

# Érzelemkifejezések háttere és szerepe a szociális robotikában

Korcso Beáta

ELKH-ELTE Összehasonlító Etológiai Kutatócsoport,  
Budapest, Magyarország;  
Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Budapest, Magyarország  
korcso.bea@gmail.com

Korondi Péter

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Mechatronika  
Tanszék,  
Debrecen, Magyarország  
korondi.peter@eng.unideb.hu

**Absztrakt.** A szociális robotok térnyerésével az emberekkel folytatott interakciók gördülékenyebbé tétele kulcsfontosságúvá válik. Az emberi kommunikáció fontos aspektusa az érzelem, mint belső állapotok viselkedésben megjelenő kifejezése, melyek felismerése, és mesterségesen generált, helyzetnek megfelelő érzelemkifejezések mutatása a robotok számára is nagy jelentőséggel bír. Az emberi érzelmek kutatása, definiálása és modellezése a pszichológia, etológia és más kapcsolódó diszciplínák területéről kilépve a robotikával fonódik össze. Jelen cikkünkben az ember-robot interakciós kutatásokban használt elterjedt érzelmfelismerési és -kifejezési módszereket, illetve ezek szakirodalmi hátterét foglaljuk össze.

**Kulcsszavak:** ember-robot interakció, HRI, érzelemkifejezés, érzelmfelismerés, szociális robotika+

## I. BEVEZETÉS

A szociális robotok elterjedésével egyre nagyobb hangsúlyt kap az ember-robot interakciók (Human-Robot Interaction) kutatása, melynek lényeges aspektusa az interakciók során – akár az ember, akár a robot által – mutatott érzelemkifejezések vizsgálata [1], [2]. A szociális robotok és más, az emberrel való együttműködésre tervezett mesterséges ágensok (pl. virtuális ágensok) esetében gyakori törekvés az emberi érzelemkifejezések lemásolása, adaptációja. Ez a megközelítés több problémát is felvet, kezdve a technológiai nehézségekből adódó hitelességvesztéstől [3], a túlzott de nem teljes emberszerűség okozta viszolygásig, a Borzongások Völgye határáig [4]. Alternatív megközelítésként a mesterséges ágensok érzelemkifejezése tekinthető az emberi környezetbe való beilleszkedéshez szükséges szociális kompetencia részének, mely a robot funkciójához igazodva nem szükséges, hogy elérje az emberi szintet [5]. A szociális robotokkal sok szempontból funkcionálisan analóg szerepet betöltő kutyák esetében is olyan szintű szociális kompetenciát találunk, mely magában foglal több, az emberéhez a funkció szempontjából hasonló képességet, mint például multimodális fajok közötti kommunikáció, demonstráció alapján történő tanulás, kötődő viselkedés, érzelmi szinkronizáció, szabálykövetés [6], [7]. A szociális robotok érzelemkifejezéseinek fejlesztésekor is követhetjük azt a megközelítést, mely az emberi komplex érzelemkifejezések leegyszerűsítése helyett alapvető biológiai szabályszerűségeket implementálásával hozza létre az érzelemkifejezéseket. A cél a multimodális érzelemkifejezések

kifejlesztése, a különböző modalitások (pl. vizuális: [8], [9], akusztikus: [10], érintésen alapuló: [11] modalitások) elkülönült vizsgálatát követően. Ez az etológiai alapokra építkező (etorobotikai) megközelítés [5] azonban csak egy a robotok érzelemkifejezéseinek kidolgozására törekvő kutatási irányok, elméletek közül.

Az affektív jelenségek és érzelemkifejező viselkedések ember-robot interakciókban való vizsgálatokor figyelembe kell vennünk a kapcsolat kétoldaliságát. A robot által mutatott, illetve az emberi, robot által felismert érzelemkifejezéseken túl, a robottal interakcióba kerülő emberek saját érzelmfelismerő képessége is szerepet játszik az interakciók során [12]. Más személyek érzelmeinek felismerése az érzelmi intelligencia (*emotional intelligence*) tárgykörébe tartozik, melyet Mayer és Salovey a szociális intelligencia aleseteként definiált, mely magában foglalja a saját és mások érzelmeinek monitorozását, megfigyelését; az érzelmek egymástól való megkülönböztetésének képességét; továbbá ezen információk felhasználását a saját gondolatok és viselkedések kialakításában [13]. A szociális robotok affektív képességeinek fejlesztésekor tehát érdemes figyelembe venni az emberi érzelmi intelligencia egyéni változatosságát.

A jelen publikációban rövid betekintést nyújtunk a szociális robotok érzelemkifejezéseinek alapját szolgáló affektív jelenségek elméleti hátteréről, az érzelmi reakciók kísérletes helyzetben, illetve a robotok működése során történő méréséről, továbbá az akusztikus érzelemkifejezés példájaként kitérünk az emberi beszédben megtalálható nem-verbális érzelemkifejező tényezőkre.

## II. AZ ÉRZELMEK KUTATÁSA

Az érzelmek és a hozzájuk kapcsolódó érzelemkifejező viselkedések vizsgálata során pszichológusok, neurobiológusok, etológusok és megannyi más, interdiszciplinárisan kapcsolódó terület kutatói próbálják megfejteni, egységes modellbe önteni az érzelmek mibenlétét. Az egyik első tudományos szempontú írás az érzelmekről Charles Darwin 1872-ben kiadott könyve volt, melyben már evolúciós alapokra helyezte az emberi érzelmek megjelenését [14]. Az ember mellett több állatfaj esetében is törekedett leírni az érzelmi jelenségek viselkedésbeli megjelenését, és az érzelemkifejezések kommunikációban játszott szerepét, illetve

ennek az egyed számára adaptív (túlélést és reprodukciót segítő) jellegét.

A 20. század elején több kutató is felismerte az érzelmeket kísérő fiziológiai változásokat, ám ezeket gyakran egymásnak ellentmondó módon értelmezték. A klasszikus James-Lange elmélet [15] két kutató, William James és Carl Lange megközelítését fűzte egybe, miszerint az egyedre érő ingerek által kiváltott zsigeri változások érzékelése váltja ki az érzelmeik megélését, vagyis előbb történnek meg a testi változások (pl. hirtelen megjelenő veszély esetén fellépő szívritmus gyorsulás, adrenalin szint növekedés), és ezek hatására jelenik meg az érzelmek. Elméletük annak ellenére vált közösen értelmezetté, hogy James és Lange az érzelmeik ellentétes alapelvű megközelítéséből indult ki [16]. A James által képviselt konstruktivista megközelítés szerint az egyes érzelmeik nem elkülönülő, körülhatárolt jelenségek, melyek az adott érzelmekhez tartozó mechanizmusokkal rendelkeznek, hanem egy kategórián belül található esetek, melyek esetek specifikus helyzetekhez vagy kontextusokhoz kötődnek. Az érzelmeik tapasztalatok és érzékelés segítségével, konstruktívan épülnek fel az idegrendszer komplex és dinamikus működésének hatására. A másik, esszencialista megközelítés alapján az érzelmeik természetesen elkülönült jelenségek, melyeket saját specifikus folyamataik hoznak létre, és minden egyes érzelmek jól körülhatárolt, rá jellemző tulajdonságokkal rendelkeznek. A két megközelítésmód a mai napig tükröződik a későbbi érzelmek elméletekben, így az esszencialista-konstruktivista jellege az érzelmeiknek továbbra is vita tárgya a pszichológia területén belül, mely alapján a jelentősebb érzelmi elméletek rendezhetőek [16].

A James-Lange teóriával szemben Cannon és Bard is vitába szállt az 1920-as évek végén, kutatásaikkal alátámasztva, hogy az érzelmeik megjelenését nem az általános, inger hatására fellépő testi változások váltják ki, mivel egyrészt az adott testi reakciók többféle inger és érzelmek esetén is azonosak lehetnek, másrészt a testi reakciók művi kiváltása nem feltétlenül hozza magával az érzelmeik megjelenését [17].

A biológiai vizsgálatok körében az 1920-30-as években egy időre háttérbe szorult az érzelmeik kutatásának lehetősége köszönhetően a behaviorizmus elterjedésének, mely a kor technológiai lehetőségeihez és tudományos irányvonalához igazodva kétségekbe vonta az érzelmeik objektív kutathatóságát: az érzelmeik és más mentális állapotokat „kikerülve” kerestek ok-okozati összefüggéseket a beérkező ingerek és a kiváltott viselkedési válaszok között [18].

A behaviorizmustól való eltávolodást a technológiai fejlődés segítette elő, mely új kísérleti mérési módszerek (EEG, majd PET scan és fMRI vizsgálatok) bevezetésével lehetővé tette a neurobiológiai folyamatok feltárását [19]. Az 1950-es években kidolgozott, MacLean munkáján alapuló limbikus rendszer koncepció igyekezett különválasztani a neocortexhez kötődő az emlékszőknél megfigyelt fejlettebb kognitív képességeket és összetett érzelmeiket a többi, evolúciósan régebbinek tekinthető agyterületekhez, mint a

limbikus rendszerhez kötött viselkedésektől és egyszerűbb érzelmeiktől [20].

Az 1980-as évektől egyre jelentősebbé vált az érzelmeik funkciójának és eredetének evolúciós szempontból való vizsgálata, nem csak az ember esetében, hanem különböző állatfajokban is, karöltve az etológiai megközelítés terjedésével [21]. Plutchik az emberek és állatok esetében egyaránt releváns módon összegezte az alapvető érzelmi állapotokat az azokat kiváltó ingerekkel, funkciójukkal és a jellemzően megjelenő viselkedéssel együtt (1. táblázat) [22].

A különböző pszichológiai, neurobiológiai és etológiai megközelítések ötvözhetőségét Panksepp hangsúlyozta munkásságában, emberek és más fajok közötti összehasonlító vizsgálatokkal támasztva azt alá az anatómiai és funkcionális homológiák, az addiktív szerek által kiváltott neurális és viselkedési hasonlóságok, illetve az egyes agyi területek ingerléses vizsgálatainak eredményei alapján [23].

Az 1990-es években megjelenő új, interdiszciplináris kutatási terület, az affektív számítástechnika (*affective computing*) az érzelmeik pszichológiai, biológiai, szociológiai és nyelvi megközelítéseit ötvözi a mérnöki és informatikai tudományokkal [24]. Az affektív számítástechnika célja gépi rendszerek felruházása affektív képességekkel, és azok emberekkel folytatott interakciókra gyakorolt hatásainak vizsgálata, beleértve az emberek által mutatott érzelmek kifejező viselkedések felismerését, illetve mesterséges érzelmi rendszerek modellezését és kifejezését [24], [25]. Woo és munkatársai az emberi érzelmeik felismerését és a robot érzelmek kifejezését egységes rendszerként, az emberrel folytatott interakció keretein belül vizsgálták. Modelljükben a robot érzelmi állapotát befolyásolja az észlelt, majd mesterséges intelligencia módszerekkel felismert emberi viselkedés [26] és érzelmek kifejezések, így ezek további ingerekkel kiegészülve, egy felügyelet nélküli gépi tanulás módszer segítségével (*recurrent simple spike response model*, Hebbian-LMS tanulással) határozzák meg a robot érzelmi állapotát és érzelmek kifejezéseit [27]. Az érzelmi képességek robot architektúrába integrálásával kifejlesztették továbbá a kognitív-érzelmi-viselkedési (Cognitive-Emotional-Behavioral, C-E-B) modellt is, mellyel a robot képes egyedi jellegi segítségével alkalmazkodni a vele interakcióba lépő emberek kommunikációs stílusához [28].

Az affektív számítástechnika eredményeiből kiindulva, az érzelmeik kutatásának és a robotikának többféle kapcsolódási pontja van, melyek egy része a robotok fejlesztésére, egy része maguknak az affektív jelenségeknek a megértésére irányulnak. Ezek a célok többek között a szociális robotok érzelmek kifejezések felismerésével és mutatásának képességével való felruházása az ember-robot interakciók javítása érdekében [29]; az érzelmeik, mint viselkedésszervező irányelvek felhasználása mesterséges ágenseknél; az érzelmeik neurobiológiai hátterének általánosítható, mesterséges ágensekre használható elveinek feltárása; a biológiai ágensekre kidolgozott érzelmi modellek tesztelhetősége robotok segítségével [30]. Az affektív számítástechnika gyakorlati alkalmazhatóságánál előtérbe kerül a mesterséges

érzelmek kialakítása és alkalmazása a mesterséges ágens helyzetnek megfelelő reakcióinak, döntéseinek kialakításában [31], ill. kognitív-érzelmi kontrol rendszerek részeként [32]. A mesterséges érzelmek döntéshozást segítő alkalmazhatósága érdeklődés tárgya például értéktőzsdei környezetben [33] és haditechnikai szempontokból is, melynél egyfajta mesterséges erkölcsi érzék, továbbá érzelmileg kiegyensúlyozott belső

állapot kialakítása merül fel az emberi érzelmek mesterséges modellezésének segítségével, azzal a céllal, hogy gyorsabb, és az emberi döntésekhez közelebb álló válaszokat adjanak a mesterséges rendszerek [34]. Azonban az ehhez hasonló rendszerek katonai alkalmazása jelentős etikai kérdéseket vet fel [35].

I. TÁBLÁZAT. AZ EGYES ÉRZELMEKET KIVÁLTÓ INGEREK, A KAPCSOLÓDÓ KOGNITÍV FELISMERÉSÜK, A BELSŐ ÉRZELMI ÁLLAPOT, A KIVÁLTOTT VISELKEDÉS ÉS A KIVÁLTOTT HATÁS, MINT FUNKCIÓ KAPCSOLATA. FORDÍTÁS PLUTCHIK ALAPJÁN [22]

Inger	Kogníció	Affektív állapot	Jellemző viselkedés	Hatás
fenyegetés	„veszély”	félelem	menekülés	biztonság
akadályoztatás	„ellenfél”	harag	támadás	akadály elhárítása
értékes objektum megszerzése	„birtoklás”	öröm	megtartás vagy ismétlés	erőforrás megszerzése
értékes objektum elvesztése	„elhagyatás”	szomorúság	sírás	újracsatlakozás az elveszett objektumhoz
saját csoport egy másik tagja	„barát”	elfogadás	ápolás vagy kurkászás	kölcsönös támogatás
rosszízú tárgy	„méreg”	undor	hányás	méreg eltávolítása
új terület	„felderítés”	elvárás, bizakodás	feltérképezés	territórium ismerete
váratlan esemény	„mi ez?”	meglepettség	megdermedés	idő az inger megfigyelésére

### III. ÉRZELEM DEFINÍCIÓK

Az érzelemnek, mint fogalomnak a tudományon belül továbbra sincs általánosan elfogadott, egységesített definíciója, mint ahogy azt láthatjuk a különböző definíciókra rávilágítani próbáló Izard [36] és az igyekezetét kritizáló Gendron [37] munkájából is. A különböző tudományterületek, illetve az eltérő érzelmi teóriák is más-más megközelítést használva definiálják az érzelmeket [38].

Scherer az érzelem értékelési teória (*appraisal theory*) egyik meghatározó alakja, mely elmélet a kogníciót helyezi előtérbe: az elmélet szerint az ingerek vagy szituációk adott szempontok szerinti kognitív értékelése okozza az érzelmek megjelenését és elkülönülését [17]. Scherer 2000-es írásában érzelem definícióját úgy fogalmazza meg, miszerint az érzelmek többféle komponens koordinált változásainak epizódjai, mely komponensek a neurofiziológiai aktiváció, motorikus kifejeződés és szubjektív érzet, de ide tartozhatnak a különböző akciókra való hajlamok és kognitív folyamatok is. Ezek a koordinált változások különböző, az egyedet érő jelentőségteljes külső vagy belső ingerek hatására lépnek fel [39]. Az érzelem értékelési teória a szociális robotika területén alkalmazható megközelítés, melyre példa a Roseman által továbbfejlesztett teória [40] alkalmazása kiszolgáló robotok számára kialakított érzelem generáló modellben [41].

Scherer, más kutatók munkáira is alapozva, elkülönítette az érzelmeket más, gyakran tévesen érzelmeként kezelt affektív jelenségektől. A fentebb ismertetett érzelem definíción túlmutatva elkülönít hangulatokat, személyek közti hozzáállásokat, attitűdöket, illetve személyiségvonásokat [39]. A hangulatokat diffúz affektív állapotokként fogalmazza meg, melyek leginkább a szubjektív érzet változásának szintjén jelennek meg, jellemzően alacsony intenzitással, de hosszabb távon hatva, sok esetben egyértelmű kiváltó ok nélkül. A személyek közti hozzáállás a különböző személyek közötti specifikus interakció során megjelenő affektív viszonyulás, mely az adott interakcióra hat. Az attitűdök más személyek vagy tárgyak felé mutatott, időben viszonylag állandó érzelmileg befolyásolt meggyőződések, hajlamok vagy preferenciák, míg a személyiségvonások stabil, az egyénre jellemző érzelmileg terhelt személyiségi jellemzők és viselkedési tendenciák [39]. A különböző affektív jelenségek tulajdonságainak eltéréseit a 2. táblázat mutatja be.

Az affektív jelenségek jellemző időtartamát alapul véve Keltner és munkatársai az érzelmi epizódokat pár másodpercig tartó érzelmekifejezésekre és testi reakciókra, illetve pár percen vagy órán át tartó érzelmi állapotokra osztja. Ezen felül megkülönböztet több órától akár hónapokig tartó hangulatokat, hetektől évekig tartó érzelmi rendellenességeket (hangulatzavarokat), és évekig vagy

egész életen át tartó személyiségvonásokat, mint affektív jelenségeket [19].

2. Táblázat. Az affektív jelenségeket összehasonlítása többféle tulajdonság alapján. A tulajdonságok az affektív jelenség intenzitása, jellemző időtartama, az affektív jelenséget felépítő komponensek szinkronizációja, az esemény általi kiválthatóság, az érzelmi értékelés (appraisal elicitation), az affektív jelenség változásának gyorsasága, és az egyed viselkedésének befolyásolása. A → a jelenség mértékének tartományát jelöli az egyes tulajdonságok esetében, mely terjedhet a tulajdonság hiányától (0) annak nagyfokú meglétéig (+++). Fordítás Scherer alapján [39].

Affektív jelenség	Intenzitás	Időtartam	Szinkronizáció	Esemény általi kiválthatóság	Érzelmi értékelés	Változás gyorsasága	Viselkedés befolyásolása
Érzelem (pl. harag, öröm)	++ → +++	+	+++	+++	+++	+++	+++
Hangulat (pl. vidám, nyugtalan)	+ → ++	++	+	+	+	++	+
Személyek közti hozzáállás (pl. támogató, megvető)	+ → ++	+ → ++	+	++	+	+++	++
Attitűd (pl. kedvelő, valamire vágyó)	0 → ++	++ → +++	0	0	+	0 → +	+
Személyiségvonás (pl. kockázatvállaló, féltekeny)	0 → +	+++	0	0	0	0	+

A különböző affektív jelenségek körülhatárolása és differenciált alkalmazása a mesterséges ágensok esetében is jelentőséggel bír, elősegítve rövid és hosszú távú affektív folyamatok kialakítását. Kirby és munkatársainak érzelmi modelljében a robot képernyőjén megjelenített virtuális arcok érzelmkifejezéseinek generálásakor elkülönítettek érzelmeket (rövid távú hatások), hangulatokat (hosszú távú, tapasztalatokon és várható eseményeken alapuló hatások) és attitűdöket (adott személyekhez kötődő, hosszú távú hatások) [42]. Egy másik példa az időbeli lefutásban, specifikusban és funkcióban is különböző affektív jelenségek használata a TAME (Time-Varying Affective Response) szoftverarchitektúrában [43], melyben személyiségvonásokat, attitűdöket, hangulatokat és érzelmeket modelleznek robotok érzelmkifejező viselkedésének létrehozásához.

Russell és Barrett [44] az érzelmeket prototípusos érzelmi epizódokként (*prototypical emotional episode*) határozza meg, melyek az ő definíciójukban is több elem összehatásából jönnek létre. Egy prototípusos érzelmi epizód komplex, egymással összefüggő résztörténekből áll össze, melyek egy adott valós vagy képzeletbeli tárgyra (személy, jelenség, dolog, helyzet) vonatkoznak, és tartalmazza az alapvető szubjektíven megélt érzelmet (*core affect*), az érzelmehez köthető viselkedési választ, az érzelme tárgyára irányuló figyelmet, annak értékelését, az érzelme megélésének tudatosulását, továbbá az ezekkel kapcsolatos fiziológiai és neurális folyamatokat [44]. Míg a *core affect*,

az alapvető szubjektíven megélt érzelme más affektív jelenségeknél is jelen lehet, a többi kritériummal együtt már sikeresen behatárolják a prototípusos érzelmi reakciókat, mint érzelme fogalmát. Russell következő fejezetben tárgyalt körkörös érzelmi modellje az érzelme ezen *core affect* komponensét rendszerezi [44].

A fenti, pszichológiai alapokon nyugvó definíciókkal szemben Nesse gyakorlatiasabb érzelme definíciója az érzelme evolúciós szerepére és az egyed számára betöltött funkciójára helyezi a hangsúlyt. Ezen definíció szerint az érzelme a természetes szelekció által formált speciális működési módok, melyek szabályozó hatásukkal befolyásolják az adott élőlény fiziológiai, pszichológiai és viselkedési paramétereit, ezáltal növelve képességét és hajlamát arra, hogy adaptívan reagáljon a specifikus helyzetekben jellemzően felmerülő veszélyekre és lehetőségekre [21]. Ez a definíció jól használható a bevezetőben tárgyalt etorobotikai megközelítésben is, a funkció és az evolúciós szemlélet előtérbe hozása révén.

#### IV. ÉRZELMI MODELLEK

Az érzelmi modellek, az egyes érzelme teóriákhoz és definíciókhoz kötődően úgyszintén számosak, azonban praktikusán két fő csoportba sorolhatóak. Mint már láttuk az érzelme esszencialista megközelítésével kapcsolatban, az érzelme vizsgálatában jelentős és sokat vitatott kérdés az érzelme egymástól való elkülöníthetősége, diszkrét

elemként való kezelhetősége. Az érzelmeket diszkrét egységekként kezelő modellek esetén jellemzően meghatároznak alapérzelmeket, mint például az öröm, harag, félelem, szomorúság vagy undor. Ezeket az érzelmi modelleket kifejezetten gyakran használják érzelmeket megjelenítő arckifejezések vizsgálata során [45], [46]. Több probléma is felmerül azonban az érzelmeket diszkrét kategóriákként kezelő modellekkel kapcsolatban [44]. Egyrészt a kategóriák sokszor nyelvspecifikusak, összehasonlításuk emiatt nehézkes, továbbá az is nagyon változatos, mit tekintenek az egyes kutatásokban alapérzelmeknek és mit zárnak ki ezek köréből. A kategorizálás módszerétől függően (pl. háttérben álló kognitív struktúra, arckifejezések, viselkedési tendenciák) eltérő számú alapérzelmeket különíthetnek el az egyes modellekben. A kategóriák elkülönítése ezen túlmutatóan sem egyértelmű, és egyre problémásabbá válik, ha kevésbé tipikus megjelenéseit vizsgáljuk az adott érzelmeknek, továbbá az érzelmekek összetett jellegét is nehezen kezeli a modell [44]. Ennek ellenére a diszkrét érzelmi modellek elterjedten használtak a szociális robotikában [47], mind az interakcióban résztvevő emberek érzelmkifejezéseinek felismerésekor [48], mind a robotok saját érzelmkifejezéseinek kialakításában, jellemzően az Ekman által is használt alapérzelmekeket meghatározva [49], [50].

A dimenzionális modellek, melyek gyakran a konstruktív elméletet követik, az érzelmekeket különböző dimenziók mentén vizsgálják egy absztrakt térben elhelyezve, mely segítségével a komplexebb érzelmekek is könnyebben teret kapnak, és a diszkrét érzelmi modelleknél jelentkező kategorizálási probléma sem lép fel, azonban a dimenziókban elhelyezett érzelmekek terének körülhatárolásával szükség esetén így is meghatározhatóak a diszkrét érzelmekek [51]. A dimenziók száma változhat, Cabanac modelljében például négy szempont szerint (intenzitás, hedonicitás, minőség és időtartam) helyezi el az érzelmekeket [52], de már az 1900-as évek elején is találkozhatunk három dimenziót (élvezet/kellemetlenség, izgalom/gátlás, feszültség/relaxáltság) használó modellekkel [17], melyben a minőség változóval az érzelmekek túl más mentális objektumokat is el tud helyezni a rendszerben. A dimenzionális modellek esetében a leggyakrabban ennél kevesebb dimenzióval foglalkoznak, melyek általában az intenzitás, és a hedonicitáshoz hasonló érzelmi töltet. A legismertebb és legátfogóbban használt modell, Russell körkörös érzelmi modellje [51] is ezt a két dimenziót használja az érzelmekek feltérképezéséhez (1. Ábra).

A klasszikus körkörös érzelmi modell gyakorlatiasan más dimenziókkal is kiegészíthető, például a megközelítés-eltávolodás reakciókkal, mint viselkedési tendenciákkal, melyek az érzelmekek szociális, interakciók során betöltött funkcionális szerepét emeli ki. Például düh/agresszió és félelem is betölthet hasonló teret az érzelmi töltet (negatív) és az intenzitás (magas intenzitás) alapján, de más viselkedési válasz várható: félelem esetén az érzelmet kiváltó fajtárs elkerülése, agresszív viselkedés esetén megközelítése jellemző [53].

A dimenzionális érzelmi modellek használata a diszkrét modellekhez hasonlóan elterjedt a robotikában [54]–[56].

## V. ÉRZELMI REAKCIÓK MÉRÉSE

Az emberi érzelmi reakciók mérésére többféle módszert dolgoztak ki a különböző kutatási kérdésekhez és alkalmazásokhoz optimalizálva [53]. A szociális robotika esetében érdemes különbséget tennünk aközött, hogy az érzelmi reakció mérésének az a célja, hogy a kutatások keretein belül vizsgáljuk például a robotok fizikai megjelenése vagy viselkedése által emberben kiváltott érzelmekeket, vagy hogy a robotokat ruházzuk fel azzal a képességgel, hogy működésük során tudják érzékelni a velük interakcióba lépő emberek érzelmi reakcióit, és aszerint reagálni. A céltól függően más-más módszerek alkalmazhatóak, például a kutatásokban elterjedt kérdőíves felmérésekkel szemben a roboton működő érzelmefelismerő alkalmazásoknál gyakori a gépi tanulás módszereken alapuló, automatizált érzelmefelismerő algoritmusok használata [57]–[59].

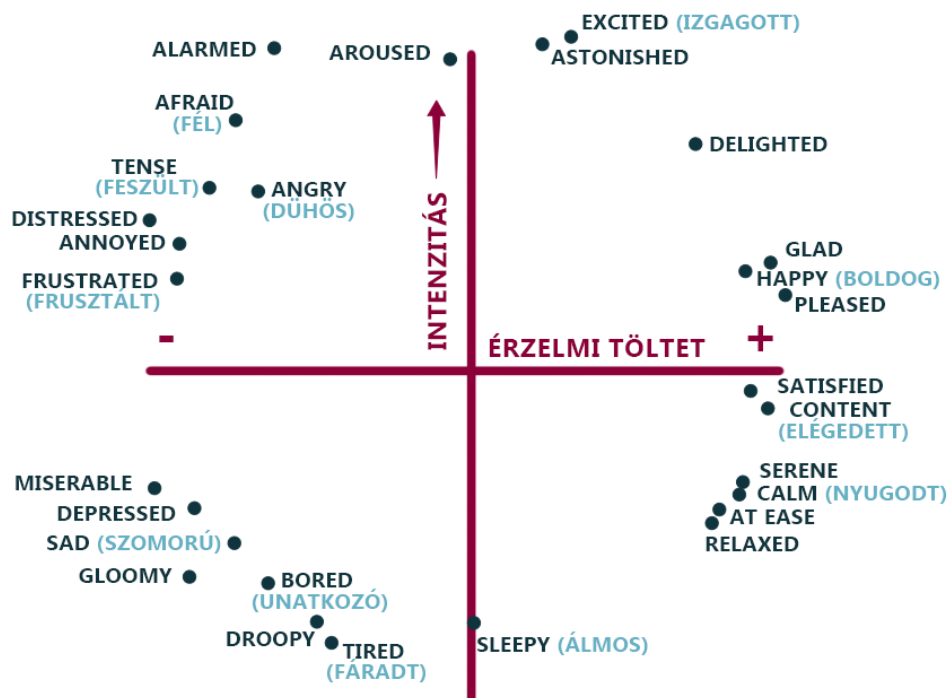
Mint a bevezetőben említettük, az érzelmi intelligencia [60] az ember-robot interakciók során is nagy jelentőséggel bír. Mások belső érzelmi állapotainak felismerési képessége kiterjedt kutatási kérdéskör az érzelmi intelligencia területén, melynek része maga az érzelmi intelligencia mérése is. A jellemzően önbevalláson alapuló, kérdőíves mérési módszerek elsősorban a *vonás-érzelmi intelligencia* (*trait emotional intelligence*) jelenségének vizsgálatára alkalmasak, míg a teljesítménytesztekkel a *képesség-érzelmi intelligencia* (*ability emotional intelligence*) mérhető [61]–[63]. A teljesítménytesztekkel történő érzelmi intelligencia mérés során alkalmazhatnak többek között verbális fluenciát, figyelem terjedelmet és pontosságot mérő teszteket is [63]. Az egyes érzelmekek felismerésének vizsgálatánál kérdéses az is, mit tekintünk a megfelelő válasznak: az egyén (célszemély) önbevalláson alapuló saját érzéseit, az egyént megfigyelő személyek egyetértő véleményét, konszenzusát, vagy az érzelmekek felismerésére speciálisan képzett szakértők véleményét [64].

Kérdőíves felmérésekkel lehetőség van az egyén által megélt, vagy adott szituációban elképzelt érzelmekek mérésére, mely történhet verbálisan, vagy akár az érzelmekeket kifejező arcok vagy karakterek segítségével [65]. A saját érzelmekekre vonatkozó kérdőívek pontossága jóval nagyobb, ha a pillanatnyilag a résztvevő által megélt érzelmekre kérdeznék rá, mint mondjuk egy elképzelt szituációban feltételezett érzelmekre, továbbá a dimenzionális modellek pontosabb képet adhatnak a megélt érzelmekekről, mint a diszkrét modellek, mivel azokban problémát okozhat az adott érzelmekek egyéni eltérő értelmezése [53]. Kérdőíveket természetesen használnak olyan kutatásokban is, ahol nem a résztvevő saját érzelmeire kérdeznék rá, hanem például a mások által kifejezett érzelmekek felismerését vizsgálják, például arckifejezések kultúrák közötti összehasonlításánál [66], más állatfajok érzelmefelismerő hangadásainak felismerésénél Likert-

skálán való értékeléssel [67], vagy akár robotok érzelmekifejező viselkedésénél [8].

Az érzelmi reakciók fiziológiai alapú mérése történhet az autonóm (vegetatív) idegrendszerben (*autonomic nervous system*, ANS) zajló változások vizsgálatával, melyek segítségével elsősorban az érzelmi töltet és az izgatottság

dimenzióiban lehet az érzelmeket elhelyezni [53]. Gyakori a kardiovaszkuláris reakciók mérése, mint például a vérnyomás, szívritmus, szívritmus variancia [68], vagy a bőr vezetőképesség-változásának mérése [69].



1. Ábra. Russel körkörös érzelmi modellje, melyen 28 érzelmekifejező szó került elhelyezésre [51]. A függőleges tengely az izgalmi állapotnak, intenzitásnak felel meg, míg a vízszintes tengely az érzelmi töltetnek. Mivel Russell munkájában az érzelmeket kifejező angol nyelvű szavak kísérleti eredmények alapján kerültek a modellben elhelyezésre, ezért az ábrán látható magyar nyelvű érzelmek neveket ezekkel nem feleltethetők meg teljes mértékben, csupán példaként szolgálnak

A fejlődő technológia segítségével az érzelmi reakciók mérésére az agyi folyamatokban is egyre több lehetőség nyílik. Az EEG (electroencephalográfia) mérés során a fejbőrre helyezett elektródák az agykérgi neuronok működéséből származó elektromos jeleket érzékelik [70]. Időbeli felbontása meglehetősen jó, térbeli felbontása azonban kevésbé. Elsősorban az érzelmi töltet, és megközelítési-eltávolodási motiváció mérésére alkalmas [53]. Az agyi képalkotó eljárások (PET scan, fMRI) térbeli felbontása már sokkal jobb [53]. Mindkét eljárásnál az agyi területek aktiváltságának változását az oxigénben dús vérellátás mérésével végzik, fMRI esetében a vér oxigénkoncentrációjában levő változást mágneses rezonanciaméréssel, PET esetében a szervezetbe juttatott pozitronot sugárzó izotópokkal [71]. Adott érzelmek köthetőek részben egyes agyterületek aktivációjához, így lehetőség nyílik specifikus érzelmi reakciókat vizsgáló kutatásokra is [53].

Az érzelmi reakciók vizsgálhatóak az ember vagy állat által mutatott viselkedések, vagy konkrét érzelmekifejezések megfigyelésével. Vannak olyan

érezelmekifejező viselkedések, melyek több állattani csoportnál is hasonló módon jelennek meg, és melyekből általános szabályszerűségeket vonhatók le [9]. Ilyen például a félelem esetében a veszélyt jelentő inger hatására történő menekülés [72], összekuporodás [73] vagy elsápadás [74]. A testtartás, mint érzelmekifejezés már Darwin antitézis elvében is megjelenik, azonban az emberi érzelmekifejezések esetén viszonylag kevésbé kutatott terület. Példákat azért itt is találunk, mint az agysérülésben szenvedő betegek testtartások alapján való félelem felismeréséről készült kutatást [75], vagy a szomorúsághoz köthető görnyedt testtartást [76].

Az arckifejezések vizsgálata már jóval elterjedtebb, és az érzelmekifejezések emberben való kutatásának egyik klasszikus megközelítése. Az arcmozgások objektív leírására kidolgozott legerjedtebb rendszer az Ekman-féle FACS (*Facial Action Coding System*), mely az egyes izmok összehúzódásai alapján 33 akciós elemet és 25 általánosabb fej- és szemmozgást határoz meg [77]. Az arckifejezéseken nyugvó érzelmekifejezések általános jellegét kultúrák közötti összehasonlításokkal szokták vizsgálni. Ugyan jóval

véletlenszint feletti érzelmefelismerés lehetséges az eltérő kultúrába tartozó emberek között [78], a felismerés korántsem tökéletes [79], továbbá a tanuláshoz is szerepe van a felismerés sikerében [66].

Az akusztikai, hangadáson alapuló érzelmek kifejezése esetén külön kell választanunk a verbális és nem-verbális jelzéseket. A nem-verbális érzelmek kifejezése jelentős hasonlóságokat mutatnak és jellemzően felismerhetőek különböző emberi kultúrák tagjai között [80], továbbá állati vokalizációk esetében is [81], [82]. A nem-verbális jelzések fajok közötti hasonlóságának és felismerésének alapja a szárazföldi emlősök evolúciósan konzervatív hangképzési módjának és a hangút anatómiájának köszönhető, melyet a hangforrás-szűrő teória (*Source-filter theory*) magyaráz [83]. A hang forrása a tüdőből kifelé a gégen átáramló levegő, mely megrezegteti a hangredőkből található hangszalagokat, létrehozva a hang alaphangfrekvenciáját és a felharmónikusokat. A hang a gége tetejétől továbbhalad a hangúton a száj-és orrüreg felé, mely során a hangút szűrőként működve felerősít vagy elnyom bizonyos frekvenciákat, így kialakítva a formánsoknak nevezett spektrális csúcsokat. A formánsok egymáshoz képesti elhelyezkedésének aktív változtatása eredményezi a beszédben a különböző hangzók kialakulását is [84]. A különböző vokalizációk minden valószínűség szerint önkéntelen, kilégzés közben hallatott hangokból fejlődtek ki az evolúció során, melyek jellemző belső állapot mellett jelentek meg (például ragadozó elől való menekülés közben végzett gyors mozgások révén), majd ritualizáció útján váltak kommunikációs jelzéseké [85]. Az így kialakult hangok akusztikai jellemzőiben megtalálhatjuk az eredeti belső állapottal kapcsolatos fiziológiai változások hatását; az előbbi példánál maradva a menekülő állat magas szintű izgalmi állapota a légzőizmok feszültségét és a hangszalagok megnyúlását okozta, mely hosszabb hanghosszt és nagyobb hangmagasságot eredményez [81]. Hangtani paraméterek, mint például az alaphangfrekvencia vagy a hanghossz akusztikus kulcsokként szolgálhatnak a hangot kiadó egyed érzelmi állapotának felismeréséhez. Ezek az akusztikus kulcsok egyszerű szabályszerűségekre mutatnak rá, miszerint a magasabb alaphangfrekvenciájú vokalizációkat jellemzően intenzívebbként, a rövidebb hangokat pedig pozitívabb érzelmi töltetűként ismerik fel az emberek. Ezek a szabályszerűségek megtalálhatóak az emberi és különböző állatfajok vokalizációinál [67], [86], de mesterségesen létrehozott hangoknál is [10].

Az emberi nem-verbális érzelmek kifejezéseknél találunk olyan, beszédhez nem kapcsolódó vokalizációkat, úgynevezett vokális kitérőket (*vocal bursts*), melyek nyelv és kultúrafüggetlen módon, sok esetben akaratlanul jelennek meg érzelmi helyzetekben. Ilyen például a sírás, nevetés, sikítás, sóhaj [87], melyekből 24 féle érzelmek kifejezésére alkalmas típust találtak [88].

Az emberi beszéd lingvisztikai és paralingvisztikai (nem-verbális) módon is közvetít információt, a konkrét szemantikai tartalomtól például a beszélőről, nyelvről és érzelméről [89]. Az affektív prozódia a beszéd nem-

verbális, érzelmeket kifejező akusztikai jellemzői, melyeket a szomatikus és autonóm idegrendszerben, érzelmek hatására bekövetkező változások indukálnak azáltal, hogy fiziológiai változásokat okoznak a hangképzésben szerepet játszó izmok működésében, a légzésben és a nyáltermelésben [84]. A légzésben bekövetkező változások befolyásolják a beszéd időtartamát, ütemét, amplitúdóját és az alaphangfrekvenciát, míg a nyáltermelés csökkenése magasabb frekvenciájú formánsokat eredményez. A különböző hangképzésben szerepet játszó izmok hatással vannak az alaphangfrekvenciára, a formánsokra és a frekvenciataromány különböző részein történő energiadisztribúcióra [84]. Banse és Scherer 29 akusztikai paraméter 14 érzelmenél történő vizsgálatánál 10 olyan paramétert talált, melyek segítségével könnyen elkülöníthetővé váltak az egyes érzelmek [90]. Az érzelmek mellett a prozódia olyan kommunikációs szempontból fontos jelenségek felismerését is segíti, mint például az irónia [91].

Az érzelmek beszédből történő felismerése egyre fontosabb szerepet tölt be az emberek és mesterséges ágensek közötti kommunikációban (például szociális robotok vagy call center applikációk esetén), így egyre több kutatás irányul arra, hogyan lehet szoftverek segítségével felismerni a beszéd érzelmi tartalmát, illetve a beszélő ember érzelmi állapotát a beszéd textuális vagy nem-verbális tartalmából [89]. A beszéden alapuló érzelmefelismerő rendszerek fejlesztésénél több probléma is felmerül. Sokszor gondot okoz az érzelmek, mint olyan definíálása, amely, mint már korábban láttuk a mai napig nem eldöntött kérdés a pszichológiában. Ehhez kapcsolódóan a beszéd alapú érzelmefelismerő rendszerek általában diszkrét érzelmekkel dolgozva, csak pár alapérzelmek felismerésére koncentrálnak, pl. [92]. A beszéd alapú érzelmefelismerő rendszereket befolyásolhatja a fejlesztésükhöz használt beszélő emberek egyedisége, illetve maga az adott nyelv, így ezek a rendszerek jellemzően nyelv-specifikusak.

A paralingvisztikai jellegek esetében a megfelelő akusztikus paraméterek kiválasztása az érzelmek felismeréséhez úgyszint összetett feladat, melyet befolyásol az elérhető beszéd adatbázisok minősége és jellege is [89]. Az ilyen adatbázisoknak három fő típusa van: a szimulált, melyben színészek játsszák el a kívánt érzelmet, és az érzelmek általában nagyon intenzíven és teljes formájában kerülnek megjelenítésre; a kiváltott, melyben mesterségesen előidézett, érzelmileg terhelt szituációkban rögzítik a résztvevők érzelmi megnyilvánulásait előzetes tudtuk nélkül; végül a természetes érzelmek kifejező beszéd adatbázisok valódi élethelyzetekben (pl. call centerekben vagy pilótafülkékben) rögzített beszélgetésekből állnak, melyekben az érzelmek legtöbbször jóval visszafogottabban jelennek meg, mint a színészek által eljátszott adatbázisoknál [89]. Ez utóbbi esetben a szoftveres érzelmefelismerés nehezebb lehet, de amennyiben a cél hasonló, valódi élethelyzetekben történő beszélgetéseknél való felhasználás, érdemes ilyen valós interakciókról készült

adatbázisra alapozni az érzelemfelismerést. A beszéd adatbázisokban az egyes érzelmek annotálása esetén különös figyelmet kell fordítani az annotálás szubjektivitásának csökkentésére, például több szakértői általi annotálás együttes figyelembevételével [89].

Az érzelemfelismerés során vizsgált akusztikus paraméterek nagy változatosságot mutatnak az egyes kutatások között. A hangforráshoz kapcsolódó paraméterek esetén linear prediction (LP) analízissel szűrjük a beszédet, eltávolítva a hangúthoz köthető hatásokat. Az LP reziduális jellemzői a hangszalagok és az azok közötti hangrés (glottis) működéséből erednek, mint például a hangszalagok nyitásától-zárásától származó glottal pulse, a glottális excitáció, vagy a glottal volume velocity [89], [93], melyek vizsgálhatóak szubszegmentális (3-5ms), szegmentális (10-30ms), és szupraszegmentális (100-300ms) szinteken [94]. Az LP reziduálisokat használják a beszélő és a hangzó felismerésére, beszéd kiemelésére többszereplős interakció esetén, de érzelmek elkülönítésére is. A hangútból származó információkat legtöbbször 20-30ms beszédsegmentumok alapján vizsgálják, elsősorban frequency domain analízissel. A formánsok amplitúdója és szélessége mellett a spektrális energia és a spektrális lejtés is használható, továbbá a logaritmikus spektrális amplitúdó Fourier-transzformációjával nyert cepstrum is [89]. A hangútból származó paramétereket elsősorban érzelemfelismerésre használják. A prozódiaát szupraszegmentális szinten szokták vizsgálni, melyet meghatároz többek között az időtartam, a hangmagasság kontúr (intonáció) különböző paraméterei és az energia. Ezeket a prozódiaiban érzelemfelismerésre használt paramétereket korábban már tárgyaltuk az emberi és állati vokális érzelemkifejezéseknél [84], [89].

Az emberi beszéddel kapcsolatos hazai, magyar nyelvre fókuszáló kutatásoknál találunk példát beszélgető szoftverbe integrált érzelem felismerő és generáló rendszerről [95], mely természetes beszéd szövegéből nyeri ki az érzelmi tartalmat, a Plutchik által meghatározott különböző diszkrét érzelmek segítségével [96]. A beszéd érzelmi tartalmának kinyerése hangfelvételekből komplex probléma, mellyel úgyszint foglalkoztak hazai kutatók: egy 2020-as kutatásban a képfelismerésben használt Fisher vektor reprezentációs módszert adaptálták erre a célra [97].

#### ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben az érzelmek kutatási módszereinek történeti áttekintése rávilágít a technológiai fejlesztések egyre fontosabb szerepére, mely az affektív számítástechnika megjelenésével hidat képez a robotikai fejlesztések számára. Az affektív jelenségek definícióinak összehasonlításával és az elterjedt érzelmi modellek bemutatásával eszköztárat kívántunk nyújtani a szociális robotok affektív képességeinek modellezésével foglalkozó mérnökök számára, míg az emberi nem-verbális érzelemkifejezések bevett mérési technikáinak összefoglalásával szándékunk az ember-robot interakciós kísérletes kutatások gyakorlati megtervezésének segítése volt.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészülését az ELKH-ELTE Összehasonlító Etológiai Kutatócsoport (01031), a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (2019-1.1.1-PIACI-KFI), és az OTKA (K143595) támogatja.

#### HIVATKOZÁSOK

- [1] T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn, "A survey of socially interactive robots," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 42, no. 3–4, pp. 143–166, 2003, doi: 10.1016/S0921-8890(02)00372-X.
- [2] C. Breazeal, "Emotion and sociale humanoid robots," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 59, no. 1–2, pp. 119–155, 2003, doi: 10.1016/S1071-5819(03)00018-1.
- [3] R. Rose, M. Scheutz, and P. Schermerhorn, "Towards a conceptual and methodological framework for determining robot believability," *Interact. Stud. Soc. Behav. Commun. Biol. Artif. Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 314–335, 2010, doi: 10.1075/is.11.2.21ros.
- [4] M. Mori, "The Uncanny Valley," *Energy*, vol. 7, 1970, doi: 10.1038/nm.2647.
- [5] Á. Miklósi, P. Korondi, V. Matellán, and M. Gácsi, "Ethorobotics: A new approach to human-robot relationship," *Front. Psychol.*, vol. 8, no. JUN, pp. 1–8, 2017, doi: 10.3389/fpsyg.2017.00958.
- [6] J. Topál *et al.*, *The Dog as a Model for Understanding Human Social Behavior*, vol. 39. 2009. doi: 10.1016/S0065-3454(09)39003-8.
- [7] Á. Miklósi and J. Topál, "What does it take to become 'best friends'? Evolutionary changes in canine social competence," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 287–294, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.tics.2013.04.005.
- [8] M. Gácsi, A. Kis, T. Faragó, M. Janiak, R. Muszyński, and Á. Miklósi, "Humans attribute emotions to a robot that shows simple behavioural patterns borrowed from dog behaviour," *Comput. Human Behav.*, vol. 59, pp. 411–419, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.chb.2016.02.043.
- [9] B. Korcsok *et al.*, "Biologically inspired emotional expressions for artificial agents," *Front. Psychol.*, vol. 9, no. JUL, pp. 1–17, 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.01191.
- [10] B. Korcsok, T. Faragó, B. Ferdinandy, Á. Miklósi, P. Korondi, and M. Gácsi, "Artificial sounds following biological rules: A novel approach for non-verbal communication in HRI," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-63504-8.
- [11] R. Midorikawa and M. Niitsuma, "Effects of Touch Experience on Active Human Touch in Human-Robot Interaction," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 22, pp. 154–159, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.11.534.
- [12] R. Stock-Homburg, "Survey of Emotions in Human–Robot Interactions: Perspectives from Robotic Psychology on 20 Years of Research," *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 14, no. 2, pp. 389–411, Mar. 2022, doi: 10.1007/s12369-021-00778-6.
- [13] P. Salovey and J. D. Mayer, "Emotional intelligence," *Imagin. Cogn. Pers.*, vol. 9, no. 3, pp. 185–211, 1990.
- [14] C. Darwin, *The expression of the emotions in man and animals*. London: John Murray, 1872.
- [15] C. G. Lange and I. A. Haupt, "The emotions,," 1922.
- [16] L. F. Barrett, "Navigating the Science of Emotion," in *Emotion Measurement*, Elsevier, 2016, pp. 31–63. doi: 10.1016/B978-0-08-100508-8.00002-3.
- [17] G. Coppin and D. Sander, "Theoretical Approaches to Emotion and Its Measurement," in *Emotion Measurement*, Elsevier, 2016, pp. 3–30. doi: 10.1016/B978-0-08-100508-8.00001-1.
- [18] J. E. LeDoux and S. G. Hofmann, "The subjective experience of emotion: a fearful view," *Curr. Opin. Behav. Sci.*, vol. 19, pp. 67–72, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.cobeha.2017.09.011.



- [19] D. Keltner, K. Oatley, and J. M. Jenkins, *Understanding emotions*. Wiley Hoboken, NJ, 2014.
- [20] J. E. LeDoux, "Emotion circuits in the brain," *Annual Review of Neuroscience*, vol. 23, pp. 155–184, 2000. doi: 10.1146/annurev.neuro.23.1.155.
- [21] R. M. Nesse, "Evolutionary explanations of emotions," *Hum. Nat.*, vol. 1, no. 3, pp. 261–289, Sep. 1990, doi: 10.1007/BF02733986.
- [22] R. Plutchik, "The nature of emotions: Human emotions have deep evolutionary roots, a fact that may explain their complexity and provide tools for clinical practice," *Am. Sci.*, vol. 89, no. 4, pp. 344–350, 2001, doi: 10.1511/2001.4.344.
- [23] J. Panksepp, "Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans," *Conscious. Cogn.*, vol. 14, no. 1, pp. 30–80, 2005, doi: 10.1016/j.concog.2004.10.004.
- [24] S. B. Daily *et al.*, "Affective Computing: Historical Foundations, Current Applications, and Future Trends," in *Emotions and Affect in Human Factors and Human-Computer Interaction*, Elsevier, 2017, pp. 213–231. doi: 10.1016/B978-0-12-801851-4.00009-4.
- [25] R. W. Picard, *Affective Computing*. MIT Press, 2000.
- [26] J. Botzheim, J. Woo, N. T. N. Wi, N. Kubota, and T. Yamaguchi, "Gestural and facial communication with smart phone based robot partner using emotional model," in *2014 World Automation Congress (WAC)*, Aug. 2014, pp. 644–649. doi: 10.1109/WAC.2014.6936076.
- [27] J. Woo, J. Botzheim, and N. Kubota, "Emotional Empathy Model For Robot Partners Using Recurrent Spiking Neural Network Model With Hebbian-Lms Learning," *Malaysian J. Comput. Sci.*, vol. 30, no. 4, pp. 258–285, Dec. 2017, doi: 10.22452/mjcs.vol30no4.1.
- [28] J. Woo, J. Botzheim, and N. Kubota, "A modular cognitive model of socially embedded robot partners for information support," *ROBOMECH J.*, vol. 4, no. 1, p. 10, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40648-017-0079-1.
- [29] F. Cavallo, F. Semeraro, L. Fiorini, G. Magyar, P. Sinčák, and P. Dario, "Emotion Modelling for Social Robotics Applications: A Review," *J. Bionic Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 185–203, Mar. 2018, doi: 10.1007/s42235-018-0015-y.
- [30] M. A. Arbib and J.-M. Fellous, "Emotions: from brain to robot," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 8, no. 12, pp. 554–561, Dec. 2004, doi: 10.1016/j.tics.2004.10.004.
- [31] Z. Kowalczyk and M. Czubenko, "Computational Approaches to Modeling Artificial Emotion – An Overview of the Proposed Solutions," *Front. Robot. AI*, vol. 3, no. APR, pp. 1–12, Apr. 2016, doi: 10.3389/frobt.2016.00021.
- [32] E. Daglarli, H. Temeltas, and M. Yesiloglu, "Behavioral task processing for cognitive robots using artificial emotions," *Neurocomputing*, vol. 72, no. 13–15, pp. 2835–2844, Aug. 2009, doi: 10.1016/j.neucom.2008.07.018.
- [33] D. Cabrera-Paniagua, C. Cubillos, R. Vicari, and E. Urrea, "Decision-making system for stock exchange market using artificial emotions," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 20, pp. 7070–7083, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2015.05.004.
- [34] A. T. Fehér and I. Négyesi, "A gépi érzelmek a fegyveres erőknél és az autonóm rendszerekben," *Hadtudományi Szle.*, vol. 14, no. 3, pp. 163–176, Dec. 2021, doi: 10.32563/hsz.2021.3.12.
- [35] P. Lin, K. Abney, and G. A. Bekey, *Robot ethics: the ethical and social implications of robotics*. MIT press, 2012.
- [36] C. E. Izard, "The Many Meanings/Aspects of Emotion: Definitions, Functions, Activation, and Regulation," *Emot. Rev.*, vol. 2, no. 4, pp. 363–370, Oct. 2010, doi: 10.1177/1754073910374661.
- [37] M. Gendron, "Defining Emotion: A Brief History," *Emot. Rev.*, vol. 2, no. 4, pp. 371–372, Oct. 2010, doi: 10.1177/1754073910374669.
- [38] R. Plutchik and H. Kellerman, *Theories of Emotion*, vol. 1. Academic Press New York, 1980. doi: 10.1016/c2013-0-11313-x.
- [39] K. R. Scherer, "Psychological Models of Emotion," in *The Neuropsychology of Emotion*, 2000, pp. 137–162.
- [40] I. J. Roseman, "Appraisal Determinants of Emotions: Constructing a More Accurate and Comprehensive Theory," *Cogn. Emot.*, vol. 10, no. 3, pp. 241–278, May 1996, doi: 10.1080/026999396380240.
- [41] H.-R. Kim and D.-S. Kwon, "Computational Model of Emotion Generation for Human-Robot Interaction Based on the Cognitive Appraisal Theory," *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 60, no. 2, pp. 263–283, Nov. 2010, doi: 10.1007/s10846-010-9418-7.
- [42] R. Kirby, J. Forlizzi, and R. Simmons, "Affective social robots," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 58, no. 3, pp. 322–332, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.robot.2009.09.015.
- [43] L. Moshkina, S. Park, R. C. Arkin, J. K. Lee, and H. Jung, "TAME: Time-Varying Affective Response for Humanoid Robots," *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 3, no. 3, pp. 207–221, Aug. 2011, doi: 10.1007/s12369-011-0090-2.
- [44] J. A. Russell and L. F. Barrett, "Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: Dissecting the elephant," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 76, no. 5, pp. 805–819, 1999, doi: 10.1037/0022-3514.76.5.805.
- [45] E. L. Rosenberg and P. Ekman, *What the face reveals: Basic and applied studies of spontaneous expression using the Facial Action Coding System (FACS)*. Oxford University Press, 2020.
- [46] P. Ekman, "Facial expression and emotion," *Am. Psychol.*, vol. 48, no. 4, pp. 384–392, 1993, doi: 10.1037/0003-066X.48.4.384.
- [47] M. Lewis and L. Cañamero, "Are Discrete Emotions Useful in Human-Robot Interaction? Feedback from Motion Capture Analysis," in *2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*, Sep. 2013, pp. 97–102. doi: 10.1109/ACII.2013.23.
- [48] M. Spezialetti, G. Placidi, and S. Rossi, "Emotion Recognition for Human-Robot Interaction: Recent Advances and Future Perspectives," *Front. Robot. AI*, vol. 7, no. December, pp. 1–11, Dec. 2020, doi: 10.3389/frobt.2020.532279.
- [49] H. Miwa *et al.*, "Effective emotional expressions with emotion expression humanoid robot WE-4RII," in *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566)*, 2004, vol. 3, no. 4, pp. 2203–2208. doi: 10.1109/IROS.2004.1389736.
- [50] M. Shayganfar, C. Rich, and C. L. Sidner, "A design methodology for expressing emotion on robot faces," in *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct. 2012, pp. 4577–4583. doi: 10.1109/IROS.2012.6385901.
- [51] J. A. Russell, "A circumplex model of affect," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 39, no. 6, pp. 1161–1178, 1980, doi: 10.1037/h0077714.
- [52] M. Cabanac, "What is emotion?," *Behav. Processes*, vol. 60, no. 2, pp. 69–83, Nov. 2002, doi: 10.1016/S0376-6357(02)00078-5.
- [53] I. B. Mauss and M. D. Robinson, "Measures of emotion: A review," *Cogn. Emot.*, vol. 23, no. 2, pp. 209–237, Feb. 2009, doi: 10.1080/02699930802204677.
- [54] H. Gunes and M. Pantic, "Automatic, Dimensional and Continuous Emotion Recognition," *Int. J. Synth. Emot.*, vol. 1, no. 1, pp. 68–99, Jan. 2010, doi: 10.4018/jse.2010101605.
- [55] Y. Hu and G. Hoffman, "Using Skin Texture Change to Design Emotion Expression in Social Robots," in *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, Mar. 2019, vol. 2019-March, pp. 2–10. doi: 10.1109/HRI.2019.8673012.
- [56] M. Tielman, M. Neerincx, J.-J. Meyer, and R. Looije, "Adaptive emotional expression in robot-child interaction," in *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, Mar. 2014, pp. 407–414. doi: 10.1145/2559636.2559663.
- [57] P. V. Rouast, M. T. P. Adam, and R. Chiong, "Deep Learning for Human Affect Recognition: Insights and New Developments," *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 12, no. 2, pp. 524–543, Apr. 2021, doi: 10.1109/TAFFC.2018.2890471.
- [58] P. Rani, C. Liu, N. Sarkar, and E. Vanman, "An empirical study of machine learning techniques for affect recognition in human-robot

- interaction.” *Pattern Anal. Appl.*, vol. 9, no. 1, pp. 58–69, May 2006, doi: 10.1007/s10044-006-0025-y.
- [59] J. Zhang, Z. Yin, P. Chen, and S. Nichele, “Emotion recognition using multi-modal data and machine learning techniques: A tutorial and review,” *Inf. Fusion*, vol. 59, no. January, pp. 103–126, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.inffus.2020.01.011.
- [60] D. Goleman, *Emotional intelligence*. New York: Bantam Books, 1995.
- [61] I. Goldenberg, K. Matheson, and J. Mantler, “The Assessment of Emotional Intelligence: A Comparison of Performance-Based and Self-Report Methodologies,” *J. Pers. Assess.*, vol. 86, no. 1, pp. 33–45, Feb. 2006, doi: 10.1207/s15327752jpa8601\_05.
- [62] K. V. Petrides and A. Furnham, “Trait emotional intelligence: psychometric investigation with reference to established trait taxonomies,” *Eur. J. Pers.*, vol. 15, no. 6, pp. 425–448, Nov. 2001, doi: 10.1002/per.416.
- [63] H. Nagy, “A Salovey-Mayer-féle érzelmi intelligencia modell érvényességének elemzése,” *Magy. Pszichol. Szle.*, vol. 67, no. 1, pp. 105–124, 2012, doi: 10.1556/MPSzle.67.2012.1.7.
- [64] J. D. Mayer and G. Geher, “Emotional intelligence and the identification of emotion,” *Intelligence*, vol. 22, no. 2, pp. 89–113, Mar. 1996, doi: 10.1016/S0160-2896(96)90011-2.
- [65] H. L. Meiselman, *Emotion Measurement*. Woodhead Publishing, 2016. doi: 10.1016/C2014-0-03427-2.
- [66] H. A. Elfenbein and N. Ambady, “When familiarity breeds accuracy: Cultural exposure and facial emotion recognition,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 85, no. 2, pp. 276–290, 2003, doi: 10.1037/0022-3514.85.2.276.
- [67] I. L. Maruščáková, P. Linhart, V. F. Ratcliffe, C. Tallet, D. Reby, and M. Špinko, “Humans (*Homo sapiens*) judge the emotional content of piglet (*Sus scrofa domestica*) calls based on simple acoustic parameters, not personality, empathy, nor attitude toward animals,” *J. Comp. Psychol.*, vol. 129, no. 2, pp. 121–131, May 2015, doi: 10.1037/a0038870.
- [68] R. Sinha, W. R. Lovallo, and O. A. Parsons, “Cardiovascular differentiation of emotions,” *Psychosom. Med.*, vol. 54, no. 4, pp. 422–435, Jul. 1992, doi: 10.1097/00006842-199207000-00005.
- [69] M. van Dooren, J. J. G. (Gert-J. de Vries, and J. H. Janssen, “Emotional sweating across the body: Comparing 16 different skin conductance measurement locations,” *Physiol. Behav.*, vol. 106, no. 2, pp. 298–304, May 2012, doi: 10.1016/j.physbeh.2012.01.020.
- [70] J. C. Borod, *The neuropsychology of emotion*. Oxford University Press, 2000.
- [71] K. L. Phan, T. Wager, S. F. Taylor, and I. Liberzon, “Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI,” *Neuroimage*, vol. 16, no. 2, pp. 331–348, Jun. 2002, doi: 10.1006/nimg.2002.1087.
- [72] L. M. Dill and R. Houtman, “The influence of distance to refuge on flight initiation distance in the gray squirrel (*Sciurus carolinensis*),” *Can. J. Zool.*, vol. 67, no. 1, pp. 233–235, Jan. 1989, doi: 10.1139/z89-033.
- [73] T. Caro, *Antipredator defenses in birds and mammals*. University of Chicago Press, 2005.
- [74] H. Critchley and S. Garfinkel, “Neural correlates of fear: insights from neuroimaging,” *Neurosci. Neuroeconomics*, p. 111, Dec. 2014, doi: 10.2147/NAN.S35915.
- [75] R. Sprengelmeyer *et al.*, “Knowing no fear,” *Proc. R. Soc. London. Ser. B Biol. Sci.*, vol. 266, no. 1437, pp. 2451–2456, Dec. 1999, doi: 10.1098/rspb.1999.0945.
- [76] V. Konok, K. Nagy, and Á. Miklósi, “How do humans represent the emotions of dogs? The resemblance between the human representation of the canine and the human affective space,” *Appl. Anim. Behav. Sci.*, vol. 162, pp. 37–46, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.applanim.2014.11.003.
- [77] P. Ekman and W. V. Friesen, “Facial action coding system,” *Environ. Psychol. & Nonverbal Behav.*, 1978.
- [78] P. Ekman *et al.*, “Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 53, no. 4, pp. 712–717, 1987, doi: 10.1037/0022-3514.53.4.712.
- [79] J. A. Russell, “Is there universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies,” *Psychol. Bull.*, vol. 115, no. 1, pp. 102–141, 1994, doi: 10.1037/0033-2909.115.1.102.
- [80] P. Laukka *et al.*, “Cross-cultural decoding of positive and negative non-linguistic emotion vocalizations,” *Front. Psychol.*, vol. 4, no. JUL, pp. 1–8, 2013, doi: 10.3389/fpsyg.2013.00353.
- [81] A. Andics and T. Faragó, “Voice Perception Across Species,” in *The Oxford Handbook of Voice Perception*, S. Frühholz and P. Belin, Eds. Oxford University Press, 2018, pp. 362–392. doi: 10.1093/oxfordhb/9780198743187.013.16.
- [82] P. Filippi *et al.*, “Humans recognize emotional arousal in vocalizations across all classes of terrestrial vertebrates: Evidence for acoustic universals,” *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 284, no. 1859, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1098/rspb.2017.0990.
- [83] G. Fant, “Acoustic Theory of Speech Production,” *Mouton, The Hague, The Netherlands*, pp. 125–128, 1960.
- [84] E. F. Briefer, “Vocal expression of emotions in mammals: Mechanisms of production and evidence,” *J. Zool.*, vol. 288, no. 1, pp. 1–20, Sep. 2012, doi: 10.1111/j.1469-7998.2012.00920.x.
- [85] T. C. Scott-Phillips, R. A. Blythe, A. Gardner, and S. A. West, “How do communication systems emerge?,” *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 279, no. 1735, pp. 1943–1949, 2012, doi: 10.1098/rspb.2011.2181.
- [86] T. Faragó, A. Andics, V. Devesçeri, A. Kis, M. Gácsi, and Á. Miklósi, “Humans rely on the same rules to assess emotional valence and intensity in conspecific and dog vocalizations,” *Biol. Lett.*, vol. 10, no. 1, 2014, doi: 10.1098/rsbl.2013.0926.
- [87] P. Belin, S. Fillion-Bilodeau, and F. Gosselin, “The Montreal Affective Voices: A validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing,” *Behav. Res. Methods*, vol. 40, no. 2, pp. 531–539, 2008, doi: 10.3758/BRM.40.2.531.
- [88] A. S. Cowen, H. A. Elfenbein, P. Laukka, and D. Keltner, “Mapping 24 emotions conveyed by brief human vocalization,” *Am. Psychol.*, vol. 74, no. 6, pp. 698–712, Sep. 2019, doi: 10.1037/amp0000399.
- [89] S. G. Koolagudi and K. S. Rao, “Emotion recognition from speech: A review,” *Int. J. Speech Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 99–117, Jun. 2012, doi: 10.1007/s10772-011-9125-1.
- [90] R. Banse and K. R. Scherer, “Acoustic profiles in vocal emotion expression,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 70, no. 3, pp. 614–636, 1996, doi: 10.1037/0022-3514.70.3.614.
- [91] G. A. Bryant, “Prosodic Contrasts in Ironic Speech,” *Discourse Process.*, vol. 47, no. 7, pp. 545–566, Oct. 2010, doi: 10.1080/01638530903531972.
- [92] T. L. Nwe, S. W. Foo, and L. C. De Silva, “Speech emotion recognition using hidden Markov models,” *Speech Commun.*, vol. 41, no. 4, pp. 603–623, Nov. 2003, doi: 10.1016/S0167-6393(03)00099-2.
- [93] G. Fant, “Glottal flow: models and interaction,” *J. Phon.*, vol. 14, no. 3–4, pp. 393–399, Oct. 1986, doi: 10.1016/S0095-4470(19)30714-4.
- [94] D. Pati and S. R. M. Prasanna, “Subsegmental, segmental and suprasegmental processing of linear prediction residual for speaker information,” *Int. J. Speech Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 49–64, Mar. 2011, doi: 10.1007/s10772-010-9087-8.
- [95] T. Gábor and L. László, “Nyelvi elemek érzelmi töltetének vizsgálata és felhasználása természetes nyelvi dialógusrendszerben,” *Alexin Zoltán, Csendes Dóra Magy. Szám\{i\}tógépes Nyelvészeti Konf. MSZNY*, pp. 102–107, 2003.
- [96] R. Plutchik, “A general psychoevolutionary theory of emotion,” *Theor. Emot.*, vol. 1, no. 3–31, p. 4, 1980.
- [97] G. Gosztolya, “Using the Fisher Vector Representation for Audio-based Emotion Recognition,” *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 17, no. 6, pp. 7–23, 2020, doi: 10.12700/APH.17.6.2020.6.1.



© 2023 by the authors. Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).