

# Robotok és környezetük illeszkedésvizsgálata fuzzy címkék segítségével

## Matching analysis of robots and their environment using fuzzy labels

DÉCSEI-PARÓCZI Annamária<sup>1</sup>, DR. BUDAI Csaba<sup>2</sup>

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, Budapest 1111. Műegyetem rkp. 3. <sup>1</sup>paroczi@mogi.bme.hu

### Abstract

*In this paper, the fit of robotic devices to the environment was investigated based on two subjective common properties (formal familiarity and complexity) to explore whether the degree of fit affects the user's reactions when interacting with the robotic device. Initially, images of selected robots and environments were evaluated separately with potential users, and the results of the responses were also evaluated using statistical methods and fuzzy labels. Based on these results of examining the combined images of matching and diverse robots and environments was found that users responded significantly differently to the visual matching and diverse robot and environment pairs during the test. The reaction was measured using a skin resistance measuring device.*

**Keywords:** visual matching, robot, physical environment, fuzzy classification, skin conductivity

### Kivonat

*Ebben a cikkben robot eszközök környezethez való illeszkedését vizsgáltuk két szubjektív közös tulajdonság (formai ismerősség és komplexitás) alapján abból a célból, hogy feltárjuk, hogy az illeszkedés mértéke hatással van-e a felhasználó reakciójára a robot eszközzel való találkozás során. Először válogatott robotok és környezetek képeit külön-külön értékeltettük potenciális felhasználókkal, majd a válaszok eredményei statisztikai módszerrel és fuzzy címkék szerinti osztályozással is értékelésre kerültek. Ezen eredmények alapján készített összeillő és eltérő robot-környezeteket ábrázoló kombinált képek vizsgálata alapján azt találtuk, hogy a szempontrendszer szerint egymáshoz vizuálisan illeszkedő és eltérő robot és környezetpárok látványára a teszten részt vett felhasználók szignifikánsan eltérően reagáltak. A reakció mérését bőrellenállás mérő eszköz segítségével valósítottuk meg.*

**Kulcsszavak:** vizuális illeszkedés, robot, fizikai környezet, fuzzy osztályozás, bőrkonduktivitás

## 1. Bevezetés

Az ember-robot interakció széles körben kutatott terület [1][2], különösképpen a biztonságos működésre, illetve együttműködésre, funkcionális illeszkedésre, illetve a robotbarát környezet kialakításának kérdéseire fókuszál [3], [4]. Azonban a fizikai környezetre vonatkozó szempontok csak részben jelennek meg a szakirodalomban [5]. A funkcionális illeszkedés mellett, ami figyelembe veszi a robot mozgási tartományát, helyzetváltoztatási képességét vagy a navigációs készségét, lényeges kérdés, hogy a felhasználó milyen mértékben fogadja el az adott eszközt [6], [7].

A robot-ember interakció minőségére számos tényező gyakorol hatást, pl. a robot viselkedése, formai megnyilvánulása vagy a kommunikáció szintje [8]. A technológia fejlődésével egyre több felhasználó találkozik a mindennapi életben olyan roboteszközökkel, melyek olyan funkciókat vesznek át, amit korábban embertársaink végeztek, gondoljunk például csomagkézbesítő vagy takarító robotokra. Mivel ezek a mindennapi életben is előforduló roboteszközök egymástól eltérő formai megjelenéssel rendelkeznek, és potenciálisan egymástól eltérő helyszíneken jelenhetnek meg, érdemes vizsgálni a felhasználók reakcióját a vizuális illeszkedés szempontjából is, hiszen a felhasználó általi elfogadás befolyásolja az interakció minőségét.

## 2. Osztályozási kritériumok

Mind a robot eszközök, mind pedig a potenciális fizikai környezetek többféleképpen csoportosíthatóak [9], [10]. Robotok esetében ilyen alapvető csoportosítási szempont lehet a funkció, felépítés, helyváltoztatás módja, mozgási tartomány, kommunikáció módja stb. Az osztályozási csoportok számos alcsoportra oszthatóak, melyek közül jelen kutatás során a vizuális megjelenéshez kapcsolódó tulajdonságokat vettük figyelembe. A vizuális megjelenés szempontjából jelentős szerepe van a robot alakjának (pl. humanoid, járműszerű, játék-szerű, ipari robot stb.), méret (pl. nagy méretű, emberléptékű, apró, háziállat méretű stb.), szín és mintázat (pl. egyszínű, mintás, fémes, csillogó stb.) Természetesen a funkció általában meghatározza a megjelenést, így a roboteszköz azonnal felismerhető a vélt funkciójáról (pl. háztartási robot porszívó, ipari robotkar vagy a játékróbot).

A potenciális fizikai környezetek esetében szintén többféle szempont szerint végezhetünk csoportosítást, pl. épített, természetes környezetek, kültéri, beltéri helyszínek stb. A funkció ebben az esetben is alapvető csoportosítási szempontként definiálható, főként az épített környezetek esetén, mivel a funkciókra olyan formai jellemzők utalnak, melyek azonnal felismerhetővé teszik a mindennapi életben jellemzően előforduló helyszíneket, mint amilyen pl. egy bolt, könyvtár, iskola vagy orvosi rendelő, gyáracsarnok vagy egy kertészet. Természetesen a funkciótól eltekintve a fizikai környezeteket értékelhetjük az olyan formai megjelenésük szempontjából, mint pl. a méret, zsúfoltság, megvilágítás vagy színezettség.

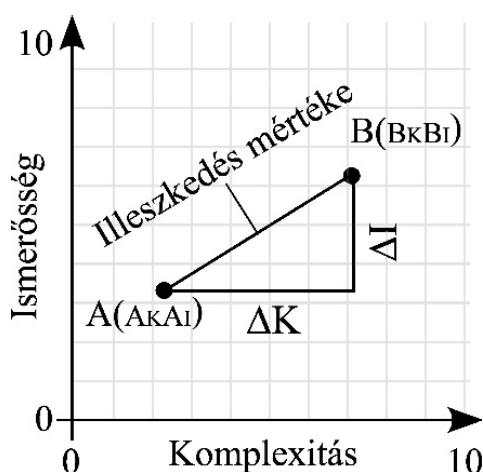
Az összehasonlíthatóság érdekében olyan szubjektív szempontokat kerestünk, melyek mind a fizikai környezetek, mind pedig a robot eszközök esetében értelmezhetőek és vizuálisan megítélhetőek.

A funkció kritikus kérdés mind a robotok, mind a környezetük osztályozása során és sok esetben azonnal felismerhetővé teszi ezeket. A felismerés alapja, hogy a felhasználók a funkciót előzetes ismereteik alapján azonosítják. Ebben az összefüggésben az ismertség, mint általános jellemző magában foglalja a vélt vagy valós funkciók felismerésének szubjektív érzését, ezért az ismertséget választottuk az egyik értékelési kritériumnak.

A méret fontos osztályozási kritérium lehet mind a fizikai környezet, mind a robot eszközök esetében [11], de sok esetben nem lehet önállóan értékelni, különösen a roboteszközök esetében, mivel a méret értékelése a környezettől függetlenül esetleges. Emiatt a méretet ebben a kutatásban nem tekintettük értékelendő kritériumnak.

Az értékeléshez olyan kritériumot kerestünk, amely mind a robot eszköz, mind a környezet szempontjából értelmezhető, és jelentős mértékben meghatározza a megjelenést. Ezért a formai komplexitást, mint szubjektív kritériumot választottuk második osztályozási kritériumnak.

Az osztályozást tehát a fenti két szempont, az ismertség és komplexitás alapján végeztük el. A roboteszközök és környezetük vizsgálatához használt két lehetséges osztályozási tulajdonságot együttesen tudjuk meghatározni, és a komplexitás-ismertség sík egyetlen pontjaként ábrázolhatjuk. Ily módon a környezet és a roboteszköz egyazon koordináta-rendszer pontjaival jellemezhető, ahogyan azt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A tulajdonságpár szemléltetése

Az 1. ábra alapján a két síkbeli pont közötti távolság segítségével meghatározható, hogy a roboteszköz e két szempont szerint mennyire illeszkedik a környezetébe.  $\Delta K$  a roboteszköz és a környezet közötti különbséget jelenti a komplexitás szempontjából, míg  $\Delta I$  az ismeretség szempontjából. A környezetet és a robotot reprezentáló két pont (A és B) közötti távolságot nevezhetjük az illeszkedés mértékének is. Ebben az

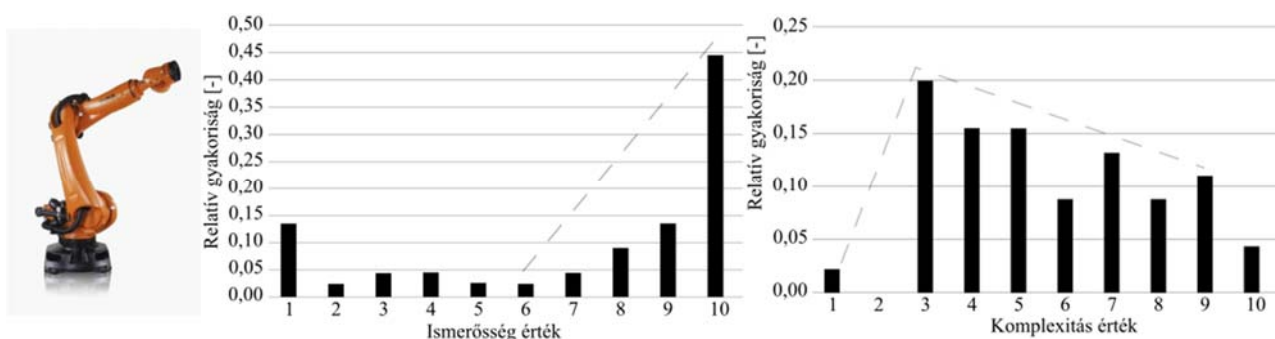
összefüggésben az illeszkedési fok alacsonyabb értéke azt jelenti, hogy a környezet és a roboteszköz vizuálisan közel áll egymáshoz. Minél magasabb ez az érték, annál távolabb állnak egymástól.

### 3. Össeillőség meghatározása kérdőíves teszt alapján

A roboteszközök és környezetek kritériumszempontok szerinti értékelését kérdőíves teszt alapján végeztük. Az osztályozáshoz két különböző online kérdőívet használtunk annak felmérésére, hogy a potenciális felnőtt felhasználók hogyan értékelik az eszközök képeit és lehetséges környezetüket az ismertség és a komplexitás tulajdonságai alapján. A képek valós és virtuális eszközöket és környezeteket egyaránt reprezentáltak. A képek kiválasztás úgy történt, hogy a kritériumok mentén a lehető legszélesebb spektrumból mutassunk be azokat. A felmérés során 12 képet használtunk robotokról és 12 képet környezetekről. Fontos megjegyezni, hogy a virtuális roboteszközök képeit szabadon elérhető 3D modellek felhasználásával készítettük. A virtuális környezetek a MaxWhere keretrendszer szabadon hozzáférhető tereiből származnak. A kérdőívet kitöltők az értékelést 1-10-ig terjedő skálán végezték el, ahol a szélső értékek a komplexitás skálán a formai egyszerűségtől az erősen tagoltig, illetve a teljesen ismerlentől az ismertségig terjedt. A roboteszközök esetében a képek között a mindennapi életben elterjedt típusok szerepeltek, például robotporszívók, robotfűnyírók vagy szervizrobotok, de ipari robotkarok is. A virtuális modellek esetében a cél a formák és a komplexitás sokféleségének elérése volt.

#### 3.1. A kérdőíves teszt eredménye

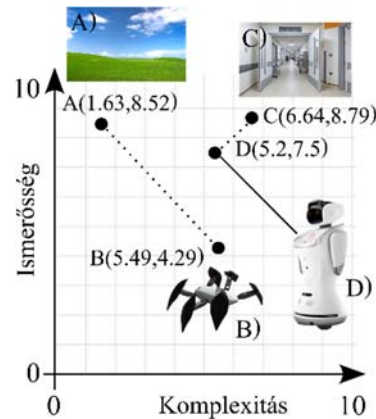
A kérdőíveket 56, illetve 45 felhasználó töltötte ki, életkoruk 23 és 72 év között volt. Az eredményeket nemtől függetlenül értékeltük, képenként meghatároztuk az ismertség és komplexitás értékekre adott válaszok átlagát, valamint relatív gyakoriság diagrammot készítettünk. A kérdőíves teszt eredményei döntően nem mutattak statisztikai módszerrel kimutatható normál eloszlást ezért az értékeléshez fuzzy halmazokat alkalmaztunk. Az alapján, hogy a válaszok gyakoriság diagrammjaira milyen fuzzy halmaz illeszhető meghatároztunk nyelvi címkéket ezek leírására. A kérdőív alapján készült gyakoriság diagrammokra mutat példát a 2. ábra. Mind a komplexitás, mind az ismerőség szempontjából három kategóriát különböztettünk meg, melyek a kicsi, közepes és nagy címkével lettek ellátva attól függően, hogy a gyakoriság görbére milyen fuzzy halmaz illeszhető, tehát az adatok mely harmadba estek legnagyobb gyakorisággal. A fuzzy címkék mellett a Mann-Whitney [12] statisztikai teszt segítségével ellenőriztük az egyes környezeteket és robotokat ábrázoló képek összeillőségét oly módon, hogy az ezekre adott felhasználói válaszok statisztikailag egy populációba esőnek tekinthetőek-e 0,05-ös szignifikancia szinten. A teszt alkalmazását a relatív kis mintaszám és a normál eloszlás hiánya indokolta. Amennyiben nem, úgy a két adatsor különbözőségét azok átlagának különbségével jellemeztük. Mind a fuzzy halmazok mind pedig a Mann-Whitney teszt segítségével egymáshoz hasonlítottuk a különböző robotokat és környezeteket bemutató ábrákat és azt találtuk, hogy a 144 elvégzett összehasonlítás alapján a statisztikai és fuzzy halmaz szerinti összehasonlítás 83%-ban egyező eredményt adott.



2. ábra Példa relatív gyakoriság értékelésére

Az összehasonlítások alapján mind a fuzzy címkék, mind a statisztikai különbségek segítségével meghatározhatóak az egyes robotok és környezetek közötti illeszkedési értékek, melyeket az 1. ábrán szemléltetett síkon vizuálisan is megjeleníthetünk. A 3. ábrán a szaggatott vonallal jelölve látható az A jelű környezet és a B jelű robot, valamint a C jelű környezet és D jelű robot vizuális illeszkedésének mértéke. A

síkbeli pontok koordinátái, melyeket a komplexitás és ismerőség kérdőívből kapott átlagértékei adják, zárójelben látható a pont mellett.



3. ábra Az illeszkedés mértékének szemléltetése

#### 4. Kombinált képek vizuális összeillőségének vizsgálata bőrellenállás méréssel

A kutatás következő lépése az volt, hogy a leginkább illeszkedő és különböző környezeteket és eszközöket kombináló képeket készítsünk. A funkcionális illeszkedést tudatosan nem vettük figyelembe a kombinációk létrehozásakor, azokat csak a komplexitás és az ismertség kritériumai szerint illesztettük össze.

Összesen 27 kombinált képet hoztunk létre, amelyek összesen 9 különböző környezetet és 5 robot eszközt ötvöznek. Az így kapott kombinált képeket videó formátumban állítottuk össze, amelyben minden kép 5 másodpercig látható egymás után, ez elegendő idő ahhoz, hogy a bőrellenállás változás átlagos válaszüzeje mellett is, mely a szakirodalom szerint 1-3 [s] között van [13], [14], értékelhető adatot kapjunk.

A pszichofizikai állapotok mérésére számos nem invazív módszert mutatnak be a szakirodalomban, mint például az EEG, a szívfrekvencia-variabilitás, a hőmérséklet, a pupillatágasság vagy a bőr vezetőképességének mérése [15], [16]. Ezek az eszközök kombinálva vagy egymástól függetlenül is használhatók a stresszszint, vagy a munkaterhelés mérésére.

A mérés egyszerűsége, a mért személy kényelme és a műszer elérhetősége érdekében a bőr vezetőképességének mérési módszerét választottuk a jelenlegi méréshez, hogy megvizsgáljuk a személy reakcióját a kombinált képek nézése közben [17].

A bőr vezetőképességének mérését egy saját fejlesztésű, kereskedelmi forgalomban vásárolt elektronikus alkatrészekből és érzékelőből álló eszközzel végeztük. A jelfeldolgozó elektronika számára az alkalmazott fixpontos aritmetika miatt optimálisabb az ellenállás közvetlen mérése. Így a jelen mérés során a vezetőképesség helyett a bőr ellenállását mértük ( $k\Omega$ -ban).

A bőr ellenállását a felhasználó ujjaira erősített érzékelővel ellátott mandzsettával mértük. Az adatokat kalibrálás után saját fejlesztésű szoftverrel rögzítettük. A kalibrálást 50 és 2000  $k\Omega$  között végeztük, ami a szakirodalom szerint lefedi az emberi bőr ellenállásának tartományát [18]. A mérési eredmények 0,2 s sűrűséggel kerültek rögzítésre. A mérést 17 felhasználó esetén végeztük el.

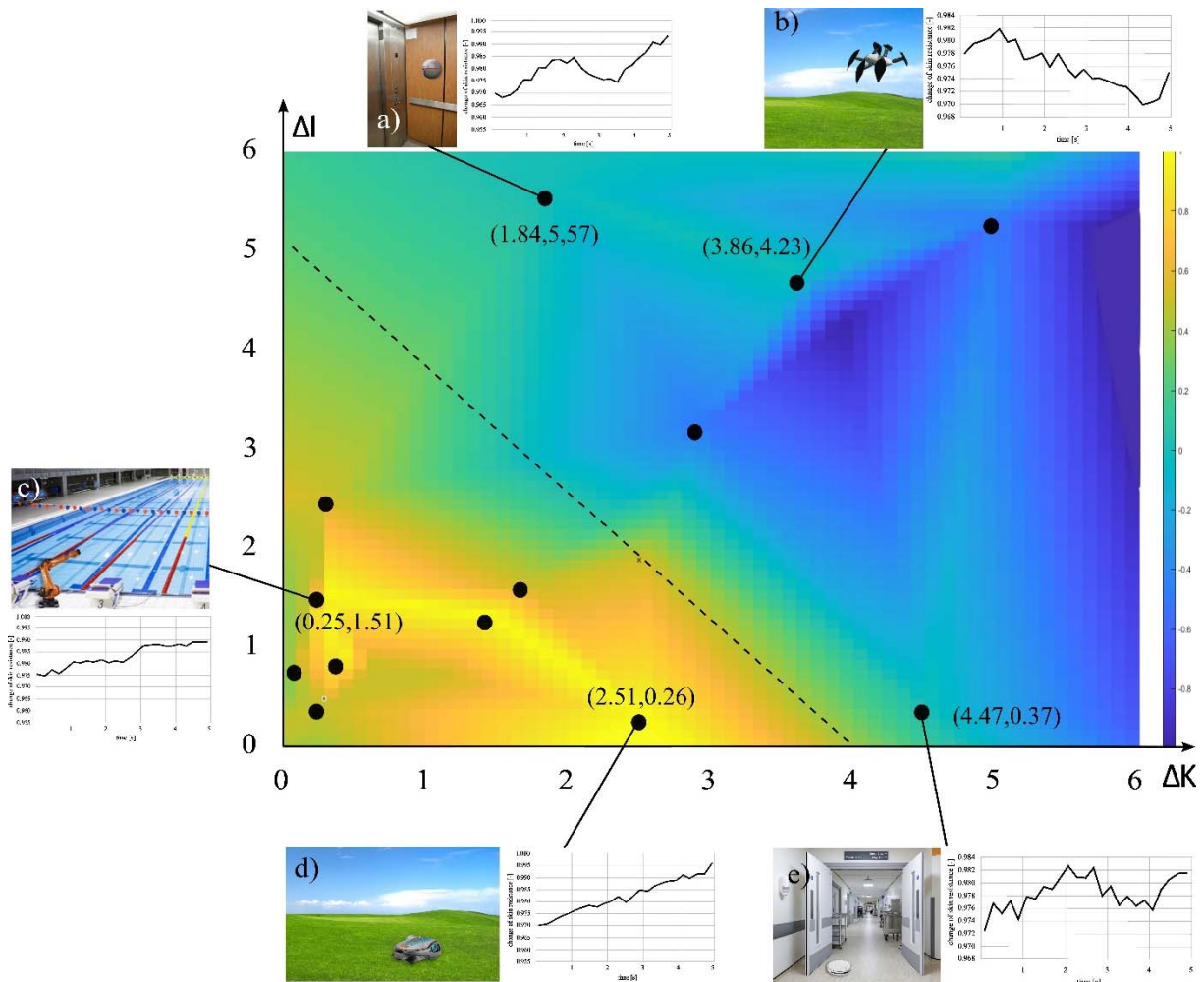
A mérés során a felhasználók egy rövid videót néztek, amelyben az elkészített kombinált képek láthatóak, eközben végig rögzítettük a bőrellenállás értékét. A bőrellenállás-mérő készülék érzékelőit a kéz két szomszédos ujjára helyeztük el. A mérés során kerültük az interakciót a mérésben részt vevő felhasználóval, aki eközben semmilyen más tevékenységet nem folytatott.

#### 5. Mérési eredmények

A bőrellenállás-mérő eszköz eredményeit idő szerint szűrtük, és azonosítottuk az egyes képekhez tartozó bőrellenállás-változási görbéket. A bőrellenállás mért értékeit a kép megtekintési idejének megfelelő 5-másodperces intervallum alapján azonosítottuk. Mivel az alapellenállás-értékek személyenként jelentősen eltérőek voltak, minden egyes személyre vonatkozó értéket normáltunk, és az egyes személyekre vonatkozó értékek átlagát használtuk az egyes képek ellenállás-változási görbéjének meghatározásához. A görbéket a jellemző iránya és az illeszkedési polinom foka szerint csoportosítottuk, és összehasonlítottuk az előzetes kérdőíves eredményekből származó illeszkedési értékkel. E csoportosítás alapján megállapítható, hogy a túlnyomórészt negatív meredekségű görbék azokhoz a képekhez tartoztak, amelyekről feltételezhető volt, hogy

az ismertség-komplexitás jellemzői szerint jelentősebben különböznek egymástól. A túlnyomórészt pozitív irányú görbék azokhoz a képekhez tartoztak, amelyek a kritériumok szerint nagyobb fokú illeszkedést mutattak. A 4/d) ábra a görbe melletti kombinált képet figyelő résztvevők átlagos bőrellenállásának pozitív változását mutatja. A 4/b) ábra a görbe melletti kombinált képet figyelő résztvevők átlagos bőrellenállásának negatív változását mutatja. A görbék vízszintes tengelyén az időt [s] és a relatív bőrellenállás változást ábrázoltuk.

A mérések során volt néhány olyan kép, amelyek eredményei nem mutattak egyértelmű tendenciát a mért személyek bőrellenállása alapján. A bőrellenállás változás görbéjét és az ez alapján meghatározott számértéket egy úgynevezett hőtésképen ábrázolva arra a következtetésre jutottunk, hogy a kritérium tulajdonságok 0-tól 10-ig terjedő skáláján az ismertség 5 és a komplexitás 4 értéke közé húzott egyenes jelenti azt a határt, amely alatt a bőr ellenállásában pozitív változást mértünk. E határérték felett átlagosan negatív bőrellenállás-változást mértünk.



4. ábra – Példák a hőtésképen megjelenített kombinált képekre adott bőrellenállás értékekre

A 4. ábrán a vízszintes tengely a komplexitásbeli különbséget, a függőleges tengely pedig az ismertségbeli különbséget mutatja adott robot-eszköz párosításokhoz. A hőtésképen a kék színskála a negatív tendenciájú görbéket, míg a sárga skála a pozitív tendenciájú görbéket mutatja. A negatív és pozitív meredekségű, elsőrendű polinommal közelíthető görbéket -1, illetve 1 értékkel ábrázoltuk. A köztes értékeket (-0,5 és 0,5) a kapott átlagos bőrellenállási görbe trendje szerint határoztuk meg. A túlnyomórészt konvex görbéket -0,5 értékkel, a túlnyomórészt konkáv görbéket pedig 0,5 értékkel vettük figyelembe.

Megállapítható, hogy a roboteszközök és a potenciális környezetük közötti vizuális illeszkedésnek van egy küszöbértéke, amely befolyásolja a felhasználó reakcióját a látvánnyal való találkozás pillanatában, így a potenciális környezethez való vizuális illeszkedés - függetlenül a funkciótól - olyan kritérium, amelyet érdemes figyelembe venni a roboteszközök tervezésekor. Természetesen ez ellentétes irányban is igaz, a küszöbérték akkor is alkalmazható, ha a cél a robothoz illeszkedő környezet kialakítása így a vizuális illeszkedés előrejelzésére is használható.

## 6. Összefoglalás

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy mind a robotokat, mind az őket potenciálisan körülvevő fizikai környezetet lehetséges egységes szempontrendszer szerint osztályozni, mely alapjául szolgál a vizuális illeszkedés vizsgálatához. A vizuális illeszkedés mértékét statisztikai vizsgálattal (Mann-Whitney test) és fuzzy címkék segítségével definiáltuk, majd az ismertség-komplexitás szempontrendszer szerinti átlagértékek különbségével definiáltuk. Az általunk definiált szempontrendszert a felhasználókon végzett bőrellenállás mérés segítségével is igazoltuk, amely alapján definiálható egy olyan határvonal, amely láthatóan elválasztja az alacsony és magas illeszkedési szintű kombinációkra adott emberi reakciót.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatást az MNB és a BME közötti stratégiai együttműködés támogatta.

A kutatás az Egyesített Pszichológiai Kutatás-Értékelési Bizottság (EPKEB) engedélyével rendelkezik (eng. Szám: 2022-93 és 2022-138).

## irodalmi hivatkozások

- [1] J. Nelles, S. T. Kwee-Meier, és A. Mertens, „Evaluation Metrics Regarding Human Well-Being and System Performance in Human-Robot Interaction – A Literature Review”, in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, köt. 825, o. 124–135. doi: 10.1007/978-3-319-96068-5\_14.
- [2] J. Woo, J. Botzheim, és N. Kubota, „Emotional Empathy Model For Robot Partners Using Recurrent Spiking Neural Network Model With Hebbian-Lms Learning”, 2017.
- [3] R. E. Mohan, N. Tan, K. Tjoelsen, és R. Sosa, „Designing the robot inclusive space challenge”, *Digital Communications and Networks*, köt. 1, sz. 4, o. 267–274, nov. 2015, doi: 10.1016/j.dcan.2015.09.005.
- [4] N. Tan, R. E. Mohan, és A. Watanabe, „Toward a framework for robot-inclusive environments”, *Autom Constr*, köt. 69, o. 68–78, szept. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.06.001.
- [5] D. S. Syrdal, K. Dautenhahn, K. L. Koay, és W. C. Ho, „Views from Within a Narrative: Evaluating Long-Term Human–Robot Interaction in a Naturalistic Environment Using Open-Ended Scenarios”, *Cognit Comput*, köt. 6, sz. 4, o. 741–759, dec. 2014, doi: 10.1007/s12559-014-9284-x.
- [6] J. Goetz, S. Kiesler, és A. Powers, „Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation”, in *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2003, o. 55–60. doi: 10.1109/ROMAN.2003.1251796.
- [7] S. Vinanzi, A. Cangelosi, és C. Goerick, „The collaborative mind: intention reading and trust in human-robot interaction”, *iScience*, köt. 24, sz. 2, febr. 2021, doi: 10.1016/j.isci.2021.102130.
- [8] J. Botzheim, J. Woo, N. Tay Nuo Wi, N. Kubota, és T. Yamaguchi, „Gestural and facial communication with smart phone based robot partner using emotional model”, in *World Automation Congress Proceedings*, okt. 2014, o. 644–649. doi: 10.1109/WAC.2014.6936076.
- [9] M. Ben-Ari és F. Mondada, „Elements of Robotics”, 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62533-1>.
- [10] A. Dobra, „General classification of robots. Size criteria”, in *23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, IEEE RAAD 2014 - Conference Proceedings*, jan. 2015. doi: 10.1109/RAAD.2014.7002249.
- [11] J.-P. Merlet, „Optimal design of robots”, 2005. [Online]. Elérhető: <https://hal.inria.fr/inria-00000473>
- [12] J. Bird, „The Mann-Whitney test”, in *Mathematics Pocket Book for Engineers and Scientists*, 2019. doi: 10.1201/9780429294402-205.
- [13] M. E. Dawson, A. M. Schell, és D. L. Filion, „The electrodermal system”, in *Handbook of Psychophysiology, Fourth Edition*, Cambridge University Press, 2016, o. 217–243. doi: 10.1017/9781107415782.010.
- [14] M. Benedek és C. Kaernbach, „A continuous measure of phasic electrodermal activity”, *J Neurosci Methods*, köt. 190, sz. 1, 2010, doi: 10.1016/j.jneumeth.2010.04.028.
- [15] H. Yoo és K. Chung, „Heart rate variability based stress index service model using bio-sensor”, *Cluster Comput*, köt. 21, sz. 1, o. 1139–1149, márc. 2018, doi: 10.1007/s10586-017-0879-3.
- [16] M. Causse, J. M. Sénard, J. F. Démonet, és J. Pastor, „Monitoring cognitive and emotional processes through pupil and cardiac response during dynamic versus logical task”, *Applied Psychophysiology Biofeedback*, köt. 35, sz. 2, o. 115–123, jún. 2010, doi: 10.1007/s10484-009-9115-0.
- [17] Y. Liu és S. Du, „Psychological stress level detection based on electrodermal activity”, *Behavioural Brain Research*, köt. 341, 2018, doi: 10.1016/j.bbr.2017.12.021.
- [18] T. Lewis és Y. Zotterman, „Vascular reactions of the skin to injury: Part VIII. The resistance of the human skin to constant currents, in relation to injury and vascular response”, *J Physiol*, köt. 62, sz. 3, 1927, doi: 10.1113/jphysiol.1927.sp002359.