

dr inż. Krzysztof Mianowski  
ITLiMS Politechnika Warszawska,  
prof. Karsten Berns, Norbert Schmitz  
Dept. Of Computer Science, Robotics Group,  
University of Kaiserslautern, Niemcy

## **ROBOT ANDROIDALNY ROMAN WYRAŻAJĄCY EMOCJE**

*Od zarania ludzkości ludzie interesowali się podobieństwem między organizmami żywymi i budowanymi przez siebie różnymi mechanizmami i maszynami. Współczesny rozwój robotów usługowych i tzw. robotyki serwisowej pokazuje wzmożone zainteresowanie tzw. robotami personalnymi. Roboty takie pomagają w codziennej obsłudze osób niepełnosprawnych i w podeszłym wieku, jak też mogą być wykorzystane w celach zabawowych. Przewiduje się, że roboty serwisowe będą z czasem coraz bardziej podobne do ludzi i będą mogły komunikować się z nimi w sposób naturalny dla człowieka. Należy zaznaczyć, że komunikacja międzyludzka polega nie tylko na rozmowie, ale jest związana z przekazem informacji ruchami ciała i np. skóry twarzy, przez co człowiek wyraża różnorodne emocje. W tym artykule autorzy przedstawiają wstępną wersję humanoidalnego robota ROMAN z głową wyposażoną w sztuczne oczy i sztuczną skórę twarzy, umocowaną z użyciem odpowiednio zaprojektowanego mechanizmu szyi na tułowi zawierającym komputer sterujący. Aktualny stan realizacji projektu zawiera złożony układ sensoryczny współpracujący z systemem wyrażania emocji.*

### **ANDROIDAL ROBOT ROMAN EXPRESSED EMOTIONS**

*Future service robots will more and more be able to communicate with humans in a natural way. The communication between humans is not only based on speech in fact movements and emotions are very important. The expression of those emotions is a combination of neck, eyes and skin movements. Therefore the paper presents the construction of the humanoid robot head ROMAN with artificial eyes and neck. The head includes actuators, sensors and mechanical parts which are all integrated into the head. The currents design enable the robot to include a complex sensors system and a complete emotional system. The artificial skeleton consists of the entire head and the lower jaw which are attached to the main plates together with the servo motors. The silicon skin is glued to the skeleton and can be moved with the help of 8 small metal plates which are connected to the servo motors with cables.*

## **1. WSTĘP**

Od dawien dawna ludzie interesowali się podobieństwem między organizmami żywymi i budowanymi przez siebie różnymi mechanizmami i maszynami. Już Arystoteles powiedział: „zarówno cały organizm ludzki, jak i jego poszczególne organy zostały stworzone dla określonych celów, tj. w celu wypełniania określonych funkcji”. Warto zauważyć, że klasyfikacja funkcjonalna narządów organizmu jest bardziej zgodna z ujęciem cybernetycznym niż z klasyfikacją anatomiczną [11]. Należy podkreślić, że różne właściwości kończyn kręgowców są wykorzystywane w rozwiązaniach manipulatorów robotów. Jedną z najbardziej interesujących koncepcji zaobserwował Wiener: zarówno w inżynierii, jak i w biologii jest wykorzystywane prawo minimalnego zużycia energii, na przykład w konstrukcji manipulatorów stosuje się odciążające układy sprężyn, podobnie u człowieka tonus mięśniowy w połączeniu ze sprężystością ścięgien zapewnia stabilizację i stan równowagi statycznej przy jedynie niewielkim wysiłku. Aktualna jak

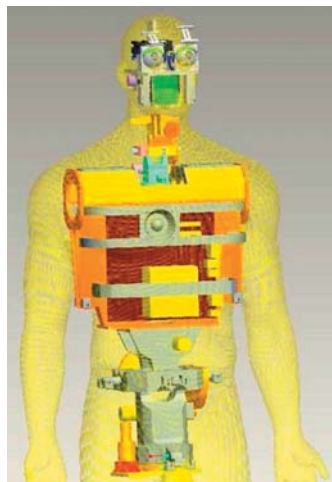
i przyszła inżynieria potrzebuje koncepcji układów mechanicznych, w których maszyny współpracują z otoczeniem nie tylko poprzez sprzężenia energetyczne ale też poprzez sprzężenia sygnałowe (z wykorzystaniem różnego rodzaju sensorów). Układy sensoryczne maszyn służące do zbierania sygnałów z otoczenia są odpowiednikami zmysłów zwierząt i człowieka – receptorów, natomiast układami wykonawczymi są różnego rodzaju efektory (silniki i siłowniki z przekładniami i układami transmisyjnymi wywołującymi np. ruch ramion manipulatorów lub zapewniającymi pracę użyteczną maszyny.

Pewne problemy podstawowe związane z odtwarzaniem funkcji organizmów żywych w projektowaniu i budowie robotów podejmowane są w biomechanice i cybernetyce. Należy zaznaczyć, że biomechanika zajmuje się rozważaniami nad sposobami poruszania się i mechanizmami rządzącymi ruchem ze szczególnym uwzględnieniem człowieka. Korzystając z bardzo prostych modeli biocybernetycznych, możliwym jest tworzenie urządzeń mechanicznych podobnych do człowieka, nie tylko z geometrycznego punktu widzenia, ale również z uwzględnieniem wybranych charakterystyk funkcjonalnych. Modele takie mogą imitować pewne zachowania i wybrane funkcje człowieka (np. życiowe) i jego ciała, tj. rąk, nóg, głowy (zmysłów czy umysłu) i z wykorzystaniem sztucznych receptorów mogą pozyskiwać informację z otoczenia dla wykonywania czy obsługi pewnych zadań w sposób podobny jak czyni to człowiek.

Najnowsze osiągnięcia w obszarze tzw. robotyki serwisowej pokazują niezwykle dynamiczny wzrost zainteresowania tzw. robotami osobistymi. Roboty takie zostały przede wszystkim przewidziane do pomocy w obsłudze wybranych codziennych czynności (np. automatyczny odkurzaczy) czy np. jako automatyczne zabawki (piesek AIBO) oraz w wielu innych zastosowaniach (np. roboty stosowane w medycynie). Korzystnym jest aby obsługa robota była prosta a sposób komunikacji z nim jak najbardziej intuicyjny, np. aby robot posiadał możliwości komunikacji z człowiekiem w sposób naturalny, właściwy dla człowieka. Należy tutaj wyraźnie zaznaczyć, że współczesny rozwój elektroniki i układów sensorycznych oraz techniki komputerowej i oprogramowania w pełni zapewnia możliwość tworzenia takich robotów. Najprostszym i najbardziej rozpowszechnionym sposobem komunikacji człowieka z robotem jest sterowanie robotem przez podawanie instrukcji wpisywanych w kolejne linijki programu i ich realizacja instrukcją „execute”. Z kolei roboty-telemanipulatory stosowane w chirurgii wyposażone w karty rozpoznawania dźwięków i analizatory mowy oraz programy logiczne i programy generowania mowy i syntezatory mowy są z powodzeniem sterowane głosem lekarza-operatora obsługując kamery endowizyjne w małoinwazyjnych operacjach wideochirurgicznych. Jednak komunikacja między ludźmi jest oparta nie tylko na komunikacji werbalnej wypowiedzianych słów, czy mowy pisanej. Od najdawniejszych czasów w komunikacji międzyludzkiej bardzo ważną rolę odgrywają gesty, mimika twarzy i ruchy ciała. Większości współczesnych robotów brak możliwości komunikacji z człowiekiem w sposób naturalny. Nawet roboty humanoidalne HONDA czy ASIMO nie mają możliwości wyrażania emocji, gdyż ich konstruktorzy tego nie przewidzieli. Warto zaznaczyć, że w robotach humanoidalnych proste ruchy szyi, oczu i górnej części tułowia mogą odegrać bardzo istotny czynnik komunikacji pozawerbalnej.

Rozwiązanie poruszających się oczu zaprezentowane w [1] nie zapewnia precyzyjnego pozycjonowania sztucznych gałek ocznych, gdyż zastosowane linki nylonowe są rozciągliwe a ich tarcie w układach prowadzących jest bardzo duże. Bezpośrednie połączenie z przekładniami zwiększa precyzję ruchu sztucznych oczu, ale zwykle zwiększa złożoność rozwiązań konstrukcyjnych. Miniaturowe systemy jak w [2] zawierają z kolei miniaturowe kamery o stosunkowo małej rozdzielczości. Takie systemy sensoryczne nie mogą być stosowane do aplikacji zawierających złożone algorytmy wizyjne, istotne dla rozwiązywania skomplikowanych aspektów komunikacji w sposób naturalny. Ważnym jest też skupienie układów sensorycznych precyzyjnie na różnych

interesujących punktach (mierzonych wielkościach) np. z uwzględnieniem kierunku, rozpoznawanych przez dany system sensoryczny [3]. Warto zaznaczyć, że oprócz różnych rozwiązań konstrukcyjnych, w literaturze przedmiotu zaprezentowano również projekty w których uwzględnia się interakcje człowiek-maszyna. Dotyczą one jednak jedynie możliwości wyrażania emocji [4] lub zastosowań takich robotów [4,5]. Roboty posiadające kompleksowe systemy wizyjne i inne sensory dodatkowe zawierają najczęściej uproszczone emocjonalne sprzężenie zwrotne i vice versa.



Rys. 1. Trójwymiarowy realistyczny model człowieka wg projektu technicznego obejmującego tułów, szyję i głowę

Należy stwierdzić, że zastosowanie systemu wyrażania emocji i jego integracja z systemem sztucznej wizji w głowie robota humanoidalnego jest zadaniem bardzo trudnym. Na obecnym etapie rozwoju techniki, w konstrukcji robotów humanoidalnych nie jest możliwe zrealizowanie wszystkich ruchów możliwych w ciele człowieka. W takiej sytuacji ruchy, które mają być uwzględnione w projekcie robota należy w odpowiedni sposób wyselekcjonować. W [6] zawarto systematykę elementarnych jednostek ruchowych ciała człowieka zarówno związanych z poruszaniem się jak i z czynnościami życiowymi (oddychanie) oraz z wyrażaniem emocji, uwzględniając tułów, szyję, oczy i ruchy skóry głowy związane z wyrażaniem emocji. Kombinacja akcji elementarnych jednostek ruchowych pozwala na przykład na wyrażanie emocji jak obawa czy radość.

W artykule opisano projekt konstrukcji układu mechanicznego fragmentu kręgosłupa lędźwiowego, tułowia zawierającego komputery, szyi i głowy z oczami zawierającymi miniaturowe kamery wysokiej rozdzielczości humanoidalnego robota ROMAN własnej konstrukcji (ROMAN = ROBot huMan interActionmachiNe, co znaczy: robot do badania interakcji człowiek-robot). Zweryfikowany doświadczalnie system wyrażania emocji głowy robota z szyją o 3 stopniach swobody opisano w [7] i [8]. Opierając się na doświadczeniach z wcześniej zbudowaną szyją i głową pokrytą sztuczną skórą pokazano w jaki sposób w głowie robota zintegrowano układ wizyjny i wiele innych sensorów. Dodatkowe sensory, jak czujniki zapachów i układ inercyjny zostaną wbudowane w przyszłości. Na rys. 1. pokazano rysunek inżynierski trójwymiarowego rozwiązania konstrukcyjnego robota ROMAN zawierającego mechanizm napędzanego przegubu kręgosłupa lędźwiowego, tułów, szyję, głowę z ruchomymi oczami opracowanego na wzór budowy ciała człowieka. Model ma naturalne wymiary ciała człowieka i może być wykorzystany do wykonania robota o naturalnych wymiarach i proporcjach.

## 2. HUMANOIDALNY ROBOT ROMAN

Głowę humanoidalnego robota ROMAN z ruchomymi oczami, pokrytą sztuczną skórą wykonaną z silikonu pokazano na rys. 2. Został on wykonany na Uniwersytecie Technicznym w Kaiserslautern (Niemcy). Został on zaprojektowany zarówno do wizualnej symulacji ekspresji twarzy jak i do percepcji otoczenia z zastosowaniem złożonego systemu sensorycznego zawierającego stereowizyjny system kamer, sztuczny nos i kilka mikrofonów.

W porównaniu z innymi rozwiązaniami robotów humanoidalnych, zaprojektowane rozwiązanie głowy robota jest do złudzenia podobne do naturalnej głowy człowieka. Planuje się, że robot będzie wykorzystany w badaniach pozwalających odpowiedzieć na pytanie czy jest możliwe polepszenie osiągnięć komunikacji pozawerbalnej w porównaniu z osiągnięciami robotów posiadających głowy niepodobne do człowieka (HONDA, ASIMO). W związku z tym założono, że konstrukcja humanoidalnego robota ROMAN powinna pozwalać na jednoczesną realizację percepcji otoczenia z wykorzystaniem zastosowanych układów sensorycznych jak i na wyrażanie emocji w sposób naturalny z uwzględnieniem w szczególności pozawerbalnych sposobów wyrażania emocji. Należy zaznaczyć, że jest to zadanie bardzo trudne a możliwe rozwiązania mogą okazać się skomplikowane między innymi ze względu na bardzo ograniczoną ilość dostępnego miejsca w elementach robota (przede wszystkim w jego głowie) oraz ma związek z aktualnym tzw. ogólnym stanem techniki. Poprzednie rozwiązanie układu mechanicznego robota ROMAN składało się z szyi o trzech stopniach swobody, sztucznego szkieletu i systemu wyrażania emocji zawierającego jedenaście układów napędowych poruszających małe płytki metalowe przyklejone w odpowiednich miejscach do wewnętrznej powierzchni maski silikonowej.



Rys. 2. Głowa robota ROMAN pokryta sztuczną skórą wykonaną z silikonu

Szyja [8] pozwala na zmiany pozycji głowy przez obroty względem trzech osi przecinających się w jednym punkcie imitując naturalne ruchy głowy. Na tym mechanizmie jest zamocowana wykonana z duraluminium płyta główna układów napędowych układu wyrażania emocji twarzy. Sztuczny szkielet głowy zawiera fragmenty kości czaszki wykonane z tworzywa sztucznego imitujące jej naturalny kształt i odpowiednio zawieszoną szczękę dolną do złudzenia podobną do naturalnej. Jest ona odpowiednio ułożyskowana względem płyty głównej i napędzana jednym z silników. Sztuczna skóra jest przyklejona do szkieletu w odpowiednio wybranych punktach i może być w odpowiednich obszarach poruszana z zastosowaniem ośmiu przyklejonych do niej małych płytek metalowych za pomocą linek wybieranych silniczkami elektrycznymi. Bliższe informacje na temat systemu wyrażania emocji opisano w [7].

TABLICA I

LISTA RUCHÓW ELEMENTARNYCH WEDŁUG EKMANA  
SYSTEM PONUMEROWANY Z UWZGLĘDNIENIEM PRZYBLIŻONYCH MAKSYMALNYCH ZAKRESÓW  
RUCHÓW

Pozycja głowy	
1 Wewnętrzne uniesienie brwi	1 cm
2 Zewnętrzne uniesienie brwi	1 cm
9 Zmarszczenie nosa	1 cm
12 Ściągnięcie kąta wargi	1 cm
15 Obniżenie kąta wargi	1 cm
20 Naciągnięcie wargi	1 cm
24 Wypięcie wargi	1 cm
26 Opuszczenie szczęki	10°
Pozycja głowy	
51 Obrót w lewo	60°.
52 Obrót w prawo	60°.
53 Uniesienie głowy	20°.
54 Opuszczenie głowy	20°.
55 Pochylenie w lewo	30°.
56 Pochylenie w prawo	30°.
57 W przód	2 cm
58 Do tyłu	2 cm
Pozycje oczu	
61 Oczy w lewo	30°.
62 Oczy w prawo	30°.
63 Oczy do góry	40°.
64 Oczy w dół	40°.

Na podstawie badań wstępnych pierwszej wersji rozwiązania oraz danych dotyczących obiektu rzeczywistego sformułowano następujące rozszerzające założenia dla ulepszenia konstrukcji robota:

- Pełna integracja sztucznego tułowia z mechanizmem kręgosłupa lędźwiowego o trzech stopniach swobody,
- Integracja konstrukcji sztucznych oczu zawierających kamery ze sztuczną czaszką,
  - Dodatkowy czwarty stopień swobody szyi u podstawy czaszki dla realizacji bardziej naturalnego ruchu głowy,
  - Poprawienie przewodnic i przepustów dla linek i płytek metalowych w celu polepszenia ruchów sztucznej skóry.

Dla polepszenia pozawerbalnego sposobu wyrażania emocji robota zdecydowano się zwiększyć liczbę ruchów tułowia i szyi oraz poprawić rozwiązanie mechanizmu oczu. We wcześniejszym, typowym rozwiązaniu mechanizmu szeregowego z przekazem napędu za pomocą przewodnic łukowych, podczas obracania gałek oczu na boki występowały sprzężenia mechaniczne powodujące równoczesną zmianę poziomu patrzenia w górę lub w dół a więc nienaturalną zmianę położenia obrazu. Zjawiska tego nie dało się w sposób sensowny korygować w programie sterującym. Wymagana była więc zmiana koncepcji układu mechanicznego. Zastosowano tutaj kombinowany układ szeregowo-równoległy własnej konstrukcji, w którym rozsprężono ruchy obrotów gałek względem poszczególnych osi. Działanie systemu ruchów sprzężonych związanych z wyrażaniem emocji przez człowieka opisano w [6]. Ekman sklasyfikował ruchy ciała człowieka i stworzył tak zwane jednostki działania których kombinacja zapewnia generowanie wyrażanych emocji. Możliwości tych jednostek zapewniają odpowiednią jakość

komunikacji pozawerbalnej. Ponieważ nie jest możliwe zrealizowanie wszystkich ruchów ciała człowieka na odpowiednio wysokim poziomie jakości, zdecydowano się odtworzyć w konstrukcji robota najważniejsze z jednostek działania wyszczególnione w Tablicy I. Uwzględnia ona wszystkie ruchy głowy i oczu oraz najważniejsze ruchy skóry twarzy.

### 3. PROJEKT I PRZYJĘTE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE

Na podstawie założeń sformułowanych w poprzednich rozdziałach opracowano projekt konstrukcyjny układu mechanicznego robota humanoidalnego ROMAN. W uproszczeniu zostaną zaprezentowane rozwiązania tułowia, szyi, oczu i zagospodarowania wewnętrznej części czaszki. Większość detali zaprojektowano z duraluminium i polyoxymetylenu (POM), który jest tworzywem sztucznym termoplastycznym o gęstości  $1.41\text{g/cm}^3$  i stosunkowo dużej sztywności.

#### A. Tułów

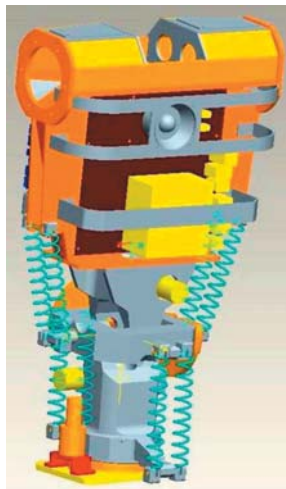
W celu zapewnienia realizacji ruchów kręgosłupa lędźwiowego zastosowano mechanizm o trzech stopniach swobody w postaci otwartego łańcucha kinematycznego napędzanego silnikami elektrycznymi. Schemat kinematyczny tego rozwiązania jest podobny do rozwiązania zastosowanego w konstrukcji mechanizmu szyi, jednak to rozwiązanie ma inne zakresy ruchów, bardziej adekwatne dla naturalnych ruchów tej części ciała.

Zakresy ruchów dobrano następująco:

- I stopień swobody, tj. obrót tułowia względem osi pionowej  $\pm 30^\circ$ ,
- II stopień swobody, tj. pochylanie tułowia do przodu/tyłu od  $+40^\circ$  do  $-30^\circ$ ,
- III stopień swobody, tj. pochylanie na boki w prawo/lewo w płaszczyźnie czołowej  $\pm 30^\circ$ .

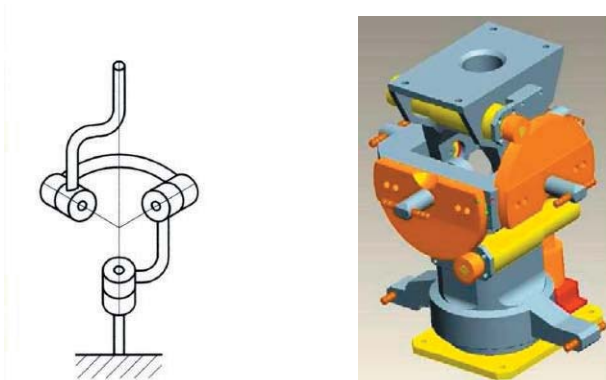
Dobre zakresy ruchów są zmniejszone w stosunku do wartości dla człowieka, jednak układ biokinematyczny człowieka jest zbudowany z wielu segmentów i w związku z tym działa inaczej, ponadto robot nie jest przewidziany do wiernego odtwarzania funkcji człowieka lecz do imitacji wybranych funkcji w sposób zapewniający również racjonalność (prostotę) rozwiązania. Na rys. 3 pokazano opracowane rozwiązanie tułowia robota ROMAN z wbudowanymi niezbędnymi układami elektronicznymi. Według założeń wstępnych, dwa komputery pokładowe typu PC niezbędne do obsługi procesów sterujących jak i procesów percepcji otoczenia i komunikacji umieszczono wewnątrz klatki piersiowej w części przedniej i tylnej. Dla obsługi procesów mowy, tj. rozpoznania i syntezy mowy zastosowano czterokanałową kartę dźwiękową, podwójny układ mikrofonów i głośnik w płycie czołowej przedniej osłony klatki piersiowej. Zastosowany sprzęt jest delikatny i wymaga odpowiednich warunków pracy i zabezpieczenia, w związku z tym podstawowy układ nośny klatki piersiowej stanowi lekka i sztywna konstrukcja skrzynkowa z zamontowanymi na zewnątrz specjalnymi żebrami osłaniającymi, jak pokazano na rys. 3. Należy wyjaśnić, że ten fragment konstrukcji stanowi ruchomą podstawę dla zamocowania przewidzianych w przyszłości manipulatorów-rąk robota i głowy, musi więc być odpowiednio wytrzymały i sztywny oraz odporny na uderzenia a jednocześnie w miarę lekki. W związku z tym został zaprojektowany jako lekka konstrukcja powłokowa o kształcie skrzynkowej z dodatkowymi otworami przepustowymi dla kabli i ewentualnej dodatkowej armatury. Skrzynkę wykonano jako konstrukcję spawaną z cienkich płyt duraluminiowych. Na rys. 3 pokazano też mechanizm kręgosłupa lędźwiowego. Składa się on z podstawy z zamontowanym układem napędu obrotu względem osi pionowej oraz widełek pionowych z przegubem obrotowym o osi poziomej, w której obraca się specjalny pierścień z mechanizmem napędu pochylania w przód/tył tułowia, na którym z kolei są zamontowane przegubowo widełki pochylania tułowia na boki

w prawo/lewo również z mechanizmem obrotu. Mechanizmy pochylania tułowia stanowią silniki elektryczne ze zintegrowanymi przekładniami obiegowymi i dodatkowymi jednostopniowymi przekładniami zębatymi widocznymi na rys. 3. W projekcie przewidziano, że masa tułowia może sięgać do 50 kg, co może spowodować kłopoty z niezbędną mocą do napędu w rozważanym przegubie.



Rys. 3. Projekt techniczny 3D tułowia robota humanoidalnego z wbudowanymi dwoma komputerami pokładowymi, głośnikiem do komunikacji głosowej i mechanizmem kręgosłupa lędźwiowego o trzech stopniach swobody

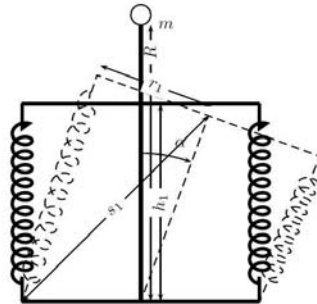
W mechanizmie zastosowano widoczne na rys. 3 specjalne sprężynowe układy odciążające, które zapewniają punkt równowagi układu w położeniu pionowym tułowia i częściową kompensację momentu mechanicznego wywołanego siłą grawitacji przy pochylaniu tułowia w przód/tył i na boki w prawo/lewo. Dzięki temu silniki napędowe są obciążone momentami o małej wartości wynikającymi z powstałej różnicy nieskompensowanej sprężynami oraz momentami tarcia i od sił bezwładności. Należy tutaj podkreślić, że moc silników niezbędna do napędu układu z kompensacją momentów od sił grawitacji jest ok. 6 razy mniejsza od silników potrzebnych do napędu w układzie bez kompensacji. Schemat kinematyczny przegubu potrójnego oraz szczegóły jego konstrukcji wraz z silnikami, przekładniami i trzpieniami zamocowania sprężyn pokazano na rys. 4.



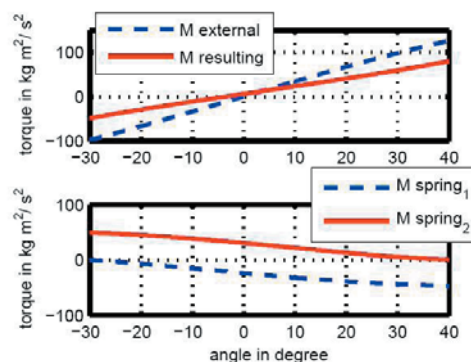
Rys. 4. Schemat kinematyczny przegubu zastosowanego w mechanizmie kręgosłupa lędźwiowego i jego projekt 3D

Zasadę pracy sprężystego układu odciążającego zastosowanego w mechanizmach szyi i kręgosłupa pokazano na rys. 5. Na rys. 6 przedstawiono przykładowe charakterystyki dynamiczne pracy takiego układu. Charakterystyki te opracowano z wykorzystaniem programu MATLAB. Moment wywołany siłą grawitacji jest częściowo kompensowany siłami w sprężynach. W mechanizmie szyi pozostały moment szczytkowy nie przekracza 10 % wartości maksymalnej powstającego na granicy przedziału kąta pochylenia, natomiast ponieważ masa tułowia nie jest na razie dokładnie znana, więc dokładnego doboru sprężyn trzeba będzie dokonać przy uruchamianiu prototypu. Obecnie oszacowano, że w wypadku masy tułowia na poziomie 50 kg, przy zaproponowanych wstępnie sprężynach pozostanie pewien moment szczytkowy o dość znacznej wartości ok. 40 % momentu maksymalnego. Aby go całkowicie wyeliminować potrzebne byłoby zastosowanie sprężyn specjalnych o podwyższonej sztywności, które z kolei mają mniejszą trwałość co może być niebezpieczne. W takiej sytuacji zdecydowano się wstępnie na zastosowanie silników o większej mocy oraz ewentualne ograniczenie zakresu wychyleń tułowia w trakcie wstępnych uruchomień.

Jednymi z najważniejszych, nietypowych problemów opracowywanej konstrukcji robota była estetyka oraz konieczność integracji różnych elementów mechanicznych, napędowych, elektrycznych i elektronicznych w jedną całość mechatroniczną w ściśle określonej limitowanej przestrzeni o kształcie geometrycznym sztucznego ciała imitującego kształt człowieka.



Rys. 5. Schemat mechanizmu z układem sprężyn do kompensacji momentu od sił grawitacji



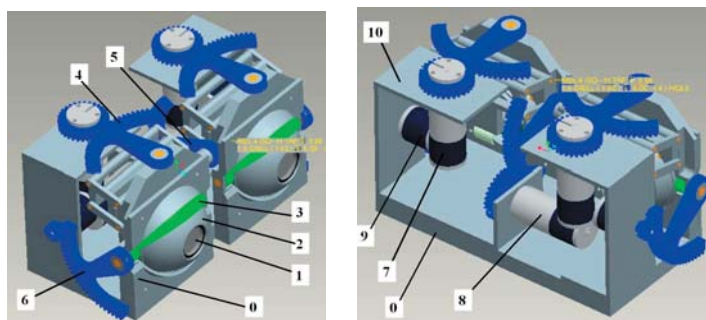
Rys. 6. Charakterystyki kompensacyjne momentów tułowia z układem sprężyn

Projekt konstrukcji układu mechanicznego robota opracowano z wykorzystaniem programu Pro Engineer Wild Fire. Wykorzystano moduły modelowania bryłowego, montażu, tworzenia mechanizmów, animacji i symulacji dynamicznej. W kolejnych etapach tworzenia projektu sprawdzano na drodze animacji realizowalność założonych funkcji kinematycznych oraz warunki pracy układów napędowych. Wynik końcowy projektu 3D pokazano na rys. 1. Warto tutaj dodać, że w kolejnych przybliżeniach korygowano metodycznie z jednej strony rozbieżności względem

założeń projektu, ale też jeśli okazywało się to niezbędne to również założenia wstępne w celu systematycznej poprawy właściwości projektowanej konstrukcji. Można powiedzieć, że w ten sposób dokonano wirtualnie teoretyczno-doświadczalnej optymalizacji właściwości opracowywanej konstrukcji pod kątem jak najwierniejszego odtworzenia parametrów modelowanego obiektu rzeczywistego. W rezultacie uzyskano rozwiązanie podobne zarówno geometrycznie, jak i funkcjonalnie do naturalnego.

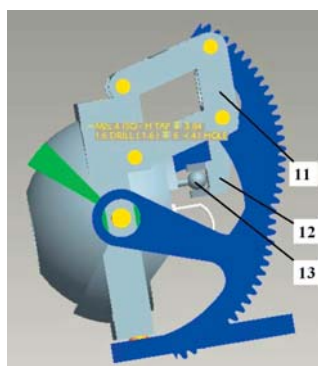
### B. Oczy

Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu ruchu oczu powinno charakteryzować się zwartością (kompaktnością) i lekkością oraz zajmować ściśle limitowany obszar przestrzeni, podobnie jak w rozwiązaniu oryginalnego układu biokinematycznego oczu. Niezależnie od tego wymagane jest aby gałki oczne poruszały się niezależnie w górę/dół i w prawo/lewo. Górna powieka powinna poruszać się stosownie do aktualnie wyrażanych emocji przez robot. Wewnątrz gałki ocznej w kształcie kuli o średnicy porównywalnej ze średnicą typowej gałki ocznej człowieka musi być wbudowana miniatura kamery o odpowiednio wysokiej rozdzielczości. Do kamery doprowadzony jest kabel, który musi być odpowiednio chroniony i nie może być skręcany a jedynie w nieznacznym stopniu może być przeginany.



Rys. 7. Nowa wersja mechanizmu ruchu sztucznych oczu

Na rys. 7 pokazano widok ogólny zmontowanego mechanizmu ruchu oczu. Gałki oczne są wmontowane do układu dwóch specjalnych półpanewek i napędzane poprzez specjalne zabieraki zewnętrznie silnikami elektrycznymi skokowymi z przekładniami.



Rys. 8. Zewnętrzny mechanizm równoległowodłu służący rozsprzęgnięciu ruchów obrotów gałki ocznej

Dla wyeliminowania sprzężeń kinematycznych między obrotem danej gałki względem osi pionowej przy jej obrocie względem osi poziomej w układzie zastosowano specjalny mechanizm równoległowodowy pokazany w szczegółach na rys. 8. Powoduje on, że obracając się względem osi pionowej oś widzenia kamery nie zmienia poziomu widzenia jak to działo się w rozwiązaniu wcześniejszym, typowo szeregowym. Każda gałka posiada dodatkowo łukową ramkę powieki górnej, która przez obrót względem stałej osi poziomej może być opuszczana w dół zasłaniając oko a następnie unoszona ku górze w celu jego odsłonięcia. Do gałki będzie przyklejona sztuczna skóra maski twarzy.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opisana w artykule konstrukcja mechanizmu nośnego i układu kinematycznego robota antropomorficznego ROMAN została opracowana w ten sposób, aby z wykorzystaniem programów komputerowo wspomaganego projektowania zminimalizować masę elementów ruchomych. W tym celu w elementach układu nośnego wprowadzono szereg dodatkowych otworów i wybrań. Dla zmniejszenia mocy wymaganej do napędu mechanizmów robota w mechanizmie szyi i kręgosłupa lędźwiowego wprowadzono specjalne sprężynowe układy odciążające. Zapewniło to zmniejszenie mocy niektórych silników o 4/5, natomiast na innych po doświadczalnym dobraniu sprężyn momenty obciążające zostaną znacznie zmniejszone. Sprężyny te działają podobnie jak tzw. tonus mięśniowy w układach biokinematycznych. W mechanizmie napędu ruchu oczu wprowadzono rozsprężenie kinematyczne ruchów obrotowych przez zastosowanie specjalnych mechanizmów równoległowodowych. Zadaniem układu kamer jest wykrywanie, rozpoznanie i śledzenie obiektów pojawiających się w środowisku a ściślej w obszarze widzenia robota. Oprócz kamer robot będzie wyposażony w szereg innych sensorów, jak czujniki bezwładnościowe i wykrywania kierunku pola grawitacyjnego, mikrofony, czujniki zapachu, zadymienia i inne. Wszystkie one zostaną w odpowiedni sposób zintegrowane z konstrukcją układu nośnego robota lub wbudowane w strukturę jego pokrycia zewnętrznego. System odbioru dźwięku i jego analizy sprzężony przez wewnętrzny układ sztucznej inteligencji z układem syntezy mowy i głośnikiem będzie zapewniał robotowi komunikację werbalną z ludźmi z otoczenia robota oraz z innymi robotami wyposażonymi w podobne urządzenia. Natomiast zgodnie z podstawowymi założeniami projektu, robot w komunikacji pozawerbalnej z ludźmi z otoczenia będzie wyrażał emocje przez odpowiednie sterowanie mimiką twarzy pokrytej maską z silikonu i gesty wyrażane ruchami tułowia, głowy i rąk. Aktualnie przeprowadzono udaną próbę konwersacji interaktywnej robota ROMAN z człowiekiem. Robot zainteresował się możliwością udzielenia pomocy swojemu rozmówcy w ustaleniu daty i godziny oraz obsługi prostych czynności usługowych.

#### MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

- [1] D. Biamino, G. Cannata, M. Maggiali, and A. Piazza, „Mac-eye: a tendon driven fully embedded robot eye,” w Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.
- [2] D. Pongas, F. Guenter, A. Guignard, and A. Billard, „Development of a miniature pair of eyes with camera for the humanoid robot robota,” w IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2004), 2004.

- [3] A. Ude, V. Wyart, L. Lin, and G. Cheng, „Distributed visual attention on a humanoid robot,” w Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.
- [4] K. Itoh, H. Miwa, Y. Onishi, K. Imanishi, and et.al., „Development of face robot to express the individual face by optimizing the facial features,” w Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.
- [5] M. Bennewitz, F. Faber, D. Joho, M. Schreiber, and S. Behnke, „Towards a humanoid museum guide robot that interacts with multiple persons,” Proceedings of 2005 5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.
- [6] P. Ekman, W. Friesen, and J. Hager, Facial Action Coding System (FACS) -Manual, cd edition ed., 2002.
- [7] K. Berns and J. Hirth, „Control of facial expressions of the humanoid robot head roman,” w IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Beijing, China, October 9 -15 2006.
- [8] K. Berns, C. Hillenbrand, and K. Mianowski, „The mechatonic design of a human-like robot head,” w 16-th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control (ROMANSY), 2006.
- [9] K.-U. Scholl, V. Kepplin, J. Albiez, and R. Dillmann, „Developing robot prototypes with an expandable modular controller architecture,” w Proceedings of the International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Venedig, June 2000, pp. 67.74.
- [10] K. Scholl, V. Kepplin, J. Albiez, and R. Dillmann, „Developing robot prototypes with an expandable modular controller architecture,” w Proceedings of the International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Venedig, June 2000, pp. 67 – 74.
- [11] Morecki A., Ekiel J., Fidelus K.: Cybernetic Systems of Limb Movements in Man, Animals and Robots, 1984, Polish Scientific Publishers, Warsaw, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester.