

Medical Robotics Reports

www.medicalroboticsreports.com

The Diminishing Human-Machine Interface

Interfejs operatora robota chirurgicznego

Zastosowania konsoli haptycznej
do sterowania robotem medycznym



RobinHeart

SYSTEM

MEDICAL ROBOTS

OFFICIAL JOURNAL OF ISMR

International Society
for Medical Robotics



Dear Reader,

You are cordially invited to read our new MrR issue. In it you can find some information about ISMR activity, Medical Robotics Conference Program and Report, and of course scientific papers.

We are proud that our honorable member Kevin Warwick has agreed to include in the journal, his excellent review of the research work carried out by Reading University. Among scientific papers you will also find interesting review article on the issue of solutions to the problem of man/machine (robot) interface of Robin Heart surgery telemanipulator. Moreover, we are presenting the original attempt to apply Kuka robot (Poznań University of Technology) to remove otogenic brain abscess.

In the section ISMR Reports this time we have suggested ethical issues. We are trying to deal with questions concerning the ethical relationship between man - personal robot and man- medical robot. Does future of mankind, future of humans who are under care of robots really need to formulate new ethical principles and new law of nature? Additionally in this issue you will find overview of medical robotics in Poland in relation to academic robotics.

We have also decided to introduce a new section- overview of inspirations coming from development of many technologies which, in our opinion, will greatly influence the development of medical robotics. InspiRobot Page will be run by dr Marcin Kawalski, a new member of our Editorial staff.

I think it is worth mentioning that this year Youth Team of ISMR, called Robin Science Club, has been brought into being. We would like to invite to co-operation young scientists, students and pupils who are active in the fields of medical robotics. The door is widely open for those who will shape tomorrow of this important field of science and technology!

Next year we are planning to establish Academy of Medical Robotics Art. With this we wish to emphasize how important is the cooperation with specialists in areas of arts and humanities to be able to create friendly robots, both for everyday assistance and in a situation that poses an immediate risk to health or life. During Medical Robots 2014 Conference special workshops will be held, with participation of psychologists, doctors, welfare specialists as well as arts and design ones. So right now we invite you to Zabrze to next year's Friday in December to meet, as usually, inspiring and interesting people keen on medical robotics!

Please, do not forget about our journal - we are looking forward to your new scientific publications as well as reports. I hope that next year we will meet in an expanded team - new followers are welcomed to join our association. Wish You the Best of 2014 and further success in your innovative medical robots.

*Yours sincerely,
Zbigniew Nawrat, ISMR President
Zabrze Dec 13, 2013*

Medical Robotics Reports

Redakcja: ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze

Wydawca: Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej ISMR

Rada Naukowa: • Richard Satava, MD (Washington Medical University, USA) • prof. Mehran Anvari (McMaster University, Hamilton, Kanada) • prof. Kevin Warwick (Reading University, Anglia) • prof. Krzysztof Tchoń (Politechnika Wrocławska) • dr Piotr Sauer (Politechnika Poznańska) • dr Krzysztof Mianowski (Politechnika Warszawska) • prof. Leszek Podsekowski (Politechnika Łódzka) • prof. med. Romuald Cichon (Drezno, Wrocław, Warszawa) • prof. med. Andrzej Bochenek (Śląski Uniwersytet Medyczny, PAKS) • prof. Kaspar Althoefer (Kings College, London) • Sławomir Marecik, MD (UIC/Lutheran Hospital Chicago, USA)

Redaktor naczelny: dr hab. n. med. Zbigniew Nawrat

Dyrektor zarządzający: lek. Dominik Pawliński

Korekta i DTP: Marek Szulc

Webmaster: lek. Aleksander Biesiada

www.medicalroboticsreports.com

Okladka: autorem zdjęcia jest Mariusz Jakubowski

Druk: Fischer Poligrafia, www.fischer.pl

Redakcja zastrzega sobie prawo adiacji, skracania oraz zmiany tytułów nadesłanych materiałów. Opinie zawarte w artykułach wyrażają poglądy autorów i nie muszą być zgodne ze stanowiskiem Redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść zamieszczonych reklam. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Drogi Czytelniku,

Zapraszam do lektury nowego wydania MrR. Można w nim znaleźć wiele informacji opisujących aktywność naszego Stowarzyszenia, program i raport z konferencji Roboty Medyczne 2013 oraz oczywiście szereg publikacji naukowych.

Jesteśmy dumni że nasz honorowy członek ISMR, Kevin Warwick zgodził się na umieszczenie w naszym czasopiśmie jego świetnego przeglądu prac badawczych prowadzonych w Reading University. Wśród prac naukowych znajdziecie Państwo również ciekawy artykuł przeglądowy dotyczący zagadnienia rozwiązań problemu kontaktu człowiek-robot dla telemanipulatora chirurgicznego Robin Heart oraz przedstawienie oryginalnej próby zastosowania robota Kuka do operacji usunięcia ropnia mózgu z Politechniki Poznańskiej.

W dziale Raporty ISMR zaproponowaliśmy tym razem temat etyki. Próbuje się zmierzyć się z pytaniami dotyczącymi relacji człowiek-robot osobisty, człowiek – robot medyczny. Czy rzeczywiście przyszłość ludzkości, przyszłość człowieka będącego pod opieką robotów wymaga sformułowania nowych praw etyki, nowych praw przyrody? W tym wydaniu znajdziecie Państwo również spojrzenie na stan robotyki medycznej w Polsce, pisany pod kątem robotyki akademickiej.

Zdecydowaliśmy się również wprowadzić nowy dział, przegląd inspiracji płynący z rozwoju wielu technologii, które naszym zdaniem będą miały wpływ w najbliższym czasie na rozwój robotyki medycznej. InspiRobot Page będzie prowadził pozyskany do zespołu redakcyjnego dr Marcin Kawalski.

Wśród nowości naszego Stowarzyszenia warto wymienić powołanie w tym roku działu młodzieżowego ISMR o nazwie RobinScience Club. Zapraszamy w nim do współpracy młodych naukowców, studentów, uczniów, którzy działają aktywnie w obszarze robotyki medycznej. Otwieramy szeroko drzwi ISMR na tych którzy będą kreowali kształt jutra tej ciekawej i ważnej dziedziny nauki i techniki!

W przyszłym roku zaś planujemy zorganizować Akademię Sztuki Robotyki Medycznej. Zamierzamy w ten sposób podkreślić wagę współpracy ze specjalistami dziedzin artystycznych i humanistycznych dla tworzenia przyjaznych robotów, zarówno tych które będą z ludźmi spędzać dzień powszedni jak i tych które będą przychodzić z pomocą w sytuacjach zagrożenia. W ramach przyszłorocznej konferencji Medical Robots 2014 odbędą się specjalne warsztaty z psychologami, lekarzami, specjalistami opieki socjalnej i sztuk plastycznych oraz dizajnu. Zapraszamy już na grudniowy piątek do Zabrza na jak zwykle inspirujące, ciekawe spotkanie ludzi zainteresowanych na temat robotów medycznych!



Proszę również nie zapomnieć o naszym czasopiśmie – czekamy na nowe ciekawe publikacje naukowe i raporty. Mam nadzieję, że spotkamy się w przyszłym roku w powiększonym gronie – zapraszamy nowych adeptów robotyki medycznej do naszego stowarzyszenia. Dobrego, lepszego roku 2014 i... kolejnych innowacyjnych robotów medycznych.

*Z wyrazami szacunku,
Zbigniew Nawrat*

*Prezydent Międzynarodowego Stowarzyszenia
na Rzecz Robotyki Medycznej
Zabrze 13.12.2013*

Spis treści:

- 4 • The Diminishing Human-Machine Interface - Kevin Warwick**
- 12 • Interfejs operatora robota chirurgicznego - Zbigniew Nawrat i in.**
- 22 • Questions about a new ethics - Zbigniew Nawrat, Marcin Kawalski**
- 26 • Zastosowania konsoli haptycznej do sterowania robotem medycznym - Piotr Sauer i in.**
- 35 • Po co nam roboty medyczne? - Zbigniew Nawrat**
- 37 • Wybrane zagadnienia dotyczące stanu robotyki medycznej w Polsce - Krzysztof Mianowski**
- 44 • Raport z MR 2013**
- 47 • Akademia sztuki ISMR - Zbigniew Nawrat**
- 48 • InspiRobot page - Marcin Kawalski**

The Diminishing Human-Machine Interface

KEVIN
WARWICK

Keywords:

Implant
Technology,
Human-Machine
Interfaces,
Cybernetics,
Systems
Engineering,
Culturing
Networks

Summary

In this article a look is taken at interfaces between technology and the human brain. A practical perspective is taken rather than a theoretical approach with experimentation reported on and possible future directions discussed. Applications of this technology are also considered with regard to both therapeutic use and for human enhancement. The culturing of neural tissue and its embodiment within a robot platform is also discussed, as are other implant possibilities such as permanent magnet implantation, EEG external electrode monitoring and deep brain stimulation. In each case the focus is on practical experimentation results that have been obtained as opposed to speculative assumptions.

INTRODUCTION

Over the last few years tremendous advances have been made in the area of human-computer interaction, particularly insofar as interfaces between technology and the body or brain are concerned. In this article we take a look at some of the different ways in which such links can be forged.

Considered here are several different experiments in linking biology and technology together in a cybernetic fashion, essentially ultimately combining humans and machines in a relatively permanent merger. It is important to realise that a key driver in this is that it is the overall final system that is important. Essentially, from a biological start point, by coupling in a relatively permanent way, with technology so the overall system can exhibit many more functions than the original biological entity. This can be realised for purposes of therapy alone, however much more exciting is the fact that it opens up the opportunity for human enhancement.

Where a brain is involved, which surely it is somewhere, it must not be seen as a stand alone entity but rather as part of an overall system – adapting to the system's needs – the overall combined cybernetic creature is the system that is of importance.

Each of the experiment is described in its own separate section. Whilst there is, in some cases, a distinct overlap between the sections, they each throw up individual considerations. Following a description of each investigation some pertinent issues on the to-

pic are therefore discussed. Points have been raised with a view to near term future technical advances and what these might mean in a practical scenario. It has not been the case of an attempt here to present a fully packaged conclusive document, rather the aim has been to open up the range of research being carried out, see what's actually involved and look at some of its implications.

We start by looking at research into growing brains within a robot body, move on to the Braingate, take in deep brain stimulation and (what is arguably the most widely recognised) eeg electrode monitoring and conclude with permanent magnet implantation which is being classified nowadays as "BioHacking" in the popular press. This later method can probably be seen as an entry level implant, so to speak. RFID implants are also briefly discussed.

BIOLOGICAL BRAINS IN A ROBOT BODY

Neurons can be cultured under laboratory conditions on an array of non-invasive electrodes. Whilst it is certainly possible to investigate their development per se, without embedding them within an active feedback loop results are likely to be somewhat stilted. A more sensible and useful route is to culture the neurons such that they can operate within a real world body. A robot body can move around in a defined area under the control of such a network/brain and the effects on the brain, due to controlling the body, can be witnessed. Whilst this is, in itself,

extremely interesting from a robotics perspective, it also opens up a new approach to the study of the development of the brain itself because of its sensory-motor embodiment. Investigations can therefore be carried out into such as memory formation and reward/punishment scenarios and other elements that underpin the basic functioning of a brain.

Growing brain cells (around 100,000 at present) *in vitro* commences by separating neurons obtained from foetal rodent cortical tissue. They are then grown in a small dish which is housed in an incubator in which they are provided with suitable environmental conditions and nutrients as a food stock. An array of electrodes embedded in the base of the dish (a Multi Electrode Array; MEA) acts as a bi-directional electrical interface to and from the culture. This enables electrical signals to be supplied to stimulate the culture and also for recordings to be taken as outputs from the culture.

The neurons in such cultures spontaneously connect, communicate and develop, within a few weeks giving useful responses for typically 3 months at present. The flat '8x8' Multi Electrode Array can be used for real-time recordings (see Figure 1). In this way

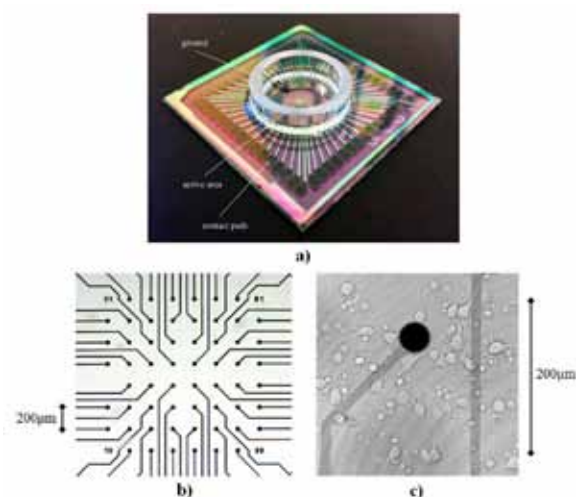


Figure 1: a) A Multi Electrode Array (MEA) showing the electrodes b) Electrodes in the centre of the MEA seen under an optical microscope c) An MEA at x40 magnification, showing neuronal cells in close proximity to an electrode.

it is possible to separate the firings of small groups of neurons by monitoring the output signals on the electrodes. A picture of the global activity of the entire network can thus be formed. It is also possible to electrically stimulate the culture via any of the electrodes in order to induce neural activity. The multi-electrode array therefore forms a bi-directional interface with the cultured neurons [1, 2].

Once it has developed for about 10 days or so the brain can be linked to its physical robot body [3] with signals being transmitted from the brain to the ro-

bot body to effect its movement. Sensory data fed back from the robot is subsequently delivered to the culture, thereby closing the robot-culture loop. Thus, the processing of signals can be broken down into two sections (a) 'culture to robot', in which live neuronal activity is used as the decision making mechanism for robot control, and (b) 'robot to culture', which involves an input mapping process, from robot sensor to stimulate the culture.

The actual number of neurons in a brain depends on natural density variations in seeding the culture in the first place. The electrochemical activity of the culture is sampled and this is used as input to the robot's wheels. Meanwhile the robot's (ultrasonic) sensor readings are converted into stimulation signals received by the culture, thereby closing the loop.

Early development of the culture involves the formation of elementary neural connections. An existing neuronal pathway through the culture is identified by searching for strong relationships between pairs of electrodes. Such pairs are defined as those electrode combinations in which neurons close to one electrode respond to stimulation from the other electrode at which the stimulus was applied more than 60% of the time and respond no more than 20% of the time to stimulation on any other electrode.

A rough input-output response map of the culture is drawn by cycling through the electrodes in turn. In this way, an input/output electrode pair can be chosen in order to provide an initial neural pathway for the robot to operate. This is then employed to control the robot body – for example if the ultrasonic sensor is active and we wish the response to cause the robot to turn away from the object being located ultrasonically (possibly a wall) in order to keep moving.

For simple experimentation purposes, the small wheeled robot (see Figure 2) is required to follow a forward path until it reaches a wall, at which point the front sonar value decreases below a threshold, set at something like 20 cm., triggering a stimulating pulse. If, shortly after this, the responding (output) electrode registers activity so the robot turns to avoid the wall. In experiments the robot turns whenever activity is registered on the response electrode. The most relevant result is therefore the occurrence of the chain of events: wall detection–stimulation–response.

As an overall control element for direction and wall avoidance the cultured brain acts as the sole decision making entity within the overall feedback loop. One important aspect for investigation involves neural pathway changes, with respect to time, in the culture between the stimulating and recording electrodes.

In terms of research, learning and memory investigations are at an early stage. However the robot can be seen to improve its performance over time in terms of its wall avoidance ability in the sense that neuronal pathways that bring about a satisfactory

action tend to strengthen purely through the process of being habitually performed – learning due to habit.

The number of variables involved is though considerable and the plasticity process, which occurs over quite a period of time, is dependent on such factors as initial seeding and growth near electrodes as well as environmental transients such as temperature and humidity. Learning by reinforcement – rewarding good actions and punishing bad is more in terms of investigative research at this time.

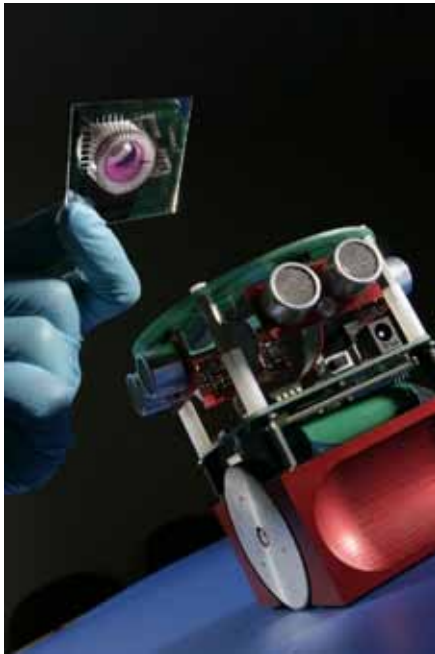


Figure 2: Wheeled Robot Body and Brain Together

It has been shown that a robot can have a biological brain with which to make its 'decisions'. The 100,000 neuron size is merely due to the present day limitations of the experimentation described. Indeed 3 dimensional structures are already being investigated. Increasing the complexity from 2 dimensions to 3 dimensions produces a figure of approximately 30 million neurons for the 3 dimensional case – not yet the 100 billion neurons of a 'perfect' human brain, but well in tune with the brain size of many other animals.

This area of research is expanding rapidly. Not only is the number of cultured neurons increasing, but the range of sensory inputs is being expanded to include audio, infra red and even visual. Such richness of stimulation will no doubt have a dramatic effect on culture development. The potential of such systems, including the range of tasks they can deal with, also means that the physical body can take on different forms. There is no reason, for example, that the body cannot be a two legged walking robot, with rotating head and the ability to walk around in a building.

It is the case that understanding neural activity, in terms of brain functioning, becomes more difficult

as the culture size increases. With a 3 dimensional structure, monitoring activity deep within the central area, as with a human brain, becomes extremely complex, even with needle-like electrodes. In fact the present 100,000 neuron cultures are already far too complex at present for us to gain an overall insight. When they are grown to sizes such as 30 million neurons and beyond, clearly the problem is significantly magnified.

Looking a few years out, it seems quite realistic to assume that such cultures will become larger, potentially growing into sizes of billions of neurons. On top of this, the nature of the neurons may be diversified. At present rat neurons are generally employed in studies. However human neurons are also being cultured even now, thereby bringing about a robot with a human neuron brain. If this brain then consists of billions of neurons, many social and ethical questions will need to be asked [4].

For example - If the robot brain has roughly the same number of human neurons as a typical human brain then could/should the resultant living entity in which the brain resides have similar rights to humans? Also - What if such creatures have far more human neurons than in a typical human brain – e.g. 100 billion times more – would they make all future decisions rather than regular humans? Certainly the restrictions in size which result from the limitations of residing in a human body are no longer apparent. It means that as we look to the future we will no doubt witness thinking robots with brains not too dissimilar to those of humans.

BRAINGATE IMPLANT

It is the case that many human brain-computer interfaces are used for therapeutic purposes, in order to overcome a medical or neurological problem. A good example of this is the use of implants for deep brain stimulation in order to overcome the effects of Parkinson's Disease. We will look at this further in the next section. The possibilities of 'Human Enhancement' are not really considered!

With more general brain-computer interfaces the therapy - enhancement situation is complex. In some cases it is possible for those who have suffered an amputation or who have a spinal injury due to an accident, to regain control of devices via their (still functioning) neural signals [5]. Meanwhile stroke patients can be given limited control of their surroundings, as indeed so can those who have such as motor neurone disease.

With these cases the situation is not straightforward, because on top of any restorative aspects, each individual is usually given abilities that no normal human has – for example the ability to move a cursor around on a computer screen from neural signals alone [6].

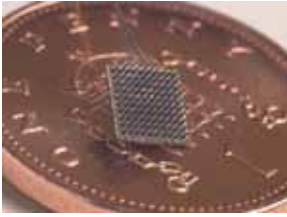


Figure 3: A 100 electrode, 4x4mm Micro-electrode Array, shown on a UK 1 pence piece for scale

Some of the most impressive human research to date has been carried out using the microelectrode array, shown in Figure. 3. The individual electrodes are 1.5mm long and taper to a tip diameter of less than 90 microns. Although a number of trials not using humans as a test subject have occurred, human tests are at present limited to two groups of studies. In the second of these the array has been employed in a recording only role, most notably recently as part of (what is called) the 'Braingate' system.

Electrical activity from a few neurons monitored by the array electrodes was decoded into a signal to direct cursor movement. This enabled an individual to position a cursor on a computer screen, using neural signals for control combined with visual feedback. The same technique was later employed to allow the individual recipient, who was paralysed, to operate a robot arm [7]. The first use of the microelectrode array (shown in Figure 3) has though considerably broader implications which extend the capabilities of the human recipient.

As a step towards a more broader concept of brain-computer interaction and as an initial look at the possibilities of human enhancement, the microelec-

trode array (shown in Figure 3) was implanted into the median nerve fibers of a healthy human individual (the author) during two hours of neurosurgery in order to test bidirectional functionality in a series of experiments. Stimulation current applied directly into the nervous system allowed information to be sent to the user, while control signals were decoded from neural activity in the region of the electrodes [8]. In this way a number of trials were successful [9].

1. Extra sensory (ultrasonic) input was successfully implemented (see Figure 4 for the experimentation).

2. Extended control of a robotic hand across the internet was achieved, with feedback from the robotic fingertips being sent back as neural stimulation to give a sense of force being applied to an object (this was achieved between Columbia University, New York (USA) and Reading University, England).

3. A primitive form of telegraphic communication was brought about directly between the nervous systems of two humans (the author's wife assisted) [9].

4. A wheelchair was successfully driven around by means of neural signals.

5. The colour of jewellery was changed as a result of neural signals – also the behavior of a collection of small robots.

Perhaps in all of the above cases it could be argued that the trial proved useful for purely therapeutic reasons, e.g. the ultrasonic sense could be useful for an individual who is blind or the telegraphic communication could be very useful for those with certain forms of Motor Neurone Disease.

Figure 4: Experimenting with an ultrasonic sense.



Each trial can however also be seen as a form of human enhancement beyond the human norm for an individual. Indeed the author did not need to have the implant for medical purposes to overcome a problem but rather the experimentation was performed purely for scientific exploration. The question arises therefore as to how far should things be taken? Clearly enhancement by means of Brain-Computer Interfaces opens up all sorts of new technological and intellectual opportunities, however it also throws up a raft of different ethical considerations that need to be addressed directly.

When ongoing experiments of the type described involve healthy individuals where there is no reparative element in the use of a brain computer interface, but rather the main purpose of the implant is to enhance an individual's abilities, it is difficult to regard the operation as being for therapeutic purposes. Indeed the author, in carrying out such experimentation, specifically wished to investigate actual, practical enhancement possibilities [8 - 11].

It is clear, from the experiments, that extra sensory input is one practical possibility that has been successfully trialled, however improving memory, thinking in many dimensions and communication by thought alone are other distinct potential, yet realistic, benefits, with the latter of these also having been investigated to an extent. To put it bluntly – all these things appear to be possible (from a technical viewpoint at least) for humans in general.

As we look to the future it is quite possible that commercial influences coupled with the societal wishes to communicate more effectively and perceive the world in a richer form will drive a market desire with regard to such implants. Ultimately direct brain to brain communication, possibly using implants of the type described, is a very exciting proposition, possibly resulting in thoughts, emotions, feelings, colours and basic ideas being transmitted directly from brain to brain. Whilst this raises many questions as to how it would work in practice, clearly we would be foolish not to push ahead to try to achieve it.

DEEP BRAIN STIMULATION

The number of Parkinson's disease (PD) patients is estimated to be 120-180 out of every 100,000 people, although the percentage is increasing rapidly as life expectancies increase. For decades researchers have exerted considerable effort to understand more about the disease and to find methods to successfully limit its symptoms [12], which are most commonly periodic (and frequently acute) muscle tremor and/or rigidity. Many other symptoms such as haunched stooping may however occur in later stages of PD.

In the early stages of PD, the drug levodopa (L-dopa) has been the most common form of treatment since 1970. However the effectiveness of L-dopa de-

creases as the disease worsens and for many patients the severity of side effects increases, something that is more apparent when the onset of the disease occurs at a younger age.

Surgical treatment, such as lesioning used to be an alternative when drug treatments become ineffective. Lesioning can alleviate symptoms thus reducing the need for drug therapy all together. Indeed this is still performed to some extent. However a further alternative treatment of PD by means of Deep Brain Stimulation (DBS) became possible when the relevant electrode technology became available from the late-1980s onwards. From then on, many neurosurgeons have moved to implanting neurostimulators connected to deep brain electrodes positioned in the thalamus, sub-thalamus or globus pallidus for the treatment of PD symptoms such as tremor, dystonia and pain.

A Deep Brain Stimulation device contains an electrode lead with four or six cylindrical electrodes at equally spaced depths attached to an implanted pulse generator (IPG), which is surgically positioned in the body cavities at the top of the chest. In fact DBS has many advantages in comparison with the alternatives such as being reversible. It is also potentially much less dangerous than lesioning and is, in many cases, highly effective.

However, on the down side it presently utilizes a continuous relatively high amplitude current simulation at high frequency (typically 150-180 Hz.) resulting in the need for regular battery replacement every 24 months or so. The cost of battery replacement, the time-consuming surgery involved and the trauma of the repetitive surgery required severely limits the patients who can benefit, particularly those who are frail, have problems with their immune system or are not particularly wealthy.

The obvious solution, namely remote inductive battery recharging is fraught with problems such as the size of passive coil size that needs to be implanted, nasty chemical discharges that occur within the body and perhaps worst of all the 'wasted' time that a patient must remain in an awkwardly fixed position next to a charging station – even then the mean time between replacements is only marginally improved. Another solution to prolong the battery life is simply to improve battery technology. However, the link between price of battery and battery life is clear. If we are considering a battery that could potentially supply the stimulation currents required over a ten or twenty year period then the technology to achieve this in a low cost, implantable, durable form is nowhere near being on the horizon.

Ongoing research involving the author is aimed at developing an 'intelligent' stimulator [13-16]. The idea of the stimulator is to produce warning signals before the tremor starts so that the stimulator only needs to generate signals occasionally instead of continuously – thereby operating in a similar fashion to a heart pacemaker.

Artificial Intelligence (AI) tools such as Artificial Neural Networks [13] have been shown to successfully provide tremor onset prediction. Data input to the network is provided by the measured electrical Local Field Potentials obtained by means of the same deep brain electrodes used for stimulation, i.e. the electrodes are employed in a bidirectional fashion. The network is trained to recognise the nature of electrical activity deep in the human brain and to predict (several seconds ahead) any subsequent tremor onset. In this way the DBS device is 'intelligent', the aim being to only trigger the stimulation by means of the AI system.

Many issues exist with the AI system as much pre-processing of the neural data is necessary along with frequency filtering to minimize the difficulty of prediction. Comparative studies are now ongoing to ascertain which AI method appears to be the most reliable and accurate in a practical situation [16].

False positive predictions (the AI system indicating that a tremor is going to occur when in fact this is not the case) are not really a problem. The end result in such situations is merely that the stimulating current would be applied when it is not strictly necessary. In any event no actual tremor would occur, which is a good outcome for the patient, however unnecessary energy would have been used. That said, results show that the network can be readily tuned to avoid the occurrence of most false positives anyway.

Missing the prediction of a tremor onset is though extremely critical and is not acceptable. Such an event would mean that the stimulating current would not come into effect in time, if at all, and the patient would actually suffer from tremors occurring for a period at least.

Intelligent deep brain stimulators are starting to be designed [14, 15]. In such a case a computer (artificial brain) is used to understand the workings of specific aspects of the human brain. The job of the artificial brain is to monitor the normal functioning of the human brain so that it can accurately predict a negative event, such as a Parkinson tremor, several seconds before it actually occurs. In other words the artificial brain's job is to out think the human brain and to stop it doing what it 'normally' wants to do. Clearly the potential for this system to be applied for a broad spectrum of different uses is enormous.

NON-INVASIVE BRAIN-COMPUTER INTERFACES

By far the most studied Brain-Computer Interface to date is that involving Electroencephalography (EEG) and this is due to a number of reasons. Firstly it is non-invasive, hence there is no need for surgery with potential infection or side effects. Ethical approval requirements are therefore significantly less and, due to the ease of electrode availability and their simple compatibility, costs are relatively low.

It is also a portable procedure, involving electrodes which are merely stuck on to the outside of a person's head and can be set up in a lab with relatively little training and little background knowledge and taking little time.

The number of electrodes actually employed for experimental purposes can vary from a small number, say 4 to 6, to what is perhaps the most commonly encountered 26-30, to well over 100 for those attempting to achieve a higher resolution. It may be that individual electrodes are attached at specific locations or a cap is worn in which the electrodes are pre-positioned. The care and management of the electrodes also varies considerably between experiments from those in which the electrodes are positioned dry and external to hair to those in which hair is shaved off and gels are used to improve the contact made.

In some cases a study is more for medical purposes, one example being to investigate the onset of Epileptic seizures in patients, however the range of applications is widespread. The most typical and/or interesting are included briefly here to give an idea of possibilities and ongoing work rather than for a complete overview of the present state of play.

Typical are those in which subjects learn to operate a computer cursor in this fashion [17]. However, even after significant periods of training (many months), the process is slow and usually requires several attempts before limited success is achieved. Along much the same lines, numerous research groups have used EEG recordings to switch on lights or control a small robotic vehicle and control other analogue signals [18, 19]. A similar method was employed, with a 64-electrode skull cap, to enable a quadriplegic to learn to carry out simple hand movement tasks by means of stimulation through embedded nerve controllers [20].

It is also possible to consider the uniqueness of specific EEG signals in response to associated stimuli and to use this as an identification tool [21]. Meanwhile interesting results have been achieved using EEG for the identification of intended finger taps, whether the taps occurred or not, with high accuracy. This is useful as a fast interface method as well as a possible prosthetic tool [22, 23].

EEG experimentation is relatively cheap, portable and easy to set up, however it is still difficult to see its widespread use in the future. It has a role to play in externally assessing some aspects of brain functioning for medical purposes, e.g. assessment of epileptic seizures and neural activity during Obsessive Compulsive Disorder, and surely these applications will increase in due course. But the possibility of people driving cars whilst wearing a cap of electrodes, with no need for a steering wheel, is not thought (by the author) to be realistic.

SUBDERMAL MAGNETIC IMPLANTS

Research using subdermal magnetic implants [24] involves the stimulation of mechanoreceptors by an implanted permanent magnet manipulated through an external electromagnet. Permanent magnets retain their magnetic strength over a very long period of time and are robust to various conditions. Hard ferrite, Neodymium and Alnico are easily available, low cost permanent magnets deemed to be suitable for this.

The implanted magnet is agitated in response to an external magnetic field. The amount of agitation is directly proportional to the externally applied signal. In this way different external sensory signals can be sensed by the implantee through the extent of magnet vibration.

The highest density of mechanoreceptors is found in the fingertips, especially in the index and middle fingers. They are responsive to relatively high frequencies and are extremely sensitive to frequencies in the range 200Hz-300Hz.

The pads of the middle and ring fingers were the preferred sites for experiments involving magnet implantation [24]. A simple interface containing a coil mounted on a wire-frame and wrapped around each finger was designed to generate the magnetic fields to stimulate movement in the magnet within the finger. The general idea is that output from an external sensor is used to control the current in the wrapped coil. So as the signals detected by the external sensor change, these in turn are reflected in the amount of vibration experienced through the implanted magnet.

A number of application areas have been experimented on [24]. The first being ultrasonic range information. Distance information from the ranger was encoded via the ultrasonic sensor as variations in frequency of current pulses, which in turn were passed on to the electromagnetic interface. This allowed a practical means of providing information about the individual's surrounding for navigational assistance. The distances were understood within a few minutes of use.

A further application involves reading Morse signals. This application scenario applies the magnetic interface for communicating text messages using an encoding mechanism suitable for the interface. In this way text input can be encoded and the codes dots and dashes transmitted to the interface. The dots and dashes can be represented as either frequency or magnetic field strength variations.

RFID IMPLANTS

The final experiment to be considered briefly here is the implantation of a Radio Frequency Identification Device (RFID) (see Figure 5) as an indication of identity. Such a device transmits a sequence of pulses by radio and these represent a unique number.

The number can be pre-programmed to act like a PIN number on a credit card. So, with an implant of this type, when activated, the code can be checked by computer and the identity of the carrier specified.

Such implants are being used to gain access to night clubs in Barcelona and Rotterdam (The Baja Beach Club), as a high security device by the Mexican Government and as a medical information source (having been approved in 2004 by the U.S. Food and Drug Administration which regulates medical devices in the USA). In the latter case, information on an individual's medication, for conditions such as diabetes, is stored in the implant. As it is implanted, details cannot be forgotten, the record cannot be lost, and it will not be easily stolen.

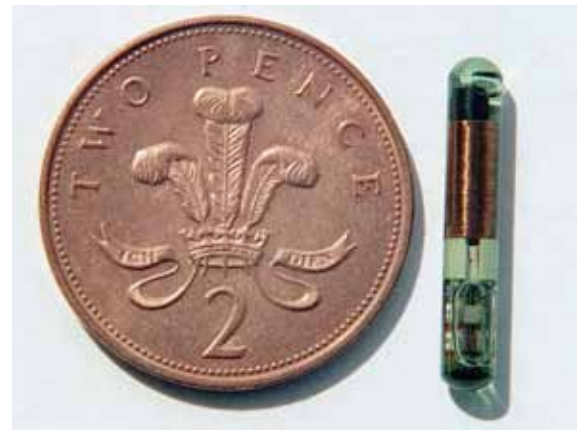


Figure 5: RFID Implant next to a UK 2 pence coin.

The implant does not have its own battery. It has a tiny antenna and microchip enclosed in a silicon or glass capsule. The antenna picks up power remotely when passed near to a larger coil of wire which carries an electric current. The power picked up by the antenna in the implant is employed to transmit by radio the particular signal encoded in the microchip. Because there is no battery, or any moving parts, the implant requires no maintenance.

The first such RFID implant to be put in place in human occurred on 24 August 1998 in Reading, England. It measured 22 mm by 4 mm diameter. The body selected was the author of this article. The implant allowed the author to control lights, open doors and be welcomed "Hello" when he entered the front door at Reading University. Such an implant could be used in humans for a variety of identity purposes – e.g. as a credit card, as a car key or (as is already the case with some other animals) a passport.

To this time there have been many recipients of RFID implants and all echo the sentiments of cochlear implant and heart pacemaker users - the implant quickly becomes perceived as being part of the body and what the user understands to be their body. In essence, the boundaries between human and machine become theoretical. Clearly the separation between humans and technology is rapidly diminishing.

CONCLUSIONS

In this chapter a look has been taken at several different implants. Experimental cases have been reported to indicate how humans or animals can merge with technology in this way.

When considering robots with biological brains, clearly such an approach allows for 'complete body engineering' in which brain size, body size, power, communications and other abilities are optimized for the requirements in hand. It may well be that the human body is not best suited to the technological world in which it now operates and hence we see problems such as obesity as a direct consequence. Maybe this technique will ultimately open up a future route for human development whereby humans can cast off the shackles and limitations imposed by the restrictions of having to live in a biological body.

In the section on the Braingate implant a look was taken at the potential for human enhancement. Already extra-sensory input has been achieved, extending the nervous system over the internet and a basic form of thought communication. So it is likely that many humans will upgrade and become part machine themselves. This may of course mean that ordinary humans are left behind as a result.

Then came a section on deep brain stimulators employed chiefly to counteract the effects of Parkinson's Disease. This was followed by a look at standard EEG electrodes which are positioned externally and which therefore are encountered much more frequently. Unfortunately the resolution of such electrodes is relatively poor and they are only useful for monitoring and not stimulation. We may well be able to use them to learn a little more about how the brain operates but it is difficult to see them being used for highly sensitive control operations.

Finally we considered subdermal magnetic implants and their use for sensory substitution, enabling humans to extend their range of sensory input. This was followed by a brief look at RFID implants for identification purposes. Overall the range of methods considered here has therefore been quite broad. The common theme being the forming of a human-technology merged system, potentially which benefits from the advantages of both. Both for therapy and ultimately enhancement, this would clearly appear to be the future for humanity.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Chiappalone, M., Vato, A., Berdondini, L., Koudelka-Hep, M. and Martinoia, S., Network dynamics and synchronous activity in cultured cortical neurons, *International Journal of Neural Systems*, Vol. 17, pp.87-103, 2007.
- [2] DeMarse, T., Wagenaar, D., Blau, A. and Potter, S., The neurally controlled Animat: biological brains acting with simulated bodies, *Autonomous Robots*, Vol. 11, pp.305-310, 2001.
- [3] Warwick, K., Nasuto, S., Becerra, V. and Whalley, B., Experiments with an in-vitro robot brain, Chapter in 'Instinctive Computing', *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Y.Cai (Ed.), Vol.5987, pp.1-15, 2010.

- [4] Warwick, K., Implications and consequences of robots with biological brains, *Ethics and Information Technology*, Vol.12, Issue.3, pp.223-234, 2010.
- [5] Donoghue, J., Nurmikko, A., Friebs, G. and Black, M., Development of a neuromotor prosthesis for humans, Chapter 63 in *Advances in Clinical Neurophysiology, Supplements to Clinical Neurophysiology*, Vol.57, pp.588-602, 2004.
- [6] Kennedy, P., Andreasen, D., Ehirim, P., King, B., Kirby, T., Mao, H. and Moore, M., Using human extra-cortical local field potentials to control a switch, *Journal of Neural Engineering*, Vol.1, Issue.2, pp.72-77, 2004.
- [7] Hochberg, L., Serruya, M., Friebs, G., Mukand, J., Saleh, M., Caplan, A., Branner, A., Chen, D., Penn, R. and Donoghue, J., Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia, *Nature*, Vol.442, pp.164-171, 2006.
- [8] Warwick, K., Gasson, M., Hutt, B., Goodhew, I., Kyberd, P., Andrews, B., Teddy, P. and Shad, A., The application of implant technology for cybernetic systems, *Archives of Neurology*, Vol.60, Issue.10, pp.1369-1373, 2003.
- [9] Warwick, K., Gasson, M., Hutt, B., Goodhew, I., Kyberd, P., Schulzrinne, H. and Wu, X., Thought Communication and Control: A First Step Using Radiotelemetry, *IEE Proceedings on Communications*, Vol.151, No. 3, pp 185-189, 2004.
- [10] Gasson, M., Hutt, B., Goodhew, I., Kyberd, P. and Warwick, K., Invasive Neural Prosthesis for Neural Signal Detection and Nerve Stimulation, *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, Vol.19, Issue.5 (2005) 365-375
- [11] Warwick, K. and Gasson, M., Practical Interface Experiments with Implant Technology, in *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3058, edited by Sebe, N., Lew, M. and Huang, T., *Computer Vision in Human-Computer Interaction (2004)* 7-16
- [12] Pinter, M., Murg, M., Alesch, F., Freundl, B., Hellscher, R. and Binder, H., Does deep brain stimulation of the nucleus ventralis intermedialis affect postural control and locomotion in Parkinson's disease?, *Movement Disorders*, Vol.14, Issue.6, pp.958-963, 1999.
- [13] Pan, S., Warwick, K., Gasson, M., Burgess, J., Wang, S., Aziz, T. and Stein, J., Prediction of Parkinson's Disease tremor onset with artificial neural networks, *Proc. IASTED Conference BioMed 2007*, Innsbruck, Austria, pp.341-345, 14-16 Feb 2007.
- [14] Wu, D., Warwick, K., Ma, Z., Burgess, J., Pan, S. and Aziz, T., Prediction of Parkinson's disease tremor onset using radial basis function neural networks, *Expert Systems with Applications*, Vol.37, Issue.4, pp.2923-2928, 2010
- [15] Pan, S., Iplikci, S., Warwick, K. and Aziz, T., Parkinson's Disease tremor classification – a comparison between support vector machines and neural networks, *Expert Systems with Applications*, Vol.39, Issue.12, pp.10764-10771, 2012.
- [16] Bakstein, E., Burgess, J., Warwick, K., Ruiz, V., Aziz, T. and Stein, J., Parkinsonian tremor identification with multiple local field potential feature classification, *Journal of Neuroscience Methods*, Vol.209, Issue.2, pp.320-330, 2012.
- [17] Trejo, L., Rosipal, R. and Matthews, B., Brain-computer interfaces for 1-D and 2-D cursor control: designs using volitional control of the EEG spectrum or steady-state visual evoked potentials, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol.14, Issue.2, pp.225-229, 2006.
- [18] Millan, J., Renkens, F., Mourino, J. and Gerstner, W., Non-invasive brain-actuated control of a mobile robot by human EEG, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 51, Issue.6, pp.1026-1033, 2004
- [19] Tanaka, K., Matsunaga, K. and Wang, H., Electroencephalogram-based control of an electric wheelchair, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol.21, Issue.4, pp.762-766, 2005.
- [20] Kumar, N., Brain computer interface, *Cochin University of Science & Technology Report*, Kochi-682022, August 2008.
- [21] Palaniappan, R., Two-stage biometric authentication method using thought activity brain waves, *International Journal of Neural Systems*, Vol.18, Issue.1, pp.59-66, 2008.
- [22] Daly, I., Nasuto, S. and Warwick, K., Single tap identification for fast BCI control, *Cognitive Neurodynamics*, Vol.5, Issue.1, pp.21-30, 2011.
- [23] Daly, I., Nasuto, S. and Warwick, K., Functional connectivity during single finger taps for BCI control, *Pattern Recognition*, Vol.45, Issue.6, pp.2123-2136, 2012
- [24] Hameed, J., Harrison, I., Gasson, M. and Warwick, K., A novel human-machine interface using subdermal magnetic implants, *Proc. IEEE International Conference on Cybernetic Intelligent Systems*, Reading, pp. 106-110, Sept. 2010

Kevin Warwick
School of Systems Engineering,
University of Reading, Whiteknights, Reading, RG6 6AY, UK

Interfejs operatora robota chirurgicznego

– oryginalne rozwiązania sprzężenia informacyjnego i decyzyjnego

ZBIGNIEW
NAWRAT^{1,2}
PAWEŁ
KOSTKA³
KRZYSZTOF LIS³
KAMIL ROHR¹
ŁUKASZ
MUCHA³
KRZYSZTOF
LEHRICH³
WOJCIECH
SADOWSKI¹
KRZYSZTOF
KRZYSZTOFIK¹
ZBIGNIEW
MAŁOTA¹

¹Fundacja Rozwoju
Kardiochirurgii im. Prof.
Zbigniewa Religi
²Śląski Uniwersytet
Medyczny
³Politechnika Śląska
nawrat@frk.pl

Słowa kluczowe:

roboty chirurgiczne,
interfejs
człowiek-maszyna,
sprzężenie zwrotne,
systemy haptyczne,
zdalne sterowanie

Artykuł recenzowany

Streszczenie

Artykuł przedstawia postępy i perspektywy systemu sterowania (interfejsu użytkownika) polskiego robota chirurgicznego Robin Heart, w ramach projektu prowadzonego przez zespół FRK. Trwa przygotowanie pierwszego modelu klinicznego robota: nowego modelu Robin Heart PortVisionAble, lekkiego, walizkowego robota toru wizyjnego. Kolejnym wyzwaniem jest budowa konsoli sterowania ramieniem robota o kontrolowanej sztywności i geometrii.

Summary

The paper presents the achievements & perspectives, current state of works conducted by the FCSD team under the Robin Heart surgical robot console, surgeon-robot interface. The Robin Heart PortVisionAble will be prepared to track video endoscopy with new functional properties (lightweight, mobile robot) offered with telemedic system allowing the long distance image transfer. The construction of console for operator of surgical tools with controlled stiffness and geometry is another challenge for the near future.

Keywords: Surgical robots, Human-Machine Interface, Force Feedback, Haptic, Telemanipulation

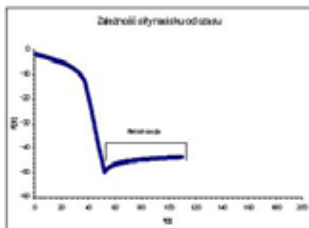
WSTĘP

Robot składa się z mechanicznego manipulatora, systemu sterowania i programowania. Według normy PN-EN ISO 8373:2001 robot jest automatycznie sterowaną, programowalną, wielozadaniową maszyną o wielu stopniach swobody, posiadającą właściwości manipulacyjne i lokomocyjne, stacjonarną lub mobilną, do różnych celów przemysłowych i specjalnych.

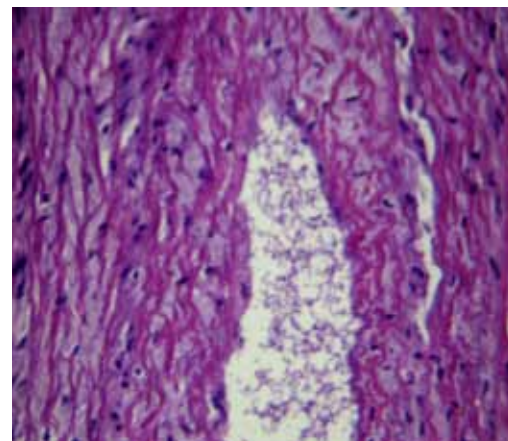
Telemanipulator to zdalnie sterowany robot. Telemanipulator chirurgiczny musi spełniać nie tylko ścisłe wymogi bezpieczeństwa i precyzji działania we wnętrzu ciała pacjenta ale też powinien wykorzystywać umiejętności chirurga zdobyte podczas wieloletniej pracy wykonywanej różnymi narzędziami. Te cele muszą być realizowane podczas projektowania konsoli i zadajników ruchu systemu sterowania robotem chirurgicznym. Dlatego we wstępnej fazie projektu robota Robin Heart badano oddziaływanie narzędzi na tkanki ale też prowadzono studia pracy za pomocą różnych narzędzi wykonawczych dla zrozumienia specyfiki doświadczenia chirurga.

Kierujący projektem Robin Heart, główny autor tego artykułu, wprowadził do prac zespołu filozofię, sprowadzającą się do algorytmu postępowania: od przedmiotu operacji do narzędzia, od analizy celu operacji do techniki operowania, od analizy cech anatomicznych, pracy i doświadczenia chirurga do stanowiska pracy chirurga [1]. Badania biomechaniczne prowadzące do założeń projektu robota zostały opisane w pracy [2].

Zespół Pracowni Biocybernetyki FRK miał pionierskie w kraju doświadczenie w zakresie modelowania komputerowego i fizycznego, symulacji efektów operacji chirurgicznych. Znajomość zagadnienia operacji chirurgicznej, celów chirurgii i sposobu ich osiągnięcia była fundamentem zało-



Rys.1 Badanie oddziaływania narzędzia podczas zaciskania naczynia (aorta indycza świeża, mikroskop 60x, oraz aorta wieprzowa, mikroskop 60x); przy nacisku do 50 N z prędkością narzędzie poruszało się z prędkością $v = 0,05 \text{ mm/s}$, następnie relaksacja [3].



żeń projektowych robota Robin Heart, a następnie tworzenia systemu planowania operacji z udziałem robota. Zbudowano specjalistyczne stanowiska badawcze, opracowano metodykę badawczą i przeprowadzono badania [1].

Projektowanie robota poprzedziły studia literaturowe oraz badania własne związane z wymaganiami kinematycznymi i dynamicznymi dla typowych elementów zabiegu chirurgicznego na sercu. Wykonano badania oddziaływania narzędzi z tkanką [3] – Rys.1.

Projektowanie narzędzi stosowanych w robotach chirurgicznych rozpoczęto od zdefiniowania podstawowych czynności wykonywanych podczas chirurgicznych operacji tradycyjnych i laparoskopowych oraz szczegółowej analizy ruchów w poszczególnych zadaniach chirurgicznych. Na podstawie szczegółowej analizy czynności chirurgicznych można wyróżnić pięć funkcjonalnych zespołów ruchowych narzędzia: sięganie (ustalanie pozycji końcówki) – orientowanie; chwytanie – trzymanie/cięcie (zaciskanie chwytaka); pchanie; ciągnięcie; wypuszczanie (otwieranie chwytaka). W czasie eksperymentu polegającego na szyciu i cięciu serca świnińskiego za pomocą typowych narzędzi chirurgicznych oraz narzędzi laparoskopowych (na specjalnym modelu) określono niezbędną liczbę stopni swobody do wykonania danych czynności [1].

TELEMANIPULATOR ROBIN HEART

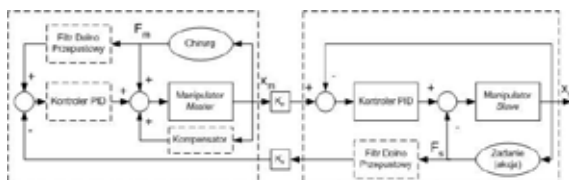
W ramach rodziny polskich robotów Robin Heart w pierwszym okresie, w latach 2000–2003, powstały trzy modele: Robin Heart 0, Robin Heart 1 i Robin Heart 2, różniące się m.in. koncepcją sterowania i mocowania. W latach 2007 – 2008 powstał służący do sterowania położeniem endoskopowego toru wizyjnego robot Robin Heart Vision. Robin Heart mc2 powstał w 2010 roku w odpowiedzi na potrzeby precyzyjnego działania w małym obszarze pola operacji. Sterowanie robotem odbywa się w ergonomicznej konsoli Robin

Heart Shell. Wprowadzono także oryginalne narzędzia mechatroniczne systemu Robin Heart Uni, które można mocować na ramieniu robota lub w specjalnym uchwycie ręcznym.

Zarówno konstrukcje (kinematyka) kolejnych modeli robota jak i rosnące doświadczenie zespołu projektowego wpływały na powstanie różnych modeli zadajników ruchu dla kontroli położenia robota i pracy narzędzi przez ostatnie 10 lat.

System sterowania robota pracuje w układzie manipulatora Master–Slave, odwzorowując ruchy operatora (chirurga) na ruch ramienia wykonawczego poprzez wypracowywanie odpowiednich sygnałów sterujących dla jego napędów. Zgodnie z założeniami sterowanie zapewnia wymaganą dokładność, pozwala na skalowanie wielkości zadanej w celu poprawienia dokładności pozycjonowania, a także eliminuje efekt drżenia rąk operatora.

Telemanipulatory chirurgiczne pracują w układzie manipulatora Master–Slave. Podstawowym zadaniem modułu sterowania, systemu pracującego w tej konfiguracji jest mapowanie ruchów operatora chirurga (zadajnika położenia/prędkości i ewentualnie innych wielkości fizycznych) na ruch ramienia wykonawczego poprzez wypracowywanie odpowiednich sygnałów sterujących dla jego napędów. Dodatkową bardzo pożądaną przez potencjalnych użytkowników systemu (chirurgów-operatorów) cechą systemu jest wbudowanie układu zwrotnego przesyłu wrażenia odczuwania siły/dotyku narzędzia do osoby operującej.



Rys.2. Dwa tory przesyłu informacji z uwzględnieniem informacji zawartych w charakterystykach częstotliwościowych zdolności ruchowych człowieka.

Na przedstawionym schemacie (Rys.2) pokazano dwa podstawowe tory przesyłu informacji: tor położenia zadajnika operatora oraz tor zwrotnego odczuwania siły przez operatora. Wielkości fizyczne charakteryzujące obydwa tory przesyłu danych mogą podlegać skalowaniu.

W realizowanym aktualnie układzie sterowania systemu telemanipulatora kardiochirurgicznego Robin Heart, po analizie efektywności różnych rozwiązań, przyjęto sposób sterowania przyrostowy z możliwością odsprzęglania zadajnika od części mechanicznej całego systemu. Umożliwia to elektryczne odłączenie zadajnika w dowolnym momencie pracy, ustawienie go w nową, ergonomiczną pozycję pracy i kontynuację pracy po aktywacji sprzęgła. W celu aktywacji sprzęgła opracowano dwa rozwiązania techniczne: przycisk sterowany ręcznie umieszczony w konsoli zadajnika oraz pedał nożny [4].





Rys. 3. Studia nad zadajnikiem egzozszkieletowym (a,b), modele zadajnika wykorzystujące uchwyt narzędzia laparoskopowego (c,d,e,f,g), model zadajnika Ergomove (h), sterowanie głosem (i), konsola Robin Heart Shell 1 (j,k) oraz konsola Robin Heart Shell 2 (l).

Opracowano i przetestowano wiele konstrukcji zadajników ruchu robota zastawionych na Rys.3. Sterowanie ruchem narzędzi polega na odtworzeniu ruchu palców, dłoni czy ręki. Przeprowadzono badania modelowe i studia konstrukcyjne dotyczące sposobów przekazania intencji

Zadajniki ruchu są układami elektromechanicznymi, które mają na celu odwzorowanie ruchów wykonywanych przez chirurga w czasie operacji i przekształcenie ich na ciąg impulsów cyfrowych. Podczas operacji chirurg wykorzystuje możliwość ruchu we wszystkich stawach kończyny górnej. W określonej przestrzeni roboczej umieszczenie przedmiotu w dowolnie zadanej pozycji i nadanie mu dowolnej orientacji wymaga 6 stopni swobody. Ręka człowieka jest więc manipulatorem redundantnym. Przez ograniczanie liczby stopni swobody (ruchliwości stawów) traci się naturalną zdolność (zręczność) wykonywania różnych zadań [1].

chirurga oraz zadania ruchu poprzez odpowiednio wyposażone uchwyty i konstrukcje odwzorowujące część szkieletu dłoni czy ręki. W badaniach wykorzystywano rozwiązania technologiczne typowe dla mechaniki, hydrauliki czy pneumatyki. Roboty służące do kierowania torem wizyjnym mogą być sterowane głosem lub ruchem głowy. Wykonano odpowiednie aplikacje. W badaniach sterowania głosem opracowano komendy, które służyły do precyzyjnego poruszania robotem i ustawiania właściwej pozycji obrazu z pola operacji. Wykorzystane do tego celu komercyjne oprogramowanie zdecydowanie lepiej działało stosując formuły w języku angielskim. Wykonano próby sterowania położeniem robota za pomocą

ruchu dłoni lub głowy wyposażonej w czujniki żyroskopowe i akcelerometryczne typu MEMS. Dla sterowania telemanipulatorem toru wizyjnego uznano te technologie za wartościowe.

BADANIA SYSTEMU ZDALNEGO STEROWANIA ROBOTEM CHIRURGICZNYM

Założono, że robot chirurgiczny nie powinien ograniczać się do odtwarzania ruchu dłoni chirurga, ale aktywnie działać w polu operacji, wykorzystując wszystkie zalety urządzenia typu automat. Za pomocą jednego przycisku powinno być możliwe uruchomienie procedury w lokalnej przestrzeni operacji [1].

Układ sterowania telemanipulatora musi zapewnić wymaganą dokładność i rozdzielczość ruchu, przeskalowywanie zakresu ruchu dłoni na zakres ruchu i eliminować efekt drżenia rąk operatora. W latach 2000 – 2010 w Pracowni Biocybernetyki FRK opracowano kilka projektów urządzeń typu Master zadających ruch robota (interfejsów lekarz – robot), wykorzystujących zarówno głos lekarza (komendy wydawane głosem), jak i zadania sprecyzowane ruchem dłoni za pomocą różnego rodzaju zadajników.

Prowadzone prace badawcze możemy podzielić na badania laboratoryjne, badania na zwierzętach i teleoperacje. W pracach konstrukcyjnych możemy wyróżnić fazy:

- zadajniki ruchu – studia modelowe pierwszej fazy badawczej.
- konsola Robin Heart Shell 1 – z zadajnikiem ruchu narzędzia system RiH Uni System,
- konsola Robin Heart Shell 2 – z multifunkcyjnym zadajnikiem do kontroli,
- konsola Robin Heart Shell 3 – z obserwacją stereowizyjną i siłowym sprzężeniem ruchu.

Konsola Robin Heart Shell 1 została zweryfikowana w pierwszych eksperymentach na zwierzętach w 2009 roku, konsola Robin Heart Shell 2 podczas eksperymentu w 2010 roku. Trwają prace badawcze nad stanowiskiem pracy chirurga o rozbudowanych funkcjach obrazowania pola operacji (stereowizja) i toru sygnałów informacyjnych od pracującego narzędzia.

Metody badań przedstawimy na przykładzie badań modeli robotów Robin Heart 0 i Robin Heart 1. Główną grupą docelową są chirurdzy operujący popularnymi narzędziami laparoskopowymi z uchwytem pistoletowym i taki też był pierwszy zaproponowany

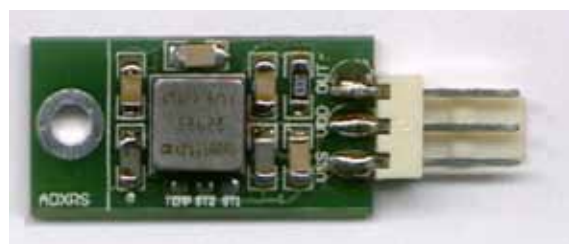
Rys.4. Robin Heart 1 stosowany był z zadajnikiem „laparoskopowym” w pierwszej wersji, następnie sterowany był z konsoli Robin Heart Shell.



zadajnik ruchu. W wyniku manipulacji kończyny górnej zadajnikiem wprowadzamy w ruch, poszczególne czujniki położenia (enkodery). Kierowanie robotem, kontrolowanie zadań wykonywanych przez narzędzia powinno odbywać się w sposób jak najbardziej naturalny, zrozumiały dla operatora, swobodny dla dłoni, nieobciążający mięśni (zmęczenie).

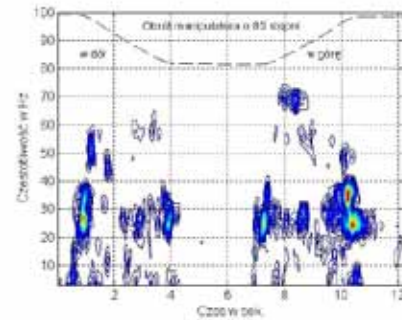
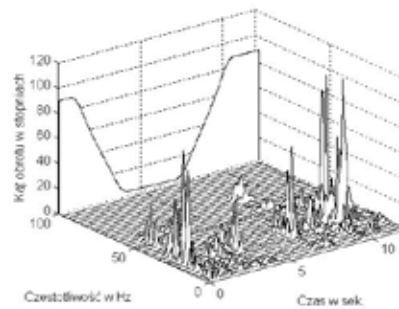
Zadajnik ruchu wykorzystujący doświadczenie chirurgii laparoskopowej (Rys. 4) pozwala na odtworzenie kinematyki robota – każdy ruch przestrzenny zadajnika ma bezpośredni odpowiednik w ruchu ramienia robota.

Ramię robota kardiochirurgicznego Robin Heart 1 ma kinematykę typu sferycznego i zadajnik położenia/prędkości stanowiący interfejs operatora, który posiada zbliżoną strukturę kinematyczną do ramienia. Rysunek 5 przedstawia umiejscowienie odpowiadających sobie czujników pomiarowych na zadajniku operatora (a) oraz ramieniu telemanipulatora (b) dla osi dwóch stopni swobody.



Rys. 5. Widok czujników MEMs na zadajniku operatora (a) i ramieniu robota Robin Heart (b) płytka elektroniczna z ADXRS150 (c).

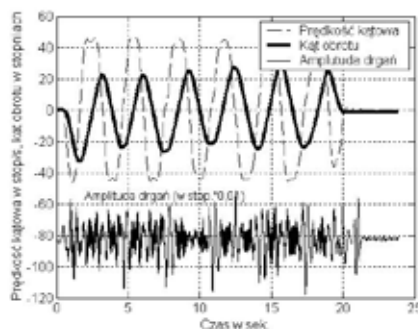
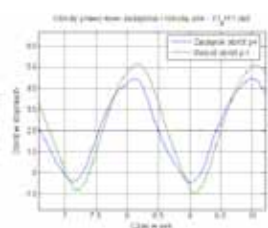
Rys. 6. Widmo drgań manipulatora w czasie obrotu manipulatora o 85° w płaszczyźnie ramienia [5].



Do prac badawczych wykorzystano monolityczny żyroskop ADXRS150, ponieważ występujące w manipulatorze prędkości kątowe nie przekraczały $150^\circ/\text{s}$. W monolitycznym żyroskopie ADXRS150 mierzone są wychylenia drgającej mikrobłki krzemowej, spowodowane działaniem sił Coriolisa podczas ruchu obrotowego, sygnałem wyjściowym jest napięcie proporcjonalne do szybkości obrotowej czujnika (ω). Rejestrowano sygnały podczas wykonywania różnych zadań kontroli wybranych trajektorii ruchu robota. Rysunek 6 ilustruje przebieg zmian widma drgań w czasie próby obrotu manipulatora w płaszczyźnie ramienia o kącie 85° (podnoszenie i opuszczanie ramienia). Można zauważyć dominujące składowe o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości drgań własnych, jak również nasilenie się drgań przy zbliżaniu się do pozycji wyjściowej (oznaczonej jako kąt 90°).

Kolejny test polegał na pracy manipulatora w trybie śledzenia ruchów operatora przez powtarzanie ruchów zadajnika. Przedstawione na rysunku 7 przebiegi dotyczą śledzenia ruchu obrotowego całego ramienia. Odtworzono kąt obrotu, amplitudę drgań kątowych i liniowych, odniesionych do końcówki manipulatora. Na powiększonym fragmencie wykresu można zauważyć wzrost amplitudy drgań o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości drgań własnych, dla maksymalnych szybkości obrotowych manipulatora, i efekty pochodzące od zmiany kierunku obrotów.

Rysunek 8 (obok) z kolei ilustruje wynik testów mapowania ruchu robota RiH 1 (kierunek główny DOF 2 – góra/dół) w postaci wyznaczonych na podstawie zarejestrowanych danych trajektorii zadajnika operatora i odpowiadającego mu stopnia swobody ramienia dla RiH 0 (a) oraz RiH 1 (b). Zmierzone opóźnienia

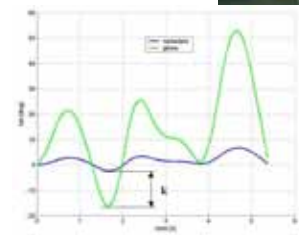


Rys. 7. Przebieg drgań końcówki manipulatora podczas śledzenia ruchów operatora [1].

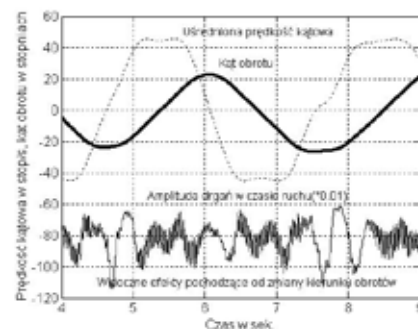
w czasie ruchu w górę to kilkanaście ms. Opracowana metodyka była wykorzystana do optymalizacji sposobu sterowania.

Prezentowane wyniki osiągnięto w 2003 r. podczas badań robotów sterowanych za pomocą komputera przemysłowego PEP i kart VIMC. Po zmianie systemu sterowania osiągnięto wyniki opóźnień poniżej 1 ms sygnału sterowania w teście teleoperacji na odległość 13 km [1].

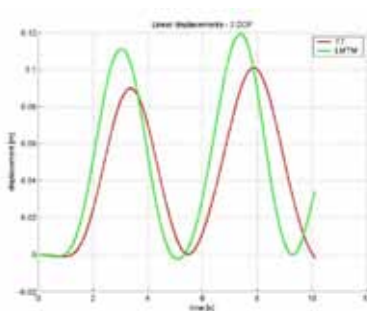
Dla sterowania ruchem robota toru wizyjnego korzystnym jest wykorzystanie sposobów zadawania ruchu z zachowaniem dłoni chirurga na narzędziu laparoskopowym. Dlatego wykonano szereg prób wykorzystania sterowania głosem, ruchem głowy czy ruchem stopy. Wprowadzono tu metodę wideo rejestracji (Rys. 9) stosowaną poprzednio do badań kinematyki ruchu chirurga podczas wykonywania zabiegu przy pomocy narzędzi chirurgicznych.



Rys. 9a. Wideoz rejestracja: testy różnego sposobu sterowania robotem; przemieszczenia głowy w płaszczyźnie poziomej powodujące obrót ramienia telemanipulatora RiH Vision wokół osi pierwszego stopnia swobody (k – różnica przesunięcia);



Rys. 9b. Wideorejestracja: testy różnego sposobu sterowania robotem; przemieszczenie liniowe zadajnika o budowie sferycznej i końcówki torakoskopowej robota RiH 1 (T – opóźnienie ruchu) [6].



Obecnie testujemy zupełnie nowy system nadający się świetnie do sterowania położeniem robota toru wizyjnego ze względu na brak potrzeby bezpośredniego dotyku układu sterowania. W ramach opracowania i umożliwienia chirurgom testów różnych interfejsów użytkownika dla kontaktu z telemanipulatorami w Grudniu 2013 r. w PB IPS FRK Zabrze sfinalizowano I-szy etap prac programistycznych, podczas których podłączono do systemu sterowania RobinHeart bezprzewodowy detektor ruchu: LeapMotion. Ta nowa, od kilku miesięcy dostępna technologia, pozwala na bardziej precyzyjną niż inne tego typu urządzenia lokalizację obiektu (np. palców dłoni) w przestrzeni - na poziomie 0.1 mm. Może stanowić ona bardzo dobre rozwiązanie w świecie medycznym do bezdotykowego sterowania zarówno aplikacjami na monitorze komputera w warunkach szpitalnych jak i jak to pokazano na Konferencji RM'13 nawet do zadawania pozycji telemanipulatora RHVision.

Oprogramowanie zostało napisane w środowisku LabView, integrując się z pełnym system sterowania RH. Aktualnie trwają prace nad wykorzystaniem detektora LeapMotion nie tylko po stronie Master (Chirurg/Operator) ale również po stronie ramienia wykonawczego (Slave) do rejestracji precyzyjnej trajektorii ruchu końcówki manipulatora.

Ostateczną weryfikację wdrażanych systemów sterowania przeprowadzono podczas badań na zwierzętach w 2009 r. - testy konsoli Robin Heart Shell 1 (Rys.10) i 2010 r. - testy konsoli Robin Heart Shell 2 (Rys.11), w której wprowadzono specjalne układy umożliwiające sterowania przez chirurga wybiórczo 4 narzędzia chirurgiczne oraz toru wizyjnego. Dodatkową trudność stanowiła tu modułowość robota, którego można w różnej konfiguracji stosować

do różnych operacji. Pełny opis eksperymentów można znaleźć w [1].

NIESTANDARDOWE SPOSOBY PRZEKAZYWANIA INFORMACJI Z POLA OPERACJI

W typowym telemanipulatorze chirurgicznym, standard stanowi tu oczywiście robot da Vinci (Intuitive Surgical, USA), chirurg operuje na podstawie obrazu pola operacyjnego, w którym widoczne są poruszane narzędzia i efekt ich oddziaływania na tkanki. Narzędzia w sposób intuicyjny odtwarzają ruch dłoni chirurga.

W projekcie Robin Heart wprowadziliśmy obok intuicyjnej orientacji narzędzia w polu operacji również zadawanie sekwencji ruchów oraz wkonywanie całych zadań przez narzędzia uruchamiane za pomocą odpowiednio oprogramowanych przycisków i mikrodźwistików. Opracowano system ze sprzężeniem siłowym oraz dodatkowe wsparcie informacyjne z pola operacji za pomocą obrazu ultrasonograficznego.

Kolejnym wyzwaniem dla zespołu RobinHeartTeam jest budowa konsoli sterowania robotem o zmiennej, regulowanej sztywności, którego działanie i konstrukcja jest inspirowana aktywnością europejskiego Stiff Flop koordynowanego przez prof. Kaspára Althofera z King's College w Londynie wykonaliśmy specjalny zadajnik ruchu ze sprzężeniem dla kontroli toru poruszania robota oraz specjalne rękawy podające informacje położeniu oraz wybranych stanach czujnika siły mierzonych w różnych miejscach ramienia robota wewnątrz ciała pacjenta. Z założenia bowiem chirurg powinien nie tylko kontrolować koniec ramienia robota zaopatrzonego w narzędzie chirurgiczne ale

Rys./Fig.10. Badania/Research. Stanowiska pracy chirurga – ergonomiczna konsola Robin Heart Shell 1 z zadajnikiem w tej samej formie co uchwyt mechatronicznego narzędzia systemu Robin Heart Uni System/The surgeon's workstation – an ergonomic console Robin Heart Shell 1, with the adjuster in the same form as the holder of mechatronic tools Robin Heart Uni System.



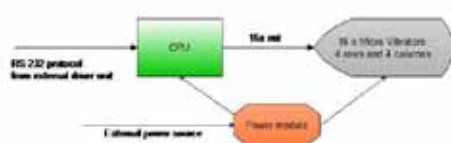


Rys./Fig.11. Badania/Research. Stanowiska pracy chirurga – ergonomiczna konsola Robin Heart Shell 2 umożliwia jednocześnie sterowanie dwoma narzędziami i torem wizyjnym oraz dwoma narzędziami asystującymi (po zastosowaniu sprzęgła)/The surgeon's workstation – ergonomic console Robin Heart Shell 2, allows the simultaneous control of two tools, and endoscope + two assisting tools (after coupling).

również powinien znać stan, pozycję i mechaniczne oddziaływanie z otoczeniem ramienia robota na całej jego długości poruszającej się pomiędzy delikatnymi strukturami organizmu.

Aby podać lokalną informację o położeniu i wartości oddziaływania zastosowano rękawy wyposażone w sieć mini siłowników pneumatycznych lub miniaturowych sejsmicznych wzbudników drgań.

Poszukiwanie dogodnego rozwiązania konstrukcyjnego z punktu widzenia zastosowania go jako imitację kontaktu operującego manipulatorem chirurgicznym z przeszkodą zaowocowało powstaniem koncepcji zastosowania miniaturowego wzbudnika sejsmicznego, jako urządzenia mechanicznego oddziałującego na człowieka. Zaproponowane rozwiązanie przewiduje montaż na przedramieniu operatora pewnej ilości wzbudników, których celem jest dodatkowa mechaniczna informacja zwrotna o oddziaływaniach w stre-



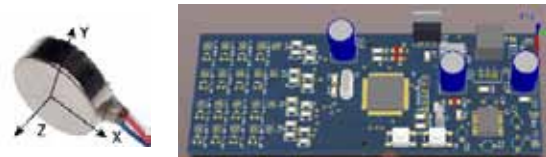
Rys. 13. Schemat blokowy układu sterowania

fie operacji [7]. Prototyp rękawa został wykonany w dwóch wersjach (Rys.12). Obydwie wersje wykonane zostały z tkaniny elastycznej.

System sterowania oparto o mikrokontroler z rodziny dsPIC, kontrolujący pracę wszystkich wibratorów. Schemat blokowy sterownia przedstawiono na rysunku 13. Komunikacja z zewnętrznymi urządzeniami odbywa się poprzez interfejs szeregowy RS 232. Takie rozwiązanie pozwala w przyszłości na zastosowanie komunikacji bezprzewodowej, co w połączeniu z zasilaniem bateryjnym pozwoli na stworzenie w pełni mobilnego rozwiązania [7].

Dla pierwszych prototypów skonstruowano płytkę PCB umieszczaną na rękawie, zasilaną z zewnętrzne-

Rys.12. Od lewej od góry: zastosowany mikrowzbudnik DC, układ sterowania, widok rękawa model 1, widok rękawa model 2.



go zasilacza dogniazdkowego i podłączoną do komputera kablem RS 232. Następnie przygotowano aplikację dla komputera PC za pomocą oprogramowania RAD Studio pozwalające na zadawanie poszczególnych funkcji [7].

Na wybranej grupie osób zostały przeprowadzone badania subiektywnego odczucia miejsca oraz intensywności wyczuwania działania wzbudnika. Grupa ochotników została poddana testom mającym na celu określenie optymalnego – najbardziej wyczuwalnego dla użytkownika sterowania wzbudnikami. Określone zostały 3 rodzaje sterowań wzbudników. W pierwszym przypadku użyto słabych sygnałów wzbudzających w skutek czego uzyskano średnią poprawną reakcję badanych na poziomie 54%. Sporządzona została macierz odpowiedzi układu nerwowego na podawany sygnał (Rys. 14).



Rys. 14. Wyniki testów subiektywnej reakcji operatora na pierwszy sygnał sterujący [7].

W kolejnym etapie użyto sygnału prostokątnego (pulsacyjnego) o określonej częstotliwości i amplitudzie. Dla tak zastosowanego sygnału uzyskano wynik poprawności wskazania działającego wzbudnika wynoszący średnio 96%. Macierz odwiedzi przedstawia rysunku 15.



Rysunek 15. Wyniki testów subiektywnej reakcji operatora na drugi sygnał sterujący [7].

W rękawie umieszczono matrycę 16 wibratorów rozmieszczonych w czterech przekrojach poprzecznych rękawa oraz czterech przekrojach wzdłużnych imitując odczucie kontaktu ręki z otoczeniem. Z przedstawionych w artykule [7] badań wynika,

że stosowanie jako synergiczne oddziaływania wzbudników drgań o wartości przyspieszenia ok. 1 g oraz częstotliwości w zakresie 100-200 Hz może stanowić nowatorski sposób na realizację sprzężenia zwrotnego manipulator - operator, jako dodatek do stosowanego praktycznie sprzężenia optycznego. Dodatkowo możliwe jest zidentyfikowanie wystąpienia miejsca oddziaływania. Zmiany dokonane w kolejnej wersji prototypu pozwoliły na osiągnięcie wyczuwalnych trzech poziomów intensywności. Dokładność subiektywnej identyfikacji miejsca vibracji przez osoby testujące wynosiła ponad 80%, a w przypadku poziomu średniego i mocnego ponad 95%.

Wykorzystanie tego rozwiązania w konsoli sterującej robotem chirurgicznym przyczynić się może do kontrolowania ryzyka operacji robotem.

PODSUMOWANIE

Podstawowym zadaniem układu zadajnika położenia/prędkości/przyspieszenia (lub innych wielkości fizycznych) w systemie pracującego w konfiguracji Master-Slave manipulatora, jest mapowanie ruchów operatora chirurga przetwarzanych następnie przez układ sterujący, wypracowujący sygnały sterujące dla ramienia wykonawczego. Dodatkowo system wyposażony może zostać w moduły detekcji, przetwarzania i przekazywania operatorowi informacji zwrotnej odzwierciedlającej w różny sposób (oddziaływanie siłowe, optyczne, termiczne, vibracyjne i inne) oddziaływanie narzędzia ramienia z obiektami pola operacyjnego. Systemy wyposażone w ten tor sprzężenia zwrotnego określane są jako urządzenia typu (greckiego haptikos – uchwyt, dotyk). Zarówno sygnały niosące informację o czynnościach operatora jak i sygnały zwrotne mogą podlegać skalowaniu, co stanowi istotną zaletę układów telemanipulatorów.

Ergonomia układu zadajnika przekazującego wolę chirurga w postaci wymuszeń typu:

- przemieszczenie,
- oddziaływanie siłowe,
- polecenia głosowe,
- obsługa interfejsu programowego (np. poprzez ekran dotykowy) - o poziomie której decyduje właśnie konstrukcja i sterowanie układem „Master” oraz podstawowe zalety robotów chirurgicznych jak możliwość skalowania ruchów, eliminacji zakłóceń i drżeń mięśniowych, wysoki poziom obrazowania pola operacyjnego przy zachowaniu bardzo wysokiego poziomu bezpieczeństwa i przyjęciu rozwiązań zapewniających opłacalność ekonomiczną robotycznych operacji małoinwazyjnych (MIS) stanowią o sukcesie wdrożenia do użytku klinicznego tych rozwiązań.

Problem komunikacji, sprzężenia informacyjnego operatora robota chirurgicznego z aktywnością w polu operacyjnym ma znaczenie podstawowe dla bezpieczeństwa i precyzji operacji. Istotnym elementem projektowanego interfejsu chirurg-maszyna, jest

wprowadzenie zwrotnego sprzężenia siłowego do zadajnika chirurga, który dla wybranych 1-2 stopni swobody przekazywałby operatorowi wrażenia/odczucia siłowe z końcówki narzędzia w ciele pacjenta - bardzo istotne z punktu widzenia przeprowadzanej operacji małoinwazyjnej przeprowadzanej przez otwory w ciele pacjenta. Problem sprzężenia siłowego zwrotnego nie został do tej pory rozwiązany adekwatnie do potrzeb chirurgii w żadnym robocie.

Praca podsumowuje doświadczenia zespołu Pracowni Biocybernetyki FRK w zakresie interfejsu operatora robota stosowanego podczas operacji chirurgicznych. Obecnie rozwijane są prace nad wprowadzeniem sprzężenia siłowego do nowego zadajnika ruchu. Konstrukcja nowego haptica oparta jest na strukturze mechanicznej typu tripod (delta). Proponowane rozwiązanie techniczne będzie polegało na zastosowaniu jednostek napędowych na przegubach haptica do generowania kontrolowanych oporów odzwierciedlających oddziaływanie narzędzia na środowisko operacyjne wewnątrz ciała pacjenta.

Rolą współczesnych robotów, jak na razie nie jest zastąpienie chirurga lecz w sposób nadzorowany poszerzenie jego możliwości i poprawę ergonomii pracy. W tym zakresie rozwój metod sterowania i dobór sposobów przekazywania informacji oraz ich wstępnego interpretowania przez układy doradcze będzie stanowił o jakości tych telemanipulatorów życia.

ACKNOWLEDGMENTS

Robin Heart Project was supported by KBN 8 T11E 001 18 and projects: PW-004/ITE/02/2004, R1303301 and R13 0058 06/2009, and NCBR - the national Centre for Research and Development - grants: R1303301 and R13 0058 06/2009, Robin PVA - no 178576, TeleRobin - no 181019 and many sponsors. The project of flexible tool supported in part by the European Commission within the STIFF-FLOP FP7 European project FP7/ICT-2011-7-287728. Thanks to EMED company from Warsaw and Famed-Zywiec, the group of prof. Leszek Podsedkowski from Lodz University of Technology and Marek Ciembroniewicz - EMSI, Siemianowice Śląskie. Special words of

appreciation to Surgeons: dr Joanna Sliwka-Los, dr Michał Zembala (SCHS, Zabrze), dr Grzegorz Religa (Warsaw), dr Romuald Cichon (FRK, Zabrze). Current Robin Heart team: Zbigniew Nawrat, Paweł Kostka, Krzysztof Lis, Łukasz Mucha, Krzysztof Lechrich, Kamil Rohr, Zbigniew Małota, Wojciech Sadowski, Krzysztof Krzysztofik, Mariusz Jakubowski, Adam Klisowski.

PODZIĘKOWANIA

Projekt robota Robin Heart był finansowany w ramach projektu badawczego KBN 8 T11E 001 18 oraz projektu zamawianego PW-004/ITE/02/2004, grant nr R1303301 i R13 0058 06/2009 oraz przez Fundację Rozwoju Kardiologii i wielu sponsorów. The project of flexible tool supported in part by the European Commission within the STIFF-FLOP FP7 European project FP7/ICT-2011-7-287728.

BIBLIOGRAFIA

1. Zbigniew Nawrat, Robot chirurgiczny Robin Heart – projekty, prototypy, badania, perspektywy. Rozprawa habilitacyjna 24/2011. Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Katowice 2011
2. Nawrat Z.: Roboty i manipulatory w medycynie. Mechanika Techniczna. Tom 12. Biomechanika. Red. R. Będziński. Warszawa: IPPT PAN 2011, 753–827.
3. Grzybowska K.: Modelowanie fizyczne i komputerowe wybranych części robota kardiologicznego. Praca magisterska. Promotor Z. Nawrat. Uniwersytet Śląski 2002.
4. Kostka P., Nawrat Z., Dybka W., Rohr K., Małota Z.: Optymalizacja interfejsu chirurg-telemanipulator. Zintegrowana konsola sterująca systemu Robin Heart. PAR 2010; 2: 546–553.
5. Nawrat Z.: Medical robots in cardiac surgery. Kardiochir. Torakochir. Pol. 2008; 5(4): 440–447.
6. Krzysztof Lis, Łukasz Mucha, Kamil Rohr, Wykorzystanie mikrowzбудników dźwiękowych do realizacji siłowego sprzężenia zwrotnego w zadajniku. Str. 175 – 188 w L. Leniowska, Z. Nawrat (red.), „Postępy robotyki medycznej” Wydawnictwo Uniwersytet Rzeszowski - Inprona, Rzeszów 2013

Questions about a new ethics

- ethics of medical robots era

ZBIGNIEW NAWRAT^{1,2,3}, M. KAWALSKI³

¹Foundation Of Cardiac Surgery Development, Zabrze, ²Medical University of Silesia, Katowice, ³International Society For Medical Robotics

Why do we need robots? Recent history shows that medical robots proved to be needed...

- by surgeons to allow them to operate less invasively, more precisely and safely, sometimes across great distances,
- by firemen and emergency first responders to go into danger zones where no human rescuers can safely venture to evacuate victims,
- by the elderly and disabled to let them live a fuller life and help in their struggle with solitude and disease.

In these areas medical robots extend the reach of physician's hands and allow for more effective movements in hard to reach and constrained spaces, be it the insides of the human body, the theatre of war or a burning building. Medical professionals can have their actions augmented on both the micro scale - while performing a complex surgery and at the macro scale when operating remotely in danger zones. Medical robotics offers a paradigm shift in the way medical responders work. Similar changes apply to home care, for instance in postoperative care or rehabilitation.

However, it's the medical-social companion robots that will be responsible for the greatest impact on human societies. Social robotics will change both the societal fabric and philosophy. Ethics will have to come up with answers for questions such as what are the rules of human to human interaction where a robot serves and an intermediary (remotely controlled medical robot). The very concept of a robot, when first invented was artistic in its nature, it was a technological replacement of a human. Robots were created on Earth in the image of man and for man.

HEALTHCARE SYSTEMS

Robots are needed by people and by healthcare systems, designed to take care of those people. Even

a back of the napkin calculation reveals that we soon will not be able to address the demands of home care without the help of new technologies. Medical-social robots are the only systems capable of delivering effective remote care (when remotely controlled by a physician) or even autonomous decision making and patient interaction.

In Poland the number of people, who are unable to live independently and require care is estimated to be between 1.6 and 2M (as of 2011). We only have 120,000 physicians and only 80,000 of them are actually practising physicians. This means that a patient-to-physician ration is just 1000:2. The situation of other medical personnel is not much better, we only have 250,000 nurses.

It is estimated that by 2035 over 9.6M people will be above 60 years old. According to Central Statistical Office 27% of our society will be in post-productive age. We will have to turn to robots for help. Robotic assembly lines have saved the mass production of cars and improved the standardisation of products manufacturing while lowering the prices and improving the work efficiency. Isn't that exactly what is needed in healthcare?

Certain changes are already visible. In the recent report by the International Federation of Robotics 2013 it is said that "The total number of professional service robots sold in 2012 rose by a relatively low 2% compared to 2011 to 16,067 units up from 15,776 in 2011. Sales of medical robots increased by 20% compared to 2011 to 1,308 units in 2012, accounting for a share of 8% of the total unit sales of professional service robots. The most important applications are robot assisted surgery and therapy with 1,053 units sold in 2012, 6% more than in 2011. The total value of sales of medical robots increased to US\$ 1,495 million, accounting for 44% of the total sales value of the professional service robots. Medical robots are the most valuable service robots with an average unit price of about US\$ 1.5 million, including accessories and services. In 2012, about 3 million service robots for personal and domestic use were sold, 20% more than in 2011. The value of sales increased to US\$1.2 billion. In 2012, it was estimated

that 1.96 million domestic robots, including all types, were sold.

IFR Projections for the period 2013-2016: About 94,800 new service robots for professional use and about 22 million units of service robots for personal use are to be sold. Sales of robots for elderly and handicap assistance will be about 6,400 units in the period of 2013-2016. This market will increase substantially within the next 20 years."

Which leads to an obvious conclusion - a revolution has already begun.

TASKS FOR TOMORROW

We have to solve the problems of:

- care for the elderly and poor
- equal access to health care regardless of the distance from a specialist
- risk reduction for rescue squads when operating in danger zones, disasters sites, quarantined areas; soldiers on missions during the colonisation of space.

Everything indicates that, this is impossible to achieve without medical robots.

How will people who are looked after by a robot cope with it? How will we build relationships among people when a robot intermediary, capable of independent decision making is present? How will we make decisions and how will robots make theirs?

ETHICS

I believe ethics to be the art of making the right choices so let's take a step back and seek advice of the ancient philosophers. For ages, philosophers have been analysing issues connected with the man-versus-man and man-versus-the world relations in order to help us comprehend the reality and find the correct conduct. Before moving onto the moral and ethical dilemmas connected with advances in medicine, let us look at the terminology and the biographical outline relevant to this field. The choice is subjective – essential in the search for inspiration [1].

The term "ethics" comes from the Greek word *ethikos*, meaning a way of conduct accepted in the society, a conduct according to the legal character (*ethos* character). Today, "ethics" is colloquially understood as "morality", although the Latin word *moralis* denotes more the judgement of the appropriateness of a given action than a person's character. Plato (427-347 BC), a known opponent of democracy, believed that most people live in ignorance, and therefore cannot be expected to make the right decision. Knowledge is a virtue, nobody purposefully chooses the wrong way [1].

Robot, of course also lives in ignorance – but in special situation we can imagine that "its" decisions can help us.

In his *Nicomachean Ethics*, Aristotle (384-322 BC) identified two types of virtues: moral (courage, gen-

erosity, modesty, etc.) and intellectual (wisdom, intelligence, reason). We all have the possibility to develop a virtue, however, only few are successful [1].

What kind of virtues we can find in our robot? Which one is the most important?

Thomas of Aquin (1225-1274) perceived moral problems in the context of the law of nature and God's commandments. A moral life is life "in accordance with reason". All people are equal and for all people there is a close connection between happiness and a righteous conduct (conscience) [1].

We - the people - create robots. They should respect the rights which we will indicate. Should we build robot conscience to serve as decision control?

Immanuel Kant (1724-1804) believed that a man's kindness does not depend on the effects of his actions, since there are too many factors which influence these actions and which we cannot influence. The development of the goodwill is the most important human aim [1].

However, the goodness of the robot will depend solely on the effects of its actions. The purpose of the training will be the best fit to the needs of humans, customised and optimised for specific tasks.

Jeremy Bentham (1748-1832) formulated a concept of utilitarianism according to which, one should be useful and act in a way that would cause the greatest good for the greatest number of people. His principle of utility regards "good" as that which produces more pleasure and less pain. Action consistent with the philosophy of utilitarianism means that it is the results or consequences of a given act that decide on its moral value, and not the reasons or motivation behind that act [1].

Robots will be no more and no less moral than its creators. Should a robot be useful only for its caretaker? How should they make decision regarding other people; sometimes what's for good for an individual contradicts what's good for others.

A.J. Ayer (1910-1988) and CL Stevenson (1908-) created the theory of emotivism. According to this theory, the scientific, empirical method of verification of statements is inefficient in ethics, whilst morality is only connected with our feelings [1].

However, we won't program our own feelings in robots we may program our preferences.

The contemporary British philosopher, Alasdair MacIntyre, in his search of understanding of good and evil delves into history and art, such as: the Homeric virtues (strength, courage, cleverness, friendship), Athens' virtues (courage, friendship, moderation, wisdom), and medieval virtues (bravery, justice, moderation, wisdom, faith, hope and love) [1].

Science fiction offers similar views on robot behaviour. Joseph Fletcher considered moral issues in three ways:

- legalistic (based on unknown commands);
- autonomic (rejecting rigid norms);
- situational (e.g. "love thy neighbour").

His situational ethics suggests that decision making should be based on predicting the consequences of a given act. This, however, is not always possible [1].

Definitely relevant for robots - that decision making should be based on predicting the consequences of a given act.

The use of robotics in the treatment process facilitates remote medical care, consultations and the monitoring of a patient's condition. It is therefore a chance for a greater availability and quality of medical services. Robots are a breakthrough in the infrastructure, the organisation of the operating theatre and in the specialised training of surgeons. But how to evaluate a wrong decision or an action of remote physician? How to divide the responsibility for the mistakes of remote robotic devices? The access to information depends on technical resources, software, etc. Therefore, the final effect is influenced by a number of people – engineers, administrators, economists, etc. as well as fortuitous events [1].

Even lower-level robots, let's call them servant robots need to obey the three laws of robotics formulated in the 1950s by Isaac Asimov in his book entitled: "The Caves of Steel":

- A robot may not intervene in human activities (exception - when the activities may injure a human being).
- A robot must obey any orders given to it by human beings (except where such orders conflict with the First Law).
- A robot must protect its own existence, as long as such protection does not conflict with the First Law or the Second Law.

On principle, the laws of robotics set forth the supremacy of man over robots in every circumstances and, in the case of conflict, the task performed by a "less intelligent" robot should be subordinated to a robot equipped with a more comprehensive system of the assessment of its work environment [2].

As far as medical robots are concerned, their tasks are primarily regarded as intervention into the human condition in rescue operations, surgical procedures or different therapies. Currently, robots are also used for psychological therapy, on the grounds of excellent experience of robotics gained in entertainment functions.

Do humans have any obligations or duties towards mechanical devices? No.

The answer may not be that straightforward however if those mechanical devices determine our capabilities of helping others. The guarantee of safety may mean that there is a need of proper servicing and maintenance of devices, which are used for saving lives.

What if robots starts manufacturing robots? Then we may have to ensure the uninterrupted supply chain of parts. What if by enforcing waste sorting and recycling we will involuntarily introduce "racial segregation" of robots and the need of robot "health (service) care? A fund with spare parts?

Remote patient monitoring, treatment of consultations offer a chance to increase the availability and quality of healthcare. Thanks to the introduction of robotics into the treatment process it is possible the practice "remote" treatments. "Existing telerobotic systems can be classified as two categories: teleprogramming systems or telecontrol systems. In teleprogramming systems, operators rely on the visual information only to instruct robots to execute a motion that has already been programmed offline, and the method is basically an open-loop control. In telecontrol systems operators have direct access to real-time control of the robot at the remote site based on real-time feedback of supermedia information, including images, force, and other information for haptic rendering [4]."

Ethics and our sense morality blindly assumes direct human contact. Our conscience and empathy works differently when faced with abstract terms such as lack of direct correlation between our actions and its effects on a fellow human being [2].

How will we morally and legally assess mistakes made through telemedical systems?

Personal, caregiver robots will be our companions in not too distant future. The elderly and people living alone will be taken care of by robots supervised by designated remote care centres. Specialized expert-systems will make necessary decisions regarding the medical intervention, should one be required. Without a doubt, such system will boast a great efficiency, however, what will the social implications of such isolation be?

After Frankenstein and robots, cyborgs are yet another imaginary creation that is entering reality. I have recently met an eccentric English scientist, Kevin Warwick, who is the first man in the world to have autoimplanted into his forearm the so-called electronic chip enabling the transmission of information from and to the nervous system. By implanting a similar electronic system into his wife, he was able to communicate with her also telemedically. Of course we can imagine freely in this way could the Warwick communicate with the robot. At Reading University, Prof. Warwick's team is currently doing a research with the use of naturally cultivated neurons as brains controlling small mechanical systems. The integration of engineering and biology is a fact. This raises the

question as to the borderline between a biological organism and a technical device.

Where is the beginning of consciousness and intelligence? In my opinion, it is when the question "why" appears between the information from the environment and the actions [1].

ROBOTS AND PEOPLE IN THE ARTS

"Robot" is one of only few words of slavic origin that gained international adoption in contemporary languages. "Robot" meaning an artificial being, built

in the image of man was first imagined by a Czech writer Karel Čapek in 1920 in his Sci-Fi drama "RUR Rossum's Universal Robots".

To summarize: the robot as an art object is created in the likeness of man to carry out work on its behalf. The robot is the invention popularized long (almost 100 years) before he became (will become) a real object. That's what developers are interested in ethical issues has just: neighborliness with robots or hazards arising from their independence or their misuse by people.

Today Drones spread Christmas gifts or... kill enemies in distant lands. That being said, in 2010 robots manufactured by iRobot corporation named Packbot and Warrior helped to save lives in radioactively contaminated zones after earthquakes in Japan. In the Bay of Mexico Seaglider submersible robot was able to monitor oil leakage levels.

Robots are frequently featured in science fiction movies

- HAL 9000 - the artificial intelligence from 2001 Space Odyssey - is a space ship super computer capable of advanced telemanipulation thanks numerous sub systems onboard
- R2D2 and C3PO were among the most memorable of Star Wars characters
- DATA android is almost indistinguishable from other members of the crew of USS Enterprise of Star Trek
- Terminator T800 pictured by Arnold Schwarzenegger
- WALL-E is among very few examples of robots actively taking care of the Earth.

2001 Space Odyssey brilliantly captures the essence of potential conflict between robots and humans. "HAL 9000 is caught in the film, astronauts David Bowman and Frank Poole consider disconnecting HAL's cognitive circuits when he appears to be mistaken in reporting the presence of a fault in the spacecraft's communications antenna. They attempt to conceal what they are saying, but are unaware that HAL can read their lips. Faced with the prospect of disconnection, HAL decides to kill the astronauts in order to protect and continue its programmed directives.

The novel explains that HAL is unable to resolve a conflict between his general mission to relay information accurately and orders specific to the mission requiring that he withhold from Bowman and Poole the true purpose of the mission. With the crew dead, he reasons, he would not need to lie to them. He fabricates the failure of the AE-35 unit so that their deaths would appear accidental..."

Does this mean that we are ready to have robots around us? Can we trust them more than we trust our human neighbours?

We better be ready. As we can read in "Robot Ethics" by Patrick Lin, Keith Abney and George Bekey.

"The emergence of the robotics industry" observed Bill Gates "is developing in much the same way that the computer business did 30 years ago"

(2007). As a key architect of the computer industry, his prediction has special weight. In a few decades - or sooner, given exponential progress forecasted by Moore's Law (that computing power will double every eighteen months or so) - robots in society will be as ubiquitous as computers are today. Gates believes; and we would be hard pressed to find an expert who disagrees." [5]

CONCLUSIONS

Men are from Mars, women are from Venus and robots from Earth. Robots are the most powerful tools of people. [3]

Medical robotics will play a crucial role in the future of our societies, that role however, is not without a fair share of doubts and controversies. The main difference between a robot and a machine is the robot's possibility of being active in human space, thanks to systems of sensors and analyses provided by the sensors. The most important cultural change will involve the presence of robots in our day-to-day life, i.e. domestic robots, service & social robots [2].

What is important in medical robotics is the fact of a direct contact with patient's body, the direct influence on the life of a person, who is being taken care of by a robot. This brings a set of design challenges and communications challenges. Communication and the possibility of making mistakes pose questions, which need to be analysed on ethical grounds [2].

The vision, where robots could be a partners of an elderly and infirm patients greatly fascinates us. A personal robot should improve the safety and the level of freedom of humans [2].

The world's population recently exceeded 7 billion. We are accompanied by a uncountable number of living organisms and by about a million of increasingly intelligent robots. Medical robotics will play a crucial role in the future of our societies, that role however, is not without a fair share of doubts and controversies [2].

We can influence the evolution of species and the quality of life on Earth. Tomorrow intelligent and self-aware robots become rightful members of the human society.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Nawrat Z. The ethics of artificial organs. *ImplantExpert* Ed Zbigniew Nawrat Zabrze: M-Studio 2011, pp 127- 135
- [2] Nawrat Z., Kawalski M., Ethics – challenges and questions in personal and medical robotics. In "Etyka wobec współczesnych wyzwań" ed. Bobko A. Uniwersytet Rzeszowski 2013. pp 61-70
- [3] Nawrat Z. 2012 Wprowadzenie do robotyki medycznej *Medical robotic reports* 1/2012 p 4,
- [4] Wang-tai Lo, Yunhui Liu, Senior Member, IEEE, Imad H. El-hajj, Member, IEEE, Ning Xi, Member, IEEE, Yuechao Wang, and Toshio Fukuda, Fellow, IEEE Cooperative Teleoperation of a Multi-robot System With Force Reflection via Internet *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 9, no. 4, December 2004
- [5] Robot Ethics - The ethical and social implications of robotics. Patrick Lin, Keith Abney and George Bekey

Zastosowania konsoli haptycznej do sterowania robotem medycznym

The use of the haptic konsol to control of medical robot

PIOTR SAUER¹
ŁUKASZ BORUCKI²
VADIM
PECZYŃSKI¹
MATEUSZ
MICHAŁSKI¹
WITOLD SZYFTER²
KRZYSZTOF
KOZŁOWSKI¹
DAMIAN
BUDZYŃSKI²
RAFAŁ
MADOŃSKI¹
DAMIAN
MRÓWCZYŃSKI¹

¹ Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań,

² Katedra i Klinika Otolaryngologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

Piotr Sauer, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań,
e-mail: piotr.sauer@put.poznan.pl,
tel: 501-758-956.

Artykuł recenzowany

W pracy przedstawiono wykorzystanie konsoli haptycznej Omega 7 do sterowania robotem KUKA LWR 4+ z zamontowanym uchwytem igły punkcyjnej. Manipulator KUKA zastosowano do usuwania uszno-pochodnego ropnia mózgu. W pierwszej części pracy przedstawiono prosty symulator, w którym do przeprowadzenia iniekcji w wirtualny ropień mózgu oraz pobrania płynu z jego wnętrza zastosowano konsolę haptyczną Omega 7. W dalszej części pracy przedstawiono stanowisko badawcze z robotem KUKA LWR 4+ i konsolą Omega 7 oraz pierwsze testy przeprowadzenia operacji z wykorzystaniem modelu czaszki.

This paper presents the use of Omega 7 haptic console to control of KUKA LWR 4+ robot with integrated handle of puncture needles. KUKA manipulator was used to remove otogenic brain abscess. In the first part of the paper presents a simple simulator in which Omega 7 haptic consol was used to carry out injection into a virtual brain abscess and the withdrawal of fluid from inside. In the following paper presents a experimental set-up with the KUKA robot and haptic console and the first test of the operation using the model of skull.

Słowa kluczowe: konsola haptyczna, robot, teleoperacja, sterowanie impedancyjne, uszno pochodny ropień mózgu, symulator, neuronawigacja, chirurgia wspomagana komputerowo.

Keywords: Surgical robots, Human-Machine Interface, Force Feedback, Haptic, Telemanipulation

Gwałtowny rozwój inżynierii biomedycznej i biocybernetyki przyczynił się do opracowania nowych metod diagnostyki medycznej, np. obrazowania medycznego. Jest to nowoczesna dziedzina diagnostyki, w której zastosowano tomograf komputerowy. Opracowano i zbudowano nowe urządzenia diagnostyczne: spiralną tomografię komputerową, tomografię emisyjną pojedynczych fotonów (SPECT – ang. Single Photon Emission Computed Tomography), pozytonową tomografię emisyjną (PET – ang. Positron Emission Tomography), tomografię rezonansu magnetycznego (NMR – ang. Nuclear Magnetic Resonance), tomografię impedancyjną. Połączenie nowoczesnych technik obrazowania z systemem nawigacyjnym przyczyniło się do powstania chirurgii wspomaganej komputerowo (CAS – ang. Computer Assisted Surgery) [1,2,3,4]. Chirurgia wspomagana komputerowo znajduje zastosowanie w tych dziedzinach medycyny, w których dostęp do pola operacyjnego jest utrudniony, a także gdy wymagana jest bardzo duża dokładność zabiegu (w neurochirurgii, ortopedii, chirurgii szczękowo-twarzowej, chirurgii podstawy czaszki, endoskopowej chirurgii zatok przynosowych [3]). Zastosowanie analizy obrazu medycznego 3D oraz metod modelowania organów przyczyniło się do powstania chirurgii wirtualnej, która wykorzystuje cyfrowy model chorego. Umożliwia ona szkolenie chirurgów bez wykorzystywania w tym celu zwłok lub zwierząt. Chirurgia wirtualna może być wykorzystywana do planowania przedoperacyjnego. W trakcie przeprowadzania wirtualnej operacji, zespół medyczny może przetestować różne procedury medyczne na wirtualnym pacjencie [4]. Tworzenie wirtualnego modelu pacjenta dla celów planowania operacji chirurgicznych oraz przećwiczenia ich przed właściwym zabiegiem pozwala na zwiększenie bezpieczeństwa pacjenta oraz umożliwia zwiększenie kwalifikacji lekarzy. Zastosowanie w chirurgii wirtualnej modelu biomechanicznego wraz z urządzeniami haptycznymi pozwala lekarzowi na „czucie” interakcji między operowaną tkanką a narzędziem chirurgicznym. W pracy przedstawiono aplikację symulującą nakłucie usznopochodnego ropnia mózgu, w której igła punkcyjna sterowana jest za pomocą urządzenia haptycznego Omega 7 firmy Force Dimension.

Rozwój CAS jest możliwy dzięki rozwojowi nowych technologii zwłaszcza w informatyce, elektronice, robotyce ale również dzięki zmianom jakie zachodzą w technikach chirurgicznych (szczególny wpływ miał rozwój chirurgii laparoskopowej). Chirurgia laparoskopowa określana również chirurgią minimalnie inwazyjną (MIS – ang. Minimally Invasive Surgery) jest techniką operacyjną, w której chirurg nie kontaktuje się bezpośrednio z operowaną tkanką lecz obserwuje pole operacji na ekranie monitora. Rozwój informatyki umożliwił opracowanie nowej odmiany chirurgii laparoskopowej określanej mianem „telechirurgii”, w której uzyskany obraz mógł

być przesyłany na odległość. Rozwój inżynierii dał możliwość chirurgom aktywnego uczestniczenia w operacji na odległość przy pomocy robotów chirurgicznych (RAS – ang. Robotically Assisted Surgery, Robotic Surgery) [3,4,5,6].

KONSOLA HAPTyczna OMEGA 7

Konsola haptyczna Omega 7 firmy Force Dimension (Rys. 1) jest jednym z najbardziej zaawansowanych urządzeń haptycznych na świecie. Charakteryzuje się siedmioma stopniami swobody oraz układem dla prawy- i leworęcznych użytkowników [7]. Można również połączyć oba kontrolery w jeden system i wykorzystać pełnię możliwości interfejsów haptycznych. Omega 7 jest wykorzystywana w lotnictwie i w medycynie przez operatorów robotów o dużej precyzji działania. Zbudowana na bazie kinematyki równoległej połączonej z ruchomym nadgarstkiem (możliwość określenia orientacji narzędzia) oraz chwytem ze sprzężeniem od siły. Wysoka sztywność mechaniczna połączona z pracującym w czasie rzeczywistym kontrolerem USB 2.0 pozwala na generowanie sygnałów wykonawczych dla silników urządzenia z częstotliwością osiągającą nawet 4 kHz. Efektor końcowy konsoli haptycznej zapewnia odwzorowanie naturalnego ruchu ludzkiej ręki. Kontroler posiada trójwymiarowe sprzężenie zwrotne od siły, określanie rotacji oraz ruchomy chwytak. Umożliwiają one stosowanie urządzenia w najróżniejszych projektach z takich dziedzin jak:

- robotyka medyczna i lotnicza,
- mikro- i nanomanipulatory,
- konsole teleoperacyjne,
- wirtualne symulatory,
- systemy treningowe,
- badania i rozwój.



Rys. 1 Konsola haptyczna Omega 7 [7]
Fig. 1. Omega 7 haptic consol [7].

SYMULATOR USUWANIA ROPNIA USZNOPOCHODNEGO

Stworzenie programu symulacji usuwania usznopochodnego ropnia mózgu miało na celu zademonstrowanie możliwości kontrolera haptycznego Omega 7. W pierwszym etapie przedstawiono efektor końcowy w przestrzeni wirtualnej generowanej poprzez bibliotekę API OpenGL [8]. Należało nie tylko pobrać pozycję chwytaka, ale również jego orientację, co wiązało się z wyznaczeniem odpowiednich przekształceń (obliczenie macierzy rotacji oraz wektora pozycji) w przestrzeni trójwymiarowej. W kolejnym kroku dodano do sceny obiekty przestrzenne

(w przypadku symulacji ropnia jest to sfera) oraz zaimplementowano odpowiednie reakcje w przypadku kolizji. Ze względu na temat pracy obiekt w scenie musiał generować dwa różne środowiska, w których mogłaby znaleźć się igła punkcyjna, to znaczy:

- powłokę - znajduje się ona na wierzchu ropnia i utrudnia ona punkcję, co w efekcie wiąże się często ze znaczącymi siłami w trakcie procesu przebijania,
- wnętrze ropnia - środowisko półpłynne, często o gęstości utrudniającej odsysanie zawartości wysięku ropnego.

Sam proces pobierania płynu jest dwustopniowy. Najpierw pobierano płyn (15 ml), a następnie wprowadzono roztwór soli fizjologicznej z antybiotykiem do wnętrza ropnia tak, aby nie rozerwać powłoki ropnia. Procedura ta jest powtarzana tak długo, aż uzyska się przezroczysty płyn. Proces ten wymusza na symulatorze możliwość odciągania wirtualnej zawiesiny oraz ponownego jej umieszczania we wnętrzu sfery. Wiąże się to z oprogramowaniem chwytaka, który oprócz utrudnionego poruszania się w gęstym środowisku, musi również generować siły symulujące wciąganie płynu do wnętrza strzykawki.

Dla ułatwienia obsługi programu należało umożliwić użytkownikowi zmianę parametrów programu takich jak: sztywność powłoki, gęstość płynu czy rozmiar ropnia. Program od początku był przygotowywany dla systemu operacyjnego Windows, stąd wybór interfejsu programowania aplikacji (API) Windows Forms. Elementy wchodzące w skład tego graficznego interfejsu umożliwiały bardzo wygodny sposób kontroli aplikacji, stwarzały szereg problemów związanych z oknem OpenGL. Nie jest ono dostępne w tak łatwy sposób jak kontrolki WinForms i wymaga dodatkowego kodu przejmującego komunikaty okna. Pętla główna OpenGL musi być również niezależna od pętli haptycznej. Jest to podyktowane różnicą w prędkości obsługiwanie komunikatów. W OpenGL do płynnego generowania ruchu wystarczy 30 klatek na sekundę (fps - ang. frames per second), czyli 30 wywołań pętli głównej OpenGL. Urządzenie haptyczne do sprawnej pracy potrzebuje częstotliwości rzędu 1 kHz, co tworzy wrażenie pracy w czasie rzeczywistym (w Omega 7 jest to ok. 4 kHz). Wymusiło to wykorzystanie osobnych wątków, które musiały zostać zaimplementowane w WinForms [8]. Wykorzystano bibliotekę System::Threading, która umożliwia większą kontrolę procesu synchronizacji wątków niż kontrolka BackgroundWorker w Windows Forms.

Program można podzielić na dwie części [8]. Pierwsza odpowiada za łączność i obsługę z konsolą haptyczną, druga związana jest z inicjalizacją oraz wyświetlaniem obrazu przez interfejs programowania aplikacji OpenGL. Konieczność taka następuje z uwagi na różnice w częstotliwości, z jakimi następuje komunikacja, a to z kolei wymusza użycie osobnych, synchronizowanych ze sobą wątków. Na początku pętli głównej programu nawiązywana jest ko-

munikacja z konsolą haptyczną. W programie nie zaimplementowano żadnego mechanizmu wykrywającego podłączenie urządzenia w trakcie jego działania, dlatego jeżeli się to nie powiedzie dalsze wykonywanie programu jest bezcelowe i zostaje on przerwany. Kolejnym krokiem jest inicjalizacja OpenGL, z którą wiąże się rejestracje odpowiednich wywołań zwrotnych związanych między innymi z obsługą klawiatury i myszki, inicjalizacji i obsługi okna oraz utworzeniem menu podręcznego i zarządzaniem zdarzeniami z nim związanych (wywołanie menu, wybranie odpowiedniej opcji). Po inicjalizacji API OpenGL następuje przygotowanie sceny do wyświetlenia na niej obiektów związanych z pracą programu. Jest to związane z przygotowaniem oświetlenia sceny, które jest konieczne do określenia cieni i stworzenia efektu głębi. Następnie w systemie utworzono wątek o podwyższonym priorytecie odpowiedzialnym za uruchomienie pętli haptycznej oraz rozpoczęcie symulacji. Powoduje to, że będzie on wykonywany przed wszystkimi innymi wątkami o normalnym priorytecie i komunikacja z urządzeniem nie będzie opóźniona. Uruchomiona aplikacja zostaje wywołana w trybie okienkowym (za co odpowiadają odpowiednie wywołane funkcje OpenGL), a ostatnim elementem wywołanym w programie głównym jest pętla OpenGL rozpoczynająca proces generowania grafiki, tworząca obiekty graficzne należące do sceny oraz odbierająca dane zgłaszające potrzebę odświeżenia obrazu w oknie i zmiany ich położenia w przestrzeni roboczej. Pomimo że każdy z bloków stanowi osobny wątek, pętla haptyczna ma ciągły wpływ na to, jak wygląda scena w OpenGL. Obróty i zmiany położenia efektora końcowego mają czynny wpływ na orientację i pozycję strzykawki w wirtualnej przestrzeni roboczej. Aktywny chwytak daje możliwość wykorzystania badania odległości pomiędzy kciukiem, a palcem wskazującym, co pozwala na dotykanie i podnoszenie obiektów, które nie istnieją w świecie rzeczywistym. W programie zdolność do określenia pozycji palców została przedstawiona jako podnoszenie i opuszczanie tłoka strzykawki, które wiąże się z zasysaniem płynu z ropnia. Parametry z pętli haptycznej są więc na bieżąco aktualizowane i przekazywane do funkcji obsługującej wywołanie zwrotne wyświetlania. Działanie takie jest bardzo wygodne do wizualizowania dowolnego procesu pracy na urządzeniu haptycznym, a możliwości interakcji z przestrzenią wirtualną zwiększają liczbę potencjalnych zastosowań. Na rysunku 2 przedstawiono strukturę programu oraz przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi blokami aplikacji.

Praca z konsolą haptyczną umożliwia nie tylko określanie pozycji efektora końcowego, ale również generowanie sił oddziaływania między tkanką (ropniem), a narzędziem (igłą punkcyjną). Oddziaływanie, które ma największe znaczenie w pracy z urządzeniem haptycznym to kolizja. Wykrywanie kolizji jest bardzo skomplikowanym i czasochłonnym procesem, dlate-

go często stosuje się uproszczenia. Najpopularniejsze figury przestrzenne, które stosuje się do określania granic zajmowanych przez obiekty to:

- kule,
- walce,
- prostopadłościany.



Rys. 2 Schemat blokowy programu symulacyjnego [8].
Fig. 2. Block diagram of the simulation program [8].

Każdy z tych obiektów jest stosunkowo łatwy do zdefiniowania, a tym samym proste jest określenie przekroczenia jego granic. Do modelowania kolizji można podejść na trzy sposoby:

- narzędzie koliduje z obiektami w scenie - bada się penetrację narzędzia wewnątrz figur lub modeli znajdujących się na scenie,
- obiekty w scenie kolidują z narzędziem - bada się penetrację figur lub modeli w narzędziu,
- narzędzie i obiekty nawzajem ze sobą kolidują - jest to najbardziej rozbudowany model pozwalający na generowanie różnej gęstości obiektów w scenie oraz różną gęstość narzędzia (w poprzednich przypadkach zakładano, że któryś z obiektów posiada bardzo dużą gęstość np. imitującą rodzaj jakiegoś metalu). Pozwala to na większą swobodę interakcji z wirtualnym środowiskiem kosztem większej złożoności obliczeniowej.

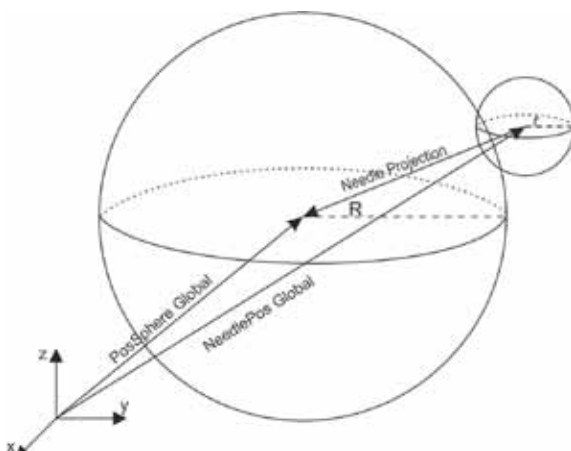
W przypadku symulacji ropnia przyjęto pierwszą koncepcję modelowania kolizji, co wiązało się z następującymi założeniami:

- igła ma dużą gęstość i nie ulega odkształceniom,
- ropień ma zmienną gęstość (twardsza powłoka, płynna wydzielina - wnętrze) i musi istnieć możliwość przebicia powłoki (głęboka penetracja podczas symulacji).

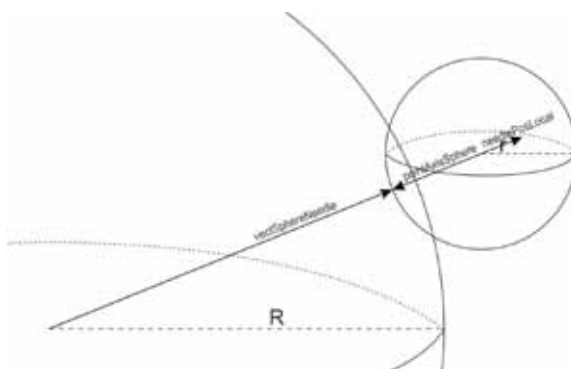
Wykrywanie kolizji zawarto w funkcji ComputeInteractions() [8]. Do funkcji przekazywane są następujące parametry: aktualna pozycja efektora końcowego, pozycja palców oraz rotacja. W/w funkcja zwraca wartości sił w poszczególnych osiach i momenty sił wokół osi oraz siłę działania chwytaka. W trakcie wykonywania programu (symulacji) pozycja chwytaka zostaje rzutowana na powierzchnię kuli. Najpierw jest obliczany wektor skierowany z centrum sfery reprezentującej igłę do sfery wizualizującej ropień (Rys. 3).

Rys. 3 Sfery reprezentujące igłę oraz ropień w globalnym układzie współrzędnych [8].

Fig. 3 The spheres representing the needle and abscess in the global coordinate system [8].



Następnie wektor ten znormalizowano i pomnożono przez promień kuli (wektor pointAxisSphere). Kolejną operacją jest odjęcie nowopowstałego wektora od wektora pozycji sfery ropnia (wektor vectSphereNeedle). Wektory te przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wykrywanie kolizji dwóch sfer [8].

Fig. 4 Collision detection of two spheres [8].

Obliczono długość wektora vectSphereNeedle i dzięki czemu można określić, czy nastąpiła kolizja (sprawdzając, czy dystans jest mniejszy od sumy promieni obu sfer). Zgodnie z założeniami są dwie strefy wpływu na igłę, tzn. wpływ powłoki oraz wpływ wnętrza ropnia. Powłokę ropnia ustalono na poziomie 0,9 promienia sfery. Jest to obszar, który generuje opór ale jednocześnie istnieje możliwość przebicia powłoki (przy odpowiedniej sile oddziaływania igły na powłokę). Jeżeli zatem odległość pomiędzy powierzchnią kuli związanej z igłą a centrum ropnia będzie znajdować się w tym przedziale, zostanie wygenerowana siła równa różnicy sumy promieni i dystansu wymnożonej przez znormalizowany wektor vectSphereNeedle. Siła ta będzie się zmniejszała, aż dystans będzie równy sumie promieni. Również pozycja igły musi być aktualizowana. Można uzyskać zmianę pozycji poprzez dodanie wcześniej wygenerowanego wektora siły do wektora pozycji. To pozwo-

li na realistyczne zachowanie obiektu w scenie oraz przemieszczenie efektora końcowego. Jest to bardzo ważne, ponieważ może to doprowadzić do sytuacji, w której urządzenie wykonuje pracę związaną z siłą, choć z obrazu to nie wynika, bo pozycja chwytaka nie została zaktualizowana.

Ważną częścią symulacji było odwzorowanie ubytku płynu w ropniu i zapadania się jego powłoki. Osiągnięto to poprzez odpowiednie przeliczenie objętości strzykawki i odjęcie odpowiedniej wartości od promienia kuli symulującej ropień. W pierwszym kroku przeliczono objętość walca na objętość kuli:

$$\begin{cases} V_w = \pi r^2 H \\ V_{KZ} = \frac{4}{3} \pi R_z^3 \end{cases}$$

gdzie V_w - objętość walca, r - promień walca, H - wysokość walca, V_{KZ} - objętość kuli zastępczej, R_z - promień kuli zastępczej.

Następnie objętości przyrównano i obliczono promień zastępczej kuli:

$$R_z = \sqrt[3]{\frac{3}{4} r^2 H}$$

Po wyznaczeniu zależności na promień kuli zależnej od promienia i wysokości walca należy odjąć objętość kuli zastępczej od objętości kuli symulującej ropień otrzymując następującą zależność:

$$V_{KR} - V_{KZ} = \frac{4}{3} \pi (R_R^3 - R_z^3)$$

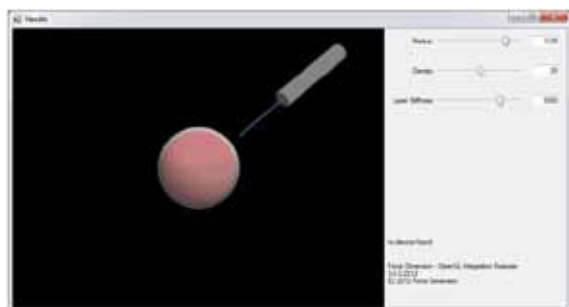
gdzie V_{KR} - objętość ropnia, R_R - promień ropnia.

Zatem nowy promień zależny od aktualnej objętości strzykawki jest równy:

$$R = \sqrt[3]{R_R^3 - \frac{3}{4} r^2 H}$$

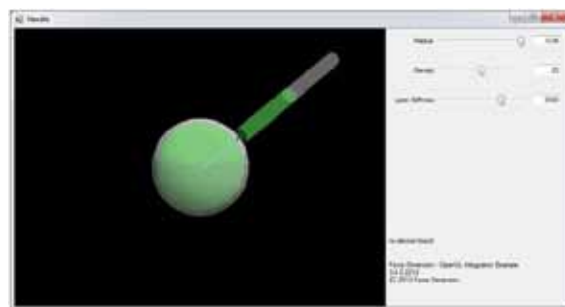
Ponieważ poruszanie się w przestrzeni trójwymiarowej, która jest rzutowana na powierzchnię ekranu, jest mało intuicyjne, dla użytkowników programu zastosowano ułatwienie w postaci zmiany koloru sfery w momencie jej przebicia. Przyjęto następujące kolory:

- czerwona – gdy igła jest poza sferą (Rys. 5),
- zielona – gdy igła znajduje się wewnątrz sfery (Rys. 6).



Rys. 5. Aplikacja GUI z igłą poza obszarem ropnia [8].

Fig. 5. GUI application with a Needles outsider the abscess [8].



Rys. 6. Aplikacja w momencie pobierania płynu z wnętrza ropnia [8].

Fig. 6. Application at the time of collection of fluid inside the abscess [8].

ROBOT KUKA LWR 4+

Robot KUKA LWR 4+ (Lightweight robot) jest nową generacją robotów manipulacyjnych wyposażonych w sterowanie momentem. Powstał on w wyniku współpracy Instytutu Robotyki i Mechaniki (German Aerospace Center – DLR) z firmą KUKA Roboter GmbH. W odróżnieniu od klasycznych robotów przemysłowych, robot KUKA LWR jest lekkim elastycznym robotem o 7 stopniach swobody (Rys. 7), który posiada następujące własności:

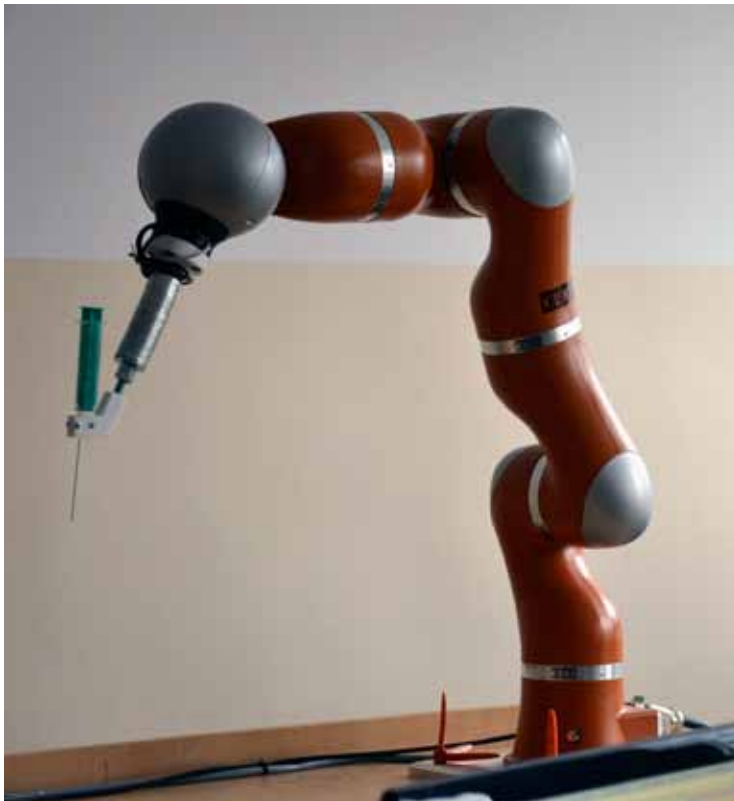
- bardzo dobry współczynnik wagi robota do masy przenoszonego ładunku (rzędu 1:1),
- generowanie ruchu robota, w celu osiągnięcia zadanej pozycji zdefiniowanej w przestrzeni kartezjańskiej lub przestrzeni złącz,
- możliwość symulowania sprężyn ze zmienną sztywnością zarówno w przestrzeni złącz jak i w przestrzeni kartezjańskiej,
- kompensacja wpływu grawitacji, możliwość ruchu manipulatora pod wpływem działania sił zewnętrznych na ramie robota,
- estymacja zewnętrznych sił i momentów sił działających na chwytak robota oraz każde jego złącze,
- kontrola prędkości oraz sił i momentów sił działających na ramie robota.

Dzięki w/w własnościom uzyskano dynamiczny system z aktywnym tłumieniem drgań, który może pracować w bezpośrednim kontakcie z człowiekiem.

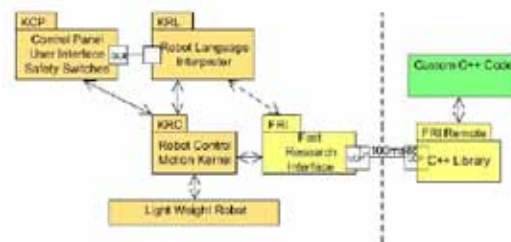
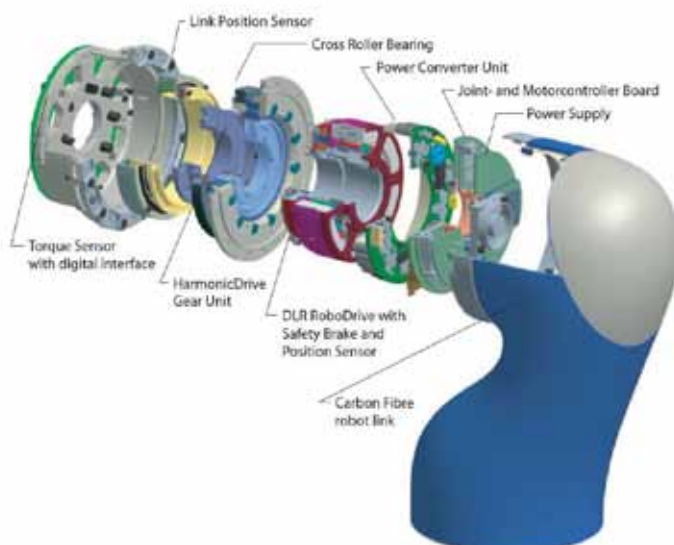
Robot ten zbudowany jest z „inteligentnych” modułów (złącz), w które wbudowano systemy elektroniczne w tym również systemy pomiarowe. Każde złącze robota wyposażono w następujące elementy (Rys.8) [9]:

- bezszczotkowy silnik DC z zintegrowanym mostkiem mocy oraz elektromagnetycznymi hamulcami,
- przekładnie harmoniczną,
- czujnik położenia wału silnika (czujnik inkrementalny o wysokiej rozdzielczości),
- czujnik położenia złącza (czujnik absolutny zamontowany na wyjściu przekładni harmonicznej),
- czujnik momentów sił,
- zasilacz,

- płytę sterownika zawierającą dwa procesory sygnałowe DSP, pierwszy procesor DPS (TMS320VC33) odpowiedzialny jest za komunikację z zewnętrznym sterownikiem robota, obsługę czujników oraz wyznaczanie aktualnych poleceń dla procesora silnika, drugi procesor DSP (DSP56F807) jest sterownikiem silnika, oblicza pozycję i prędkość silnika, umożliwia pomiar temperatury, prądu pobieranego przez silnik oraz obsługuje sygnały z czujników Halla zamontowanych w silniku,
- cienkie łożyska toczne.



Rys. 7 Widok robota KUKA LWR 4+



Rys. 9. Architektura systemu sterowania z interfejsem FRI [10]

Fig. 9 Control system architecture with FRI interface [10].

W przeprowadzonych badaniach zastosowano nowy interfejs FRI (the Fast Research Interface), który umożliwia dostęp do sterowania robotem na tzw. niskim poziomie z częstotliwością 1 kHz [10]. Interfejs FRI umożliwia połączenie sterownika robota z aplikacją zaimplementowaną na zewnętrznym komputerze z dowolnym systemem operacyjnym (najlepiej czasu rzeczywistego) dzięki zastosowaniu protokołu internetowego UDP (ang. User Datagram Protocol). Interfejs FRI zapewnia również normalne funkcjonowanie kontrolera robota KUKA czyli:

- standardowe programowanie i obsługę robota,
- realizację standardowych poleceń ruchu takich jak LIN/PTP/CIRC,
- wybór trybów sterowania (sterowanie pozycją lub impedancyjne),
- pełne działanie systemów bezpieczeństwa,
- współpracę z magistralą I/O,
- korzystanie z wbudowanego w sterownik języka KRL (ang. KUKA Robot Language).

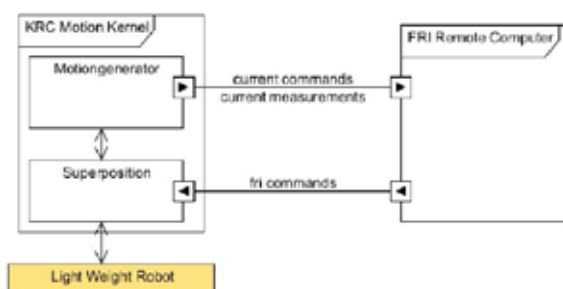
Współpraca między sterownikiem robota, a aplikacją na komputerze PC umożliwia użytkownikowi pełną autonomię. Z punktu widzenia użytkownika sterownik wyposażony jest panel sterujący KCP (ang. KUKA Control Panel), który umożliwia sterowanie robotem, wybór trybu sterowania, edytowanie i wykonywanie programów (skryptów) napisanych w języku KRL (Rys. 9).

Jądro systemu sterowania ruchem robota KUKA dostarcza różnych metod generowania trajektorii ruchu (PTP, LIN, CIRC) za pomocą prostych komend języka KRL. Interfejs FRI umożliwia bezpośrednie oddziaływanie na jądro systemu sterowa-

Rys. 8 Budowa „inteligentnego” złącza robota LWR [9].

Fig. 8 The construction of an “intelligent” joint for LWR robot [9].

nia ruchem (Rys. 10). Generowana trajektoria przesyłana jest do komputera PC, gdzie może być modyfikowana przez użytkownika. Za pomocą FRI użytkownik może również modyfikować parametry sztywności i tłumienia niezbędne dla sterowania impedancyjnego lub wymagane momenty sił w poszczególnych złączach. W tym celu część interfejsu uruchomiana jest w sterowniku robota KUKA, a od strony użytkownika dostępna jest biblioteka FRI zawierająca odpowiednie funkcje sterujące zaimplementowane za pomocą języka C++ (Rys. 10).



Rys. 10 Oddziaływanie między interfejsem FRI a jądrem systemu sterowania ruchem [10].

Fig. 10. Interaction between FRI interface and KRC motion kernel [10].

ZASTOSOWANIE ROBOTA KUKA DO OPERACJI USUWANIA ROPNIA

Przedstawiony w rozdziale 4 manipulator KUKA LWR 4+ wykorzystano do wspomagania chirurga przy usuwaniu usznopochodnego ropnia mózgu. Ropień może powstać w wyniku zapalenia zatok przynosowych, ucha środkowego lub wyrostka utkowego. Obecnie ropień jest usuwany ręcznie z wykorzystaniem neuronawigacji. Zastosowanie nawigacji umożliwia chirurgowi dokładne określenie miejsca wprowadzenia igły w ropień, co jest istotne dla bezpieczeństwa pacjenta. System nawigacji operacyjnej składa się z:

- głowicy monitorującej (satelity) umieszczonej w sali operacyjnej (Rys. 11),



Rys. 11 Widok głowicy monitorującej umieszczonej na sali operacyjnej.

Fig. 11. View of monitoring head located on operating room.

- wskaźników referencyjnych – lokalizatorów umieszczonych na ciele pacjenta, w postaci np. implantu mocowanego bezpośrednio do czaszki pacjenta (Rys. 12),
- wskaźników referencyjnych – lokalizatorów umieszczonych na narzędziach chirurgicznych, na rysunku 13 przedstawiono igłę z zamontowanymi wskaźnikami referencyjnymi.



Rys. 12. Czaszka z zamontowanymi wskaźnikami referencyjnymi.

Fig. 12. Skull with mounted reference indicators.

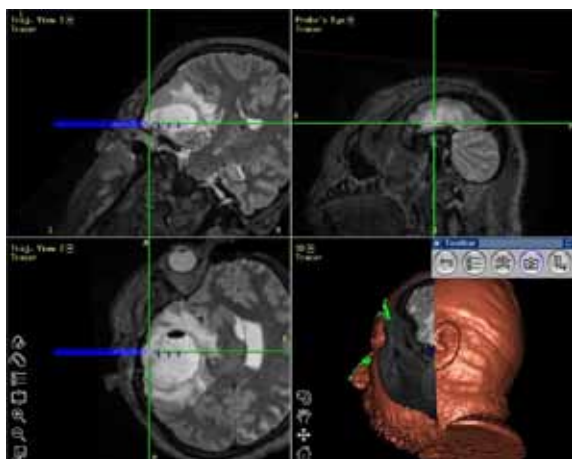


Rys. 13. Igła ze wskaźnikami referencyjnymi.

Fig. 13. Needle reference indicators

Zastosowanie neuronawigacji do operacji wymaga wykonania badań obrazowych (tomografii komputerowej – TK, rezonansu magnetycznego – MR) z umieszczonymi na ciele pacjenta wskaźnikami referencyjnymi. Zastosowanie wskaźników umożliwia zintegrowanie obrazu cyfrowego (uzyskanego z badań obrazowych wykonanych przed operacją) z ułożeniem głowy pacjenta w trakcie wykonywanej operacji. Podczas operacji, dzięki wskaźnikom referencyjnym umieszczonym na igle punkcyjnej (stosowanej do odciągania płynu z ropnia i wprowadzania soli fizjologicznej) system nawigacyjny umożliwia określenie położenia końcówki igły względem środka ropnia. Na rysunku 14 przedstawiono prezentację na monitorze wszystkich trzech projekcji czaszki pacjenta z zaznaczeniem końca igły punkcyjnej (kolor niebieski).

Po wprowadzeniu igły punkcyjnej do ropnia chirurg przy użyciu strzykawek ręcznie wypłukuje ropień za pomocą roztworu soli fizjologicznej z antybiotykiem (Rys. 15). W trakcie tego zabiegu chirurg musi wprowadzić igłę dokładnie w środek ropnia i trzymać strzykawkę bez drgań (możliwość wystąpienia drżenia ręki) co jest zadaniem bardzo trudnym.



Rys. 14. Widok ekranu monitora systemu neuronawigacji.
Fig. 14 View of monitor screen of neuronavigation system.



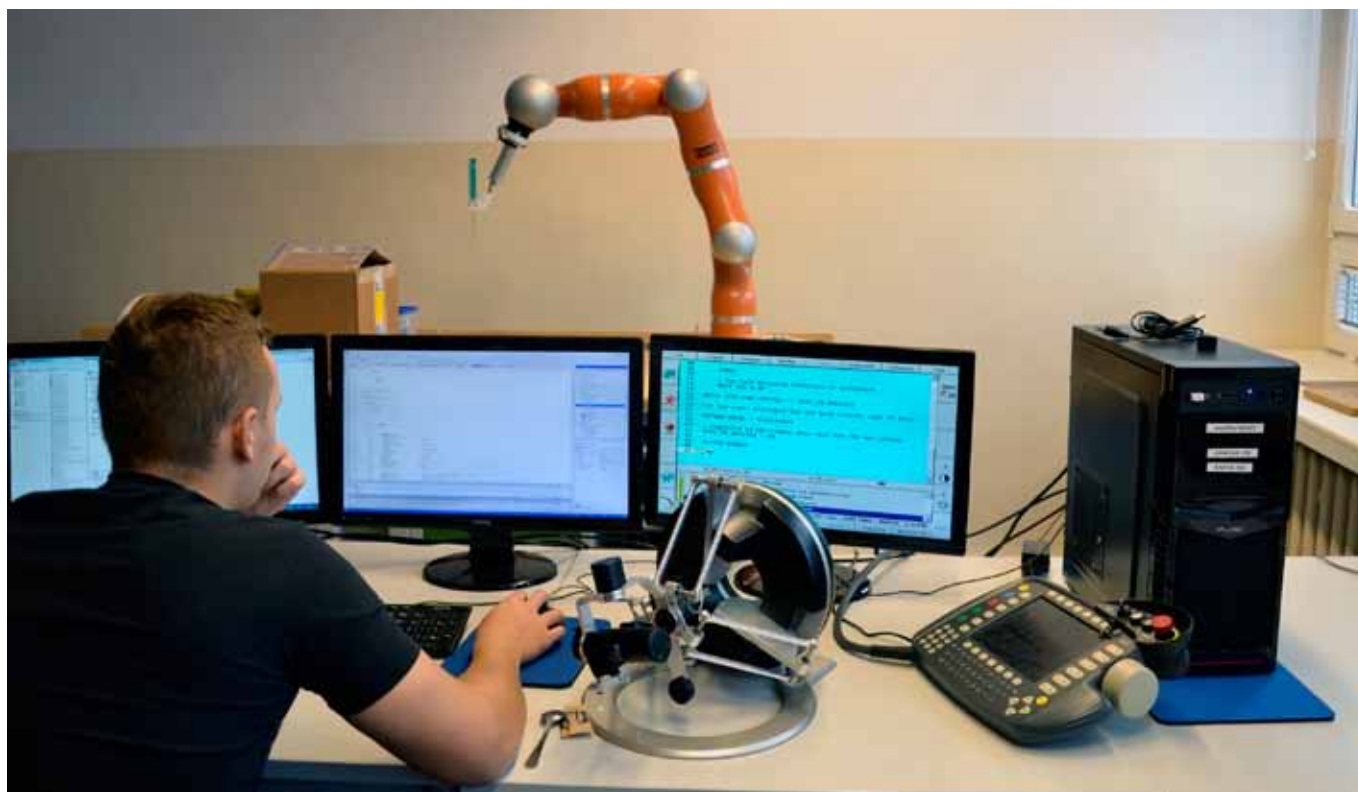
Rys. 15. Ręczne pobranie płynu z ropnia.
Fig. 15. Manually download the abscess fluid.

Wraz z zespołem medycznym z Katedry i Kliniki Otolaryngologii UM w Poznaniu prowadzono wstępne badania nad zastosowaniem robota KUKA LWR 4+ do wspomagania lekarza w tym zabiegu (dokładne umieszczenie końcówki igły punkcyjnej w środku ropnia, wyeliminowanie wpływu drżenia rąk lekarza na igłę). W tym celu zbudowano stanowisko badawcze składające się z robota KUKA LWR 4+ i konsoli haptycznej Omega 7 (Rys. 16). Do sterowania robotem KUKA LWR za pomocą konsoli haptycznej zaimplementowano aplikację napisaną w języku C#, która na podstawie położenia chwytaka konsoli haptycznej generuje odpowiedni ruch robota z wykorzystaniem sterowania impedancyjnego. Do komunikacji aplikacji ze sterownikiem robota KUKA zastosowano interfejs FRI (opisany w rozdziale 4).

W trakcie badań przeprowadzono szereg testów z wykorzystaniem modelu czaszki. Jako narzędzie robota zastosowano specjalnie zaprojektowany uchwyt z zamontowaną igłą i strzykawką (Rys. 17). Procedura sterowania robotem KUKA składa się z dwóch etapów. W pierwszym lekarz-operator steruje robotem za pomocą konsoli haptycznej przesuwać igłę do miejsca jej przejścia przez czaszkę. Następnie uruchamiany jest automatyczny ruch robota, który wprowadza końcówkę igły do środka ropnia. W kolejnym kroku ruch robota jest blokowany i lekarz za pomocą strzykawki

Rys. 16. Stanowisko laboratoryjne: robot KUKA LWR i konsola haptyczna Omega.7.

Fig. 16. Experimental set-up: KUKA LWR robot, Omega 7 haptic consol.



może „wypłukać” ropień. W końcowym etapie robot automatycznie wyprowadza igłę z czaszki pacjenta, a następnie lekarz może ręcznie sterować robotem.

PODSUMOWANIE

Chirurgia wspomagana komputerowo osiągnęła zaawansowany stopień rozwoju i oferuje możliwości wykonania nieosiągalnych dotychczas procedur. Przestała być już jedynie obiektem badań eksperymentalnych lecz uznano ją za cenne narzędzie nowoczesnej otolaryngologii. Zastosowanie robotów na sali operacyjnej umożliwiło zniesienie fizjologicznego drżenia rąk i ich zmęczenia podczas długich zabiegów zwłaszcza mikrochirurgicznych, co przyczyniło się do znacznego zwiększenia bezpieczeństwa operacji. Największą wadą zastosowania robotyki w zabiegach chirurgicznych jest utrata kontroli poprzez zmysł dotyku. W naszych badaniach chcemy ją wyeliminować poprzez zastosowanie do sterowania robotem konsoli haptycznej, która umożliwia operatorowi odpowiednie „czucie” sił działających na efektor końcowy robota (narzędzie chirurgiczne). W trakcie badań powstał prosty symulator usuwania ropnia mózgu, który umożliwił zespołowi poznanie konsoli haptycznej. W trakcie tworzenia symulatora zrealizowano następujące zadania:

- określono pozycje i rotacje manipulatora (konsoli haptycznej),
- określono odległości pomiędzy palcami operującymi chwytakiem,
- generowano siły związane z translacją efektora końcowego i zmianą odległości zakończeń chwytaka,
- stworzono interakcje pomiędzy użytkownikiem a systemem,
- zaprojektowano interfejs GUI aplikacji.

W kolejnych pracach połączono konsolę z robotem, co umożliwiło ręczne sterowanie robotem oraz przeprowadzenie pierwszych testów usuwania ropnia na modelu czaszki. Uzyskane wyniki potwierdzają sens wykorzystania robota w tego typu zabiegach chirurgicznych zwiększając możliwości chirurgii wspomaganej komputerowo. W dalszych pracach zespół będzie starał się zintegrować system robotyczny z neuronawigacją.

LITERATURA

1. Schlöndorff G., Mösges R., Meyer-Ebrecht D., Krybus W., Adams L., CAS (computer assisted surgery), HNO, 37, s. 187-190, 1989.
2. Reinhardt H., Meyer H., Amrein E., A computer assisted device for the intraoperative CT-controlled localization of brain tumours, EurSurgRes, 20, s. 51-58.
3. Piątkowski K., Sauer P., Zastosowanie metod chirurgii wspomaganej komputerowo (CAS) w otolaryngologii – chirurgii głowy i szyi, Otolaryngologia Polska, tom LVIII, 5, s. 1027-1033, 2004.



Rys. 17. Uchwyt igły i strzykawki

Fig. 17. The needle and syringe holder.

4. Sauer A., Aspekty naukowe, techniczne i ekonomiczne zastosowania robotyki w medycynie, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Poznańska, 2007.

5. Waliszewski W., Telesurgery and Robotics on Tomorrow's Surgery, Materiały konferencyjne The Second International Workshop on Robot Motion and Control, RoMo-Co'01, Bukowy Dworek, s. 151-152, 2001.

6. Sauer P., Kozłowski K., Waliszewski W., Michalski M., Kiełczewski M., Pazderski D., Jeziorek P., ASYSTENT – Control System Assisting Surgeon in Laparoscopy, Biocybernetics and Biomedical Engineering, Vol. 6, No. 4, s. 55-70, 2006.

7. Force Dimension, Haptic SDK Documentation.

8. Peczyński V., Zastosowanie konsoli Omega 7 w symulatorze medycznym, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Poznańska, 2013.

9. Albu-Schäffer A. i inni, The DLR Lightweight Robot – Design and Control Concepts for Robots in Human Environments, Industrial Robot – an International Journal, 34 (5), pp. 376-385, 2007.

10. G. Schreiber, A. Stemmer, R. Bischoff, The Fast Research Interface for the KUKA Lightweight Robot, Materiały ICRA 2010 Workshop on Innovative Robot Control Architectures for Demanding (Research) Applications, p.15 – 21, 2010.

RAPORT 2013

Po co nam roboty medyczne?

Historia ostatniej dekady wskazuje, że roboty medyczne wykazały, że są potrzebne:

- *chirurgowi, by operować osoby mniej inwazyjnie, bezpiecznie dla pacjenta i zespołu medycznego, czasem ze znacznej odległości*
- *strażakowi, zespołowi ratunkowemu, by nie narażając się niepotrzebnie dotrzeć do chorego i wyciągnąć go z miejsc zagrożenia*
- *osobom starszym, niedołącznym, by mieć wsparcie w samotności zmagając się z chorobą i niepełnosprawnościami.*

**ZBIGNIEW
NAWRAT**

FRK, ISMR

Roboty da Vinci stosowane są już do prawie 0.5 mln operacji rocznie. Najbardziej popularne w operacjach urologicznych i ginekologicznych. Jednak teleoperacje (głównie Kanadyjczyk Mehran Anvari) – to już tylko (?) do tej pory w sumie kilkadziesiąt operacji. W Polsce zespół profesora Wojciecha Witkiewicza borykający się z problemami finansowania zabiegów dokonał pierwszej setki operacji. Jednak powstają nowe rodzaje robotów, podejmowane są nowe próby, doskonalone są zarówno roboty jak i sposoby przenoszenie informacji (obrazu i sygnałów z pola operacji). Zespół zabrzański FRK zamierza wprowadzić w przyszłym roku pierwszego robota klinicznego Robin Heart PortVisionAble.

Roboty ratunkowe dziś głównie służą do inspekcji obszaru zagrożenia i usunięcia podejrzanych przedmiotów. Jednak systemy ratunkowe przyszłości to automaty lub telemanipulatory mobilne niosące pomoc ludziom w obszarze zagrożenia.

W tych dwóch obszarach roboty pełnią rolę przedłużenia dłoni lekarza pozwalając na efektywne działanie w przestrzeni trudno dostępnej – wnętrza ciała pacjenta lub niebezpiecznym centrum pożaru czy wojny. To poprawia skuteczność lekarza pozwalając na mikrodziałanie chirurgiczne dla usunięcia skutków choroby lub makrodziałania ratunkowe w obszarze zagrożenia zachowując bezpieczeństwo obydwu stron. To zmiana sposobu pracy zespołów medycznych. Także w zakresie obsługi domowej pacjentów po hospitalizacji – w czasie rehabilitacji. Niestety warszawski PIAP zaprzestał działań w zakresie robotów rehabilitacyjnych, pozostał w polu jedynie zabrzański ITAM, który z powodzeniem pokazuje co roku postępy w tym zakresie oraz ośrodki akademickie.

Jednak największe zmiany, wpływ na społeczeństwo spowoduje upowszechnianie robotów medyczno-socjalnych. To zmieni relacje społeczne i... filozofię. Etyka będzie musiała podjąć się poszukiwania

szeregu odpowiedzi dotyczących regulacji relacji pomiędzy ludźmi gdy pośredniczy w tym robot.

ROBOTY POTRZEBNE SĄ SYSTEMOWI ZDROWIA

Proste kalkulacje wskazują, że nie jesteśmy w stanie podołać obowiązkowi opieki domowej bez udziału nowych technologii takich jak roboty medyczne.

Raport „the Situation of elderly people” w Polsce, redagowany pod kierunkiem Józefiny Hryniewicz (Rządowa Rada Ludnościowa, Warszawa 2012) donosi że „liczba osób niezdolnych do samodzielnej egzystencji, potrzebująca opieki innych osób, szacowana w 2011 r. na około 1,6–2 mln osób.. Polaków jest 38,2 mln, w NFZ jest 37,37 mln, już dzisiaj ponad ¾ kosztów medycznych pochłaniają dwie grupy: dzieci i emeryci. Obie w całości są objęte uprawnieniami. W Polsce (wg oceny Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową) tylko 0,7 % osób starszych (powyżej 60 lat) przebywa w domach opieki. W 2035 r. ponad 9,6 mln osób będzie po 60, wg GUS ponad 27% społeczeństwa będzie w wieku po produkcyjnym.”

Czy starczy nam lekarz? Ze statystyk Naczelnej Izby Lekarskiej wynika, że w 2011 liczba czynnych zawodowo lekarzy (z wyłączeniem lekarzy dentystów) wyniosła 121,4 tys. Liczba medyków pracujących w bezpośrednim kontakcie z pacjentem (ang. practising physicians) to ok. 80 tys., co oznacza, że na tysiąc pacjentów przypada zaledwie 2 lekarzy, to mniej niż w wielu innych krajach Europy.

A może pielęgniarki? Pielęgniarek jest w Polsce ok. 250 tys. Obraz stanu dopełnia: demografia (bardzo niski stan urodzeń) + niskie PKB + niski % wydatków na zdrowie + liczba zatrudnionych w służbie zdrowia = musimy szukać efektywnych metod opieki domowej.

Czy mamy jakiś wzorzec postępowania? Czy zmierzaliśmy się już kiedyś z podobnym problemem?

Tak. Odpowiedź znajdujemy analizując rozwój cywilizacji przemysłowej. Wprowadzane, nowe sposoby powstawania produktów i organizacji produkcji seryjnej spowodowały z jednej strony zmniejszenie wymaganej kompetencji od zatrudnionych z drugiej strony zapotrzebowanie na dużą liczbę pracowników. 100 lat temu – 1 grudnia 1913 Henry Ford uruchomił pierwszą linię, taśmę produkcyjną. Dodajmy ze tego samego dnia otwarto w Pittsburgu pierwszą stację benzynową (Drive-in). Sukces Forda (ponad dwukrotnie tańsze auto Ford T i ... wzrost płacy na robotników) – spowodował wzrost zainteresowania tymi innowacjami na całym świecie. Te czynniki - powtarzalność, rozproszenie obowiązków w czasie, przestrzeni i na określone osoby uczestniczące w procesie produkcji + występujące braki (wady) zatrudnienia ludzi stworzyły miejsce dla rozwoju robotyki przemysłowej. To one rozwiązały powstający problem braku odpowiednich pracowników.

Pierwsze roboty przemysłowe na świecie zainstalowano w 1961 roku w zakładach General Motors w Trenton w stanie New Jersey. Do dziś połowa robotów przemysłowych działa w branży motoryzacyjnej.

Według szacunków Międzynarodowej Federacji Robotyki (z ang IFR) przeciętna gęstość robotyzacji w gospodarce światowej wynosi 55 robotów przemysłowych na 10 tysięcy pracowników zatrudnionych w przemyśle. Korea Południowa z 347 Japonia 339 Niemcy. Polska, z wartością wskaźnika na poziomie 14, znajduje się w dolnej części rankingu.

Za raportu World Robotics 2013 przygotowanego przez IFR dowiadujemy się że liczba robotów w 2012 osiągnęła liczbę 1,235,000 - 1,500,000, rynek był wart 26 miliardów dolarów. Od 2014 do 2016 szacuje się że liczba instalacji robotów przemysłowych będzie rosła 6% rocznie.

Ale tak jak po telefonie przemysłowym mamy osobisty, po komputerze przemysłowym mamy osobisty – ten sam trend będziemy obserwować w dziedzinie robotyki.



Ale sprawdźmy aktualne dane dotyczące robotów socjalnych i medycznych w raporcie IFR.

W 2012 r. sprzedano o 2% więcej profesjonalnych robotów serwisowych (w sumie 16 067 sztuk).

Sprzedaż robotów medycznych wzrosła o 20% - 1,308 sztuk. W tym w dziedzinie robotów chirurgicznych i terapeutycznych bo 6% (1,053 sztuk). Wartość rynku robotów medycznych - US\$ 1,495 milionów. W 2012 roku sprzedano, ok 3 milionów robotów serwisowych domowego użytku (o 20% więcej niż rok temu). Wartość rynku tych robotów wzrosła do 1,2 miliarda dolarów. Sprzedano prawie 2 mln robotów domowych! Szacuje IFR że w 2013-2016 będzie sprzedanych około 22 mln serwisowych robotów osobistych, 3 mln robotów edukacyjnych i badawczych, robotów do obsługi osób starszych i niepełnosprawnych tylko 6400, ale ta liczba będzie rosła w najbliższych 20 latach.

Jak podkreśla James D. Hamilton, ekonomista z University of California w San Diego, dzięki postępowi technologicznemu i udoskonaleniu technik produkcji w 2005 roku jeden zatrudniony w amerykańskim przemyśle produkował tyle co dwóch robotników w 1970 roku, czterech w 1940 roku i sześciu w 1910 roku.

Czy nie tego potrzebujemy w opiece medycznej? Większej efektywności, możliwości skutecznego leczenia na odległość – by nierosnąca liczba specjalistów mogła służyć rosnącej grupie potrzebujących.

Ale wprowadzenie robotów do opieki domowej i pomocy osobom niepełnosprawnym przyniesie jeszcze jedno – być może najważniejsze – standaryzację, zmniejszenie liczby błędów lekarskich.

Instytut Zdrowia Publicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego szacuje, że każdego roku w Polsce umiera z powodu błędów lekarskich od 7 do 23 tysięcy osób. 370 tysięcy jest trwale okaleczanych.

W USA co roku z powodu pomyłek lekarskich umiera 100 tys. osób, to piąta przyczyna zgonów. Kolejne 200 tys. zostaje kalekami (raport Harvard School of Public Health).

Obecnie produkowane roboty domowe, usługowe, serwisowe pomagają wykonywaniu prac domowych. Roboty opiekuńcze jednak muszą się zmierzyć nie tylko z niepełnosprawnością ale przede wszystkim z licznymi schorzeniami osób będących pod ich opieką.

Z raportu PolSenior opublikowanego w październiku 2011, największego w Polsce interdyscyplinarnego badania populacji osób starszych (powyżej 65 lat) wynika, że 75% seniorów ma nadciśnienie, co czwarty cukrzycę, prawie połowa źle skorygowane wady wzroku, co trzeci cierpi na zaćmę, również co trzeci źle słyszy. Większość ma choroby zwyrodnieniowe stawów w różnym stopniu.

Zgodnie z unijnymi standardami (2 łóżka na 1000 mieszkańców) powinno być w Polsce 7,6 tys. miejsc geriatrycznych, a jest zaledwie 600.

Ja nie mam wątpliwości, że tylko zrobotyzowanie opieki zdrowotnej może być rozwiązaniem problemu efektywnych usług medycznych przyszłości. A Ty?

Wybrane zagadnienia dotyczące stanu robotyki medycznej w Polsce

KRZYSZTOF MIANOWSKI

**Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa,
e-mail: kmianowski@meil.pw.edu.pl**

W polskiej literaturze fachowej pierwsza wzmianka o wykorzystaniu robotów do celów medycznych pojawiła się w roku 1999, w podręczniku akademickim napisanym pod redakcją prof. Adama Moreckiego - poz. [1]. W rozdziale poświęconym manipulatorom medycznym pisał on: „W ostatnich latach notuje się coraz szersze wykorzystanie robotów w medycynie (praktyce klinicznej). Ich stosowanie usprawnia pracę lekarza oraz zmniejsza nakłady”. W pozycji tej roboty



Rys. 1. Nowoczesny sprzęt do operacji małoinwazyjnych:

- a) zbiór narzędzi, trokarzy, port kamery, elastyczne przewody pneumatyczne i do podłączenia kamery,
- b) elastyczny monitor ciekłokrystaliczny, kamera endoskopowa obsługiwana ręcznie, narzędzia laparoskopowe napędzane ręcznie.

medyczne zostały podzielone na asystujące przy zabiegach chirurgicznych, roboty do obsługi szpitalnej i do rehabilitacji. Szczególną uwagę zwrócono na rolę obrazowania w technikach medycznych do celów diagnostyki z zastosowaniem tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego oraz na planowanie przedoperacyjne, przebieg interwencji wspomaganą robotem i rolę sprzężenia zwrotnego oraz powtórne planowania z udziałem techniki komputerowej.

Już wtedy uznano jako ważne wykorzystanie Internetu do celów komunikacji i sterowania robotów medycznych w różnych miejscach na świecie.

Wspomniano też o możliwości wykorzystania mikrorobotów do diagnostyki, operacji i innych medycznych. Warto dodać, że w zespole biomechaniki technicznej ITLiMS Politechniki Warszawskiej, kierowanym przez prof. A. Moreckiego problematyka robotów rehabilitacyjnych była podejmowana już w latach siedemdziesiątych XX wieku, gdy opracowano tzw. „sztuczną rękę warszawską”. Prototyp tego urządzenia był napędzany w niekonwencjonalny sposób z zastosowaniem sztucznych mięśni pneumatycznych i sterowany analogowo w układzie „master-slave” z wykorzystaniem potencjałów elektrycznych mięśni człowieka.



TECHNIKA LAPAROSKOPOWA JAKO TECHNIKA PREKURSORSKA DLA ROBOTÓW CHIRURGICZNYCH

Aktualnie nowoczesne instrumentarium do prowadzenia operacji chirurgicznych narzędzi wewnętrznych, jak pokazano na rys. 1a, z reguły zawiera zbiór narzędzi laparoskopowych obsługiwanych ręcznie, insuflator, tj. zautomatyzowany system nadmuchu gazu do wytworzenia pola operacyjnego z użyciem tzw. igły Veressa, kamerę endoskopową wysokiej rozdzielczości z przekazem obrazu na odpowiedni monitor, zbiór trokarów i inne. Jak pokazano na rys. 2 lekarz-operator trzyma w rękach uchwyty narzędzi

wprowadzonych przez trokary do jamy brzusznej, pielęgniarka-instrumentariuszka trzyma w ręku kamerę endoskopową i zgodnie z instrukcjami lekarza ustawia ją w odpowiedni sposób, lekarz obserwując ruchy narzędzi na ekranie prowadzi operację zgodnie z wcześniej wyuczonymi procedurami. W szczególności trzymanie kamery jest zadaniem trudnym i wymagającym, gdyż przy pracy w pozycji stojącej i braku oparcia dla dłoni ręce szybko się męczą i obraz na ekranie zaczyna drgać, często zmieniając też orientację. Niezależnie od tego ręczna praca narzędziami laparoskopowymi wymaga odpowiedniego treningu i praktyki oraz dużej koncentracji i skupienia, gdyż zakresy realizowanych ruchów narzędzia są przekalowywane w stosunku do ruchów ręki, rzeczywiste ruchy w górę/dół i prawo/lewo są realizowane na kierunkach przeciwnych i każdy fałszywy ruch jest wiernie odtwarzany przez narzędzie. W takiej sytuacji korzystnym jest zastąpienie nawet tej bardzo nowoczesnej techniki operacji jeszcze bardziej wy-

szukanymi technikami z zastosowaniem robotów medycznych, w tym z zastosowaniem robotów chirurgicznych.



Rys. 2. Operacja z zastosowaniem robota AESOP do operacji małoinwazyjnych narzędziami laparoskopowymi.

ROBOTYKA MEDYCZNA W POLSCE

W Polsce pionierem zastosowania robotów w chirurgii małoinwazyjnej jest prof. Andrzej Bochenek [2]. Od 1988 roku prowadził on I Klinikę Kardiologii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach Ochojcu. W roku 2001 do kliniki tej został sprowadzony ze Stanów Zjednoczonych pierwszy robot-asystent AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), służący do utrzymywania kamery endoskopowej i wspomagania operacji małoinwazyjnych.

Był to pierwszy w Europie wschodniej robot medyczny, który służył jako automatyczny asystent m.in. przy operacjach pomostowania naczyń wieńcowych (by-passów). W okresie od 2001 roku prof. A. Bochenek wykonał kilkadziesiąt operacji robotem AESOP. Robot taki spełnia rolę mechanicznego asystenta, utrzymującego i poruszającego kamerą endoskopową wprowadzoną do wnętrza ciała człowieka. Robot taki jest dokładniejszy i precyzyjniejszy niż człowiek-asystent, nie ma mowy o zmęczeniu i przede wszystkim reaguje bezbłędnie na instrukcje i polecenia wydawane głosem przez chirurga. Instrukcje te są bardzo proste - „w prawo, w lewo, w przód, w tył, w dół, w górę” – to zbiór podstawo-

wych komend, na które reaguje system automatycznego sterowania ramieniem robota. Jego zadaniem jest stabilne trzymanie i prowadzenie zgodnie z poleceniami operatora kamery endoskopowej służącej do obserwacji wnętrza ciała pacjenta. Komendy głosowe wydawane robotowi muszą być wcześniej nagrane na indywidualnej, osobistej karcie magnetycznej chirurga – stanowi ona podstawowy element indywidualnego rozpoznawania głosu konkretnego lekarza-operatora, jeśli w sali operacyjnej pojawiają się inne głosy, to dzięki takiej organizacji odbioru sygnałów dźwiękowych z otoczenia robot innych głosów „nie słyszy”. Po wczytaniu takiej karty do systemu sterowania robotem staje się on posłuszny tylko komendom głosowym wydawanym przez konkretnego lekarza-operatora. Robot nie zastępuje lekarza, jest tylko dokładnym i pewnym wykonawcą jego poleceń. Precyzja maszyny niweluje niedoskonałości organizmu człowieka - robotowi automatyczna „ręka” nie drgnie nawet przez wiele godzin w trakcie operacji. AESOP wykorzystywano w Katowicach Ochojcu do przeprowadzania małoinwazyjnych operacji serca oraz operacji innych narządów wewnętrznych. Należy zaznaczyć, że nowoczesna kardiologia stara się minimalizować uraz związany z operacjami narządów wewnętrznych, w tym podczas zabiegów na sercu. Dzięki zastosowaniu robota operacje takie mogą być prowadzone bez zatrzymywania akcji serca i bez stosowania krążenia pozaustrojowego. Zastosowanie robota operującego narzędziami typu laparoskopowego pozwala na prowadzenie operacji we wnętrzu ciała przez kilka niewielkich nacięć w powłokach zewnętrznych. Mniejszy uraz to szybsza rehabilitacja, a więc mniejsze koszty leczenia. Należy jednak pamiętać, że „małe cięcia” to dla chirurga utrudniony dostęp do pola operacyjnego i znacznie trudniejsze warunki do wykonania precyzyjnych zespoleń. W tej sytuacji robot stał się nieodzownym narzędziem wspomagającym pracę lekarza-operatora. Miniaturowe narzędzie o średnicy 4-8 mm umocowane w odpowiednim przegubie na cienkim długim wysięgniku i wprowadzone do wnętrza ciała, napędzane zdalnie przez układ elektro-mechaniczny sterowany elektronicznie, dokładnie naśladuje i odtwarza ruchy ręki chirurga-operatora. Może ono operować w niewielkiej przestrzeni pomiędzy organami wewnętrznymi wytworzonej przez wpompowany do tego obszaru gaz (dwutlenek węgla) pod niewielkim ciśnieniem. Ruchy narzędzia są przekalowanymi ruchami ręki operatora, przesunięcie ręki chirurga o kilka cm powoduje wielokrotnie mniejszy ruch miniaturowego narzędzia na dystansie ok. od ułamka do kilku mm. W roku 2002 klinika w Katowicach Ochojcu wypożyczyła do celów badawczych na okres ok. 3 miesięcy robota ZEUS od firmy Computer Motion w Kalifornii. Inicjatorem badań w zakresie wykorzystania robota w operacjach na sercu był prof. A. Bochenek. Robot ZEUS w tym czasie był najbardziej rozwiniętym tech-

nologicznie robotem operacyjnym. Rok wcześniej robot taki uczestniczył w „operacji Lindbergh”, tj. operacji chirurgicznej przez Ocean Atlantycki. Dotyczyła ona resekcji woreczka żółciowego u pacjentki w klinice w Strasburgu, podczas gdy lekarz-operator obsługiwał konsolę operatorską znajdującą się w jednym ze szpitali w Nowym Yorku.

Zeus pozwalał prowadzić operacje interwencyjne w sposób nie wymagający bezpośredniej obecności lekarza-operatora przy stole operacyjnym. Operacja na sercu z jego zastosowaniem jest możliwa bez rozcinania klatki piersiowej pacjenta. Operacja taka



Rys. 3. Elementy zrobotyzowanych stanowisk operacyjnych FRK Zabrze: Robot Robin Heart Vision (u góry), zrobotyzowane narzędzie do obsługi ręcznej lub obsługi przez robota (z lewej)

wymaga jedynie wykonania trzech pięciomilimetrowych nacięć w powłokach ciała, w których montuje się trokary (porty z wentylami zabezpieczającymi wyciek gazu) do wprowadzania narzędzi robota. Narzędzia są typu laparoskopowego. Chirurg w trakcie operacji siedzi wygodnie w fotelu przed sterowniczą konsolą operacyjną, na uszach ma założone słuchawki z mikrofonem, a na oczach okulary polaryzacyjne. Okulary pozwalają na selektywną obserwację obu oczami dwóch obrazów pola operacyjnego z dwóch kamer endoskopowych o rozsuniętych względem siebie układach optycznych, co stwarza wrażenie widzenia trójwymiarowego. Lekarz-operator wydaje polecenia dla ramienia robota trzymającego kamerę endowizyjną, robot dokładnie reaguje na te polecenia kierując kamerę w interesujący obszar pola operacyjnego.

Sterując manetkami podobnymi do myszy komputerowych lekarz uruchamia dwa miniaturowe narzędzia do prowadzenia operacji. W ten sposób można przeprowadzać skomplikowane operacje serca bez rozcinania klatki piersiowej pacjentów. To bardzo precyzyjne narzędzie obwarowane szeregiem zabezpieczeń elektronicznych, poprawiające precyzję wykonania operacji – komentował pracę robotem profesor A. Bochenek w 2002 roku.

W I Klinice Kardiologii, do 2010 roku zoperowano ponad 20.000 chorych. Prof. Andrzej Bochenek wyszkolił 13 specjalistów w zakresie kardiologii i 13 specjalistów chirurgii ogólnej, stopień doktora nauk medycznych uzyskało 12 lekarzy, a 4 lekarzy uzyskało tytuł doktora habilitowanego. Klinika jest znana z dużego doświadczenia w chirurgicznym leczeniu choroby wieńcowej, operacji małoinwazyjnych choroby wieńcowej z użyciem endoskopii (MID-CAB) i operacji endowizyjnych zastawki mitralnej. W Klinice wykonuje się operacje wieńcowe i zastawkowe u chorych z zaawansowaną niewydolnością serca. Dzięki prowadzeniu programów naukowych Klinika wprowadza najnowsze osiągnięcia chirurgii serca np. małoinwazyjne i przeszłone implantacje zastawki aortalnej, leczenie operacyjne zaburzeń rytmu serca oraz naprawy zastawki dwudzielnej metodą małoinwazyjną.

ROBOTY CHIRURGICZNE FUNDACJI ROZWOJU KARDIOCHIRURGII

Projekt polskiego robota kardiologicznego został zapoczątkowany w Fundacji Rozwoju Kardiologii w 2000 roku w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych.

Inicjatorem i koordynatorem projektu robota był dr Zbigniew Nawrat. Uwiarygodnił go prof Zbigniew Religa, szef pierwszego projektu i znany ze swojej pasji do innowacji technicznych znakomity kardiolog. Do dzisiaj zabrzański zespół FRK pełni rolę dominującą w dziedzinie robotyki medycznej w Polsce.

W projekcie poza zespołem z FRK kierowanym przez dr Z. Nawrata, brały udział zespoły dr K. Mianowskiego z ITLiMS z Politechniki Warszawskiej i prof. L. Podśkadowskiego z ITiBM z Politechniki Łódzkiej. W rezultacie powstało kilka rozwiązań prototypowych robotów chirurgicznych, jak Robin Heart 0, Robin Heart 1, Robin Heart 2, których rozwiązania stanowiły sprawdzian założeń wyjściowych, pozwoliły na dopracowanie założeń ogólnych dla kolejnych wersji i doprowadziły do wykonania dwóch rzeczywistych operacji na zwierzętach. Rozwiązania te charakteryzują się tzw. stałopunktowością kinematyczną, ich kinematyka jest opisana dokładnymi zależnościami manipulatora kulistego co pozwala na intuicyjne sterowanie w układzie master-slave. Manipulatory dysponują trzema stopniami swobody, montowane na nich narzędzia typu laparoskopowego mają od dwóch do czterech stopni swobody.

WDROŻONY W POLSCE SYSTEM OPERACYJNY DAVINCI

W roku 2008 prof. Wojciech Witkiewicz – rys. 4, dla Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego we Wrocławiu ze środ-

ków Funduszu Nauki i Technologii Polskiej rozpoczął zabiegi zakupu pierwszego robota chirurgicznego da Vinci.

Miało to być wydarzenie bezprecedensowe w skali kraju, stanowiące pierwszy krok dla rozwoju chirurgii robotowej w Polsce i stawiające Polskę w gronie najbardziej rozwiniętych medycznie krajów świata. Pierwszy w Polsce robot chirurgiczny da Vinci rozpoczął pracę we wrocławskim Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym w grudniu 2010 r, wtedy też odbyła się pierwsza operacja z jego wykorzystaniem, która zakończyła się sukcesem. Pacjentem był 71-letni mężczyzna chory na raka jelita grubego. W kolejnych miesiącach przeprowadzono m.in. operację histerektomii (usunięcie macicy). Można powiedzieć, że dzięki temu polska chirurgia nadąza za najnowszymi osiągnięciami światowymi w zakresie użytkowania nowoczesnego sprzętu medycznego.



Rys. 4a. Operacja z wykorzystaniem robota daVinci: prof. Wojciech Witkiewicz przy konsoli operatora.



Rys. 4b. Stanowisko operacyjne z robotem daVinci.

Zdaniem prof. Witkiewicza robot da Vinci stwarza możliwość leczenia chorych z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć chirurgii małoinwazyjnej. Technika ta może być stosowana w poprawie metod leczenia chorób nowotworowych, np. nowotworu odbytnicy, jelita grubego, prostaty, macicy z przydatkami, nerek, a ponadto stwarza szansę kształcenia chirurgów w tym zakresie w kraju, czego dotychczas nie było.

Zastosowanie robota da Vinci zrewolucjonizowało współczesne zabiegi z dziedziny chirurgii ogól-

nej, urologii, ginekologii oraz kardiologii. Robot z powodzeniem jest stosowany w diagnostyce i terapii chorób prostaty (gruczołu krokowego) oraz w zabiegach histerektomii (usunięcia macicy). Poprawa wyników klinicznych pacjentów wiąże się także z zastosowaniem robotyki w dziedzinie kardiologii, w tym m.in. w zakresie zabiegów naprawy zastawki mitralnej czy operacjach by-passów. We wrocławskim Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu Ośrodku Badawczo – Rozwojowym robot jest wykorzystywany na oddziałach chirurgii ogólnej, naczyniowej i onkologicznej, a także urologii, ginekologii i kardiologii. Odbywają się też szkolenia przygotowujące lekarzy i pielęgniarki do pracy z robotem. Robot da Vinci umożliwia precyzyjne operacje, szczególnie w trudno dostępnych miejscach w ciele pacjenta. Charakteryzują się one minimalnym urazem operacyjnym, z małą utratą krwi i z bardzo szybką rekonwalescencją. Robot umożliwia bezpieczny dostęp do takich miejsc organizmu, do których do tej pory wgląd w sposób tradycyjny był bardzo trudny m.in. zmiany nowotworowe w miednicy małej (macica z przydatkami, odbytnica, prostata), czy guzy w okolicy podstawy czaszki. System ten pozwala ponadto na bardzo precyzyjne rozdzielanie struktur anatomicznych nerwów, naczyń i mięśni, co czyni operacje precyzyjną, a jednocześnie zmniejsza do minimum okaleczenie chorego przy rozległych operacjach. Warto podkreślić, że robot jest narzędziem, które obsługiwane w sposób bardzo intuicyjny przedłuża możliwość pracy rąk chirurga. Robot nie jest autonomiczny i nie operuje sam, lecz to chirurg operuje z zastosowaniem robota. Należy zaznaczyć, że robot da Vinci jest wykorzystywany do operacji, które dotychczas były bardzo uciążliwe i drogie lub były uznawane za niemożliwe do przeprowadzenia. Przykładem jest przeszczep nerki. Polega on na pobraniu narządu od dawcy osobie chorej na niewydolność nerek i może być wykonany przez dwa zespoły chirurgów. W wypadku zespołu prof. Witkiewicza zabieg pobrania nerki trwał ok. dwóch godzin, a operacja wszczepienia narządu – kolejne dwie godziny. Pacjent, od którego pobierano nerkę, opuścił szpital z dobrym samopoczuciem ogólnym w ciągu następnych 3 dni. Profesor myślał że pojawią się jakieś kłopoty, ale wszystko się udało, pacjent-dawca nie stracił ani kropli krwi, a dzięki wykorzystaniu robota można było narząd pobrać w ten sposób, aby był w jak najlepszej kondycji. Przeszczepiona nerka z powodzeniem podjęła swoją funkcję.

STAN DZIEDZINY I STAN NAUCZANIA ROBOTYKI MEDYCZNEJ W POLSCE

Zaintersowanie robotyką medyczną w działalności dydaktycznej było stymulowane przez dr Zbigniewa Nawrata, który postawił sobie za cel nie tylko wykonanie i wdrożenie pierwszego polskiego robota

chirurgicznego ale również popularyzację tej nowej dziedziny z pogranicza medycyny i techniki. Z założenia prowadzony przez niego projekt Robin Heart był szeroko otwarty na współpracę dla specjalistów wielu dziedzin: od mechaniki po wzornictwo przemysłowe. Od 2002 r. Z. Nawrat organizuje otwarte dla publiczności specjalistyczne konferencje poświęcone robotyce medycznej gromadzące rosnącą liczbę naukowców z kraju i zagranicy. Konferencje wzbudzały również duże zainteresowanie mediów ponieważ w ich trakcie prezentowano tradycyjnie postępy prowadzonych prac nad robotem Robin Heart w tym pierwszy na żywo eksperyment operacji na odległość (Zabrze-Katowice). W FRK organizowane są wykłady, pokazy i warsztaty chirurgiczne, które pozwalają na porównanie różnych typów narzędzi chirurgicznych i metod operacji. O popularności zabrzańskich spotkań niech świadczy, że do tej pory tylko w warsztatach chirurgicznych operowania robotem wypróbowano ok. 1500 młodych pasjonatów chirurgii i inżynierii biomedycznej. Zbigniew Nawrat jest również pionierem działalności akademickiej bowiem wprowadził element robotyki medycznej do swoich wykładów prowadzonych w Śląskim Uniwersytecie Medycznym dla medycyny oraz w Uniwersytecie Śląskim dla fizyków medycznych. W 2007 r. wydał pierwszą w Polsce książkę Roboty Medyczne/Medical Robots będącą zbiorem aktualnej wiedzy na ten temat (Roboty Medyczne M Studio 2007 ISBN 978-83-88427-71-8 red. Z. Nawrat). O oryginalnym sposobie działania Z. Nawrat świadczy również i to że książkę (500 egzemplarzy) rozdał a wersja elektroniczna książki jest powszechnie dostępna w portal internetowym www.e-nawrat.pl i www.medicalrobots.eu. Obraz aktywności tego polskiego pioniera robotyki medycznej dopełnia założenie przez niego w 2010 r. Międzynarodowej Organizacji na rzecz Robotyki Medycznej (International Society for Medical Robotics) i specjalistycznego czasopisma Medical Robotics Reports.

Instytucją wiodącą w zakresie działalności naukowej i szkoleniowej w zakresie skojarzonym z robotyką medyczną jest Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN oraz Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki PAN. Podejmuje się następującą problematykę badawczą: biosystemy, biopomiary, sztuczne narządy, biomateriały, biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna, sieci neuronowe, systemy komputerowe i teleinformatyczne w służbie zdrowia, fizyka medyczna. Twórcami polskiej szkoły biomechaniki i biorobotyki byli prof. dr inż. Adam Morecki (1929-2001) i prof. dr hab. Kazimierz Fidelus (1928-1998). We współpracy Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, Akademii Wychowania Fizycznego i Instytutu Sportu w Warszawie oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie powstały teoretyczne opisy współdziałania mięśni, prototypy napędów typu sztuczne mięśnie, pierwsze biomanipulatory (sztuczna ręka

warszawska) i automatycznie sterowane wózki kompleksowo obsługujące paraplegików. Na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej już w latach osiemdziesiątych XX wieku prowadzono prace dyplomowe z zakresu projektowania robotów i manipulatorów.

Aktualnie na wielu uczelniach w Polsce wprowadzono kierunki i specjalności związane z robotyką medyczną, biorobotyką, biomechaniką, robotyką rehabilitacyjną. Dotyczą one głównie kształcenia kadry dla zaplecza naukowo-technicznego w nowej, prężnie rozwijającej się dziedzinie. Wydaje się wiele pozycji literaturowych, odbywają się konferencje i seminaria naukowe, organizowane są wystawy i konkursy.

W Politechnice Warszawskiej na Wydziale MEiL jest prowadzony kierunek Automatyka i Robotyka, w ramach którego istnieje specjalność biorobotyka. W ramach tego kierunku wprowadzono przedmioty „Roboty medyczne” i „Robotyka medyczna”. Celem nauki jest zapoznanie studentów ze współczesnymi rozwiązaniami stanowisk i sal operacyjnych z zastosowaniem robotów do operacji laparoskopowych kardiologicznych, neurologicznych i ortopedycznych, w tym przedstawienie podstawowych właściwości systemów wizyjnych endoskopowych i problematyki dokładności, kontroli i sterowania robotami chirurgicznymi i medycznymi i wykorzystanie systemów zrobotyzowanych w rehabilitacji. W ramach laboratorium, studenci zapoznają się także z współczesnymi technikami obrazowania w medycynie, robotyzacją operacji chirurgicznych w ortopedii a także praktycznie z badaniem układu sterowania robota chirurgicznego oraz z wyznaczaniem jego charakterystyk kinematycznych i dokładnościowych. Po zaliczeniu przedmiotu student będzie potrafił wykonać analizę stanu techniki w zakresie dostępności elementów składowych zrobotyzowanej sali operacyjnej w celu skompletowania wymaganego wyposażenia takiej sali oraz nabędzie praktyczne umiejętności dotyczące doradztwa merytorycznego w tym zakresie podstawowych charakterystyk funkcjonalnych robota chirurgicznego.

W Politechnice Łódzkiej na kierunku robotyka studenci zdobywają wiedzę potrzebną do automatyzacji, modernizacji i komputeryzacji procesów produkcyjnych oraz budowy i sterowania robotów przemysłowych. Studenci mają przygotowanie interdyscyplinarne z zakresu mechaniki, automatyki, elektroniki i teorii sterowania. Duży nacisk skierowany jest również na opanowanie nowych technik komputerowych oraz umiejętności zestawiania oprogramowania i doboru nastaw układów automatyki przemysłowej. Program studiów na kierunku Automatyka i Robotyka obejmuje ogólne przedmioty humanizujące, takie jak język obcy, ekonomia, prawo, przedmioty podstawowe, takie jak matematyka, fizyka, informatyka oraz przedmioty ogólnotechniczne, jak np. podstawy konstrukcji maszyn, wytrzymałość ma-

teriałów, teoria mechanizmów. W programie są też przedmioty kierunkowe, jak np. podstawy automatyki, teoria sterowania, teoria manipulatorów, robotyka i przedmioty specjalistyczne, jak np. konstrukcja robotów, zagadnienia sztucznej inteligencji, zastosowania robotów przemysłowych. Specjalność Robotyka. Absolwent specjalności Robotyka posiadać będzie: znajomość podstaw automatyzacji systemów, zasad budowy robotów i manipulatorów, działania elastycznych systemów wytwarzania, zastosowania manipulatorów i robotów przemysłowych, systemów sterowania, metod i form organizacyjnych w produkcji zautomatyzowanej;; umiejętność pisania programów, projektowania i modernizacji robotów i manipulatorów, przygotowania produkcji do wprowadzania robotyzacji;; znajomość poza przemysłowych zastosowań robotów (w medycynie, transporcie, badaniach, systemach ochrony i bezpieczeństwa), metod sztucznej inteligencji i systemów eksperckich.

Profesor L. Podśędkowski w ramach kierunku kształci również studentów doktorantów w obszarze robotyki medycznej. Podręcznik „Roboty medyczne” autorstwa L. Podśędkowskiego przedstawia przegląd robotów stosowanych w medycynie, oparty o klasyfikację biorącą pod uwagę rolę robota jaką pełni on na sali operacyjnej. Podręcznik zawiera opisy robotów do trzymania kamery laparoskopowej, telemanipulatory, manipulatory pasywne pomocy nawigacyjnej, systemy dokładnego pozycjonowania i systemy dokładnego przemieszczania. Dla każdej z klas przedstawione są typowe wymagania oraz przegląd istniejących konstrukcji.

W Akademii Górniczo Hutniczej jest prowadzony kierunek „Inżynieria Biomedyczna” gdzie na specjalności „bionanotechnologie” jest prowadzony przedmiot „Telechirurgia i robotyka medyczna”. W ramach przedmiotu student ma opanować podstawy robotyki medycznej i budowy wybranych typów robotów medycznych, stosowanych narzędzi laparoskopowych oraz zasady prowadzenia operacji na odległość (telerobotyka). W związku z tym musi nauczyć projektowania wybranych podzespołów robota oraz zasad planowania trajektorii dla wieloczołowych narzędzi robotów. Wykład dotyczy technologii chirurgii minimalnie inwazyjnej, prowadzenia telekonferencji, telekonsultacji i operacji medycznych na odległość, metod wirtualnej rzeczywistości w obrazowaniu pola operacyjnego, przeglądu konstrukcji robotów chirurgicznych, omówienia współczesnych robotów medycznych w zakresie napędów w robotach, układów sensorycznych, układów nadzorowania i programowania pracy robotów. Są też omawiane struktury kinematyczne ramion manipulatorów robotów medycznych, człony i przeguby manipulatorów, struktury kinematyczne i mechanizmy kończyn, narzędzia chirurgiczne. Kinematyka jest analizowana z wykorzystaniem notacji Denavita-Hartenberga.

Przedstawiane są metody planowania operacji z użyciem robotów medycznych, metody oceny własności, dokładności i bezpieczeństwa robotów medycznych oraz sposoby wyznaczania i pomiarów pozycji narzędzia (chwybaka). W ramach wykładu przedstawiane są metody kalibracji geometrycznej robotów, układy sensoryczne narzędzi chirurgicznych, układy wymiany narzędzi – uchwyty i magazyny, chwytaki i narzędzia wielozadaniowe o strukturze ludzkiej dłoni. Wykład kończy omówienie kierunków rozwoju robotyki medycznej. Ćwiczenia laboratoryjne dotyczą budowy i działania robotów o strukturze antropomorficznej oraz typu SCARA, języków programowania robotów, programowania w języku MELFA, programowania w języku V+, układów współrzędnych, definiowania zmiennych pozycyjnych, transformacji względnych, instrukcji ruchu, zmiany prędkości i przyspieszeń. programowania z wykorzystaniem podprogramów, obsługi przerw, instrukcji wejścia-wyjścia. Omawia się też narzędzia laparoskopowe w zakresie podziału, budowy, typowych rozwiązań laparoskopów i trokarów. Odrębnym zagadnieniem jest stereowizja, są omawiane metody i narzędzia do obserwacji stereoskopowej, sposoby wykonywania zabiegów laparoskopowych pod kontrolą wizji (w sprzężeniu wizyjnym), studenci ćwiczą wykonywanie drobnych zabiegów narzędziami laparoskopowymi, jak cięcie, szycie, przekładanie i montaż elementów o złożonych kształtach.

Warto zaznaczyć, że problematyka robotów medycznych jest podejmowana również na różnych uczelniach technicznych. Przykładem jest Politechnika Gdańska, gdzie od pewnego czasu [7] jest prowadzony międzyuczelniany kierunek studiów inżynieria mechaniczno-medyczna. Jest on prowadzony wspólnie z Wydziałem Lekarskim Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego i łączy wiedzę techniczną z problematyką medyczną. Studenci pozyskują wiedzę oraz umiejętności z zakresu nowoczesnego projektowania urządzeń medycznych, korzystając ze współczesnych narzędzi obliczeniowych, uczą się nowoczesnych metod wytwarzania, budowy i eksploatacji maszyn oraz zagadnień z zakresu inżynierii medycznej, opanowują też podstawową wiedzę medyczną. Kierunek obejmuje bardzo szeroki wachlarz przedmiotów medycznych, na co składa się ok. 500 godzin zajęć na pierwszym etapie studiów. Wśród nich są takie przedmioty jak: podstawy anatomii i fizjologii człowieka, podstawy chirurgii, propedeutyka nauk medycznych i interny, organizacja i zarządzanie zapleczem technicznym służby zdrowia, fizyka medyczna, biochemia, podstawy ortopedii, podstawy kardiologii, podstawy laryngologii, podstawy neurologii, podstawy rehabilitacji, endoprotezy, implanty i sztuczne narządy, podstawy immunologii, podstawy reumatologii, podstawy ratownictwa medycznego, prawne i etyczne aspekty inżynierii mechaniczno medycznej. Poza elementami klasycznej inżynierii mechanicz-

nej w programie nauczania zawarto szereg specjalistycznych przedmiotów technicznych powiązanych z medycyną, jak automatyka i robotyka w medycynie, akustyka i ochrona słuchu, klimatyzacja i wentylacja w obiektach medycznych, hydraulika i pneumatyka w inżynierii mechaniczno-medycznej, biomechanika inżynierska, biomateriały, aparatura medyczna, inżynieria rehabilitacji ruchowej. Absolwenci tego kierunku studiów mają być przygotowani do wykonywania prac projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych związanych z ogólnie pojętą techniką medyczną oraz do kierowania produkcją i eksploatacją mechanicznych urządzeń stosowanych w zabiegach operacyjnych, procedurach leczniczych i rehabilitacyjnych. Zdobędą przygotowanie do prowadzenia małych i średnich przedsiębiorstw wytwarzających sprzęt rehabilitacyjny i urządzenia wyposażenia medycznego. Absolwenci będą mogli podjąć pracę w zakładach projektowania i produkcji sprzętu medycznego, urządzeń rehabilitacyjnych; w firmach specjalizujących się w projektowaniu oraz wytwarzaniu sztucznych narządów i protez, a także w zakładach usługowych zajmujących się doborem, zakupem, instalacją i naprawą wymienionych urządzeń. Dotyczy to zarówno produkcji, stosowania i rozwoju sprzętu typowo medycznego, używanego w salach operacyjnych, sprzętu sanitarnego, urządzeń technicznych związanych z infrastrukturą jednostek medycznych, projektowania ciągów komunikacyjnych i instalacji specjalistycznych.

PODSUMOWANIE

Roboty medyczne i chirurgiczne powstałe w ramach projektów Pentagonu i NASA w początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku przyjęły się z powo-

dzeniem w praktyce medycznej. Aktualnie również w Polsce powstają i operują roboty medyczne zarówno produkcji amerykańskiej (daVinci) jak i polski robot Robin Heart (w wersji prototypowej robota wykonano dwie operacje na świnia). Fakty te napawają optymizmem, że w niedalekiej przyszłości roboty na stałe wejdą do praktyki medycznej, usprawnią prowadzenie zabiegów chirurgicznych, skrócą czasy zabiegów, obniżą ich koszty oraz uczynią pracę lekarza lżejszą i łatwiejszą a pacjentom przyniosą szybszą ulgę i efektywniejszy powrót do zdrowia.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE:

- [1] Morecki A.: Podstawy robotyki, teoria i elementy manipulatorów i robotów, WNT, Warszawa 1999,
- [2] http://pl.wikipedia.org/wiki/Andrzej_Bochenek,
- [3] WPROST nr 37/1999 (876)
- [4] <http://www.pwpss.pl/teksty/recenzenci/recenzenci.html>
- [5] <http://www.medicalnet.pl/Miedzynarodowy-Kongres-Chirurgii-Robotowej,wiadomosc,24,luty,2012.aspx>
- [6] http://www.up.wroc.pl/aktualnosci/14864/profesor_wojciech_witkiewicz.html
- [7] Nałęcz N.: Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, Biomechanika i inżynieria rehabilitacyjna, Akad. Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa 2004,
- [8] <https://ects.coi.pw.edu.pl/kartaprzedmiotu>
- [9] <http://syllabuskrk.agh.edu.pl/2012-2013/pl/>
- [10] <http://www.imm.pg.gda.pl/>

Raport z MR 2013

XI Konferencja „Roboty Medyczne / Medical Robots”

ZBIGNIEW NAWRAT

PREZYDENT ISMR, ORGANIZATOR MR 2013

To był świetny i odświętny dzień robotyki medycznej! Już po raz XI naukowcy, projektanci, konstruktorzy i użytkownicy robotów medycznych spotkali się w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii, by rozmawiać o postępach, oświadczeniach i perspektywach w tej dziedzinie oraz zmianach, jakie robotyka medyczna wywołać może w służbie zdrowia, wpływając na skuteczniejszą i mniej inwazyjną terapię chorych i ich rehabilitację. Już po raz XI spotkali się w Zabrze pasjonaci, inżynierowie i lekarze, projektanci, konstruktorzy i użytkownicy robotów, które pozwalają, by medycyna i opieka społeczna przyszłości była bardziej skuteczna, bezpieczna dla pacjentów i opiekujących się nimi zespołów. Jest nas coraz więcej, waga naukowa prezentowanych prac – wysoka, zaangażowanie – znakomite.

Tegoroczna konferencja RobMed (13 XII 2013) odbyła się z udziałem znakomych; polskich i zagranicznych (Niemcy, USA) gości. Nowością było zaproszenie do dyskusji nie tylko entuzjastów robotyki medycznej, ale również naukowców i lekarzy, zajmujących się biologicznymi metodami ratowania serca. W programie konferencji znalazł się bowiem panel – przygotowany przez Michała Zembalę z SCCS - poświęcony stosowaniu komórek macierzystych w leczeniu serca, co jest przedmiotem prac naukowych realizowanych wspólnie przez Śląskie Centrum Chorób Serca SCCS, Instytut Onkologii w Gliwicach i Fundację Rozwoju Kardiochirurgii. Pomostem łączącym blok związany z metodami regeneracji serca za pomocą materiału biologicznego oraz dalszą częścią konferencji, poświęconą użyciu robotów w medycynie, były moje wykłady zatytułowane „Mechaniczne wspomaganie biologicznych metod regeneracji serca” oraz „Robotyka medyczna a biologiczne metody terapii” z pokazem narzędzia mechatronicznego (robota Robin Heart) do aplikacji komórek macierzystych wykonanym przez Łukasza Muchę.

Mocną stroną naszej konferencji są zawsze dyskusje z użytkownikami robotów, często pionierami chirurgii obrotowej. Tym razem znakomity cykl wykładów związanych z praktycznym zastosowaniem jedynego w Polsce robota da Vinci przygotował ze-

spół medyczny z Wrocławia pod kierownictwem prof. Wojciecha Witkiewicza. Po raz pierwszy uczestnicy konferencji mogli zapoznać się z przedstawieniem problematyki użytkowania robota chirurgicznego z punktu widzenia operatora robota (Marek Zawadzki), zespołu pielęgniarstwa pracującego przy stole operacyjnym () oraz kierownika bloku operacyjnego planującego zabieg (). Niezwykle interesujący był również wykład, via Internet, Sławomira Marcika z Chicago pokazujący najnowsze techniki operacji robotem da Vinci.

W części pokazowej mieliśmy również kolejną okazję, obok prezentacji postępów projektu Robin Heart, zapoznać się z nowym robotem rehabilitacyjnym projektowanym w zabrzańskim ITAMie.

Konferencja RobMed 2013 to jest jedyne w Polsce spotkanie specjalistów w dziedzinie robotów medycznych. Zaprezentowane zostały najnowsze osiągnięcia grup z Poznania (zastosowania robotów w laryngologii i ortopedii), Lublina (roboty socjalne i medyczne), Łodzi (roboty chirurgiczne), Tutlingen – Niemcy (nawigacja i roboty w ortopedii), Warszawy, Rzeszowa, Gliwic, Zabrze.

Najlepsi reprezentanci młodego pokolenia, w nagrodę za szczególny wkład w rozwój robotyki, otrzymali statuetki Robina (nagroda Jury) oraz Strzały Robina (nagroda publiczności). Z myślą o nich powołany też został RobinClub – inicjatywa Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej otwarta dla młodych hobbystów robotyki. Stowarzyszenie chce poświęcić również należną uwagę kwestiom związanym z wzornictwem i ergonomią robotów, organizując w przyszłości Akademię Sztuki Robotów Medycznych.

W czasie Konferencji przyznano nagrody dla młodych naukowców:

- Strzała Robina - nagroda publiczności - dla Kamila Rohra z Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze
- Statuetka Robina - nagroda główna Jury Międzynarodowego Stowarzyszenia Robotyki - dla Łukasza Muchy, doktoranta Politechniki Śląskiej.

Po rozkwicie technologii transferu informacji na odległość czas nadszedł na przekazywanie na odległość działania – to oznacza doboru czas dla telemanipulatorów, zdalnie sterowanych robotów. To ważny aspekt nowoczesnej myśli technicznej związany

zarówno z medycyną jak i techniką. Kolejne postępy w tej dziedzinie będziemy mogli zobaczyć w przyszłym roku – telerobotyka będzie jednym z motywów przewodnich przyszłej konferencji – Roboty Medyczne 2014. Pojawi się też pierwszy model robota toru wizyjnego przeznaczony do prac klinicznych – Robin Heart PortVisionAble. I pewnie wiele innych nowatorskich rozwiązań robotów społecznych i medycznych. Zwrócimy też szczególną uwagę na problem multidyscyplinarności, albo raczej komplementarności i synergii wynikającej ze współpracy zespołów złożonych z wielu specjalności w projektowaniu robotów. Powołujemy w ramach naszego stowarzyszenia Akademię Sztuki Robotyki Medycznej i w czasie przyszłej konferencji odbędą się pierwsze Warsztaty Akademii z udziałem specjalistów sztuk pięknych, wzornictwa przemysłowego, psychologów, filozofów i... przyszłych użytkowników robotów. By robotyka medyczna była zarówno efektywna jak i efektywna!

Więcej na temat konferencji:

<http://conference.medicalrobots.eu>.

KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE - PROGRAM

XI Konferencja "Roboty Medyczne 2013"

III Sympozjum "Regeneracja Serca – od komórki do maszyny"

13 grudnia 2013 - Miejsce - Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniew Religi, ul. Wolności 345 a 41-800 Zabrze

9.00 Otwarcie konferencji - Michał Zembala (SCCS), Zbigniew Nawrat (ISMR,FRK)

9.15-10.15 III Sympozjum "Regeneracja Serca – od komórki do maszyny"

Michał Zembala. Regeneracja serca i terapia komórkowa - gdzie jesteśmy w roku 2013. Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrzu.

Sybilla Matuszczyk. Sercowe komórki macierzyste - stracona nadzieja ?. Instytut Onkologii w Gliwicach.

Justyna Czaplą. Komórki mezenchymalne - dlaczego warto. Instytut Onkologii w Gliwicach.

Piotr Wilczek. Nośniki komórkowe - jak dostarczyć komórki do uszkodzonego serca. Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrzu.

10.15-10.30 Dyskusja zamykająca III Sympozjum "Regeneracja Serca – od komórki do maszyny"

10.30 Brakujące ogniwo.

Zbigniew Nawrat. Mechaniczne wspomaganie biologicznych metod regeneracji serca. Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii.

Zbigniew Nawrat (Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii), Łukasz Mucha (Politechnika Śląska). Przedsta-

wienie projektu/prototypu innowacyjnego, mechatronicznego narzędzia/robota do implantacji komórek macierzystych.

11.00-11.30 Przerwa na kawę

11.30 XI Konferencja "Roboty Medyczne 2013"

11.30 Wykład inauguracyjny RM 2013

Wojciech Witkiewicz, Marek Zawadzki. Polskie doświadczenia chirurgii robotowej. Wojewódzki Szpital Specjalistyczny we Wrocławiu.

12.00 Sesja kliniczna I

Izabela Szwed, Agnieszka Fiedziuk. Przygotowanie robota da Vinci do operacji. Wojewódzki Szpital Specjalistyczny we Wrocławiu.

Jakub Turek. Robot chirurgiczny da Vinci na sali operacyjnej. Wojewódzki Szpital Specjalistyczny we Wrocławiu.

12.30-12.45 Dyskusja

12.45-13.30 Roboty w ortopedii

Josef Kozak. Wymogi dla urządzeń mobilnych w przed-, śród- i pooperacyjnych aplikacjach ortopedycznych. Aesculap, B Braun, Niemcy.

Krzysztof Adam Skrzynecki. Prototyp zestawu do nawigowanego naprowadzania narzędzi chirurgicznych i implantów z wykorzystaniem urządzeń mobilnych. Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

Piotr Sauer, Darek Pazderski, Jarosław Majchrzak, Bartłomiej Krysiak, Vadim Peczyński. Prototyp manipulatora rehabilitacyjnego stawu kolanowego. Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Politechnika Poznańska.

13.30-14.00 LUNCH INTEGRACYJNY - III SYMPOZJUM REGENERACJI SERCA oraz XI KONFERENCJI ROBOTY MEDYCZNE 2013 + pokazy robotów

Andrzej Michnik z ITAM. Prezentacja robota rehabilitacyjnego Dynamizer. Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, Zabrze

Pokaz postępów projektu Robin Heart prezentuje zespół RobinHeartTeam. Pracownia Biocybernetyki IPS FRK; EMSI.

14.00-14.45 Problemy podstawowe

Podśędkowski Leszek, Kobierska Agnieszka, Zawierucha M. Problem przejścia przez położenia osobliwe – aktualny stan prac badawczych Politechniki Łódzkiej w zakresie robotów medycznych. Politechnika Łódzka.

Frącczak Ł. (Politechnika Łódzka), Moll M. (Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi), Moll J. (Politechnika Łódzka), Podśędkowski L. (Centrum Zdrowia Matki Polki w Łodzi). Motywacje do wprowadzenia procedur wspomagania chirurga podczas operacji zrobotyzowanych.

Piotr Krocze (Akademia Górniczo - Hutnicza w Krakowie), Kamil Rohr (Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrzu). Kolizyjność robotów. Środowisko analizy przedoperacyjnej - etap wstępny.

14.45 – 15.15 Sesja kliniczna II

Sławomir Marecik. Robotic colorectal surgery. What's new. University of Illinois at Chicago, Attending Surgeon, Department of Surgery, Lutheran General Hospital. USA (telekonferencja).

15.15 -17.00 Innowacje

Paweł Kostka (Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej), Zbigniew Małota (Fundacja Rozwoju Kardiologii), Wojtek Sadowski (Fundacja Rozwoju Kardiologii), Zbigniew Nawrat (Fundacja Rozwoju Kardiologii). System sterowania telemanipulatora chirurgicznego dla operacji na duże odległości z elementami systemu bezpieczeństwa.

Dorota Szcześniak-Stanczyk (Cardiology Department, Medical University of Lublin), Wojciech Brzozowski (Cardiology Department, Medical University of Lublin), Andrzej Wysokiński (Cardiology Department, Medical University of Lublin), Krzysztof Arent (The Unit of Fundamental Cybernetics and Robotics, Wrocław University of Technology), Janusz Jakubiak (The Unit of Fundamental Cybernetics and Robotics, Wrocław University of Technology), Mariusz Janiak (The Unit of Fundamental Cybernetics and Robotics, Wrocław University of Technology), Bogdan Kreczmer (The Unit of Fundamental Cybernetics and Robotics, Wrocław University of Technology), Angelika Peer (Institute of Automatic Control Engineering, Technische Universität München), Martin Buss (Institute of Automatic Control Engineering, Technische Universität München), Bartłomiej Stańczyk (ACCrea Engineering), Manfred Tscheligi (ICT&S Center, University of Salzburg), Carlo Alberto Avizzano (PERCRO, Scuola Superiore Sant'Anna), Emanuele Ruffaldi (PERCRO, Scuola Superiore Sant'Anna), Luc Van Gool (Computer Vision Laboratory, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich), Andrea Fossati (Computer Vision Laboratory, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich). Towards a Remote Medical Diagnostician (ReMeDi) – A Medical Robotics Project.

A. Peer (Technische Universität München), M. Buss (Technische Universität München), B. Stańczyk (Accrea Engineering), P. Maragos (Institute Of Communication And Computer Systems), C. Tzafestas (Institute Of Communication And Computer Systems), I. Kokkinos (Institut National De Recherche En Informatique Et En Automatique), K. Mombaur (Ruprecht-Karls-Universitaet Heidelberg), E. Fotinea (Ilsp-Institute For Language And Speech Processing / Athena Rc), E. Efthimiou (Ilsp-Institute For Language And Speech Processing / Athena Rc), K. Hauer (Bethanien Krankenhaus – Geriatriisches Zentrum, University Heidelberg), C. Virvilis (Diaplasia Rehabilitation Center Sa), I. Koumpouros (Diaplasia Rehabilitation Center Sa). Podsumowanie projektu MOBOT/ Summary of MOBOT project.

Mirosław Dziewoński (Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Politechnika Śląska w Gliwicach), Ewa Majchrzak (Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Politechnika Śląska w Gliwicach), Michał

Bachorz (Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, Zabrze), Paweł Kowalski (Instytut Techniki i Aparatury Medycznej, Zabrze), Mariusz Nowak (Centrum Leczenia Oparzeń, Siemianowice Śląskie), Marek Kawecki (Centrum Leczenia Oparzeń, Siemianowice Śląskie). Urządzenie do skanowania ran oparzeniowych. IR-Diagnostics - System diagnostyczny wspomagający proces leczenia ran oparzeniowych i przewlekłych.

Piotr Sauer, Łukasz Borucki, Vadim Peczyński, Mateusz Michalski, Damian Budzyński, Rafał Madoński, Damian Mrówczyński. Zastosowanie robota KUKA LWR do usuwania usznopochodnego ropnia mózgu - pierwsze doświadczenia. Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Politechnika Poznańskiej oraz Katedra i Klinika Otolaryngologii.

Vadim Peczyński. Zastosowanie konsoli Omega 7 w symulatorze medycznym. Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów, Politechnika Poznańska.

Kamil Rohr (Fundacja Rozwoju Kardiologii), Łukasz Mucha (Politechnika Śląska), Krzysztof Lis (Politechnika Śląska). Niestandardowe rozwiązanie problemu informacji zwrotnej z pola operacyjnego dla konsoli robota Stiff-Flop.

17.00 – 17.45 Sztuka robotyki

Krzysztof Mianowski. Robotyka medyczna – ekstraktywacja naukowców? Czy niezbędna konieczność rozwoju medycyny?. Zakład Teorii Maszyn i Robotów, Politechnika Warszawska.

Zbigniew Nawrat. Akademia sztuki ISMR – nowa inicjatywa Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej. Fundacja Rozwoju Kardiologii.

Dyskusja – przyszłość robotyki medycznej i rola w rozwoju dziedziny Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej.

17.45 Zamknięcie konferencji - Zbigniew Nawrat, Michał Zembala

III Sympozjum "Regeneracja Serca – od komórki do maszyny" jest finansowane z projektu „SERCOWE KOMÓRKI MACIERZYSTY I PROGENITOROWE - nowa metoda regeneracji uszkodzonego serca” ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007-2013



XI Konferencja jest finansowana przez Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej



Zabrzeńskie spotkanie jest organizowane przez Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrzu, Fundację Rozwoju Kardiologii im prof. Zbigniewa Religi w Zabrzu oraz Instytut Onkologii w Gliwicach.



Akademia sztuki ISMR

ZBIGNIEW NAWRAT

Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej ISMR postawiło sobie za cel propagowanie twórczych postaw wśród młodzieży. Wyrazem tego jest przydzielanie nagród Statuetka Robina (Jury) i Strzała Robina (publiczności) dla najciekawszych prac prezentowanych przez młodych naukowców w czasie corocznych konferencji Roboty Medyczne/Medical Robots. Ale uznaliśmy, że to zbyt mało. Chcemy aktywnie działać na rzecz wprowadzania najmłodszych do tej dla nas tak pasjonującej i ważnej dla przyszłości nauki, społeczeństwa i gospodarki dziedziny robotyki medycznej. Dlatego w tym roku otworzyliśmy szeroko drzwi dla bardzo młodych hobbystów organizując Robin Science Club RSC. Oferujemy młodzieży uczęszczającej do szkół średnich i studentom w ten sposób specjalne członkostwo w ISMR. Członkiem tego ekskluzywnego klubu mogą zostać rekomendowane przez członków rzeczywistych ISMR młodzi ludzie na podstawie i aktywności, efektów pracy na rzecz robotyki medycznej. Pierwszą grupą młodzieży klubu pozostali uczniowie III LO w Zabrzu; Sylwia Kozieł, Anna Moszkiewicz, Wojciech Dymek, Agnieszka Honkiewicz, którzy w 2013 r. w czasie konferencji BioMedTech Silesia zaprezentowali pracę „Robot szyty na miarę” gdzie zaprezentowali wyniki ankiety przeprowadzonej na grupie 300 osób jak powinien wyglądać robot domowy/socjalny. Obecnie grupa ta pracuje nad wykonaniem własnego modelu robot spełniającego wybrane oczekiwania potencjalnych odbiorców.

Kolejna propozycja ISMR to organizacja szkoły tworzenia robotów medycznych pod nazwą Akademia Sztuki Robotyki Medycznej (Academy of Medical Robotics Art). W 2014r. w ramach konferencji Roboty

Medyczne zorganizujemy warsztaty/sesje poświęcone sztuce budowania robotów z udziałem specjalistów sztuk plastycznych, wzornictwa (dizajnu), psychologii, działaczy społecznych, lekarzy itd.

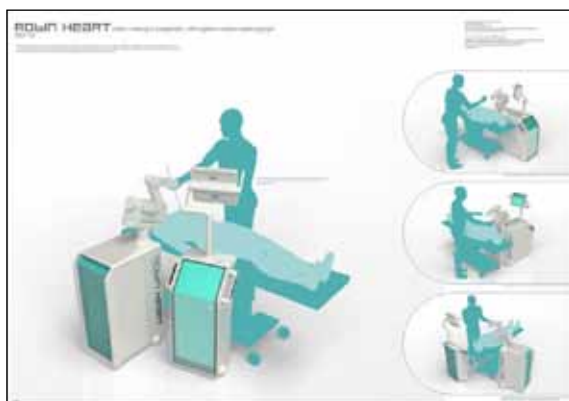
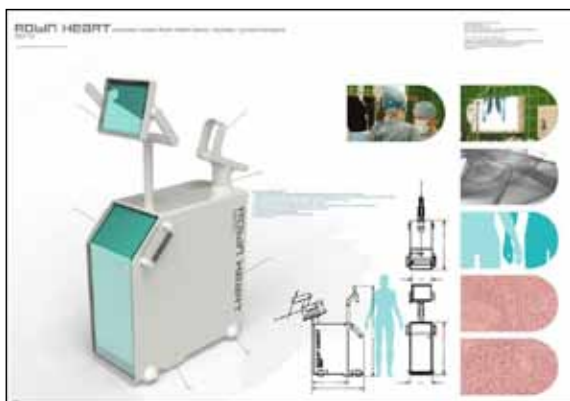
Wspólnie podejmiemy temat czym i jaki ma być robot, nasz kompan, opiekun, ratownik czy maszyna do operowania by wzbudzał akceptację zarówno użytkowników jak i obiektów – ludzi – dla których robot będzie pracował.

Podzielimy się też naszymi doświadczeniami z pracy nad polskim robotem chirurgicznym Robin Heart. Prace projektowe, poszukiwanie rozwiązań technicznych tego telemanipulatora poprzedziły studia, badania, obserwacje pracy chirurga wykonywanej różnymi narzędziami by zrozumieć jak podejmuje decyzje, jak kieruje narzędziami przyszły operator robota. Konstruowaliśmy w końcu robota dla specjalisty określonej dziedziny medycznej. Robot ma wykorzystywać i wzmacniać jego doświadczenie i umiejętności praktyczne, pozwolić mu pracować wydajnie, komfortowo, bezpiecznie dla pacjenta i ... dla niego.

W tym czasie bardzo chętnie też korzystaliśmy z inspiracji i wiedzy specjalistów sztuk pięknych, w szczególności profesorów katowickiej Akademii Sztuk Pięknych – Andrzeja Sobasiasa i Mariana Oslislo. Obecnie znany dizajner, Pani Katarzyna Sokołowska wykonała pracę dyplomową opracowując projekt stanowiska edukacyjnego robota chirurgicznego (patrz rysunki 1 i 2), a grupa studentów ASP opracowała ergonomiczne uchwyty narzędzi laparoskopowych, które poddaliśmy weryfikacji podczas badań porównawczych w czasie Warsztatów Chirurgicznych w Fundacji Rozwoju Kardiologii. Wychodzimy z założenia, że robot piękny to użyteczny, robot użyteczny to bezpieczny, robot bezpieczny to niezbędny.

Zapraszamy do współpracy dla naszej Akademii Sztuki Robotyki Medycznej!

Rys. 1 i 2. Obudowa robota kardiologicznego, Katarzyna Sokołowska, 2006 (promotor Andrzej Sobaś, opieka merytoryczna Zbigniew Nawrat)



InspiRobot page

MARCIN KAWALSKI

#1

Isowalk - Smart, wirelessly connected walking cane

The walking cane may be one of the oldest medical devices, it has hardly seen any change in hundreds of years. U.S. company Kineticane (Caldwell, NJ) is now trying to change that. Kineticane is developing a new walking assist device called "Isowalk", which is supposed to be able to adapt to its user. Unlike conventional canes that put focused strain on the wrist that can lead to wrist and arm aches, the Isowalk has a smart force relief system that adapts to the user's weight, wrist pressure, and gait, providing customized cushioning as the user walks. The Isowalk is also promoted to be self propulsive, having the ability to position itself for each next step with minimal user effort.

Ergonomics has been a crucial factor in the design of the new cane. Comfortable handle design is borrowed from mountain biking industry and is adaptable for both left- and right-handed users. The improved ergonomics leads to a reduction in stresses to other areas of the body which is common while "favoring" the walk when using conventional canes. The bottom tip of the Isowalk has a novel foot-like design that provides improved ground contact and aids in both acceleration as well as braking. The shaft of the Isowalk is made from an advanced composite material that is stronger than steel but lighter than aluminum. The company aims to improve the "smartness" of Isowalk further in future versions through the use of wireless and Bluetooth technology. The addition of connected capabilities will allow Isowalk to send and receive alerts, provide feedback on recovery progress, keep track of location and interact with a variety of wireless sensors and applications.

The first version of Isowalk is scheduled for January 2014 (for \$125), though we'll have to wait till the end of 2014 for the "smart-capabilities" add-on.



#2

Star Trek Holodeck in your hospital's operating room

Partnership of Philips and RealView Imaging Ltd brings the world's first real, full colour medical holography to the operating room. Cardiac surgeons while performing a delicate procedure on the heart in a minimally invasive fashion have to do quite a bit of interpolating and imagining of where their instruments are in relation to the anatomy and how that anatomy is different from that of other patients. Typical intraoperative imaging systems provide a 2D view from X-ray fluoroscopes and 3D ultrasound aids in giving a volumetric reproduction.

RealView Imaging's interventional product configuration is designed to assist the interventional teams in catheterization laboratories and hybrid operating rooms, providing easily accessible and interactive real time 3D holography while performing complex minimal invasive procedures.

#3

AIRO - realtime tracking of nutrients and food consumption effect.

AIRO is developing a new wrist-worn tracking devices, which promises to track your nutrition, eating habits, real time calorie consumption on top of regular stress, sleep and exercise. AIRO claims to be the first tracker that employs optical spectroscopy - sensor projects light from an LED into the bloodstream to detect metabolites associated with food intake based on their optical signatures and can supposedly distinguish between carbohydrates, fats and proteins.



AIRO tracks stress levels by monitoring the heart rate variability, but is not able to warn the user if the stress levels rise significantly. The company also claims device is able to learn over time what calms the user and what does not. Similar to the Fitbit and Nike Fuelband SE activity monitors, AIRO tracks sleep cycles, can measure the percentage of restful sleep and is able to wake the user at an optimum time. Lastly, AIRO is able to track exercise activity and calories burned by monitoring the pulse rate and how the device is moving throughout the day. Available in late 2014.



These systems are designed with a small footprint and with enhanced portability to support the flexible nature of these operating environments. The physician can use the holographic imaging system from the bedside, enabling enhanced visualization, team communication and intra-procedure 3D image interaction. So far hearts of 8 patients were analysed using holographic technology during a surgery at Schneider Children's Medical Center in Petach Tikva, Israel.

Surgeons can rotate, pan, zoom and virtually dissect organs in the mid-air with nothing but their fingers or any tool they happen to be holding.

Future applications of this technology include fetal imaging and control of medical robots.



International Society for Medical Robotics



Invitation

You are cordially invited to join the International Association for Medical Robotics / International Society for Medical Robotics ISMR. Currently we are the Witnesses of the expansion of medical robotics into medicine areas. Unlike industrial robots, medical robots operate directly in the human being environment of and on behalf of Him. It's a fascinating area of research and often create a need to introduce a completely new design and technological solutions. Robots are a chance to introduce new standards of service and medical care, and are the only solution to problems related to general support of the old or disable patients in the future. It depends on us how fast will the development of this important field, and how accurate will the decisions related to it. Feel free to work actively in the Association! The Association is a voluntary, self-governing, a permanent association of science and technology, bringing together members whose professional activities or interests related to the medical robotics.

So - this is OUR ASSOCIATION!

President
Zbigniew Nawrat

Ladies and Gentlemen,

All interested in joining the International Association for Medical Robotics and support its statutory activities we invite you to submit personally or send by mail a signed declaration by the membership. At the same time, please refer to the Statute.

Zaproszenie

Serdecznie zapraszam do przystąpienia do Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej / International Society for Medical Robotics ISMR. Jesteśmy świadkami ekspansji robotyki na obszar medycyny. W odróżnieniu od robotów przemysłowych roboty medyczne działają w bezpośrednim oddziaływaniu i na rzecz człowieka. To fascynujący obszar badań naukowych i często potrzeba wprowadzenia zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Roboty stanowią szansę na wprowadzenie nowych standardów usług i opieki medycznej, są jedynym rozwiązaniem problemów związanych powszechną obsługą osób niepełnych. To od nas zależy jak szybki będzie rozwój tej ważnej dziedziny i jak trafne będą podejmowane decyzje z jej rozwojem związane. Zapraszam do aktywnej pracy w Stowarzyszeniu! Stowarzyszenie jest dobrowolnym, samorządnym, trwałym zrzeszeniem o charakterze naukowo-technicznym, skupiającym członków, których działalność zawodowa lub zainteresowania wiążą się z robotyką medyczną.

Czyli – to NASZE STOWARZYSZENIE!!

Zbigniew Nawrat
Prezydent

Szanowni Państwo,

Zapraszamy wszystkich zainteresowanych przyłączeniem się do Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej i wspieraniem działalności statutowej do złożenia osobiście lub drogą pocztową podpisanej deklaracji członkostwa.

www.medicalrobots.eu



MEMBERSHIP DECLARATION

I apply for being admitted to the International Society for Medical Robotics with registered office in Zabrze, 345a Wolności St., as :¹

☐ ORDINARY MEMBER

☐ SUPPORTING MEMBER

I hereby state that I have been acquainted with the Articles of Association, the objectives and tasks of the Society and oblige myself to observe them, as well as to actively participate in the Society's activities, regular payment of membership fee and conscientious implementation of the resolutions passed by the Society's Authorities.

I consent to storage and processing of my personal data by the Association pursuant to the Law on the Personal Data Protection dated August 29th 1997 (Journal of the Laws of the Polish Republic – 2002 No 1010. Entry 926 et seq.) for the purposes of Society's statutory activities. I reserve the right to have access to my personal data, their correction and completion.

I consent to receive information to my email address or by means of other electronic carriers according to the stipulations of the law on electronic services provision dated 18.02.2002 (Journal of the Laws of the Polish Republic – 2002 No 144. Entry 1204 et seq.)

Personal details / Company details:²

1. Surname and Name (s)/ Company/ Institution name:

.....

2. Legal status:

.....

3. Names of parents:

.....

4. Date and place of birth:

.....

5. KRS/EDG Number:

.....

6. Place of residence/ registered office:

.....

7. Identity card Number/PESEL/NIP/REGON:

.....

8. Telephone / e-mail:

.....

.....
Place, date

.....
Signature

Please, send the completed and signed Declaration to the following address:

**Międzynarodowe Stowarzyszenie na Rzecz Robotyki Medycznej
ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze**

Membership fees should be transferred to the following bank account:

Bank PEKAO S.A. O/Zabrze, konto nr: 65 1240 4849 1111 0010 4050 7597

¹ Please, mark which membership status you wish to obtain by marking the appropriate box with X. Only one option may be selected. An ordinary member is a physical person. A supporting member is a legal person or physical person that declares support (financial, in-kind or substantive) for the accomplishment of the Society's statutory objectives.

² The details concerning companies/ institutions are filled in by supporting members only.



RobinHeart

SYSTEM

MEDICAL ROBOTS



RobinHeart
SYSTEM
MEDICAL ROBOTS