

Modułowy system wieloaspektowej optycznej kontroli jakości elementów polimerowych

Paweł Rotter, Maciej Klemiato, Dawid Knapik, Maciej Rosół

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Automatyki i Robotyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Grzegorz Putynkowski

Centrum Badań i Rozwoju Technologii dla Przemysłu S.A., ul. L. Waryńskiego 3A, 00-645 Warszawa

Streszczenie: W artykule przedstawiono system kontroli jakości elementów polimerowych wykonywanych metodą wtrysku wysokociśnieniowego, obejmujący zarówno kontrolę wizualnych wad powierzchni, tzw. wtrąceń, jak precyzyjną kontrolę geometrii. System ma budowę modułową, co oznacza, że składa się z połączonych szeregowo stanowisk kontrolujących poszczególne aspekty wykonania wtrysku. W systemie wykorzystane są dwie kamery, umieszczone w oświetlaczach kopułowych oraz układ czterech profilometrów laserowych. System został zaprojektowany z myślą o zastosowaniach przemysłowych, gdzie dokładność i szybkość inspekcji są kluczowe. System ma parametry pozwalające na zastosowanie go w typowych małoseryjnych liniach produkcyjnych cechujących się istotną dynamiką przebrojeń, bez potrzeby ograniczania wydajności produkcji, kontrolując detale ze znacznie większą dokładnością względem metod stosowanych przed wdrożeniem. System może skontrolować 30 wtrysków na minutę (multiplikowanych przy krotności form), wykrywając wtrącenia o średnicy 350 μm oraz różnice geometrii między wzorcem a wtryskiem wielkości 100 μm . Może on znaleźć zastosowanie we wszystkich branżach, w których plastikowe części formowane wtryskowo są powszechnie używane, takich jak np. przemysł motoryzacyjny czy elektroniczny oraz AGD. Prototyp prezentowanego systemu został nagrodzony złotym medalem na targach Automaticon w Warszawie.

Słowa kluczowe: optyczna kontrola jakości, wtryski polimerowe, detekcja wtrąceń, skanowanie 3D, profilometr laserowy

1. Wprowadzenie

Celem systemu zaprezentowanego w pracy jest automatyczne wykrywanie na wczesnym etapie produkcji wad wyrobów z tworzyw sztucznych wytwarzanych metodą wtrysku wysokociśnieniowego. Obecnie próbki są kontrolowane na taśmie produkcyjnej przez wyznaczonych do tego pracowników, a po zakończeniu procesu produkcyjnego losowo wybrane elementy są ręcznie mierzone. Proces ten jest niedokładny, gdyż niektóre wady są trudne do wykrycia. Jako niepełnowartościowe mogą być bowiem uznane zarówno próbki zawierające przebarwienia o średnicy rzędu 0,5 mm, jak i takie, których wymiary różnią się od wzorca o wartości nieznacznie przekraczające 100 μm . Wystąpienie wadliwych wyrobów może skutkować odrzuceniem przez klienta całej partii towaru, co powoduje znaczne straty po stronie producenta.

Autor korespondujący:

Paweł Rotter, rotter@agh.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 12.07.2024 r., przyjęty do druku 28.10.2024 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Technologia produkcji, dla której został zaprojektowany system polega na wtryskiwaniu pod wysokim ciśnieniem stopionego materiału (granulatu) do chłodzonej formy, w której następuje szybkie stwardnienie materiału. Po wypełnieniu formy i zastygnięciu materiału, forma zostaje otwarta i gotowy element jest automatycznie wyjmowany lub wypychany. Proponowany system kontroli jakości jest dostosowany do wielokomponentowej, niskoseryjnej produkcji. W tym trybie następują częste przebrojenia, a produkowane wolumenty są liczone w tysiącach. Każdorazowe uruchomienie procesu wymaga dostosowania parametrów produkcji co przekłada się na stosunkowo wysoką brakowość wynoszącą około 4 %. Zadaniem automatycznego systemu kontroli jakości jest redukcja brakowości do 2 %. Osiągnięcie takiej poprawy jest możliwe przez wykrycie wad na wczesnym etapie procesu. W rozważanym przypadku wyprodukowane elementy z kilku wtryskarek są automatycznie odkładane na wspólny przenośnik taśmowy, którego prędkość wynosi 20 cm/s. Rozważane elementy mają średnicę od około 2 cm do 14 cm (rys. 1) i mogą zajmować dowolne położenie na obszarze o wymiarach 24 cm \times 24 cm.

Kontrola obejmuje zarówno wygląd powierzchni elementów, jak i ich geometrię. W pierwszym przypadku celem systemu jest wykrycie tzw. wtrąceń, czyli miejscowych przebarwień na powierzchni elementu, natomiast sprawdzenie geometrii odbywa się przez porównanie z trójwymiarowym wzorcem znajdującym się w bazie danych.



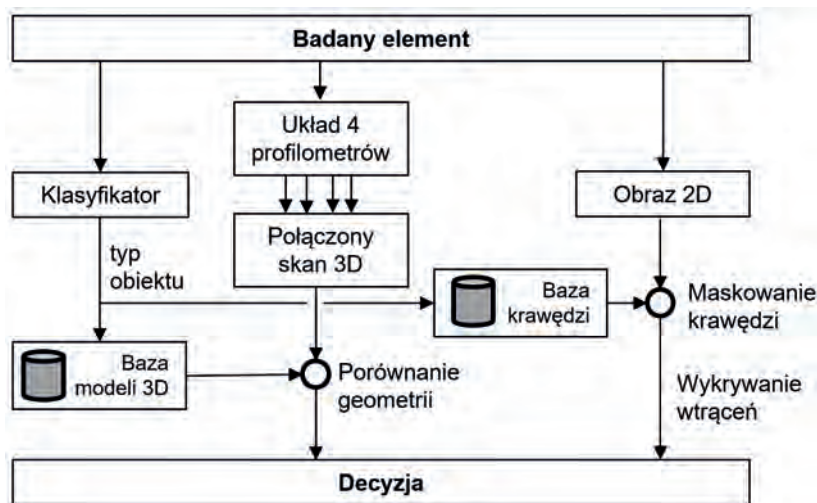
Rys. 1. Przykład detalu polimerowego podlegającego kontroli z zaznaczonym wtrąceniem
Fig. 1. Example of an injection molded parts under control with an inclusion

Przed wdrożeniem systemu elementy kontrolowane były ręcznie, przy czym geometria mogła być kontrolowana tylko wrywkowo, np. dla wybranego elementu z serii, w określonych miejscach (porównanie z wzorcem odległości między wybranymi punktami charakterystycznymi, brak możliwości porównania całego obiektu) i z ograniczoną dokładnością. Z kolei wtrącenia (drobne przebarwienia powstałe w procesie produkcyjnym) kontrolowane były dla każdego elementu, jednak w przypadku kontroli prowadzonej przez człowieka wiele drobnych wad pozostaje niezauważonych.

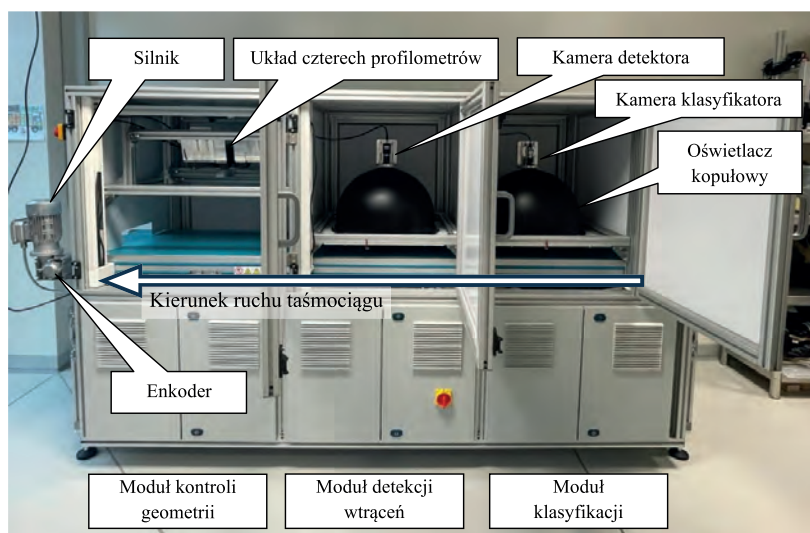
Przedstawiony system składa się z trzech modułów:

- klasyfikacji elementów,
- detekcji wtrąceń,
- kontroli geometrii.

Moduł klasyfikacji jest niezbędny do działania pozostałych dwóch modułów, gdyż informacja o rodzaju elementu jest wykorzystywana zarówno w detekcji wtrąceń (do maskowania krawędzi), jak i w module kontroli geometrii. Pozostałe dwa moduły są niezależne, tzn. można skonfigurować system składający się z dwóch modułów, mający na celu wyłącznie detekcję wad powierzchni (moduł klasyfikacji i moduł detekcji) lub wyłącznie kontrolę geometrii (moduł klasyfikacji i moduł kontroli geometrii). Moduł klasyfikacji może zostać pominięty w sytuacji, gdy na danej linii produkowanej jest tylko jeden rodzaj elementów. Schemat blokowy systemu został przedstawiony na rys. 2, natomiast widok prototypu na rys. 3.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu
Fig. 2. Block diagram of the system

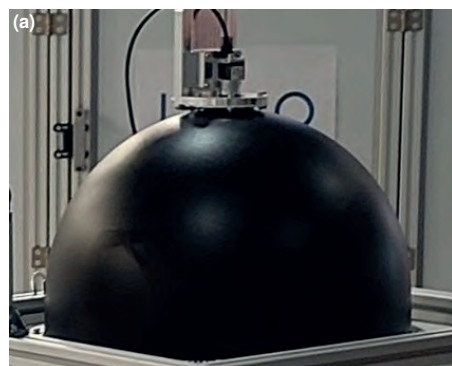


Rys. 3. Widok całości systemu
Fig. 3. General view of the system

2. Moduł klasyfikacji

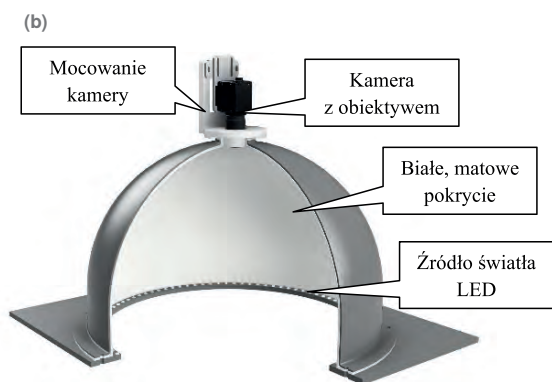
System przedstawiony w artykule może dokonywać inspekcji w sytuacji, gdy na linii produkcyjnej znajduje się wiele rodzajów elementów. Stąd pierwszym niezbędnym modulem, przez który przechodzi każdy badany element jest klasyfikator. Jego zadaniem jest określenie typu elementu, który będzie kontrolowany w następnych etapach. W module kontroli wtrąceń wynik klasyfikacji decyduje o wyborze maski krawędzi przygotowanej off-line dla każdego rodzaju elementu. Z kolei w module kontroli geometrii dokonuje się trójwymiarowego skanowania obiektu, a następnie porównuje ten skan z modelem znajdującym się w bazie danych, wskazanym przez klasyfikator.

Pierwszym istotnym problemem, na jaki napotkano są odbicia światła od kontrolowanego obiektu. Problem odbić i zapewnienia jednolitego źródła światła jest często poruszany w literaturze [1, 2]. Jednolitość światła można zweryfikować za pomocą goniofotometrów lub kamer typu rybie oko [1, 3, 4]. Aby uniknąć odbić światła i zapewnić jego równomierność, zarówno w module klasyfikacji, jak w module detekcji wtrąceń zastosowano specjalnie zaprojektowane oświetlacze kopułowe (rys. 4). Mają one kształt zbliżony do półsfery, a ich wnętrze zostało pokryte matowym jednolitym wykończeniem w kolorze białym. Na spodzie oświetlacza zostały zamontowane diody LED w taki sposób, że światło odbija się od wewnętrznej powierzchni sfery, oświetlając w ten sposób badane obiekty. Na szczycie kopuły umieszczono precyzyjne, regulowane mocowanie dla kamery. Średnica oświetlacza została dostosowana do wymiaru badanych elementów, tak aby zapewnić jednolite warunki oświetlenia. W prezentowanym przykładzie obszar roboczy wynosi 24 cm × 24 cm, a średnica kopuły to 50 cm.



Rys. 4. Oświetlacz kopułowy (a) i przekrój modelu CAD (b)

Fig. 4. Light dome (a) and intersection of the CAD model (b)



Do klasyfikacji detali zastosowano głęboką sieć neuronową SqueezeNet [5], zaimplementowaną na mikrokomputerze Raspberry Pi 4. Zapewnia ona dokładność porównywalną do sieci AlexNet [6] przy 50-krotnie mniejszej liczbie parametrów, zajmując jedynie ok. 0,5 MB pamięci programu. Oryginalnie sieć SqueezeNet została zaprojektowana do rozpoznawania 1000 klas obiektów. Dla celów projektu zmodyfikowano architekturę sieci w taki sposób, aby rozpoznawała zadaną przez klienta liczbę klas. Do uczenia sieci zastosowano technikę transfer learning, tzn. sieć nauczoną na zbiorze ImageNet (ok. 14 mln ręcznie ozna-

czonych obrazów) douczono na bazie zdjęć detali dostarczonych przez klienta. Wyniki predykcji tak nauczonej sieci wyniosły 100 % poprawnych klasyfikacji, zarówno na zbiorze testowym, jak i na całym zbiorze.

3. Moduł detekcji wtrąceń

Wtrącenie lub inkluzja, w przypadku analizy jakości wykonania elementów polimerowych, to lokalne przebarwienie na powierzchni produkowanych elementów. W przypadku białych elementów do jego wykrycia wystarcza kamera dająca obraz w skali szarości, na którym wtrącenie jest widoczne jako ciemna plamka. Istnieje wiele metod wykrywania defektów na powierzchniach jednorodnych lub teksturowanych [7]. Metody klasyczne korzystają głównie z analizy tekstury [8] i analizy lokalnych fluktuacji skali szarości [9], zmienności kolorów [10] czy cech fraktalnych [11]. W ostatnich latach pojawiły się także metody oparte na głębokich sieciach neuronowych [12–15]. Wymienione metody zazwyczaj operują na obrazach powierzchni, bez wykorzystania wiedzy o geometrii obiektu i wynikających z tego zmianach intensywności obrazu, występujących m.in. w miejscach krawędzi obiektu. Tego typu podejście gwarantuje jednak ograniczoną niezawodność [12]. Metody bazujące na głębokich sieciach neuronowych wymagają dużych zbiorów uczących, czyli dużej liczby oznakowanych próbek. Istniejące zastosowania głębokich sieci do wykrywania defektów koncentrują się na określonych typach produktów przemysłowych, w przypadku których istnieją publiczne bazy danych defektów powierzchni, jak stal, profil aluminiowy, panel słoneczny, tkanina. Szczegółowe informacje na ten temat zawarto w artykule przeglądowym [16]. Dotychczas nie znaleziono publicznej bazy danych zawierającej defekty elementów formowanych wtryskowo.

Złożoność problemu wykrywania inkluzji związana jest ze złożoną geometrią badanych elementów. Intensywność i wielkość inkluzji jest bardzo mała w porównaniu ze zmianami skali szarości obrazu na krawędziach (rys. 1). Dlatego w pierwszym kroku należy zlokalizować krawędzie obiektu i wykluczyć je z obliczeń. Zaproponowana metoda wykorzystuje bazę danych, dostarczoną przez producenta elementów wtryskowych, zawierającą modele 3D produktów oraz wygenerowaną na tej podstawie maskę krawędzi, przygotowaną off-line na podstawie modelu. Dopasowanie odpowiedniego modelu 3D do obrazu z kamery pozwala na precyzyjne obliczenie położenia krawędzi bez korzystania z detektora krawędzi. W efekcie wynik obliczeń nie zależy od wyrazistości krawędzi na obrazie z kamery ani od jakości pozy-skiwanego obrazu.

Elementy produkowane są w oparciu o modele CAD, które są dostępne na etapie kontroli jakości. W przypadku niektórych obiektów występują różnice między modelami a wyprodukowanymi elementami, będące skutkiem specyfiki procesu technologicznego. Z tego powodu utworzono postprodukcyjne, bardzo dokładne modele 3D przez skanowanie prawidłowo wyprodukowanych próbek za pomocą profesjonalnego urządzenia GOM Atos Scanbox.

Proces dopasowania maski krawędzi pozyskanej na podstawie modelu 3D do obrazu kontrolowanego elementu jest dość złożony. Algorytm dopasowujący działa na obrazach w skali szarości, stąd obrazu badanego obiektu nie można bezpośrednio dopasować do maski, będącej obrazem binarnym. Metoda wykorzystuje więc przygotowaną off-line parę referencyjną, zawierającą dwa obrazy dla każdego rodzaju elementu: obraz elementu i odpowiadającą mu maskę krawędzi. Na etapie dokonywania inspekcji, po klasyfikacji obiektu jest on dopasowywany do odpowiedniego obrazu referencyjnego w celu znalezienia parametrów transformacji (przesunięcia, obrotu i skalowania) pomiędzy badanym obiektem a maską referencyjną, a następnie parametry te wykorzystane są w celu nałożenia maski na obraz kon-

trowanego elementu. Po wymaskowaniu krawędzi, dla części powierzchni obiektu, która nie jest maskowana, obliczane jest lokalne odchylenie standardowe. Obszary, w których przekracza ono wartość progową, są oznaczone jako wtrącenia.

4. Moduł kontroli geometrii

Moduł kontroli geometrii ma na celu wykrycie wad polegających na wystąpieniu różnicy między geometrią badanego elementu a geometrią wzorca. Różnica taka może wynikać z degradacji formy, np. na skutek zwiększonej adhezji formy czy zatkanych kanałów odgazowania. Powoduje to strukturalne wady tworzywa, w tym wylamania drobnych elementów



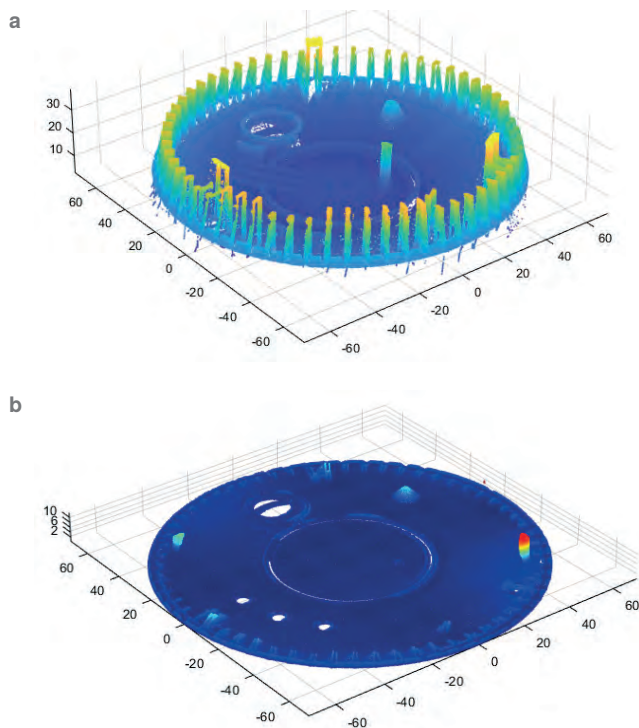
Rys. 5. Wnętrze modułu kontroli geometrii z układem czterech profilometrów laserowych

Fig. 5. The interior of the geometry control module with the set of four laser profilometers

oraz nadłania materiału. Inną przyczyną wad geometrycznych są uszkodzenia mechaniczne na skutek nieprawidłowej pracy wypychaczy, umożliwiających automatyczne wyjmowanie produktu z formy. Wymienione przyczyny mogą prowadzić do incydentalnych wad (występujących w pojedynczych elementach w serii), jak i systematycznych defektów w całej produkowanej serii.

Do skanowania powierzchni elementów zastosowano profilometrię laserową. Profilometr to urządzenie wykorzystujące triangulację, w którym wiązka lasera uformowana w płaską wstęgę po odbiciu od skanowanej powierzchni pada na matrycę światłoczułą. W jednej chwili czasowej odtwarzany jest pojedynczy profil, natomiast ruch elementu na taśmie produkcyjnej pozwala na uzyskanie pełnego trójwymiarowego skanu powierzchni. W prezentowanym rozwiązaniu zastosowano układ czterech profilometrów (rys. 5), co zapewnia redukcję stref martwych, czyli obszarów, które z powodu przesłonięcia przez inne fragmenty powierzchni elementu nie mogą być prawidłowo zeskanowane. Po zmontowaniu stanowiska profilometrii są kalibrowane za pomocą algorytmu opracowanego na potrzeby projektu, wykorzystującego wzorec kalibracyjny poruszający się na taśmieciągu [17].

Po zeskanowaniu obiektu chmury punktów uzyskane z czterech profilometrów są konwertowane do wspólnego układu współrzędnych na podstawie wcześniejszej kalibracji, a następn-

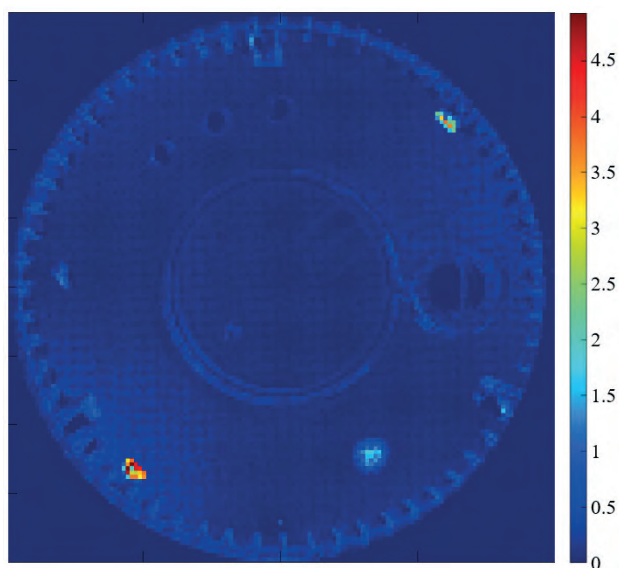


Rys. 6. Skan badanego elementu (a) oraz obraz odchyłek od wzorca, gdzie kolor oznacza wartość odchyłki (b)

Fig. 6. A scan of the element under examination (a) and the surface deviation, where color denotes the deviation magnitude (b)

nie łączone w jeden skan 3D. Następnie ma miejsce dopasowanie modelu znajdującego się w bazie danych, wskazanego przez moduł klasyfikatora, do otrzymanego skanu. Dopasowanie dokonywane jest na reprezentacji obiektów w postaci chmur punktów, z wykorzystaniem algorytmu ICP [18]. Skan przykładowego elementu oraz obraz odchyłek od wzorca przedstawiono na rys. 6.

Rysunek 7 przedstawia element o zredukowanej rozdzielczości, zrzutowany na płaszczyznę, prezentowany operatorowi systemu po zidentyfikowaniu miejsc, w których wartość odchyłek przekracza dopuszczalne wartości progowe.



Rys. 7. Fragment ekranu z obrazem odchyłek badanej próbki od wzorca, uśredniony z rozdzielczością 400 × 400 pikseli. Wielkość piksela: 325 μm, pole widzenia: 130 mm. Skala błędów jest wyrażona w mm

Fig. 7. A screen fragment in the SCADA system with the image of deviations of the tested sample from the model, averaged with a resolution of 400 × 400 pixels. Pixel size: 325 μm, the field of view: 130 mm. Error scale in mm

5. Wnioski

Opisany projekt modułowego systemu kontroli jakości wykonania elementów polimerowych wdrożono w przemyśle. Urządzenie wykonano w formie zintegrowanego stanowiska kontroli jakości do sekwencyjnego badania obu stron detali. Stanowisko zawiera dwa identyczne, modułowe systemy kontroli jakości, między którymi umieszczono moduł obrotu badanego elementu (tzw. obrotnicę). Ostatnim elementem stanowiska jest moduł odrzutu, który na podstawie wyniku kontroli jakości usuwa wadliwy element z taśmociągu.

Implementacja przemysłowa potwierdziła praktyczną użyteczność systemu, testowanego wcześniej w warunkach laboratoryjnych. Założone wymagania systemu zostały spełnione, zarówno w zakresie prędkości taśmy produkcyjnej i liczby elementów kontrolowanych w ciągu minuty, jak dotyczące średnicy wykrywanych wtrąceń i wielkości wykrywanych wad geometrycznych. System działa z prędkością umożliwiającą kontrolowanie 30 elementów w ciągu minuty, poruszających się z prędkością 20 cm/s. Wykrywane są wtrącenia (przebarwienia powierzchni) o średnicy od 0,35 mm oraz wady geometryczne z dokładnością 0,1 mm. Modułowa budowa systemu pozwala na implementację wybranej części systemu, jeśli zachodzi potrzeba kontroli tylko określonego aspektu produktu, np. tylko jego geometrii lub jednorodności powierzchni.

System został zaprojektowany po kątem kontroli jakości elementów polimerowych. W ramach dalszego rozwoju projektu planowane jest przystosowanie systemu do analizy powierzchni i geometrii innych produktów. Planuje się także optymalizację rozmieszczenia profilometrów, analizę zastosowania w systemie innych urządzeń obrazujących, np. kamer multispektralnych oraz zbadanie możliwości poszerzenia pola widzenia systemu, które jest ograniczone parametrami profilometrów.

Podziękowania

Badania były częściowo finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, grant nr POIR.01.01.01-00-0116/20-00 oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z subwencji 11.11.120.815. Autorzy pragną podziękować zespołowi badaczy i inżynierów CBRT P.S.A. za współpracę podczas budowy prototypu. Dziękujemy firmie Hanplast sp. z o.o. za konstruktywne dyskusje, przekazanie próbek wadliwych elementów oraz za szczegółowe prezentacje linii produkcyjnych.

Bibliografia

- Li B., Wang J., Gao Z., Gao N., *Light Source Layout Optimization Strategy Based on Improved Artificial Bee Colony Algorithm*, "Mathematical Problems in Engineering", 2021, DOI: 10.1155/2021/8099757.
- Liu L., Wang H., Yu B., Xu Y., Shen J., *Improved algorithm of light scattering by a coated sphere*, "China Particology", Vol. 5, No. 3, 2007, 230–236, DOI: 10.1016/j.cpart.2007.03.003.
- Kokka A., Pulli T., Ferrero A., Dekker P., Thorseth A., Kliment P., Klej A., Gerloff T., Ludwig K., Poikonen T., *Validation of the fisheye camera method for spatial non-uniformity corrections in luminous flux measurements with integrating spheres*, "Metrologia", Vol. 56, No. 4, 2019, DOI: 10.1088/1681-7575/ab17fe.
- Kokka A., Pulli T., Poikonen T., Askola J., Ikonen E., *Fisheye camera method for spatial non-uniformity corrections in luminous flux measurements with integrating spheres*, "Metrologia", Vol. 54, No. 4, 2017, 577–583, DOI: 10.1088/1681-7575/aa7cb7.
- Iandola F.N., Moskewicz M.W., Ashraf K., Han S., Dally W.J., Keutzer K., *SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 1MB model size*, presented at the ICLR, 2017.
- Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E., *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*, presented at the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2012.
- Luo Q., Fang X., Su J., Zhou J., Zhou B., et al., *Automated Visual Defect Classification for Flat Steel Surface: A Survey*, "IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement", Vol. 69, No. 12, 2020, 9329–9349, DOI: 10.1109/TIM.2020.3030167.
- Xie X., *A Review of Recent Advances in Surface Defect Detection using Texture analysis Techniques*, "ELCVIA Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis", Vol. 7, No. 3, 2008, DOI: 10.5565/rev/elcvia.268.
- Ma Y., Li Q., Zhou Y., He F., Xi S., *A surface defects inspection method based on multidirectional gray-level fluctuation*, "International Journal of Advanced Robotic Systems", Vol. 14, No. 3, 2017, DOI: 10.1177/1729881417703114.
- Weyrich M., Wang Y., *A Real-time and Vision-based Methodology for Processing 3D Objects on a Conveyor Belt Model Driven Development of Service Oriented Plant Controls View project Autonomous Systems View project*, "International Journal of Systems Applications, Engineering & Development", Vol. 5, No. 4, 2011, 561–569.
- Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G., Zakharov A.A., *Using fractal features of digital images for the detection of surface defects*, "Pattern Recognition and Image Analysis", Vol. 25, 2015, 122–131, DOI: 10.1134/S105466181501023X.
- Ren Z., Fang F., Yan N., Wu Y., *State of the Art in Defect Detection Based on Machine Vision*, "International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology", Vol. 9, 2021, 661–691, DOI: 10.1007/s40684-021-00343-6.
- Bhatt P.M., Malhan R.K., Rajendran P., Shah B.C., Thakar S., Yoon Y.J., Gupta S.K., *Image-Based Surface Defect Detection Using Deep Learning: A Review*, "Journal of Computing and Information Science in Engineering", Vol. 21, No. 4, 2021, DOI: 10.1115/1.4049535.
- Ke K.-C., Huang M.-S., *Quality prediction for injection molding by using a multilayer perceptron neural network*, "Polymers", Vol. 12, No. 8, 2020, DOI: 10.3390/polym12081812.
- Cha Y.-J., Choi W., Suh G., Mahmoudkhani S., Büyükköztürk O., *Autonomous Structural Visual Inspection Using Region-Based Deep Learning for Detecting Multiple Damage Types*, "Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering", Vol. 33, No. 9, 2018, 731–747, DOI: 10.1111/mice.12334.
- Chen Y., Ding Y., Zhao F., Zhang E., Wu Z., Shao L., *Surface defect detection methods for industrial products: A review*, "Applied Sciences", Vol. 11, No. 16, 2021, DOI: 10.3390/app11167657.
- Rotter P., Klemiato M., Rosół M., Knapik D., Putynkowski G., et al., *Sposób kalibracji zestawu profilometrów laserowych*, Zgłoszenie patentowe P.443116, 2023.
- Chen Y., *Object modelling by registration of multiple range images*, [In:] IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1991, 2724–2729, DOI: 10.1109/ROBOT.1991.132043.

The Modular Multi-aspect Optical Inspection System for the Quality Control of Polymer Elements

Abstract: The article presents a quality control system for polymer components produced by injection molding, covering both the control of visual surface defects, known as inclusions, and precise geometry control. The system is modular, i.e., it is composed of a series of stations that control different aspects of the element. The system includes two cameras placed in dome illuminators and an array of four laser profilometers. It is designed for industrial application, where accuracy and inspection speed are critical, and its parameters allow it to be used in typical production lines without limiting production speed. The produced elements are controlled with much greater precision than before its implementation. The system can inspect 30 elements per minute, detecting inclusions of 350 μm in diameter and geometric differences between the pattern and the injection of up to 100 μm . It can be applied in all industries where injection-molded plastic parts are commonly used, such as the automotive, electronics industries, and home appliances. The prototype of the presented system was awarded a gold medal at the Automaticon fair in Warsaw.

Keywords: optical quality control, injection molded parts, inclusion detection, 3D scanning, laser profilometer

dr hab. inż. Paweł Rotter, prof. AGH

rotter@agh.edu.pl

ORCID: 0000-0002-1556-6539

Zatrudniony na stanowisku profesora uczelni na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w Katedrze Automatyki i Robotyki. W przeszłości pracował w Laboratorium Sztucznej Inteligencji i Analizy Danych Uniwersytetu Arystotelesa w Salonikach, na Politechnice Krakowskiej oraz we Wspólnotowym Centrum Badawczym (JRC) w Sewilli. Jego zainteresowania badawcze obejmują przetwarzanie i analizę obrazu, uczenie maszynowe i sztuczną inteligencję.



dr inż. Maciej Klemiato

mkl@agh.edu.pl

ORCID: 0000-0003-0052-7083

Uzyskał stopień doktora w dyscyplinie Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w 2001 r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatyki i Robotyki AGH. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na algorytmach sterowania, uczeniu maszynowym w zastosowaniach przemysłowych i systemach wizyjnych.



dr inż. Grzegorz Putynkowski

grzegorz.putynkowski@cbrtp.pl

ORCID: 0000-0003-0261-6194

Uzyskał tytuł magistra w zakresie systemów teleinformatycznych oraz elektroenergetyki przemysłowej na Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym w Radomiu i Uniwersytecie Technologiczno-Rolniczym w Bydgoszczy. Doktorant w Instytucie Mechatroniki i Systemów Informatycznych Politechniki Łódzkiej. Autor i współautor licznych publikacji z zakresu rynku energii, odnawialnych źródeł energii i nanostruktur. Posiada kilkunastoletnie doświadczenie w zarządzaniu projektami badawczo-rozwojowymi w Polsce i za granicą oraz komercjalizacji wyników badań.



dr inż. Maciej Rosół

mr@agh.edu.pl

ORCID: 0000-0003-1176-7904

Pracuje jako adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego obszary badawcze obejmują modelowanie i sterowanie nieliniowymi procesami dynamicznymi w czasie rzeczywistym; opracowywanie algorytmów sterowania w oparciu o model procesu; uczenie maszynowe, projektowanie systemów wbudowanych w aplikacjach pomiarowych/sterujących oraz sterowanie rozproszone z wykorzystaniem przemysłowych sieci Ethernet.



mgr inż. Dawid Knapik

knapik@agh.edu.pl

ORCID: 0000-0002-3029-886X

Otrzymał tytuł mgr. inż. na kierunku Automatyka i Robotyka na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki. Obecnie pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Automatyki i Robotyki. Jego główne zainteresowania badawcze obejmują sterowania zdecentralizowane, sterowanie w czasie rzeczywistym oraz systemy wbudowane.

