowo: Wydawnictwo BTC, 2008.

THE USE OF A VISION SYSTEM FOR MEASURING THE CONSTRUCTION DEFLECTION

SUMMARY

In the study, a test stand for testing beams deflection lines and building structures using a calliper visual calliper algorithm was designed and made. Designing the stand was associated with the need to link the analysis of the image obtained from a digital camera to the issue of beam deflection. All materials and equipment used to build the stand were selected so as to optimize the stand for the strength, lightness and stability, and to ensure the most accurate and automated reading. To build the model structure, steel profiles were used, and the measurement system was made on the basis of a strain gauge pressure sensor and the setting with a microcontroller. Beam deflection reading is realised through the Labview program using a video module. On the designed stand it is possible, in a practical way, to measure the deflection of a beam loaded with concentrated forc. Measurements performed on the test stand are subject to errors resulting from the use of a webcam with low resolution, but it can be modernised in the future to precise tests on issues of structural mechanics.

KEYWORDS

ambient light sensor, intelligent building automation, structures monitoring