

MODUŁOWA STRUKTURA ROBOTA MALARSKIEGO DO MALOWANIA OBRAZÓW

A modular structure of a painting robot for the painting of images

Stanisław KOZIOŁ, Tomasz SAMBORSKI, Andrzej ZBROWSKI, Jerzy LIPIŃSKI

S t r e s z c z e n i e: W artykule przedstawiono modułową strukturę maszyny malującej, umożliwiającej malowanie obrazów za pomocą zestawu pędzli w sposób zbliżony do klasycznych technik malarskich, stosowanych przez artystów plastyków. Zadaniem robota jest malowanie obrazów na podstawie kopii oryginału, utwalonej w formie cyfrowej w pliku graficznym. Malowanie jest wykonywane przy użyciu farb olejnych lub akrylowych na płaskiej powierzchni (płótno, terakota, glazura, tapeta, papier). Dzięki opracowanym algorytmom oraz złożonej strukturze kinematycznej robot ma możliwość poruszania pędzlem w sposób imitujący ruchy ręki ludzkiej (różne w zależności od zadanego efektu czy stylu tworzonej grafiki), a także dobierania i mieszania farby w celu uzyskania dowolnej barwy. Robot umożliwia automatyczną reprodukcję obrazów i grafik na płótnie w sposób imitujący pracę żywego artysty – kopisty.

S ł o w a k l u c z o w e: robot, malowanie, pędzel, kopia

A b s t r a c t: The article presents a modular structure of a painting machine that allows the painting of images using a set of brushes in a manner similar to classical painting techniques used by visual artists. The robot's task is to paint images based on a copy of the original recorded in a digital form in a graphic file. Painting is done using oil or acrylic paints on a flat surface (canvas, terracotta, tiles, wallpaper, paper). Thanks to developed algorithms and a complex kinematic structure, the robot has the ability to move the brush in a way that imitates human hand movements, which are different depending on the given effect or style of created graphics, as well as selecting and mixing paint to obtain any colour. The robot enables the automatic reproduction of paintings and graphics on canvas imitating the work of a live artist – a copyist.

K e y w o r d s: robot, painting, brush, copy

Wstęp

Kopiowanie obrazów znanych mistrzów stanowi stale rozwijający się sektor rynku sztuki. W przypadku kopii dzieł malarskich rozróżnia się reprodukcje i imitacje. Reprodukcje to kopie mechaniczne, powstałe za pomocą technik fotochemicznych bez zachowania materiałów oryginału. W przypadku imitacji celem jest naśladowanie oryginału dzięki zestawieniu podobnej grupy cech środkami technicznymi imitującymi oryginalne. Wzrost zamożności społeczeństwa sprawia, że rynek imitacji znanych obrazów, wykonywanych technikami malarskimi, stanowi szczególnie atrakcyjny finansowo obszar działalności biznesowej. Wraz ze wzrostem dobrobytu pojawia się potrzeba ozdobienia własnego domu, hotelu, galerii handlowych oraz biur malarskimi dziełami sztuki lub ich imitacjami.

Kopiowanie w celu imitacji obrazów na masową skalę rozwinęło się w południowych Chinach. W Dafen, najbardziej znanej „wiosce malarskiej”, wytwarzanych jest rocznie pięć milionów obrazów, z których większość to kopie znanych arcydzieł. Dzienna norma kopisty to dwa do trzech obrazów, ale najszybsi kopiści w zależności od jakości i rozmiarów kopii malują nawet do czterdziestu obrazów dziennie. W Dafen powstaje około 60% światowej podaży tanich imitacji. Roczne obroty wioski sięgają ok. 37 mln euro. Jest to efekt pracy 8–10 tys. rzemieślników, zatrudnionych w 75 wielkich manufakturach malarskich [9]. Najbardziej zaawansowane pracownie wprowadzają taśmowy sposób tworzenia obrazów, gdzie każdy

z artystów odpowiada tylko za jeden fragment (drzewo, chmura, zwierzę itp.). W innych manufakturach każdy zatrudniony odpowiedzialny jest za wybrany kolor (rys. 1). Tym samym ruchem nakłada swoją porcję farby na płótno, po czym przekazuje niedokończony obraz następnemu malarzowi [10]. Wykonanie dobrej kopii Rembrandta przez jednego artystę trwa dziesięć dni i kosztuje 80 euro. Najczęściej kopiowana Mona Lisa jest wyceniana na 14 euro. Kopia „Słoneczników” Van Gogha, wykonana przez artystę z wykształceniem plastycznym, w Dafen kosztuje ok. 40 euro. Z reguły jednak płaci się jak w przypadku malarzy pokojowych – od metra. Metr kwadratowy obrazu kosztuje w przeliczeniu ok. trzech euro [11].

Średnio za kopię olejnego obrazu płaci się w Chinach 25 do 30 dolarów, zaś w detalu cena w Europie wynosi 100 do 125 dolarów. Ze względu na rosnący popyt i stały wzrost kosztów robocizny malujących rzemieślników, roboty i maszyny malujące umożliwiające automatyczne kopiowanie obrazów mogą stanowić alternatywę dla rozwijającego się rynku reprodukcji znanych dzieł malarskich. Ponadto robotyzacja malowania kopii obrazów stanowi obecnie jedyną możliwość sprostania wymogom konkurencyjnym na rynku zdominowanym przez tanią chińską ręczną produkcję rzemieślniczą.

Robotyzacja prac malarskich

Prace nad zrobotyzowaniem prac malarskich prowadzone są od lat 70. XX w. Pierwsze aplikacje dotyczyły przemysłowych zastosowań lakierniczych do



Rys. 1. Ręczne kopiowanie obrazów w chińskich manufakturach na skalę masową: a) malowanie wyspecjalizowanego szczegółu [12], b) malowanie obrazu w manufakturze [13]
 Fig. 1. Manually copying images in Chinese manufactories on a mass scale: a) painting a detail [12], b) painting a picture in the manufactory [13]



Rys. 2. Robotyzacja malowania natryskowego: a) przemysł samochodowy [14], b) przemysł meblarski [15]
 Fig. 2. Robotization of spray painting: a) car industry [14], b) furniture industry [15]

namalowania natryskowego. Szczególny rozwój i szerokie wykorzystanie robotów malarskich nastąpiło w motoryzacji i produkcji mebli. Roboty przemysłowe, uzbrojone w pneumatyczne pistolety natryskowe, realizują zadania polegające na nakładaniu powłok lakierniczych na elementy blach karoseryjnych, ramy nadwozia, panele meblowe lub całe meble. Celem tych prac jest uzyskanie jednolitej, powtarzalnej warstwy lakierniczej na wszystkich produkowanych elementach oraz wyeliminowanie czynnika ludzkiego z operacji stwarzających zagrożenie zdrowia ze względu na stosowane szkodliwe chemikalia. Roboty wykonują ruch po zaprogramowanej trajektorii, która odwzorowuje manewry pistoletem malarskim wykonywane przez człowieka podczas lakierowania ręcznego (rys. 2).

Przemysłowy sukces robotyzacji procesów lakierniczych sprawił, że pojawiło się komercyjne zainteresowanie zastosowaniem robotów malujących w pracach malarskich związanych z kopiowaniem i wykonywaniem imitacji obrazów będących dziełami sztuki [4, 5]. W tej

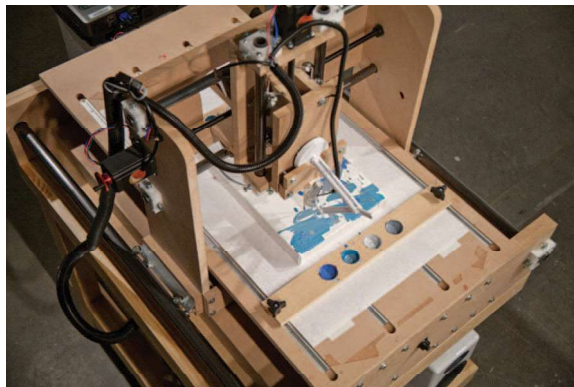
technice kopia obrazu jest wykonywana za pomocą manipulatora pozycjonującego pędzel po trajektorii odwzorowującej ruchy ręki artysty malarza [2, 3]. Obraz powstaje na podstawie cyfrowej fotokopii oryginału, a odpowiednie algorytmy programowe przeprowadzają automatyczną dekompozycję zapisu cyfrowego dzieła sztuki na ruchy elementarne i barwy potrzebne do reprodukcji oryginału [1, 6].

Konstrukcje robotów malarskich do zastosowań artystycznych bazują na układach portalowych lub na strukturach przegubowych typowych robotów przemysłowych (rys. 3). Przygotowanie właściwego koloru odbywa się przez pobranie porcji farby na włosie pędzla i zmieszanie pędzlem na podstawce barwnej kompozycji farb z palety kolorów znajdujących się w zasobnikach. W alternatywnej wersji gotowe kolory przygotowane są poza maszyną, a robot korzysta wyłącznie z gotowych barw dostępnych na palecie z pojemnikami, bez potrzeby dodatkowego mieszania. Kolorystyka obrazu, w zależności od zastosowanej palety, może wynosić od

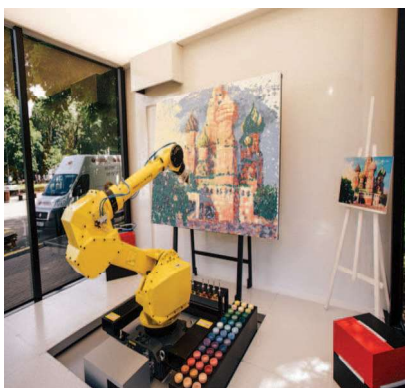
a)



b)



c)



d)



Rys. 3. Roboty malarskie do zastosowań artystycznych: a) maszyna portalowa AARON [17], b) maszyna portalowa Interactive Robotic Painting Machine [18], c) robot przegubowy bitPainter [19], d) robot przegubowy Fanuc [20]

Fig. 3. Painting works for artistic applications: a) AARON portal machine [17], b) Interactive Robotic Painting Machine portal machine [18], c) articulated robot bitPainter [19], d) Fanuc articulated robot [20]

kilku do kilkudziesięciu barw (Interactive Robotic Painting Machine – 4, e-David – 24, Rosbank's interactive urban art project – 42). Malowanie wykonywane jest z zastosowaniem kilku rodzajów pędzli o różnym kształcie i rozmiarach. W robocie e-David istnieje możliwość korzystania z pięciu rodzajów pędzli zainstalowanych w magazynku. Podczas pracy pędzel jest czyszczony w strumieniu wody. W czasie malowania robot wykonuje zdjęcie tworzonej przez siebie kopii i porównuje je z oryginałem [16]. Na tej podstawie system analizy obrazu wprowadza stosowne poprawki. Malowanie odbywa się w pozycji pionowej, poziomej lub ukośnej blejtramu (ramy z płótnem malarskim). W zależności od wielkości obrazu, stylu malowania i złożoności ilustracji czas nieprzerwanej pracy robota wynosi do 40 godz. Obraz może składać się z 20000 pociągnięć pędzla, które zużywają ogółem ok. 2 litrów farby. Ze względu na ograniczoną precyzję pozycjonowania końcówki pędzla oraz limitowaną liczbę stosowanych kolorów, maszyny i roboty malujące nie zapewniają jakości porównywalnej z oryginałem. Wstępujące ograniczenie sprawia, że nie są naruszane prawa autorskie, ponieważ namalowane imitacje ze względu na ograniczenia technologiczne nie są wiernymi kopiami fotograficznymi

i różnią się detalami od oryginału. Cechy tej nie można jednak uznać za zaletę w przypadku wykonywania portretów ze zdjęć osób pragnących w ten sposób utrwalić swój wizerunek.

Przedstawienie problemu

W Instytucie Technologii Eksploatacji we współpracy z firmą NEXIO i Instytutem Maszyn Matematycznych opracowano konstrukcję robota malarskiego, przeznaczonego do wykonywania kopii obrazów techniką malarską. Zadaniem robota „NOPM” (Nexio Oil Painting Machine) jest malowanie obrazów na podstawie pliku cyfrowej fotokopii oryginału, za pomocą zestawu pędzli o różnej grubości, przy użyciu farb (olejnych i akrylowych) na płaskiej powierzchni, wykonanej z płótna, terakoty, glazury lub papieru. Obraz w postaci bitmapy podlega procedurze wektoryzacji w ramach poszczególnych barw i za pomocą Gkodów zamieniany na pojedyncze ruchy pędzla. Maksymalny rozmiar malowanego podłoża wynosi 2×3 m. Dzięki opracowanym algorytmom oraz złożonej strukturze kinematycznej robot posiada możliwość poruszania pędzlem w sposób imitujący ruchy ręki ludzkiej (różnie w zależności od zadanego efektu czy stylu malarskiego). Ruch pędzla jest składany

z przemieszczeń w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach i obrotu wokół osi pędzla. Urządzenie może również dobierać i mieszać farby w celu uzyskania dowolnej barwy zidentyfikowanej na oryginalnym obrazie.

W wyniku wdrożenia rezultatów prac B+R, spółka zaoferuje klientom zupełnie nową usługę, polegającą na automatycznej reprodukcji obrazów, grafik, zdjęć etc. techniką malarską imitującą pracę „żywego” artysty. Odbiorcami będą: firmy świadczące usługi poligraficzno-reklamowe, galerie sztuki i sklepy z reprodukcjami obrazów, firmy świadczące usługi fotograficzne oraz firmy zajmujące się produkcją i/lub handlem unikalnymi wyrobami dekoracyjnymi. Działalność będzie ukierunkowaną na wytwarzanie kopii obrazów wielkoformatowych.

Analiza funkcjonalna

Malowanie obrazu związane jest z realizacją przez robota dziewięciu funkcji podstawowych, do których zaliczono:

1. Przemieszczanie pędzla do pozycji startowej – ze względu na duży dopuszczalny rozmiar podłoża i oczekiwaną dokładność odwzorowania, przemieszczanie pędzla zachodzi w układzie globalnym i lokalnym. Całkowita powierzchnia podłoża (układ globalny) jest dzielona na obszary cząstkowe (układ lokalny). W układzie globalnym pędzel jest przemieszczany w płaszczyźnie nad podłożem do współrzędnych wyznaczających początek cząstkowego obszaru malowania. W układzie lokalnym pędzel jest przemieszczany nad obszarem cząstkowym [7].
2. Pobieranie (wymiana) pędzla – pędzle podstawowe o numerach od 1 do 6 umieszczone są w magazynku manipulatora lokalnego. Pędzle dodatkowe o numerach od 7 do 12 umieszczone są w strefie serwisowej manipulatora globalnego. Pobieranie i oddawanie pędzla odbywa się po stałych zdefiniowanych trajektoriach w stałym położeniu kątowym. Wymiana pojedynczego pędzla lub całego zestawu przebiega w sposób zautomatyzowany.
3. Dozowanie farby – żądany kolor jest uzyskiwany jako połączenie 5 barw R, G, B oraz białej i czarnej (udział każdej z barw w proporcji od 0 do 16). Każda barwa jest dystrybuowana do mieszalnika przez osobny dozownik.
4. Mieszanie farby – mieszanie farby w ilości umożliwiającej wykonanie jednego pociągnięcia pędzla realizowane jest w sposób mechaniczny. Ruch mieszadła umożliwia ujednorodnienie barwy oraz wypchnięcie farby z mieszalnika w celu pobrania przygotowanej porcji na pędzel.
5. Pobieranie farby – następuje przemieszczenie pędzla w strefę mieszalnika do pozycji pobierania, a następnie złożony ruch pionowy w dół i poziomy zgarniający porcję farby. Po pobraniu wykonywany jest jednoczesny ruch pionowy w górę i poziomy.
6. Pomiar odległości pędzla od podłoża – w celu kompensacji ugięcia płótna w wyniku nasiąkania

farbą zachodzi potrzeba realizacji pomiaru odległości pędzla od płótna w obszarze malowania.

7. Malowanie – realizacja zadanej trójwymiarowej trajektorii umożliwiającej: uzyskanie kontaktu pędzla z podłożem, wykonanie pociągnięcia przenoszącego farbę z włosia na płótno obrazu. Manipulacja pędzlem w obszarze cząstkowym imituje kinematykę prowadzenia pędzla przez człowieka.
8. Analiza namalowanego obrazu – przeprowadzana jest ocena zgodności namalowanego kształtu pod względem geometrycznym i kolorystycznym ze wzorcem zapisanym cyfrowo.
9. Wycieranie pędzla – następuje przemieszczenie pędzla do punktu początkowego obszaru wycierania, realizacja stałej trajektorii najazdu na taśmę wycieraka, wytarcie pędzla, wizyjna analiza ilości farby pozostałej na taśmie, przewijanie taśmy wycieraka. Każda z funkcji podstawowych może być uruchamiana w dowolnej sekwencji działań. Możliwy jest układ szeregowo-równoległy tzn. niektóre funkcje mogą być realizowane jednocześnie lub kolejno wg wymaganego algorytmu. Funkcjonowanie robota wymaga zdefiniowania szeregu danych wejściowych począwszy od odnoszących się do całego obrazu, po definiujące pojedyncze ruchy, takich jak np.:
 - Obszar malowania,
 - Rodzaj farby (olejna/akrylowa),
 - Malowanie (tak/nie),
 - Wycieranie (tak/nie),
 - Ilość farby [ml],
 - Kolor R, G, B, W, BI (udział w skali od 0 do 16 każdej z barw),
 - Numer pędzla (od 1 do 12),
 - Rodzaj malowania (mokre/suche – procent pokrycia obszaru odniesienia),
 - Położenie modułu malowania,
 - Punkt początkowy malowania,
 - Punkt końcowy malowania,
 - Trajektoria (linia, łuk, zdefiniowana krzywa).

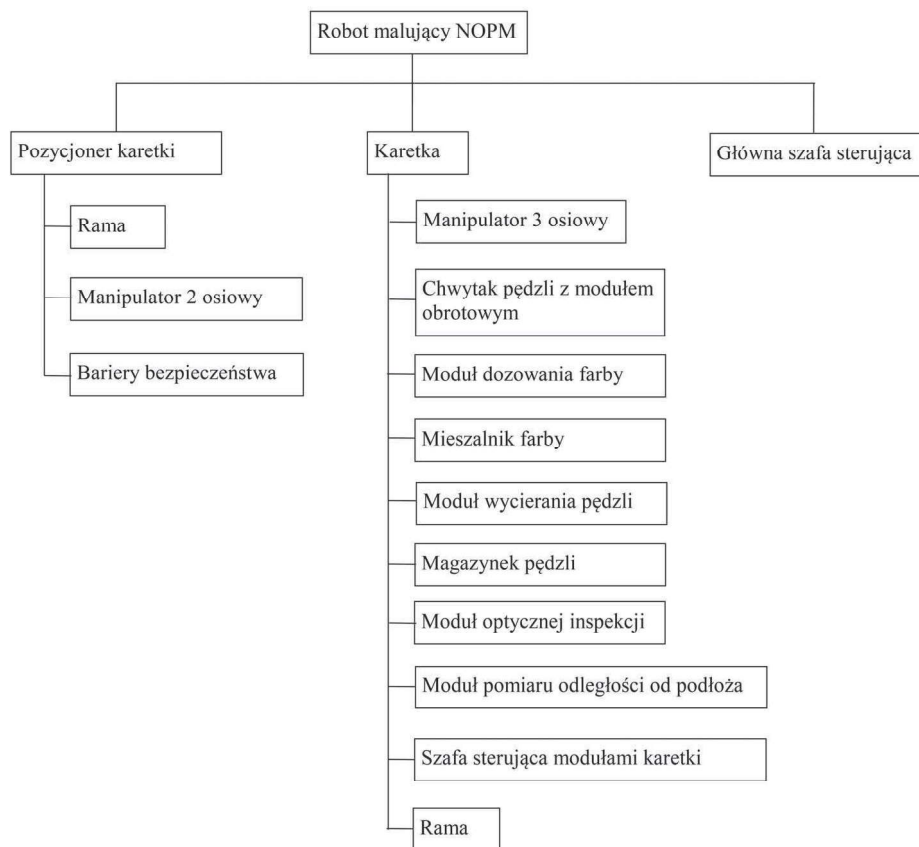
Analiza strukturalna

Na podstawie zdefiniowanych funkcji podstawowych określono strukturę sprzętową robota NOPM z uwzględnieniem podziału na główne moduły funkcjonalne oraz moduły wewnętrzne [8].

Robot malujący NOPM składa się z trzech podstawowych modułów funkcjonalnych: pozycjonera karetki, karetki malującej oraz sterujący (rys. 4).

W pozycjonerze karetki na ramie wsporczej znajduje się portalowy manipulator dwuosiowy działający w układzie globalnym YX. Do ramy zamocowany jest zestaw barier świetlnych zapewniających strefę bezpieczeństwa. Pozycjoner przemieszcza karetkę nad właściwy fragment podłoża, który podlega zamalowywaniu w ustalonej pozycji karetki.

Karetką malującą służy do malowania fragmentu obrazu w układzie lokalnym. Karetką posiada konstrukcję



Rys. 4. Modułowa struktura robota malarskiego NOPM
 Fig. 4. Modular structure of the NOPM painting robot

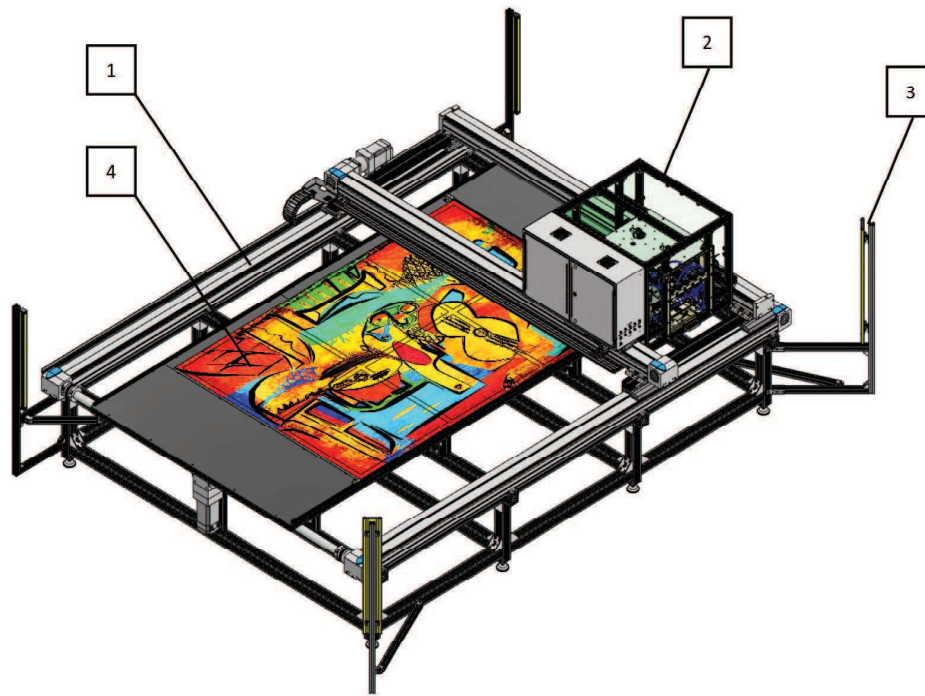
ramową, do której mocowane są wszystkie moduły wewnętrzne. Malowanie odbywa się za pomocą pędzla osadzonego w chwytaku z modulem obrotowym. Chwytnak wraz z pędzlem przemieszczany jest za pomocą lokalnego portalowego manipulatora trzyosiowego o ruchu postępowym z napędem elektrycznym. W karetkie zainstalowano magazynek sześciu pędzli o różnych kształtach i rozmiarach włosia. Wymiana pędzla wykonywana jest automatycznie. Dostarczanie zaprogramowanych porcji farby realizowane jest za pomocą modułu dozownika. Dozownik wytwarza pięć mikrostrumieni farby olejnej lub akrylowej w proporcjach umożliwiających uzyskanie pożądanej barwy. Ujednorodnienie pięciokolorowego zestawu barw odbywa się w module mikromieszalnika. Pojemność mikromieszalnika zapewnia przygotowanie dawki możliwej do jednorazowego pobrania przez końcówkę pędzla. W karetkie znajduje się także moduł wycierania pędzli. Pędzle są wycierane w przypadku pobierania z mieszalnika koloru farby lub w przypadku malowania „na sucho”. Malowanie na sucho wymaga wytarcia pędzla i pozostawiania na nim jedynie resztek farby. Za ocenę wytarcia pędzla jest odpowiedzialny moduł optycznej inspekcji składający się z kamery z obiektywem i oświetlacza. Zadaniem modułu optycznej inspekcji jest także ocena zgodności namalowanego fragmentu obrazu z zapisem cyfrowym, na podstawie którego tworzona jest kopia. Ze względu na nasiąkanie podłoża zmniejszające

naciąg płótna konieczna jest ocena odległości płótna od końcówki pędzla. W przypadku zmiany ustalonej odległości konieczne jest automatyczne wprowadzenie odpowiedniej poprawki. W tym celu w karetkie zainstalowano moduł pomiaru odległości od podłoża. Przed każdym pociągnięciem pędzla laserowa głowica pomiarowa w sposób bezstykowy dokonuje pomiaru odległości, na podstawie którego korygowana jest trajektoria ruchu pędzla po płótnie. Do ramy karetki zamocowano także lokalną szafę sterującą z elementami automatyki odpowiadającymi za działanie wewnętrznych modułów znajdujących się w karetkie. Ponadto na szafie znajduje się pulpit operatora z przyciskami umożliwiającymi ręczne sterowanie modułami karetki w trybie serwisowym.

Główna, stacjonarna szafa sterująca integruje układy automatyki kontrolujące działanie pozycjonera karetki. Na szafie znajduje się panel z graficznym interfejsem operatora umożliwiającym programową konfigurację robota oraz bieżącą kontrolę realizowanych funkcji i zaistniałych stanów awaryjnych.

Model robota

Wykorzystując przeprowadzoną analizę strukturalną opracowano model wirtualny robota (rys. 5). W konstrukcji ramy zastosowano system profili aluminiowych firmy Bosch. Podczas malowania strefa pracy robota

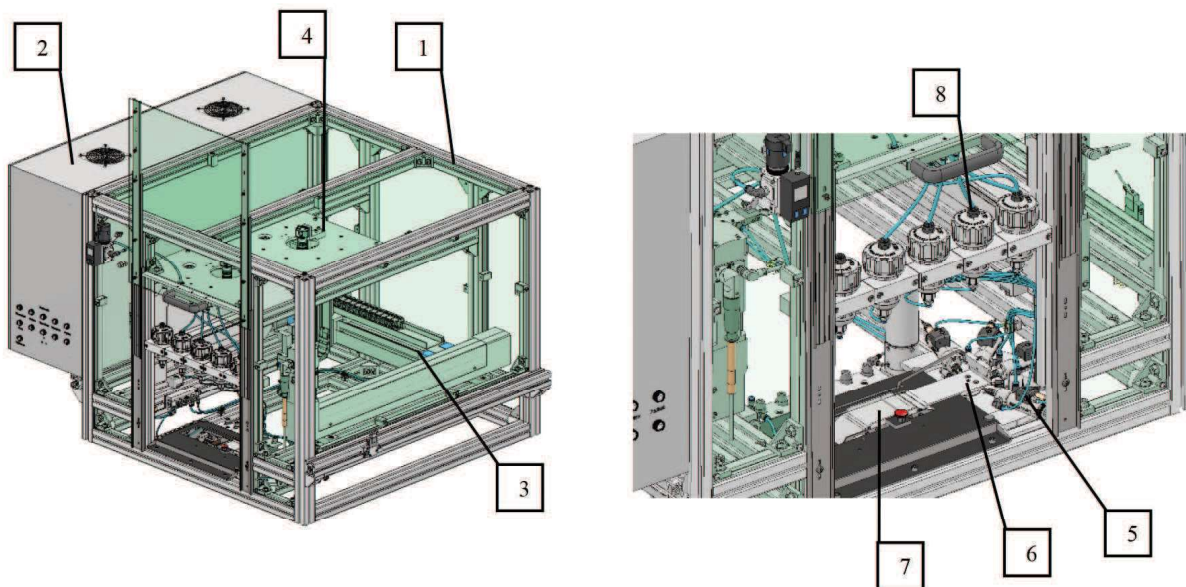


Rys. 5. Model robota malującego NOPM: 1 – pozycjoner karetki, 2 – karetką, 3 – bariera świetlna, 4 – malowany obraz
 Fig. 5. Model of the NOPM painting robot: 1 – positioner of the carriage, 2 – carriage, 3 – light barrier, 4 – painted picture

jest zabezpieczona przed nieautoryzowanym dostępem zestawem kurtyn świetlnych. Moduły liniowe Festo EGC 185 z pasem zębatym napędzane serwoślinkami EMMS-AS-140 wykorzystano w globalnym układzie do przemieszczania karetki, a w lokalnym portal płaski Festo EXCH-40-500-350 do pozycjonowania chwytaka

trójściskowego Festo DHDS zamocowanego na module obrotowym ERMO-12 również firmy Festo.

Pięć precyzyjnych wtryskiwaczy sterowanych pneumatycznie Nordson EFD 741V o częstotliwości cykli roboczych (włączania/wyłączania) 60 do 80 Hz i czasie zadziałania 5–6 ms, znalazło zastosowanie w konstrukcji



Rys. 6. Model karetki: 1 – rama, 2 – szafa sterownicza, 3 – manipulator 3 osiowy, 4 – moduł optycznej inspekcji, 5 – moduł dozowania farby, 6 – mieszalnik, 7 – moduł wycierania pędzli, 8 – zasobniki farby
 Fig. 6. Carriage model: 1 – frame, 2 – control cabinet, 3 – manipulator 3-axes, 4 – module optical inspection, 5 – ink dispensing module, 6 – mixer, 7 – wiper, 8 – paint buckets

modułu dozowania farby. Wtryskiwacze pobierają farbę znajdującą się w zasobnikach. Każdy kolor pobierany jest z osobnego zasobnika. Opracowano autorską konstrukcję mieszalnika z mikrostrumieniowym dozowaniem farby oraz zaprojektowano współpracujący z nim moduł wycierania pędzli (rys. 6).

Podsumowanie

Urządzenia modułowe szczególnie efektywnie można wykorzystywać jako unikatowe maszyny procesowe, przystosowane do elastycznej technologii wytwarzania. Właściwe zaprojektowanie robota malarskiego wymagało identyfikacji poszczególnych funkcji przyporządkowanych do wydzielonych modułów oraz opracowania właściwej konfiguracji zapewniającej funkcjonowanie układu technologicznego w ramach rekonfigurowanej struktury elastycznego systemu wytwarzania. Projektowanie struktury robota NOPM przeprowadzono z uwzględnieniem modularyzacji polegającej na wyodrębnianiu kompletnych podzespołów charakteryzujących się autonomią postaciową i funkcjonalną. Autonomia postaciowa umożliwia szybkie zamontowanie lub zdemontowanie zintegrowanego konstrukcyjnie modułu jako odrębnej jednostki montażowej, bez istotnego naruszania struktury pozostałych elementów maszyny. Autonomia funkcjonalna jest związana z możliwością samodzielnego funkcjonowania modułu, niezależnie od pozostałych elementów struktury. Modułowa struktura robota jest rozwiązaniem umożliwiającym wykonawstwo uwzględniające wykorzystanie gotowych, specjalistycznych komponentów oferowanych przez wiodących producentów. Pożądany wariant rozwiązania jest tworzony poprzez kombinację dostępnych typowych elementów i podzespołów z urządzeniami oryginalnymi.

LITERATURA

- [1] Aguilar C., H. Lipson. 2008. "A robotic system for interpreting images into painted artwork". 11th Generative Art Conference, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.531.8792&rep=rep1&type=pdf>, dostęp 22.10.2018.
- [2] Fenghui Y., S. Guifeng, Y. Jianqiang. 2004. "Extracting the trajectory of writing brush in Chinese character calligraphy". *Engineering Applications of Artificial Intelligence* Volume 17, Issue 6: 631–644.
- [3] Kudoha S. et. al. 2009. "Painting robot with multi-fingered hands and stereo vision". *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 57, Issue 3: 279–288.
- [4] Moura L. 2018. "A New Kind of Art: The Robotic Action Painter", <http://generativeart.com/on/cic/papers-GA2007/16.pdf>, dostęp 22.10.2018.
- [5] Myoo S. 2016. „Twórcze roboty”. *Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria*, 2 (98): 115–126.
- [6] Tresset P., F. Leymarie. 2013. "Portrait drawing by Paul the robot". *Computers & Graphics*, Volume 37, Issue 5: 348–363.
- [7] Yao F., G. Shao. 2005. "Painting Brush Control Techniques in Chinese Painting Robot". *IEEE International Workshop on Robots and Human Interactive Communication*, 462–467, <https://pdfs.semanticscholar.org/b8af/8636d0fdfa34f9edf36c83043f29107f2f33.pdf>, dostęp 22.10.2018.
- [8] Zbrowski A. 2016. „Metodyka badań prototypów i jednostkowych urządzeń technicznych”. Radom: Wydawnictwo Naukowe ITeE – PIB.
- [9] natemat.pl/80325,chinskie-fabryki-dziel-sztuki, dostęp 22.10.2018.
- [10] <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/swiat/243682,1,w-chinach-kopiuja-na-potege.read>, dostęp 22.10.2018.
- [11] <http://rynekisztuka.pl/2014/02/07/sztuka-made-in-china/>, dostęp 22.10.2018.
- [12] <https://rctom.hbs.org/submission/dafen-village-factory-of-fine-art/>, dostęp 22.10.2018.
- [13] <https://iamyouasheisme.wordpress.com/2009/08/14/balzac-pre-benjamin/>, dostęp 22.10.2018.
- [14] <https://blog.dupontregistry.com/news/audis-new-paint-shop-efficient-sustainable-operated-robots/>, dostęp 22.10.2018.
- [15] http://www.cmarobot.it/dyn_img/pdf/000018.pdf, dostęp 22.10.2018.
- [16] <https://www.theguardian.com/artanddesign/2016/apr/19/robot-art-competition-e-david-cloudpainter-bitpainter>, dostęp 22.10.2018.
- [17] <https://www.technologyreview.com/s/600762/robot-art-raises-questions-about-human-creativity/>, dostęp 22.10.2018.
- [18] <https://bengrosser.com/projects/interactive-robotic-painting-machine/overhead-view/>, dostęp 22.10.2018.
- [19] <http://siamagazin.com/meet-the-man-teaching-robot-artists-to-paint-like-humans/>, dostęp 22.10.2018.
- [20] <https://www.digitalartsonline.co.uk/features/illustration/this-robot-thinks-it-can-paint-it-can/>, dostęp 22.10.2018.

Praca naukowa sfinansowana w ramach projektu nr RPMA.01.02.00-14-6202/16 pt.: „Stworzenie innowacyjnego robota NOPM” w Regionalnym Programie Operacyjnym Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020, Oś Priorytetowa I Wykorzystanie działalności badawczo-rozwojowej w gospodarce, działanie 1.2 Działalność badawczo-rozwojowa przedsiębiorstw.

dr inż. Stanisław Kozioł – Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: stanislaw.koziol@itee.radom.pl

dr inż. Tomasz Samborski, adiunkt, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: tomasz.samborski@itee.radom.pl

dr hab. inż. Andrzej Zbrowski, prof. ITeE-PIB – Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

Jerzy Lipiński – Nexio Management Sp z o.o., Warszawa, e-mail: jerzy.lipinski@nexio.pl