

INTERVJU: ALEX CHORTOS (UNIVERZA STANFORD)



» Doktorski študent Alex Chortos (Univerza Stanford): »Prenos informacij iz kože v možgane se dogaja s kratkimi elektronskimi impulzi. Postopek spominja na Morsejevo abecedo.« | Foto: Bao Research Group, Stanford University

Alex Chortos na Oddelku za znanost in inženirstvo materialov na stanfordski univerzi proučuje zlasti senzoriko, v zadnjem obdobju pa se osredotoča na povezave senzorjev z možgani. Znanstveno-raziskovalna dognanja aplicira na razvoj elektronske kože, nosljive in biointegrirane elektronike. Julija letos je Chortos s sodelavcema (dr. Jia Liu in prof. dr. Zhenan Bao), predstavnikoma Oddelka za kemijsko inženirstvo, v reviji Nature Materials objavil znanstveni članek z naslovom Pursuing prosthetic electronic skin.

Jernej Kovač: Ali lahko na kratko opišete proces aplikacije protetične elektronske kože na človekovo telo in njegovo delovanje? Kateri procesi, postopki omogočajo delovanje kože?

Alex Chortos: Prostetične kože še nismo aplicirali na človeško telo, vendar si zamišljamo, da bo umeščena na površino protetične roke. Kožo odlikuje nekaj ključnih procesov. Prvič, potrebuje senzorje, ki zaznavajo mehansko deformacijo, drugič, potrebuje signalno pogojeno vezje, ki prevaja senzorične signale v nekaj, kar naše telo lahko razume, in tretjič, potrebuje nevrlni vmesnik, ki lahko vbrizgava signale v živčni sistem.

JK: Kakšna je bila prvotna zasnova projekta, ste morda sledili navdihu iz narave? Kako so potekale razvojne faze do prototipa in kaj jih je najbolj zaznamovalo?

AC: Končna oblika načrta je bila zelo različna od začetnega koncepta. Obstajajo tri glavne komponente sistema: senzor, vezje in



Tuja koža čuti mene

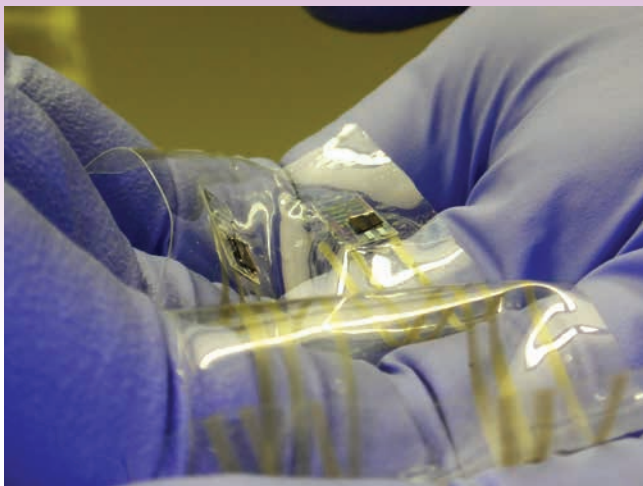
Jernej Kovač

Koža je največji človeški organ. Ljudje bomo lahko kmalu čutili okolje ne le s svojo, ampak tudi s tujo, umetno, robotsko kožo. Pri vmesniku med človekom in zunanjim svetom sta bistvena proces sporočanja informacij iz okolja ter spodbujanje procesov, ki jih možgani lahko razumejo in se nanje odzivajo. Vprašanje, kako občutiti predmete, uporabniku omogočiti reakcijo na dotik, zbir električnih signalov pa v realnem času poslati nevronom, je spodbudilo k raziskovanju skupino znanstvenikov z Univerze Stanford.

nevrlni vmesnik. Skozi celoten proces prototipiranja in optimizacije sistema smo morali zamenjati vse komponente, da bi lahko dobro delovale skupaj. Na primer, izvirno smo začeli uporabljati električno stimulacijo za stimuliranje nevronov. Po nekaj težavah smo namesto tega uporabili optično stimulacijo. Po še nekaj dodatnih zapletih smo ugotovili, da potrebujemo drugačno vrsto optičnega proteina z izboljšanimi lastnostmi.



» Umetni mehanski receptorji na prstih robotske roke. | Foto: Bao Research Group, Stanford University



» Znanstvenikom s Stanforda je s številnimi inovacijami materialov uspelo z umetno protetično kožo posnemati (mehanske) lastnosti organske kože. To jim je uspelo predvsem pri mehanski trdnosti in razteznosti, upogibanju, žilavosti, biorazgradljivosti in zmožnosti meritev različnih kompleksnih občutkov na večjem delovnem območju. Občutek organske kože posnemajo tudi pri pretvorbah temperature, statične in dinamične sile ter statičnih obremenitvah. | Foto: Bao Research Group, Stanford University

JK: Koža ima vrsto specifičnih lastnosti. Katero lastnost kože je s tehnološkega in inženirskega vidika najtežje posnemati in zakaj?

AC: Vsekakor je najtežji vidik kože v posnemanju njenih mehanskih lastnosti. Raziskovalci so že ustvarili širok niz mehanskih in temperaturnih senzorjev, s silikonskimi tehnologijami, vendar so togi in krhki. Implementacija raztegljivih različic senzornih nizov je velik izziv, saj zahteva razvoj popolnoma novih vrst materialov in postopkov izdelave. Silikon je preстал šestdeset let razvoja, da je dosegel trenutno raven visoke zmogljivosti, in podobno bo veljalo za razvoj visokozmogljive raztegljive elektronike.

JK: Katere materiale ste izbirali in zakaj? Katere prednostne naloge ste si pri tem zastavili oz. katera so bila merila za izbor?

AC: Pri komponentah vezja smo se osredotočili na organsko elektroniko, in sicer iz dveh razlogov: so mehansko primernejše od številnih drugih elektronskih materialov, poleg tega jih lahko



» Izdelek sestavljajo tri komponente – senzor, prožno vezje, ki prenaša elektronske signale, in nevrolško prepoznavanje signalov. Senzor sestavljata dve tanki plastični plasti, prevlečeni z gumo. Zgornja plast ima funkcijo zaznavnega mehanizma. Vafjasti vzorec in številne ogljikove nanocevke povečujejo občutljivost ob pritisku in omogočajo prevodnost. | Foto: Bao Research Group, Stanford University

potencialno vzorčimo na večjih površinah in z nizkocenovnimi metodami. V tem primeru smo uporabili brizgalno tiskanje za izdelavo vezja. Pri senzorjih smo uporabili materiale, ki imajo ugodne lastnosti procesiranja in majhne stroške.

JK: Napredek v razvoju protetike je silovit. Ali ste umetno kožo že preskusili v realnem okolju? Kakšne so ugotovitve?

AC: Trenutno pripravljamo načrte za preskušanje e-kože na človeških subjektih, vendar traja nekaj časa, da pridobimo vsa dovoljenja za uporabo novih tehnologij na človeku. Razvoj e-kože je v zgodnjih fazah in nismo naredili dovolj vrst preskušanja vzdržljivosti in dolgoživosti, ki jih zahtevajo komercialni proizvodi.

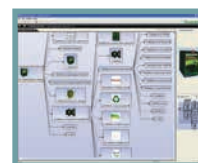
JK: Ali je možna nadgradnja kože do stopnje, ki bi uporabniku omogočila bistveno izboljšane funkcije kože, kot jih ima običajen človek?

AC: Senzorji, izdelani z elektroniko, so lahko veliko bolj idealni od senzorjev v koži. Zato je vsekakor mogoče, da bodo prihodnje različice naprav lahko vključevale sposobnosti, ki segajo nad to, kar so zmožni običajni ljudje. Na primer, nekateri raziskovalci razvijajo tehnologije, kot so koži podobni senzorji, temelječi na magnetnem polju, ki bi jih lahko integrirali z e-kožo. Naš trenutni fokus je kar se da natančno obnoviti čutila v biološki koži.

JK: Ali je aplikacija umetne kože možna na vseh živih bitjih? Kaj pa na humanoidnih in drugih robotih ter kiborgih?

AC: Protetična koža, ki jo nameravamo razviti, bi bila primarno namenjena uporabi na ljudeh s poškodovano kožo, kot so

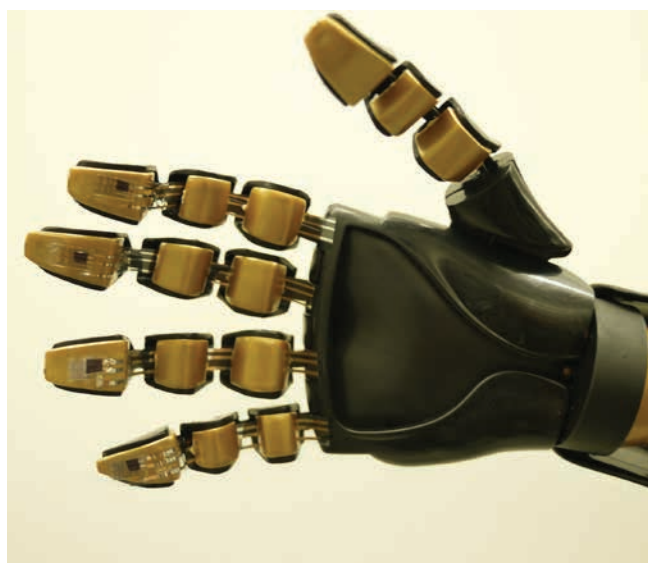
TEAMCENTER



amputiranci ali ljudje z živčnimi okvarami. Vendar pa senzorično kožo lahko uporabimo tudi za aplikacije, kot je na primer prenosni monitor za krvni tlak, ki bi ga lahko uporabili širše, za vse ljudi. Tehnologije, ki jih razvijamo, se vsekakor lahko aplicirajo tudi na robote, vendar bi bilo treba optimizirati sistem za tovrstne aplikacije.

JK: Protetična elektronska koža je lahko pomemben prispevek k t. i. internetu vsega, mar ne? Kako je poskrbljeno za človekovo varnost pred zunanjim fizičnim in digitalnim okoljem?

AC: Mislim, da bi morali razlikovati med protetično elektronsko kožo in elektronsko kožo oz. raztegljivo elektroniko. Protetična elektronska koža je resnično posebno oblikovana za nadomeščanje človeške kože, ki ne opravlja več svoje osnovne funkcije. Naprave, ki temeljijo na podobnih tehnologijah, kot je na primer nosljiva elektronika, so lahko pomemben prispevek k internetu vsega z zagotavljanjem številnih pomembnih podatkov in informacij o telesu.



» Chortos kompleksnost interakcije med človeško kožo in možgani pojasnjuje z dejstvom, da ena roka poseduje kar sedemnajst tisoč senzorjev, ki pridobivajo raznovrstne informacije iz okolja. | Foto: Bao Research Group, Stanford University

JK: Kateri so izzivi za nadaljnji razvoj? Od česa je razvoj odvisen?

AC: Izzivi za razvoj e-kože vključujejo razvoj robustnih metod procesiranja za verodostojno omogočanje obsežnih senzornih nizov. Vendar pa je ključni izziv, kako izvesti verodostojno metodo vbrizgavanja signalov iz senzorjev v živčni sistem, da človeško telo lahko sprejme signale. Vmesnik med elektroniko in telesom je trenutno najbolj omejujoč dejavnik.

JK: Vaš prebojni izdelek ima velik industrijski potencial, poleg medicine bi utegnil zelo zanimati še druge industrije, denimo vojaško in zabavno industrijo. Ali ste identificirali potencialne industrijske segmente in razsežnosti, ki jih vaš izdelek ponuja?

AC: Projekt se je pravzaprav razvil iz raziskovalnih smernic drugih aplikacij, ki smo jih želeli razviti. Na primer, delo na senzorjih na pritisk, ki smo ga razvijali s skupino Bao, je bilo izvorno zasnovano z vizijo njihove uporabe pri robotiki in nosljivih zdravstvenih monitorjih. Senzorje in elektronike oz. ključne tehnologije, ki omogočajo ta projekt, razvijamo v skupini za številne aplikacije, vključno z raztegljivimi zasloni in nosljivimi sistemi zdravstvenih monitorjev.



» Postopek približevanja funkcionalnosti človekove kože oz. uspešno opravljanje njenih značilnosti je v razvojni fazi umetne kože spodbudilo nastajanje novih materialov in strategij izdelav. Snovalci pri upoštevanju zasnove protetike upoštevajo zahteve uporabnikov, kot so videz, življenjska doba, vzdrževanje, teža in ne nazadnje prodajna cena. | Foto: Bao Research Group, Stanford University

JK: Kdaj predvidevate polno funkcionalnost protetične elektronske kože?

AC: To je odvisno od tega, kaj mislite z besedo polna funkcionalnost. Mislim, da bo protetična elektronska koža izvedena po stopnjah. Najprej bomo izvedli zelo enostavno različico z le nekaj senzorji. Ko se bo nevroalni vmesnik izboljšal in pridobimo dovoljenje FDA (Uprave za hrano in zdravila, op. a.) za naprednejše nevroalne vmesnike, bomo izvedli naprednejše različice. Mislim, da bo najenostavnejša na voljo v približno petih do desetih letih, vendar bo za obnovo nekaterih nastajajočih lastnosti senzornih nizov, ki so podobni koži, potrebno veliko razvoja tako nevroalnega vmesnika kot tudi senzornega sistema. Kot velja za razvoj drugih sistemov, se bo tudi tukaj tehnologija izboljševala skozi čas.

JK: Koliko senzorjev in preostalih umetnih materialov bi teoretično moralo imeti odraslo človeško telo, če bi ga želeli popolnoma prekriti z umetno kožo?

AC: Izpostavim naj, da ima človeška roka sedemnajst tisoč čutnic oz. receptorjev dotika. Vendar pa znanosti ni treba razviti e-kože s sedemnajst tisoč senzorji, da bo uporabna za bolnika. Že samo nekaj senzorjev bo nekemu, ki ne občuti nikakršnih dotikov, zelo dragoceno.

JK: Ali morda razmišljate o razširitvi raziskovalnega tima? Bo morda postal multidisciplinaren?

AC: Ekipa je že zdaj zelo multidisciplinarna. Imamo električne inženirje, strojne inženirje, inženirje s področja materialov, bioinženirje in zdravnike.

JK: Ali ste razmišljali v tim vključiti tudi hekerje?

AC: Ne vem natančno, kaj mislite z besedo hekerji. Mislim, da lahko za številne naše sodelavce rečem, da so neke vrste hekerji, saj modificirajo obstoječe tehnologije, da lahko razvijajo nove stvari.

JK: Kako pomembni so neuspehi pri procesu razvijanja idej?

AC: Vsakokrat ko razvijamo kaj zelo novega, so neizogibni tudi padci in neuspehi. Številne stvari, ki jih poskušamo ustvariti, še nikoli niso bile ustvarjene, zato se ne moremo zgledovati po znanih postopkih izdelave. Neuspehi so pogosto način učenja o znanosti inženiringa, ki jo poskušamo razvijati.