

## **RAFAL KLAUS, PIOTR SZYMANIAK**

Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska, rafal.klaus@cs.put.poznan.pl

### **PROTOTYPOWANIE 3D ROBOTA PIROTECHNICZNEGO**

**Abstract:** The paper presents design issues 3D robot pyrotechnic.

#### **1. Wprowadzenie**

Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie ze strony wojska, policji czy straży granicznej na zdalnie sterowane maszyny dziedzina ta ulega stałemu rozwojowi co prowadzi do powstawania nowych technologii i opracowywania nowych rozwiązań. Autorzy prowadzą prace nad budową algorytmów i oprogramowania do sterowania maszynami z wykorzystaniem Wi-Fi. Zadaniem było przygotowanie oprogramowania które ma być wykorzystane w robocie pirotechnicznym. W celu przeprowadzenia pełnego testowania konieczna była budowa prototypu robota. Zadanie to łączyło ze sobą dziedziny automatyki, elektroniki, programowania wizualnego, konstrukcji i programowania systemów wbudowanych oraz mechanicznej konstrukcji robota.

Powstał prototyp robota pirotechnicznego sterowany bezprzewodowo za pomocą Wi-Fi zaprojektowany i wykonany w technice druku 3D.

#### **2. Budowa robota**

Robot mobilny porusza się za pomocą napędu gąsienicowego wyposażony jest w mechaniczne ramię z chwytakiem, które może służyć do przemieszczania niebezpiecznych ładunków (prototyp potrafi przenosić ładunki do 1 kg). Sam robot waży ok 11,5 kg, wykonany jest z plastiku ABS (80%), aluminium (15%) i stali (5%). Wyposażony jest w kamerę, system wbudowany PandaBoard, zestaw czujników kontrolnych i elementy wykonawcze.

Część mechaniczną stanowią elementy, które powstały przy pomocy druku trójwymiarowego, oraz ogólnodostępne zakupione w sklepach z artykułami metalowymi. Większość części stanowią elementy drukowane na, które przeznaczono 1kg plastiku ABS oraz około 70 godzin pracy drukarki 3D. Następne są elementy aluminiowe, gdzie wykorzystano 4 płaskowniki aluminiowe, jedną rurkę oraz pręt pocięty na krótkie odcinki. Elementy stalowe występują głównie w postaci prętów gwintowanych stanowiących mocowanie konstrukcji oraz śrub i śrubek łączących wszystkie elementy. Do tego wszystkiego dochodzi użycie 17 łożysk kulkowych małych rozmiarów oraz "podłoga" platformy robota w postaci arkuszy poliuretanowych. Wszystko złożone i skręcone w celu zapewnienia pełnej stabilizacji i wytrzymałości na obciążenia. Wiele elementów podczas wytworzenia było poprawianych i ponownie drukowanych po zauważeniu problemów z wytrzymałością lub błędami konstrukcyjnymi.

Gąsienice powstały ze sklejenia ze sobą starego paska napędowego oraz maty antypoślizgowej. Pasek pełni rolę napędową zatem jego zęby zawierają się

w zębatce koła napędowego. Mata jest zewnętrzną częścią gąsienicy i odpowiada za utrzymanie robota na powierzchni na której się znajduje niwelując poślizg. Pojedyncza gąsienica nałożona jest na dwa koła (przednie - naciągające i tyle napędowe). Dodatkowo po środku długości między kołami zastosowano jedno dodatkowe mniejsze koło mające na celu zabezpieczenie robota przed zbyt dużym naciągnięciem podczas przejeżdżania po nierównościach. Mniejsze koło pochodzi z popularnie stosowanych kółek do mebli, natomiast większe zostały zaprojektowane i wydrukowane w plastiku. Koło napędowe składa się z zębatego paska napędowego, bocznych wzmocnień i utrzymania paska w jednym miejscu, a także łożysk z obu stron koła. Całość zamontowana jest na pręcie gwintowanym o średnicy 8mm i skręcone nakrętkami o tej samej grubości z obu stron. Koło to zamontowane jest na plastikowym elemencie o możliwościach zmiany przesunięcia w poziomie za pomocą śruby 8mm o długości 100mm w celu regulacji naciągnięcia koła. Stopień regulacji naciągnięcia koła to 0-40mm co pozwala zarówno na swobodne zdjęcie gąsienicy lub maksymalne naciągnięcie jej. Koło napędowe jest wykonane w analogiczny sposób. Składa się z tak samo wydrukowanych elementów zębatego paska oraz bocznych wzmocnień jednak różnica polega w zamontowaniu koła. Z jednej strony znajduje się łożysko z drugiej aluminiowy krążek z otworem na wał napędowy silnika. Z drugiej znajduje się łożysko. Koło napędowe jest zamontowane w inny sposób niż naciągające. Ograniczone jest z obu stron płaskownikiem aluminiowym. Od strony łożyska przytwierdzone jest za pomocą wydrukowanego elementu z krótkim wałkiem. Od strony napędu opiera się na wale napędowym silnika.

Ramię robota składa się z podstawy wykonanej w oprogramowaniu Solid Works pełniąca rolę obrotową. W plastikowej podstawie rozmieszczone są łożyska z wieżą z silnikiem pierwszego przegubu. Ramię - składa się z 2 przegubów. Pierwszy odpowiada za zgięcie przy podstawie, drugi za zgięcie w połowie długości ramienia. Elementy te są wykonane z płaskowników aluminiowych i pojedynczych elementów drukowanych. Chwytnak - element całkowicie wykonany w technologii druku trójwymiarowego. Składa się z chwytaka o zmiennej rozwarości.

System elektryczny posiada dwa źródła zasilania w postaci akumulatorów żelowych 12V. Większy służy do zasilania silników i oświetlenia. Jego pojemność to 7200mAh. Zasilanie to jest przekazywane przez zestaw rezystorów 4.7Ω/25W do sterowników silników. Zastosowanie rezystorów ma za zadanie zmniejszenie przepływającego prądu podczas zablokowania lub awarii silnika (np. natrafienie na ścianę i próba dalszej jazdy w jej kierunku). Rezystory zamontowano na fragmencie płaskownika aluminiowego w celu rozproszenia ciepła przez nie oddawanego. Od rezystorów kable dochodzą do sterowników silników lub oświetlenia. Drugi z akumulatorów ma pojemność 2200mAh i ma za zadanie dostarczyć zasilanie do komputera robota i wszelkich sterowników. Jest w tym celu zmniejszane za pomocą wykonanego podczas realizacji tej pracy zasilacza impulsowego. W zasilaczu tym użyto układu LM2576 będącego układem stabilizatora impulsowego w wersji 5V. Do tego dochodzą 2 kondensa-

tory (100  $\mu$ F i 2000 $\mu$ F), cewka 22 $\mu$ H oraz dioda 1N5288. Całość generuje napięcie o zmierzonej wartości bez obciążenia na poziomie 4.88V. Napięcie to przekazywane jest do układu PandaBoard mikrokomputera oraz do płytki STM32 sterownika platformy. Zastosowanie zasilacza impulsowego miało na celu wyeliminowanie generowanego ciepła i strat energii z tym związanych w przypadku zastosowania klasycznych dzielników napięcia.

Do napędzania kół, jak również ramienia zakupiono silniki DC wraz z przekładniami ślimakowymi. Zastosowanie takich przekładni zostało podyktowane bezpieczeństwem. Mianowicie w przypadku zaniku zasilania klasyczne przekładnie pod wpływem działania sił grawitacji zmieniłyby swoje położenie i tym samym mogłyby doprowadzić do uszkodzenia ładunku, a co za tym idzie eksplozji lub innych niebezpieczeństw. Przekładnie ślimakowe z uwagi na duże opory ruchu od strony zewnętrznej po zaniku zasilania pozostają praktycznie w bezruchu i nie stwarzają niebezpieczeństwa wypuszczenia ładunku. Przekładnie zostały także zastosowane z uwagi na szybkość wykonywanych operacji oraz obciążenia jakim są poddawane. Tym sposobem koła napędowe podłączone są do przekładni o prędkości wyjściowej 100obr/min oraz wytrzymałości konstrukcji przekładni 10kg. Przekładnia obrotu wieży obraca się z prędkością 14obr/min jednak zastosowane zostało dodatkowe przełożenie 1:6 sprawiające, że obrót wieży o 180° zajmuje około 8s. Najwolniej porusza się przegub u podstawy ramienia. Porusza się z prędkością 6obr/min, ale za to ma największą wytrzymałość na przeciążenie (do 100kg). Jest to element najbardziej obciążony, gdyż podnosi obiekt znajdujący się ponad metr od jego wału napędowego, zatem musi dysponować odpowiednim momentem i udźwigiem co zapewnia zastosowana przekładnia. Przekładnia znajdująca się po środku ramienia porusza się z prędkością 14obr/min. Nie jest tak narażona na obciążenia jak poprzednia więc jest to jak najbardziej poprawne zastosowanie. Można by dojść do wniosku, że powinny być takie same, jednak należy wziąć dodatkowo pod uwagę, że silnik z przekładnią środkowego przegubu obciąża dodatkowo ten u podstawy zatem powinien być jak najlżejszy. Dodatkowo nie jest narażony na takie przeciążenia więc jego przekładnia może być mniejsza i poruszać się szybciej co zostanie wyrównane programowo. Chwytnak oparty jest o śrubę podłączoną do silnika i przekładni serwomechanizmu SG90. Serwomechanizm ten został tak zmodyfikowany, aby mógł wykonywać kilkukrotny obrót o 360°.

System wbudowany stanowi płyta PandaBoard, której rolą jest komunikacja Wi-Fi z konsolą jaką jest notebook, pobieranie po USB i udostępnianie konsoli obrazu z kamer, oraz komunikacja po łączu RS232 z sterownikiem ATMEGA8535. Sterownik ten ma na celu ustalenie na konkretnych podzespołach fizycznych wartości zadanych przez konsolę oraz zebranie aktualnych wartości czujników platformy. Podstawowymi elementami, którym steruje są silniki DC z przekładniami. Silniki te występują zarówno w ramieniu i zmieniają położenie przegubów jak i w napędzie do poruszania się platformą w terenie. Zadaniem sterownika jest ustawienie odpowiednich bitów na każdym z sterowników silników w celu ustalenia kierunku obrotu oraz wysłanie sygnału PWM o odpowied-

nim wypełnieniu w celu ustalenia szybkości obrotu. Każdy z silników jest wspierany o dodatkowe 2 elementy. Są to potencjometry, których zadaniem jest zamiana aktualnego kąta na danym przegubie (wartość fizyczna) na odpowiadające temu zgięciu napięcie i przesłanie do przetwornika analogowo-cyfrowego układu. Drugim elementem jest czujnik krańcowy, który zabezpiecza dany przegub przed osiągnięciem wartości maksymalnej (Zabezpieczenie przed zniszczeniem ramienia lub elektroniki). W momencie, kiedy zgięcie ramienia osiąga ustalony kąt, załączony zostaje przycisk wysyłający przerwanie do sterownika. Sterownik uzyskując taką informację blokuje dalsze zaginanie przegubu (jest to dodatkowy mechanizm zabezpieczający w przypadku awarii potencjometru).



*Rys. 1. Prototyp robota pirotechnicznego*

### **3. Drukowanie trójwymiarowe**

Podczas projektowania części mechanicznych korzystano z oprogramowania Solid Works. Wszelkie elementy wykonane w tym oprogramowaniu były szczegółowo planowane pod względem ergonomii i wytrzymałości. Gotowy model 3D był zapisywany do formatu STL. Taki plik jeśli posiada odpowiednie właściwości (budowa bryłowa, dodatnie wartości osi z) może zostać pocięty na tzw. warstwy dla drukarki 3D. W tym celu został zaimportowany do oprogramowania o nazwie Slicer. Po odpowiedniej konfiguracji parametrów takich jak szybkość wydruku, temperatura plastiku, wysokość warstwy i stopień wypełnienia bryły plastikiem można było wygenerować specjalny format dla drukarki tzw. gcode. Plik taki zawiera informacje dla drukarki 3D o tym jak ma się poruszać głowica drukująca podczas tworzenia tego elementu. Po wygenerowaniu tego pliku można go przenieść do oprogramowania zajmującego się komunikacją z drukarką Pronterface.

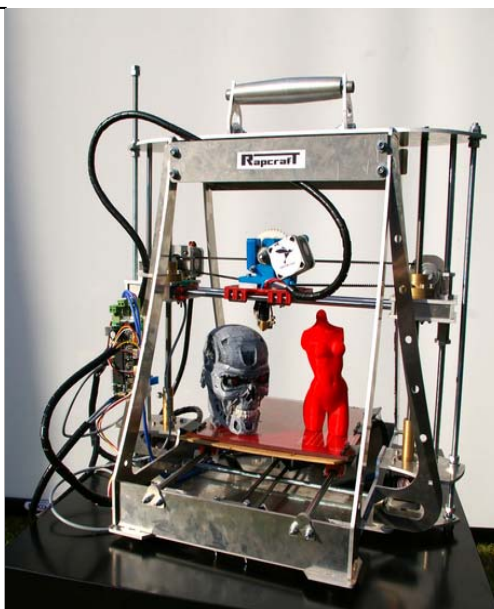
Druk zaczyna się od najniższej warstwy (z reguły wysokość warstwy to 0.2 do 0.4mm) na stole drukarki. Po jej skończeniu głowica podnosi się o taką samą

wysokość i drukowanie jest kontynuowane z tą różnicą, że tym razem powierzchnią na którą nakładana jest kolejna warstwa jest warstwa bezpośrednio ją poprzedzająca i tak aż do najwyższej położonego punktu drukowanego obiektu. Po zakończeniu drukowania głowica wraca do pozycji zerowej.

Głowica (mm): 0.25-0.6 mm  
Grubość warstwy (mm): 0.05 mm  
Prędkość (mm/s): standard  
150mm/s - 300mm/s  
Precyzja: 0.1 mm  
Drukuje w: ABS, HDPE, PLA,  
Ceramika, Czekolada  
Waga: 7.8 KG  
Zasilanie: 12V

Wymiary zewnętrzne:  
Szerokość: 44 cm  
Długość: 49 cm  
Wysokość (złożona rączka):  
46 cm

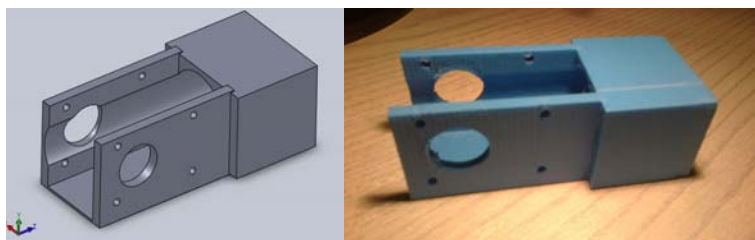
Pole wydruku  
Szerokość: 20 cm  
Długość: 20 cm



*Rys.2 .Drukarka 3D którą wykonano prototyp robota pirotechnicznego*

Jest to model produkcji polskiej wykonywany przez poznańską firmę. Bazuje na otwartym rozwiązaniu Rep Rap. W przypadku druku w plastiku mamy do czynienia z dwoma podstawowymi parametrami jakimi jest jakość/dokładność oraz czas wydruku gotowego elementu. Parametry te są do siebie odwrotnie proporcjonalne. Im szybciej pracuje drukarka tym jakość jest słabsza.

Oprogramowanie drukarki ma możliwość ograniczenia ilości zużytego plastiku. Najpierw drukuje ściany o grubości odpowiadającej ustawieniom w programie, a następnie przestrzeń wypełnia swego rodzaju kratownicą plastiku, dzięki czemu wewnątrz mamy tylko poprzecinane ze sobą linie które nakładają się na siebie wraz z każdą warstwą tworzą swego rodzaju rusztowanie na którym mogą oprzeć górną ścianę. Podobna technika stosowana jest do drukowania fragmentów modelu pod, którymi nie znajduje się żadna warstwa. W tym wypadku od samego podłoża drukowana jest taka warstwa, jednak w taki sposób, aby po zakończeniu można ją było łatwo oderwać. Dzięki takim zabiegom zmniejsza się ilość zużytego materiału. Oczywiście, jeżeli zależy nam na większej wytrzymałości i pełnym wypełnieniu obiektu to i takich ustawień możemy dokonać.



*Rys.3 Model i detal po wydrukowaniu*

#### **4. Podsumowanie**

Dzięki metodzie szybkiego prototypowania można ze stosunkowo niskim nakładem czasu i kosztów wykonać w warunkach domowych prototyp skomplikowanego robota pirotechnicznego. Prototyp ten o zbliżonych parametrach do docelowej maszyny w pełni wystarcza do całkowitego sprawdzenia i przetestowania algorytmów, oprogramowania, sterowników i komunikacji. Zrealizowany projekt programowo oraz konstrukcyjnie jest w stanie spełnić podstawowe wymagania stawiane w przetargach na tego typu urządzenia.

Do realizacji układu zaprojektowano 43 części oraz wprowadzono średnio dwie poprawki na każdą część. Sama konstrukcja mechaniczna wymagała około 70 godzin pracy drukarki trójwymiarowej. Elektronika układu została zrealizowana w czasie 40 godzin. Skomplikowane opracowanie oprogramowania w 3 różnych językach programowania na 3 różne platformy sprzętowe zajmował największą ilość czasu. Badania pozwoliły zoptymalizować metodę przesyłania obrazu z kamer oraz stworzenie komunikacji RS232 po stronie płyty Pandaboard. Rozwiązano również zadanie komunikacji Wi-Fi po stronie płyty Pandaboard.

Zrealizowany projekt jest dobrym punktem wyjścia do stworzenia nie tylko uniwersalnej architektury sterownej komputerowo ale również optymalizacją czasu i nakładów nad prototypowaniem urządzeń mechanicznych metodą wydruku 3D.

#### **LITERATURA**

- [1] CZURA K., KCIUK M.: Robot do zadań inspekcyjnych zdalnie sterowany przez Internet, *Wiadomości Elektrotechniczne* 09/2012, str. 56-58
- [2] FIJAŁKOWSKI P.: Robot pirotechniczny "obronił" studenta, <http://www.naukaipostep.pl/tag/prototyp/>
- [3] LENNON T.: Szybkie prototypowanie układów regulacji w systemach mechatronicznych, *Control Engineering* 04/2009, str. 60-66
- [4] MĘŻYK A.: Mechatronika w projektowaniu gąsienicowych pojazdów specjalnych, *Transport* 4/2010, str. 6-10