

Wiktor Nowacki - Copernicus

Wstęp

Celem projektu było stworzenie prototypu robota przemysłowego o czterech osiach swobody (4DOF), przeznaczonego do najprostszych aplikacji Pick&Place (ang. „podnieś i przenieś”). Założeniem projektu była modułowość i elastyczność rozbudowy, dlatego w pierwszej wersji powstał system przeznaczony do wykonywania ruchów według ściśle określonych, zaprogramowanych wcześniej koordynat, składający się z właściwego robota, elektronicznego sterownika i modułu generującego podciśnienie (efektorem jest przysawka). Następnie projekt rozbudowano o system wizyjny (oparty na PixyCam v2), służący do analizy 2D obszaru roboczego oraz program komputerowy wizualizujący ruchy ramienia (środowisko processing). Myślę, że projekt jest unikalny ze względu na samodzielne i całościowe podejście do kwestii mechaniki, elektroniki czy oprogramowania, gdyby nieco go jeszcze poprawić, mógłby pomóc w automatyzacji małym przedsiębiorstwom/indywidualnym użytkownikom. Cechą charakterystyczną projektu jest układ kinematyczny, składający się z pierwszej osi liniowej (podstawa) i kolejnych trzech-obrotowych.

Nieco technikałów

Podstawę projektu stanowi czteroosiowe ramię robotyczne (rys.3), nad którym prace rozpoczęły się od projektu w programie Autodesk Fusion 360. Dzięki oprogramowaniu CAD wyeliminowano błędy konstrukcyjne już w fazie projektowania, co znacząco usprawniło proces budowy. Jako główne materiały konstrukcyjne wybrane zostały plexiglass (elementy frezowane numerycznie) i ABS (drukowane 3D). Każda oś, celem znalezienia pozycji domowej po uruchomieniu, wyposażona jest w czujnik krańcowy. Podstawę stanowi płyta plexiglass o wymiarach 56x13cm i grubości 10mm. Jak wspomniano, pierwsza oś jest pryzmatyczna, wykorzystano dwie prowadnice liniowe $\Phi 10\text{mm}$ oraz listwę zębatą o module 1,5 (przekrój 17x17mm). Silnik krokowy, z przekładnią i kołem zębatym umieszczone są na wózku jezdnym, poruszając się wraz z nim. Długość prowadnic oraz listwy zębatej to 50cm, uwzględniając długość wózka (~15cm) oraz obecność czujnika krańcowego, efektywne pole robocze w pierwszej osi to 30cm. W kolejnej osi wykorzystana została przekładnia ślimakowa 1:50 firmy Icus. Do symetrycznego wyjścia przekładni (talerze $\Phi 80\text{mm}$) zamocowano dwa ramiona wykonane z plexiglass'u 8mm. Na nich właśnie zamontowano trzecią oś swobody, której działanie opiera się na silniku krokowym NEMA17 z przekładnią 1:5,18; którą połączono z przekładnią pasową 1:3 (pasek zębaty HTD 3mm). Istnieje możliwość regulacji naprężenia paska dzięki podłużnym otworom w wsporniku, do którego zamocowano silnik. Na końcu ramion drugiego stopnia swobody znajdują się otwory, w które wciśnięto dwa łożyska kulkowe (RS16005). Pomiędzy nimi znajduje się bęben, który skręcono wraz z kołem zębatym i elementami blokującymi ruchy poprzeczne w łożyskach oraz dwoma kolejnymi ramionami (końcowymi) z plexiglass'u 5mm; które skręcono trzema śrubami M4. Na końcu, już jako IV oś swobody (ustawianie kąta ssawki względem płaszczyzny roboczej) znajduje się silnik krokowy NEMA17, do wału którego, bezpośrednio, zamocowano U-kształtny element łożyskowy również z drugiej strony (łożysko kulkowe RS625), do końca którego zamontowana jest ssawka podciśnieniowa $\Phi 30\text{mm}$ firmy FESTO.

Odległość między punktami obrotu ramion II i III stopnia to 200mm, natomiast środka obrotu IV osi do efektora to 75mm. Uwzględniając maksymalne kąty wychyleń, obciążeń i prawo dźwigni jednostronnej, efektywna różnica między położeniem skrajnymi położeniami w osi prostopadłej do modułu liniowego wynosi 20cm. Maksymalna wysokość, jaką może osiągnąć efektor, zależy od konkretnego punktu, w którym ma zostać osiągnięta i wynosi kilkanaście centymetrów. Udźwig dynamiczny dla zakładanych maksymalnych prędkości i akceleracji, to 200 gramów. Teoretyczny udźwig statyczny jest znacznie większy, przy efektywnej wartości próżni na poziomie np. 15% jest to ~1000g. Podciśnienie generowane jest przez osobny moduł, składający się z pompy podciśnieniowej oraz elektrozaworu do załączania/odcinania próżni. Wyjście pneumatyczne podłączane jest do przewodu 4mm zainstalowanego w robocie oraz złącza elektrycznego, pozwalające podłączyć moduł do głównego sterownika.

Sterownik ma wymiary 20x27x16cm i składa się z trzech poziomów, prostokątów wyfrezowanych z plexiglass'u 5mm. Najniższy dolny poziom zawiera gniazdo zasilające 230Vac, kontrolki napięć 230Vac i 24Vdc oraz dwa zasilacze napięcia stałego: 24V/8,3A oraz 12V/5A. Kolejny poziom to układy logiczne i sterujące, a także płytki dystrybuująca zasilanie wraz z przetwornicą step-down. Układami sterującymi są 4 sterowniki silników krokowych TB6560 oraz moduł 2 przełączników, pozwalający sterować pompą podciśnieniową i elektrozaworem. Sercem sterownika jest płytka Nucleo STM32 z mikrokontrolerem F103, programowanym w Arduino IDE. Silniki sterowane są w trybie mikrokrokowym 1/16, co zapewnia płynniejszą pracę i zwiększa rozdzielczość ustawionego kąta wału (szczególnie w IV osi). Ponadto na poziomie tym znajduje się wspomniana już płytka rozdzielająca zasilanie, zawierająca diody LED sygnalizujące obecność napięcia oraz kondensatory chroniące przed nagłymi i krótkotrwałymi spadkami napięć. Ostatnia płyta z plexi pełni funkcję osłony, zamontowano na niej przycisk bezpieczeństwa zatrzymujący robota w bieżącej pozycji w przypadku awarii oraz dwa wentylatory, wymuszające obieg powietrza.

Jeśli chodzi o system wizyjny, czujnik (o wymiarach ~40x40mm) został zamontowany na maszcie, z możliwością regulacji wysokości i położenia płytki PixyCam; wersja 2. Inteligentny czujnik opracowała start-up'owa firma CharmedLabs, posiada wiele funkcji związanych z przetwarzaniem wizyjnym, w projekcie została wykorzystana ta podstawowa – wykrywanie obiektów na podstawie wcześniej ustalonego przez operatora koloru. Należy zaznaczyć, że całości analizy dokonuje mikrokontroler znajdujący się na płytce, podstawowym zadaniem podłączonego PC/laptopa jest umożliwienie konfiguracji parametrów (wspomniany kolor, jasność, czułość itd.) oraz kontroli, czy system działa poprawnie. Producent udostępnił gotowe funkcje biblioteczne dla płytek Arduino, które po drobnej modyfikacji mogły zostać użyte z Nucleo. Na żądanie, czujnik przesyła interfejsem UART dane o widocznych obiektach, podając m.in. współrzędne obiektu na obrazie i jego wielkość (w pikselach). Aby móc przenieść te dane na układ współrzędnych robota, potrzebna jest wcześniejsza kalibracja, jednorazowa, trwająca kilkanaście minut. Polega ona na wgraniu specjalnego programu, w którym robot układa 4 obiekty (np. niebieskie krążki) w narożnikach obszaru roboczego. Następnie należy tak ustawić maszt, aby wszystkie one widoczne były w planie prostokąta, z zachowaniem równoległości itd. Następnie, już we właściwym programie, w nagłówku,

należy wpisać dane, jakie zwracał czujnik po udanym procesie zamontowania i kalibracji – pozwoli to na przeliczenie „surowych” koordynat otrzymanych z kamery na współrzędne w układzie odniesienia robota. Przykładowe zadania z użyciem czujnika, polega na detekcji losowo rozrzuconych w obszarze roboczym krążków i ułożenie z nich wieży (i to zadanie ilustruje poniższy film - link na dole opisu).

Przy pracy bez systemu wizyjnego, celem zaprogramowania robota, należy napisać program w Arduino IDE składający się z prostych funkcji typu wykonaj ruch, załącz/odłącz elektrozawór czy zaczekaj. Napisany kod zawiera funkcje kinematyki odwrotnej, która zwraca kąty ramion i pozycje silników na podstawie zadanej pozycji XYZ wraz z uwzględnieniem, aby IV oś zawsze kierowała przyssawkę prostopadle do płaszczyzny podłoża. Ruchy odbywają się z przyspieszaniem i hamowaniem, nie są natomiast interpolowane. Z kolei konfigurację czujnika wizji umożliwia program PixyMom. W kwestii oprogramowania, należy wspomnieć jeszcze o programie-nakładce graficznej napisanej w środowisko Processing. Mikrokontroler wówczas przesyła cyklicznie 9-bajtową ramkę danych, zawierającą informację o bieżącym położeniu wózka i ramienia, kątach, pozycji efektora itd., pozycji zadanej, do której dąży oraz stanie załączenia/odcięcia próżni na przyssawce itd...

Podsumowanie

Myślę, że projekt zdecydowanie zakończył się sukcesem, z bardzo dużą skutecznością realizuje demonstracyjny program układania w wieżę losowo rozrzuconych krążków. Od strony technicznej, było to dla mnie pewne wyzwanie, natomiast efekt końcowy podoba się zarówno dzieciom (które mogą porzucić krążki i oglądać, jak są układane przez ramię), jaki i dorosłym 😊

FILM: <https://youtu.be/0-nikPsJOKU>