

## Ruttkay Zsófia

### Interaktív virtuális emberek

Ruttkay Zsófia 1979-ben, az ELTE TTK-n alkalmazott matematika szakon végzett. 1990-ben és 2003-ban doktorált a BME-n. A KSH-ban, majd a SZTAKI-ban dolgozott. 1990 és 1994 között az amszterdami Vrije Universiteit Matematika és Számítástudományok Tanszékén vendégkutató. 1994-ben megalapítja a Vierkant voor wiskunde (Öröm a matematika) Alapítványt. 1997-től az amszterdami Matematika és Számítástudományi Központ Szociális Felhasználói Felületek Csoportjának vezető kutatója, 2004-től a Twente Egyetem Számítástudományok Tanszékén docens. A 2005-ös évet Szent-Györgyi Ösztöndíjasként a Pázmány Péter Tudományegyetem Információtechnológiai Karán tölti.



***Diplomamunkáját az idegrendszer egyik matematikai modelljéről írta. Mennyire számított újdonságnak a téma a hetvenes évek végi Magyarországon, illetve mennyire határozta meg akkori kutatásait az interdiszciplináris szemlélet?***

Visszanézve, valóban interdiszciplinárisnak tűnik, de akkor egyáltalán nem tekintettem egy életre szóló program első állomásának. Inkább önmagában érdekelt az a kérdés, hogy matematikai modellel fel lehet-e térképezni az idegrendszer, adott esetben a macska látóideg-központjának szerkezetét, tesztelni lehetséges anatómiai konfigurációkat. Az Anatómiai Intézetes Lábás Elemérrel dolgoztam együtt. Akkoriban újdonságnak számított, hogy egy anatómiai struktúrát az észlelt jelenség, nevezetesen neuronok kisülési mintáinak matematikai modellje alapján határozzunk meg.

***Hogyan alakult további magyarországi pályafutása? Miként jutott el a mesterséges intelligenciáig, az ágenskutatásig?***

A tudományos pályafutásom, mely egyben MI vizeire evezést is jelentette, a SZTAKI-ban kezdődött. Először természetesnyelv-elemzési munkát végeztem, majd Hatvany József hívott meg a csoportjába, ahol óriási erővel és lelkesedéssel a gép-gyártástechnológia területén kezdtek mesterségesintelligencia-eszközöket használni. Hatvany az időben abszolút kiemelkedő szakmai feltételeket és környezetet teremtett ehhez a munkához csoportjának, melyben Márkus András és Váncza József voltak kollegáim. Gépészeti problémákat – például az Ikarusz számára hegesztő munkahelyek konfigurációját – oldottunk meg újfajta kereső algoritmusokkal. Erről, illetve a folytatásról a Váncza Józseffel készült interjúban olvashatnak (Technológiai tervezés és terméktervezés, <http://www.agent.ai/main.php?folderID=150&articleID=513&ctag=articlelist&iid=1.>)

Több MI területet, például a – csak jóval később felkapott – genetikus algoritmusokat akkor és ott ismertem meg. Ezt később aztán az Amszterdami Vrije Universiteit-en, a VU-n is használtam egy elméletibb munkához, korlátozás kielégítési feladatok – a MI egy másik bugyra – újfajta, nem-determinisztikus megoldó algoritmusainak alapjaként. Akkor, 1993 körül kezdett csak a világban felívelni a genetikus algoritmusok napja, és én a vagy 5 évvel korábbi SZTAKIs tapasztalataimmal tudtam élvonalba kerülni. A VU-n ma az emberi szocializációt és az ember társadalmi viselkedését modellező egyik nagy európai uniós projekt szintén genetikus algoritmusokat használ. Ugyan ma már nem követem, hol tart igazán ez a terület, de még csordogál mindenképpen...

### *Milyen kutatásokat folytatott a Vrije Universiteit-en, valamint a Vierkant Alapítvány keretében?*

A két tevékenység jellegében és időben is különböztek. Először az egyetem meglehetősen elméleti beállítottságú, logikai alapú és MI-csoportjában dolgoztam. Részben a tervezés logikai modellezésével foglalkoztam, részben – ahogy már előbb említettem – genetikus algoritmusokkal, illetve korlátozás-kielégítéssel. Egyébként akkor olvastam először egy, a virtuális lények modellezéséről szóló könyvet. Mindenféle vad ötleteim születtek, például virtuális karmesterről, amire aztán tíz évvel később sor is került. A papíron maradó tervekkel szemben alkalmazások és a gyakorlatban kipróbálható modellek építése felé hajlott az érdeklődésem. De még mielőtt virtuális emberekkel kezdtem volna foglalkozni, tettem egy kitérőt a matematika oktatása felé.

Az egyetemen a matematika és a számítástudományi tanszékek közel voltak egymáshoz, és a matematikus kollegákkal beszélgetve nap, mint nap tapasztaltam az egyetemi matematikusképzés válságát. Ha az elsőéves hallgatók száma meghaladta a tizet, örültek az oktatók. Még akkor is, ha a tízből kilenc soha életében nem bizonyított egyetlen tételt sem, sőt nem is találkozott olyan fogalmakkal, mint definíció és tétel. Egyéb csatornákon keresztül szintén láttam, mennyire más a holland középiskolai matematikatanítás, mint az akkori hazai. Szakmabeliekkel beszélgetve merült fel, hogy „na most megmutathatom”, hogy a magyar szemlélet és gazdag tradíció – például nyári matektáborok gyerekeknek – működne a teljesen más holland társadalmi környezetben is. Az egyetem biztosított lehetőséget – nem utolsósorban abban a reményben, hogy ha több középiskolás szereti meg a tárgyat, több lesz a matematikus egyetemi hallgató. Támogattak egy, a matematikát a középiskolás gyerekeknek a Magyarországon honos, elvont, ugyanakkor tevékeny megközelítés szerint kínáló alapítvány létrehozásában. Nagyon érdekes és sikeres időszak volt. Sokan évekig visszajártak a táborokba, holland tanárok több alkalommal eljöttek Magyarországra tanulmányozni a matematikaoktatási módszereket, magyar anyagokat fordítottunk hollandra. Az alapítvány ma is él, és működik. Én nagyon elégedetten tértem aztán vissza a saját szakmámba, különösen hogy meghívtak a CWI-be dolgozni.



***Több projektben vett részt, így az 1996-2001-es FASE-ben és a 2000-2003 közötti EU-s Ambiente-ben is. Ismertetné ezeket?***

A FASE a Facial Analysis and Synthesis of Expressions akronimja. Holland OTKA-szerű nemzeti projekt volt. Azzal a kérdéssel indult, hogy hogyan lehetne számítógépes arcon reprodukálni az emberén megjelenő érzelmeket. Két csoport dolgozott együtt: egyrészt az emberi arcokon lejátszódó dinamikus kifejezéseket felismerni hivatott képelemzők, másrészt mi, akik három, illetve kétdimenziós arcmodelleken jelenítettük meg ezeket a kifejezéseket. A projekt nehezebbnek bizonyult a tervezettnél. Mivel akkor még nem volt megfelelő arcmodellező és animáló eszköz, létre kellett hozni egyet, mellyel a semmiből lehet arc kifejezéseket előállítani, szerkeszteni. Már ezen a ponton bejött az MI, ugyanis a szerkesztőt „megfejtem” egy olyan résszel, aminek a segítségével kijelenthető, hogy például valakinek aszimmetrikus a mimikája, ideges vagy nyugodt az arc mimikája, illetve, mik általában az arc kifejezések jellegzetességei. Ez a deklarált jellemzés aztán segíti az animátort, hogy magas szinten, gyorsan készíthessen a feltételeket kielégítő arc animációkat. Az eszközzel azóta is készítünk virtuális arcokat, melyeken a tekintet, a szemöldök és szájmozgás szerepét, jellegzetességeit vizsgáljuk.

Ezt a jobbra alaputatást – részben az általunk kifejlesztett eszközre is építve – követte egy másik, immáron EU-projekt, aminek a keretében egy virtuális lény a jövő otthonának falán köszönti a belépőket, és beszélget velük. Az Ambiente, illetve a Philips fejlesztőinek elképzelése szerint ilyen inas bármelyik falon megjelenhet a nagy lapos képernyőn. Megfelelő szolgáltatásokat nyújt: beszélget, tudja, mi a kedvenc filmünk, figyelmeztet, ha minket érdeklő műsor lesz a tévében, de, ha teljes alakú a virtuális inas, akár a reggeli tornagyakorlatunkat is levezényli. A kiállított beszélő fej azonban egyelőre csak üdvözlö az érkezőt.

***Mi a profilja a Szociális Felhasználói Felületek Csoportnak?***

Valahogy el kellett nevezni a csoportunkat, és a Social User Interfaces-t találtuk ki. Elég tágnak éreztük ahhoz, hogy ne csak grafikára lehessen asszociálni. Ki is derült, hogy például a kifejező beszédétől, a nyelvi tartalomtól lehetetlen elvonatkoztatni, még ha elsősorban a virtuális emberek nem-verbális kommunikációja érdekel is bennünket. Az elnevezés arra akar utalni, hogy a korábbi felhasználói felületekkel szemben egy virtuális lény az emberhez hasonló módon, szociális szokásoknak is megfelelően kommunikáljon a képernyő előtt ülő, vagy akár a mobiltelefonját használó emberrel. Egy virtuális lénynak nem kell tökéletesen élethűnek, szakszóval fotorealisztikusnak lennie, ami ma még amúgy is megoldhatatlan feladat. Lehet absztraktabb, karikatúraszerű, de viselkedésében mindenképpen életszerű és hiteles!

*A CharToon szoftver jól szemlélteti az arckifejezések terén végzett munkáit. Ugyanehhez a témakörhöz – tágabb értelemben az affective computing-hoz – kapcsolódik az 1999-ben fejlesztett EmotionDisc is. Mi teszi egyedivé a CharToont és az EmotionDisc-et?*

Az akkori piacon nem találtunk arcdinamikát tizedmásodpercenyi pontossággal meghatározó számítógépes eszközt, és ezért hoztuk létre a már említett fejlesztésünket. A CharToon szoftver ennek a munkának volt a mellékterméke. Később több kutatóintézetben is használták. Az egyik szolgáltatása az úgynevezett „Érzelem Korong” (Emotion Disc). Egy holland pszichológus-társaság számára dolgoztuk ki. Arra voltak kíváncsiak, hogy nagyon leegyszerűsített, már-már smiley-szerű fejek alkalmasak-e bizonyos érzelmek átvitelére. Azt hittük, egyszeri eszközről van szó, de igen népszerű lett, mivel néhány megadott arckifejezés keverékeként végtelen sok változatot lehet vele könnyen, csupán az egér mozgatásával előállítani. A Paul Ekman szerint általánosan érvényesnek talált, Afrikában, Európában, Ázsiában ugyanúgy képződő alap-arckifejezések – öröm, meglepetés, félelem, bánat, düh és undor – egy kör mentén helyezkednek el. Az elrendezés alapja egy 1952-es pszichológiai tanulmány: érzelmeket tükröző arc fényképeket kellett a kísérleti alanyoknak minősíteniük, ami a kör-szerű elrendezést eredményezte. Az elrendezés tudományos tartalma azóta is vitatott, de az elv a gyakorlatban bevált.

Miért van szükség arra, hogy a virtuális lények arcának rezdüléseivel is foglalkozzunk, az igazán fontosnak tűnő jól artikulált szájmozgás mellett?

Ha a képernyőn emberi arcot alkalmazunk, nem tekinthetünk el az érzelmi dimenziótól. Mi emberek azt is értelmezzük, ha semmilyen érzelmet nem fejez ki egy arc. Nagy meglepetést okozott a Stanfordon kutató Clifford Nass munkáival való megismerkedés. Az ő nevéhez fűződik a CASA (Computers Are Social Actors) paradigma. Sok rafinált kísérlet alapján állítja, hogy az emberek a számítógéphez is úgy viszonyulnak, mintha élőlény lenne. Mindenki tudja a saját tapasztalatából: beszél hozzá, dühösen ha éppen lefagy a rendszer, vagy elismeréssel adózik ha valamit ügyesen megcsinál helyette. Ez még inkább igaz, ha emberi arc látható a képernyőn. Meglepő, mert tudjuk, hogy virtuális a lény és mégis a legkisebb jelek – hova tekint, milyen a szemöldök-mozgása – alapján szimpatikusnak, nyíltnak, vagy éppen ellenszenvesnek ítéljük a látott pixelhalmazt. A kialakított benyomásnak mérhető következményei vannak. Például, ha nem szimpatikus a virtuális lény, az alkalmazások során kevésbé sikeresen tölti be a rá szabott funkciót: termékek eladását, konzultációt, tanítást. Tehát egy virtuális lény fejlesztésekor abszolút figyelembe kell venni az érzelmi hatásokat is.

*Arckifejezések, mozgásfeldolgozás, nem-verbális kommunikáció – mindegyik területen számos, például művészeti alkalmazása lehetséges. Hogyan kapcsolódnak ezek a kutatások (színtetikus karakterek, stb.) a videóhoz és a filmhez?*

Többféle kapcsolat létezik. Egyrészt, a mi szakmánkban, ha hiteles arckifeje-



jezéseket, gesztusokat akarunk megjeleníteni, tudnunk kell, mi történik az emberek közötti kommunikációban. Ám ezt az esetek nagy részében nem tudjuk, mert általában nincs elég, megfelelő körülmények között rögzített, kiemezett esettanulmány, normatív leírás a nem-verbális kommunikáció egyes jelenségeiről. Viszont a művészek, például az animátorok öntudatlanul alkalmaznak bizonyos szabályokat, és nagyon jó megfigyelők. Egy ideig mi is dolgoztunk egy – képregény- és karikatúra-rajzoló képzettséggel rendelkező – francia művész-szel. Sokkal gazdagabb és kifejezőbb arcokat tervezett azoknál, mint amiket a mi kísérleti alanyaink, az igazi emberek elő tudtak idézni kísérleti körülmények között. A művész által készített arckifejezéseket elemeztük, azok alapján állapítottuk meg az összefüggéseket, az ember közvetlen tanulmányozása helyett. A művész már absztrahált, kiemelte a lényegét.

Az arcszintézis idekapcsolódó területe, az élethű másolatok helyett jobban felismerhető, jellemzőbb – karikatúra-arcok készítése, már a virtuális lények születése környékén felmerült. Azóta három-négy olyan modell és eszköz is készült, mellyel egy fénykép alapján karikatúra arc készíthető. Az, hogy hogyan animálhatunk karikatúraszerűen, még ma is tudományos cikkek témája.

Ha általánosabban nézzük a realizmus és absztrakció kérdését, meg kell említeni a számítógépes grafika nem-realistikus megjelenítéssel és animálással foglalkozó ágát, mely az utóbbi tíz évben virágzik. Bármennyire is imponálóak egyes számítógépes grafikai ábrázolások, az így készült virtuális világok mindig valamennyire hideg, természetellenes benyomást keltenek. Továbbá kiderült, hogy az akár ipari terméket ábrázoló vízfestmény, vagy krétarajz megkapóbb, kifejezőbb a részletgazdag, háromdimenziós, de mégiscsak fémes benyomású megjelenítéseknél.

***Mennyiben függ össze mindezzel az „interaktív matematika”. Mit jelent a terminológia, illetve milyen művészeti vonatkozásai vannak?***

Az interaktív matematikai projektek Vierkant Alapítványos tevékenységemhez kapcsolódik. Miközben a hagyományos absztrakt matematikai felfogás tanítása Hollandiában újdonságnak számított, egy másik területen én tanultam sokat. Magyarországon még nem terjedt el, hogyan lehet számítógépet használni matematikai felfedezésekhez. Mivel tudtam programozni, örömmel láttam hozzá, hogy interaktív matematikai segédeszközöket készítsék elsősorban gyerekek számára. Egy ilyen az 1600-as évektől a XIX. századig használatban lévő, eredetileg fából csuklós csatlakozásokkal épített matematikai másoló-eszközök számítógépes szimulációját. A kiderítendő kérdés, hogy mit tesz egy ilyen szerkezet: másol, nagyít, forgat? A gyerekek lépésről lépésre maguk találhatják ki a választ, és bizonyíthatják annak helyességét. A bizonyítás interaktív, mert a gyerekeknek is részt kell venniük benne, úgy jutnak el a végső konklúzióig. Javasolom, hogy az olvasó játsszon el ezekkel a virtuális geometriai



eszközökkel, és próbálja ki egy interaktív bizonyítást a weboldalamon (<http://hmi.ewi.utwente.nl/zsofi/machines>).

Egy másik ilyen projekt keretében japán geometria feladatokat, sangakukat tettem élővé, mozgóvá a számítógép segítségével. Ennek kifejezetten művészi verziója is született, egy holland számítógépes grafikus művész közreműködésével, egy másik, Művészet és Matematika (Ars et Mathesis) nevű alapítvány égisze alatt.

### *Miként látja az ágens kutatás jelenlegi helyzetét?*

Akár az intelligens ágens, akár az intelligens virtuális emberek kifejezést használjuk, már maga a név sugallja, milyen óriási feladat előtt áll az egész tudomány. Csupán az érzékelhető jelenség, az emberéhez hasonló kommunikáció szimulálása is rengeteg részlet egyenkénti és együttes megoldását igényli: kell, hogy a beszéd intonációjában, színében, ritmusában kifejező legyen, szinkronba kerüljön az arckifejezésekkel, kézmozgásokkal, azok változatosak legyenek, a szintetikus arc és kézmozgás éppen olyan sokat áruljon el a beszélőről, mint az emberi kommunikáció során! A mai technológia még távol áll egy-egy rezdülésnyi arc mimika, vagy a hang áruklódó elcsuklásainak minőségi reprodukciójától, szintézisétől.

Érdekes, hogy a virtuális lényeket pszichológusok is használják. Ez a technológia teszi lehetővé, hogy kiderüljön, egészséges illetve bizonyos betegségben szenvedő emberek hogyan értelmezik egyes arckifejezéseket, azok időbeli sajátosságait.

A multimodális kommunikáció mellé újabb MI dimenziókat hoz be a képbe, ha ágensünket intelligenciával akarjuk felruházni, hogy lehessen tartalmasan beszélgetni velük, önálló feladat-megoldásra sőt tanulásra készíteni őket...

Végül, de nem utolsó sorban, fel kell mérnünk, milyen alkalmazásokhoz, milyen virtuális lényeket célszerű használni.

Érdekes kérdés, hogy a virtuális lények mennyiben szárnyalhatják túl a mindennapokban megszokott kommunikációs formákat. Az emberek szinte állandóan – öntudatlanul is – alkalmazkodnak egymáshoz. Az ágensek viszont akár minket meghaladó módon is képesek lennének erre: küllemükben, fizikai adottságukban. Hogyan lehet ezt a technikai lehetőséget különböző célokra felhasználni? Egyelőre csak filmekből ismerjük, hogy egy fej átalakulva réműletet kelt, de például miként lehetne a virtuális lény megjelenését finoman változtatva, azt szigorúbb és így eredményesebb tanítóvá, vagy ha kell, éppen jószágos, empatikus tanító bácsivá alakítani? Itt belép az érzékelés a képbe: ezeket a folyamatokat, miként a virtuális lény majd minden reakcióját is; a vele beszélgető ember visszajelzései kell, hogy szabályozzák. Gondoljunk csak arra, hogy mennyire illúzióromboló, ha egy virtuális lény nem veszi észre, hogy már nincs senki a képernyő előtt, hanem tovább mondja a magáét. Vagy hogy (angolul) férfiként szólít meg minden arra járó. A virtuális lényel beszélgető ember érzékelése olyan további tudományterületek feladata, mint a beszéd felismerés és

gépi látás. Rengeteg megválaszolatlan kérdés, nyitott probléma vár még a szakmára. Az ágens kutatás is átéli egy kicsit, amit az MI- és a természetesnyelv-kutatás korábban megélt: újdonságnak számított, nagyon nagy és gyors sikert vártak tőle; ami elmaradt, irreális volt néhány éven belül áttörő megoldásokat remélni. Ugyanígy nem várható el, hogy egy virtuális lény három-öt éven belül átmenjen a Turing-teszten, a Turing-tesztet most csak az emberi kommunikációra értve. Véleményem szerint még messze az idő, amikor egy virtuális lényel beszélgetve nem lepleződik le egykettőre, hogy partnerünk egy számítógépes modell, nem egy igazi ember.

*Elsősorban beszélgető ágensekkel foglalkozik. 2004 nyarán jelent meg Catherine Pelachaud-val közösen szerkesztett *From Brows to Trust (A szemöldöktől a bizalomig)* című kötete, melyben ezt a témakört elemzik.*

A könyv tanulmánygyűjtemény; *Virtuális lények kiértékelése* az alcíme. Arról szól, hogy az eufórikus első évek után – ha tényleg alkalmazni akarjuk az ágens-technológiát – milyen elvek alapján készítsünk virtuális lényeket, hogyan értékeljük ki, milyen szempontok szerint döntünk célszerű alkalmazásukról, mikor váltsuk fel velük a hagyományos eljárásokat. Rengeteg erkölcsi probléma is felmerül. Ezek a kérdések ma nemcsak engem, illetve a könyv szerzőit foglalkoztatják, hanem a szakma nagy öregjeit is (akik, tizenöt éves múlttól lévén szó, maguk nem öregek.) Tavaly márciusban egy teljes hétre összegyűlt a híres dagstuhli konferenciaközpontban majd mindegyik nagy név, hogy ezeket a kérdéseket megvitassa.

### **Konklúzió?**

Ma már nem elég egy emberszerű lényt bemutatni, kiértékelési tanulmányt is kötelező a munkákhoz mellékelni. Nem elég az, hogy milyen jópofa az ágens, milyen szépen gesztikulál, hanem statisztikailag megbízható, megalapozott eredményeket kell közölni arról, hogy mindezt miként érzékeli beszélgetőpartnere, az ember.

Egy másik konklúzió, hogy nagy szükség lenne a tárgy tanítására több egyetemen, és a tudományos cikkek mellé egy amolyan szakácskönyv-szerű kötetre is – arról, hogyan építsünk virtuális lényeket. Ez ma egy kicsit még mindig inkább művészet, mint tudomány. Például mik a kritériumai a különböző modalitások konzisztenciájának? Mikre kell figyelniünk egy virtuális lény tervezésekor? Kelle mindig teljes életnagyságú lény, vagy elég egy beszélő fej? Mi a realiztikus és a művészi ábrázolás hatása?

A potenciális felhasználói réteg igényeit szintén figyelembe kell venni: a virtuális és igazi lény személyiségének hasonlóságát, az adott kulturális környezet elvárásait (másként kell gesztikulálnia egy japánnal, mint egy amerikaival).



*Milyen alapelveket érdemes képviselni ahhoz, hogy a csúcstechnológiai kutatásokban komoly eredményeket érjünk el?*

Mint matematikus, a mai napig azt mondom, hogy az alapos elméleti képzés és az absztrakció készsége elengedhetetlen az alkalmazott kutatások esetében is. Érdekes módon éppen a legutóbbi tíz-tizenöt év során végzett munkáimban tapasztaltam, hogy a matematikus másként és talán a lényegét jobban megőrizve, megragadva képes látni dolgokat, mint egy programozó, vagy sok más, empiriára építő tudományterület művelői. Fontos a modellalkotáshoz szükséges absztrakciós készség fejlesztése. Ugyanakkor mi szakmánkban elkerülhetetlen a bemutatás, az implementáció, a megnyerő, meggyőző, esetleg művészek bevonásával készített, hangos animáció.

*Miben látja a kutatásfejlesztési projektek sikerének, eredményességének titkát?*

Mindenképpen szükséges feltétel, hogy a projektekben különböző helyekről, országokból, tudományterületekről érkező emberek működjenek együtt. A saját szakmabeli abszolút kompetencia előfeltétel, ám még nem elegendő. Az együttműködést az egymásra való figyelés, a másik szakterületéről való tanulás vágya, más tudományterületek inspirációja teszik eredményessé. Az ágenskutatóban sokszor tapasztaltam, hogy így működött.

*Ha most lenne egyetemista, milyen szakra járna, illetve milyen szakokat javasolna a felvételi előtt álló fiataloknak?*

Ismét matematikusnak mennék. A fiataloknak pedig olyan területeket javasolnék, ahol érvényesülhet a kreativitás és a fantázia. Matematika, biológia, tulajdonképpen majdnem minden tudományterület, művészet. Talán könnyebb megmondani, mit nem tanácsolnék: a csak a meggazdagodást célul kitűző szakmákat. Idősebb emberek esetében is látom, hogy a kreatív szellemi munka egy életre szóló örömforrás, inspiráció, izgalom.

**Ruttkay Zsófia**

University of Twente Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science  
P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands

<http://www.ewi.utwente.nl>

PPKE Információs Technológiai Kar

1083 Budapest, Práter utca 50/a.

<http://www.itk.ppke.hu>