

mgr inż. Dominik Belter, mgr inż. Krzysztof Walas, dr hab. inż. Piotr Skrzypczyński
Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej

AUTONOMICZNY ROBOT SZEŚCIONOŻNY – ROZWÓJ KONSTRUKCJI I SYSTEMU STEROWANIA

Roboty kroczące są interesujące tak ze względów poznawczych jak i praktycznych, z powodu ich unikalnych możliwości lokomocyjnych oraz potencjalnych zastosowań w misjach ratowniczych, poszukiwawczych i rozpoznawczych odbywających się w terenie niedostępnym dla robotów kołowych. W niniejszej pracy poruszono zagadnienia związane z projektowaniem maszyny kroczącej w kontekście rozwoju istniejącej konstrukcji robota Ragno. Przedstawiono spostrzeżenia związane z działaniem układu mechanicznego oraz systemu sterowania. Wskazano niedostatki poprzednich rozwiązań oraz zaprezentowano sposoby, które pozwoliły na ich wyeliminowanie w nowym robocie.

AUTONOMOUS HEXAPOD ROBOT – DEVELOPMENT OF AN IMPROVED MECHANICAL DESIGN AND CONTROL SYSTEM

Walking machines are a very interesting class of mobile robots because of their unique locomotion capabilities in rough terrain. This high mobility makes a walking robot an attractive choice for search and rescue missions, in the areas unreachable for wheeled robots. This work describes a development of a new hexapod robot, based on the experiences from the development and use of the robot Ragno. The mechanical design and control architecture issues are characterised. The article shows also solutions to some problems encountered during the use of the earlier robot design.

1. WSTĘP

Konstruowanie urządzeń mechatronicznych jest procesem wieloetapowym. Prace badawczo-rozwojowe wymagają zbudowania kilku prototypów i testowania użytych rozwiązań. Każda iteracja pozwala na wprowadzenie nowych koncepcji technologicznych oraz udoskonalenie poprzednich projektów. Tak określony, wieloetapowy proces konstruowania zapewnia powstanie urządzenia w pełni spełniającego kryteria projektowe i zdolnego do wykonywania zdefiniowanych zadań [6].

Budowa robotów kroczących wymaga integracji wiedzy z zakresu wielu dziedzin techniki, w szczególności mechaniki, elektroniki i programowania. Ponadto przydatna jest znajomość zagadnień związanych z anatomią i fizjologią zwierząt poruszających się w zróżnicowanym środowisku. Stanowią one dobry wzór do naśladowania w projektach maszyn kroczących.

Implementacją rozwiązań opartych na wzorcach biologicznych jest robot Ragno, którego konstrukcja oraz sposób poruszania się naśladują owady sześcionożne. Badania nad chodem prowadzone przy wykorzystaniu robota Ragno [4] potwierdziły słuszność większości założeń projektowych, lecz także wskazały możliwości udoskonalenia niektórych rozwiązań. Doświadczenia te, a także potrzeba uzyskania nowych, rozszerzonych możliwości lokomocyjnych wynikająca z koncepcji zastosowania robota kroczącego w misjach patrolowych i poszukiwawczych [8], doprowadziły do powstania robota Messor, przedstawionego na rys. 1.

W pierwszej części artykułu zostały omówione zagadnienia dotyczące konstrukcji mechanicznej robota Messor, następnie przedstawiona została elektronika sterująca wraz z architek-

turą systemu sterowania. Dwa ostatnie punkty omawiają system sensoryczny robota, kanały transmisji danych i zadania komputera nadrzędnego.



Rys. 1. Roboty Messor (z prawej) i Ragno - konstrukcja mechaniczna

2. KONSTRUKCJA MECHANICZNA ROBOTA MESSOR

2.1. Doświadczenia z projektu robota Ragno wykorzystane w nowej konstrukcji

Robot Messor w pełni korzysta z rozwiązań, które sprawdziły się w poprzednim urządzeniu, którego strukturę kinematyczną i architekturę systemu sterowania przedstawiono w [10], a system rozproszonego sterowania serwonapędami opisano w [2]. Kilka szczegółów konstrukcyjnych robota wymagało jednak zmiany lub udoskonalenia.

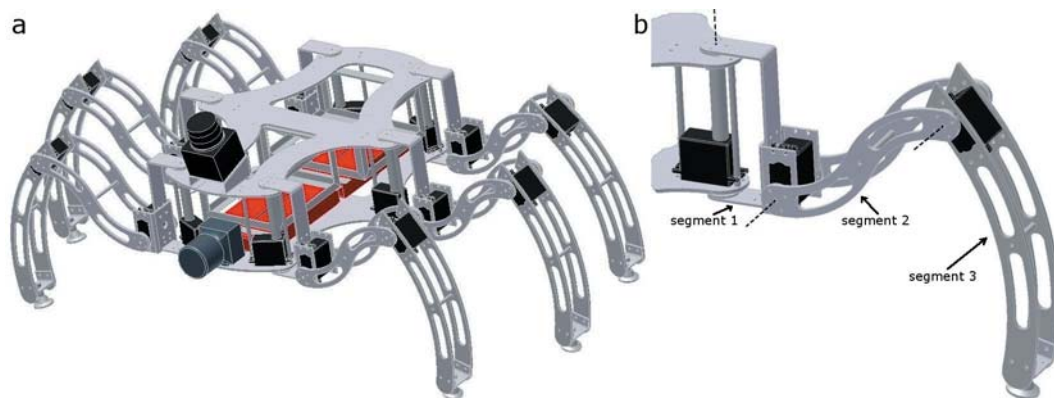
W nowym robocie wykorzystano dotychczasowy kształt korpusu, który pozwala na równomierne rozłożenie obciążenia na wszystkie nogi podczas chodu trójpodporowego. Natomiast sposób zamocowania napędów nóg robota został przeprojektowany zgodnie ze spostrzeżeniami uzyskanymi podczas prac badawczych. Wymiary robota „Ragno” uniemożliwiają mu pracę w otoczeniu człowieka, np. nie jest on w stanie pokonywać schodów. W związku z tym nowsza wersja urządzenia wymagała zwiększenia wymiarów geometrycznych nóg jak i korpusu. Wydłużenie kończyn wiąże się z potrzebą zastosowania napędów o większym momencie obrotowym. Sposób mocowania płytek drukowanych systemu sterowania jest kolejnym elementem konstrukcji, który należało udoskonalić. Wymogiem projektowym jest dostępność do obwodów drukowanych bez potrzeby rozkręcania konstrukcji nośnej robota. Ważną częścią składową systemu, którą należy udoskonalić jest czujnik kontaktu z podłożem.

Rozwiązania, które zostały przeniesione bez zmian nie będą omawiane w dalszej części rozdziałach. Uwaga zostanie skupiona na zmianach, które zostały wprowadzone do konstrukcji robota „Messor”.

2.2. Koncepcja budowy nóg robota

Wygląd nóg nowego robota została przedstawiona na rys. 2b. W stosunku do poprzedniej konstrukcji budowa pierwszej osi (licząc od korpusu) została zmieniona. W obecnej wersji urządzenia napęd został zamocowany do korpusu, a ruch obrotowy wykonuje wał napędowy, w przeciwieństwie do poprzedniej konstrukcji, gdzie poruszał się korpus silnika. Pozwoliło to na wyeliminowanie przemieszczeń elementów o dużej bezwładności i dużych wymiarach

geometrycznych. Dodatkowo wszystkie napędy zostały umieszczone w dolnej części korpusu robota co pozwala na obniżenie środka ciężkości całej konstrukcji. Wielkość segmentu 1 została przebadana ze względu na naprężenia i odkształcenia. Symulacja naprężeń została przedstawiona na rys. 3b. Znaczącą zmianą jest wyeliminowanie wszelkich możliwych przesunięć pomiędzy osiami obrotu nogi. Jest ona symetryczna. Wymiary geometryczne kończyny zostały zmienione i dostosowane do założeń projektowych zgodnie, z którymi robot powinien mieć możliwość wspinania się po schodach o wymiarach znormalizowanych. Graniczne wymiary schodów dla budynków budowanych w Polsce zostały opisane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [9]. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w tym dokumencie maksymalna wysokość stopnia wynosi 0,2 m. W związku z tym długość trzeciego segmentu nogi (licząc od korpusu) wynosi 0,2 m. Długość kolejnych segmentów drugiego i pierwszego wynika z proporcji nóg owadów, które przedstawiają się następująco 1:4:5 (segment 1: segment 2: segment 3) [11]. Wydłużona kończyna ma wymiary odpowiednio: segment 1 = 0,055 [m]; segment 2 = 0,16 m; segment 3 = 0,20 m. Tak skonstruowana noga wymaga zastosowania nowych napędów o większym momencie obrotowym. Zastosowane napędy to cyfrowe serwomotory firmy Hitec dedykowane do zastosowań robotycznych [7]. Ich moment obrotowy wynosi 2,94 Nm. Sposób sterowania tymi napędami został omówiony w kolejnym rozdziale.



Rys. 2. Konstrukcja mechaniczna a) całego robota b) nogi robota

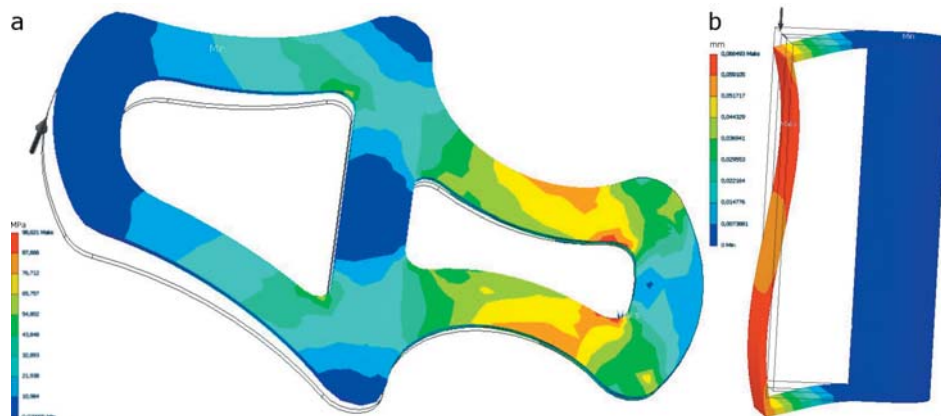
2.3. Koncepcja budowy korpusu robota

Korpus nowego robota przypomina poprzednie rozwiązanie jeśli chodzi o usytuowanie mocowań kończyn. Zostało to przedstawione na rys. 2a. Wspomnianym w poprzednim podrozdziale założeniem projektowym jest zdolność robota do pokonywania schodów. Z wyżej wymienionego rozporządzenia Ministra Infrastruktury wynika nie tylko wysokości stopnia h , ale także jego głębokość s . Jest ona obliczana ze wzoru $2 \cdot h + s =$ od 0,60 m do 0,65 m. Wybierając najgorszy przypadek, czyli stopień o wysokości $h = 0,20$ m i dolną wartość przedziału rozwiązania 0,60 m otrzymujemy głębokość stopnia $s = 0,20$ m. Znajomość głębokości stopnia wykorzystana w badaniach nad wspinaniem się robota po schodach pozwoliła na określenie wymiarów jego korpusu. Wymagane jest, aby jednocześnie na jednym stopniu mogły znajdować się dwie pary kończyn. Dodatkowo wymagany jest zapas przestrzeni roboczej około 0,01 m pozwalający na przesunięcie środkowej pary kończyn poza środek ciężkości, co pozwala na uniesienie pary tylnej i wstawienie na kolejny stopień. Wymogi te pozwoliły na określenie odległości czoła robota od jego geometrycznego środka. Odległość ta wynosi 0,19 m. Podczas budowy korpusu wykorzystano narzędzie do badania naprężeń. Pozwoliło to

na nadanie kadłubowi odpowiedniego kształtu minimalizującego naprężenia. Wyniki symulacji zostały zamieszczone na rys. 3a.

Kolejnym nowym rozwiązaniem było wykonanie specjalnego przedziału na elektronikę sterującą robotem. Głównym założeniem projektowym była łatwość dostępu do układu elektronicznego. W celu jego spełnienia, zostały zaprojektowane specjalne prostopadłościany w których została umieszczona elektronika. Po odkręceniu kilku wkrętów możliwe jest wysunięcie całego takiego przedziału poza korpus robota i swobodny dostęp do komponentów elektronicznych.

W porównaniu z poprzednią konstrukcją nowy robot charakteryzuje się rozbudowanym zestawem sensorów zewnętrznych. Jednym z nich jest miniaturowy skaner laserowy. Jego umieszczenie wymagało zaprojektowania podstawy, zapewniającej odpowiednie nachylenie płaszczyzny skanowania względem korpusu robota. Podstawa ta jest elementem łatwo wymiennym, co umożliwi badanie różnych konfiguracji geometrycznych układu pomiarowego.



Rys. 3. Symulacja a) naprężeń korpusu b) odkształceń segmentu 1 nogi robota

3. ELEKTRONIKA STERUJĄCA ROBOTEM – SYSTEM STEROWANIA

Znaczącym usprawnieniem uległ system sterowania nowego robota. W pracach projektowych kierowano się doświadczeniem zdobytym podczas budowy elektroniki pokładowej robota Ragno.

3.1. Architektura logiczna systemu sterowania

W przypadku robota Ragno system sterowania jest oparty o strukturę hierarchiczną. Najniższe warstwy wykonują rozkazy przesyłane z warstw umieszczonych wyżej w systemie. W nowym robocie zachowano tę architekturę jednocześnie kładąc większy nacisk na modułowość systemu. Architektura systemu sterowania została przedstawiona na rys. 4a.

Warstwa 1

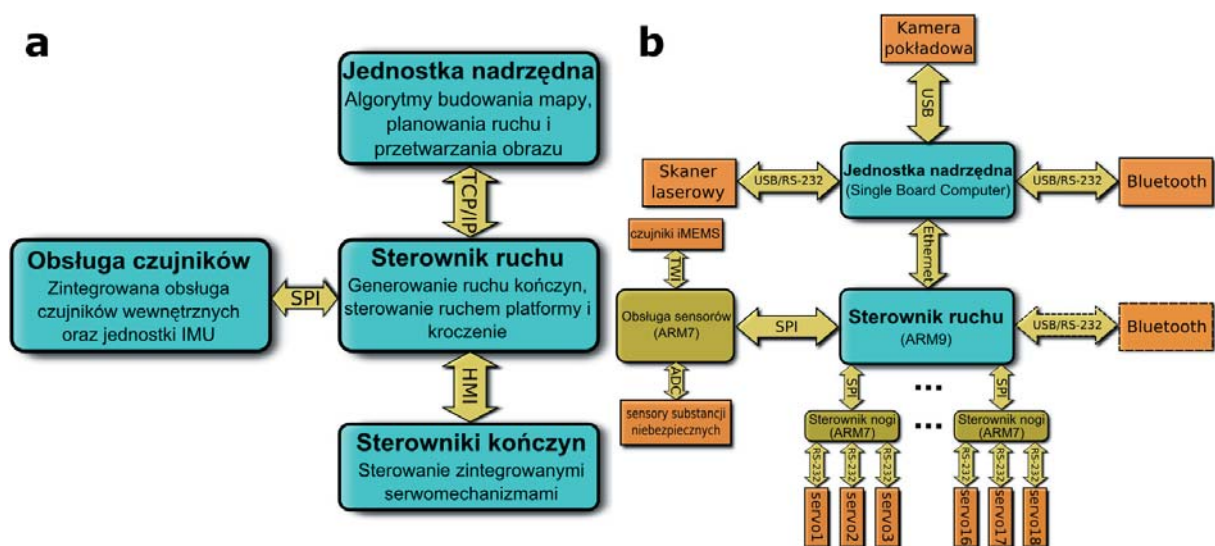
Zadaniem pierwszej, najwyższej w hierarchii warstwy jest budowanie mapy i planowanie ruchu robota. Ze względu na możliwości obliczeniowe w tej warstwie powinny zostać umieszczone algorytmy przetwarzania obrazu oraz danych z takich sensorów jak skaner laserowy. Wynikiem działania algorytmów w tej warstwie są rozkazy sterujące ruchem robota. Mogą one dotyczyć zadanego ruchu kończyn, platformy robota lub wykonania ruchu przy użyciu odpowiedniego trybu kroczenia. W każdej chwili jednostka nadrzędna może wysłać zapytania do warstwy niższej w celu uzyskania informacji o aktualnym stanie robota.

Warstwa 2

Zadaniem kolejnej warstwy jest sterowanie ruchem robota. Obliczanie wartości zadanych dla serwomechanizmów, a w efekcie generowanie zadanej trajektorii stopy, wymaga wielu operacji matematycznych. Zadaniem algorytmów w tej warstwie jest obliczanie wartości zadanych dla serwomechanizmów umieszczonych w węzłach kinematycznych kończyn robota w oparciu o jego model kinematyczny i wartości zadane przychodzące z warstwy wyższej. W każdej chwili algorytmy umieszczone w tej warstwie mogą posiłkować się danymi sensorycznymi, dotyczącymi głównie stanu wewnętrznego robota, w celu właściwego i bezpiecznego wykonania zadania.

Warstwa 3

Ostatnia warstwa składa się z dwóch równoważnych sobie modułów. W jej skład wchodzi sterowniki kończyn oraz moduł obsługi czujników. Oba moduły pracują niezależnie i wykonują rozkazy warstwy wyższej. Zadaniem pierwszego z nich - modułu obsługi czujników jest zbieranie danych z sensorów wewnętrznych, w tym z inercyjnej jednostki do pomiaru pozycji (ang. *Inertial Measurement Unit*) oraz z sensorów zewnętrznych do pomiaru stężenia substancji niebezpiecznych. Zadaniem drugiego modułu, w skład którego wchodzi sterowniki kończyn jest dystrybucja wartości zadanych dla zintegrowanych serwomechanizmów. W tym module odbywa się również obsługa czujników związanych ze stanem kończyny takich jak czujniki kąta w węzłach kinematycznych, czujniki prądu oraz siły nacisku stopy na podłoże.



Rys. 4. Architektura systemu sterowania (a) i pokładowy system sterowania robotem (b)

3.2. Pokładowy system sterowania robotem

W przypadku nowego robota warstwy systemu sterowania są fizycznie rozdzielone. Każdej z nich odpowiada jeden zintegrowany i samodzielny układ elektroniczny. Rozwój w dziedzinie miniaturyzacji jednostek obliczeniowych pozwolił na umieszczenie wszystkich modułów na pokładzie robota. Poprzedni robot posiadał podobną architekturę sterowania jednak sprzętowo kilka warstw znajdowało się na tej samej fizycznej jednostce. Warstwy pierwsza i w znacznej części warstwa druga były umieszczone na komputerze stacjonarnym [10].

W nowym robocie poszczególne elementy danych warstw sterowania zostały podzielone na mniejsze moduły. Dzięki temu łatwiejsza staje się wymiana poszczególnych z nich, w przy-

padku uszkodzenia lub pojawienia się nowszych, sprawniejszych rozwiązań. Nie wymaga to konstruowania nowego układu elektronicznego, konieczna jest jedynie wymiana poszczególnych komponentów. Nacisk postawiono również na elastyczność rozbudowy o nowe moduły. W każdej chwili możliwe jest poszerzenie funkcjonalności robota i podłączenie nowych jednostek spełniających odpowiednie zadania. Przy budowaniu nowych modułów konieczne jest zachowanie pewnych ustalonych interfejsów wymiany danych. Niestety kosztem modułowej architektury jest większe zużycie przestrzeni na pokładzie robota oraz większa masa całego robota, co z kolei skutkuje większym zużyciem prądu.

W przypadku nowego robota logiczna architektura sterowania ma bezpośrednie odzwierciedlenie w strukturze sprzętowej pokładowego systemu sterowania. Warstwie pierwszej odpowiada komputer pokładowy klasy PC. Rolę tę pełnił będzie komputer PICO 820 z procesorem Intel Atom. Za zadania związane z warstwą drugą odpowiada mikrokontroler z procesorem EP9302 [5]. Jest to układ z rdzeniem ARM9 pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. W skład trzeciej warstwy wchodzi siedem układów – sześć sterowników kończyn i moduł obsługi czujników. Wszystkie wykorzystują procesory oparte na architekturze ARM7 – AT91SAM7S256 [1]. Schemat pokładowego systemu sterowania został przedstawiony na rys. 4a.

Głównym problemem przed jakim stoją projektanci układów sterowania robotów wielonożnych jest zapewnienie minimalnych opóźnień pomiędzy wysterowaniem poszczególnych napędów. W przypadku robota Ragno, mimo stosunkowo niewielkich nakładów finansowych i zastosowaniu prostych procesorów ośmiobitowych uzyskano dużą szybkość działania systemu sterowania. Efekt ten udało się osiągnąć dzięki zastosowaniu kilku prostych procesorów połączonych w gwiazdę. W ten sposób większość operacji wymaganych do sterowania sprzętem jest wykonywana w tym samym czasie i napędy sterowane są z minimalnym opóźnieniem. Do tak sprawnego działania systemu konieczny jest bardzo szybki i niezawodny system komunikacji pomiędzy procesorami. W tym celu wykorzystano interfejs SPI (ang. *Serial Peripheral Interface*). Podobna struktura została użyta w nowym systemie, co pozwoliło zachować korzystną szybkość działania.

Mikroprocesory AVR znajdujące się na pokładzie robota Ragno są wyposażone w odpowiednie peryferia - liczniki, przetworniki analogowo cyfrowe, co zapewnia dobrą współpracę z pozostałymi układami elektronicznymi. Zdolność obliczeniowa tych procesorów pozwala jednak na wykonywanie tylko prostych operacji. Bardziej skomplikowane obliczenia mogą spowodować opóźnienia w wykonywaniu rozkazów przychodzących z wyższej warstwy, co jest niedopuszczalne z punktu widzenia kryterium pracy w czasie rzeczywistym. Aby umożliwić dokonywanie obliczeń już na poziomie warstw sterujących sprzętem w nowej konstrukcji zastosowano szybsze procesory AT91SAM7S256. Umożliwiają one dokonywanie stosunkowo szybkich operacji na liczbach zmiennoprzecinkowych, a jednocześnie doskonale współpracują ze sprzętem dzięki rozbudowanemu peryferiom.

3.3. Moduł obsługi czujników

W przypadku nowego robota wydzielono osobną jednostkę do obsługi czujników. Pozwoliło to na odciążenie procesora spełniającego zadania sterowania ruchem robota. Jednostka obsługi sensorów pracuje niezależnie od pozostałych modułów. Cyklicznie gromadzi dane pomiarowe i jest gotowa w każdej chwili odpowiedzieć na pytanie o stan czujników, które zostanie wysłane przez jednostkę sterowania ruchem.

Tymczasem w robocie Ragno obsługą czujników zajmuje się główny procesorem umieszczonym na pokładzie - układ ATmega128. Dodatkowo wykonuje on takie zadania jak koordyna-

cja pracy sterowników kończyn i pośredniczenie w wymianie danych pomiędzy komputerem nadrzędnym. Tak duże obciążenie tego procesora nie gwarantuje jego wydajnej pracy w każdych warunkach.

3.4. Sterowniki ruchu kończyn

Sterowniki ruchu kończyn nowego robota pracują analogicznie jak w robocie Ragno. Zmianie uległy serwomechanizmy generujące ruch kończyn. W wyniku tego zmodyfikowany został również system sterowania tymi napędami. W systemie sterowania robotem Ragno przesłanie wartości zadanej do serwomechanizmów polega na wysłaniu impulsów o odpowiednim czasie trwania, powtarzanych 50 razy na sekundę. W nowym robocie wykorzystano serwomechanizmy z interfejsem cyfrowym. Dane do serwomechanizmu przesyłane są przy użyciu protokołu Hitec HMI. Wysyłanie rozkazów sprowadza się do odpowiedniego wykorzystania standardowego portu RS-232. Dodatkowo możliwe jest modyfikowanie parametrów regulatorów znajdujących się w serwomechanizmie, zmiana prędkości ruchu oraz odczytanie aktualnego kąta w stawie. W praktyce możliwe jest wysyłanie ponad 300 rozkazów w czasie jednej sekundy, co jest znaczącą poprawą w stosunku do poprzedniej konstrukcji, która pozwalała na zmianę wartości zadanej 50 razy na sekundę i umożliwia jedynie odczytanie stanu serwomechanizmu przy użyciu dodatkowego sprzężenia potencjometrycznego związanego z wałem silnika.

3.5. Sterownik ruchu

Niezwykle ważnym zadaniem w sterowaniu robotem krocącym jest wyznaczenie wartości zadanych dla serwomechanizmów i koordynowanie pracą wszystkich kończyn, tak aby zapewnić realizację odpowiednich zadań. W nowej konstrukcji wyznaczono osobną jednostkę do wypełnienia tego zadania. Do tego celu przeznaczony został układ z procesorem ARM9. Procesor ten jest dodatkowo wyposażony w koprocesor matematyczny przyspieszający operacje na liczbach zmiennoprzecinkowych. Ma to ogromny wpływ na szybkość działania ponieważ moduł ten spełnia swoje zadanie wykonując operacje matematyczne na macierzach jednorodnych [3]. Dodatkowo procesor ten jest wyposażony w dwa porty RS-232, USB i obsługę SPI, co ułatwia pracę ze sprzętem i komunikację z innymi warstwami systemu sterowania. Z jednoukładowym komputerem nadrzędnym (ang. *Single Board Computer*) moduł ten komunikuje się przy użyciu sieci lokalnej i protokołu TCP/IP.

4. SYSTEM SENSORYCZNY ROBOTA

W stosunku do robota Ragno system sensoryczny robota Messor został w znacznym stopniu rozbudowany. Istniejące czujniki zostały wymienione na czujniki wyższej klasy, ponadto dodano nowe zwiększające funkcjonalność robota.

Robot Ragno został wyposażony w styczniki umieszczone w stopach. Dzięki nim możliwe jest wykrycie kontaktu stopy z podłożem. Niestety takie rozwiązanie nie sprawdza się na podłożu sypkim jak piasek lub przy zbyt dużym kącie natarcia stopy. Ponadto trzpień stycznika wystaje nieznacznie poza obrys stopy co przy poruszaniu np. po wykładzinach może skutkować zaczepieniem stycznika o strukturę podłoża. Korzystając z tych spostrzeżeń w nowym robocie zamontowano stopę z rezystancyjnym czujnikiem nacisku. Takie rozwiązanie nie tylko umożliwia wykrywanie kontaktu stopy z podłożem ale również pozwala zmierzyć jej siłę nacisku.

Dodatkowo, aby estymować siłę wywieraną przez kończynę na podłoże, w każdym węźle kinematycznym mierzona jest wartość prądu. Pozwala to na oszacowanie momentu wytwarzanego przez każdy napęd oraz estymację siły wywieranej na podłoże.

W nowej konstrukcji, podobnie jak w przypadku robota Ragno, możliwy jest pomiar wartości kąta w stawie. W poprzedniej konstrukcji informacja pomiarowa w postaci sygnału analogowego jest przesyłana od złącza do platformy, a przez to narażona jest na duże zakłócenia. W nowym robocie pomiar dokonywany jest wewnątrz serwonapędu, a informacja pomiarowa przesyłana jest cyfrowo.

Nowy robot wyposażony został w zintegrowaną jednostkę IMU do pomiaru orientacji platformy robota w przestrzeni. W jej skład wchodzi trzy żyroskopy i trzy akcelerometry wykonane w technologii iMEMS. Do obsługi tej jednostki został przeznaczony osobny mikrokontroler co zapewnia większą szybkość działania i dokładniejszy pomiar ze względu na możliwość całkowania wyników pomiarowych z większą częstotliwością.

Umieszczony na pokładzie robota moduł obsługi sensorów umożliwia zamontowanie czujników substancji niebezpiecznych i wykorzystanie robota w misjach monitorujących poziom skażenia. Czujniki mogą być wymieniane w zależności od zadania jakie ma spełniać robot. Istnieje możliwość podłączenia czujników rezystancyjnych lub z wyjściem napięciowym.

Robot Ragno jest wyposażony w kamerę z zaimplementowanym protokołem IP, przesyłającą obraz do komputera nadrzędnego przy użyciu kanału bezprzewodowego. Wadą tego rozwiązania jest opóźnienie powstające podczas przesyłania obrazu. Ponieważ w nowym robocie komputer nadrzędny znajduje się na pokładzie, nie ma potrzeby przesyłania obrazu na duże odległości, a jego przetwarzanie może odbywać się bez opóźnień. Z tego powodu na pokładzie zostanie umieszczona kamera z interfejsem USB. Dodatkowo przewidziano wyposażenie nowego robota w miniaturowy skaner laserowy Hokuyo URG-04LX.

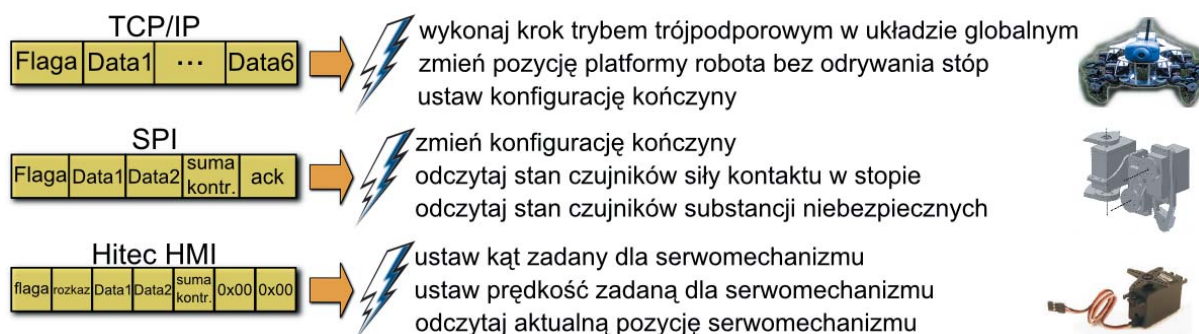
5. KANAŁY TRANSMISJI DANYCH

W nowym robocie występują trzy główne kanały transmisji danych:

- Ethernet – przesyłanie danych pomiędzy komputerem nadrzędnym i sterownikiem ruchu
- SPI – wymiana danych pomiędzy sterownikiem ruchu, a sterownikami kończyn i modułem obsługi czujników
- Hitec HMI – protokół obsługi serwomechanizmów

Dodatkowymi, opcjonalnymi kanałami transmisji są IEEE 802.11 do przesyłania obrazu z pokładu robota do stanowiska teleoperatora oraz Bluetooth przeznaczony do wysyłania rozkazów do sterownika ruchu z pominięciem najwyższej warstwy sterowania.

Ramki danych przesyłane w poszczególnych kanałach transmisji i przykładowe rozkazy zostały przedstawione na rys. 5.



Rys. 5. Ramki danych i przykładowe rozkazy dotyczące trzech głównych kanałów transmisji

Sterownik ruchu oraz komputer nadrzędny robota Messor pracują w architekturze klient-serwer. Sterownik ruchu pracuje jako serwer i oczekuje na rozkazy z komputera nadrzędnego. Ramka składa się z flagi i sześciu pól typu float zawierających odpowiednie dane w zależności od rozkazu. Rozkazy wysyłane tym kanałem dotyczą całego robota, sensorów wewnętrznych i zewnętrznych, jego ruchu w układzie globalnym i interakcji z otoczeniem.

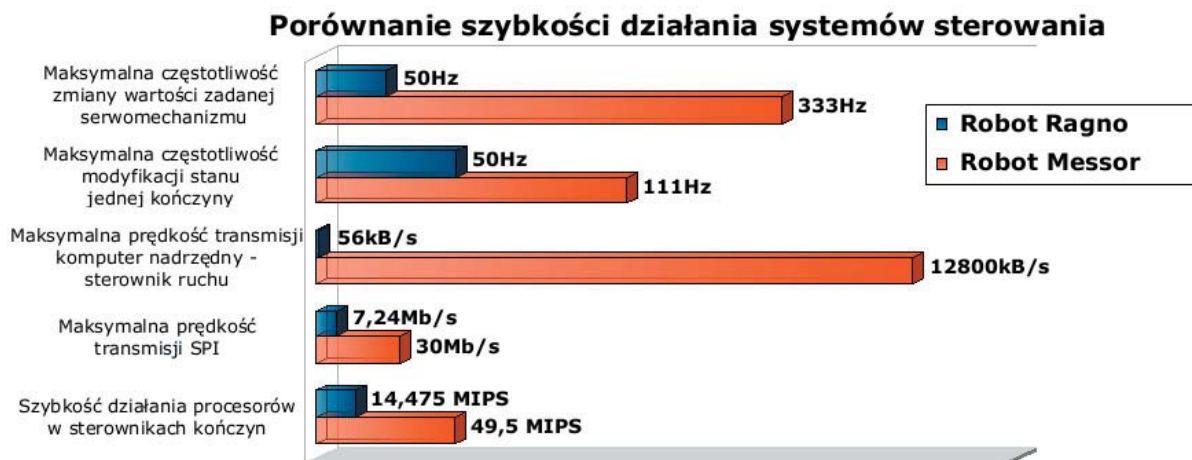
Interfejs SPI jest wykorzystywany w komunikacji pomiędzy jednostką sterującą ruchem, a sterownikami kończyn i modułem obsługi czujników. Komunikacja odbywa się jednocześnie w obu kierunkach i jest nadzorowana przez sterownik ruchu. Do ramki dodano dwa dodatkowe bajty – sumę kontrolną i bajt potwierdzający poprawność otrzymanych danych. W przypadku błędu transmisji ramka jest wysyłana ponownie. Rozkazy przesyłane przy użyciu tego kanału dotyczą sterowania pojedynczą kończyną i czujników wewnętrznych.

Trzeci kanał transmisji danych został zdefiniowany przez producenta serwomechanizmów. Umożliwia przesyłanie rozkazów związanych z zadaną pozycją i nastaw regulatorów. Możliwe jest również odczytywanie aktualnego stanu systemu sterowania i napędu. Dane wysyłane tym kanałem dotyczą pojedynczego serwomechanizmu.

6. PODSUMOWANIE

W projekcie mechaniki robota Messor w stosunku do poprzedniej konstrukcji znacznie zostały zwiększone wymiary geometryczne korpusu jak i nóg robota. Przeskalowanie było możliwe dzięki zastosowaniu napędów o dużym momencie obrotowym. Polepszeniu uległa także sztywność robota, która znacząco wpływa na powtarzalność ruchów. Cechę tę osiągnięto poprzez zbudowanie poszczególnych segmentów z dwóch analogicznych elementów symetrycznie oddalonych od osi podłużnej danego komponentu.

Zastosowanie opisanych rozwiązań dotyczących systemu sterowania pozwoliło znacząco zwiększyć jego szybkość. Na rys. 3 zestawiono porównanie szybkości działania obu konstrukcji. Pierwsze dwa przykłady dotyczą szybkości sterowania pojedynczym serwomechanizmem i całą kończyną. Gdy rozważane jest sterowanie pojedynczym serwomechanizmem nowy robot jest ponad 6 razy szybszy. W sytuacji wymagającej przesłania wartości zadanych do wszystkich napędów szybkość systemu sterowania nowego robota spada trzykrotnie, tymczasem robot Ragno zachowuje swoją szybkość. Mimo gorszej skalowalności rozwiązania zastosowane w nowym robocie są ponad dwukrotnie szybsze.



Rys. 6. Porównanie wydajności robota Ragno z nową konstrukcją

Zdecydowanej poprawie uległa szybkość transmisji pomiędzy komputerem nadrzędnym, a sterownikiem ruchu. W przypadku robota Ragno była ona zrealizowana przy użyciu kanału Bluetooth. Mimo że szybkość transmisji jest wystarczająca i pozwala na przesyłanie około 10 pakietów zawierających rozkazy dla robota i informacje zwrotne o jego stanie, to prędkość tej komunikacji maleje wraz ze wzrostem odległości pomiędzy robotem, a komputerem nadrzędnym. Połączenie przewodowe w nowym robocie nie tylko jest pewniejsze w działaniu ale także pozwala na przesyłanie dwustukrotnie większej liczby informacji, a zatem otwiera nowe możliwości w zakresie sterowania robotem w czasie rzeczywistym z uwzględnieniem stanów dynamicznych.

W przypadku komunikacji SPI nowy robot jest dwukrotnie wolniejszy. Ograniczenie wprowadza procesor EP9302. Ze spadku prędkości nie wynika wolniejsze działanie systemu sterowania. Maksymalna możliwa prędkość nie jest wykorzystywana i w praktyce została ona dodatkowo spowolniona tak aby uzyskać większą pewność działania.

Porównano też maksymalną liczbę operacji jaką mogą wykonać procesory zastosowane w sterownikach kończyn. Widoczna jest znacząca poprawa szybkości działania i większe możliwości obliczeniowe zastosowanego sprzętu i użytych rozwiązań. Pewną niedogodnością w działaniu nowego robota jest czas rozruchu. Na pokładzie znajdują się układy pracujące pod kontrolą systemu operacyjnego, dlatego włączeniu zasilania należy odczekać kilkanaście sekund na start systemu. Poprzednia konstrukcja była gotowa do działania natychmiast po załączeniu zasilania.

PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008 – 2010 w ramach projektu badawczego N514 294635.

LITERATURA

- [1] AT91SAM 32-bit ARM-based Microcontrollers, www.atmel.com
- [2] D. Belter, K. Walas, A. Kasiński, Distributed control system of DC servomotors for six legged walking robot, Proceedings Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008, 2008, s. 1044 – 1049.
- [3] D. Belter, System sterowania ruchem sześcionożnego robota kroczącego, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektronika z. 166 „Problemy robotyki” (red. K. Tchoń, C. Zieliński), tom 2, 2008, s. 565 – 574.
- [4] D. Belter, A. Kasiński, P. Skrzypczyński, Evolving Feasible Gaits for a Hexapod Robot by Reducing the Space of Possible Solutions, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, Nice, 2008, s. 2673 – 2678.
- [5] EP9302, High-Performance, Networked, ARM9, System-on-Chip Processor, www.cirrus.com
- [6] B. Heimann, W. Gerth, K. Popp, Mechatronika. Komponenty, metody, przykłady. Warszawa, PWN 2001.
- [7] HSR-5990TG – Robotics servo, www.hitecrod.com
- [8] D. Puchan, P. Skrzypczyński, Perspektywy wykorzystania robotów mobilnych w działaniach poszukiwawczych podczas katastrof budowlanych, Pomiary Automatyka Robotyka, nr 2, 2008, s. 398 – 409.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury, z dnia 12 kwietnia 2002 r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
- [10] K. Walas, D. Belter, A. Kasiński, Control and Environment Sensing System for a Six-Legged Robot, Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, vol 2, No 3 2008 s. 26 – 31.
- [11] T. Zielińska, Maszyny kroczące. Podstawy, projektowanie, sterowanie i wzorce biologiczne. Warszawa, PWN 2003.