

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

---

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka  
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA  
INŻYNIERSKA

Wykorzystanie manipulatorów Fanuc  
w zadaniu paletyzacji

Robotic paletising with Fanuc manipulators

AUTOR:  
Dymitr Choroszczak

PROWADZĄCY PRACĘ:  
dr inż. Robert Muszyński

OCENA PRACY:



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Specyfikacja zadania paletyzacji</b>	<b>9</b>
2.1	Dobór robota . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Przegląd funkcjonalności pakietu Palletizing</b>	<b>11</b>
3.1	Typy paletyzacji . . . . .	11
3.2	Konfiguracja funkcji paletyzacji . . . . .	12
3.3	Szablony układania . . . . .	13
3.4	Szablony trasy . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Przegląd funkcjonalności systemu iRVision</b>	<b>15</b>
4.1	Kalibracja kamery . . . . .	15
4.2	Kalibracja TCP kamery . . . . .	16
4.3	Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej . . . . .	16
4.4	Procesy wizyjne . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Projekt stanowiska zrobotyzowanego</b>	<b>19</b>
5.1	Model 3D stanowiska . . . . .	19
5.2	Aplikacja demonstracyjna . . . . .	21
5.3	Symulacja aplikacji w środowisku ROBOGUIDE . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Propozycja ćwiczenia laboratoryjnego</b>	<b>25</b>
6.1	Cel ćwiczenia . . . . .	25
6.2	Wymagania wstępne . . . . .	25
6.3	Opis stanowiska . . . . .	26
6.4	Paletyzacja z wykorzystaniem pakietu Palletizing . . . . .	27
6.4.1	Struktura programu paletyzacji i dodawanie instrukcji . . . . .	27
6.4.2	Tworzenie funkcji paletyzacji typu B . . . . .	27
6.4.3	Konfiguracja funkcji paletyzacji . . . . .	27
6.4.4	Uczenie szablonu układania . . . . .	28

6.4.5	Uczenie szablonu trasy . . . . .	28
6.5	Depaletyzacja iRvision . . . . .	28
6.5.1	Struktura podstawowego programu i kolejność wywo- ływania funkcji . . . . .	28
6.5.2	Tworzenie programu wykorzystującego moduł iRvision i pakiet Palletizing . . . . .	29
6.5.3	Dodawanie profilu kamery . . . . .	29
6.5.4	Kalibracja TCP kamery . . . . .	29
6.5.5	Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej . . . . .	29
6.5.6	Perspektywiczna (2-punktowa) kalibracja kamery . . . . .	29
6.5.7	Tworzenie nowego procesu wizyjnego . . . . .	30
6.5.8	Konfiguracja procesu depaletyzacji . . . . .	30
6.5.9	Uczenie wzorca detalu . . . . .	30
6.5.10	Pisanie programu głównego . . . . .	30
6.6	Zadania do wykonania . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Podsumowanie</b> . . . . .	<b>31</b>
7.1	Wykonane zadania . . . . .	31
7.2	Trudności z wykonywaniem zadań . . . . .	31
	<b>Bibliografia</b> . . . . .	<b>33</b>
	<b>Dodatki</b> . . . . .	<b>35</b>
A	<b>Instrukcja laboratoryjna</b> . . . . .	<b>35</b>
B	<b>Płyta CD</b> . . . . .	<b>53</b>

# Spis rysunków

3.1	Ścieżki dojazdu i odprowadzania dla dwóch detali w środowisku ROBOGUIDE. . . . .	14
4.1	Układy współrzędnych Tool Frame (a) i User Frame (b) . . . . .	17
5.1	Model stanowiska z robotem FANUC LR Mate 200iD 4S w Laboratorium robotyki (sala 010, budynek C-3) Politechniki Wrocławskiej . . . . .	20
5.2	Kolejność wywoływania instrukcji . . . . .	21
5.3	Ścieżka śledzenia TCP podczas wykonywania symulacji . . . . .	23



# Rozdział 1

## Wstęp

Zwiększająca się liczba ludności i rosnący standard życia społeczeństwa, spowodowane rozwojem gospodarczym, przyczyniają się do wzrostu popytu na produkty codziennego użytku.

Zaspokojenie potrzeb konsumentów wymaga wprowadzenia innowacyjnych, coraz bardziej wydajnych metod produkcji. Nowe rozwiązania technologiczne pozwalają na wytworzenie systemów narzędzi częściowo wspomagających lub zastępujących pracę fizyczną, jak i umysłową człowieka [12]. Takie rozwiązania znalazły szczególne zastosowanie w przypadku dużych fabryk, realizujących produkcję na liniach produkcyjnych. Proces zastępowania niegdyś ręcznie wykonywanych czynności pracą maszyn nazwano automatyzacją, gdyż w efekcie odbywają się one automatycznie, bez udziału człowieka.

Zalety zastosowania zautomatyzowanych linii produkcyjnych:

- zwiększenie produktywności linii produkcyjnej,
- umożliwienie ciągłego prowadzenia procesu produkcji,
- obniżenie kosztów produkcji,
- wysoka powtarzalność.

Każda linia produkcyjna, czy zautomatyzowana, czy nie, ma swój początek i koniec, gdzie zazwyczaj realizowane są procesy depaletyzacji, paletyzacji i pakowania. Są to czynności na tyle ważne, że częstokroć stanowią znaczący udział w procesie paletyzacji i potrafią zadecydować o przebiegu całego cyklu wytwarzania [1]. Pierwotnie były uważane one za odrębne od procesu produkcji, ale z czasem, po wdrożeniu nowych metod automatyzacji, zostały zintegrowane z nim w jedną całość [2].

Często procesy produkcyjne wspierane są robotami przemysłowymi, które w znacznym stopniu je usprawniają. Jednakże nauczenie takiej maszyny wykonywania zadań bywa stosunkowo trudne. Z tego powodu firmy produkujące roboty, oprócz samych robotów dostarczają również narzędzia ułatwiające realizację zadania paletyzacji, depaletyzacji czy pakowania.

Jedną z takich firm jest FANUC Robotics, będący producentem systemów umożliwiających automatyzację zakładów produkcyjnych. Firma FANUC dostarcza różnorodne oprogramowanie wspomagające produkcję, jakim jest między innymi pakiet Palletizing [6] oraz system iRVision [5]. Oba te narzędzia są bardzo przydatne w tej branży. Pierwsze z nich odnosi się do obsługi stanowisk paletyzujących i umożliwia automatyczne wykonywanie robotem czynności układania elementów. Drugie zaś jest systemem wizyjnym zapewniającym interakcję robota z otoczeniem.

Każde opracowane narzędzie czy rozwiązanie wymaga przygotowania dokumentacji, aby w przyszłości można było go poprawnie użyć. Dokumentacje tworzone są z reguły poprzez wykwalifikowanych fachowców. Zawierają one szczegółowe opisy funkcjonalności i parametrów, przez co zazwyczaj składają się z kilkudziesięciu lub nawet kilkuset stron tekstu, napisanego językiem specjalistycznym. Taka forma niewątpliwie jest zaletą dla osoby równie dobrze wykształconej w danej dziedzinie, lecz do tego poziomu trzeba dojść poprzez studiowanie. Uczelnie kładą coraz większy nacisk na eksternistyczny tok nauczania, co motywuje studentów do tworzenia własnych opracowań tematów dydaktycznych. Takie opracowanie stanowi niniejsza praca. Zagadnienia w niej poruszane mają stosunkowo prosty charakter, lecz wymagają wielu godzin przygotowań i praktyk. Ich należne opracowanie pozwala czytelnikowi szybko i skutecznie opanować przedstawiany materiał. Podstawowym celem takich działań jest dostarczenie najpotrzebniejszych informacji, cennych wskazówek oraz uwag, których mogą nie zawierać dokumentacje techniczne.

Zdobycie umiejętności automatyzowania linii produkcyjnej wymaga praktyki, lecz praktyka bez znajomości narzędzi jest raczej mało skuteczna. Ćwiczenia pomagają opanować umiejętności, ale wykonywane „na oślep”, gdy coś udało się zrobić przez przypadek, lub pochłaniające zbyt dużo czasu na zastanawianie się jak właściwie je wykonać, przestają mieć sens. Wykonywanie ćwiczeń w takich warunkach przypomina prędkiej błędzenie w labiryncie aniżeli naukę. Z tych powodów w ramach niniejszej pracy przygotowano opisy funkcjonalności wcześniej wspomnianych narzędzi – pakietu Palletizing i systemu iRVision oraz ćwiczeń wprowadzających do związanych z nimi zagadnień. Ćwiczenia stanowią bazę tworzenia powszechnie stosowanych procesów automatyzacji linii produkcyjnych.



Celem niniejszej pracy jest opracowanie stanowiska laboratoryjnego wraz z instrukcją, umożliwiającą prowadzenie ćwiczeń w zakresie wykorzystania manipulatorów przemysłowych do zadań paletyzacji i depaletyzacji. Praca stanowi kontynuację działań realizowanych w ramach Projektu zespołowego dotyczącego paletyzacji przemysłowej z użyciem systemu wizyjnego iRVision oraz modułu Palletising [9] oraz prac wykonanych przez autora w ramach praktyk zawodowych w firmie FANUC Polska.

Zadania do wykonania w ramach pracy:

- specyfikacja zadania paletyzacji,
- przegląd funkcjonalności pakietu Palletizing,
- przegląd funkcjonalności systemu iRVision,
- projekt stanowiska zrobotyzowanego,
- propozycja ćwiczenia laboratoryjnego.

Układ pracy jest następujący. W rozdziale drugim zostało rozwinięte zagadnienie paletyzacji przemysłowej, wymieniono pozytywne strony zastosowania zautomatyzowanych systemów paletyzujących oraz przedstawiono aspekty doboru parametrów robota do danego zadania. Rozdział trzeci i czwarty dotyczą odpowiednio przeglądu funkcjonalności pakietu Palletizing i systemu iRVision. Rozdział piąty obejmuje opis projektu stanowiska laboratoryjnego w środowisku wirtualnym oraz program odzwierciedlający procesy depaletyzacji i paletyzacji. Kolejny rozdział zaznajamia z zagadnieniami opracowanej instrukcji do wcześniej wymienionych narzędzi firmy FANUC. Rozdział siódmy stanowi podsumowanie niniejszej pracy i zadań, które zostały w jej ramach wykonane. W dodatku **A** dołączono treść instrukcji opisanej w rozdziale szóstym. Dodatek **B** zawiera elementy opracowane w ramach pracy dyplomowej.



## Rozdział 2

# Specyfikacja zadania paletyzacji

Paletyzacja jest procesem formowania ładunku, przeznaczonego do transportu w miejsce docelowe. Innymi słowy, jest to proces pakowania gotowych wyrobów, najczęściej pochodzących prosto z linii produkcyjnej. Jego nazwa wywodzi się wprost od nazwy platformy, czyli palety, którą tradycyjnie wykorzystuje się do przenoszenia i składowania towarów.

Ręczny proces układania kartonów, detali lub innych wyrobów na produkcji pochłaniał sporo czasu, przez co był drogi i bardzo obciążał pracowników. Stąd, obecnie w przemyśle do tych zadań często stosuje się manipulatory robotyczne zastępujące ludzi na liniach produkcyjnych. Budową manipulator przemysłowy przypomina ramię człowieka co sprawia, że może pełnić jego funkcje [11]. Manipulator może zostać wyposażony w chwytak dostosowany do detali, które należy obsłużyć. Mechaniczne narzędzie nie jest tak uniwersalne jak ludzka dłoń, lecz podczas produkcji masowej, z reguły nie stanowi to problemu, jako że kształt detali pozostaje zbliżony do pewnego wzorca. Dodatkową zaletę stanowi możliwość zbudowania manipulatora o dużym udźwigu. Takie rozwiązania pozwalają w łatwy i precyzyjny sposób transportować ładunki ważące od kilku do kilkuset kilogramów, z taśmy produkcyjnej na palety.

Robot paletyzujący (ang. palletizer) jest maszyną najczęściej stosowaną w zakładach masowej produkcji, gdzie jego zakup i utrzymanie jest najbardziej opłacalne. Takie maszyny muszą spełniać pewne kryteria związane z typem wykonywanego zadania, a rosnący popyt na zautomatyzowany system układania towarów spowodował wzrost ich różnorodności [13].

## 2.1 Dobór robota

W procesie doboru robota do zadania paletyzacji zazwyczaj brane są pod uwagę jego następujące parametry:

- zasięg działania,
- udźwig,
- maksymalna prędkość ruchu.

Manipulatory paletyzujące mają charakterystyczną cechę budowy, którą jest stosunkowo długie ramię. Typowo ich zasięg wynosi od 2 do 3m. Wynika to przykładowo z potrzeby sięgania nad transporter taśmowy po kartony z produktem i układanie ich warstwowo na platformie. Powiększona przestrzeń robocza daje również możliwość wykorzystania większej liczby punktów podejścia i zwiększa bezpieczeństwo.

W zależności od przenoszonego ciężaru dobierany jest robot o odpowiednim udźwigu. Gdy do układania 10-kilogramowych skrzynek z chlebem, dla sprawnej pracy wystarczy robot o udźwigu 30 kg, tak do podnoszenia ciężkich stalowych konstrukcji w zakładach metalurgicznych będzie potrzebna silniejsza maszyna. Wraz z rosnącym maksymalnym udźwigiem z reguły zmniejsza się zasięg paletyzatora. Rosnące momenty siły działające na silniki i przeguby, wymuszają zmianę konstrukcji na bardziej solidną. Ramiona stają się krótsze i grubsze.

W produkcji masowej liczy się każda sekunda. Stąd, bardzo ważnym parametrem staje się prędkość poruszania się robota, która decyduje o czasie wykonania cyklu. Im krótszy czas, tym więcej pracy maszyna zdoła wykonać, zmniejszając tym samym koszty produkcji.

Wymienione wcześniej parametry, na pierwszy rzut oka wydają się nie mieć ze sobą wiele wspólnego, ale w rzeczywistości są od siebie zależne. Zwiększenie zasięgu robota wiąże się z większymi momentami sił na przegubach, co sprawia że maksymalny udźwig maleje. Z drugiej strony roboty przeznaczone do podnoszenia ciężarów rzędu kilkuset kilogramów, charakteryzują się stosunkowo małym zasięgiem, ponieważ długość ich ramion została zredukowana na korzyść grubości, czyli wytrzymałości. Również przekłada się to na ruch, gdyż manipulator przenoszący duży ciężar, nie osiąga maksymalnych prędkości. Wskazany jest dobór parametrów robota z pewnym zapasem. Szczególne znaczenie ma udźwig, gdyż jego „nadmiar” pozwala na wykonywanie zadań z większą szybkością oraz zmniejsza zużycie maszyny, co znacząco wydłuża okres konserwacji [8].

## Rozdział 3

# Przegląd funkcjonalności pakietu Palletizing

Pakiet Palletizing jest zbiorem narzędzi instalowanych na robotach firmy FANUC, ułatwiającym realizację zadania paletyzacji. Zawiera w sobie niezbędne funkcje, które samodzielnie obliczają położenie układanych elementów, co pozwala na ich regularne rozmieszczenie [6]. Poniżej przedstawiono wybrane elementy funkcjonalności pakietu.

### 3.1 Typy paletyzacji

W ramach funkcji paletyzacji określa się punkty przestrzeni roboczej definiujące szablon układania i szablon trasy opisanych odpowiednio w rozdziałach 3.3 i 3.4. Funkcje paletyzacji zostały podzielone ze względu na stopień złożoności tych szablonów. Zastosowanie takiego podziału eliminuje zbędne opcje funkcjonalności pakietu w przypadku prostych zadań, a także umożliwia wykorzystanie wybranych rozszerzeń w razie potrzeby zaprogramowania złożonego zadania. Pakiet Palletizing wyróżnia następujące typy paletyzacji:

- paletyzacja typu B,
- paletyzacja typu E,
- paletyzacja typu BX,
- paletyzacja typu EX.

Paletyzacja typu B pozwala na tworzenie podstawowych szablonów układania i jest ograniczona do jednego szablonu trasy. Najprostszym kształtem

warstwy jest prostokąt. Korzystając z pozycji pomocniczej można w jej ramach utworzyć szablon o kształcie równoległoboku.

Paletyzacja typu E pozwala na tworzenie zaawansowanych szablonów układania i, podobnie jak typ B, ma ograniczenie do jednego szablonu trasy. Pierwszą szczególną jej cechą jest możliwość określenia położenia poszczególnych stosów układania. W tej opcji definiuje się położenie kolejnych elementów w rzędzie, kolumnie czy warstwie. Drugą możliwością jest układanie równomierne ze zmianą położenia. Definiowana jest pozycja pierwszego i ostatniego elementu, z których obliczane są pozycje elementów pośrednich.

Paletyzacje typu BX oraz EX są analogiczne do dwóch poprzednich i jednocześnie rozszerzone o możliwość wykorzystywania trasy o wielu szablonach trasy. Oznacza to, że funkcja paletyzacji typu EX posiada wszystkie dostępne opcje w ramach pakietu.

## 3.2 Konfiguracja funkcji paletyzacji

Pakiet Palletizing posiada przejrzyste menu, które umożliwia szybką konfigurację procesu paletyzacji. Po zakończeniu procedury i dodaniu instrukcji paletyzacji do programu, możliwa jest zmiana dotychczasowej konfiguracji w dowolnej chwili. Główne menu zawiera następujące elementy składowe:

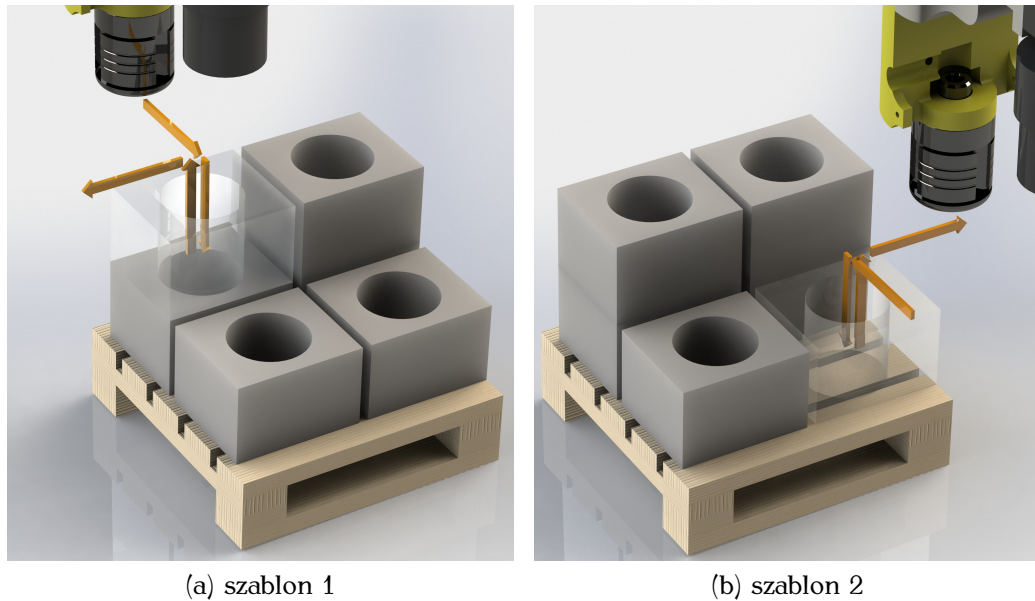
- `PALLETIZING_i` – nazwa funkcji, gdzie 'i' jest automatycznie przypisywanym numerem paletyzacji od 1 do 16. Oznacza to, że możemy zdefiniować maksymalnie 16 różnych funkcji paletyzacji niezależnie od typu. Dane ograniczenie obowiązuje tylko w obrębie jednego programu. Jest możliwość dodania komentarza w nawiasie kwadratowym [ ], znajdującym się po prawej stronie nazwy.
- `TYPE` – typ paletyzowania określający czy elementy są układane [`PALLET`] czy zdejmowane [`DEPALLET`] ze stosu. Wpływa na zawartość rejestru inkrementując lub dekrementując go odpowiednio.
- `INCR` – określa wartość inkrementacji lub dekrementacji rejestru po wykonaniu instrukcji końcowej `PALLETIZING-END`.
- `PAL REG` – oznacza numer rejestru paletyzacji, który będzie wykorzystywany podczas wykonania funkcji.
- `ORDER` – określa kolejność obsługi elementów na stosie względem rzędów, kolumn i warstw, odpowiednio: R – row, C – column, L – layer.

- ROWS, COLUMNS, LAYERS – liczba rzędów, kolumn i warstw (dla każdego typu paletyzacji), a także:
  - LINE/FREE – typ rozmieszczenia elementów: liniowy/swobodny (dla paletyzacji typu E i EX).
  - FIX/INTER – określenie położenia elementów: stałe/przedziałowe (dla paletyzacji typu E i EX). Opcja INTER umożliwia automatyczne obliczenie orientacji elementu w przestrzeni poprzez równomierny podział zmian w przedziale pomiędzy pierwszym a ostatnim elementem,
  - Liczba szablonów warstwy (zobacz rozdział 3.3) w zakresie od 1 do 16 (tylko dla LAYER w paletyzacjach typu E i EX).
- AUXILIARY POS – pozycja pomocnicza: pozwala na zmianę kształtu szablonu warstwy na równoległobok inny niż prostokąt.
- APPR (approach) – liczba punktów dojazdu.
- RTRT (retract) – liczba punktów odprowadzania.
- PATTERN – liczba szablonów trasy (tylko dla paletyzacji BX i EX).

### 3.3 Szablony układania

Szablony układania (*ang. stacking pattern*) służą do zachowania regularnej struktury ułożenia stosu. Definiowane są poprzez uczenie skrajnych punktów, koniecznych do jednoznacznego określenia kształtu szablonu.

Pakiet Palletizing daje możliwość wykorzystania różnych szablonów układania dla różnych warstw. Jest to szczególnie przydatne w przypadku, gdy potrzebne jest wzmocnienie struktury stosu np. przez naprzemienne ułożenie elementów w warstwach. Kolejne szablony definiowane są przez użytkownika podczas konfiguracji. W trakcie wykonywania programu występują one z zachowaniem porządku, w którym zostały określone. W momencie, gdy licznik numeru aktualnie układanej warstwy przekracza liczbę szablonów, ich sekwencja zostaje powtarzana od pierwszego w niezmiennym porządku. Opcja wolnego rozmieszczenia elementów w rzędzie, kolumnie czy warstwie umożliwia definicję położenia dla każdego z nich z osobna.



Rysunek 3.1: Ścieżki dojazdu i odprowadzania dla dwóch modeli szablonów w środowisku ROBOGUIDE.

### 3.4 Szablony trasy

Szablony trasy (*ang. route pattern*) są konieczne podczas wykonywania procesu paletyzacji. Zapewniają poprawne podejście robota do, i odprowadzenie od przenoszonego detalu. Szablony mogą być tworzone poprzez uczenie punktów trasy. Konfiguracja pozwala na ustalenie liczby tych punktów, a mianowicie liczby punktów podejścia i liczby punktów odprowadzania.

W przypadku ograniczonego dostępu do układanego stosu przydatna jest możliwość wykorzystania kilku szablonów trasy. Opcja wymaga ustalenia warunków ich występowania. Szablon może zostać przydzielony do kilku detali i powtarzany według pewnej reguły lub przypisany do konkretnego usytuowania. Przykładowo można zastosować szablon do całej warstwy lub kolumny. Przykład wykorzystania dwóch szablonów trasy względem położenia detalu został przedstawiony na rysunku 3.1. Zastosowanie podobnych ścieżek byłoby słuszne w przypadku przebiegu trajektorii ruchu robota przez stos wcześniej ułożonych detali, co mogłoby spowodować kolizję. Taka sytuacja może wystąpić, gdy układane są warstwy znajdujące się powyżej punktu, z którego robot zaczyna wykonywanie instrukcji paletyzacji.



# Rozdział 4

## Przegląd funkcjonalności systemu iRVision

iRVision jest systemem wizyjnym firmy FANUC [3]. Umożliwia wyznaczenie położenia detalu i przemieszczenie do niego robota. Ma on szczególne znaczenie w procesie automatyzacji linii produkcyjnych. Z reguły wykorzystywany jest w przypadkach, gdy rozmieszczenie detali nie jest regularne i zdeterminowane, przez co nie da się ich obsłużyć za pomocą samego robota. Takie rozwiązanie znajduje zastosowanie np. przy transporterach taśmowych, na których rozmieszczenie detali jest losowe. Poniżej przedstawiono wybrane elementy funkcjonalności systemu.

### 4.1 Kalibracja kamery

Kalibracja kamery jest procedurą mającą na celu określenie [10]:

- podstawowych parametrów kamery – ogniskowa, środek matrycy,
- parametrów kamery, które określają zniekształcenie obrazu podczas jego rejestracji.

System iRVision posiada wbudowaną funkcję kalibracji kamery z wykorzystaniem siatki kalibracyjnej (*Grid Pattern Calibration*)[5]. Proces ten wymaga umieszczenia siatki kalibracyjnej w odległości od kamery jak najbardziej zbliżonej do tej, z której wykrywane będą detale. Dostępne są dwa typy kalibracji:

- Kalibracja jednopłaszczyznowa – wykonywana na podstawie obrazu zarejestrowanego z jednej pozycji. Stosowana głównie w przypadku kamer zamocowanych na nieruchomych statywach.

- Kalibracja perspektywiczna (dwupunktowa) – wykonywana na podstawie obrazu zarejestrowanego w dwóch różnych, równoległych płaszczyznach, odległych od siebie o co najmniej 150 mm. Jest ona bardziej dokładna, ale wymaga przemieszczania kamery w trakcie jej wykonywania. Jedną z płaszczyzn powinna być ta, z której rejestrowane będą obiekty.

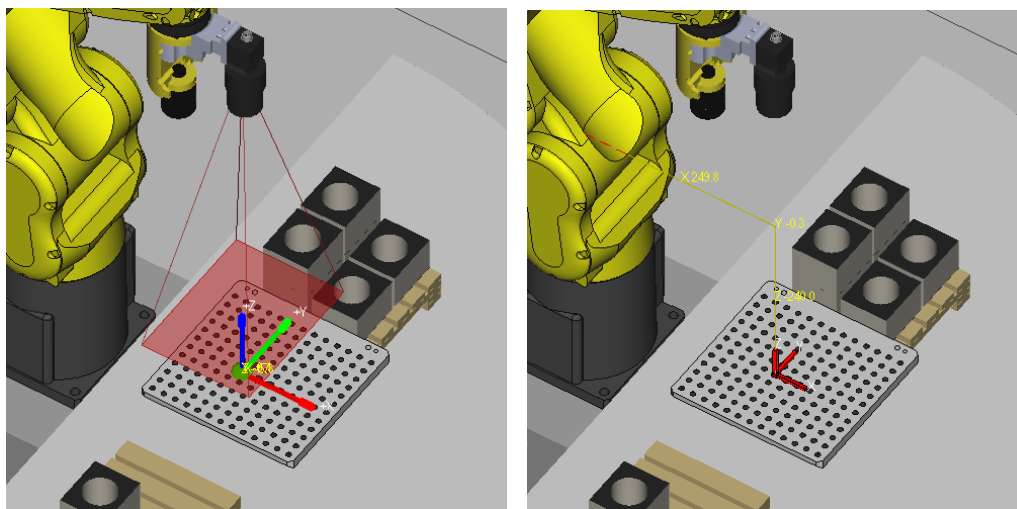
Po przeprowadzeniu kalibracji możemy upewnić się, czy została wykonana poprawnie, sprawdzając automatycznie obliczone parametry. Jeśli, widniejąca w danych, ogniskowa obiektywu jest bliska jego rzeczywistej ogniskowej, jest to pierwsza oznaka dobrze przeprowadzonej kalibracji. Kolejnym nie mniej ważnym parametrem jest wartość błędu, która powinna być jak najmniejsza.

## 4.2 Kalibracja TCP kamery

Manipulatory przemysłowe są w stanie poruszać się wokół punktu środkowego narzędzia – TCP (*Tool Center Point*). Definicja TCP przeprowadzana jest zazwyczaj ręcznie, przez ustawienie końcówki narzędzia robota z różną orientacją nad punktem odniesienia. Jest to stosunkowo prosta procedura, której wynik jest przechowywany w Tool Frame, jednym ze specjalnych profili TCP. Problem powstaje, gdy potrzebny punkt nie należy do struktury narzędzia, jak w przypadku kamery wizyjnej. Dokonując rejestracji obrazu kamerą zamocowaną na robocie może wystąpić potrzeba zmiany perspektywy, co bez zdefiniowanego punktu środkowego kamery jest uciążliwe i niedokładne. System iRVision został wyposażony w narzędzie automatycznie wyznaczające współrzędne danego punktu z wykorzystaniem siatki kalibracyjnej. Po zakończeniu procedury robot zostaje skierowany prostopadłe do siatki z nowo wyznaczonym punktem TCP w jej środku (zobacz rysunek [4.1a](#)).

## 4.3 Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej

Domyślnie manipulatory używają układu współrzędnych przestrzeni roboczej, którego początek znajduje się u podstawy robota, lecz nie zawsze jest to wygodne podczas programowania. Istnieje możliwość przeniesienia takiego układu, dla usprawnienia procesu uczenia. Zazwyczaj daną procedurę przeprowadza się definiując punkty rozpinające wektory określające układ współrzędnych w przestrzeni. Jej wynik jest przechowywany w User Frame, jednym z przeznaczonych do tego profili. W systemie iRVision istnieje,



(a) współrzędne TCP kamery

(b) układ współrzędnych przestrzeni roboczej

Rysunek 4.1: Układy współrzędnych Tool Frame (a) i User Frame (b)

analogiczna do przedstawionej wyżej, procedura automatycznego wyznaczania układu współrzędnych przestrzeni roboczej. Po zakończeniu procedury wybrany układ współrzędnych zostaje zdefiniowany na środku siatki kalibracyjnej (zobacz rysunek 4.1b).

## 4.4 Procesy wizyjne

Procesy wizyjne są ważną składową systemu iRVision. Służą do uczenia robota wzorca detalu, który będzie wykorzystywany do wyznaczania położenia tego detalu na zarejestrowanym obrazie. Pozwalają ustalić różnorodne konfiguracje przetwarzania obrazu, progi błędów i inne. Wyróżnia się następujące typy procesów wizyjnych:

- iRVision 2DV – podstawowe i najczęściej spotykane rozwiązanie do przetwarzania informacji rejestrowanego obrazu. Wykorzystuje proste kamery 2D montowane na robocie lub nieruchomym statywie. Przeprowadza obliczenie położenia detalu względem kamery, przedstawiane w postaci współrzędnych położenia X, Y i obrotu R wyrażanego w stopniach [5].
- iRVision 2½D – w odróżnieniu od zwykłego procesu 2D, wyznaczającego przesunięcie detalu w płaszczyźnie dwuwymiarowej, podaje również do-

datkową współrzędną Z. Wykorzystywany w sytuacjach, gdy wykrywane detale nie znajdują się na jednej płaszczyźnie względem robota. Najlepszym przykładem jest proces depaletyzacji iRVision wyznaczający numer warstwy, w której znajduje się element. Wyznaczany on jest na podstawie obliczenia skali odbiegającej od wzorca. Zwracana składowa Z jest wynikiem mnożenia warstwy razy wysokość nauczonego detalu [7].

- iRVision 3DL – wyznaczający położenie i orientację detalu w trzech wymiarach przestrzennych. Do zgrubnego wykrywania detali używa zwykłej kamery 2D i sensora laserowego, aby odnaleźć dokładne ich położenie [7].

# Rozdział 5

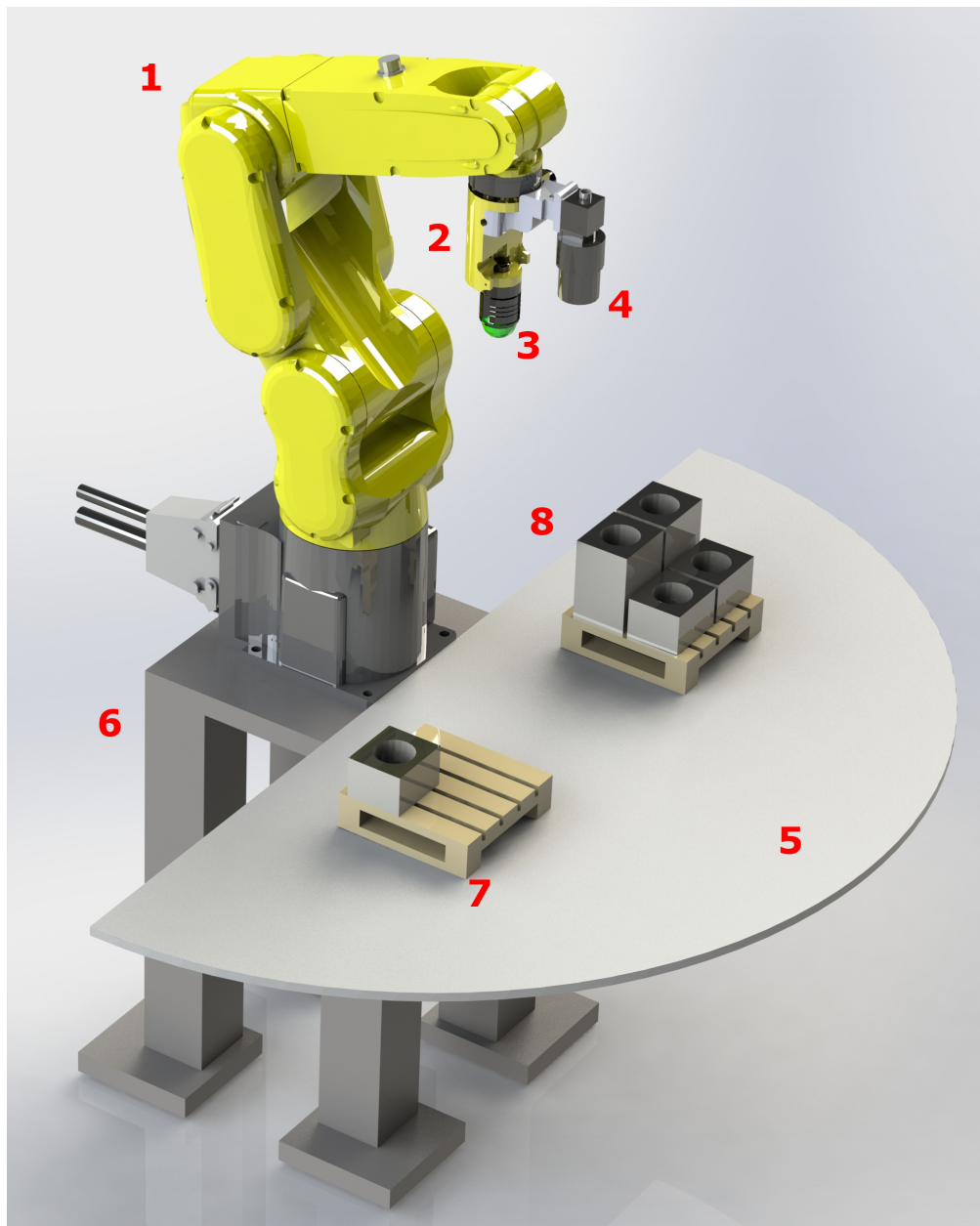
## Projekt stanowiska zrobotyzowanego

### 5.1 Model 3D stanowiska

Do opracowania modelu stanowiska (rysunek 5.1) użyto środowiska ROBOGUIDE [4]. Kopia modelu została dołączona na płycie CD w ramach dodatku B. Trójwymiarowy model został zaprojektowany na podstawie stanowiska znajdującego się w Laboratorium robotyki (sala 010, budynek C-3) Politechniki Wrocławskiej.

W modelu zostały odzwierciedlone następujące elementy:

1. Robot FANUC LR Mate 200 iD 4S zamocowany na metalowej podstawie. Robot jest manipulatorem przemysłowym małych gabarytów.
2. Adapter do robota, chwytaków i kamery. Wykonany metodą druku 3D z lekkiego tworzywa sztucznego. Niska wytrzymałość materiału pozwala ochronić chwytaki i kamerę przed uszkodzeniem w razie kolizji.
3. Chwytaki palcowe firmy SCHUNK o średnicach 20 i 40 mm.
4. Kamera XC-56 firmy SONY wraz z obiektywem zmiennoogniskowym.
5. Stół w kształcie półokręgu dopasowany do przestrzeni roboczej manipulatora. Wykonany z płyty MDF, której elastyczność pozwala zmniejszyć ryzyko uszkodzenia robota w razie kolizji. Zamocowany przy podstawie robota.
6. Przykładowa podstawa do mocowania robota.
7. Drewniane paletki do układania detali paletyzowanych.
8. Detale do przenoszenia przez robota. Każdy z elementów posiada otwór o średnicy około 40 mm, dostosowanej do większego chwytaka.



Rysunek 5.1: Model stanowiska z robotem FANUC LR Mate 200iD 4S w Laboratorium robotyki (sala 010, budynek C-3) Politechniki Wrocławskiej

```

DEPALLETIZING_TP 2/35
1: !Inicjowanie rejestru paletyzacji
2: PL[1]=[1,1,1]
3:
4: LBL[1]
5: !Ustawianie ukladow wpolrzednych
6: UFRAME_NUM=1
7: UTOOL_NUM=1
8:
9: !Pozycja poczatkowa
10:J PR[10:Ref Pos] 50% CNT100
11: !Pozycja rejestracji obrazu
12:J PR[2:Pallet 1 iRV] 50% FINE
13: !Wykrywanie elementow
14: VISION RUN_FIND 'KLOCEK_DP'
15: VISION GET_OFFSET 'KLOCEK_DP'
   : VR[1] JMP LBL[5]
16:
17: !Dojazd i podnoszenie detalu
18: !Punkt dojazdu
19:L PR[11:Klocek pal 1] 500mm/sec
   : FINE VOFFSET,VR[1]

DEPALLETIZING_TP 35/35
20: !Punkt chwytania
21:L PR[11:Klocek pal 1] 100mm/sec
   : FINE VOFFSET,VR[1]
22: !Uruchomienie chwytaka
23: CALL KLOCEK_PICK
24: !Punkt odprowadzania
25:L PR[11:Klocek pal 1] 1000mm/sec
   : FINE VOFFSET,VR[1]
   : Tool_Offset,PR[21:chwytak]
26:
27: !Wywoływanie funkcji paletyzacji
28: CALL PALLETIZING1
29:
30: !Powrot na poczatek programu
31: JMP LBL[1]
32: !Etykieta braku elementow
33: LBL[5]
34:L PR[10:Ref Pos] 100mm/sec CNT100
   :
   :
[End]

```

Rysunek 5.2: Kolejność wywoływania instrukcji

## 5.2 Aplikacja demonstracyjna

W celu zaprezentowania możliwości stanowiska laboratoryjnego została przygotowana aplikacja demonstracyjna (rysunek 5.2). Przedstawia ona podstawowe zastosowanie modułu Palletizing oraz systemu iRVision. Aplikacja wykrywa detale rozmieszczone na powierzchni roboczej stanowiska, wyznacza ich położenie i po kolei pobiera, a następnie układa je na palecie wykorzystując do tego jedną z funkcji pakietu Palletizing.

Program zawiera następujące elementy sterowania:

1. Inicjalizacja rejestru paletyzacji. Potrzebne, aby robot mógł zacząć układanie elementów od pozycji początkowej, gdyż rejestr resetuje się automatycznie tylko w przypadku ułożenia wszystkich elementów. Musi znaleźć się poza pętlą główną programu.
2. Ustawienie układów współrzędnych przestrzeni roboczej i narzędzia. Konieczne do poprawnego wykonania programu. Przesunięcie układów współrzędnych może spowodować kolizję podczas wykonywania programu.
3. Powrót robota do pozycji początkowej, z której będzie mógł bezkolizyjnie przemieścić się do pozycji wykrywania elementów.

4. Uruchomienie wykrywania elementów systemem iRVision i wyznaczenie przesunięcia względem pozycji referencyjnej.
5. Podnoszenie detalu z obliczonej lokalizacji. Wyznaczenie lokalizacji odbywa się poprzez dodanie do pozycji referencyjnej wyznaczonego przesunięcia względem tej pozycji. Po osiągnięciu wyznaczonej lokalizacji zostaje wywołany program uruchamiający chwytak. Punkty dojazdu i odprowadzenia zdefiniowane są poprzez dodanie offsetu narzędzia w osi Z.
6. Wywoływanie funkcji paletyzującej, zdefiniowanej w osobnym module.
7. Powrót na początek programu.
8. Etykieta zakończenia programu w przypadku, gdy proces wizyjny nie wykryje określonego elementu.

Poprawne działanie programu demonstracyjnego wymaga umieszczenia elementów paletyzowanych w oznakowanym obszarze pola widzenia kamery. Program zakłada, że paleta przeznaczona do paletyzacji została opróżniona.

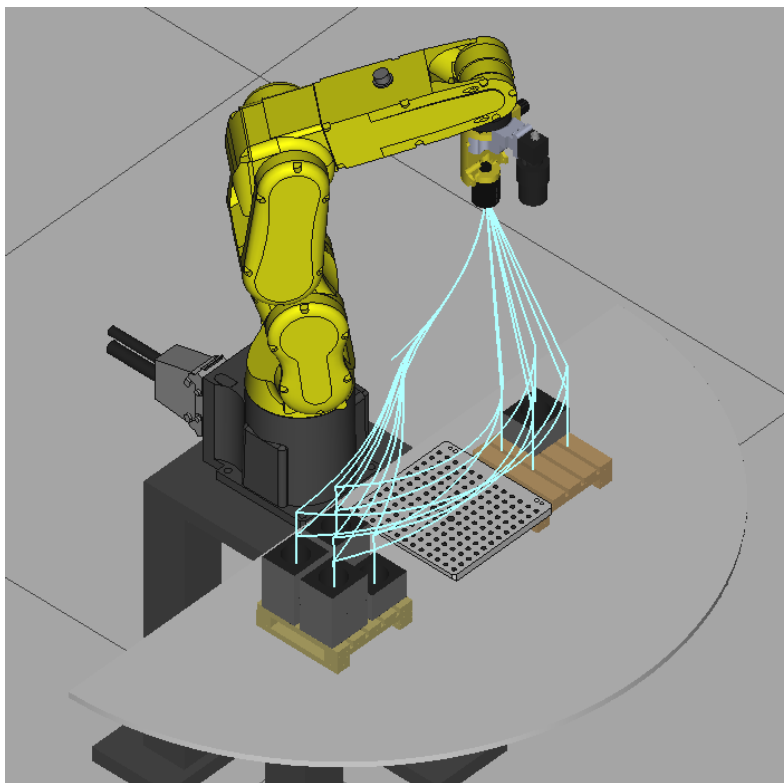
### 5.3 Symulacja aplikacji w środowisku ROBOGUIDE

Z wykorzystaniem zaprojektowanego modelu stanowiska, utworzona została symulacja działania aplikacji w środowisku ROBOGUIDE. Obrazuje ona proces wykrywania położenia klocków na palecie przez proces depaletyzacji i paletyzowania ich na drugiej palecie. Symulacja pozwala na podgląd konfiguracji funkcji paletyzacji, ustawień kamery i procesu wizyjnego.

Praca w środowisku ROBOGUIDE jest dobrym rozwiązaniem dla osób rozpoczynających naukę programowania robotów przemysłowych. Manipulator, na pierwszy rzut oka, wydaje się być niegroźny, lecz w rzeczywistości jest w stanie wyrządzić krzywdę osobie znajdującej się w jego zasięgu. Tego typu niebezpieczeństwo częściowo wykluczane jest poprzez ustawianie wygradzeń wokół stanowiska. Mimo to, pozostaje ryzyko uszkodzenia robota lub elementów stanowiska, z powodu nieostrożności lub niewłaściwego sterowania. Symulacja umożliwia opanowanie podstawowych umiejętności sterowania robotem i pozwala wstępnie przetestować działanie programów w całkowicie bezpieczny sposób.

Na rysunku 5.3 został przedstawiony efekt uruchomienia programu w środowisku symulacyjnym. Za pomocą jasnych linii pokazano położenia narzędzia podczas wykonywania robotem określonych w programie czynności.





Rysunek 5.3: Ścieżka śledzenia TCP podczas wykonywania symulacji



# Rozdział 6

## Propozycja ćwiczenia laboratoryjnego

Ćwiczenie zostało opracowane tak, aby uniknąć niekorzystnych dla procesu nauczania sytuacji, o których wspomniano we wstępie. Sprecyzowane zadania poprzedzone zostały zwięzłą instrukcją, zawierającą ilustracje, uwagi i ważne wskazówki, potrzebne do poprawnego wykonania zadań. Zadaniem będzie przygotowanie konfiguracji i utworzenie programu, który w pewnym stopniu odwzorowuje pracę manipulatora paletyzującego wyroby w zakładzie produkcyjnym. Instrukcję do ćwiczenia zamieszczono w dodatku [A](#). Numery zamieszczonych poniżej podrozdziałów odpowiadają numerom omawianych w nich rozdziałów instrukcji.

### 6.1 Cel ćwiczenia

Instrukcja ma na celu przeprowadzić uczącego się przez cały proces tworzenia automatycznego systemu obsługi linii produkcyjnej w zakresie paletyzacji/depaletyzacji. Podstawowe zagadnienia opracowane są w postaci instrukcji, które należy wykonywać krok po kroku. Tematyka związana jest ściśle z narzędziami dostarczanymi przez firmę FANUC, usprawniającymi paletyzację przemysłową oraz interakcję maszyn z otoczeniem, tj. pakietem Palletizing oraz systemem wizyjnym iRVision.

Zadania zawarte w ćwiczeniu pozwolą przyswoić i utrwalić materiał, a następnie zweryfikować, które zagadnienia wymagają powtórzenia.

### 6.2 Wymagania wstępne

Ćwiczenie może zostać wykonane na dwa sposoby:

- na rzeczywistym robocie,

- w środowisku ROBOGUIDE.

Do realizacji zadań potrzebne są pakiety Palletizing oraz iRVision, zainstalowane na kontrolerze robota (rzeczywistym lub wirtualnym w środowisku ROBOGUIDE). Realizacja zadań na rzeczywistym sprzęcie wymaga robota z zamontowanym chwytakiem i kontrolerem wyposażonym w kamerę wizyjną. Kamera może zostać zamocowana na nieruchomym statywie lub na samym robocie. W przypadku wykonywania zadań w wirtualnym środowisku konieczna jest dodatkowa znajomość danego narzędzia z zakresu:

- konfiguracji kontrolera (wybór robota, dodawania modułów, wybór wersji kontrolera),
- dodawanie chwytaka,
- aktywacja systemu wizyjnego,
- dodawanie i konfiguracja wirtualnej kamery,
- dodawanie modeli 3D,

lub wcześniej przygotowany model stanowiska do symulacji.

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia student powinien zapoznać się z zasadami bezpieczeństwa pracy na stanowisku laboratoryjnym, instrukcją obsługi i programowania robota wykorzystywanego do ćwiczenia oraz instrukcją zawartą w ćwiczeniu.

Prowadzący ćwiczenie powinien podać położenie punktów definiujących prostopadłością szablonu układania. W celu dostosowania poziomu trudności ćwiczenia, prowadzący może zalecić wykorzystanie po części gotowych konfiguracji. Pozwoli to na ominięcie wybranych podrozdziałów, obejmujących konfigurację sprzętu wizyjnego, konieczną do wykonania części ćwiczenia dotyczącej depaletyzacji.

Na potrzeby ćwiczenia została wykonana kopia zapasowa pamięci robota, dla zachowania konfiguracji umożliwiającej ich przeprowadzenie dołączona na płycie CD.

### 6.3 Opis stanowiska

Rozdział zawiera informacje o wyposażeniu stanowiska laboratoryjnego. Znajduje się w nim lista sprzętu, który jest potrzebny do wykonania ćwiczenia. Dana lista pozwoli zweryfikować kompletność stanowiska przed wykonaniem ćwiczenia.

## 6.4 Paletyzacja z wykorzystaniem pakietu Palletizing

Palletizing jest stosunkowo prostym narzędziem, które nie wymaga od użytkownika szczególnych umiejętności w dziedzinie programowania. Jednakże zrozumienie niektórych jego funkcji, opcji konfiguracji czy nawet zwykłego określenia punktów w przestrzeni roboczej może nie być takie proste i oczywiste. Interfejs graficzny, w którym dokonywane są wszelkie działania związane z konfiguracją, zachowuje minimalizm. Dla doświadczonego użytkownika z pewnością cecha ta może stanowić zaletę, ale u laika zapewne wywoła masę pytań. Instrukcja zawiera rozwinięcia skrótów i krótkie uwagi, mające na celu pomóc osobie realizującej ćwiczenie, nie tylko przejść przez cały proces konfiguracji, ale również zrozumieć zagadnienia, których dotyczy. Poniżej opisano funkcje, jakie pełnią poszczególne podrozdziały opracowanej instrukcji laboratoryjnej.

### 6.4.1 Struktura programu paletyzacji i dodawanie instrukcji

W tej pozycji zostaje przedstawiony końcowy wynik dodawania funkcji paletyzacji, tj. struktura programu wykonującego to zadanie. Dane zadanie polega na przenoszeniu elementów, dlatego też ważne jest, aby zadbać o sterowanie chwytnikiem robota w odpowiednim momencie wykonywania programu oraz we właściwych instrukcjach wspomagających ten proces.

### 6.4.2 Tworzenie funkcji paletyzacji typu B

Podrozdział instrukcji dotyczy tworzenia funkcji paletyzacji typu B i prowadzi uczącego się przez menu interfejsu użytkownika robota. Wynikiem wykonania danego podrozdziału jest podprogram zawierający sekwencję instrukcji paletyzacji.

### 6.4.3 Konfiguracja funkcji paletyzacji

Uczący się dokonuje zaproponowanej konfiguracji wybranej funkcji paletyzacji. Każda pozycja jest rozwijana, jako że w dużej mierze składa się ze skrótów. Konfiguracja obejmuje ustawienia opisane w podrozdziale 3.2. Zawarto dodatkową informację o możliwości zmiany konfiguracji po jej ukończeniu i dodaniu do programu funkcji paletyzacji.

#### 6.4.4 Uczenie szablonu układania

Podrozdział dotyczy zagadnienia poruszonego w rozdziale 3.3. Uczenie szablonu przedstawia sposób tworzenia szablonów przez uczenie punktów. Aby poprawnie utworzyć szablon, należy nauczyć robota określonych punktów w przestrzeni roboczej definiujących kształt stosu elementów.

#### 6.4.5 Uczenie szablonu trasy

Podrozdział dotyczy zagadnienia poruszonego w rozdziale 3.4. Uczenie szablonu trasy zawiera opisy punktów dojazdu, punktu układania i punktu odprowadzania, a także wskazówki przydatne do ich definicji. Szczegółowa instrukcja zapisywania punktów została pominięta, ponieważ jest analogiczna do procedury uczenia szablonu układania (podrozdział 6.4.4).

### 6.5 Depaletyzacja iRvision

System iRvision jest bardzo rozbudowanym narzędziem i posiada wiele specjalistycznych funkcji. Przy znajomości języka angielskiego interpretacja znaczenia większości opcji i parametrów nie jest trudna. Nie zmienia to jednak faktu, że poprawne wykonanie wszystkich procedur wymaga od użytkownika dodatkowej wiedzy na ten temat. System wymaga konfiguracji wielu opcji, często w ściśle określonej kolejności. Do jego poprawnego działania wymagana jest kalibracja kamery wizyjnej, określenie współrzędnych narzędzia robota oraz wzorca detalu. Instrukcja zawiera tok postępowania oraz ważne wskazówki, bez których konfiguracja może się nie powieść. Niestety niepoprawne wykonanie nawet jednego podpunktu spowoduje, że całe ćwiczenie zakończy się niepowodzeniem. Aby uniknąć takich sytuacji, potrzebna jest bieżąca weryfikacja poprawności wykonania poszczególnych kroków. Poniżej opisano funkcje, jakie pełnią poszczególne podrozdziały opracowanej instrukcji laboratoryjnej.

#### 6.5.1 Struktura podstawowego programu i kolejność wywoływania funkcji

Wykrywanie położenia detali na płaszczyźnie roboczej wymaga uwzględnienia w programie konkretnych instrukcji w ściśle określonej kolejności. Na załączonym rysunku została przedstawiona struktura programu głównego, na której powinien wzorować się student podczas wykonywania tej części ćwiczeń.

## 6.5.2 Tworzenie programu wykorzystującego moduł iRvision i pakiet Palletizing

Podrozdział przeprowadza osobę wykonującą ćwiczenia przez wszystkie zadania zawarte w rozdziale. W rezultacie jego wykonywania powstaje program główny.

## 6.5.3 Dodawanie profilu kamery

Obejmuje krótką instrukcję dodawania nowego profilu kamery i jego konfiguracji. W chwili pisania pracy do portu 1 robota była dołączona kamera Sony XC-56. W dołączonej do pracy kopii pamięci (dodatek B) robota umieszczony jest gotowy do wykorzystania profil tej kamery o nazwie XC56.

## 6.5.4 Kalibracja TCP kamery

W podrozdziale zawarta jest instrukcja wykonywania automatycznej kalibracji TCP kamery, o której mowa w podrozdziale 4.2. Jest ona potrzebna do wyznaczenia współrzędnych siatki kalibracyjnej. Kopia pamięci robota (dodatek B) zawiera gotową kalibrację w postaci Tool Frame o numerze 3.

## 6.5.5 Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej

Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej wyznacza położenie siatki kalibracyjnej na płaszczyźnie roboczej. Wykonywana w sposób analogiczny do kalibracji narzędzia kamery. W wyniku procesu do wybranego User Frame zostają przypisane wyznaczone współrzędne, które wykorzystywane są podczas kalibracji kamery. Kopia pamięci robota (dodatek B) zawiera gotową do wykorzystania kalibrację w postaci User Frame o numerze 2.

## 6.5.6 Perspektywiczna (2-punktowa) kalibracja kamery

Podrozdział zawiera opisy parametrów menu kalibracji kamery i sposoby weryfikacji poprawności jej przeprowadzenia. Przytoczony został mechanizm przeprowadzania kalibracji oraz wskazówki pomagające uzyskać lepsze efekty. W dołączonej do pracy kopii pamięci robota (dodatek B) umieszczona jest gotowa do wykorzystania kalibracja o nazwie DC\_RM\_CAM\_CALIB.

### 6.5.7 Tworzenie nowego procesu wizyjnego

Ćwiczenie obejmuje przeprowadzenie uczącego się przez procedurę dodawania nowego procesu wizyjnego, a w szczególności procesu depaletyzacji.

### 6.5.8 Konfiguracja procesu depaletyzacji

Poprawne ustawienia procesu wizyjnego w dużej mierze decyduje o skuteczności działania aplikacji wykrywającej detale. Proces wizyjny depaletyzacji wykorzystuje obraz dwuwymiarowy, mimo to jest bardziej skomplikowany od zwykłego procesu 2D. Jego dodatkowym zadaniem jest wyznaczanie numeru warstwy, w której znajduje się detal, a więc musi być odpowiednio skonfigurowany.

### 6.5.9 Uczenie wzorca detalu

Uczenie detalu polega na zdefiniowaniu wzorca, który następnie wykorzystywany będzie do jego wykrywania na zarejestrowanym obrazie.

### 6.5.10 Pisanie programu głównego

Pisanie programu głównego składa się z dwóch części dotyczących procesu depaletyzacji i paletyzacji. Pierwsza część pokazuje w jaki sposób dodać wszystkie potrzebne instrukcje do uruchomienia procesu wizyjnego, pobrania przemieszczenia detalu i jego wykorzystanie w celu chwycenia detalu. Druga część dotyczy wywoływania i obsługi wcześniej przygotowanego podprogramu z sekwencją paletyzacji.

## 6.6 Zadania do wykonania

W tym rozdziale zostały sformułowane zadania pozwalające na przyswojenie zagadnienia, a także weryfikujące i utrwalające umiejętności nabyte w trakcie wykonywania ćwiczenia. Zadania weryfikujące i utrwalające, dotyczące pakietu Palletizing polegają na wykorzystaniu innego typu paletyzacji umożliwiającego wykorzystanie kilku szablonów układania oraz kilku szablonów trasy w jednej funkcji. Zadania dotyczące systemu iRVision polegają na wykorzystaniu procesu wizyjnego do wyznaczania położenia detali w różnych warstwach, doborze dopuszczalnego marginesu błędu podobieństwa wykrytego elementu do wzorca oraz uwzględnieniu sortowania wykrytych pozycji względem skali.



# Rozdział 7

## Podsumowanie

### 7.1 Wykonane zadania

W ramach pracy inżynierskiej zostały zrealizowane następujące zadania:

- dokonano specyfikacji zadania paletyzacji,
- opracowano projekt stanowiska zrobotyzowanego,
- przygotowano symulację programu wykorzystującego pakiet Palletizing i system iRVision,
- opracowano ćwiczenia w postaci instrukcji z zadaniami.

### 7.2 Trudności z wykonywaniem zadań

W trakcie realizacji zadań wystąpiły pewne problemy, które częściowo lub całkowicie udało się rozwiązać.

Zniekształcenie rejestrowanego obrazu, spowodowane zbyt dużą ogniskową obiektywu kamery utrudniły detekcję obiektów. Na brzegach rejestrowanego obrazu zniekształcenie wystąpiło w największym stopniu, przez co należało ustawiać kamerę jak najdalej od płaszczyzny roboczej, aby objąć zasięgiem kamery jak największy obszar. Robot LR Mate 200 iD 4S jest stosunkowo małym manipulatorem, który nie pozwala unieść kamery na odpowiednią wysokość, która pozwoliłaby uniknąć wspomnianych zniekształceń. Jednakże po obniżeniu dopuszczalnego progu podobieństwa wykrytych detali do wzorca, problem ustąpił. To rozwiązanie nie jest najlepszym, ponieważ może spowodować błędy w wyznaczaniu przemieszczania detalu.

Detale wykorzystane do paletyzowania posiadają charakterystyczny otwór przelotowy, aby można było przenosić je za pomocą chwytaka palcowego. Spowodowało to kolejny problem utrudniający wykrywanie detali przez system wizyjny. Problem występuje w przypadku ułożenia dwóch lub więcej detali, jeden na drugim. Kamera rejestruje również kształt otworu detalu znajdującego się na dolnej warstwie i traktuje go jako część detalu umieszczonego na górnej warstwie. Proces wizyjny depaletyzacji określa warstwę na podstawie skali, a więc rozmiar wykrytego zarysu otworu odbiega od przeskalowanego wzorca. Obniża to wynik wykrywania detalu lub nawet całkowicie wyklucza detal. Rozwiązaniem, które odciąży proces wizyjny, jest zaślepienie otworów w detalach od spodu materiałem o kolorze podłoża w celu zasłonięcia znajdujących się pod otworem elementów.

# Bibliografia

- [1] A. Abramczyk. Pakowanie i paletyzacja. <http://www.controlengineering.pl/menu-gorne/artukul/article/raport-pakowanie-i-paletyzacja/>, 2017.
- [2] Encyklopedia zarządzania. Pakowanie. <https://mfiles.pl/pl/index.php/Pakowanie>, 2017.
- [3] FANUC America Corporation. Fanuc vision products. <https://www.fanucamerica.com/home/products-services/robots/robotic-vision-products-FANUC-iRVision>, 2017.
- [4] FANUC America Corporation. Roboguide simulation software. <https://www.fanucamerica.com/home/products-services/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE>, 2017.
- [5] FANUC CORPORATION. *FANUC Robot series R-30iB/R-30iB Mate CONTROLLER iRVision OPERATOR'S MANUAL (Reference)*, 2016.
- [6] FANUC Robotics North America, Inc. *FANUC Robotics series R-30iB MANIPULATOR OPERATOR'S MANUAL*, 2002, 2005.
- [7] Grzegorz Karczewski, Fanuc Robotics Polska. Systemy wizyjne w robotach Fanuc Robotics. <https://automatykab2b.pl/prezentacja-artukul/3036-systemy-wizyjne-w-robotach-%FAnuc-robotics#.WiQIGUqnHIX>, 2010.
- [8] Katrin Stuber-Koeppel. Roboty paletyzujące firmy KUKA. <https://www.kuka.com/pl-pl/produkty-i-us%C5%82ugi/systemy-robot%C3%B3w/roboty-przemys%C5%82owe/roboty-paletyzuj%C4%85ce>, 2016.
- [9] Politechnika Wrocławska. Konferencja projektów zespołowych realizowanych przez studentów III roku studiów inżynierskich na Wydziale Elektroniki, PWr. <http://kpz.pwr.edu.pl/minione-edycje/kpz2017/zgloszone-projekty/>, 2017.

- 
- [10] J. Ratajczak. Cyfrowe przetwarzanie obrazów i sygnałów. Wykład 12. <http://rab.iar.pwr.edu.pl/~jr/cpois/wyklady/wyklad12.pdf>, 2002, 2005.
- [11] Wikipedia. Manipulator robotyczny. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Manipulator\\_robotyczny](https://pl.wikipedia.org/wiki/Manipulator_robotyczny), 2014.
- [12] Wikipedia. Automatyzacja. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Automatyzacja>, 2017.
- [13] Wikipedia. Palletizer. <https://en.wikipedia.org/wiki/Palletizer>, 2017.

# Dodatek A

## Instrukcja laboratoryjna

W dodatku zawarto treść opracowanej w ramach pracy dyplomowej instrukcji do ćwiczenia laboratoryjnego „Paletyzacja i depaletyzacja z wykorzystaniem manipulatora FANUC LR Mate 200iD”. Ćwiczenie przeznaczone jest do realizacji w Laboratorium robotyki (sala 010, budynek C-3) na Wydziale Elektroniki.

# Paletyzacja i depaletyzacja

## z wykorzystaniem manipulatora FANUC LR Mate 200iD\*

Dymitr Choroszczak<sup>†</sup>

Laboratorium robotyki  
Wydział Elektroniki  
Politechnika Wrocławska

### Spis treści

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wymagania wstępne</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Opis stanowiska</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Paletyzacja z wykorzystaniem pakietu Palletizing</b>	<b>3</b>
4.1	Struktura programu paletyzacji . . . . .	3
4.2	Tworzenie funkcji paletyzacji typu B . . . . .	3
4.3	Konfiguracja funkcji paletyzacji . . . . .	4
4.4	Uczenie szablonu układania . . . . .	4
4.5	Uczenie szablonu trasy . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Depaletyzacja z wykorzystaniem iRvision</b>	<b>7</b>
5.1	Struktura podstawowego programu i kolejność wywoływania funkcji . . . . .	7
5.2	Tworzenie programu wykorzystującego moduł iRvision i pakiet Palletizing	7
5.3	Dodawanie profilu kamery . . . . .	8
5.4	Kalibracja TCP kamery . . . . .	9
5.5	Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej . . . . .	10
5.6	Perspektywiczna (2-punktowa) kalibracja kamery . . . . .	10
5.7	Tworzenie nowego procesu wizyjnego . . . . .	11
5.8	Konfiguracja procesu depaletyzacji . . . . .	13
5.9	Uczenie wzorca detalu . . . . .	14
5.10	Pisanie programu głównego . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Zadania do wykonania</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Sprawozdanie</b>	<b>17</b>

---

\*Ćwiczenie przeznaczone jest do realizacji w Laboratorium robotyki (010, C-3) – data ostatniej modyfikacji: 20 grudnia 2017.

<sup>†</sup>Specjalność Robotyka, kierunek podstawowy Automatyka i Robotyka

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z możliwościami pakietu Palletizing oraz systemu iRVision wykorzystywanych w procesie sterowania robotami firmy FANUC.

## 2 Wymagania wstępne

Ćwiczenie może zostać wykonane na dwa sposoby:

- na rzeczywistym robocie,
- w środowisku ROBOGUIDE.

Do realizacji zadań potrzebne są pakiety Palletizing oraz iRVision, zainstalowane na kontrolerze robota (rzeczywistym lub wirtualnym w środowisku ROBOGUIDE). Realizacja zadań na rzeczywistym sprzęcie wymaga robota z zamontowanym chwytakiem i kontrolerem wyposażonym w kamerę wizyjną. Kamera może zostać zamocowana na nieruchomym statywie lub na samym robocie. W przypadku wykonywania zadań w wirtualnym środowisku konieczna jest dodatkowa znajomość danego narzędzia z zakresu:

- konfiguracji kontrolera (wybór robota, dodawania modułów, wybór wersji kontrolera),
- dodawanie chwytaka,
- aktywacja systemu wizyjnego,
- dodawanie i konfiguracja wirtualnej kamery,
- dodawanie modeli 3D,

lub wcześniej przygotowany model stanowiska do symulacji.

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia należy:

- zapoznać się z zasadami bezpieczeństwa pracy na stanowisku laboratoryjnym,
- zapoznać się z instrukcją obsługi i programowania robota FANUC LR Mate 200iD,
- zapoznać się z niniejszą instrukcją.

## 3 Opis stanowiska

W skład stanowiska laboratoryjnego, umożliwiającego przeprowadzenie ćwiczenia, wchodzi:

- manipulator FANUC LR Mate 200iD,
- kamera SONY XC-56,
- chwytak palcowy o średnicy 40 mm,
- powierzchnia robocza w postaci blatu o kształcie półokręgu,
- prostopadłościennne detale z otworami o średnicy około 40 mm.

## 4 Paletyzacja z wykorzystaniem pakietu Palletizing

Palletizing jest narzędziem ułatwiającym zaprogramowanie i obsługę zadania paletyzacji. Do jego funkcjonalności należą między innymi:

- uporządkowane układanie przedmiotów paletyzowanych,
- możliwość wykorzystywania różnorodnych szablonów układania,
- definicja punktów podejścia i odprowadzania robota względem detali.

### 4.1 Struktura programu paletyzacji

Podstawowy program zawierający instrukcje paletyzacji został przedstawiony na rysunku 1.

Program składa się z następujących instrukcji:

- instrukcji paletyzacji (linia 2) – przeprowadza obliczenia dla instrukcji ruchu, uwzględniając zdefiniowane szablony,
- instrukcji ruchu (linie 6, 8 i 11) – wykonują sekwencję ruchów robota do punktów opisanych w podrozdziale 4.5,
- instrukcji końcowej (linia 14) – inkrementuje lub dekrementuje rejestr paletyzacji,
- instrukcja odkładania detalu (linia 9) – wywołanie zewnętrznego programu sterowania chwytakiem (nie należy do pakietu Palletizing).

W celu utworzenia programu o powyższej strukturze należy postępować zgodnie z instrukcjami opisanymi w następujących podrozdziałach.

#### Informacja

Wynikiem wykonania takiego programu jest obsługa (podniesienie/odłożenie) pojedynczego elementu, na który w danej chwili wskazuje rejestr paletyzacji. Stan rejestru można podejrzeć wybierając klawisz DATA, a następnie przechodząc do TYPE → Pallet Register.

### 4.2 Tworzenie funkcji paletyzacji typu B

1. Z rozwijanej listy [INST] (klawisz F1) wybrać Palletizing → PLLETIZING-B.
2. Przeprowadzić konfigurację opisaną w podrozdziale 4.3.
3. Określić punkty definiujące szablony układania (podrozdział 4.4).
4. Zdefiniować szablony trasy (podrozdział 4.5).



```

1/16
1: !Wyznaczanie trasy
2: PALLETIZING-B_1
3:
4: !Instrukcje ruchu:
5: !Doprowadzanie
6:J PAL_1[A_1] 30% FINE
7: !Układanie
8:J PAL_1[BTM] 30% FINE
9: CALL KLOCEK_DROP
10: !Odprowadzanie
11:J PAL_1[R_1] 30% FINE
12:
13: !Instrukcja koncowa
14: PALLETIZING-END_1
15:
[End]

```

Rysunek 1: Przykładowy program paletyzacji

### 4.3 Konfiguracja funkcji paletyzacji

1. Numer paletyzacji zostanie ustalony automatycznie (w nawiasach kwadratowych za nim można umieścić komentarz).
2. Wybrać typ paletyzacji TYPE = [PALLET].
3. Inkrementację rejestru paletyzacji ustawić na 1 INCR = [1].
4. Wybrać wolny rejestr paletyzacji (domyślnie: PAL REG = [1]).
5. Określić kolejność układania elementów na palecie (R – rzędy, C – kolumny, L – warstwy).
6. Określić liczbę rzędów (ROWS), kolumn (COLUMNS) i warstw (LAYERS).
7. Ustawić brak pozycji pomocniczej AUXILIARY POS = [NO].
8. Określić liczbę punktów dojazdu APPR i odprowadzania RTRT.
9. Zatwierdzić etap przyciskiem DONE.

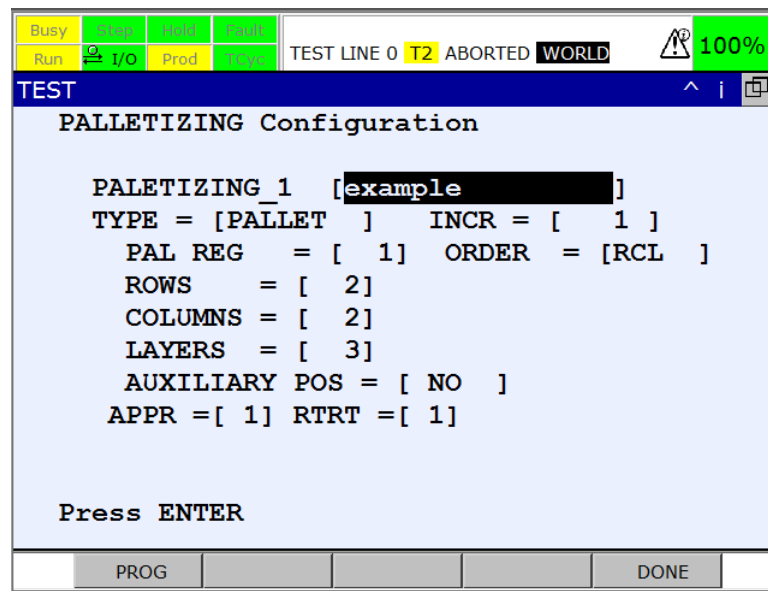
#### Informacja

Istnieje możliwość modyfikacji konfiguracji po jej wykonaniu i dodaniu do programu instrukcji paletyzacji. W tym celu należy wybrać instrukcję paletyzacji i wcisnąć [MODIFY].

### 4.4 Uczenie szablonu układania

W przypadku podstawowego szablonu o kształcie prostopadłościanu szablon ten definiują 4 punkty o indeksach:

- 1: Punkt określający położenie elementu bazowego o indeksie [1,1,1]



Rysunek 2: Menu konfiguracyjne funkcji paletyzacji typu B

- 2: Punkt określający położenie ostatniego elementu w rzędzie o indeksie [R,1,1]
- 3: Punkt określający położenie ostatniego elementu w kolumnie o indeksie [1,C,1]
- 4: Punkt określający położenie ostatniego elementu w warstwie o indeksie [1,1,L]

### Informacja

Indeks stanowi trójka liczb definiujących numer rzędu kolumny oraz warstwy.

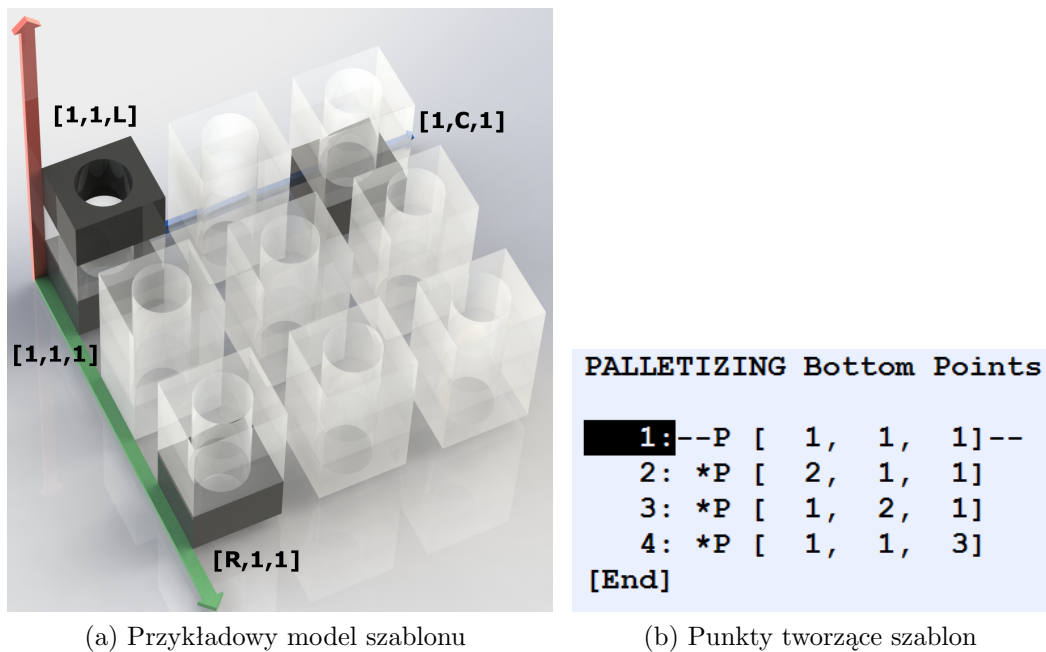
W celu określenia fizycznego położenia tych punktów należy:

1. Umieścić kursor na definiowanej pozycji (zobacz rysunek 3b).

### Informacja

Oznaczenie pozycji zmienia się z \*P[R,C,L]\* na –P[R,C,L]– po jej zdefiniowaniu.

2. Ustawić ramię robota tak, aby jego chwytak znalazł się w wybranej pozycji, zgodnie z koncepcją przedstawioną na rysunku 3a.
3. Zapisać położenie punktu przytrzymując SHIFT i wciskając klawisz funkcyjny odpowiadający opcji RECORD (F4).
4. Powtórzyć powyższe czynności dla pozostałych punktów.
5. Zatwierdzić etap przyciskiem DONE.



Rysunek 3: Szablony układania

PALLETIZING Route Points			
	IF PL[ 1 ]=[*,*,*]		1/1
1:	Joint P [A_1 ]	30%	FINE
2:	Joint *P [BTM ]	30%	FINE
3:	Joint *P [R_1 ]	30%	FINE
[End]			

Rysunek 4: Punkty szablonu trasy

### Informacja

Punkty możemy definiować jak powyżej ustawiając narzędzie robota w odpowiedniej pozycji i zapisując ją, lub zadając położenie i orientację narzędzia ręcznie.

## 4.5 Uczenie szablonu trasy

Na szablon trasy składają się następujące punkty (zobacz rysunek 4 – numeracja według rysunku):

- 1: podejścia – wyznaczają trajektorię ruchu robota przed osiągnięciem punktu układania,
- 2: układania – zawiera informację o położeniu obsługiwanego detalu,
- 3: odprowadzania – wyznaczają trajektorię ruchu robota po osiągnięciu punktu układania.

W celu określenia fizycznego położenia powyższych punktów, należy ustawiać ramię robota w odpowiednich punktach względem detalu dowolnie umieszczonego na płaszczyźnie roboczej i zapisywać ich położenie.

### Informacja

Niezdefiniowane punkty oznaczone są symbolem '\*', po zdefiniowaniu oznaczenie znika.

### Uwaga!

Prędkość poruszania się robota warto pozostawić niską, dla bezpieczeństwa podczas ewentualnych kolizji. Punkty podejścia i odprowadzania należy zdefiniować w bezpiecznej odległości od punktu układania. W punkcie odprowadzenia uwzględnić wielkość narzędzia i wysokość paletyzowanych elementów, a w punkcie podejścia również wielkość przenoszony elementu.

### Informacja

Punkt podejścia i odprowadzania częstokroć fizycznie tym samym punktem w przestrzeni roboczej.

## 5 Depaletyzacja z wykorzystaniem iRvision

iRVision jest systemem umożliwiającym wykrywanie nauczonych detali. System wykorzystuje procesy wizyjne do uczenia robota wzorca, który służy do wyznaczania położenia detali na płaszczyźnie roboczej. Detale muszą spełniać kryteria podobieństwa określone w ustawieniach procesu wizyjnego, tj. nie mogą znacznie odbiegać od kształtu wzorca przekraczając zadany próg błędu.

### 5.1 Struktura podstawowego programu i kolejność wywoływania funkcji

Przykład podstawowego programu wykonującego depaletyzację został przedstawiony na rysunku 5.

### 5.2 Tworzenie programu wykorzystującego moduł iRVision i pakiet Palletizing

1. Dodać profil kamery (podrozdział 5.3).
2. Przeprowadzić kalibrację narzędzia kamery (podrozdział 5.4).
3. Przeprowadzić kalibrację współrzędnych przestrzeni roboczej (podrozdział 5.5).
4. Przeprowadzić kalibrację kamery (podrozdział 5.6).
5. Utworzyć nowy proces wizyjny (podrozdział 5.7).
6. Skonfigurować proces wizyjny (podrozdział 5.8) przeprowadzając przy tym uczenie wzorca detalu (podrozdział 5.9).
7. Napisać program korzystając z poleceń zawartych w podrozdziale 5.10.

```

DEPALLETIZING_TP 2/35
1: !Inicjowanie rejestru paletyzacji
2: PL[1]=[1,1,1]
3:
4: LBL[1]
5: !Ustawianie układow wpolrzednych
6: UFRAME_NUM=1
7: UTOOL_NUM=1
8:
9: !Pozycja poczatkowa
10:J PR[10:Ref Pos] 50% CNT100
11: !Pozycja rejestracji obrazu
12:J PR[2:Pallet 1 iRV] 50% FINE
13: !Wykrywanie elementow
14: VISION RUN_FIND 'KLOCEK_DP'
15: VISION GET_OFFSET 'KLOCEK_DP'
: VR[1] JMP LBL[5]
16:
17: !Dojazd i podnoszenie detalu
18: !Punkt dojazdu
19:L PR[11:Klocek pal 1] 500mm/sec
: FINE VOFFSET,VR[1]

DEPALLETIZING_TP 35/35
20: !Punkt chwytania
21:L PR[11:Klocek pal 1] 100mm/sec
: FINE VOFFSET,VR[1]
22: !Uruchomienie chwytaka
23: CALL KLOCEK_PICK
24: !Punkt odprowadzania
25:L PR[11:Klocek pal 1] 1000mm/sec
: FINE VOFFSET,VR[1]
: Tool_Offset,PR[21:chwytak]
26:
27: !Wywolywanie funkcji paletyzacji
28: CALL PALLETIZING1
29:
30: !Powrot na poczatek programu
31: JMP LBL[1]
32: !Etykieta braku elementow
33: LBL[5]
34:L PR[10:Ref Pos] 100mm/sec CNT100
:
[End]

```

Rysunek 5: Program główny

### 5.3 Dodawanie profilu kamery

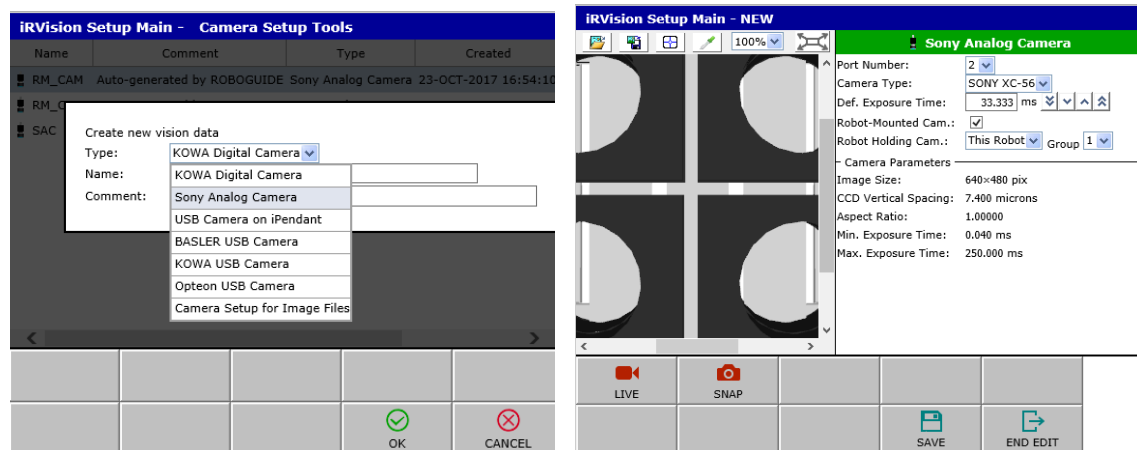
Do korzystania z systemu wizyjnego niezbędne jest określenie profilu podłączonej kamery. W przypadku jego braku należy utworzyć i skonfigurować nowy profil wykonując następujące czynności:

1. Przejść do menu narzędzi do konfiguracji kamery wciskając przycisk **MENU**, a następnie wybierając **iRVision** → **[TYPE]** → **Vision Setup** → **|VTYPE|** → **Camera Setup Tools**.
2. Utworzyć nowy profil wybierając **CREATE**.
3. Z rozwijanego menu, przedstawionego na rysunku 6a, wybrać typ zainstalowanej kamery wizyjnej.
4. Podać nazwę tworzonego profilu i opcjonalnie komentarz.
5. Po zatwierdzeniu danych wybrać stworzony profil i przejść do jego ustawień (rysunek 6b) wciskając przycisk **ENTER**.
6. W pozycji **Port number** wskazać numer złącza, do którego została podłączona kamera i typ kamery z rozwijanej listy.

#### Informacja

W przypadku wyboru właściwego portu, w oknie po lewej stronie menu konfiguracji powinien pojawić się obraz pochodzący z konfigurowanej kamery. Do tego może potrzebne być odświeżenie obrazu, wykonywane za pomocą opcji **SNAP**.

7. Czas ekspozycji ustawić tak, aby rejestrowany obraz nie był prześwietlony, lub nieodświetlony.
8. Zaznaczyć pole wyboru przy **Robot-Mounted Camera**.
9. Zapisać zmiany wciskając **SAVE**.



(a) wybór typu kamery wizyjnej

(b) ustawienia kamery

Rysunek 6: Dodawanie i konfiguracja nowego profilu kamery

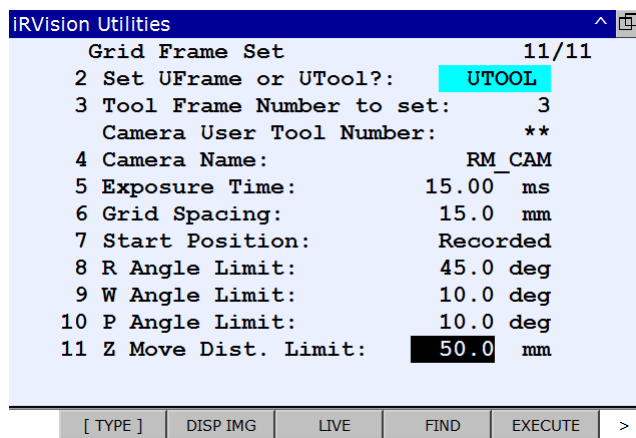
## 5.4 Kalibracja TCP kamery

Menu kalibracji z przykładowymi ustawieniami zostało przedstawione na rysunku 7. Kalibrację można wykonać postępując zgodnie z poniższymi wskazówkami:

1. Przejść do iRVision → Vision Utilities → Automatic Grid Frame Set.
2. Grupę robota pozostawić bez zmian w przypadku, gdy do kontrolera jest podłączony tylko jeden robot.
3. Przy pytaniu o rodzaj ustawianych współrzędnych wybrać UTOOL; poniżej podać jego numer (według własnego wyboru).
4. Wybrać wcześniej przygotowany profil kamery (podrozdział 5.3).
5. Czas ekspozycji ustawić taki sam jak w profilu kamery.
6. Podać wymiar odstępów między punktami siatki kalibracyjnej.
7. Ustawić robota tak, aby kamera rejestrowała siatkę kalibracyjną i zapisać pozycję startową.
8. Dalsze parametry pozostawić bez zmian.
9. Wybrać EXECUTE przytrzymując przycisk SHIFT.

### Uwaga!

Podczas wykonywania kalibracji może nastąpić zatrzymanie manipulatora z komunikatem o osiągnięciu limitu w jednym z przegubów. W tym przypadku należy zmniejszyć kąty W i P, które odpowiadają za stopień wychylenia robota i przywrócić proces kalibracji (EXECUTE → RETURN), lub dostosować pozycję startową i rozpocząć rozpocząć proces kalibracji od początku (EXECUTE → RESTART).



Rysunek 7: Menu automatycznej kalibracji narzędzia i przestrzeni roboczej

## 5.5 Kalibracja współrzędnych przestrzeni roboczej

Kalibrację współrzędnych przestrzeni roboczej wykonuje się analogicznie do kalibracji TCP kamery (podrozdział 5.4), z poniższymi różnicami:

1. Przy pytaniu o rodzaj ustawianych współrzędnych wybrać UFRAME; poniżej podać jego numer (według własnego wyboru).
2. Jako numer układu współrzędnych kamery (Camera User Tool Number) wybrać ten, który został ustalony w punkcie 3 podrozdziału 5.4.

## 5.6 Perspektywiczna (2-punktowa) kalibracja kamery

1. Przed wykonaniem zdefiniować układ współrzędnych siatki kalibracyjnej (podrozdział 5.5).
2. Otworzyć listę narzędzi kalibracji kamery MENU → iRVisiom → Vision Setup → [VTYPE] → Cmera Calobration Tools.
3. Utworzyć nowy profil kalibracji wciskając klawisz CEATE.
4. Wybrać typ kalibracji z wykorzystaniem siatki kalibracyjnej (Grid Pattern Calibration Tool), wprowadzić nazwę profilu i zatwierdzić wprowadzone dane.
5. Otworzyć dodany profil.
6. Grupę robota pozostawić bez zmian w przypadku, gdy do kontrolera jest podłączony tylko jeden robot.
7. Wybrać numer User Frame – układu współrzędnych przestrzeni roboczej, względem którego definiowane będą punkty w programie.
8. Wybrać wcześniej przygotowany lub podany przez prowadzącego profil kamery.
9. Umieścić siatkę kalibracyjną na płaszczyźnie roboczej i ustawić robota w taki sposób, aby cztery duże kropki znalazły się na środku rejestrowanego obszaru, jak pokazano na podglądzie w lewej części rysunku 8.

10. Czas ekspozycji ustawić tak, aby rejestrowany obraz nie był prześwietlony, lub nieoświetlony.
11. Podać wymiar odstępów między punktami siatki kalibracyjnej.
12. Liczbę płaszczyzn ustawić na 2.
13. Opcję Robot-Held Cal. Grid pozostawić na „No”, jako że umieszczamy siatkę na płaszczyźnie roboczej.
14. Wybrać numer układu współrzędnych siatki kalibracyjnej, o którym wspomniano w punkcie 1.
15. Ustawić robota na wysokości z której rejestrowany będzie obraz do wykrywania detali i wybrać Find przy pierwszej płaszczyźnie.
16. Zaznaczyć w ramkę tylko pełne kropki, widoczne na obrazie (podobnie jak podczas uczenia detalu opisanego w podrozdziale 5.9).
17. Drugą płaszczyznę ustawić w sposób analogiczny, zmieniając jedynie odległość kamery od siatki o co najmniej 150 mm.



### Uwaga!

W trakcie wykonywania wszystkich czynności kalibracji nie należy zmieniać pozycji siatki kalibracyjnej.



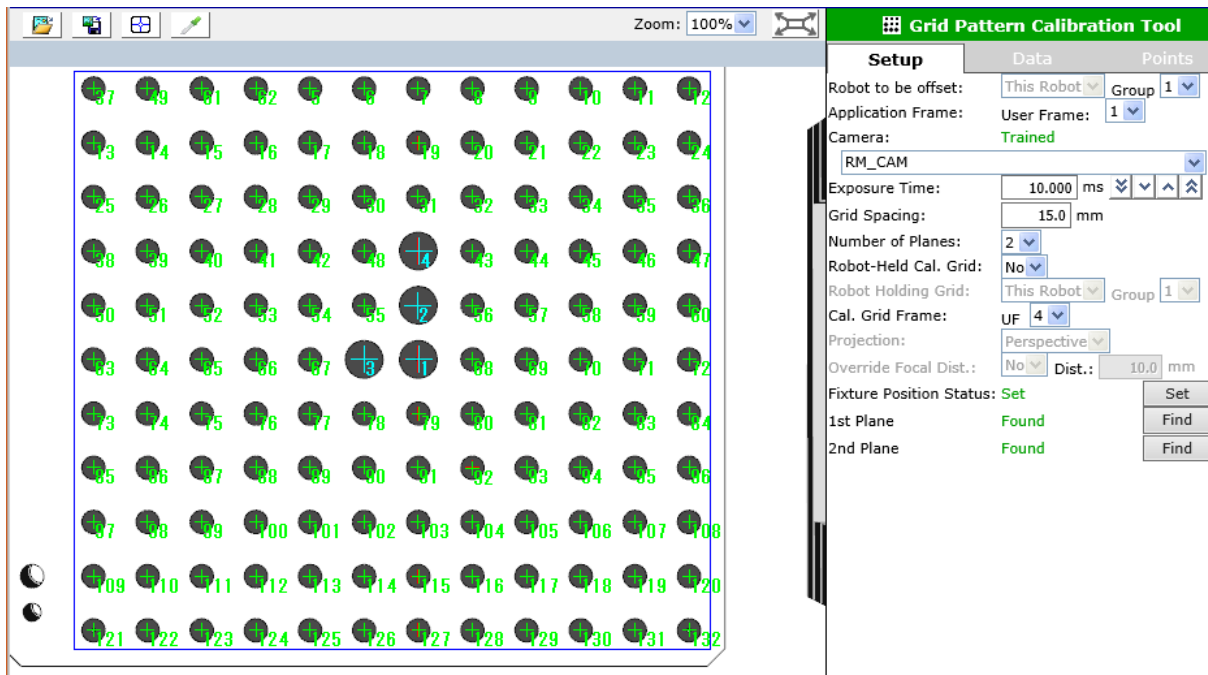
### Informacja

Wyniki kalibracji można sprawdzić w zakładce *Data*. Jeśli została poprawnie przeprowadzona, wyznaczona ogniskowa (Focal Distance) powinna być zgodna z rzeczywistą ogniskową wykorzystanego obiektywu kamery.

## 5.7 Tworzenie nowego procesu wizyjnego

1. Otworzyć ustawienia systemu wizyjnego wciskając klawisz Menu, a następnie wybierając z listy iRVision → [TYPE] → Vision Setup.
2. W nowo otwartym oknie wybrać [VTYPE] → Vision Process Tools (zobacz rysunek 9).
3. Utworzyć nowy proces wciskając CREATE.
4. W okienku tworzenia nowego procesu jego typ ustawić na Depalletizing Vision Process, nadać nazwę procesowi, opcjonalnie dodać komentarz.





Rysunek 8: Menu konfiguracji kalibracji perspektywicznej

iRVision Setup Main - Vision Process Tools			
Name	Comment	Type	Cr
KLOCEK		2-D Single-View Vision Process	23-OCT-20
KLOCEK_DP		Depalletizing Vision Process	23-OCT-20
KLOCEK_DP_L2	layer 2	Depalletizing Vision Process	01-NOV-20
KLOCEK_DP_REG		Depalletizing Vision Process	23-OCT-20
TEST		Depalletizing Vision Process	05-NOV-20

< >

CREATE	EDIT	[ VTYPE ]
COPY	DETAIL	DELETE
		FILTER

Rysunek 9: Menu dodawania procesów wizyjnych

## 5.8 Konfiguracja procesu depaletyzacji

1. Zaznaczyć utworzony proces i wybrać EDIT lub ENTER.
2. Z rozwijanego menu Camera Calibration wybrać wcześniej przygotowaną kalibrację kamery (podrozdział 5.6).
3. Czas ekspozycji ustawić tak, aby rejestrowany obraz nie był prześwietlony, lub niedoświetlony.
4. App. Z Mode – tryb wyznaczania wysokości detalu, ustawić na „Calc. From Found Scale”.
5. Zaznaczyć pole wyboru przy Use layer height.
6. Ustawić numer User Frame dla pola Offset Frame (najlepiej wskazać ten, który został wykorzystany do kalibracji kamery opisanej w podrozdziale 5.6).
7. Number to find ustawić odpowiednio do liczby detali w warstwie (liczba kolumn razy liczba rzędów).
8. Sort key ustawić na „Scale”, a Sort order na „Desc”.

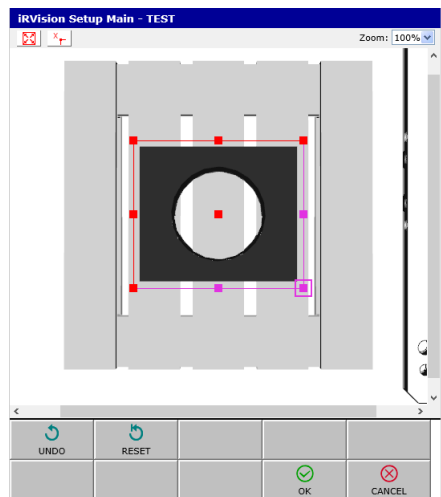
### Informacja

Sort key określa w jaki sposób sortowane są znalezione detale w procesie wizyjnym.

### Uwaga!

Ustawienie sortowania malejąco po skali pozwoli obsługiwać w pierwszej kolejności detale znajdujące się w górnej warstwie. Jest to ważne, ponieważ próba podniesienia detalu z dolnej warstwy, może zakończyć się kolizją, jeśli wcześniej nie wszystkie detale z wyższych warstw zostały przeniesione.

9. Przejść do GPM Locator Tool 1 (znajdującego się w drzewie procesu) i wybrać Teach.
10. Przeprowadzić procedurę uczenia wzorca detalu, opisaną w podrozdziale 5.9.
11. Powrócić do głównego menu ustawień procesu depaletyzacji (Depalletizing Vision Proces) i ustawić dla Reference Height 1 i 2 odpowiednio wysokość uczonego detalu i podwojoną wysokość detalu.
12. Umieścić detal w pierwszej warstwie i wcisnąć SNAP+FIND w celu jego wykrycia, a następnie Set obok Reference Scale 1.
13. Powtórzyć poprzedni punkt dla detalu umieszczonego na wysokości drugiej warstwy (układając jeden detal na drugim)
14. Umieścić detal w pierwszej warstwie i ustawić pozycję referencyjną (Ref. Pos. Status) wciskając Set.
15. Dojechać robotem do pozycji chwytania detalu i zapisać ją w wolnym rejestrze pozycji DATA → —TYPE— → Position REG.



Rysunek 10: Uczenie nowego detalu

## 5.9 Uczenie wzorca detalu

### ⚠ Uwaga!

Przed rozpoczęciem uczenia detalu należy ustawić ramię robota względem wzorca na takiej wysokości, z której będą później robione zdjęcia manipulowanych obiektów.

1. Ustawić element na środku obszaru rejestrowanego kamerą.
2. Używając strzałek, zaznaczyć za pomocą ramki możliwie najmniejszy obszar zawierający uczonego element (zobacz rysunek 10).
3. Ustawić zakres skalowania na  $[80, 140]\%$ .

### ℹ Informacja

Zakres skalowania detalu wykorzystywany jest podczas wyznaczania warstwy.

4. Ograniczyć orientację do zakresu  $[-90, 90]^\circ$ .

### ℹ Informacja

Ograniczenie orientacji stosowane jest w przypadku symetrycznych detali, gdy nie ma ona znaczenia.

5. Zatwierdzić zmiany.

### ℹ Informacja

Proces przesuwania ramki można przyspieszyć przytrzymując przycisk SHIFT. Uchwyt ramki można wybrać z dotykowego panelu Teach Pendant, lub za pomocą klawiatury numerycznej (1-9).

## 5.10 Pisanie programu głównego

1. Umieścić robota w pozycji wykonywania rejestracji obrazu (nad obszarem z wykrywanymi detalami) i dodać ją do programu.
2. Dodać instrukcję wykrywania detalu: [INST] → VISION → RUN\_FIND.
3. W miejsce '...' dodać wcześniej przygotowany proces wizyjny z listy, która pojawi się po wciśnięciu klawiszu CHOISE.
4. Dodać instrukcję pobierania offsetu GET\_OFFSET, analogicznie do powyższej instrukcji.
5. Wpisać numer wykorzystywanego rejestru wizyjnego VR[...].

### Informacja

Numer rejestru wizyjnego może być dowolny, jeśli w programie korzystamy tylko z jednego z nich. Rejestry można podejrzeć wciskając przycisk DATA i wybierając TYPE → Vision Reg.

6. Wpisać dowolny numer w zakresie 1-32766 do JMP LBL[...]. Jest to instrukcja skoku do etykiety wywoływana w przypadku niepowodzenia wykrywania detalu.
7. Zdefiniować punkt dojazdu, chwytania detalu i odprowadzania, których sens jest analogiczny do punktów opisanych w podrozdziale 4.5. Wykorzystać do tego zapisane wcześniej położenie uczonego detalu w podrozdziale 5.9, obliczone procesem wizyjnym przesunięcie detalu VOFFSET,VR[...] i Tool\_Offset.
8. Po linii ze zdefiniowanym punktem chwytania detalu należy wstawić instrukcję uruchomienia chwytaka.
9. Dodać etykietę o numerze zdefiniowanym w instrukcji skoku: [INST] → JMP/LBL → LBL[...]. Etykieta powinna pozostać na końcu programu, aby mógł on zakończyć działanie, gdy wszystkie detale zostaną przeniesione.
10. Przetestować napisany program.

Po wykonaniu i przetestowaniu części wizyjnej programu należy zadbać o odkładanie depaletyzowanych detali, wykorzystując do tego wcześniej przygotowany program do paletyzacji:

1. Na początku programu głównego umieścić linię inicjującą rejestr paletyzacji, aby uruchamiany program zaczynał układanie od pierwszej pozycji. W tym celu należy wybrać [INST] → Registers → ...=... → PL[...], podać numer wykorzystywanego rejestru, zdefiniowanego podczas konfiguracji w podrozdziale 4.3, a następnie przepisać do rejestru wartości indeksów [i,j,k] równe 1.
2. Po instrukcjach dojazdu i podnoszenia detali, wstawić wywoływanie przygotowanego programu zawierającego sekwencję instrukcji paletyzacji wykonując [INST] → CALL → CALL program, a następnie wybierając ten program z listy.

3. Cały program należy zapętlić wstawiając instrukcję `JMP LBL[n]` po wywołaniu programu paletyzacji i `LBL[n]` tuż po instrukcji resetowania rejestru, gdzie  $n$  jest numerem niewykorzystanej wcześniej etykiety.
4. Przed wykonywaniem instrukcji `iRVision` oraz po etykiecie braku elementów warto dodać punkt powrotu do pozycji referencyjnej takiej, z której robot będzie mógł bezkolizyjnie powtórzyć działanie programu.

## 6 Zadania do wykonania

### Uwaga!

Wszystkie czynności związane z ruchem robota, należy wykonywać ostrożnie. Każdy program należy wstępnie przetestować z bardzo niskimi prędkościami.

W trakcie ćwiczenia należy:

1. Utworzyć (`SELECT` → `CREATE` (klawisz F2)) i otworzyć nowy program, który docelowo będzie podprogramem obsługującym proces paletyzacji.
2. Dodać do programu sekwencję paletyzacji jak w podrozdziale 4.2 z parametrami:
  - liczba rzędów – 2,
  - liczba kolumn – 2,
  - liczba warstw – 2,
  - liczba punktów dojazdu – 1,
  - liczba punktów odprowadzania – 1.
  - Położenie punktów definiujących prostopadłościan szablonu układania określone zostanie przez prowadzącego.
3. Przetestować program, a następnie dołożyć instrukcję chwytania przedmiotu.

### Informacja

W trakcie testów można podglądać zmiany używanego rejestru paletyzacji.

4. Utworzyć i otworzyć nowy program, który docelowo będzie programem głównym obsługującym instrukcje depaletyzacji oraz wywołującym wcześniej utworzony program paletyzacji.
5. Wykonać wymaganą konfigurację `iRVision` i napisać program główny według podrozdziału 5.2.

### Uwaga!

Jeśli nazwa profilu kamery oraz kalibracji zostanie podana przez prowadzącego, punkty 1-4 należy pominąć.

6. Zmodyfikować wykonany program obracając szablon układania o 45 stopni, następnie wykorzystać pozycję pomocniczą do zmiany kształtu szablonu układania.
7. Utworzyć nowy program zawierający instrukcje funkcji paletyzacji umożliwiające definicje wielu szablonów układania i trasy. Program powinien uwzględniać dwie warstwy ułożone naprzemiennie oraz różne szablony trasy dla każdej z warstw.
8. Zastąpić w programie głównym podprogram obsługujący paletyzację nowym i sprawdzić jego działanie.

## 7 Sprawozdanie

Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia powinno zawierać:

- Imię i nazwisko autora, numer i termin grupy, skład grupy, temat ćwiczenia, datę wykonania ćwiczenia, datę dostarczenia sprawozdania.
- Cel ćwiczenia.
- Opis zrealizowanych zadań:
  - co dane zadanie miało na celu,
  - sposób przeprowadzenia zadania,
  - opracowanie otrzymanych wyników,
  - uzyskany rezultat – wnioski.
- Wnioski końcowe.

# Dodatek B

## Płyta CD

Na płycie CD znajdują następujące foldery z elementami opracowanymi w ramach pracy dyplomowej:

- folder Backup zawiera kopię zapasową pamięci robota FANUC LR Mate 200 iD 4S z Laboratorium robotyki (sala 010, budynek C-3),
- folder Detale zawiera pliki zamodelowanych części do projektu stanowiska zrobotyzowanego,
- folder Instrukcja zawiera pliki źródłowe instrukcji zawartej w dodatku [A](#),
- folder Symulacja mieści projekt do środowiska ROBOGUIDE, zawierający model 3D stanowiska oraz programy przeznaczone do symulacji.