



АКАДЕМИК МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ, ПИОНИР ХУМАНОИДНЕ РОБОТИКЕ

НАШЕ, А СВЕТСКО

Свет нам је признао да смо били пионери у рехабилитационој роботизи. Посебно смо поносни на чињеницу да је у Политехничком музеју у Москви, у оквиру сталне поставке, изложен наш активни егзоскелетни систем, и то као једно од фундаменталних техничких достигнућа у другој половини 20. века. Изложен је заједно са првим свемирским сондама и моделима првих свемирских ракета. То је велика част – истиче за наш магазин академик Вукобратовић.

Академик Миомир Вукобратовић је изван стручних кругова недовољно познат нашој јавности. Његов четрдесетпетогодишњи рад пролази тихо и без помпе, а у свету се, на помен његовог имена, јапански стручњаци роботичари с поштовањем клањају, Руси, Кинези и Американци, такође. Асоцијација америчке роботске индустрије му је 1996, у години санкција, уручила највише светско признање у роботизи – награду *Јозеф Енгелбергер* за примењено истраживање и едукацију. У пропратном писму написано је да моле Бога да му се у тим тешким годинама не слома истраживачка крила. Такву пажњу је наш академик заслужио, јер је родоначелник светске хуманоидне роботике. Његово име је, међутим, цењеније у свету него у земљи, а скромност научника, занесеност и оригиналност, омогућили су му да срећу не тражи на страни већ да живи и ради у својој земљи, а буде научник света.

Његови конструкторски почеци везани су за војне програме. Када је дипломирао на ваздухопловном одсеку Машинског факултета у Београду, запослио се у Ваздухопловно-техничком институту у Жаркову као самостални конструктор. У тој првој фази истраживачко-развојног рада, Вукобратовић је, радећи на програмима динамичких прорачуна летелице, развио методу за срачунавање критичне брзине флатера (критичних осцилација) авиона. Та метода је примењена на првом домаћем војном млазном авиону *галеб*. Касније је проверена и изузетно добро се поклопила са мерењима авиона у лету. У тој области је Вукобратовић и докторирао 1964. године.

Преласком у Институт *Михајло Пупин*, у прво време је наставио да ради на војним програмима. Био је носилац вишегодишњег стручног пројек-

та – развој симулатора лета првог домаћег млазног авиона *гелеб*, највећег и најсложенијег развојног пројекта у *Пупину*, који је уједно био и један од тада најуспешнијих извозних аранжмана.

Рад на пољу роботике започео је 1967. године као руководилац Лабораторије, а данас Центра за роботичку. И убрзо је досегао светски врх.

□ Професоре Вукобратовићу, пажњу стручне јавности скренули сте 1968. теоријским радом, који сте започели са др Давором Јурчићем са Машинског факултета у Београду, а чији је резултат познат као концепт тачка нула момента. То вас је учинило пиониром светске хуманоидне роботике, а београдску школу роботике институцијом познатом у светским научним круговима. На основу тог метода створена је основа за реализацију вештачког хода. Касније је то искоришћено у изради јапанских и других робота те врсте у свету. Појасните тај метод?

– То је природан концепт, базиран на основним законима физике и механике. Иако тога није свестан, човек док хода тај принцип примењује *де факто*. Да је то тако показује пример који смо сви ми у животу некада имали. Ако дуго седимо, поготову ако смо у неком неприродном положају, тако да рецимо, једну ногу нагњечимо и дође до смањеног тока крви у нози, та нога ће постати неосетљива на спољашње надражаје. Ово је познато у народу као стање обамрлости или утрнулости ноге. Нога је и тада покретна, али је ми не осећамо, тачније, тренутно су блокирана наша чула на тој нози (чуло додира, притиска, бола, температуре...). Ако покушамо да ходамо у том стању, видећемо да то није могуће. Пашћемо после пар корака. Да бисмо тај пад спречили морамо да се придржимо. Другачије речено, нисмо у стању да одредимо спољашње силе које делују на ногу и самим тим нисмо у стању да ходамо. Стога није могуће остварити повратну спрегу између ноге и централног нервног система. Грешке које се генеришу у нози толико се накупе током тих неколико корака да не можемо да одржимо динамичку равнотежу током хода.

Тачка нула момента (Zero Moment Point – ZMP) дефинише се као тачка на подлози у оквиру ослоначког полигона који се формира када стопало оствари контакт са подлогом, за коју важи услов да је сума свих момената који делују на систем једнака нули. Прецизније речено, у тој тачки постоји само сила којом подлога



Академик Вукобратовић је рођен 1931. године у Ботошу код Зрењанина. Дипломирао је на ваздухопловном одсеку Машинског факултета у Београду 1957, а на истом Факултету је докторирао 1964. Други докторат одбрао је 1972. у Москви, на Централном институту за машинство Академије наука СССР (данас Русије). Постао је редовни члан САНУ 1994. године, а изабран је и за иностраног члана Академије наука СССР (данас Русије). Први је председник Југословенске инжењерске академије и члан других међународних академија. Има почасне дипломе многобројних универзитета.

Аутор је и коаутор 222 научна рада о роботички, објављена у водећим међународним часописима. Такође је аутор или коаутор око 370 радова изложених на међународним конференцијама и конгресима. Објавио је 15 монографија на енглеском, јапанском, руском, кинеском и српском језику. Редовни је и инострани члан престижних иностраних националних и инжењерских академија, струковних удружења и уређивачких одбора престижних научних часописа. Професор је по позиву на многим универзитетима у земљи и иностранству. Носилац је великог броја највиших домаћих и иностраних одликовања и признања. Основао је и руководио славну Београдску школу роботике и заједно са својим сарадницима засновао је све истраживачке сегменте те научне дисциплине.

егзоскелетну руку и, након неколико недеља вежби и привикавања, са успехом ју је користила не само приликом јела или обављања основних животних потреба већ и да се нашминка.

Деведесетих година урадили смо и егзоскелетну ногу.

□ Медицина примена роботике у свету је у замаху. Да ли ће у будућности она још више олакшати живот хендикепираних особа?

делује на систем, али нема момента који негативно утиче на динамичку равнотежу. Када ходамо, ми несвесно одређујемо све силе и све моменте који делују на стопало и трудимо се да све моменте (који могу да доведу до нашег пада) анулирамо у стопалу, одржавајући га тако у динамичкој равнотежи, а самим тим обезбеђујемо себе од пада. Тако је и код хуманоидних робота. Ако обезбедимо да се тачка нула момента налази унутар ослоначког полигона у стопалу робота, током хода ће цео систем бити динамички уравнотежен и неће бити пада.

□ Заједно са колегама реализовали сте активни егзоскелет и остварили први вештачки корак човека. Тим пионирским корацима импресионирали сте научне кругове широм планете.

– Свет нам је признао да смо били пионири у рехабилитационој роботички. Посебно смо поносни на чињеницу да је у Политехничком музеју у Москви, у оквиру сталне поставке, изложен наш активни егзоскелетни систем, и то као једно од фундаменталних техничких достигнућа у другој половини 20. века. Изложен је заједно са првим свемирским сондама и моделима првих свемирских ракета. То је велика част.

А сама идеја о хуманоидним роботима настала је из жеље да помогнемо хендикепираним особама, нарочито онима који су непокретни. Када сам почетком 1965. године прешао из војног ваздухопловног института у *Пупин*, колеге су већ радиле на стварању механизма вештачке људске шаке. Вероватно ме је то инспирисало да реализујемо роботизоване екстремитете, који делимично или у потпуности могу да надокнаде оштећене основне функције људских екстремитета.

Прве, људском телу најприлагодљивије моделе активног егзоскелета, намењене паралегиچارима, израдили смо у сарадњи са Драганом Христићем 1972. и 1974. године. Мој тим конструисао је касније и прву на свету ортотичку руку, у чију се функционалност почетком осамдесетих година уверила и Оливера Јандрић, тада председник Удружења дистрофичара Београда. Иако је од дванаесте године боловала од тешке дистрофије екстремитета, брзо је научила да користи



– Примена роботике у медицини није ограничена само на рехабилитационе системе, иако су то природни почеци. Наравно да можемо очекивати све ширу примену роботике ради олакшавања живота хендикепираних особа. Могуће је да у будућности те особе, захваљујући роботизици, буду равноправне и неспутане у свакодневном животу. Међутим, ту није крај. Медицина је широка научна област и примена роботике у њој је велики изазов. Почевши од робота у хирургији, који и данас обављају лакше хируршке захвате, па до микроробота, који ће у будућности крстарити нашим организмом, а да тога нисмо свесни, и неприметно поправљати уочена оштећења у њему.

□ *У вашој лабораторији своје-времено је остварен још један подухват – реализован је први југословенски индустријски робот (UMS1).*

– Први југословенски индустријски робот – UMS1 и његов управљачки систем са софтвером за управљање пројектовали смо 1977–1978. године. Имао је облик људске руке, а игром случаја био је то први индустријски робот човечијег облика. Успели су и други модели – UMS2 (1980), UMS3 (1981), UMS4 (1983) и UMS8 (1985). Најдуже се одржао UMS3, који је постављен у Слободи Чачак, а уништен је 1999. године током бомбардовања НАТОа. Направљене су и две верзије веома успешног робота за едукацију, са одговарајућим софтвером, али им је цена била превисока да би се производили.

□ *Постоји ли данас интерактивна веза науке и привреде?*

– Нажалост, тренутна друштвено-економска ситуација у нашој земљи је тешка. Сведоци смо замрлости индустријских гиганата, поготову у области машинске индустрије. Садашњи индустријски системи тешко могу да обезбеде средства за иновације и примену научних достигнућа. Не можемо ни очекивати значајније учешће индустрије у области примене научних достигнућа док се транзициони период не заврши и док својински и други проблеми, који такође оптерећују нашу привреду, не буду разрешени.

□ *Да ли морамо да будемо богати да бисмо могли да применимо истраживања у роботизици?*

– Новац није пресудан, али је неопходан. Ми, нажалост, не може-

мо да се меримо са богатим западним земљама, поготову по улагању у науку. Међутим, не смемо доћи ни у ситуацију да практично замре улагање у науку. То би било фатално по нацију. Годинама се залажем за веће улагање, али у вредне научне пројекте. Држава мора да утврди стварне научне потенцијале и да максимално подржи такве пројекте и најбоље људе у науци. Само ако вреднујемо резултате и ако награђујемо људе према постигнутом можемо сачувати науку. Садашњи критеријуми су неодговарајући, а улагање у науку и научне посленике је недовољно. Зато долази до непрекидног одлива кадра. То морамо спречити ако као нација желимо напред.

□ *Цењени сте и на Истоку и Западу. Постоји ли у роботизици, као научној дисциплини, разлике у та два некад подељена дела света?*

– Не можемо говорити о разлици између Истока и Запада у области науке. Уосталом, полако бледи и политичка подела на Исток и Запад. Научници такву врсту поделе немају већ дуги низ година. Чињеница је само да Исток економски није у могућности да улаже у научне пројекте у сразмери са економски развијенијим земљама Запада. Зато нам се чини да Исток има мање резултата од Запада. Међутим, то може и да завора. Погледајмо пример Кине. Све већи број квалитетних научних радова и резултата долази из те земље која је не само у економској, већ и у научној и технолошкој експанзији.

□ *Који проблеми данас муче конструкторе хуманоидних робота?*

– Тренутно је актуелно питање како да се са што мањим бројем активних степени слободе (мотора) оствари што природнији ход сличан људском. За комплетну манипулациону покретљивост човека "одговорно" је више од 600 мишића, што је у механичком смислу око 300 степени слободе кретања. То значи да би се робот, еквивалентан човековим могућностима, покретао помоћу 300 мотора, јер сваки степен слободе тражи своје активне покретаче. Рад два супротстављена мишића еквивалентан је једном активном степену слободе. До пре неколико година било је незамисливо превазићи 30 активних степени слободе. Данас смо, теоријски, ограничени чак на више од 100 степени слободе, али научници ће, вероватно, у наредних 20–30 година, класичне електромоторе заменити новом генерацијом покретача, тзв. вештачким мишићним влакнима. Роботи ће тада имати скоро сва својства човека.

□ *Може ли се направити уређај који ће доносити одлуке, процењивати ситуацију, па чак и осећати?*

РЕКЛИ СУ

У књизи која је објављена поводом 70. рођендана нашег познатог академика дата су мишљења 160 светских стручњака о његовом раду. Истичемо само речи двојице. Професор Ициро Като, отац јапанске роботике, Универзитет Васеда, Токио, каже: *Почетни радови професора Вукобратовића, творца динамике антропоморфних (хуманоидних) механизма и динамичког управљања двоножним роботима пресудно су утицали и на развој роботике у Јапану, седамдесетих година.*

А проф. др Јошихико Накамура, Универзитет Токио, истиче: *Прво путовање професора Вукобратовића у Јапан по позиву јапанског министра за науку реализовано је седамдесетих година. Том приликом је по позиву одржао неколико предавања у водећим институцима и универзитетима Јапана. Тада сам схватио да је академско истраживање у роботизици, у Јапану, постало активно од те посете проф. Вукобратовића. Стога могу рећи да је проф. Вукобратовић посејао семе истраживања у домену роботике у Јапану.*



– То ће се несумњиво догодити. Резултата већ има. У прилог томе иде и најава Јапанског удружења за роботiku да ће следећа генерација робота, до 2010. године бити обложена, на пример, силиконском кожом, која ће примати надражаје баш као и људска. То су тзв. комуникациони роботи, који поседују осећај додира, бола, промене спољашње температуре и других услова животне средине. Један прототип, назван "Рипли", препознаје скоро сваку изговорену реч, а на постављено питање одговара помоћу синтетизованог гласа.

Циљ хуманоидне роботике је сте да роботи "живе" са људима, да препознају околину, у којој се налазе и да изврше задату наредбу. Теоријски је могуће да поседују своју "вештачку" интелигенцију, међутим, способност да вештачку интелигенцију развије – има само човек, засада једино мисаоно биће на планети. Проћи ће доста времена док робот не добије ту човеколику црту, односно да "разуме" и емотивно реагује на сваку власникову "примедбу", "похвалу" или "критику". Ипак, чини ми се да нисмо тако далеко од времена када ће персонални роботи обављати послове исто тако добро као данас једна неговатељица, саварица, радник или војник.

Недавно је јапанска компанија "Сони" лансирала робот под називом "Кјуро", кога одликује велика покретљивост – трчи, скаче, плеше, пева, вози ролере, игра голф и бејзбол. Токијски аеродром већ поседује "Пајпера", робота преводиоца, који препознаје 50.000 јапанских и око 25.000 енглеских речи. Све то наводи ме да верујем да ће се 2050. године у Кореји одиграти већ раније заказана фудбалска утакмица између екипе састављене од професионалних фудбалера и екипе састављене од фудбалера робота, под условом да се оствари зацртани технолошки напредак, посебно у области развоја нових генерација покретача, тзв. вештачких мишића. Развој роботике прати напредак технологије.

□ *Имате ли наследнике? Занимају ли се млади за роботiku?*

– Постоји интересовање младих, али не могу рећи да је роботика толико актуелна међу студентима као што су, рецимо, економске и менаџерске области. А када је реч о наследницима, има их, али не довољно и, не у Пупину.



Професор са асистентима Свемиром Поповићем и мр Милошем Јовановићем поред робота ROBED 03

РАЗНОВРНА ПРИМЕНА

Данас се више од милион робота употребљава при проналажењу потонулих бродова, уклањању радиоактивног отпада, истраживању вулкана, у космичким истраживањима, али и за обављање свакодневних кућних послова. Користе се и за негововање болесника, подучавање и превођење слепих. Роботи су заменили и професионалне војнике у високоризичним ратним околностима – постављају или демонтирају мине, снимају терен, планирају борбену тактику, усмеравају пројектиле...

ИСТОРИЈАТ РОБОТИКЕ

Прве скице механичких екстремитета урадио је Леонардо да Винчи крајем 15. века. Потом је, 1738. године, Зак де Вукансон направио андроида који је свирао флауту. Даљински управљани брод, претечу многих данашњих роботизованих уређаја са даљинским управљањем, конструисао је Никола Тесла 1898. године. Вестингаусово ремек-дело, хуманоидни робот "Електра", приказан је 1939. године на светској изложби. Рачунари Z3 из 1942. и ENIAC из 1946. године омогућили су нагли продор нових технологија, који ће касније убрзати реализацију пројекта "Аполо" и Насин лет на Месец. Две године потом приказан је на Бристолском универзитету прототип електронског аутономног робота проф. Греја Валтера. Механизам роботске руке направио је 1954. године амерички проналазач George Devol. Први манипулациони робот "Unimate" конструисао је 1961. године Joseph F. Engelberger.

Експанзија те научне дисциплине почиње 1996. године, када је широј јавности представљен јапански модел "Honda-P2", а после и његова савршена верзија "Асимо". Тачка нула момента (ZMP) први је пут примењена на Универзитету Васеда у Јапану, на роботу типа WL12-RD, а "ZMP Incorporation" име је једне од најпознатијих јапанских компанија за производњу хуманоидних робота.

□ *Познати смо по "извозу" знања у свет. Доста је стручњака напустило и ваш Институт.*

– Економски фактор ни нас није заобишао. Велики број стручњака из наше лабораторије отишао је у свет и велика већина тамо, нажалост, не ради у области роботике. Тако је то у животу. Наша земља недовољно улаже у науку. Уз то, млади већ годинама одлазе трбухом за крухом у иностранство, па имамо и све мање стручњака. Десетогодишње искључење из светских токова, ратови, тешка материјална ситуација, али и немарност државе према стручном кадру, учинили су да већина наших научника, тренутно запослених на реномираним светским универзитетима, институтима и лабораторијама, буде искључена из научних токова у својој земљи. Резултат једног пројекта у Србији, због недостатка финансијских средстава, стоти је део онога што други могу да пруже. Надам се да ће држава схватити да без стручњака нема опстанка, а политичари да без науке нема будућности.

□ *Роботика је за многе од нас научна дисциплина будућности. Ви сте, међутим, своје најзначајније истраживачке радове урадили средином прошлог века. Да ли то значи да смо ми већ тада стварали будућност?*

– Иако звучи нестварно, управо је тако. Тога ни ми нисмо били свесни. Међутим, данас нама је, са ове временске дистанце, јасно, а то нам и свет признаје, да смо били пионери у области хуманоидне роботике и активних егзоскелетних система. Ове гране управо сада доживљавају експанзију и у будућности можемо очекивати даљи напредак у тој области истраживања, зачетог управо код нас пре 35–40 година.

□ *Господине Вукобратовићу, међу најцитиранијим сте експертима у свету из области роботике и један сте од 500 Срба који су обележили 20. век. Ове године вам је и Светски конгрес аутоматике и роботике доделио награду за животно дело. Да ли сте срећан човек?*

– Бићу срећан ако се роботика буде и даље развијала, а посебно ако будемо активни и у овим тешким временима. Волео бих да се као и до сада свуда чује наша, српска реч. ■

Мира ШВЕДИЋ
Снимио Даримир БАНДА