Laboratorium Podstaw Robotyki

Politechnika Poznańska
Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów

ĆWICZENIE 6

Podstawy obsługi i programowania manipulatora Stäubli TX60L

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z programowaniem sterowania manipulatorem przemysłowym Stäubli TX60L, który jest umieszczony na dedykowanym stanowiskiu laboratoryjnym. Ćwiczenie pozwala na poznanie możliwości ruchowych robota, podstawowych komend związanych z realizacją ruchu manipulatora oraz zapoznanie się ze sposobem definiowania zadań robota z wykorzystaniem panelu operatorskiego oraz dedykowanego oprogramowania narzędziowego.

1 System sterowania z manipulatorem Stäubli

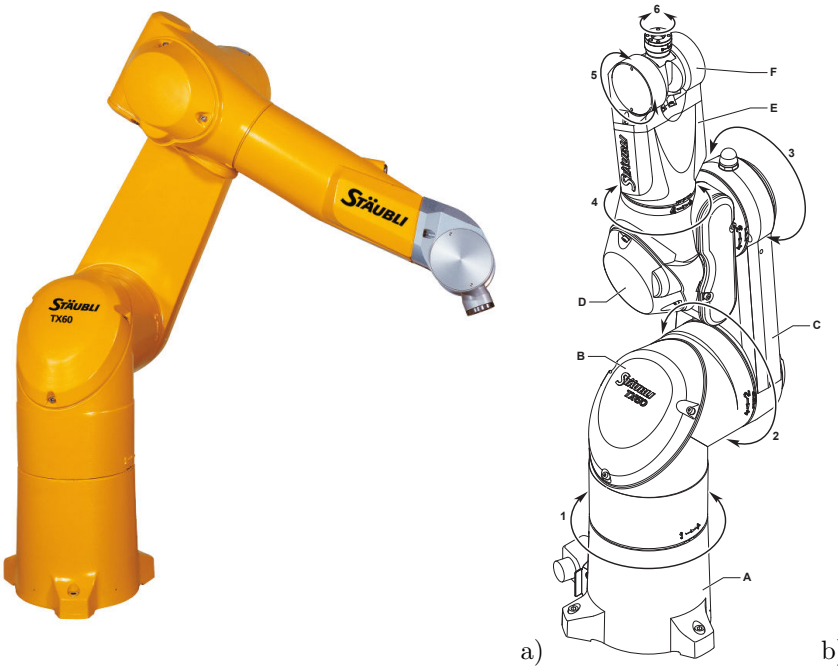
System sterowania z manipulatorem Stäubli TX60L składa się z kilku podstawowych elementów:

- ramienia manipulacyjnego TX60L (element wykonawczy systemu) – rys. 1,
- sterownika CS8C (generator trajektorii, regulatory pozycji osi napędów, obliczenia kinematyki, komunikacja, obsługa sygnałów zewnętrznych),
- ręcznego panelu sterującego (MCP - Manual Control Panel) – rys. 2,
- interfejsu wyboru trybu pracy (WMS - Working Mode Selection),
- dedykowanego oprogramowania narzędziowego Stäubli Robotics Suite (edycja i testy programów, wizualizacja działania).

Sterownik CS8C odpowiedzialny jest za realizację w czasie rzeczywistym programów sterujących ruchami manipulatora oraz komunikację z urządzeniami zewnętrznymi stanowiącymi wyposażenie stanowiska roboczego. Generowane trajektorie zadane są dyskretyzowane i przesyłane do sterowników osi cyklicznie, z okresem wynoszącym $T_{pt} = 4ms$. Programy sterujące tworzone są w dedykowanym języku VAL 3 [2]. Jest to wielozadaniowy język interpretowany, który pozwala na wytworzenie oprogramowania obsługującego praktycznie dowolny obszar zastosowań robota manipulacyjnego. Język VAL 3 łączy w sobie podstawowe cechy standardowych języków programowania wysokiego poziomu z rozwiązaniami specyficznymi dla sterowania robotów, takimi jak obsługa wielu zadań w czasie rzeczywistym, realizacja ruchów ramienia z różnymi interpolacjami czy komunikacja z urządzeniami wejścia/wyjścia.

1.1 Uruchamianie systemu

W celu załączenia systemu należy przekręcić duże pokrętło znajdujące się w prawym dolnym narożniku szafy sterowniczej o 90 stopni w prawą stronę (przełącznik w położeniu "1" – patrz rys. 2). Po tej czynności następuje ładowanie i inicjalizacja całego systemu, przy czym ramię manipulatora nie zostaje zasilone i pozostaje w pozycji początkowej. Załączenie zasilania napędów ramienia wymaga



a) b)

Rysunek 1: a) Manipulator Stäubli TX60L, b) Oznaczenia kolejnych złączy, ich osi obrotów oraz podstawowych elementów składowych mechaniki manipulatora: podstawę (A), bark (B), ramię (C), łokieć (D), przedramię (E) i nadgarstek (F) [1].

przytrzymania przycisku zezwolenia w pozycji środkowej i wciśnięciu przycisku załączenia – oba na panelu MCP (patrz opis dalej).

Wyłączenie systemu polega na przekręceniu pokrętła załączającego o 90 stopni w stronę lewą (przełącznik w położeniu "0"). Po tej czynności automatycznie wykonywana jest procedura zapisu stanu i zamykania systemu. Wszystkie dane i stan systemu z chwili poprzedzającej wyłączenie zostaną zachowane i przywrócone po ponownym załączeniu zasilania.

Czerwone przyciski wyłączenia awaryjnego (tzw. E-STOP – *Emergency STOP*), umieszczone na ręcznym panelu sterującym, interfejsie wyboru trybu pracy oraz na osłonach przestrzeni roboczej. Służą do AWARYJNEGO, natychmiastowego zatrzymania manipulatora z jednoczesnym odłączeniem zasilania napędów. W przypadku zagrożenia bezpieczeństwa ludzi i samego manipulatora niezwłocznie nacisnąć przycisk E-STOP!!!

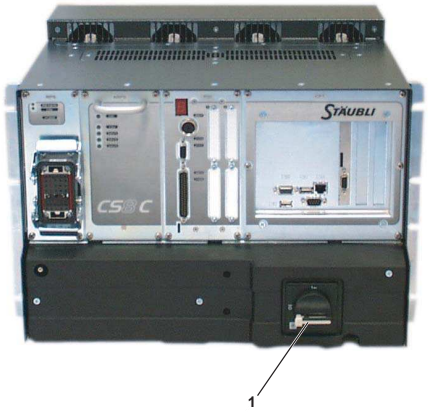
UWAGA! Nie wchodź w przestrzeń roboczą manipulatora przy włączonych napędach! Kontakt robota z człowiekiem grozi poważnym uszkodzeniem ciała!

1.2 Tryby pracy

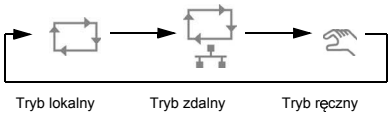
Wybór trybu pracy jest przeprowadzany z interfejsu operatora WMS. Przełącznik posiadający 3 różne położenia umożliwia wybranie jednego z trzech dostępnych trybów (lokalny, zdalny lub ręczny, patrz rys. 3). Wybrany tryb jest wskazywany przez lampkę kontrolną na WMS i MCP.

Parametr	**Opis**	**Wartość**
m_w	masa własna	$52.5[kg]$
m_u	udźwig nominalny	$2[kg]$
m_{umax}	udźwig maksymalny	$3.7[kg]$
v_{kmax}	maksymalna prędkość liniowa końcówki roboczej	$10.6[m/s]$
v_{kmaxTP}	maksymalna prędkość liniowa końcówki przy sterowaniu panelem	$0.25[m/s]$
Δ_k	powtarzalność w przestrzeni kartezjańskiej	$0.03[mm]$

Tablica 1: Wybrane parametry i osiągi manipulatora Stäubli TX60L.



Rysunek 2: Szafa sterowanicza manipulatora Stäubli TX60L, 1 – załączanie urządzenia



Rysunek 3: Tryby pracy manipulatora Stäubli TX60L.

1.2.1 Tryb RĘCZNY

Tryb ręczny jest wykorzystywany w następujących przypadkach:

- ręczne przemieszczanie ramienia - operator steruje ruchami ramienia za pomocą MCP,
- test / aktualizacja aplikacji - w takim przypadku ruchy ramienia są sterowane przez program.

Tryb ręczny umożliwia wykonywanie ruchów robota z niską prędkością (maksymalnie 250 mm/s). Przesunięcia ręczne są wykonywane za pomocą przycisków sterowania ruchem (patrz opis dalej). Ruchy zaprogramowane mogą być wykonywane wyłącznie po wciśnięciu przycisku Move / Hold. Ruch jest przerywany, gdy tylko przycisk zostanie zwolniony (patrz opis dalej). Zasilanie ramienia pozostaje włączone jedynie, kiedy przycisk zezwolenia jest przytrzymywany w położeniu środkowym (patrz opis dalej). Po wybraniu trybu ręcznego, pozostałe tryby robocze nie są aktywne, a przesunięcia nie mogą być inicjowane z jakiegokolwiek urządzenia zewnętrznego.

1.2.2 Tryb LOKALNY

Tryb lokalny umożliwia przemieszczanie robota bez interwencji użytkownika, z maksymalną prędkością określoną dla danej aplikacji. Przemieszczenia są wykonywane zgodnie z kolejnymi krokami zapisanymi w programie. Uruchomienie wykonywania programu odbywa się z wykorzystaniem MCP.

NIEBEZPIECZEŃSTWO: Kiedy robot znajduje się w trybie lokalnym, żadne osoby nie mogą znajdować się wewnątrz obszaru roboczego ramienia.

Robot jest gotowy do pracy, jeżeli spełnione zostały następujące warunki:

- zasilanie ramienia jest włączone,
- aplikacja określająca ruchy robota została wprowadzona do pamięci i jest wykonywana.

Polecenie rozpoczęcia ruchu jest wydawane za pośrednictwem MCP, poprzez przycisk Move / Hold (patrz opis dalej). Wszystkie ruchy ramienia są sterowane wyłącznie przez aplikację. Operator może jedynie zatrzymać lub ponownie uruchomić wykonywanie przemieszczeń oraz regulować ich prędkość za pomocą przycisku "+/-"(na rysunku 4 oznaczony numerem 6).

1.2.3 Tryb ZDALNY

Zasady funkcjonowania trybu zdalnego są takie same, jak w przypadku trybu lokalnego. Uruchomienie wykonywania programu odbywa się za pośrednictwem urządzenia zewnętrznego. Zasady działania w trybie zdalnym są następujące:

- ramię jest zasilane za pośrednictwem systemu zewnętrznego (sterownik, zewnętrzna jednostka MCP) przy wykorzystaniu wejścia sygnału cyfrowego lub przy użyciu polecenia *enablePower* (patrz podręcznik języka VAL 3 [2]),
- polecenie wykonania ruchu Move / Hold może być wydawane automatycznie, pod warunkiem, że zasilanie ramienia jest włączone (patrz polecenie *autoConnectMove* w instrukcji języka VAL 3),
- przycisk Move / Hold może być nieaktywny, w zależności od uprawnień użytkownika,
- przycisk wyłączania zasilania może być nieaktywny, w zależności od uprawnień użytkownika,
- do sygnału systemowego enablePower musi zostać wcześniej przypisane wejście cyfrowe (impuls 200 ms sygnału enablePower powoduje włączenie zasilania; kolejny impuls sygnału enablePower powoduje wyłączenie zasilania).

NIEBEZPIECZEŃSTWO: Kiedy robot znajduje się w trybie zdalnym, żadne osoby nie mogą znajdować się wewnątrz obszaru roboczego ramienia.

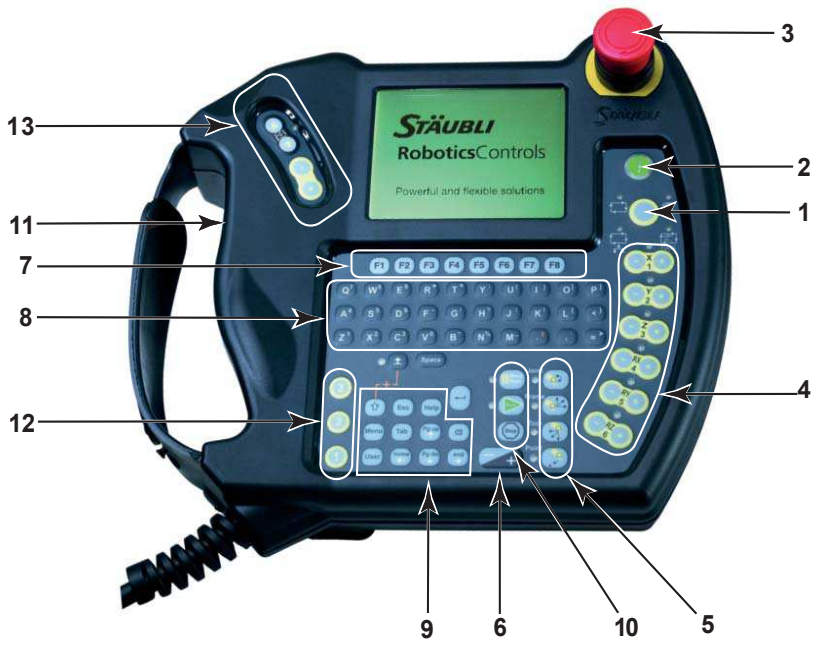
1.3 Panel ręczny

Zmianę położenia ramienia robota można realizować za pomocą ręcznego panelu ucząco-sterującego MCP (patrz rys. 4, na którym oznaczono podstawowe grupy przycisków wykorzystywanych podczas obsługi systemu).

Znaczenie poszczególnych grup przycisków jest następujące:

- (1) Tryb roboczy

  Wybrany tryb pracy za pomocą interfejsu operatora WMS jest wyświetlony w pobliżu tego przycisku. Wybrany tryb jest również wyświetlony na panelu przednim WMS.



Rysunek 4: Ręczny panel sterujący - MCP, z zaznaczonymi podstawowymi grupami przycisków.

- (2) Przycisk włączania zasilania ramienia

  Przycisk podświetlany umożliwiający włączanie i wyłączanie zasilania manipulatora. Jeżeli lampka kontrolna w kolorze zielonym świeci się, oznacza to, że zasilanie jest doprowadzone. W trybie ręcznym, przycisk zezwolenia (11) musi być przytrzymywany w pozycji wciśniętej środkowej, aby zasilanie ramienia mogło zostać włączone.

- (3) Wyłącznik awaryjny

  Przycisk wyłączania awaryjnego może być używany aby zatrzymać urządzenie w sytuacji zagrożenia bezpieczeństwa operatora.

- (4) Przyciski ruchu

  Przyciski te są aktywne w trybie ręcznym i umożliwiają sterowanie ruchami ramienia wg osi lub współrzędnych, w zależności od wybranego trybu przemieszczania (patrz opis dalej).

- (5) Przyciski wyboru trybu przemieszczania

  Kiedy ramię jest zasilane i wybrany jest tryb ręczny, każdy z 4 przycisków umożliwia wybranie trybu przemieszczania (patrz opis dalej). Lampka kontrolna przycisku wskazuje bieżący tryb.

- (6) Przycisk regulacji prędkości

  Przycisk umożliwia zmianę prędkości ruchów ramienia manipulatora. Aktualna prędkość jest wyświetlana na pasku stanu na ekranie MCP.

- (7) Przyciski menu tekstowych

  Są wykorzystywane w celu wyboru poleceń wyświetlanych nad przyciskami.

- (8) Przyciski alfanumeryczne

  Przyciski służą do wprowadzania danych aplikacji.

- (9) Przyciski interfejsu i nawigacji

  Za pomocą tych przycisków można poruszać się lub wybierać pozycje z menu wyświetlanego w głównej części panelu programowania.

- (10) Funkcje sterowania aplikacjami

  Przyciski używane w celu uruchamiania / zatrzymywania aplikacji oraz zatwierdzania ruchów ramienia. Przycisk Stop służy do zatrzymywania bieżącej aplikacji. Przycisk Run umożliwia uruchomienie aplikacji. Przycisk Move / Hold umożliwia wykonanie zaprogramowanych ruchów ramienia w trybie ręcznym. Ramię zatrzyma się na zaprogramowanej trajektorii natychmiast, kiedy przycisk zostanie zwolniony. W trybie lokalnym oraz zdalnym, wciśnięcie przycisku Move / Hold powoduje zatrzymanie ruchów, a robot przechodzi w tryb pauzy. Kolejne wciśnięcie przycisku powoduje ponowne uruchomienie.

- (11) Włączanie ramienia (ZEZWOLENIE NA PRACĘ RAMIENIA)

  Przycisk posiada trzy możliwe położenia i steruje stykami, które są: - otwarte, kiedy przycisk nie jest włączony; - zamknięte, kiedy przycisk znajduje się w położeniu środkowym; - otwarte, kiedy przycisk jest wciśnięty do końca i przytrzymywany przez użytkownika. Styki pozostają otwarte aż do zwolnienia przycisku. Przycisk używany jest do umożliwienia włączenia zasilania w trybie ręcznym ale tylko, kiedy znajduje się w położeniu pośrednim. Pozostałe 2 położenia uniemożliwiają włączenie zasilania lub powodują jego wyłączenie.

- (12) Przyciski aktywacji wyjść cyfrowych

  W trybie ręcznym, przyciski te umożliwiają zmianę stanu wyjść cyfrowych, które zostały do nich przypisane (najczęściej sterowanie chwytakiem).

- (13) Przyciski Jog

  Przyciski są aktywne w trybie ręcznym i umożliwiają alternatywne sterowanie ruchami ramienia wg osi lub współrzędnych, w zależności od wybranego trybu przemieszczania.

1.4 Tryby ruchów ręcznych

W trybie ręcznym użytkownik może zmieniać położenie ramienia manipulatora w jednym z czterech trybów (patrz rys. 5)

Rysunek 5: Tryby ruchów ręcznych.

Po wybraniu trybu przemieszczania (Joint, Frame, Tool lub Point), zaświeci się odpowiadająca mu lampka kontrolna. Aby poruszyć ramieniem należy wcisnąć jeden z przycisków przemieszczania (4 lub 13) lub - w trybie Point - przycisk Move / Hold. Wybór jednego z trybów przemieszczania powoduje automatyczne wyświetlenie strony sterowania ręcznego na ekranie MCP. Aby wyjść z tej strony, należy wcisnąć przycisk Esc. Aby powrócić na tę stronę, należy ponownie wybrać tryb przemieszczania (Joint, Frame, Tool, Point).

1.4.1 Przemieszczanie w trybie przegubowym (JOINT)

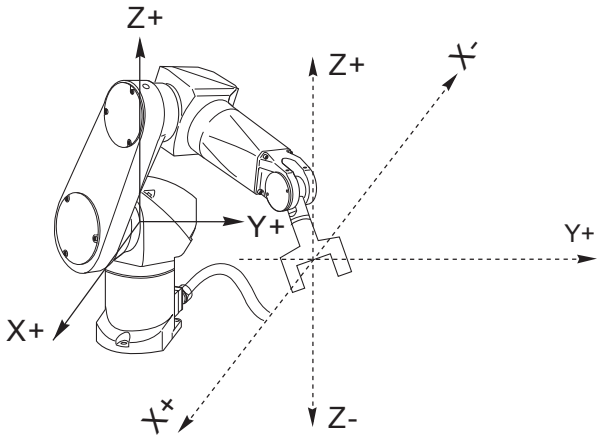
Po włączeniu zasilania ramienia, wcisnąć przycisk Joint w MCP. Zaświeci się lampka kontrolna. Przyciski (4) umożliwiają wykonywanie ruchów w trybie przegubowym (Joint), wokół poszczególnych osi (1, 2, 3, itd. - patrz rys. 1). Przemieszczenia wykonywane są w kierunku do przodu (zestaw

przycisków oznaczonych symbolem „+") lub do tyłu (zestaw przycisków oznaczonych symbolem „-"). Możliwe jest równoczesne przemieszczanie wielu osi. W takim przypadku świeci się jedynie lampka kontrolna ostatniego wciśniętego przycisku osi (+ lub -) oraz lampka Jog (13). Po wciśnięciu jednego z przycisków SEL sekcji Jog (13), numer wybranej osi zmienia się, a odpowiadająca jej lampka kontrolna na zestawie klawiszy (4) zaświeca się. Po wciśnięciu jednego z przycisków „+ / -" sekcji Jog, wybrana oś ulega przemieszczeniu.

1.4.2 Przemieszczanie w trybie kartezjańskim (FRAME, TOOL)

Po włączeniu zasilania ramienia, wcisnąć przycisk Frame lub Tool w MCP. Zaświeci się lampka kontrolna. Wciskając przyciski sterowania ruchem (4) lub jeden z przycisków Sel sekcji Jog (13), możliwe jest wykonywanie przemieszczeń wzdłuż (przyciski X, Y, Z) lub wokół (przyciski RX, RY i RZ) trzech osi bieżącego punktu odniesienia (domyślnie Frame). Przemieszczenia wykonywane są w kierunku do przodu (zestaw przycisków oznaczonych symbolem „+") lub do tyłu (zestaw przycisków oznaczonych symbolem „-"). Jeżeli wciśnięty został przycisk Tool, przemieszczenia są wykonywane wzdłuż / wokół osi bieżącego układu powiązanego z narzędziem (domyślnie jest to zmienna o nazwie `flange` typu `tool`).

Przywiązanie charakterystycznych kartezjańskich układów współrzędnych (układ globalny, układ narzędzia) przedstawiono na rys. 6.



Rysunek 6: Sposób przywiązania osi kartezjańskich układów współrzędnych dla manipulatora TX60L.

1.4.3 Przemieszczanie w trybie POINT

Tryb POINT umożliwia sterowanie przemieszczeniami tylko do punktów zapamiętanych w danej aplikacji. Stąd aby wyświetlić punkty aplikacji, należy najpierw wybrać w niej narzędzie. Jeżeli wybrany zostanie tryb przemieszczania POINT, za pomocą przycisku `Point`, to na ekranie wyświetlane będzie okno zawierające zapamiętane wcześniej punkty z rozróżnieniem ich typów `Point`/`Joint` oraz sposób dojazdu do nich czyli MODE (opisany dla aktualnie podświetlonego punktu). Sposób realizacji dojazdu do punktu w trybie POINT może przyjąć jeden z trzech wariantów:

- `Line` – przemieszczenie do punktu docelowego odbywa się po linii prostej (tylko dla punktów typu `Point`),
- `Joint` – przemieszczenie odbywa się według najkrótszej zmiany współrzędnych osiowych manipulatora (dla punktów typu `Point` oraz `Joint`),

- `Align` – przemieszczenie osi Z narzędzia (kierunek natarcia narzędzia) do wyrównania równoległego z najbliższą osią bieżącego układu odniesienia (zwykle `Frame: World`). Tu tylko nadgarstek wykonuje obrót do najbliższej osi bieżącego układu odniesienia, bez przesunięcia.

Kolejne przełączanie tych wariantów odbywa się za pomocą menu kontekstowego trybu POINT, pod przyciskiem F7, `Mode`. Wcześniej zapamiętane punkty widoczne są w zależności od wybranego sposobu realizacji dojazdu.

Robot rozpocznie dojazd do wybranego punktu po jego podświetleniu (użycie strzałek) i po wciśnięciu przycisku `Move/Hold`. Znalezienie się robota w punkcie wybranym jako docelowym jest sygnalizowane przed nazwą punktu przez sygnaturę `@`.

1.1 Przeprowadzić załączenie systemu.

1.2 Przełączyć tryb sterowania manipulatorem na ręczny.

1.3 Załączyć napędy robota.

1.4 Dla wszystkich przestrzeni ruchu `JOINT, FRAME, TOOL` zrealizować ruchy poszczególnych *stopni swobody* ramienia i zaobserwować różnice w ich wykonaniu. Uzasadnić różny sposób poruszania się robota w różnych przestrzeniach.

1.5 Otworzyć i zamknąć chwytak manipulatora.

1.6 Ustawić ramię w położeniu wyjściowym.

1.4.4 Sterowanie ręczne chwytakiem

Fukcję ręcznego sterowania otwarciem / zamknięciem chwytaka podłączono do przycisku '1' na panelu sterowania ręczego MPC (na rys. 4 pole (12)). Jeżeli chwytak jest otwarty, to naciśnięcie przycisku spowoduje zamknięcie szczęk chwytaka. Gdy chwytak jest zamknięty, to naciśnięcie przycisku '1' spowoduje otwarcie szczęk chwytaka.

UWAGA: Podczas zamykania chwytaka zachować szczególną ostrożność, gdy obiekt do uchwycenia podajemy z ręki. Gdy chwytak jest zamknięty na uchwyconym obiekcie (klocek, pisak), nie otwierać go przypadkowo.

2 Aplikacje i menadżer aplikacji w systemie manipulatora Stäubli

W systemie manipulatora Stäubli przyjęto koncepcję, w której realizacja zadania w sposób automatyczny wymaga przygotowania tzw. aplikacji. Aplikacja zawiera między innymi programy w języku VAL3 oraz zmienne związane z lokalizacjami i układami. Po uruchomieniu sterownika robota (stan domyślny na stanowisku laboratoryjnym) w jego pamięci operacyjnej nie ma załadowanej żadnej aplikacji i jest możliwa jedynie ręczna manipulacja ramieniem. Aplikacje są przechowywane w pamięci dyskowej sterownika, z której można je załadować do pamięci operacyjnej (jednocześnie w pamięci może znajdować się więcej niż jedna aplikacja).

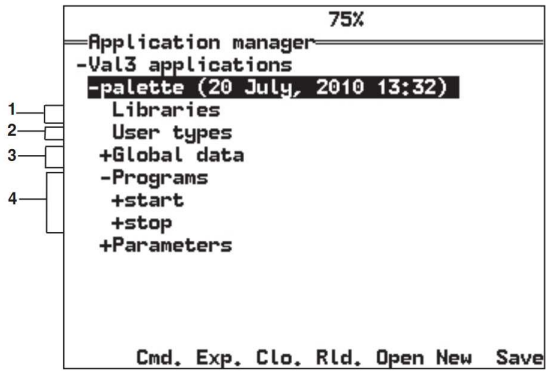
Przygotowanie i zarządzanie aplikacjami z poziomu panelu MCP umożliwia menadżer aplikacji, dostępny za pomocą przycisku `Menu`, po użyciu którego pojawia się okno główne menu (z podświetloną opcją `Application Manager`). Do poruszania się po menu menadżera służą przyciski interfejsu i nawigacji (9) oraz przyciski menu tekstowych (7), przedstawione na rys. 4. Poruszanie się po menu odbywa się następująco:

- wybór podświetlenia opcji menu realizowany jest przez przyciski strzałek ↑ lub ↓,
- wejście w pozycję menu umożliwia przycisk `Return` lub `Enter`,
- rozwinięcie lub zwinięcie pola w strukturze menu poprzedzonego odpowiednio znakiem + lub − umożliwiają przyciski strzałek → – rozwinięcie oraz ← – zwinięcie.

Utworzenie nowej aplikacji w menadżerze umożliwia wybór `New` z menu przycisków tekstowych. Domyślna, nowa aplikacja składa się z:

- (1) libraries - bibliotek, w których można umieszczać zbiory funkcjonalności (podprogramy, funkcje) definiowane przez użytkownika,
- (2) user types - listy typów definiowanych przez użytkownika,
- (3) global variables - zmiennych globalnych, w których można wyróżnić między innymi zmienne związane z układami i lokalizacjami typu `Frame, Point` (grupa zmiennych `World`) oraz narzędziami typu `Tool` (grupa zmiennych `Flange`),
- (4) programs - dwóch programów domyślnych `start()` oraz `stop()`, które zawsze uruchamiane są odpowiednio przy uruchamianiu i kończeniu pracy aplikacji (programy te nie mogą zawierać parametrów wejściowych, nie można ich usunąć ani zmienić nazwy),
- (5) parameters - zestawu domyślnie ustawionych parametrów aplikacji.

Przykładowy wygląd okna menadżera z otwartą aplikacją pokazano na rysunku 7.



Rysunek 7: Widok ekranu menadżera aplikacji z przykładową otwartą aplikacją i widokiem menu przycisków tekstowych.

W otwartej aplikacji można definiować układy współrzędnych związanych z narzędziem roboczym, układem związanym z realizowanym zadaniem, uczyć lub definiować lokalizacje w przestrzeni kartezjańskiej lub konfiguracyjnej oraz przygotowywać programy sterujące dla robota w języku VAL3. W przypadku układu narzędzia możliwe jest wyłącznie jego zdefiniowanie przez wprowadzenie danych numerycznych. Układy związane z realizowanym zadaniem (bazowe) mogą być definiowane przez dane numeryczne lub nauczane metodą trzypunktową.

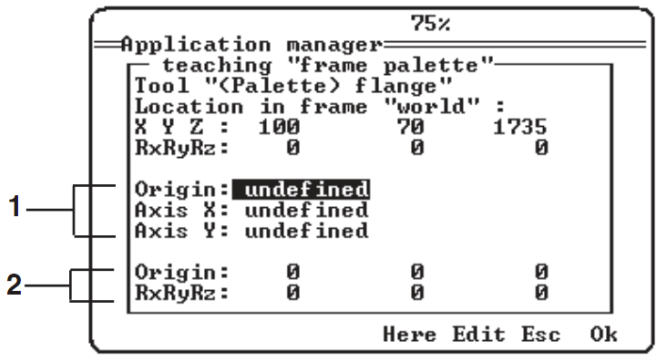
Zmienne związane z układami współrzędnych i lokalizacjami, w tym zmienne podstawowych typów danych, w języku VAL3 przechowywane są w tablicach lub kolekcjach. Domyślnie przy definiowaniu zmiennej tworzona jest tablica jednowymiarowa jednoelementowa przy czym wielkość tablicy można dynamicznie zmieniać. Maksymalnie można utworzyć tablice trójwymiarowe.

2.1 Definiowanie narzędzia

Definicję układu związanego z punktem TCP narzędzia wprowadza się w aplikacji w grupie zmiennych globalnych (`Global data->flange`), wprowadzając nową zmienną typu `Tool` (przycisk `New`). Po zadeklarowaniu zmiennej można podać dane numeryczne nowego układu narzędzia oraz skonfigurować wyjście cyfrowe, odpowiedzialne za działanie narzędzia. Opcjonalnie można wprowadzić czasy opóźnienia, związanego z działaniem narzędzia. Dane te wprowadza się poprzez naciśnięcie przycisku `Enter` na wybranej nazwie zmiennej typu `tool`.

2.2 Definiowanie układu bazowego

Układ bazowy związany z zadaniem wprowadza się w grupie zmiennych globalnych `world`, dodając nową zmienną typu `Frame`. Układ ten można zdefiniować, podając wartości numeryczne lub nauczyć, po wybraniu przycisku `Teac`, wskazując trzy punkty określające początek układu i punkty na osi X oraz Y (patrz rys. 8). Uczenie realizuje się przez dojazd TCP wybranego narzędzia do wyżej wymienionych punktów (fragment okna (1) na rys. 8) i zatwierdzanie przyciskiem `Here`. Końcowy wynik nauczonego układu jest widoczny we fragmencie okna (2) rysunku 8.



Rysunek 8: Widok ekranu z oknem do uczenia układu bazowego metodą trzypunktową.

2.3 Uczenie punktów

Punkty charakteryzujace ruch manipulatora mogą być reprezentowane w przestrzeni kartezjańskiej, wówczas są typu `Point` lub w przestreni złącz, wtedy są typu `Joint`. W przypadku definiowania lub uczenia punktów lokalizacji, należy utworzyć nową zmienną, podając jej nazwę oraz typ. Zmienna ta, w zależności od typu `Point/Joint`, widoczna jest w odpowiedniej grupie pod wybraną nazwą własną, a jej opis jest poprzedzony sygnaturą `0`, co oznacza, że nowo utworzona zmienna ma podstawione/wprowadzone wartości równe zero. W strukturze aplikacji zmienne typu `Point` są widoczne w grupie `world` , zmienne typu `Joint` w grupie `joint` . Aby zmienna opisująca punkt położenia manipulatora zawierała wartości danej pozycji, należy je wprowadzić ręcznie, lub wskazać aktualną pozycję manipulatora za pomocą opcji menu kontekstowego F1, `Here`.
Przed wskazaniem opcji `Here` można przemieścić ramię manipulatora, w wybranym układzie odzniesienia, do dowolnej pozycji. Po wyborze tej opcji, przy nazwie zmiennej pojawi się sygnatura `@`, co oznacza, że ramię maipulatora jest w tej pozycji.

W zmiennej typu `Point` , poza polami opisującymi pozycję i orientację, występują dodatkowo pola odpowiedzialne za wybranie okreslonej konfiguracji ramienia, która ma być uwzględniona przy dojeździe do tego punktu. Konfiguracja ta zawiera parametry ustawień osi barku, łokcia i nadgarstka, które mogą przyjmować różne warianty (patrz 3.1, typ strukturalny `config`). Typowo pozostawia się konfigurację ustawioną w trakcie uczenia jako domyślną, co zapewnia, że sterownik nie wybierze innej podczas realizacji obliczeń dla tego punktu.

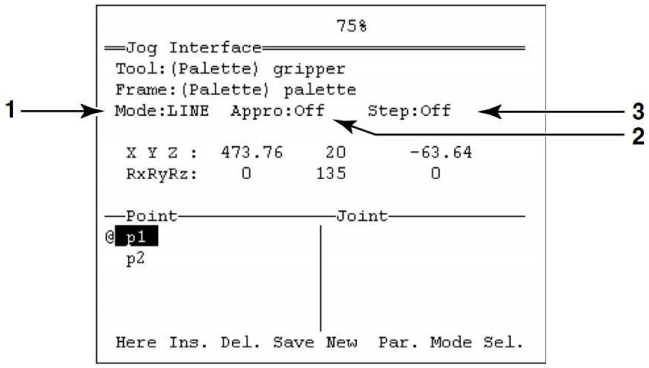
Podobnie można zdefiniować lub nauczyć lokalizacji w przestrzeni złącz, poprzez utworzenie nowej zmiennej typu `Joint` w grupie `joint` . Dla lokalizacji tego typu nie ma żadnych dodatkowych informacji, oprócz sześciu kątów poszczególnych osi manipulatora.

2.4 Dojazd do punktu

Mając wprowadzone do aplikacji punkty lokalizacji można skorzystać z czwartego trybu ruchu ręcznego umożliwiającego dojazd do punktu z możliwością wyboru jednej z trzech dostępnych strategii dojazdu, które zostały omówione w punkcie 1.4.3. Po wybraniu trybu POINT przemieszczania do punktu widoczne będzie okno pokazane na rysunku 9, na którym w dolnej części widoczne są dostępne lokalizacje typu `Point` (po lewej) lub `Joint` (po prawej). W górnej części widoczny jest bieżący układ narzędzia oraz układ bazowy związany z punktami w przestrzeni kartezjańskiej (zmiana poprzez przycisk `Sel.`). Zaznaczone na rysunku elementy oznaczają odpowiednio:

- (1) wybrany sposób dojazdu do punktu (opis w 1.4.3, przycisk `Mode`),
- (2) sposób podejścia do punktu z opcją zatrzymania w zadanej odległości przed punktem wzdłuż osi Z narzędzia (przycisk `Par.`),
- (3) wybór trybu dojazdu w sposób ciągły lub z zadanym krokiem (przycisk `Par.`).

W centralnej części znajduje się informacja o wybranej lokalizacji w przestrzeni kartezjańskiej bądź konfiguracyjnej w zależności od typu punktu. Z poziomu tego okna można również modyfikować współrzędne istniejących punktów, wstawiać nowe pola do zmiennych tablicowych lokalizacji oraz dodawać nowe zmienne lokalizacji w bieżącej aplikacji.



Rysunek 9: Widok ekranu z oknem w trybie sterowania do punktu.

Uruchamianie przygotowanej aplikacji w trybie sterowania ręcznego, jak i lokalnego, jest bardzo podobne. Zasadniczą różnicą jest konieczność trzymania przycisku zezwolenia `Move/Hold`w trybie ręcznym . Procedura uruchomienia przebiega w następujący sposób:

- wybranie trybu pracy z interfejsu operatora WMS,
- uruchomienie napędów przyciskiem włączania zasilania ramienia (dla trybu ręcznego najpierw wcisnąć przycisk zezwolenia na ruch),
- wciśnięcie przycisku uruchomienia aplikacji Run (może być konieczny wybór aktywnej aplikacji z listy otwartych),
- realizacja programu aplikacji rozpoczyna się po wciśnięciu przycisku `Move/Hold`.

3 Elementy języka programowania VAL3

Programowanie zadań dla robota jest realizowane w języku VAL3 [2]. Język ten jest wykorzystywany zarówno w przypadku tworzenia programu za pomocą panelu programowania robota MPC, jak i za pomocą dedykowanego oprogramowania narzędziowego ***Stäubli Robotics Suite 2013***.

3.1 Typy, zmienne w VAL3

W języku VAL3 dostępne są następujące typy proste:

- `bool` – typ logiczny (`true`/`false`),
- `num` – typ wartości numerycznych (całkowitych lub zmiennoprzecinkowych),
- `string` – typ dla łańcuchów znaków (znaki ASCII/Unicode),
- `dio` – dla wejść/ wyjść cyfrowych,
- `aio` – dla wejść/wyjść analogowych,
- `sio` – dla portów wejść/ wyjść, łączy szeregowych lub internetowych,
- `screen` – dla wyświetleń ekranowych MCP i dostępu do klawiatury.

W systemie programowania robota VAL3 zdefiniowano następujące typy strukturalne:

- `trsf` – typ dla transformacji geometrycznych w układzie kartezjańskim XYZ, zawiera następujące pola: x, y, z, rx, ry, rz,

  Typ ten definiuje zmianę położenia i/lub orientacji. Jest kompozycją translacji i rotacji. Transformacja sama w sobie nie reprezentuje pozycji w przestrzeni, ale jest interpretowana jako położenie i orientacja punktu lub ramki w układzie kartezjańskim względem innej ramki, np. ramki związanej z układem podstawowym.

- `frame` – typ dla reprezentacji pozycji (położenia i orientacji) w kartezjańskim układzie odniesienia (wykorzystuje pola struktury typu `trsf`), zawiera następujące pola: x, y, z, rx, ry, rz,

- `tool` – typ opisujący narzędzie, zawiera następujące pola: x, y, z, rx, ry, rz, IOlink, otime, ctime.

  Typ ten określa geometrię narzędzia oraz sterowanie nim. Pola x, y, z służą do opisu pozycji TCP (Tool Center Point) w układzie współrzędnych robota, rx, ry, rz służą do opisu orientacji narzędzia. Pole IOlink – wyjście używane do aktywacji narzędzia, otime – czas potrzebny do otwarcia narzędzia (w sec.), ctime – czas potrzebny do zamknięcia narzędzia. Narzędzie referencyjne typu tool o nazwie flange jest zawsze zdefiniowane w aplikacji VAL3. Jest to zmienna, która reprezentuje opis kołnierza robota (koniec łańcucha kinematycznego) służący do podłączenia każdego zdefiniowanego później narzędzia. Każde narzędzie wykorzystywane w programowaniu robota jest dołączone pośrednio lub bezpośrednio do kołnierza.

- `config` – typ dla konfiguracji manipulatora, która określa rodzaje ułożenia ogniw manipulatora tworzących bark (ogniwa: kolumna – ramię), łokieć (ogniwa: ramię – przedramię) i nadgarstek (ogniwa: przedramię – kiść), zawiera następujące pola: shoulder, elbow, wrist. Każde pole może przyjąć wartość jednego z 4 parametrów, umożliwiając określenie ułożenia ogniw w wyróżnionych przegubach:

  – shoulder (bark): righty – z prawej, lefty – z lewej, ssame – jak poprzednio, free – dowolne,
  – elbow (łokieć): epositive – do góry, enegative – do dołu, esame – jak poprzednio, efree – dowolnie,

  - wrist (nadgarstek): wpositive – do góry, wnegative – do dołu, wsame – jak poprzednio, wfree – dowolnie.

- `point` – typ reprezentujący pozycję narzędzia czyli jego położenie i orientację w układzie kartezjańskim względem układu odniesienia (pola struktury typu `trsf`) oraz konfigurację ramienia robota w tym punkcie (pola struktury typu `config`), zawiera następujące pola: x, y, z, rx, ry, rz, shoulder, elbow, wrist.
- `joint` – typ dla pozycji robota w układzie współrzędnych wewnętrznych, zawiera następujące pola: j1, j2, j3, j4, j5, j6.
- `mdesc` – typ dla parametrów ruchu robota, zawiera następujące pola: accel, vel, decel, tvel, rvel, blend, leave, reach. Typ ten przechowuje kolejno wartości: przyspieszenia robota, prędkości robota, opóźnienia robota, maksymalnej prędkości translacji TCP w mm/s, maksymalnej prędkości kątowej obrotu narzędzia wokół TCP w st./s, blend – pole wyboru rodzaju interpolacji w otoczeniu punktów pośrednich ścieżki (off/joint/Cartesian), leave – odległość w mm przed punktem pośrednim, reach – odległość w mm za punktem pośrednim.

3.2 Wybrane instrukcje kontroli programu

Pętle programowe:

- ```
  while <bool bCondition>
          blok z kodem programu
  endWhile
  ```

- ```
  do
          blok z kodem programu
  until <bool bCondition>
  ```

  wykonują bloki z kodem programu tak długo, dopóki warunek bCondition jest prawdziwy. W pierwszym przypadku warunek jest sprawdzany przed wykonaniem bloku programu, w drugim po jego wykonaniu.

- ```
  for <num nCounter> = <num nBeginning> to <num nEnd>
          blok z kodem programu
  endFor
  ```

  Pętla pomiędzy instrukcjami for i endFor wykonuje się dopóki zmienna nCounter nie osiągnie wartości nEnd; nBeginning – wartość początkowa indeksu pętli.

3.3 Wybrane instrukcje przetwarzania danych i ruchu robota

- joint herej()

  Instrukcja ta zwraca aktualną pozycję kątową wszystkich osi robota i może być przypisana do zmiennej typu joint: $jpoint = herej()$

- point appro(point pPosition, trsf trTransformation)

  Instrukcja zawraca punkt zmodyfikowany przez transformację trTransformation, która jest definiowana względem tego samego układu odniesienia co argument pPosition. Wynik można podstawić do zmiennej typu point.

- num movej(point pPosition, tool tTool, mdesc mDesc)

  Instrukcja ruchu robota do punktu pPosition z wykorzystaniem narzędzia tTool oraz z parametrami ruchu mDesc. Ruch odbywa się najkrótszą drogą dla współrzędnych osiowych manipulatora.
  ```

- num movel(point pPosition, tool tTool, mdesc mDesc)

  Instrukcja ruchu liniowego do punktu pPosition z wykorzystaniem narzędzia tTool oraz z parametrami ruchu zawartymi w zmiennej mDesc. Ruch odbywa się najkrótszą drogą dla współrzędnych kartezjańskich.

- open(tool tTool)

  Instrukcja otworzenia narzędzia tTool.

- close(tool tTool)

  Instrukcja zamknięcia narzędzia tTool.

4 Dedykowane oprogramowanie narzędziowe dla manipulatora Stäubli

Oprogramowanie narzędziowe Stäubli Robotics Suite 2013 (SRS) umożliwia tworzenie, edytowanie, uruchamianie i testowanie programu, transfer programu pomiędzy sterownikiem robota CS8C i środowiskiem SRS, symulacje pracy modelu robota w środowisku graficznym. Wprowadzenie nowego projektu realizuje się poprzez nadanie mu nazwy własnej i zapis na dysku komputera oraz wybranie typu manipulatora i sterownika. W oknie głównym oprogramowania SRS, po wybraniu opcji **Home → Show 3D View**, możemy pokazać graficzne manipulator. Po wybraniu opcji **Home → General → Cell Explorer** możemy przejść do zasadniczego okna pokazującego strukturę projektu w trzech zakładkach: **Cell Explorer**, **Data** oraz **Geometry** (patrz rys. 10). Widok przedstawiony na rys. 10 zawiera projekt o nazwie ProjektTest. Do nazwy projektu przypisany jest sterownik o nazwie `Controller1 [s.7.7.1]`, do sterownika dołączony jest model robota, w tym przypadku jest to `tx60l` oraz aplikacja użytkownika do sterowania robotem o nazwie TestProject1.

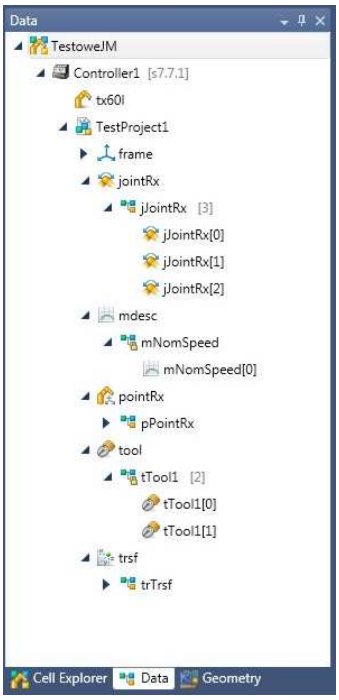
Zakładki **Cell Explorer**/**Data**/**Geometry** umożliwiają obsługę programów w aplikacji użytkownika, zakładka **Data** umożliwia obsługę zmiennych programu i podprogramów, zakładka **Geometry** umożliwia obsługę zmiennych ulokowanych w różnych układach geometrycznych.

4.1 Aplikacje

Zadania związane z programowaniem robota mogą być realizowane w aplikacji przygotowanej przez użytkownika, niezależnie od ręcznego panelu sterującego MPC. Utworzenie nowej aplikacji polega na wybraniu kontrolera w oknie **Cell Explorer** i zaznaczeniu go. Korzystając z tego kontekstu możliwe jest wybranie opcji **VAL3 → New Application**, a po pojawieniu się właściwego okna, należny wpisać nazwę aplikacji, wskazać lokację dyskową oraz wybrać szablon (dostępny default). Istniejącą aplikację możemy odczytać z dysku, wybierając opcję **VAL3 → Open Application**, także w kontekście wybranego kontrolera.

4.2 Programy i podprogramy

Tworzenie programu realizowane jest przez wybranie aplikacji (zaznaczenie w **Cell Explorer**) i wybranie opcji **VAL3 → New Program**. Wybranie programu i jednokrotne kliknięcie umożliwia rozwinięcie listy jego parametrów oraz zmiennych lokalnych, dwukrotne kliknięcie umożliwia wyświetlenie okna edycji programu. Programy i podprogramy w VAL3 zapisywane są pomiędzy słowami kluczowymi `begin` oraz `end`. Można utworzyć wiele programów dostępnych z jednej aplikacji. Ich spis dla danej aplikacji znajduje się w oknie **Cell Explorer**. W każdej aplikacji znajdują się domyślne programy `start()` i `stop()`. Wykonanie aplikacji związane jest zawsze z wykonaniem programów `start()` i `stop()`. Dla przykładu, aby uruchomić program użytkownika w aplikacji, należy wywołać go komendą `call` wewnątrz programu `start()`.

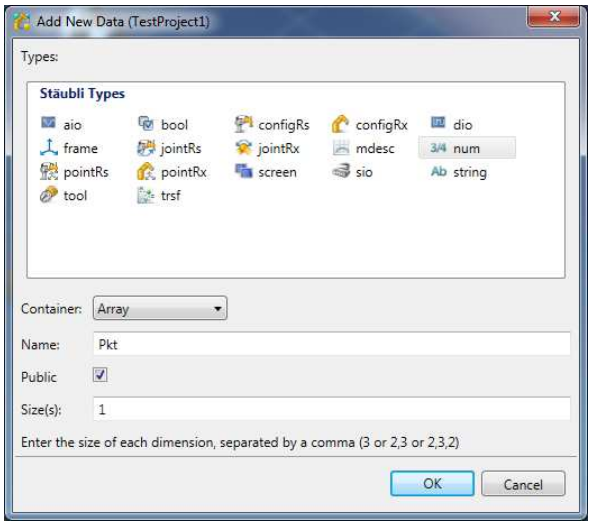


Rysunek 10: Widok pola Data w oknie głównym projektu.

4.3 Zmienne

Zmienne w aplikacji robota mogą być deklarowane jako globalne – `Public`, jako lokalne – `Locals` lub jako parametry programów – `Parameters`.

W celu lokowania nowej zmiennej, należy wybrać aplikację (zaznaczając jej nazwę), a następnie opcję **VAL3 → New Data**, skutkiem czego wyświetlone zostanie okno **Add New Data** (dla zasięgu aplikacji) (patrz rys. 11). Okno zawiera typy proste i złożone, umożliwia edycję nazwy zmiennej i wybór typu, pojemnika (Array/Collection), zasięgu stosowania (Local/Public) oraz rozmiaru.



Rysunek 11: Widok okna deklaracji zmiennych w SRS (typów Stäubli).

4.4 Transfer aplikacji pomiędzy sterownikiem robota i oprogramowaniem SRS

W celu przetransferowania aplikacji pomiędzy sterownikiem robota a środowiskiem SRS, wybieramy w tym środowisku opcję **Home → Transfer Manager**. W oknie menadżera transferu po prawej stronie okna pojawiają się zasoby sterownika robota CS8 (dane na jego dysku), po lewej stronie zasoby oprogramowania SRS. Połączenie umożliwia przepisanie z dysku sterownika robota CS8 danych na dysk komputera z oprogramowaniem SRS. Wyboru danych do transferu dokonuje się przez wskazanie i zaznaczenie danych do przeniesienia. Po dokonaniu transferu, celem uruchomienia i testowania, należy wczytać aplikację VAL3 do środowiska SRS. W przypadku odwrotnym, tj. skopiowania aplikacji VAL3 ze środowiska SRS do sterownika robota, w celu uruchomienia aplikacji w sterowniku robota należy za pomocą menadżera aplikacji wybrać ją z dysku, a następnie otworzyć.

4.5 Sprawdzenie i uruchomienie zadania w symulatorze

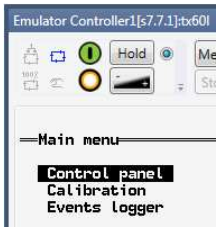
Warunkiem uruchomienia programu robota napisanego przez użytkownika jest jego bezbłędna kompilacja. W celu sprawdzenia poprawności działania programu wybieramy w zakładce **Cell Explorer** właściwą aplikację (zaznaczając jej nazwę) oraz z menu głównego opcję **VAL3 → Check Syntax**. Kompilacji poddane są wszystkie programy i podprogramy danej aplikacji. Wyniki kompilacji możemy zaobserwować w oknie **Output**, wybierając w nim pod-opcję **Syntax Checker**.

Aby przetestować zadanie na symulatorze robota, należy napisany program w języku VAL3 uruchomić na emulatorze sterownika, oraz dodatkowo można uruchomić symulację ruchu robota w środowisku graficznym. W tym celu należy uruchomić **Emulator Controller1[s.7.7.1]**, co następuje w wyniku wybrania w **Cell Explorer** Controllera1[s.7.7.1] i z menu kontekstowego prawym przyciskiem myszy wybrania opcji `Show Emulator` (skrót Ctrl R, S). Uruchomiony emulator przedstawiono na rys. 12.

Rysunek 12: Widok emulatora kontrolera w SRS.

Uruchomienie programu w emulatorze wymaga ustawienia emulatora w tryb lokalny lub zdalny (rys. 3) oraz ustawienia jego przycisków jak na rys. 13.

Obserwacja ruchu robota jest możliwa po wyświetleniu widoku jego modelu, następuje to po wybraniu opcji **Home → Show 3D View**. Synchronizacji modelu robota z emulatorem w środowisku graficznym dokonuje się poprzez wybranie opcji **Simulation → Start Synchro**.



Rysunek 13: Widok emulatora kontrolera w SRS z włączonym przyciskiem napędów oraz włączonym przyciskiem Move / Hold.

5 Zadanie paletyzacji

Zadanie paletyzacji polega na przenoszeniu elementów manipulowanych z pozycji źródłowych do pozycji docelowych z wykorzystaniem pętli programowych. Pozycje docelowe są zwykle skonfigurowane na wspólnej palecie. Układane przedmioty mają leżeć na jednej płaszczyźnie w ustalonej względem siebie konfiguracji. Posługując się klockami testowymi, należy pobrać kolejno 4 klocki z pozycji źródłowej (ułożone w linii prostej) i przenieść je do pozycji docelowej (ułożenie palety 2 $\times$ 2), przy wykorzystaniu zmiennych, instrukcji ruchu i pętli programowych. Zadanie podzielić można na 3 etapy:

- Podjęcie klocków z miejsc (pozycji) pobrania – z palety P1,
- Przeniesienie,
- Odłożenie klocków na pozycje palety P2.

Przykładowy program znajduje się na rys. 14.

5.1 Przebieg zadania

5.1 Ułożyć klocki na stanowisku źródłowym w linii i wybrać nad pierwszym klockiem punkt startowy operacji podniesienia klocka.

5.2 Przełączyć tryb sterowania manipulatorem na ręczny.

5.3 Za pomocą menadżera aplikacji w panelu MPC otworzyć aplikację VAL3, nadać jej nazwę i zapisać ją na dysku sterownika robota.

5.4 Zdefiniować narzędzie robocze – chwytak. W tym celu utworzyć zmienną typu `tool` o wybranej nazwie, która ma reprezentować narzędzie robocze dołączane do kołnierza (`flange`). Zapoznać się z geometrią chwytaka i w parametrach utworzonej zmiennej zapisać odpowiednie wartości odległości oraz kąty orientacji wokół osi. Dla zamontowanego chwytaka parametry te są następujące: $x = 70mm$, $y = 0mm$, $z = 140mm$, $rx = 0^o$, $ry = 45^o$, $rz = 0^o$.

5.5 Po zdefiniowaniu w aplikacji narzędzia, wybrać je do pracy po uruchomieniu sterowania ręcznego w trybie Tool. Sprawdzić poprawność jego konfiguracji (rotacje powinny odbywać się wokół TCP wybranego narzędzia).

5.6 Uchwycić pisak za pomocą chwytaka, zachowując ostrożność przy ręcznym podawaniu pisaka.

5.7 Zdefiniować narzędzie wskazujące – chwytak z pisakiem. W tym celu utworzyć nową zmienną typu `tool` o wybranej nazwie, której parametry będą zdefiniowane względem układu opisującego chwytak, i w jej parametrach uzupełnić długość pisaka: $z = 150mm$, pozostałe parametry równe zero.

5.8 Zdefiniować układ bazowy dla zadania paletyzacji. W tym celu utworzyć zmienną typu `frame` i przypisać jej dane, postępując zgodnie z procedurą definiowania układu bazowego. Punkty charakterystyczne podczas definicji układu bazowego wskazywać pisakiem.

5.9 Wyjąć pisak z chwytaka, zachowując ostrożność przy ręcznym odebraniu pisaka.

5.10 Najechać manipulatorem z otwartym chwytakiem na pozycję znajdującą się bezpośrednio nad klockiem tak, aby podjęcie klocka było precyzyjne. Podczas osiągania tej pozycji zmniejszyć prędkość ruchu (np. do $1-0.2\%$). Uwaga! Niedozwolone jest dotknięcie chwytakiem podstawy, na której leży podnoszony klocek. Zapamiętać tę pozycję jako zmienną typu `pointRx`, np. pkt[0] – będzie to punkt startowy palety P1.

5.11 Zamknąć chwytak, upewniając się czy uchwycenie klocka w chwytaku jest prawidłowe.

5.12 Przemieścić ramię robota z uchwyconym klockiem do pozycji nad miejscem odkładania na palecie P2. Wybrać punkt położony na wysokości ok. 0.5-1mm ponad powierzchnią P2 i zapamiętać jako zmienną typu `PointRx`, np. pkt[1] – będzie to punkt startowy palety P2.

5.13 Otworzyć chwytak, pozostawiając klocek na pozycji pierwszego elementu palety P2 i odsunąć chwytak robota ponad klocek.

5.14 Zapisać aplikację na dysku sterownika robota za pomocą MPC. Zdefiniowane punkty są punktami referencyjnymi do realizacji dalszej części zadania.

5.15 Punkty wraz z przygotowaną aplikacją przetransferować do środowiska SRS celem napisania programu realizującego zadanie paletyzacji w cyklu automatycznym.

5.16 W środowisku SRS w języku VAL 3 napisać program wykorzystujący instrukcje ruchu pomiędzy punktami. Instrukcje ruchu umieścić wewnątrz pętli indeksujących zmiany pozycji punktów referencyjnych, stosownie do numeru pobieranego klocka oraz numeru miejsca na palecie.

5.17 W symulatorze przetestować działanie aplikacji z programem paletyzacji. Przetestowany program z oprogramowania SRS przetransferować na dysk sterownika robota.

5.18 Pod nadzorem prowadzącego, za pomocą menadżera aplikacji z panelu MPC, uruchomić przygotowaną aplikację i krokowo przetestować przebieg paletyzacji w rzeczywistym środowisku.

5.19 Po zakończeniu pracy z robotem należy ustawić go w pozycji wyjściowej, tak jak na rys. 1b.

Literatura

[1] Stäubli Arm – TX series 60 family. Instruction manual, D28082804B, TX60©Stäubli 2013.

[2] Stäubli VAL 3 reference manual, ver. 7, D28077104A, VAL3©Stäubli 2010.

```
begin
  P1_xPrzes = 50 // przesunięcie w osi X dla palety P1
  P1_yPrzes = 0  // przesunięcie w osi Y dla palety P1
  dyst_P1 = 150  // odsunięcie w osi Z dla palety P1
  P2_xPrzes = 50 // przesunięcie w osi X dla palety P2
  P2_xPrzes = 50 // przesunięcie w osi Y dla palety P2
  dyst_P2 = 150  // odsunięcie w osi Z dla palety P2

  call powerOn()  // włączanie napędów

  // do pozycji początkowej nad P1
  movej(P1_Rx1[0], chwytak1, nomPaleta)
  waitEndMove()

  open(chwytak1)

  for ip = 1 to 2
    for jp = 1 to 2

      // do palety P1
      P1_Rx1[1] = P1_Rx1[0]
      act_px = (ip+jp-2)*P1_xPrzes
      act_py = 0
      P1_Rx1[1] = appro(P1_Rx1[1],{act_px,act_py,0,0,0,0})
      movel(P1_Rx1[1], chwytak1, nomPaleta)

      // Pobranie z P1
      P1_Rx1[1] = appro(P1_Rx1[1],{0,0,-dyst_P1,0,0,0})
      movel(P1_Rx1[1], chwytak1, slowPaleta)
      waitEndMove()

      // uchwycenie kostki
      close(chwytak1)

      P1_Rx1[1] = appro(P1_Rx1[1],{0,0,dyst_P1,0,0,0})
      movel(P1_Rx1[1], chwytak1, slowPaleta)

      // do palety P2
      movej(P2_Rx1[0],chwytak1,nomPaleta)

      // Oddanie na P2
      P2_Rx1[1] = P2_Rx1[0]
      act_px = (ip-1)*P2_xPrzes
      act_py = (jp-1)*P2_yPrzes
      P2_Rx1[1] = appro(P2_Rx1[1],{act_px,act_py,0,0,0,0})
      movel(P2_Rx1[1], chwytak1, nomPaleta)
      waitEndMove()

      P2_Rx1[1] = appro(P2_Rx1[1],{0,0,-dyst_P2,0,0,0})
      movel(P2_Rx1[1], chwytak1, slowPaleta)
      waitEndMove()

      // puszczenie kostki
      open(chwytak1)

      P2_Rx1[1] = appro(P2_Rx1[1],{0,0,dyst_P2,0,0,0})
      movel(P2_Rx1[1], chwytak1, nomPaleta)

      // do palety P1
      movej(P1_Rx1[0], chwytak1, nomPaleta)

    endFor
  endFor

  call powerOff()  // wyłączenie napędów
end
```

Rysunek 14: Przykładowy program w języku VAL3 dla manipulatoa Stäubli.