



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

KATEDRA Badań Operacyjnych

Praca dyplomowa inżynierska

*Zastosowanie systemów wizyjnych w inżynierii produkcji na
przykładzie systemu InSight firmy Cognex*
*Applications of vision systems in production engineering on the
example of Cognex InSight system.*

Autor:

Kierunek studiów:

Opiekun pracy:

Wojciech Jezioro

Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

dr hab. inż., prof. AGH Piotr Łebkowski

Kraków, 2021

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Istota przemysłowych systemów wizyjnych.....	4
2.1 Kontrola w procesie wytwarzania.....	4
2.2 Postęp technologiczny w dziedzinie widzenia maszynowego.....	6
3. Architektura systemów wizyjnych na przykładzie Cognex InSight.....	8
3.1 Budowa i zasada działania	8
3.2 Software i narzędzia.....	14
4. Zastosowanie i pełnione zadania.....	17
4.1 Kontrola jakości.....	17
4.2 Wspomaganie ręcznego montażu.....	20
4.3 Traceability (możliwość śledzenia).....	21
4.4 Sterowanie robotem.....	24
5. Rozwój technologii.....	26
5.1 Deep learning (głębokie uczenie).....	26
5.2 Rola systemów wizyjnych w Przemysle 4.0.....	27
6. Podsumowanie.....	29
Bibliografia.....	31
Załączniki.....	32

1.Wstęp

System wizyjny (*vision system*) lub system widzenia maszynowego (*machine vision*) to struktura elementów elektronicznych, której zadaniem jest automatyczna analiza rejestrowanych obrazów. Wizja maszynowa to element inżynierii produkcji czerpiący wiedzę z dziedzin takich jak optyka, mechatronika, automatyka przemysłowa i informatyka [5][15].

W inżynierii produkcji systemy wizyjne zyskują coraz większy obszar aplikacji w kontroli jakości, kontroli procesu wytwarzania i poprawie bezpieczeństwa pracy. Są to wydajne i elastyczne rozwiązania do realizacji skomplikowanych zadań. Do działania wymagają dodatkowych urządzeń I/O (wejść/wyjść) oraz sieci przemysłowych do komunikacji z nadrzędnym systemem sterowania. Charakteryzują się prostotą implementacji, niskimi kosztami eksploatacji a przede wszystkim wysoką skutecznością. Przemysłowe systemy widzenia maszynowego znajdują zastosowanie w rozwiązywaniu problemów inspekcji wizyjnej, przyczyniając się do podnoszenia poziomu automatyzacji i wydajności. Z tego powodu są z powodzeniem stosowane w wielu gałęziach przemysłu [5][6].

2. Istota przemysłowych systemów wizyjnych

2.1 Kontrola w procesie wytwarzania

Współczesna branża wytwórcza musi oferować najwyższej jakości produkty przy zachowaniu jak najniższej ceny. Aby zaspokoić rosnące wymagania klientów i zachować konkurencyjność w sektorze przedsiębiorstwa produkcyjne zmagają się z wieloma wyzwaniami takimi jak: rosnące koszty pracy, niewielka ilość ekspertów, co raz dalej idąca specjalizacja, czasochłonność i wysokie koszty szkoleń, konieczność maksymalnej redukcji odpadów i reklamacji.

Podczas produkcji nie sposób uniknąć występowania produktów wadliwych. Przyczyną ich powstawania może być błąd operatora, awaria lub niedokładność maszyny, wada materiału czy niewłaściwy dobór parametrów przez technologa. Im wcześniej defekt zostanie wykryty, tym mniejsze koszty za sobą pociąga [1].

Wykrywaniem i analizą błędów w procesie produkcyjnym zajmuje się kontrola jakości. W przeszłości kontrola jakości polegała na porównywaniu przez pracownika produktu wytwarzanego z wzorcem stanowiącym umowną normę. Możliwości percepcji człowieka są jednak ograniczone. Ludzkie oko, mimo wysokiej rozdzielczości nie ma możliwości przybliżenia obrazu czy rejestrowania obrazów z wysoką częstotliwością. Problem stanowi też ulegający zatarciu w pamięci obraz wzorca. Człowiek jest omylny, miewa problemy z utrzymaniem koncentracji wykonując monotonną, powtarzającą się pracę przez wiele godzin, musi odpoczywać a decyzje mają charakter subiektywny i osobniczo zmienny. Może jednak wykrywać nowe rodzaje defektów [4].

W celu minimalizacji kosztów odpadów często nie wystarczy kontrola jakości wyrobu gotowego. Konieczna staje się kontrola na poszczególnych etapach procesu produkcyjnego. Jest to tym ważniejsze, im bardziej złożony jest finalny produkt. Łatwo jest bowiem wyobrazić sobie sytuację gdy niewykryty błąd w początkowej fazie produkcji prowadzi do niezgodności produktu gotowego, która wiąże się z spiętrzeniem kosztu takiego odrzutu. W tej samej sytuacji natomiast wykrycie błędu na tym samym lub kolejnym etapie często stwarza możliwość łatwego skorygowania wady, naprawy bądź regulacji maszyny. Taka metodyka istotnie skraca proces analizy przyczyn występowania niezgodności i w najwyższym stopniu ogranicza dalsze produkowanie

wyrobów niezgodnych. Zdarza się, że czas taktu w produkcji jest krótszy niż czas kontroli, często w takim przypadku stosuje się wyrwykową kontrolę jakości. Jednak wyrwykowa kontrola może okazać się niewystarczająca, gdyż nie zapewnia zgodności każdego produktu z wymaganiami klienta. Zasadnym jest wprowadzanie kontroli 100% (całości produkcji) przynajmniej na tych etapach procesu produkcyjnego, które wpływają na najważniejsze charakterystyki produktu jak bezpieczeństwo, funkcjonalność etc. Kontrola każdego produktu na wielu etapach produkcji ma liczne zalety. Wpływa na redukcję kosztów w przedsiębiorstwie oraz pomaga kreować dobry wizerunek przedsiębiorstwa dostarczającego klientom wyroby pozbawione wad. Wykrycie niezgodności w partii kontrolnej pociąga za sobą znaczne koszty sortowania już wyprodukowanych elementów. Istnieje również ryzyko niewykrycia defektów i wysłania wadliwych produktów do klientów. Tak rozbudowana, wieloetapowa kontrola przez ludzkich kontrolerów jakości byłaby czasochłonna, wymagałaby zatrudnienia i przeszkolenia wielu osób.

Alternatywą dla ludzkich kontrolerów jakości jest zastosowanie urządzeń technologicznych zastępujących zdolności widzenia. Istnieje szeroki wachlarz czujników optycznych odpowiedzialnych za zbieranie danych. Czujniki odbiciowe pozwalają na wykrywanie obecności przedmiotu. Bramki optyczne umożliwiają dokonywanie pomiaru przedmiotu znajdującego się między nadajnikiem a odbiornikiem w zależności od ilości światła padającego na odbiornik. Czujniki kontrastu działające podobnie do odbiciowych, ale potrafiące wykryć różnicę kontrastu między dwoma powierzchniami. Czujniki koloru działające na zasadzie wysyłania wiązki świetlnej na obiekt i porównywania parametrów odbitego światła z wartościami wzorcowymi. Ostatnią grupą są laserowe czujniki odległości, które umożliwiają dokładny pomiar i wykrywanie np. szczelin w badanym materiale. Wszystkie te rozwiązania znajdują zastosowanie w procesie technologicznym tam, gdzie wymagana jest kontrola tylko jednego parametru elementu, ponieważ ich zastosowanie jest ograniczone do jednej funkcji a możliwość pomiaru tylko w jednym punkcie. W wymagających aplikacjach czujniki nie wystarczą, koniecznym jest wprowadzenie systemów kontroli wizyjnej [8].

2.2 Postęp technologiczny w dziedzinie widzenia maszynowego

Rozwój technologii komputerowej analizy obrazu z kamery przetworzonego do postaci cyfrowej pozwolił na poddawanie analizie przez algorytm całości lub wielu wybranych fragmentów pola widzenia przy pomocy wybranych narzędzi jak geometria, kontrola wymiarów, koloru, powierzchni badanego obiektu a nawet rozpoznawanie wzorców, zliczanie czy określanie pozycji. Dodatkowo zgromadzone dane mogą posłużyć na dalszych etapach do analizy procesu np. do tworzenia statystyk. Taką funkcjonalność posiadają przemysłowe systemy wizyjne [6].

Do zalet systemów wizyjnych w szczególności w kontekście kontroli wizualnej przez pracownika należą: taka sama rozdzielczość w całym polu widzenia, możliwość pracy przez 24 godziny 7 dni w tygodniu, niewielka niepewność kontroli przy właściwie zaprogramowanej inspekcji, ogromna prędkość działania (do 120 klatek na sekundę), wzorowa powtarzalność przy stałych warunkach oświetleniowych, oraz możliwość zapisania wzorca w pamięci urządzenia. W przypadkach niestandardowych takich jak nowe rodzaje defektów rozwiązaniem jest możliwość archiwizowania obrazów do późniejszej analizy i implementacji.

Dawniej systemy wizyjne składały się z oświetlacza, kamery, urządzenia przechwytyującego obraz z kamery (*frame grabber*), wydajnego komputera klasy PC oraz kart komunikacyjnych, służących do wymiany danych między komputerem a sterownikiem systemu wytwarzania np. PLC (*programmable logic controller*). Z uwagi na stopień skomplikowania i wysoki koszt wchodzących w skład elementów ceny kompletnych systemów były bardzo wysokie. Do obsługi takiego systemu wymagana była profesjonalna wiedza, a integracja była czasochłonna i bardzo kosztowna. Obecnie systemy wizyjne to zupełnie niezależne, zintegrowane urządzenia łączące wszystkie elementy w jednej obudowie, posiadają możliwość sterowania innymi urządzeniami takimi jak np. oświetlacze. Komputer służy jako terminal do konfiguracji i tworzenia inspekcji wizyjnej [1]. Większość producentów systemów wizyjnych oferuje graficzne, przyjazne użytkownikowi i intuicyjne środowiska programowe. Oprogramowanie konfiguracyjne umożliwia użytkownikom na każdym poziomie doświadczenia na szybką konfigurację aplikacji - nie jest wymagana znajomość programowania. Łatwy w użyciu interfejs prowadzi wdrażającego przez proces

konfiguracji aplikacji wizyjnej, krok po kroku. Rozwiązania wielu producentów udostępniają paletę graficzną typu „przeciągnij i upuść” wraz z arkuszami właściwości narzędzi ułatwiającą konfigurację zadania [11]. Wszystko sprowadza się do tego, że wystarczy wiedzieć co dane narzędzie robi, a nie jak to robi. To wszystko sprawia, że koszty wdrożenia i eksploatacji systemu są relatywnie niskie.

3. Architektura systemów wizyjnych na przykładzie Cognex InSight

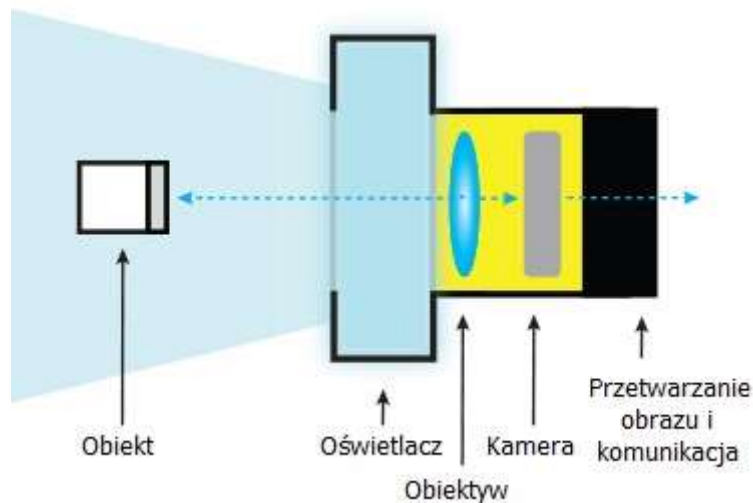
3.1 Budowa i zasada działania

Aby poznać w jaki sposób działa system wizyjny, najprościej jest sobie wyobrazić jego działanie w najprostszym zastosowaniu, takim jak inspekcja wizyjna detalu. Pierwszym etapem działania systemu wizyjnego jest doświetlenie detalu przez oświetlacz. Następnie odbite światło przechodzi przez obiektyw i pada na matrycę kamery. W kolejnym etapie obraz jest przekształcany na formę cyfrową, w której będzie mógł zostać poddany analizie. Zaprogramowany w inspekcji algorytm analizy na podstawie narzuconych kryteriów identyfikuje ewentualne defekty i interpretuje wynik [3]. W nowoczesnych zintegrowanych systemach wizyjnych, nazywanych czasami smart kamerami, analiza jest dokonywana natychmiast po otrzymaniu obrazu w pamięci wewnętrznej urządzenia [7]. Ostatnim etapem działania systemu wizyjnego jest przesłanie wyniku kontroli do nadrzędnego systemu sterowania.

W przypadku przemysłowych systemów wizyjnych słowo „system” nie jest przypadkowe. Jeden niewłaściwie dobrany komponent może zadecydować o niepowodzeniu wdrożenia.

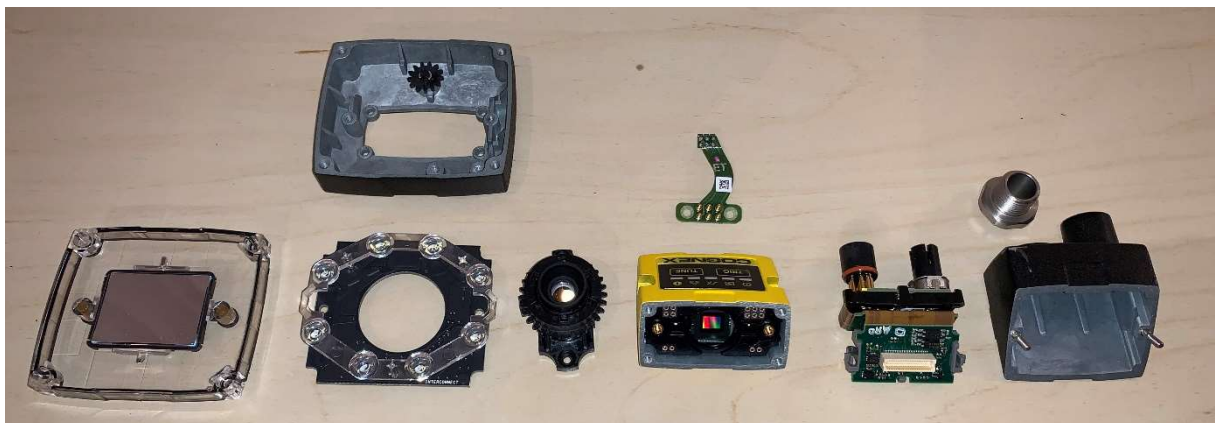
Elementy przemysłowego systemu wizyjnego (rys. 3.1.1):

- oświetlacz,
- system optyczny (obiektyw),
- kamera/sensor,
- system przetwarzania obrazu,
- moduł komunikacyjny.



Rysunek 3.1.1 Budowa zintegrowanego systemu wizyjnego [opracowanie własne na podstawie (12)]

Aby możliwie najlepiej przedstawić budowę systemu wizyjnego rozebrałem na części kamerę Cognex InSight IS2000 (rys. 3.1.2).

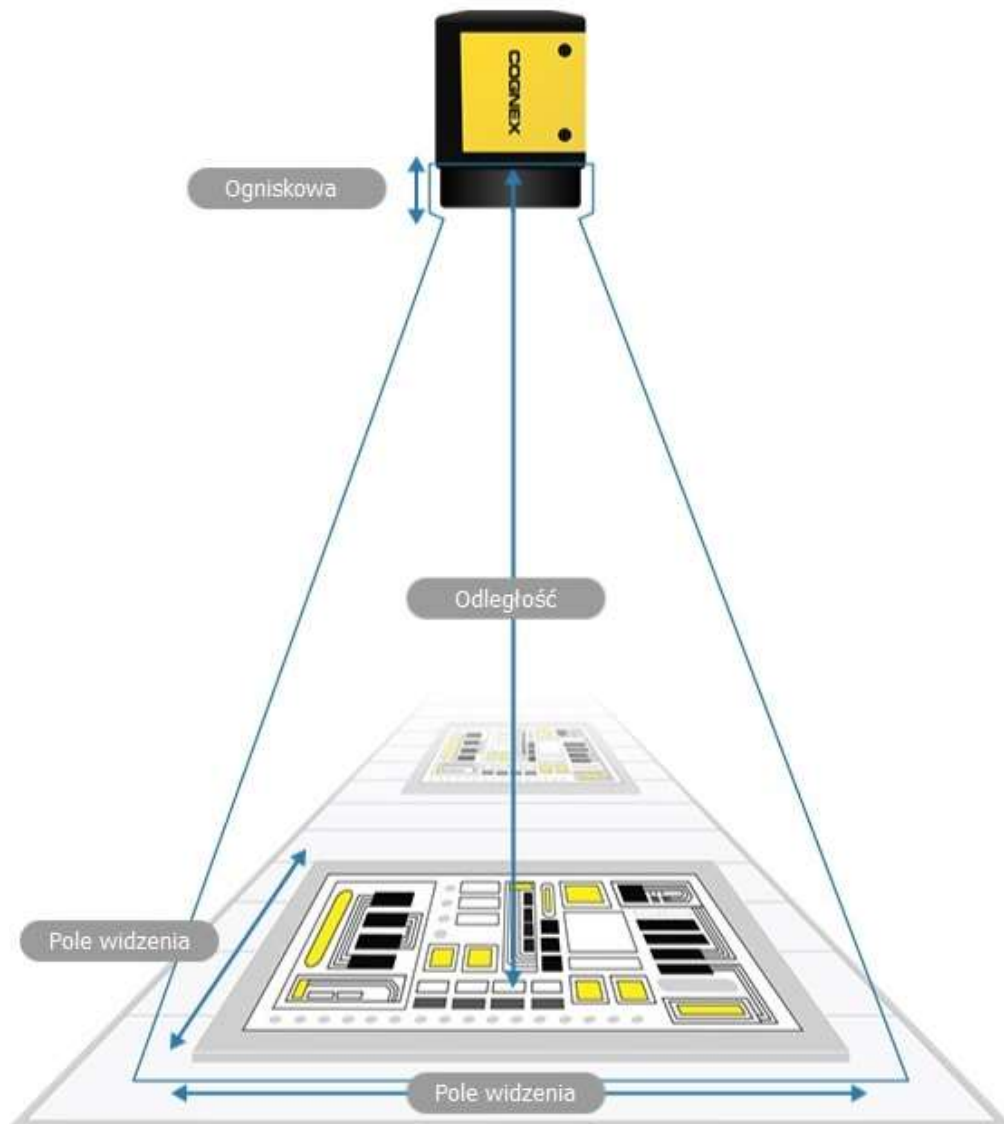


Rysunek 3.1.2 Budowa zintegrowanego systemu wizyjnego od lewej: osłona z filtrem, oświetlacz, obiektyw, sensor z widoczną matrycą oraz system przetwarzania obrazu, moduł komunikacyjny [materiały własne]

Oświetlacz - celem oświetlacza jest zwiększenie jakości obrazu, w taki sposób aby zmaksymalizować poziom kontrastu kluczowych cech detalu przy jednoczesnej minimalizacji kontrastu wszystkich pozostałych. Użycie właściwego oświetlacza znacząco wpływa na powtarzalność inspekcji, pozwala też na izolację systemu wizyjnego od zmieniających się warunków oświetlenia zewnętrznego [3]. W zależności od aplikacji wymagane jest użycie różnych rodzajów oświetlaczy. Backlight, inaczej tło

światłne umieszczany za przedmiotem, sprawdzi się tam, gdzie wymagana jest kontrola konturów. Oświetlacz pierścieniowy zapewnia równomierne oświetlenie detali o matowej powierzchni. Oświetlacz liniowy stosowany jest w aplikacjach wymagających długiego i wąskiego pola widzenia. Oświetlacz światła rozproszonego służy do eliminacji cieni i równomiernego oświetlenia detali. Oświetlacz punktowy pozwala na dobre doświetlenie wybranego obszaru inspekcji. Najczęściej stosowane są oświetlacze LED, stroboskopowe (dla bardzo małych czasów przesłony) oraz emitujące światło podczerwone (IR) lub nadfioletowe (UV). Możliwe jest stosowanie jednego lub wielu oświetlaczy różnych typów, umieszczonych w różnych pozycjach względem badanego detalu.

System optyczny - jest to obiektyw wymienny lub niewymienny, zintegrowany z kamerą. Zadaniem obiektywu jest skupienie wiązki światła na matrycy kamery lub sensora. Od niego zależy pole widzenia kamery, ostrość obrazu, ilość światła padającego na matrycę i ewentualne przybliżenie (*zoom*). Najważniejszym parametrem obiektywu jest jego ogniskowa (rys.3.1.3). Dobór obiektywu o właściwej ogniskowej zależy od odległości badanego detalu od obiektywu oraz jego wymiarów. Innym istotnym parametrem obiektywu jest kąt widzenia. Określa on wielkość pola widzenia kamery. Obiektyw szerokokątny pozwala zobaczyć większy fragment sceny, natomiast wąski umożliwia bardziej szczegółową obserwację mniejszego jej fragmentu [5]. W zależności od aplikacji obiektyw może zostać wyposażony w filtry np. koloru, polaryzacyjne etc.



Rysunek 3.1.3 System optyczny [opracowanie własne na podstawie (13)]

Kamera/sensor - element systemu odpowiedzialny za przechwytywanie światła z obiektywu i przekształcanie go w cyfrowy obraz. Najczęściej stosowane w kamerach i sensorach systemów wizyjnych matryce wykonane są w technologii CMOS (posiadają fotodiode i przełącznik tranzystorowy dla każdego piksela, umożliwiając indywidualne wzmacnianie sygnałów pikseli). Matryca składa się z pikseli, które można porównać do fotodiod na których padające światło ulega konwersji do cyfrowej postaci. Do najważniejszych parametrów kamer należy rozdzielczość. Wyższa rozdzielczość oznacza, że obraz składa się z większej ilości pikseli, a tym samym jest wyższej jakości. Wyższa szczegółowość obrazu przekłada się na lepszą dokładność

dokonywanych pomiarów a także możliwość wykrywania mniejszych rozmiarów wad. Innym istotnym parametrem kamery jest szybkość przetwarzania obrazu wyrażona w klatkach na sekundę [fps] (*frames per second*). Warto też zwrócić uwagę na stopień ochrony obudowy IP i sposób mocowania kamery. Większość systemów wizyjnych obecnych na rynku posiada matryce monochromatyczne o wielkości nieprzekraczającej 1/2 cala oraz szybkość do 64fps [8].

System przetwarzania obrazu - pełni funkcję analogiczną do komputera w rozproszonych systemach wizyjnych. Można go porównać do mózgu systemu widzenia maszynowego. Działanie systemu przetwarzania obrazu można podzielić na 5 etapów:

- przechwycenie cyfrowego obrazu,
- pre-processing - zbędne informacje i zaburzenia obrazu takie jak szумы, mogą negatywnie wpływać na inspekcję. Zanim możliwa będzie główna analiza obraz może wymagać odpowiedniego przygotowania, polegającego na zmianie wartości każdego piksela na podstawie zadanych filtrów. Tym sposobem obraz wynikowy może mieć wyższy kontrast, zredukowane szумы a istotne cechy będą lepiej widoczne [7],
- analiza, lokalizacja specyficznych cech obrazu np. wzorce (*pattern matching*), krawędzie, plamy (*blobs*) etc.,
- zbieranie pomiarów i porównywanie z zadanymi w inspekcji kryteriami,
- opracowanie wyników.

Moduł komunikacyjny - jego zadaniem jest zapewnienie wymiany sygnałów między systemem wizyjnym a systemem sterującym procesem produkcji. Komunikacja między systemem wizyjnym a nadrzędnym systemem sterowania (najczęściej PLC) odbywa się w ustandaryzowanej formie przy pomocy sygnałów cyfrowych (*digital I/O*), interfejsu komunikacji szeregowej jak RS232 lub sieci przemysłowych. Systemy wizyjne większości producentów wspierają przynajmniej kilka spośród najpopularniejszych przemysłowych protokołów komunikacyjnych jak Profinet, ModbusTCP, EtherNet/IP, CC-Link etc. Łączność ma zasadnicze znaczenie dla aplikacji wizyjnych do udostępniania danych, wspierania podejmowania decyzji. Praca w sieci umożliwia komunikację bezpośrednio ze sterownikami PLC, robotami

i innymi urządzeniami automatyki przemysłowej w zintegrowanym systemie sterowania procesem. Komunikacja jest niezbędna np. do przekazania sygnału dla operatora aby usunął wadliwy produkt. Parametry wybranych systemów wizyjnych zostały przedstawione na rys. 3.1.4.

	2000 Series	5705 Series	7000 Series	8000 Series	9000 Series	D900 Series
 Image						
Imager Type	Monochrome/Color Area Scan	Monochrome/Color Area Scan	Monochrome/Color Area Scan	Monochrome/Color Area Scan	Monochrome/Color Area Scan, Monochrome line scan	Monochrome/Color Area Scan
Resolution	Up to 1.2MP (1280 x 960)	5MP (2448 x 2048)	Up to 5MP (2448 x 2048)	Up to 5MP (2448 x 2048)	12MP (4096 x 3000), 32MP (2048 x up to 16,384 lines) for line scan	Up to 5MP (2592 x 1944)
Acquisition Speed (Max)	75 fps	16 fps	Up to 217 fps	Up to 217 fps	Up to 14 fps, 66K lines per second for line scan	Up to 51 fps
 Options						
Lenses	S-Mount, Autofocus	C-Mount	C-Mount, S-Mount, Autofocus	C-Mount	C-Mount	C-Mount, S-Mount, Autofocus
Lighting	Integrated	N/A	Integrated, External light via light control connector	N/A	External light via light control connector (area scan only)	Integrated, External lights via light control connector
 Networking						
Speed	Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)					
General Protocols	TCP/IP, UDP, FTP, Telnet, RS-232C	TCP/IP, UDP, FTP, SFTP, Telnet, SMTP				TCP/IP, FTP
Industrial Protocols	OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner, CC-Link IE Field Basic	OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner, CC-Link IE Field Basic, IEEE 1588 (CIP Sync)		OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner, CC-Link IE Field Basic	OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner, CC-Link IE Field Basic, IEEE 1588 (CIP Sync)	Ethernet/IP with AOP, Profinet Class A, Profinet Class B
 I/O						
Trigger input	1	1	1	1	1	1
General purpose input	1		1		1	1
General purpose output	4	2	2	2	2	2
Bi-Directional			2		2 (area scan only)	2
Encoder					2 (line scan only)	
Expansion I/O	CIO-1400	CIO-1400, CIO-Micro	CIO-1400, CIO-Micro	CIO-Micro	CIO-1400, CIO-Micro	
Serial	RS-232C					

Rysunek 3.1.4 Parametry systemów wizyjnych Cognex In-Sight [10]

3.2 Software i narzędzia

We współczesnych zintegrowanych systemach wizyjnych analiza obrazu dokonywana jest w pamięci urządzenia. Komputer PC nie jest więc potrzebny do działania systemu. Niezbędny jest natomiast do właściwego zaprogramowania systemu wizyjnego. Większość producentów systemów wizyjnych oferuje dedykowane oprogramowanie do konfiguracji sprzętu i tworzenia inspekcji.

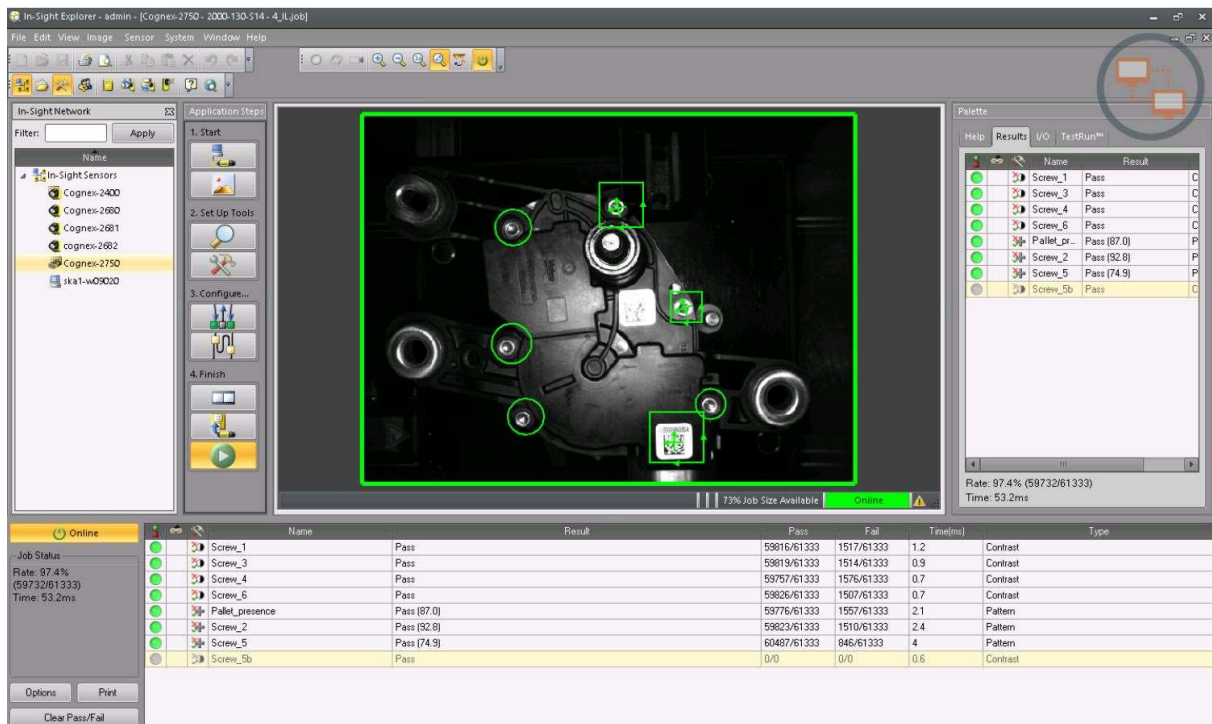
Aby system wizyjny mógł spełniać swoje zadanie musi zostać zaprogramowany do konkretnej aplikacji. Do zaprogramowania systemu przetwarzania obrazu najczęściej wykorzystywane jest oprogramowanie z graficznym interfejsem użytkownika, które ułatwia tworzenie inspekcji przyspieszając wdrażanie aplikacji wizyjnych w procesach produkcyjnych. System wizyjny jest zazwyczaj zintegrowany ze środowiskiem automatyki maszyny lub linii produkcyjnej, gdzie jest wykorzystywany do wykonywania wizualnej inspekcji obiektu. Konfigurację systemu wizyjnego można podzielić na etapy:

- montaż i podłączenie do sieci,
- ustawienie pola widzenia, ostrości i oświetlenia,
- konfiguracja narzędzi inspekcji,
- konfiguracja komunikacji ze sterownikami PLC, robotami i interfejsami HMI,
- ustawienie archiwizacji obrazów.

Środowisko konfiguracyjne In-Sight firmy Cognex umożliwia konfigurację i jednocześnie zarządzanie wieloma systemami wizyjnymi. Do dyspozycji inżynierowie dostają dwa środowiska programistyczne, w których można programować systemy wizyjne In-Sight:

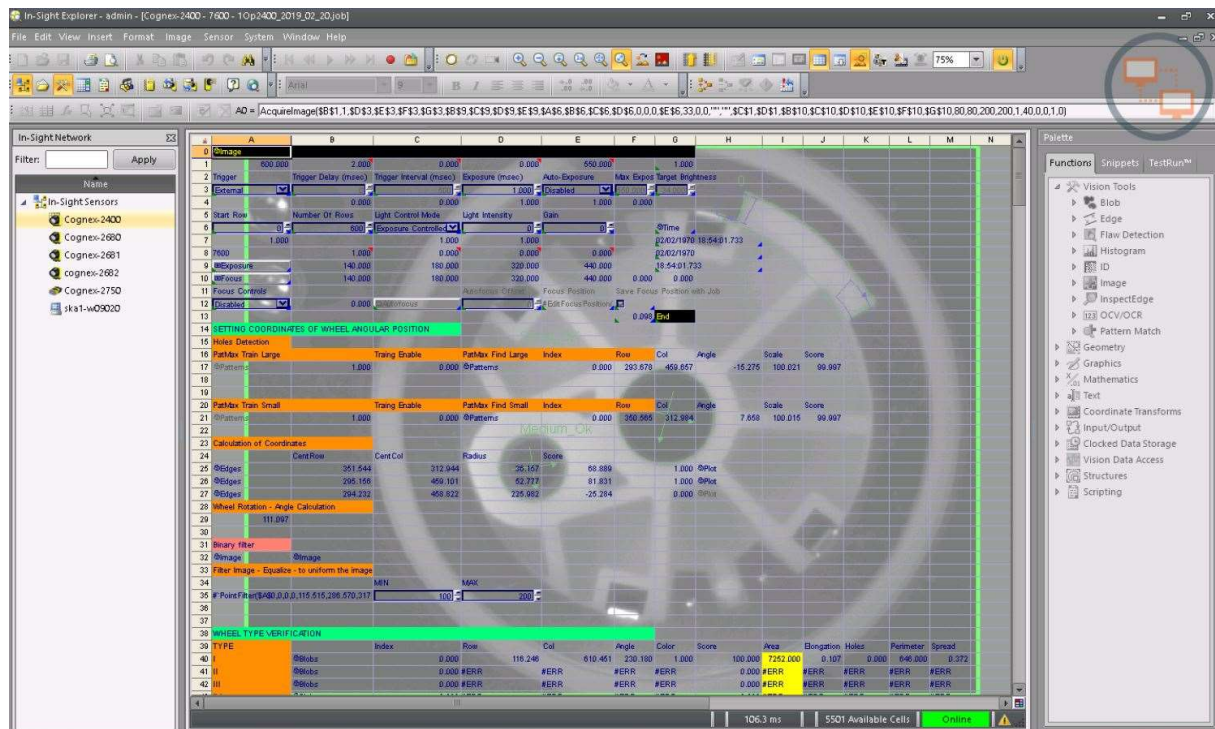
- Środowisko EasyBuilder umożliwia konfigurację krok po kroku, maksymalnie upraszczając tworzenie aplikacji. Graficzny interfejs użytkownika ułatwia wybieranie narzędzi za pomocą funkcji przeciągnij i upuść (*drag and drop*) w celu zaprogramowania inspekcji. Jest to dobry wybór dla początkujących użytkowników systemów wizyjnych, nie wymaga znajomości programowania, umożliwia wdrożenie i uruchomienie aplikacji w bardzo krótkim czasie oraz pozwala na skupienie się na tym, co najistotniejsze – badanym detalu. Ponadto

zaawansowane narzędzia wizyjne i logika sprawiają, że EasyBuilder jest przydatnym interfejsem także dla doświadczonych użytkowników systemów wizyjnych do tworzenia prostych inspekcji w mniej wymagających aplikacjach.



Rysunek 3.2.1 Środowisko Easy Builder [materiały własne]

- Arkusz kalkulacyjny (*spreadsheet*) to klasyczne środowisko programistyczne In-Sight Explorer, oferujące największą elastyczność i pełen zestaw narzędzi programistycznych. Zaawansowanym użytkownikom systemu wizyjnego In-Sight Explorer zapewnia dostęp do możliwości i elastyczności środowiska graficznego wyglądem i funkcjonalnością przypominającego arkusz kalkulacyjny. Interfejs ten pozwala na projektowanie inspekcji do najbardziej wymagających aplikacji wizyjnych a także wykorzystanie innych funkcji systemów wizyjnych w inżynierii procesowej jak np. logowanie danych (*data logging*).



4. Zastosowanie i pełnione zadania

Przedstawione w tym rozdziale programy inspekcji wizyjnych zostały przygotowane przeze mnie w środowisku In-Sight Explorer w wersji 5.8.1 w widoku Spreadsheet na potrzeby pisania pracy inżynierskiej. Wykorzystałem obrazy będące materiałami szkoleniowymi firmy Cognex. Emulowany system wizyjny to Cognex In-Sight Micro 1500 o rozdzielczości 640-480 pikseli z matrycą monochromatyczną.

4.1 Kontrola jakości

Systemy wizyjne znajdują zastosowanie w wielu branżach i są wykorzystywane do wielu różnych zadań. Pierwotnie miały zastępować człowieka i jego zmysł wzroku w zadaniach związanych z kontrolą jakości wytwarzanych produktów. Do teraz jest to najczęstsze i najważniejsze z zastosowań wizji maszynowej w przemyśle. Funkcje systemów wizyjnych wykorzystywane do kontroli jakości można podzielić na podstawowe kategorie takie jak:

- detekcja,
- pomiary,
- zliczanie.

Detekcja to podstawowa kategoria funkcji systemów wizyjnych, jest punktem wyjścia do budowy inspekcji i wykorzystania narzędzi z pozostałych kategorii. Detekcja inaczej wykrywanie, polega na odnajdowaniu w obrazie charakterystycznych elementów. Do podstawowych wykrywanych elementów należą krawędzie, okręgi, krzywe, wycinki i tzw. bloby czyli np. czarne plamy na białym tle, lub odwrotnie. Bardziej zaawansowane, wymagające wcześniejszego zaprogramowania właściwego modelu to detekcja wady i dopasowywanie wzorców.

Systemy wizyjne mogą dokonywać pomiarów podobnie jak inne urządzenia pomiarowe. Zaletą systemów wizyjnych jest możliwość rejestrowania wielu pomiarów jednocześnie. System przetwarzania obrazu jest w stanie dokonywać pomiaru różnych cech, takich jak odległość, kontrast czy barwa jednocześnie. Odległość mierzona przez system wizyjny, to ilość pikseli między zadanymi punktami lub krawędziami. Aby

uzyskać wymiar w jednostkach Si system wizyjny musi zostać skalibrowany. Kalibracji dokonuje się przy użyciu dedykowanego wzorca i powinno się odpowiednio często powtarzać, by wyniki były wiarygodne i powtarzalne. Inną metodą jest umieszczenie w polu widzenia kamery wzorca o znanych wymiarach i zaimplementowanie w inspekcji wizyjnej mechanizmu sprawdzającego lub korygującego parametry kalibracji. Dzięki temu możliwe jest natychmiastowe wykrycie wadliwego działania pomiaru np. przez przestawienie pozycji kamery względem detalu, a nawet autokorekta skalowania przy mniejszych odchyleniach. Niezależnie od mierzonej cechy wyniki pomiarów mogą zostać przesłane do systemu nadrzędnego, albo jak w większości przypadków zostać przeanalizowane w pamięci systemu wizyjnego na podstawie zaprogramowanych tolerancji i posłużyć do określenia wyniku globalnego inspekcji wizyjnej PASS/FAIL. Funkcje detekcji i pomiarowe realizowane przez systemy wizyjne mają wiele zastosowań w inżynierii produkcji. W branży spożywczej na przykład do kontroli poziomu cieczy w butelkach. W motoryzacji do weryfikacji wymiarów części, jakości powierzchni, odlewów etc. W elektronice do sprawdzania obecności, pozycji i jakości zalutowania elementów.

Funkcja zliczania używana jest do weryfikacji właściwej ilości detali. Polega na lokalizacji wszystkich spełniających kryteria zawarte w inspekcji elementów (np. poprzez porównywanie z zadanym wzorcem) znajdujących się w polu widzenia i określeniu ich ilości [7]. Zliczanie stosowane jest przede wszystkim do kontroli opakowań. W branżach: spożywczej, produkcji wyrobów konsumenckich, farmaceutycznej i innych - do sprawdzania czy spakowana została właściwa ilość produktów [3]. W branży motoryzacyjnej i elektronicznej do weryfikacji właściwej ilości użytych do produkcji części np. podkładek, śrub czy elementów elektronicznych.

Na rys. 4.1.1 i 4.1.2 przedstawiłem przykład inspekcji wizyjnej do kontroli jakości. Narzędzie FindPatMaxPatterns zastosowałem do lokalizacji elementu zgodnego z wzorcem i określenia jego współrzędnych. Współrzędne określające pozycję detalu zostały wykorzystane w dalszej części inspekcji do pozycjonowania kolejnych narzędzi. Taki sposób tworzenia aplikacji pozwala na zachowanie funkcjonalności w przypadku niewielkiej zmiany pozycji kamery względem części, lub nie do końca powtarzalnego pozycjonowania. Funkcję ExtractHistogram zastosowałem do badania kontrastu wybranego obszaru, w celu wykrycia ewentualnych wad powierzchni. Narzędzie

This image shows a Cognex vision system component with several annotated features. The word "COGNEX" is printed at the top. Below it, the alphanumeric code "ABA122" is visible next to a square barcode-like marker. Two circular features are located below the text. Annotations include: a green box labeled "0" around a horizontal bar; a blue box labeled "9" around a vertical edge on the left; a blue box labeled "1" around a vertical edge on the right; a green crosshair centered on the "ABA122" text; two blue circles around the circular features; and a blue box labeled "x" and "y" around a small rectangular feature in the bottom right corner.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Image			EKSPOZYCJA	8.000											
POZYCJONOWANIE - PATMAX															
Patterns	1.000		TRAIN PATTERN												
Index	Row	Col	Angle	Scale	Score										
Patterns	0.000	232.519	181.634	-0.003	100.015	99.477									
FIND PATTERN															
PRZETARCIA - EXTRACT HISTOGRAM															
Thresh	Contrast	DarkCount	BrightCount	Average											
Hist	101.000	12.418	2422.000	1283.000	98.592						0.000		NOK		
POMIAR ODSTĘPU - FIND SEGMENT															
Distance	Score														
Edges	12.996	89.661									1.000		OK		
WYMIAR GABARYTOWY - MIDLINE TO MIDLINE															
Row0	Col0	Row1	Col1	Score											
Edges	155.712	132.092	225.711	132.010	80.068										
Row0	Col0	Row1	Col1	Score											
Edges	153.800	510.328	224.800	510.226	-85.985										
Row0	Col0	Row1	Col1	Angle	Distance										
Dist	190.712	132.051	189.300	510.277	90.214	378.229									
WYSZUKIWANIE OKRĄGLYCH OTWORÓW - FIND CIRCLE															
CentRow	CentCol	Radius	Score												
Edges	288.603	204.321	25.999	71.382						1.000			OK		
CentRow	CentCol	Radius	Score												
Edges	288.333	331.405	22.783	75.468						1.000			OK		

Rysunek 4.1.1 Inspekcja wizyjna do kontroli jakości - widok arkusza inspekcji [materiały własne]

4.2 Wspomaganie ręcznego montażu

Wiele procesów produkcyjnych polega na ręcznym montażu części przez operatora. Zastosowanie systemów wizyjnych do kontroli poprawności i kompletności wykonania montażu może pomóc w uniknięciu błędów popełnianych przez człowieka. Zadanie systemu wizyjnego najczęściej polega na wykonaniu sprawdzenia czy właściwy komponent został zamontowany we właściwym miejscu i we właściwy sposób. Inspekcja wizyjna do kontroli ręcznego montażu może korzystać z tych samych narzędzi co aplikacja do kontroli jakości, jak również z narzędzi opisanych w kolejnych rozdziałach. Do weryfikacji, czy do produkcji został użyty właściwy komponent mogą posłużyć funkcje takie jak: dopasowywanie wzorców, pomiary np. do określenia średnicy użytej podkładki, rozpoznawania koloru. Do kontroli kompletności wykonania montażu sprawdzają się funkcje lokalizacji i liczenia. Kontrola wizyjna wspomagająca ręczny montaż może polegać na jednorazowej inspekcji elementu po zakończonym montażu. Innym podejściem jest podzielenie procesu montażu na etapy i zastosowanie

etapowej inspekcji. Takie podejście ma uzasadnienie gdy w kolejnych krokach pewne istotne detale zostają zasłonięte przez kolejne np. elementy obudowy. Systemy wizyjne wspomagają prace manualne w wielu gałęziach produkcji przemysłowej spełniając zadania takie jak:

- weryfikacja poprawności instalacji podzespołów,
- identyfikacja elementów podczas montażu,
- sprawdzenie formy paczki i poprawności zamknięcia,
- monitorowanie położenia elementów w gniazdach montażowych.

4.3 Traceability (możliwość śledzenia)

Kolejnym z zastosowań systemów wizyjnych jest optyczne rozpoznawanie znaków (OCR) oraz odczytywanie kodów. Produkty gotowe oraz komponenty do produkcji są często oznaczane ciągami znaków lub kodami w celu umożliwienia identyfikacji danego produktu lub poszczególnych części. Najczęściej jest to etykieta zawierająca najważniejsze informacje o produkcie oraz jedno lub dwuwymiarowy kod. Kody jednowymiarowe to różnego rodzaju kody kreskowe, kody dwuwymiarowe to na przykład DataMatrix czy QR. W kodzie może być zawarta referencja danego elementu, numer partii, data produkcji i wiele innych. Kodowanie dwuwymiarowe umożliwia zawarcie znacznie większej ilości informacji na mniejszej przestrzeni niż kod kreskowy. Inną zaletą DataMatrix i QR jest możliwość odczytania przez skanery i systemy wizyjne częściowo niekompletnego kodu w przypadku jego uszkodzenia. Metody znakowania wykorzystywane są w procesach produkcyjnych w wielu branżach, zdolność odczytu danych produktu niesie za sobą olbrzymie możliwości.

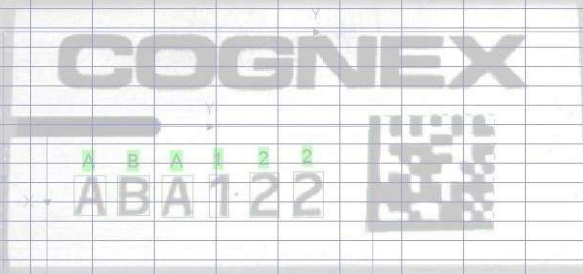
W przemyśle motoryzacyjnym i elektronicznym systemy wizyjne stosowane są do skanowania komponentów w czasie montażu oraz etykiet produktów gotowych. Oznaczenia komponentów są odczytywane by sprawdzić czy do wyrobu o danej referencji używane są właściwe dla niego elementy. Dodatkowo dekodowane informacje są zapisywane w bazie danych i przyporządkowywane do konkretnego wyrobu. Takie informacje mogą okazać się nieocenione w przypadku konieczności sortowania albo postępowania reklamacyjnego. W przypadku gdy w przyszłości stwierdzona zostanie wada pojedynczego podzespołu taka praktyka pozwoli szybko

odnaleźć w bazie produkty, których ta wada dotyczy i właściwie ukierunkować akcje serwisowe. W innych gałęziach produkcji przemysłowej jak branża spożywcza, tytoniowa, farmaceutyczna czy chemiczna do kontroli opakowań. Opisywane funkcjonalności znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie wymagana jest kontrola oznaczeń na opakowaniach. W przeciwieństwie do skanerów systemy wizyjne mogą jednocześnie odczytywać wiele różnego typu kodów, ciągów znaków, a ponadto kontrolować pozostałe aspekty poprawności etykiet jak np. logo producenta. W rozbudowanych systemach logistycznych do raportowania produkcji i monitorowania zasobów. Kontrola produkcji i poziomu zapasów na bieżąco przyczynia się do optymalizacji gospodarki magazynowej i minimalizacji kosztów magazynowania. Dzięki traceability możliwe jest ustalenie dokładnej ilości komponentów zużytych do produkcji, oraz w jakim stopniu przerobu się znajdują.

Na rys. 4.3.1 i 4.3.2 przedstawiłem przykład aplikacji wykorzystującej system wizyjny do odczytu ciągu znaków oraz kodu DataMatrix. Wykorzystałem narzędzia ReadIDMax do odczytu DataMatrix oraz OCRMax do odczytu ciągu znaków. W atrybutach narzędzia ReadIDMax wybrałem typ kodu (Datamatrix) i maksymalną liczbę rezultatów (1). Do konfiguracji OCRMax wykorzystałem funkcję Auto Tune.



Rysunek 4.3.1 Odczyt znaków OCR i DataMatrix - widok detalu [materiały własne]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
																	
ODCZYT - DATAMATRIX																	
Index		String															
IDMax	0.000	ABA122															
ODCZYT - OCR																	
	String	StringPass	Index	Char	Score	Passed	2nd Char	2nd Score	Char Difference								
OCRMax	ABA122	1.000		0.000 A	98.047	1.000	2	21.484	76.563								
				1.000 B	95.313	1.000	C	55.078	40.234								
				2.000 A	97.266	1.000	B	24.219	73.047								
				3.000 1	98.438	1.000	2	23.047	75.391								
				4.000 2	94.922	1.000	B	55.469	39.453								
				5.000 2	93.750	1.000	B	56.250	37.500								

Rysunek 4.3.1 Odczyt znaków OCR i DataMatrix - widok arkusza inspekcji [materiały własne]

4.4 Sterowanie robotem

Nowoczesny przemysł coraz intensywniej wykorzystuje roboty przemysłowe oraz roboty współpracujące tzw. coboty. Do ich popularyzacji przyczyniają się również systemy wizyjne, które w połączeniu z robotami dają możliwości nowych aplikacji. Jedną z możliwości jakie zapewniają systemy wizyjne jest użycie robotów do pobierania nieorientowanych komponentów.

Klasyczna aplikacja pobierz i odłóż (*pick&place*) polega na pobraniu przez chwytak robota detalu i odłożenie go na zadane miejsce np. gniazdo montażowe. Aby możliwe było pobranie przez robota element za każdym razem musi się znajdować w tym samym miejscu. Konieczne jest więc stosowanie drogich, specjalistycznych podajników, separatorów i pozycjonerów. Do eliminacji tego ograniczenia można wykorzystać system wizyjny, który posłuży za zmysł wzroku dla robota. Zadaniem systemu widzenia maszynowego jest lokalizacja i określenie orientacji nieorientowanego detalu oraz przesłanie wymaganych współrzędnych. Koordynaty mogą być przetwarzane przez system sterowania maszyny np. PLC lub bezpośrednio przez kontroler robota jeżeli możliwa jest integracja danego systemu z robotem.

Sterowanie robotami przemysłowymi przez systemy wizyjne wykorzystywane jest w motoryzacji do automatyzacji procesów montażowych oraz w robotach spawalniczych do korygowania trajektorii spawania w czasie rzeczywistym. W przemyśle elektronicznym do umieszczania elementów na polach lutowniczych, a w kompletowaniu opakowań do umieszczania produktów w wyznaczonych miejscach.

Na rys. 4.4.1 i 4.4.2 przedstawiłem przykład aplikacji wykorzystującej system wizyjny do lokalizacji i określania pozycji części. Wykorzystałem narzędzie FindPatMaxPatterns, jako obraz referencyjny użyłem wzorca detalu z rys. 4.4.1. Konieczne są dalsze przekształcenia współrzędnych będących wynikiem działania narzędzia inspekcji wizyjnej, aby były użyteczne dla kontrolera robota. Przekształceń tych można dokonać w sterowniku PLC lub w arkuszu inspekcji używając funkcji matematycznych i logicznych [7].



**Rysunek 4.4.1 Wyznaczanie orientacji - widok detalu (wzorzec i badany element)
[materiały własne]**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Image																	
WYZNACZANIE ORIENTACJI DETALU																	
Patterns		1.000															
Index		Row	Col	Angle	Scale	Score											
Patterns		0.000	234.691	314.692	10.018	100.013	99.028										

Rysunek 4.4.2 Wyznaczanie orientacji - widok arkusza inspekcji [materiały własne]

5. Rozwój technologii

Widzenie maszynowe już dziś wnosi istotny wkład do sektora przemysłowego, w głównej mierze zapewniając możliwości automatycznej kontroli jakości produkowanych wyrobów. Rynek automatyki przemysłowej staje się coraz bardziej złożony za sprawą rosnących wymagań i stopnia skomplikowania procesów produkcyjnych. Przemysł 4.0 (*Industry 4.0*), Internet rzeczy (*Internet of Things*), chmury obliczeniowe (*cloud computing*), sztuczna inteligencja (*artificial intelligence*), rozszerzona rzeczywistość (*augmented reality*), uczenie maszynowe (*machine learning*) i inne nowoczesne technologie w szybkim tempie wkraczają do inżynierii produkcji stawiając nowe wyzwania przed systemami wizyjnymi [14].

5.1 Deep learning (głębokie uczenie)

Dotychczas największym ograniczeniem systemów wizyjnych był brak możliwości identyfikacji nowych typów defektów. Aby wykrywać nowe wady wymagana była aktualizacja inspekcji wizyjnej. Ta sytuacja uległa zmianie za sprawą wprowadzenia na rynek systemów wykorzystujących technologię głębokiego uczenia (*deep learning*). Technologia głębokiego uczenia dla systemów widzenia maszynowego oparta jest na sieciach neuronowych. Programowanie takich systemów przebiega inaczej niż w przypadku konwencjonalnych systemów wizyjnych. Sieci Neuronowe trenuje się na obrazach części wykonanych prawidłowo do wykrywania tych wadliwych. Większa ilość i zróżnicowanie obrazów treningowych przekłada się na większą niezawodność aplikacji wizyjnej.



**Rysunek 5.1.1 Detekcja wadliwej części przez system deep learning
(niezalutowany układ scalony) [2]**

Systemy wizyjne z technologią deep learning stosowane są w aplikacjach wizyjnych o największej złożoności. Do rozpoznawania znaków (OCR), których tradycyjne systemy nie są w stanie odczytać [2]. Mają możliwość identyfikowania i lokalizowania wad niezależnie od ich wielkości i orientacji. Deep learning sprawdza się w aplikacjach gdzie nie da się przewidzieć wyglądu i położenia wady, pojedyncza kamera może też zastąpić konwencjonalne systemy złożone z większej liczby urządzeń.

5.2 Rola systemów wizyjnych w Przemysle 4.0

Kwintesencją inteligentnego przemysłu przyszłości jest optymalizacja procesu z zastosowaniem analizy dużych zbiorów danych (*big data*) pochodzących z jak największej ilości różnego rodzaju zdecentralizowanych urządzeń peryferyjnych do monitorowania procesu. Najistotniejszy z punktu widzenia Przemysłu 4.0 jest wspólny

protokół komunikacyjny dla wszystkich takich urządzeń, umożliwiający udostępnianie i transfer danych [14].

Użycie systemów wizyjnych w połączeniu z metodami statystycznej kontroli procesu (SPC) pozwala na kontrolę jakości wytwarzanych produktów, jak również dokonywanie analizy trendów zmienności poszczególnych parametrów [14]. Takie podejście umożliwia weryfikację odchyleń od założonych standardów, wykrycie i skorygowanie ewentualnych niezgodności procesowych przed wyprodukowaniem wadliwych elementów. Pozyskane z systemów wizyjnych dane mogą również posłużyć inżynierom jakości do przygotowania analizy i zastawienia ilości defektów. Przemysł 4.0 ma wielki potencjał w zakresie maksymalizacji produktywności, zmniejszania ilości odpadów, podnoszenia jakości produktów, zwiększania elastyczności produkcji oraz obniżania kosztów. Dzięki dużej ilości danych, którą mogą dostarczać systemy wizyjne oraz łatwości ich pozyskiwania systemy te mogą być cennym elementem Przemysłu 4.0.

6. Podsumowanie

Zastosowanie systemów wizyjnych przynosi wiele korzyści dla przedsiębiorstw produkcyjnych, jest powszechnie i z powodzeniem stosowane w wielu gałęziach branży. Znalazły wiele zastosowań w inżynierii produkcji, począwszy od kontroli jakości, kontroli wykonania i kompletności montażu, przez identyfikację i śledzenie komponentów i produktów, aż po określanie położenia do sterowania robotami przemysłowymi. Widzenie maszynowe stanowi fundament dla optymalizacji procesu.

Najważniejszym zadaniem systemów wizyjnych jest kontrola jakości wytwarzanych produktów. Pozwalają one kontrolować jakość każdego produktu na wielu etapach procesu produkcyjnego w sposób szybki, powtarzalny i niezawodny. Umożliwiają szybkie wykrywanie niezgodności co wpływa na redukcję odpadów. Finalnie końcowy odbiorca otrzymuje produkt najwyższej jakości.

Systemy wizyjne wpływają na zwiększenie produktywności, redukcję przestojów, zapewniają możliwość śledzenia komponentów i produktów w procesie produkcyjnym oraz wpływają na redukcję kosztów w przedsiębiorstwie. Dzięki dużemu zróżnicowaniu ofert od pojedynczych prostych sensorów po rozbudowane, zbudowane z wielu urządzeń systemy PC-based, możliwe jest dobranie odpowiedniej konfiguracji do każdej aplikacji wizyjnej w zależności od wymagań integracji [14]. Systemy widzenia maszynowego mogą być montowane do istniejących linii produkcyjnych, są jedną z najprostszych i najsukuteczniejszych metod optymalizacji procesów produkcyjnych.

Obecnie systemy wizyjne przejmują coraz więcej zadań, które dotychczas wykonywane były przez operatorów czy kontrolerów jakości [4]. Jeden specjalista jest w stanie prowadzić nadzór nad wieloma systemami wizyjnymi złożonymi z większej ilości kamer rozmieszczonych na różnych stanowiskach a nawet na różnych liniach produkcyjnych. Jednocześnie stały się na tyle przystępne, że z konfiguracją i eksploatacją poradzi sobie każdy inżynier procesu lub jakości.

Obserwujemy ciągły, dynamiczny rozwój branży widzenia maszynowego, produkty będą spełniać coraz śmielsze oczekiwania odbiorców. Nowe technologie i doskonalenie kamer, systemów przetwarzania obrazu, interfejsów wymiany danych oraz oprogramowania nieustannie dostarczają nowe możliwości aplikacji. Dzięki

pomiarom subpikselowym mogą zastępować precyzyjne przyrządy pomiarowe a w przyszłości za sprawą obrazowania hiperspektralnego pozwolą na określanie składu chemicznego badanych materiałów [14].

Przygotowując przykładowe programy inspekcji wizyjnych do tej pracy wykorzystałem podstawowy system wizyjny jakim jest In-Sight Micro 1500, zastosowałem podstawowe funkcje oraz w minimalnym stopniu konfigurowałem wybrane narzędzia. Mimo to, otrzymane wyniki okazały się bardzo precyzyjne i użyteczne. W dużej mierze było to zasługą wysokiej jakości obrazów ale dowodzi też tego, jak zaawansowane i proste w aplikacji są współczesne systemy wizyjne.

Bibliografia

- [1] Bogusz J. Systemy wizyjne dla przemysłu, Elektronika praktyczna, nr 4, 2007
- [2] Cognex, Pierwsza na świecie inteligentna kamera dla przemysłu z technologią głębokiego uczenia, iAutomatyka.pl, 27.05.2020
- [3] Edwards E., An Introduction to Machine Vision and the Machine Vision System, thomasnet.com, 12.2020
- [4] Kania M. Systemy wizyjne w kontroli jakości, Automatyka, nr 5, 2016
- [5] Matuszewski M. Systemy wizyjne w inżynierii produkcji, Magazyn Przemysłowy 20/08/2019
- [6] Sankowski D., Mosorov W., Strzecha K. Przetwarzanie i analiza obrazów w systemach przemysłowych. Wybrane zastosowania, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011
- [7] Sioma A. Visual Quality Control in Manufacturing, CA Systems and Technologies, No. 1, 01.2008
- [8] Staniszevska A. Systemy wizyjne – nieodzowny element nowoczesnej kontroli, Automatyka, nr 6, 2017
- [9] Szymonik J. Widzenie maszynowe jako narzędzie zapewniające wysoką jakość wyrobów, Problemy Techniki Uzbrojenia, R. 39, Z. 115, 2010
- [10] www.cognex.com/downloads/machine-vision-product-guide-9956, 18.01.2021
- [11] www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-vision-software, 03.01.2020
- [12] www.cognex.com/what-is/vision-sensors/components, 05.01.2021
- [13] www.cognex.com/resources/interactive-tools/lens-advisor, 05.01.2021
- [14] www.medium.com/technology-innovations-insights/the-role-of-machine-vision-in-manufacturing-69c6bc4004ce, 19.01.2021
- [15] www.wikipedia.org/wiki/System_wizyjny, 01.01.2020

Załączniki

- A. Programy inspekcji wizyjnych (katalog: załącznikA).
- B. Obrazy wykorzystane do prezentacji działania inspekcji. (katalog: załącznikB).
- C. Link do pobrania środowiska In-Sight Explorer 5.8.1 (katalog: załącznikC).