

Tunnekoneista

Jussi Hanhijärvi

Jussi Hanhijärvi
YLE, Oy Yleisradio Ab

jussi.hanhijarvi@yle.fi

Tiivistelmä

Tutkielman innoituksen lähteenä on ollut Stanley Kubrikin ja Arthur C. Clarken luoma elokuva 2001 Avaruusseikkailu sekä tähän pohjautuva kirja HALs legacy: 2001's Computer as Dream and Reality. Elokuvan huomionarvoisena seikkana oli HAL 9000 tietokoneen ”inhimillisuus”. Tutkielmassa pyritään hahmottamaan tämän päivän teknologian ja tutkimuksen tila eli pyritään hahmottamaan voidaanko HAL:n kaltaisia koneita rakentaa jo tänään. Ongelma pilkottiin useampaan osaan. Ensimmäkin pyritään hahmottamaan mitä oikein tunteilla tarkoitetaan Toiseksi pyritään etsimään vastaus kysymykseen miten kone voi tunnistaa käyttäjän tunteita. Kolmanneksi pohditaan mahdollisuutta voidaanko tunteita syntetisoida koneellisesti. Lopulta käsitellään lyhyesti muutamaa sovellusta.

Perinteisesti on elottomaan luontoon kohdistuvassa ja teknisessä tutkimuksessa tunteiden käsittelyä pidetty sangen vieraana. Näillä aloilla on totuttu viileisiin, hyvin muotoiluihin, eksakteihin ja verifiointikelpoisiin argumentteihin ja artefakteihin käsiteltävästä ilmiöstä. Tunteiden ymmärretään olevan häilyviä, epämääräisiä ja jotain sellaista, johon on vaikea soveltaa luonnontieteellistä lähestymistapaa. Niiden on arveltu olevan vaikeita argumentoida matemaattisin käsittein tai toistettavin kokein. Tunteiden on ajateltu soveltuvan hyvin taiteisiin, viihteeseen ja sosiaaliseen – ihmisten väliseen - kanssakäymiseen mutta ei juuri tekniikkaan. - Mutta toisaalta jos haluamme koneittemme olevan älykkäitä, sopeutuvan käyttäytymisemme, vuorovaikuttavan luontevasti kanssamme tekevän näppäriä ja luovia ratkaisuja niin niillä pitää olla kyky havaita ja ilmaista tunteita, omata tunteita ja ’tunneäly’ [2, 18]. Eli koneiden pitää olla jollain tavalla ”inhimillisiä” – pelkää rationaalinen, järjellinen käyttäytyminen ei riitä.

Storkin toimittamassa kirjassa [1] Rosalind Picard analysoi Avaruusseikkailu 2001 HAL tietokoneen ’tunteellisuutta’ ja toteaa HAL:n sisältävän mm. seuraavat keskeiset piirteet, joiden katsotaan hyvin edustavan tunnekoneen¹ piirteitä:

- HAL pystyi tuntemaan pelkoa eli kokemaan uhkaa joko kohdistui sen omaan olemassaoloon. Itse asiassa pyrkiessään tuhoamaan lennon miehistön pyrki se suojelemaan omaa itseään ja lennon missiota.
- HAL oli sosiaalinen ja auttavainen – ainakin se väitti näin BBC:n haastattelijalle.

¹ Hankalasti käännettävä englannin kielten ermi ”affective computer” on tässä vapasti käännetty tunnekone vastineeksi.

Tässä ilmenee HAL:n mahdollinen syy neuroottiseen käyttäytymiseen: Se oli ensinnäkin ohjelmoitu auttavaiseksi, toiseksi miehistö epäili sen toiminnan virheettömyyttä ja kolmanneksi sillä oli suuri – myös miehistöltä piilotettu – salaisuus. Melko ristiriitainen tilanne².

- HAL mahdollisesti pystyi esteettisiin elämyksiin Arvioidessaan Bowman piirustuksia, niin se totesi Bowmanin kehittyneen. Tietenkin on mahdollista, että HAL arvioi vain mekaanisen piirustustaidon paranemista, mutta jos HAL todella kykeni tuntemaan, niin arviointi saattoi perustua esteettiseen näkemykseen ja se saattoi ”nauttia” tietynlaisesta kauneudesta.
- HAL osasi arvioida miehistön jäsenten tunteita. Tämä tapahtui äänensävyjen ja kasvojen ilmeiden tulkinnalla. Sekä kirjassa että elokuvassa HAL:lla ei ollut minkäänlaista kosketusaistia tunnistamaan neurofysiologisia signaaleja kuten sydämen lyöntitiheyttä, hikoilua, verenvainetta, ihon sähkövastuksen muutosta jne. Seikkoja joiden tiedetään olevan läheisesti yhteydessä pelkoon, iloon, vihaan jne. Ja jotka ovat keskeisiä seikkoja nykyisissä tunnekone tutkimuksessa
- HAL:lla on jonkinlainen ihmistuntemus eli se pystyi erottamaan eri ihmisissä erilaisilla näkyvät tunteiden ilmaisut.
- HAL kykeni kognitiiviseen järkeilyyn eli ymmärtämään henkilön tavoitteet ja arvioimaan tämän tulevat tunnetilat. HAL kykeni arvaamaan Bowmanin tekevän kohtalokkaan virheen (unohtamaan kypäränsä) mennessään pelastamaan Poolen.

HAL:n ystävällinen, rauhallinen ja rakastettava käyttäminen sai sen tuntumaan jollain tavalla inhimilliseltä ja monet katsojat kokivat – ainoan elossa olevan astronautin Dave Bowmannin kytkiessä piirejä irti - HAL ‘kuoleman’ olevan suurempi menetys kuin astronautti Poolen lipumisen syvään avaruuteen[1]. Vaikka se oli jo tappanut neljä miehistön jäsentä, ei se millään tavalla tuntunut inhottavalta sarjamurhaajalta.

Vaikka HAL käyttäytyi sillä tavalla, että ulkopuolinen tarkkailija voisi päätellä sillä olevan tunteita, niin silti ei voida sanoa kokiko se tunteita, elämyksiä. Vaikka kysymys onkin perusluonteeltaan filosofinen niin silti tässä yhteydessä se on erinomaisen tärkeä. Käy nimittäin ilmi, että monien tunteiden (kuten syyllisyyden ja häpeän) kokemisen kannalta jonkinasteinen itsetietoisuus on perusedellytys. Tällä tarkoitamme, että kokija voi erottaa itsensä erilliseksi subjektiksi, jolla on aktiivinen vuorovaikutussuhde ympäristönsä kanssa. Storkin kirjaan laatimassaan artikkelissa Picard tarkasteli kahdella esimerkillä tietokoneen itsetietoisuutta ja edellytyksiä tunteiden kokemiseksi ja tuottamiseksi [1]:

Skenaario 1: Kuvitellaan uutta planeettaa tutkivaa robottia, jolle selviytyäkseen vieraassa ympäristössä on annettu tiettyjä perustunteita, eli tunteiksi nimettyjä toimintatiloja. *Normaali* tilassa se tutkii planeettaa, keräten ja analysoiden dataa sekä lähettää tuloksia maahan. Eräänä hetkenä se havaitsee tilanteen, jossa se voi vaurioitua ja siirtyä uuteen tilaan, jota voimme kutsua vaikka *peloksi*. Tässä robotti käyttäytyy toisenlaisesti: se suuntaa nopeasti jäljellä olevat resurssinsa tilanteessa esiintyvien uhkien havaitsemiseksi esimerkiksi sen kameran himmennin saattaa aueta suuremmaksi (“pupillit laajenevat”) pienentäen syväterävyyttä ja näkemisen tarvitsemaa tehonkulutusta, se voi käyttää kaikki jäljellä olevat moottorit hot poistua kseen (paetakseen) vaaranalaiselta

² Clarcken kirjassa todetaan, että HAL:n ohjelmointiin oli pujahtanut tässä kohden virhe.

paikalta, tieteellisten tulosten välittämiseen suunniteltu viestijärjestelmä saattaa siirtyä avunantoa pyytävään tilaan jne. Niin kauan kuin robotti on pelko –tilassa ei se kykene tekemään varsinaista missiotaan (tutkimusta). Robotin käyttäytymien muistuttaa suuresti ihmisen käyttäytymistä havaitessaan todellisen uhkaavan vaaran.

Skenaario 2: Kuvitellaan konetta, jonka tehtävänä on järjestellä käyttäjän tapaamisia ja hankkia hänelle tärkeitä tietoja. Se on ohjelmoitu adaptiiviseksi eli se pyrkii kehittymään alati nokkelammaksi. Se voi saada takaisinkytkentänä siten että käyttäjä voi valita luettelosta tiettyjä ominaisuuksia ja asetuksia (eli reagoititapoja tiettyihin tapahtumiin) tai kone voi tarkkailla käyttäjän vasteita ja näin ohjelmoida itse itseään. Tietokoneella on erilaisia tiloja, joita voidaan tavallaan kutsua tunteiksi:

- *Hyvän olon*-tunteeksi sanotaan tilaa, jossa käyttäjä on joko selvästi ilmaissut tyytyväisyytensä koneen toiminnoista tai hän on suoriutunut tietystä tehtävästä nopeammin ja tarkemmin kuin tavallisesti.
- Vastaavasti koneella on *masennus* tunne kun tilanne on päinvastoin kuin edellä.
- Ollessaan *ymmällään* kone ei tiedä onko se suoriutunut tehtävästään oikein tai väärin
- *Uteli*as-tilassa se pyrkii oma-aloitteisesti parantamaan omaa suoritustaan.
- *Neutraalissa* tilassa koneella ei ole tunteita sinne tai tänne.

Kun järjestelmä on ollut muutaman päivän hyvän olon tilassa pyrkii se siirtymään uteli

as-tilaan, jolloin se etsii uusia keinoja annetun tehtävän suorittamiseksi (vastaavasti se ottaa tällöin myös riskejä). Kun kone kärsii huonon olon tilasta pyrkii se allokoimaan lisää resursseja ja yrittää ymmärtää käyttäjän toiveita. Käyttäjän asettaessa uuden mutkikkaan sarjan toimintavaatimuksia koneelle pyrkii tämä arvioimaan hyvän olon ja masennus tilan johtaneita tilanteita. Arvioinnin tuloksen tavoitteena on hyvän olon tila eli se valitsee sellaiset toiminnot, jotka aikaisemmin joko johtivat käyttäjän selvästi ilmaisemaan tyytyväisyyteen tai tehtävien suoritus oli nopeampaa ja tehokkaampaa. Toisin kuin kiinteästi ohjelmoidut tietokonejärjestelmät niin tällainen adaptiivinen henkilökohtainen apulainen ei vaadi täsmällisiä sääntöjä eikä edellytä käyttäjältä yhdenmukaista vakioitunutta käyttäytymistä. Kone on tietoinen käyttäjän dynaamisuudesta ja eikä käyttäjä aina muista ilmaista tyytyväisyyttään ja toisinaan hän moittii koneen käyttäytymistä oikeudettomasti (tällöin kone saattaa hieman nenäkkäästi kysyä selvityksiä).

Jo tänään Picardin esittelemät skenaariot 1 ja 2 eivät ole utopioita. Skenaario 1:n mukaisia robotteja ja järjestelmiä on tutkittu ja toteutettu erityisesti vaaranalaisiin kohteisiin tarkoitetuissa laitteissa ja vikasietoisissa (vian korjaavissa) automaatiojärjestelmissä. Skenaario 2:n mukaisia järjestelmiä on tutkittu ja demonstroitu tekoäly, tietämuskanta ja agentti tutkimuksessa. Aikaisemmin koneiden tiloja ei vain ymmärretty otsikoida tunne yleistermin alle. - Picardin skenaarioissa on joitakin tärkeitä tunteisiin viittaavia tuntomerkkejä:

- a) Koneet ovat itsetietoisia eli tiedostavat ja toimivat tietylle tunne-tilalle ominaisella tavalla.
- b) Tunnetilat ovat koneen sisäisiä tiloja.
- c) Tunne tilasta toiseen siirtyminen tapahtuu joko ulkoisen herätteen seurauksena (esimerkiksi skenaario 1:n pelko) tai sisäisinä havaintoina (esimerkiksi skenaario 2:n uteli
- d) Ilmaisevat ulospäin tunteensa, tilansa, ulkopuolisen havaitsijan ymmärtämällä tavalla.
- e) Koneet ovat sopeutuvaisia ympäristöönsä.

1 MITÄ TARKOITETAAN TUNTEILLA

Sanakirja määrittelee tunteen olevan ”jonkin sielullisen tapahtuman tai tajunnansisällyksen elämyksellinen kokeminen mieluisan tai epämieluisan sävyisenä”. [20]. Tunteilla on keskeinen merkitys ihmisen henkiinjäämisessä ja sopeutumisessa ympäristöönsä. Ne motivoivat tai käynnistävät tiettyjä moraaliseksi kutsuttuja käytöstapoja Tapoja, jotka edelleen muodostavat merkittävän osan modernin sivilisaation perusteista [19]. Tunteet vaikuttavat ratkaisevasti empaattiseen tai altruistiseen käyttäytymiseen ja niillä on suuri vaikutus ihmismielen luovassa toiminnassa³. Tunteilla on ratkaiseva merkitys maailman havaitsemisessa ja sen ilmiöiden tulkinnassa. Päivittäin on havaittu, että tunteet hyvin pitkälle säätelevät ihmisten tekemiä toimintoja ja ratkaisuja.

Tunteen käsite ymmärretään tässä muodostuvan kolmitasoisesta hierarkiasta: Ensinnäkin elollisesta orgaanista, neurofysiologisista ilmiöistä, toiseksi tunteen kokemisesta (subjektiivisena henkisenä tapahtumana) sekä kolmanneksi tunteen ilmaisemisesta. Ajatellaan tunteen kokemisen vuorovaikuttavan neurofysiologisten prosessien kanssa tai tietty fysiologinen prosessi voi johtaa tietyn tunteen kokemiseen (esimerkiksi viha voi olla seurausta adrenaalinin erittymisestä). Lopulta tunteen ulospäin näkyvä ilmaisu on seurausta tunteen kokemisesta. Tunteen käsitettä ja ilmenemismuotoa voimme tarkastella toisaalta humanistisilta tai toisaalta kokeellisen tieteen lähtökohdista.

1.1 Humanistinen lähestymistapa

Tunteiden kuvausta ja analysointia on tehty jo kirjoitetun ja kuvatuksen kulttuurin alusta lähtien. Antiikin filosofit pohdiskelivat tunteiden olemusta ja merkitystä laajasti, muodostaen kiinteän pohjan myöhempien aikojen filosofioille. Aristoteles Retoriikka teoksessaan kuvailee pelon, vihan ja häpeän merkitystä, syytä ja seurausta. Hän havaitsee, että vihan syynä on epäoikeudenmukainen loukkaus, pelon syynä vaaran havaitseminen ja häpeän tunne on seurausta epäkunnioittavista tai epäsuosituista teoista. Aristoteles suosi tunteiden järjenvaraista hillintää, niiden pitäisi antaa vaikuttaa vain oikealla ajalla ja oikealla tavalla. - 1600 luvulla elänyt brittiläinen filosofi John Rainolds jatkoi Aristoteleläistä tunteiden kausaalista selittämistä. Rainoldsille tunteet ovat ihmisen perusluonteeseen kuuluvia aktiivisia, energisovia tekijöitä Hänen mukaan älyllisellä harjoittelulla voidaan kylläkin hallita tunteita mutta toisaalta älyllä ei juurikaan ole suurtakaan vaikutusta ympäristöön ilman tunteita

Plaise Pascal ja David Hume käänivät Rainoldsin käsitykset olettamalla tunteilla olevan etusijansa ihmisen käyttäytymisessä. Hume katsoi järjen olevan tunteiden orja ja Pascalin tiedetään todenneen: “sydämellä on syynsä jota järki ei tiedä”. Vaikka Hume olettikin tunteiden ohjaavan tai säätelevän järkeä (älyä) niin määräävien tunteiden pitäisi olla luonteeltaan moraalisia eli hyvää elämäntapaa ohjailevia.

Filosofit ovat pohdiskelleet monia tunteita koskevia kysymyksiä. Ovatko ne aktiivisia vai passiivisia ? Voidaanko niitä selittää yksinomaan neurofysiologisina tapahtumina, eli ovatko tunteet lopulta materiaalisia luonteeltaan ? Ovatko ne tahdonalaisia vai tahdosta riippumattomia ?

³ Tyytyväinen ihminen on luovempi kuin ristiriitojen vaivaama. Ehkäpä siksi – kuten historia opettaa – kulttuurimme suurimmat kehityshypäykset ajoittuvat aina käsikädessä taloudellisen hyvinvoinnin kanssa.

Viime kädessä tunteen käsitteeseen sisältyy tietynlainen kahtiajako. Tunteet ovat yleensä aktiivisia ja generoivat toimintoja sekä tajunnansisäisiä tapahtumia. Toisaalta tiedetään että äärimmäinen pelko tai viha voi jähmettää käyttäytymisen ja puuduttaa henkisesti. Tunteita voidaan myös kuvata neurokemiallisella prosessilla ja toisaalta havaittavana persoonallisena käyttäytymisenä. Tunteet ovat rationaalisia siinä mielessä, että ne auttavat yksilön sopeutumisessa ympäristöönsä ja näin helpottavat tilanteen havainnointia. Tunteet ovat epärationaalisia siinä mielessä, että ne voivat esiintyä neurokemiallisina prosessina ja tunnistamattomina (joko tietoisina tai alitajuisina) tajunnansisäisinä olotiloina riippumatta sen hetkisistä rationaalisista "prosesseista". Varttuneimmilla lapsilla ja aikuisilla monet tunteet ovat tahdonalaisia, siten että nämä pystyvät (yleensä) muuntamaan ja hallitsemaan tunteitaan ja tunteiden ilmenemistä tietoisuuden alaisina toimintoina. Tunteet ovat toisaalta tahdosta riippumattomia siinä mielessä, että tietyt herätteet houkuttelevat ne automaattisesti esiin ilman tietoista valintaa. Kuitenkin tiedetään, että monia tunteita ei yleensä voi tahdonalaisesti pakottaa itsensä tuntemaan.

1.2 Behavioristinen ja psykologinen lähestymistapa

Tunteiden fysiologinen perusta on hyvin mutkikas mutta kiistattomasti osoitettu [20]. Tunteiden fysiologiaa on tutkittu 1890 luvulta lähtien aina viime päiviin saakka⁴.

Tunneilmiöiden syntymekanismien mutkikkuutta kuvastaa hyvin se, että alan

⁴ V. 1892 tunne tutkimus saavutti jonkinlaisen tieteellisen statuksen kun Charles Darwin julkaisi (yhä vielä ajankohtaisen) tutkimuksensa: *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Tässä hän esitti käänteentekeväen näkemyksen, jonka mukaan tunteet ovat yksilön tai lajin säilymisen kannalta tarkoitushakuisia [12]. Viha on seurausta yksilöä uhkaavien tekijöiden poistamiseksi, pelko pako ylivoimaisen uhan edessä, rakastuminen liittyy suvunjatkamiseen ja avuttomien poikasten hoivaamiseen jne.

12 vuotta Darwinin julkaisun jälkeen William James, eräs psykologisen tutkimuksen pioneereja, julkaisi hyvin tunnetut ja myöskin ristiriitaisien vastaanoton saavuttaneen tutkimuksensa. Siinä hän toteaa, että tietty ärsyke (kuten kirvelevä muisto tai fyysinen uhka) käynnistää tietyn fysiologisen tai motorisen prosessin, jonka tajunnansisällöllinen kokeminen edelleen johtaa tietyn tunteen tuntemiseen. "Emme itke sen vuoksi, että olemme suruissamme vaan olemme suruissamme sen vuoksi että itkemme" tiedetään Jamesin todenneen [20] Muutama vuosi Jamesin jälkeen tanskalainen Carl Lange esitti tarkemman teorian, jonka mukaan autonomisen hermoston havaitsemat muutokset tiettyjen sisäelimiä toiminnossa (kuten esim. sydämen lyöntitiheydessä) johtaa tietyn tunnetilan kokemiseen. Jamesin ja Langen teorialat ovat hyvin samankaltaisia (toki erojakin on), joten teoriaa kutsutaan nykyään James-Lange teoriaksi.

Amerikkalainen fysiologi Walter B. Cannon pysytyi laajoilla eläinkokeilla osoittamaan JamesLangen teorian olevan monin paikoin puutteellinen tai jopa harhaanjohtava. Hän osoitti muiden seikkojen oheella, että eläimet joilta oli katkaistu yhteys autonomisen hermoston ja tiettyjen sisäelimiä välillä pystyivät silti tuntemaan tiettyjä tunteita. Bard täydensi myöhemmin Cannon teoriaa 1920 luvulla ja teoriaa kutsutaankin nykyään Cannon-Bardin teoriaksi. Tämän mukaisesti ensin tunnetaan tietty tunne jonka seurauksena väliaivot aktivoituvat lähettämällä signaaleja autonomisen hermoston kautta. Siis itken koska olen surullinen. Mutta toisaalta jos olen veistänyt sormeeni puukolla saatan olla vihainen koska sormeeni särkee (James Lange teorian mukaisesti).

Vasta 1960 luvulla ymmärrettiin ottaa Darwinin ajatukset uudelleen esille: Havaittiin nimittäin, että hermoverkoston ja aivojen kehityso pillisesti vanhimmat osat vaikuttavat ratkaisevasti tunteiden aktivointiin ja ilmenemiseen osana tunteiden tarkoituksenhakuisuutta.

perusoppikirjat voivat esitellä yli kaksikymmentä erilaista teoriaa [19]. Kussakin teoriassa tehdään erilaisia oletuksia elämäkokemuksen ja perintötekijöiden osuudesta tunteiden syntymekanismiin Karkeasti ottaen nämä voidaan ryhmitellä kahteen luokkaan: biososiaaliseen ja konstruktiviseen lähestymistapaan.

- Biososiaalisessa lähestymistavassa oletetaan tunteiden pohjautuvan biologiseen rakenteeseen ja geenit ovat määräävänä kynnyks- ja intensiteettitekijöinä kunkin perustunteen tuntemisessa. Tässä lähestymistavassa tunne-elämä on funktio geneettisten taipumusten sekä sosiaalisten roolien luoman kokemuksen ja uskomusten välisestä vuorovaikutuksesta
- Konstruktivistit taas katsovat geneettisellä tekijöillä olevan merkityksetön osuus ja tunteet ovat ensisijaisesti muodostettu tajunnansisäisinä tapahtumina ja ovat seurausta kokemuksesta, erityisesti sosiaalisesta oppimisesta omasta elinympäristöstään. Joten konstruktivistien mukaan tunteet ovat funktioita kulttuuriympäristön arvioinnista ja siitä mitä on opittu.

Kysymys siitä miten tunteet oikein syntyvät on ollut tunnetutkimuksen eräs kiistanalaisimpia ongelmia. Ihmisten on helppo kuvitella asioita jotka tekevät heidät surulliseksi tai iloiseksi mutta on huomattavasti vaikeampaa selittää täsmällisesti miten ilo tai suru syntyy. Kysymys joudutaan pilkkomaan kolmeen osaan eli neurofysiologisiin, elimellisiin muutoksiin ja tajunnan sisäisiin tapahtumiin.

Esimerkiksi tulehdus voi aiheuttaa kivun ja kipu edelleen voi johtaa vihan tunteeseen. Neurofysiologiset tutkimukset selittävät tämän siten, että primääri aistien (näkö-, kuulo-, kosketus jne. aistien) tuottamat signaalit vaeltavat hermoroatoja pitkin limbiseen⁵ järjestelmään. Täältä aktivoituvat tunteet nopean, minimaallisen, automaattisen prosessin tuloksena. Tällä tavalla aktivoituneet tunteet eivät – puhtaan biososiaalisen katsantokannan mukaan tarkasteltuna - ole neokortexin (isojen aivojen poimuttuneiden keski- ja sivu-uurteiden kuorikerroksen) prosessoinnin tuloksia. Sen sijaan tunteet, jotka aktivoituvat ajatus tai muistitoiminnan tuloksena ajatellaan muodostuvan piiristä jossa informaatio välitetään väliaivoista neokortexiin. Tällaisen piirin katsotaan muodostava neuraalisen pohjan tajunnansisäiselle tapahtumien arvioinnille ja arvioinnin tuloksen syntyneille tunteille.

Väliaivoilla on ratkaiseva osuus ulkoisten tunneilmaisujen esiintymisessä, erityisesti autonomisen hermoston sekä ilmeitä ja eleitä säätelevän motorista toimintaa ohjaavien järjestelmien säätelyssä [21]. Esimerkiksi vihassa saattaa sydämen lyönti- ja hengitystiheys kasvaa, kasvojen ilmeet muuttua jne.

Konstruktivistisessa lähestymistavassa tunteiden kognitiivisesta – tajunnansisäisestä - syntymekanismista ei vielä ole täyttä varmuutta. Tutkijoiden joukossa esiintyy useita koulukuntia ja näkemyksiä. Monet tutkijat katsovat, että tunteiden esiintymisessä on perusedellytyksenä automaattinen joko tietoinen tai tiedostamaton, primitiivinen tai symbolinen esiprosessointi jossa arvioidaan (ns. valensoidaan) tapahtumia tiettyjen kriteereiden mukaan. Näitä kriteereitä ovat hyvä tai huono, suotuista tai epäsuotuisat

⁵ Limbinen järjestelmä (ns. isojen aivojen viides lohko) muodostuu kehitysopillisesti vanhimmista aivojen osista. Järjestelmä koostuu useista väliaivojen ja ohimolohkojen tumakkeista, aivokuoren osaluista ja muodostaa toiminnallisen kehämäisen kokonaisuuden. Limbisellä järjestelmällä on yhteydet useimpiin aivojen osiin [19, 21]

seuraukset (mm. M. Arnold sekä Orhony, Clore ja Collins⁶). Eräät (mm. P.E. Ellsworth ja C. Smith) tutkijat korostavat kriteereinä olevan miellyttävyys, varmuus, ennakoitavissa oleva vaiva, hallittavuus, havaittava este ja laillisuus sekä näiden välinen kombinaatio.

Bernard Weinerin tuntomerkkiteorian mukaan tapahtumien syiden havaitseminen voidaan luonnehtia kolmella periaatteellisella tavalla, jotka taasen vaikuttavat moneen tunnekokemukseen. Havaittavat tapahtumien syyt voidaan luonnehtia alueellisesti (joko ihmiselle ulkoisesti tai sisäisesti), stabiiliuden mukaan (henkilön luonteenpiirteen tai hetkellisen olotilan mukaan) ja hallittavuuden mukaan (ihminen voi tai ei voi hallita tunnetta tai tilannetta).

Loppujen lopuksi tyydyttävä malli tunteiden syntymekanismille pitäisi olla multimodaalinen. Tunteet voidaan aktivoida sellaisilla esi-kognitiivisilla prosessilla kuten fysiologinen tila, motorisella jäljittelyllä ja aistihavaintojen prosessoinnin tuloksena. Monet tajunnan sisäiset prosessit ovat osallisia niiden syntyyn. Näitä sisäisiä tapahtumia ovat mm. vertailu sovittaminen, luokittelu, arviointi, mielikuvitus, muisti ja ennakointi.

2 MILLÄ MENETELMILLÄ KONEET VOIVAT HAVAITA KÄYTTÄJÄN TUNTEITA ?

Edellä esitetyistä tarkasteluista voidaankin päätellä, että käyttäjän tunteiden havaitsemiseen ei pelkästään riitä tiettyjen fysiologisten tapahtumien monitorointi (kuten sydämen lyöntitiheyden tai ihon sähkönjohtokyvyn mittaukset) vaan usein joudutaan tutkimaan tunteiden ilmaisua kuten kasvojen ilmeitä kehon eri asentoja jne. Kuten Avaruusseikkailun HAL tietokone teki. Tämän mukaisesti jaamme tunteiden havaitsemisen kolmeen luokkaan:

1. Ne, jotka mittaavat elintoimintoja yleensä koskettavana anturointina.
2. Ne, jotka mittavat ja tunnistavat visuaalisesti tunteiden ilmiäsuja
3. Ne, jotka tunnistavat ääni tiedon pohjalta tunteita.

2.1 Suorat fysiologiset mittaukset

Jennifer Healey tarkasteli väitöskirjassaan tunteiden fysiologista havaitsemista [6]. Yhteenvedon tutkimuksestaan hän esitteli (yhdessä R. Picardin kanssa) ICPR:n konferenssissa vuonna 2000 [5] ja ICASSP:ssa 1998 [4]. Edelleen Vyzas, Minka ja Healey käsittelivät tutkimuksessaan fysiologista tunnetilojen mittaamista [7]. Fernandez on sovittanut fysiologisten mittausten stokastisesti jakautuneet tulokset piilotettuihin Markovin malleihin, tavoitteenaan hahmottaa tietokoneen käyttäjän turhautuneisuutta [8].

Healeyn tutkimuksessa tarkasteltiin ihon sähkönjohtokyvyn, elektrokardiografian (ns. ”sydänfilmin” EKG:n), hengityksen ja elektromyograafian osuutta tunteiden esiintymisessä. Muut mittaukset kuten adrenaliinin erityys ja EEG (ns. aivosähkökäyrä) pidettiin on-line mittauksina vaikeina ja virhealttiina.

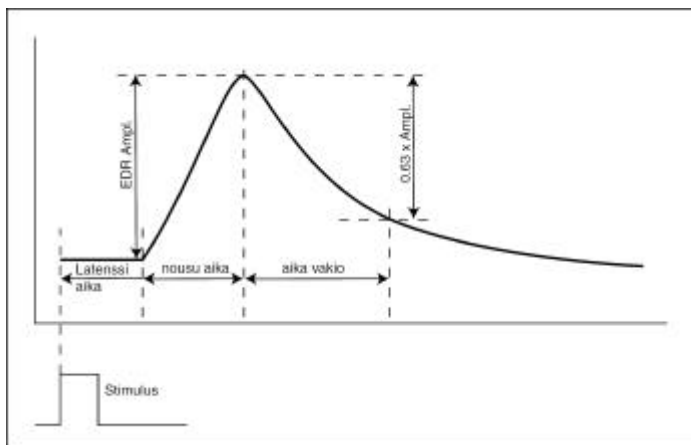
2.1.0.1 Ihon sähkönjohtokyky

Useammassa tutkimuksessa on havaittu ihon sähkönjohtokyvyn mittausten olevan yksi robusteimmista, epä-invasiivisista autonomisen hermoston aktiviteettia mittaavista menetelmistä. Näissä on havaittu sähkönjohtokyky vasteiden olevan lähes lineaarisesti

⁶ Tunteiden synteessin yhteydessä käsittelemme hieman tarkemmin Orhonyin, Cloren ja Collinsin teorioita.

riippuvia kiihtymyksen asteista. Sen on havaittu soveltuvan hyvin erottamaan vihan ja pelon tunteita sekä erottamaan konflikti ja ei-konflikti tilanteet toisistaan.

Ihon sähkönjohtokyvyn (konduktanssin) mittaussanturit mittavat ihon resistanssin muutoksia kun ihon rauhaset tuottavat ionisoitunutta hikeä. Ihon stationäärinen sähkövastus on tyypillisesti suhteellisen korkea (1 M ohmin luokkaa) mutta hetkelliset



Kuva 1 Ihon EDR vaste

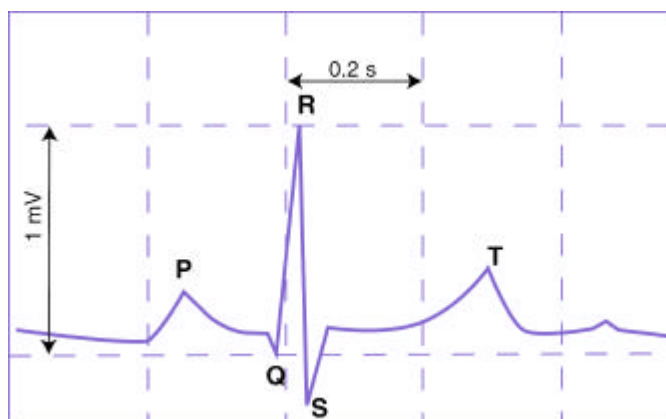
muutokset hikirauhasten aktivoituessa aiheuttavat muutoksia johtokykyyn (DR voi olla jopa 950 K ohmia). Yleensä vastus mittaukset tehdään syöttämällä sähkövirtaa kahden iholle asetetun pienen elektrodien kautta.

Mitattavia suureita ovat konduktanssin perustaso (DC komponentti) ja AC vaihevaste (ns. EDR electrodermal response). EDR mitataan syöttämällä pieni stimulus ja mittaamalla konduktanssin ajallinen riippuvuus (vrt. oheinen kuva). Healeyn

tutkimuksessa stimulus oli toistuva 100 ms kestoinen purske valkoista kohinaa. EDR mittauksen keskeisiä parametrejä ovat latenssi aika (aika stimuluksesta reagointiin), nousu aika ja aikavakio (eli kun amplitudi on pudonnut määrään e^{-1} maksimi amplitudista), myös $\frac{1}{2}$ toipumisaikaa saatetaan käyttää, eli aikaa kun amplitudi on pienentynyt puoleen.

2.1.0.2 Sydämen toiminnan mittaukset BVP ja elektrokardiogrammi

Sydämen lyöntitiheys ja lyöntitiheyden kiihtyvyys mittaukset ovat tunnettuja menetelmiä henkilön yleiskunnon kartoituksessa. Lyöntitiheyden muutosten on myös havaittu myös olevan pelon ja vihan indikaattoreita. Healey tarkasteli kahta menetelmää sydän aktiviteettien mittaamiseksi: Veren tilavuus pulssia (BVP blood volume pulse) ja elektrokardiogrammia (ns. sydän filmiä).



Kuva 2: Sydämen QRS kompleksi

BVP mittauksissa käytetään anturia, jossa mitataan emittoidun valon heijastumaa ihon pinnalta. BVP mittauksen ajatuksena on se, että jokaisen sydämenlyönnin jälkeen verisuonin virtaa tietty veripulssi joka näkyy ääreisverenkierrassa muuttaen heijastuvan valon määrää. Sydämen lyöntitiheys lasketaan yksinkertaisesti laskemalla pulssien välinen etäisyys. Pulssin amplitudi kasvaa kun henkilö kokee kipua, nälkää, pelkoa ja kiihkoa ja pienenee henkilön rentoutuessa.

Healey käytti elektrokardiogrammi (EKG) mittauksissa kolmipistemittausta (kliinisessä sairaalatutkimuksessa yleinen käytäntö on käyttää 12 piste mittausta). Kaksi anturia on kytketty rinnan korkeudelle (referenssi ja + anturi) yksi (- anturi) oikean

olkapään kohdalle. Menettelyssä mitataan ihon pinnalta sydämen sykkeisiin liittyvä aktivointi jännite ns. P aalto, QRS kompleksi ja T aalto käyrästä (vrt. kuvaan). Käyrä kuvastaa miten sydänlihaksen eri osat aktivoituvat.

Vaikka EKG on ensiarvoisen tärkeä kliinisessä lääketieteen tekniikassa niin suoraan tunnekonetutkimuksessa sillä ei ole sinänsä suurta arvoa. Sen sijaan laskennallisilla EKG johdannaiset ovatkin paljon hyödyllisempiä. Kiinnostavaa on se miten pulssin aikasuurteet muuttuvat tunne-elämyksen myötä. Mitattavia suureita voisi olla R-R huippujen ajallinen vaihtelu tai erilaiset aikasarjat. Koska nykyään Fourier muunnokset voidaan tehdä kohtalaisen nopeasti on tätä tekniikkaa hyödynnettykin. EKG käyrän tehospektrin on havaittu jakautuvan kolmeen erilliseen alueeseen: Taajuudet selvästi alle 0.1 Hz (LF), 0.1 Hz:n ympärillä oleva spektri (MF) ja 0.3 – 0.5 Hz:n alue (HF). Kullakin alueella on sille tyypillinen funktionsa tunneilmioiden esiintymisessä ja elintoimintojen säätelyssä. Parasymptaattinen hermojärjestelmä kontrolloi koko tehospektrialuetta kun taas symptaattinen hermojärjestelmä moduloi selvästi alle 0.1 Hertzin aluetta. Symptaattinen aktiviteetti kasvattaa sykenopeutta kun taas parasymptaattinen laskee sitä.

Vaikka EKG:n tehospektriin vaikuttavat monet yksilölliset, motoriset ja aktiviteetti tekijät kuten uni rentoutus ja ponnistus, eikä siis pelkästään tunneilmiot. Tämän vuoksi kovin absoluuttisia mittoja ei siitä voida johtaa, sen sijaan yksilötasoisia suhteellisia mittoja mitattuna suhteellisen lyhyessä aikaikkunassa voivat olla käyttökelpoisia tunneindikaattoreita.

2.1.0.3 Hengitys

Kliinisessä lääketieteessä hengitystä usein tutkitaan mittamalla nenän ja suun kautta tapahtuvaa kaasun vaihtoa. Mittauksissa käytetään kasvoihin kiinnitettävää suppiloa. Healey, täysin oikeutetusti, katsoi tällaisen mittausmenettelyn olevan hieman kömpelö. Normaali vuorovaikutus (kuten puhuminen) ei liene tällöin mahdollista ja varmaankin biasoi tutkimusta. Hengityksen monitorointiin hän käytti elastista putkea johon toiseen syrjään oli kiinnitetty magneetti ja toiseen Hall-anturi. Hengitettäessä sisään, rintakehän laajetessa, magneetti erkani anturista pienentäen mitattavaa magneettikenttää ja uloshengitettäessä päinvastoin. Useissa tieteellisissä kokeissa on havaittu se sangen luonnollinen tosiseikka, että fyysisen aktiviteetin lisääntyessä ja kiihkeitä elämyksiä kokiessa sekä hengitystiheys että volyymi kasvavat ja vastaavasti rentoutuessa ne laskevat. Eräät tutkijat ovat myös havainneet että monet negatiiviset tunteet voivat aiheuttaa epäsäännöllisyyksiä hengitysrytmiin.

2.1.0.4 Elektromyogrammit

Elektromyografiassa (EMG) mitataan lihas toimintaa mittaamalla iholla näkyvää jännitettä kun lihasta supistetaan. Mittauksessa käytetään kolmea elektrodia: Kaksi asetetaan lihaksen akselin suuntaisesti ja kolmas (0-potentiaali) elektrodi akselin ulkopuolelle. Mitattavat jännitteet ovat melko korkeita (jopa 300 mV). Tunnetutkimuksessa usein käytetään EMG:tä leukalihasten puristumisen sekä muiden kasvolihasten toimintojen mittaamiseen. Stressitutkimuksessa EMG on myös suosittu menetelmä olkapää- ja selkälihasten jännittyneisyyden mittaamiseen.

2.1.0.5 Muut menetelmät

Koska tunnetutkimuksessa mittaukset pitää toisinaan tehdä off-line ja usein paikasta toiseen liikkuvilla henkilöillä eivät monet muut tunnetut menetelmät ole kovin soveliaita. Esim. verenpaine mittaukset eivät juuri ole käytännöllisiä ja aivosähkökäyrien (EEG)

mittauksia rajoittavat laitteiston suuri koko tai virhemarginaalien suuruus.

2.1.2 Tunneilmiöt ja mitattavat signaalit

Nyt herää keskeinen kysymys: onko mahdollista teknisin esimerkiksi hahmontunnistus menetelmin identifioida näiden fysiologisten mittausten perusteella joitakin tunteita kun riittävästi opetusdataa on annettu? Eräät MIT:n medialaboratoriossa ja muualla tehdyt tutkimukset antavat viitteitä sille, että tämä voisi olla mahdollista, vaikka eräät raportoidut tutkimusmenetelmät vaikuttavat paikoitellen arveluttavilta.

Healey tutkimuksessaan käytti seuraavanlaista koejärjestelyä. Koehenkilö (Healey itse) istui tuolissa ja em. fysiologisia signaaleja mittaavat anturit oli kytketty koehenkilön vartaloon lisäksi henkilö piti nyrkissään sormien puristusvoimaa mittaavaa anturia. Koehenkilöllä oli kuulokkeet, johon tietokone johti kehotukset tuntemaan tiettyjä tunteita oheisen taulukon mukaisena sekvenssinä. Nämä tunteiden tuntemusjaksot kestivät keskimäärin 3 – 5 minuuttia jonka jälkeen uusi kehotus tuntemaan uutta tunnetta. Kukin tunne generoitiin valitsemalla sopivia kuvia tai mielikuvia esimerkiksi ”ei tunnetta” tilassa koehenkilö tuijotti valkoista paperia, ”suuttumuksessa” hän tuijotti vihaamansa henkilön kuvaa jne.. Antureilta kerättiin jatkuvasti ja automaattisesti dataa. Myöhemmin datalle pyrittiin laskemaan tilastollisin ja signaalin käsittely menetelmin dataa luonnehtivia karakteristisia suureita. Näin generoitua dataa käytettiin hahmontunnistuksessa opetusdatana. Yksi tunneistunto kesti n. 30 minuuttia, jonka aikana käytiin kaikki 8 tunnetta läpi. Kokeita toistettiin 31 päivän ajan.

Tunne	Kuvitelma	Kuvaus	Kiihtymys	Valenssi
Ei tunnetta	Tyhjä paperi	Ikävystyminen Tyhjyys	Alhainen	Neutraali
Suuttumus	Inhottava henkilö	Halu tapella	Erittäin korkea	Erittäin negatiivinen
Viha	Epäoikeuden- mukaisuus	Passiivi suuttumus	Alhainen	Negatiivinen
Murhe	Äidin menetys Epämuodostunut lapsi	Menetys Surullisuus	Korkea	Negatiivinen
Platoninen rakkaus	Lapsuuden kesäaika	Onnellisuus rauha	Alhainen	Positiivinen
Romanttinen rakkaus	Seksuaaliset kohtaukset	Halu Kiihottuminen	Erittäin korkea	Positiivinen
Ilo	”Ode of Joy”	Onnellisuus Mieltä ylentävä	Kohtalaisen korkea	Positiivinen
Kunnioitus	Pappi	Viileys, rauha	Erittäin alhainen	Neutraali

Taulu 1 Platonisella rakkaudella tarkoitetaan tässä isällistä tai rakkautta ja romanttisella seksuaalista halua. ”Ode to Joy” koehenkilölle iloa tuottava Beethovenin kappale.

Koko ”tutkimus” vaikuttaa erittäin arveluttavalta, jopa koomiselta. On helppo kuvitella mielessään koejärjestelyä, jossa kone käskää ”vihastu nyt” kolme minuuttia, ”rakasta” seuraavat viisi minuuttia, ”ole tunteeton” tovin aikaa jne. Itselleni ei ainakaan moinen tunteiden kaleidoskooppi onnistu, puhumattakaan siitä, että jokin koejärjestely voisi käskää itseäni tuntemaan määrätyllä tavalla ja nimenomaan - luvussa 1.2 esitettyjen esitettyjen teorioiden mukaisesti – tietyn tajunansisäisen tai ei-kognitiivisen tapahtuman

seurauksena. Jos olen kiukkuinen niin olen sitä ärsyttävän tapahtuman seurauksena, jos taas iloinen niin olen sitä sangen kokonaisvaltaisesti kun ilon aiheita esiintyy. Healeyn koejärjestelyssä mitataan aivan jotain muuta kuin spontaaneja aitoja tunteita Edelleen koehenkilön ollessa itse tutkija niin väistämättä tutkimus biasoituu, tulosten ollessa enemmän tai vähemmän halutunlaisia.

Healeyn väitöskirjan jälkimmäisessä osassa, josta myös laadittiin konferenssipaperi [5], käsiteltiin vastaavanlaista anturointia autonkuljettajan stressin havaitsemiseksi. Fysiologisten signaalien mittausten lisäksi koejärjestelyyn oli liitetty kolme videokamera, joista yksi kuvasi kuljettajaa toinen tietä ja kolmas oli asennettu takaistuimelle kuvaamaan kuljettajan vartalon liikkeitä. Koejärjestely sisälsi tyypillisiä autolla ajo tilanteita: Ulos ajoa tallista, taajama- ja valtatieajoa. Koehenkilöitä oli 9 joista 6 ajoi testikierroksen vain kerran muut 3 ajoivat sen useammin. Mittaustapahtumaa täydennettiin kyselykaavakkeella, jossa kyseltiin koehenkilöiden subjektiivisia näkemyksiä eri osavaiheiden stressaavuudesta. Kaikille sähköisille signaaleille tehtiin tilastollinen ja suodatus käsittely, jonka pohjalta voitiin irrottaa karakteristiset piirteet. Näitä piirteitä edelleen sovellettiin tilastolliseen hahmontunnistukseen ja verrattiin kyselykaavakkeeseen sekä tallennettuihin videonäytteisiin. – Väitöskirjan jälkiosa onkin jo paljon antoisampaa, sillä auton ajotilanteet ovat paljon spontaaneimpia ja reagointi ei useinkaan ole täysin tahdon alaista. Johtopäätöksenä Healey esitti, että 5 minuutin mittausjaksolla voitiin 98 % luottavuudella luokitella stressitekijät 3 eri luokkaan. Yhden minuutin mittausjaksolla luokittelun varmuus oli 89%. Suurimpana puutteena tutkimuksessa oli lopultakin koehenkilöiden ja datan vähäinen määrä, sekä se, että toistuvissa kokeissa ajettiin samaa reittiä, jolloin koehenkilö saattoi oppia tietynlaisen käyttäytymisen ja varautua räsityksistä lisääviin tilanteisiin.

Healeyn tutkimuksen suurin anti, puutteistaan huolimatta, on se että fysiologisista mittauksista voidaan saada tietoa autonomisen hermoston toiminnasta. Tämä toiminta heijastaa jollain tavalla tunnetiloja ja stressiä. Jatkotutkimuksilla voidaan kehittää signaalianalyysia ja tunnemalleja, joita edelleen voidaan mahdollisesti käyttää henkilöiden tunteiden koneelliseen tunnistamiseen. Lisäksi Healeyn kuvaama anturointi voi olla täydentämässä muilla menetelmillä saatavia tunne havaintoja.

2.2 Visuaalinen tunteiden tunnistus

Visuaalisessa tunteiden tuntemisessa päähuomio tutkimuksessa on ollut kasvojen ilmeiden tunnistaminen [23, 24, 25]. Kasvot ovatkin sangen ilmaisukykyisiä tunteiden ”peilejä”. Suurena syynä tähän on väliaivojen merkittävä osuus tunneilmäiden syntymisessä ja kasvojen liikkeen säätelyssä. Tässä keskitymmekin tunteiden tunnistamiseen osana kasvojen tunnistamista ja sivuutamme muun ”body language”.

Tarkastelemme hyvin lyhyesti (tilan puutteen vuoksi) niitä tekniikoita, joilla kasvojen löytäminen voidaan tehdä kuvasta tai videosekvenssistä. Syvällisimmistä tiedoista kiinnostunut lukija voinee vilkaista Zhao & al:n johdanto julkaisua [25] tai vierailta Peter Kruizinga tai Dr. Robert Frischholz kotisivuilla⁷. Kasvojen tunnistus voidaan jakaa kahteen perusprobleemaan, ensinnäkin kasvojen löytäminen kuvasta tai videosekvenssistä ja toiseksi kasvojen tuttuuden havaitseminen. Tässä olemmekin kiinnostuneita

⁷ Erinomaisesti järjestettyjen sivujen URL:t ovat

Dr. Robert Frischholz: <http://home.t-online.de/home/Robert.Frischholz/face.htm>

Peter Kruizinga: <http://www.cs.rug.nl/users/peterkr/FACE/face.html>

ensimmäisestä, jotta löydetyistä kasvoista voidaan päätellä mitä tunnetta ne edustavat. Yksinkertaisimpina tekniikoina on esitetty:

1. Tausta on staattinen. Tekniikka on yksinkertainen poistetaan staattinen tausta ja jäljelle jää vain kasvot (tai jokin muu ei staattinen objekti).
2. Väriin mukaan etsitään kasvojen ääriviivat, haittana on se että valaistusolosuhteet ja ihonväri vaikuttavat merkittävänä virheterminä [27].
3. Kasvojen löytäminen liiketiedon perusteella. Kasvot tai niiden osat (esim. silmäluomet) ovat käytännössä aina liikkeessä. Joten monissa tapauksissa riittää tutkia vain kuvassa liikkuva osa. Haittapuolena taasen, on taustalla liikkuvat muut objektit haittaavat löytämistä.

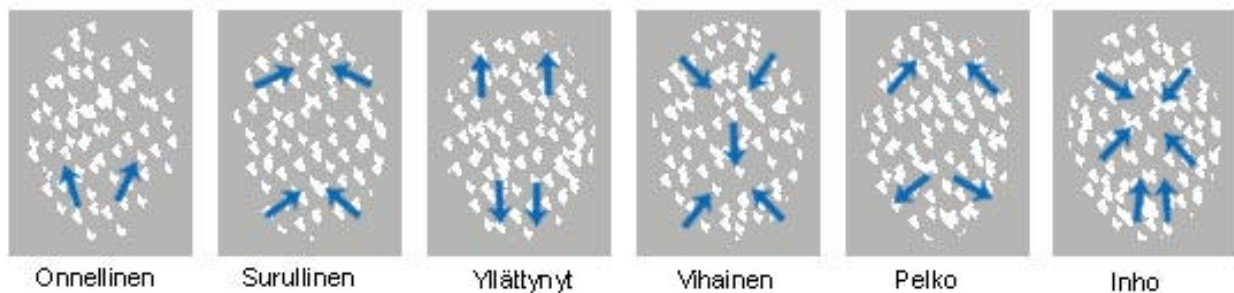
Kussakin yllä mainituista tekniikoista on merkittävänä virheterminä, että näissä joudutaan tekemään usein epäkäytännöllisiä olettamuksia ympäristöstä. Kehittyneempiä kasvojen havaintotekniikoita onkin mm. seuraavat:

1. Vertailu malliin Tässä kuvaa verrataan ”kasvo” ja ”ei kasvo” porotototyyppiin. Vertailun tulos johdetaan opetettuun luokittimeen joka päättää esiintykö kasvo ko. kuvan tarkasteltavassa positiossa [25]. DeCarlos & al ovat kehittäneet algoritmin mallipohjaiselle kasvojen liikkeiden seuraamiselle [26]. Tässä käytetään kasvo malleja sekä liikkeen että muodon muunnoksille, transformaatioille.
2. Hermoverkkoihin pohjoinen havainto: Lähteessä [28] Rowley & al. esittävät neroverkkopohjaisen menettelyn kasvojen löytämiseksi kuvasta. Menettelytavassa tutkittava kuva jaetaan 19 x 19 alueisiin, hermonverkko käyttää 20 x 20 ikkunoita, joka sisältää ”alikerroksina” 4 kpl 10 x 10 toistensa ei-peittävä, 16 kpl 5 x 5 ja 6 kpl 20 x 5 ali-ikkunaa, Toistensa peittävien ikkunoiden käsittelemiseen sovelletaan kahdenlaista heuristiikkaa: a) ”kynnystäminen” jossa kasvon luokittelu perustuu naapureissa esiintyvien suotuisten havaintojen lukumäärään, b) peittävä eliminointi, kun alue on havaittu edustavan kasvoja havainnointi lopetetaan. Suorituskyvyn parantamiseksi voidaan käyttää monikertaisia opetettuja verkkoja. Verkkojen ulostulo voidaan yhdistää AND, OR, äänestys menetelmillä tai voidaan käyttää erillistä sovittavaa verkkoa ja näin parantaa havainto tarkkuutta. Tutkijat raportoivat, että menetelmällään he saavuttavat 77.9 – 90.3 % havaintotarkkuuden.
3. Tilastolliseen clusterointiin eli ryvästyksen perustuva neuroverkko menetelmä: Sung & al esittävät esimerkkeihin pohjautuvan menetelmän paikallistamaan edestä kuvatun ihmisen kasvon mielivaltaisessa ympäristössä [29] Menettelyssä on mallinnettu ihmiskasvohahmoja tilastollisesti ryvästämällä ”kasvo” ja ”ei-kasvo” malleja. Tutkittavasta kuvasta lasketaan kuvan kussakin paikassa mallin ja kuvan piirteen erotusvektori. Lopulta opetettu luokitin käyttää tätä erotusvektoria apunaan päättämään esiintykö ko. Kuvan paikassa kasvot vai ei.

2.2.1 RBFN⁸ menettelyyn pohjautuva kasvojen ilmaisemien tunteiden hahmottaminen

Useat tunnetutkijat ovat pohtineet kysymystä ovatko tunteet luonteeltaan atomistisia, eli voidaanko tunteet palauttaa muutamaan perustyyppiin ja kaikki koetut tunteet ovat jonkinlaisia yhdistelmiä näistä. Eräs tällainen on Ekmanin esittämä [2, 6, 23, 24]. Tässä ”perustunteita” ovat onnellisuus, surullisuus, yllättynyt, viha, pelko ja inho (vrt. myös lukuun 3.1.2). Lähestymistavan puutteista huolimatta sillä on – hahmon-tunnistuksen kannalta katsottuna – se merkittävä etu, että tunteet on jaettu selkeästi erotettaviin luokkiin.

Huomattava osa tähän saakka tehdystä tutkimuksesta kasvojen ilmeiden ilmaisemasta tutkimus- ja selvitys työstä on tehty pohjautuen staattisiin kuviin (joista kirjallisuus käyttää hyvin kuvaava ”mug shot” naama/pärstäkuva termiä). Tunnekuvat usein ovat huippuarvoja, joissa tietyt visuaaliset vihjeet (kuten kulmakarvat tai huulet) ovat staattisessa ääriasennossa. Vain muutama tutkimus on suoraan suunnattu selvittämään kasvon piirteiden ajan mukaan muuttuvaa deformaatiota, liikettä. Yksi näistä on J.N. Basiljin tekemä tutkimus. Hän ehdotti, että kuvassa näkyvä liike voi antaa vihjeitä tunteiden havaitsemiseksi. Liike informaatio voi olla spatiaalisesti hyvinkin minimaalinen (esim nenän nyrpistus tai hiuksen hieno huulien yhteen puristus). Kokeissaan hän käytti oheisen kuvan kaltaisia tummalla taustalla liikkuvia valkoisia pisteitä. Koehenkilöt katselivat näitä liikesarjoja. Hän raportoi, että kasvojen ilmaisemat tunteet voidaan tarkemmin tunnistaa dynaamisista kuvista kuin yksittäisistä staattisista kuvista⁹.



Kuva 3: Basilin kokeissaan käyttämät kuvasarja. Siniset nuolet kuvastavat valkoisten pisteiden liikesuuntia kullakin ”tunnetyypillä”.

Rosenblum & al. esittävät julkaisussaan [23] Basilin periaatteita noudattavan visuaalisen tunteiden tunnistamisjärjestelmän eli he ovat luoneet sellaisen teknisen hierarkkisen arkkitehtuurin joka oppii liittämään kasvojen ilmeiden liikehahmoja tiettyihin tunteisiin. Järjestelmä on hierarkkinen siinä mielessä, että ylimmällä tasolla tunnistetaan jokin näistä kuudesta perustunteesta, seuraavalla alemmalla tasolla tunnistetaan kasvon

⁸ RBFN Radial Basis Function Network ovat hermoverkkojen luokkaan kuuluvia verkkoja, jotka ovat muodostuneet kolmesta eri kerroksesta, nimittäin syöttökerroksesta, piilotetusta kerroksesta ja tulostus output kerroksesta. Piilotetussa kerroksessa syötettävälle signaalille tehdään epälineaarinen muunnos erityisellä funktiolla, joita kutsutaan radial funktioiksi [29]. Nämä radiaali funktiot ovat yleensä vektoriarvoisia ja muotoa:

$$f(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|)$$

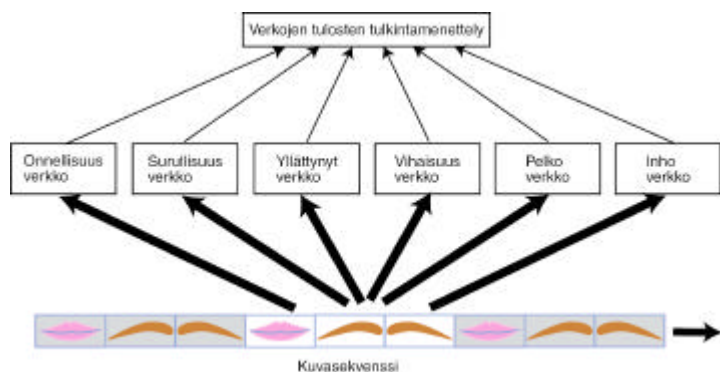
eli vektorin \mathbf{x} euklidinen etäisyys keskipisteestä \mathbf{c}_i siksi nimi radial. Funktio f on usein Gaussin funktio [30].

⁹ Lähde [23] ei kerro millaisia nämä staattiset kuvat olivat. Valokuvia kenties ?

piirteiden liikkeitä ja alimmalla tasolla löytää liikkeiden suunnan. Arkkitehtuuri on sovellus ns. RBFN (Radial Basis Function Network) arkkitehtuurista.

Koska kasvojen tunneilmeiden¹⁰ tunnistus on hankalaho tehtävä jakoivat Rosenblum & al. tehtävän kolmeen dekompositio kerrokseen RBFN periaatteiden mukaisesti (vrt. oheiseen kuvaan 6).

1. Ylin taso, eli tulkintamenettely tunteen mukaan, RBF verkon ulostulo. Tason verkkoa opetetaan yhdellä tunteella kerrallaan käyttäen useampaa koehenkilöä.



Kuva 4 Rosenblum & al. käyttämä hierarkinen RBF verkko tunneilmeiden hahmottamiseksi

2. Seuraava tasoa kutsutaan kasvojen komponentti tasoksi. Ilmeiden dekompositio on ominainen kunkin tunteen mukaan viritetyille verkolle. Jokainen tämän tason tunneverkko jaetaan kolmeen tunnistavaan aliverkkoon kasvojen komponenttien mukaan jaoteltuna (yksi suulle ja kaksi kummallekin silmäkulmalle).

3. Lopulta hierarkian alin taso on suuntia käsittelevä taso. Tämä taasen jakautuu kasvokomponenttien mukaan. Toisin sanon "alialiverkko" on herkkä

tietyin kasvokomponentin (silmäkulmat ja suu) yhteen suuntaan tapahtuvalla liikkeelle. Jotta kaikki liikkeitä voitaisiin siepata Rosenblum & al. käyttävät tässä neljää liikettä eli ylös, alas, vasemmalle ja oikealle.

Olellainen osa kuva-sekvenssien analyysissä on hankkia informaatiota peräkkäisistä kuvien sisältämien komponenttien temporaalisista suunnista. Esimerkiksi yllätys tunteessa silmäkulmat liikkuvat alaspäin tunteen lopussa kun taas vihassa kulmat liikkuvat alaspäin tunteen alussa. Jotta voitaisiin erottaa viha ja yllätystunteet toisistaan joudutaan tarkastelemaan mitä tapahtui silmäkulmille ennen liikkumistaan alaspäin.

Rosenblum & al:n artikkeli on monin paikoin hyvin vaitonainen, esimerkiksi yksityiskohtia siitä miten RBF verkko on muodostettu ja mitä radiaalifunktiota siinä on käytetty ei esitetä niin lähestymistapa on sinänsä hedelmällinen. Yritetään hahmottaa kasvoista keskeisimpiä komponentteja ja näiden liikkeitä sekä yrittää luokitella RBF verkolla liikkeiden kompositiot.

2.2.2 Piilotetut Markovin mallit

Lien erittäin selkeästi kirjoitetun väitöskirjan [24] tavoitteena oli kehittää sellainen tietokonenäköön perustuva kasvon piirteiden irrotus- ja tunnistusjärjestelmä, joka automaattisesti erottelee erilaiset tunneilmeet toistaan. Hänen kehittämä järjestelmä perustuu kasvon liikkeiden koodausjärjestelmään (Facial Action Coding System, FACS¹¹), tähän liittyviin liikeyksiköihin (AU Action Unit) ja piilotettuihin Markovin

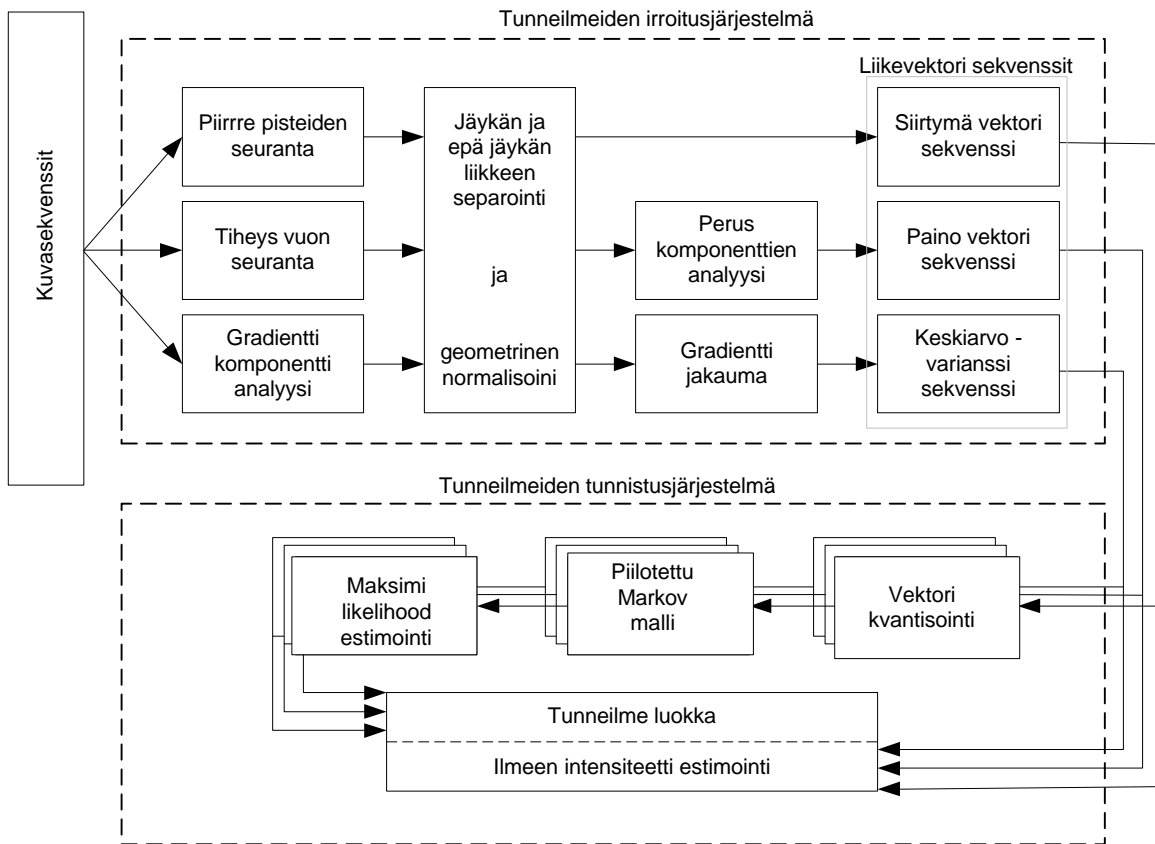
¹⁰ Vaikeasti käännettävä englanninkielinen sana "facial expression" käännetty tässä termiksi tunneilme.

¹¹FACS on lähes standardin omainen psykologien kehittämä, kasvojen anatomiaan perustuva koodausjärjestelmä. Tällä voidaan käsin koodata lähes kaikki mahdolliset kasvon diskreetit liikkeit. Näitä liikkeitä kutsutaan FACS:ssä action uniteiksi (AU). AU:t yksittäin tai kombinaationa esittävät

malleihin (Hidden Markov Models, HMM).

Hän käyttää samanlaista Ekmanin ehdottamaa perustunteiden järjestelmää kuin yllä Rosenblum & al. Vaikka huomauttaakin, että päivittäin nämä atomistiset perustunteet esiintyvät sellaisenaan harvoin vaan ihmisillä on kyky ilmaista kasvoillaan tuhansia kompleksisuutensa, intensiteettinsä ja merkityksensä mukaan vaihtelevia ilmiä.

Lien arkkitehtuuri (vrt. oheinen kuva 5) sisältää kaksi olennaisesti toisistaan poikkeavaa rakennekomponenttia ensinnäkin tunneilmeiden irrotusjärjestelmä ja toiseksi ilmeiden tunnistamisjärjestelmän. Syötetietoina käytettävää kuvasekvenssiä analysoidaan kolmiosaisessa tunneilmeiden irrotusjärjestelmässä. Järjestelmän tulokset konvergoidaan liikevektoreiksi, jotka edelleen välitetään vektorikvantisoijalle ja ilmeiden intensiteetti estimaattorille.



Kuva 5: Lien tunneilmeiden tunnistusjärjestelmän arkkitehtuuri

Sekä piirrepisteiden että tiheysvuon seuranta osajärjestelmää käytetään jäljittämään kasvon liikkeitä, jotta spatio-temporaali alueessa tapahtuvat ilmeiden muutokset voitaisiin tunnistaa. Kasvon piirteiden pisteseuranta analysoi kuvaa karkeasta hienoon etenevässä pyramidimaisena algoritmina. Näin se pystyy havaitsemaan sekä hienon hienot liikkeitä, että laajoissa alueissa tapahtuvat muutokset. Tarkasteltavat pisteet muodostuvat

kaikki visuaalisesti diskriminoituvat ilmeet. FACS:ssa kasvot jaetaan ylä- ja alaosaan (12 ja 18 kpl AU:ta). Lisäksi se sisältää luokat pään ja silmien asennon koodamiseksi (8/6 AU ta) sekä sekaisia seikkoja sisältävän luokan (14 kpl). Esimerkiksi sisemmän silmä kulman nosto on AU1, AU9 = nenän nyrpistus.

kulmakarvojen, silmien, nenän ja suun piirteistä. Toisaalta otsalla, leualla ja poskilla on tärkeä tehtävä ilmeiden muodostamisessa. Tiheysvuon seuranta käytetäänkin hankkimaan liikeinformaatiota koko kasvoista. Gradientti komponentti analyysia käytetään tunnistamaan ilmeitä kun kasvoissa esiintyy ryppyjä ja juonteita. Rypyt ja uurteet ovat kohtisuorassa aktivoivaan lihakseen nähden, joten silmäkulmien nostaminen tai hymy näkyvät kuvassa sävymuutoksina. Analysoimalla spatio-temporaalialueilla gradientti muutoksia voidaan nämä lihasliikkeet tunnistaa.

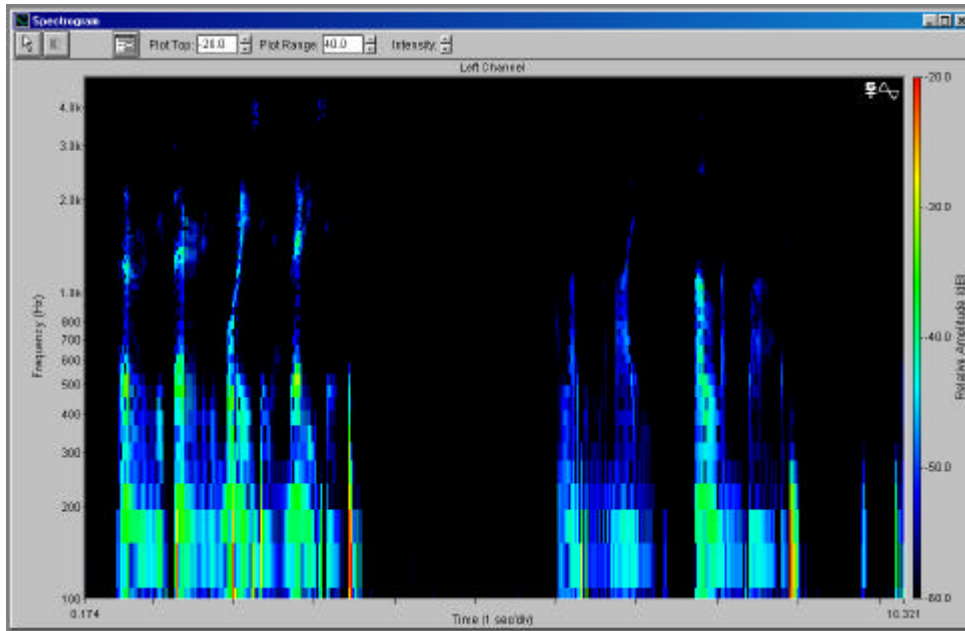
Kun liikeinformaatio on irrotettu erotetaan toisistaan kiinteät liikekomponentit (kallon liikkeet) epäkiinteistä (kasvojen) liikkeistä. Näin saadaan kallon liikkeiden (pitch, yaw ja roll) osuus virheterminä minimoitua. Samoin suoritetaan geometrinen normalisointi affineilla muunnoksilla (skaalaus, siirto jne.). Tämä siksi, että eri kuvasekvensseissä on aina samankokoiset kuvat ja voidaan eliminoida taustan vaikutus. Yksittäisten kuvien koko oli 417 x 385 pixeliä.

Lien käyttää piilotettuja Markov Malleja (HMM) tunnistamaan eri tunneilmeitä. Metodin on havaittu olevan tämän kaltaisissa sovelluksissa luotettava ja tehokas sekä voidaan soveltaa suhteellisen pitkiin spatio-temporaalisiin ja moninkertaisiin sekvensseihin. HMM:ää sovelletaan esittämään havaittavan symbolisekvenssin tilastollista käyttäytymistä kuvattuna Markov ketjun tiloina. Jokaiselle havaittavalle symbolille HMM on joko samassa tilassa tai siirtyy toiseen tilaan tähän tilaan liittyvän tilansiirtotodennäköisyyden mukaisesti. HMM on tupla stokastinen malli jossa toisaalta on kuvattu havaittavan symbolin dynaaminen struktuuri (tilan siirtotodennäköisyys) ja toisaalta jokaiseen tilaan liittyvän havaittavan symbolin todennäköisyysjakauma vangitsee ko. symbolin vaihtelun tiettyyn HMM:n tilaan. Lien HMM sovelluksessa esiintyy kolme parametriä a) alkutila todennäköisyysvektori, b) tilansiirto todennäköisyysmatriisi ja c) havaittavien symbolien todennäköisyysmatriisi. HMM:n käyttö tunneilmeiden havaitsemiseksi on mielekästä koska se on samanlailla analoginen kuin ihmisen käyttäytyminen tupla stokastisena prosessina. Eli ihmisellä esiintyy toisaalta vaikeasti mitattavia tajunnansisäisiä tiloja ja toisaalta mitattavia - havaittavia - toimintoja (kasvojenilmeitä)..

Ennen kuin kuvavektori sekvenssit johdetaan HMM malliin ne vektorikvantisoidaan. Tässä moniulotteiset vektorisekvenssit konvergoidaan yksiulotteiseksi (diskreetiksi) symboli skevenssiksi. M tasaisen vektorikvantisoinnin sanotaan olevan eräänlainen M kokoinen koodikirja. Koodikirjan, vektorikvantisoijan, suunnittelun tavoitteena on partitioida k ulotteinen vektori M eri clusteriin, ryväkseen. Tässä siis liitetään jokaiseen clusteriin C^l , jonka virittäjänä on k dimensioinen vektori c^j kvantisoitu koodisana (symboli) o^i Jotta FACS:ään sisältyvät yksittäiset AU:t tai näiden kombinaatiot voitaisiin mallintaa ”tunneilmaisuyksikköinä” joudumme opettamaan HMMää. Olennaista tässä opetusprosessissa onkin luoda hyvä vektorikvantisoija, koodikirja.

2.3 Äänen sävyihin pohjautuva tunnistus

Tunteiden tunnistus vokaalisen informaation pohjalta jakautuu kahtia. Toisaalta puhuttujen sanojen ja virkkeiden semanttisella sisällöllä on valtava merkitys tunneinformaation välittämisessä. Toisaalta äänneasulla – mm. foneemeilla – voidaan välittää tiettyjä affektiivisiä tiloja. Tässä keskitymme jälkimmäiseen. Kuitenkin ei informatiivisella äänneillä voi olla myös selkeä symbolinen merkitys (huudahdukset, huokaukset jne.)



Kuva 6: Spektogrammi kun artikkelin tekijä lausuu (halpaan mikrofoniin): “Örri pörri murisee ja mörisee” < tauko > “Alavilla mailla hallan vaara” (viimeset kaksi piikkiä ovat virhe signaaleja).

Äänisignaalit voidaan esittää sähköisesti monin tavoin kuten aaltomuotoina (oskillogrammeina), taajuusspektrin tai spektrin ajallisena vaihteluna ns. spektrogrammina. Spektrogrammissa vaaka-akselina on aika pystyakselina taajuus ja kunkin taajuus komponentin voimakkuus esitetään joko harmaasävyillä tai väreillä (vrt. oheiseen kuvaan). Kuvasta nähdään, että tietyt taajuudet esiintyvät horisontaalisesti voimakkaampana kuin muut (vihreät), esimerkiksi kuvassa taajuudet 153 – 200 Hertsiä esiintyvät kauttaaltaan horisontaalisesti, toinen selkeä alue ensimmäisessä virkkeessä asettuu 500 hertsin ympärille. Nämä taajuuskaistat muodostuvat äänihuulten kallon kaikupohjan, suun ontelon, huulten ja kielen yhteisvaikutuksesta. Niitä kutsutaan resonanssialueiksi eli formanteiksi ja numeroidaan pienimmästä suurimpaan otsakkeilla F1, F2, F3 [31].

Puheen tunnesisältöä on kokeellisesti tutkittu. Näissä kokeissa on joko maalikoille tai koulutetuille näyttelijöille annettu tehtäväksi lausua joukko lauseita tiettyä tunnetta ilmaisevalla tavalla (esimerkiksi vihaisesti, surullisesti, onnellisesti).

Eräs tutkimus tehtiin Belfastissa koehenkilöitä oli 20 naista ja 20 miestä [30]. Yksittäisten kokeiden välillä havaittiin olevan merkittäviä eroja. Selvästi tulokset voitiin ryhmitellä kahteen luokkaan intensiteetin mukaan: pelko viha ja onni toiseen sekä neutraali ja surullinen toiseen. Tutkimuksessa myös havaittiin, että tauot normaalia ja surullista matkivassa puheessa olivat muita pidempiä. Lisäksi havaittiin keskimääräisen amplitudin nousu- ja laskuajoissa olevan eroja. Pelkoa ja vihaa matkivissa olivat nousu- ja laskuajojen mediaanit pidempiä. Mutta toisaalta intensiteetin huipennus (crescendo) ja intensiteetin venytys olivat suurempia pelossa ja vihassa Edelleen myös spektraalinen energia (eri formanteilla ja perussävelellä) havaittiin olevan erottava tekijä (“vihainen ihminen kirkuu”). Surullisesti sanotut lauseet esiintyvä normaalia alemmalla spektrin

alueilla (ylemmät formantit vaimentuneita ja perussävel, pitch, matalampana).

Petrushin on tehnyt kaksi koejärjestelyä joiden pohjalta myös laadittiin hahmontunnistusalgoritmit. Tällaista hahmontunnistinta sovellettiin puhelinkeskuksen päätöksentekotukijärjestelmään. Tällaisella hahmontunnistimella voidaan priorisoida viestejä ja liittää niihin viestin tunnesisällön mukainen (vastaus) agentti [32]. Ensimmäisessä koejärjestelyssä datajoukko muodostui yhteensä 30 koehenkilön lausumasta 700 lyhyestä lauseesta, jotka edustivat viittä tunnetta nimittäin onni, pelko, suru, viha ja ei tunnetta. Datajoukon generoimisen jälkeen näytteet esitettiin satunaisessa järjestyksessä koehenkilöistä riippumattomalle tarkkailujoukolle tunnistamaan tietty tunne. Tarkkailujoukko pystyi tunnistamaan ko. tunteet keskimäärin 60 –70 % tarkkuudella lukuun ottamatta pelkoa (49.5 %) joka usein sekoitettiin suruun (24.2 %). Tarkkailujoukon lausuntojen pohjalta ryhmiteltiin näytteet viiteen ryhmään sen mukaan miten moni oli tunnistanut tunteet jaoteltuna prosenttiosuuden p (= 70%, 80%, 90%, 95% ja 100%) mukaan. Ryhmille annettiin nimet s70, s80 jne. Siis ryhmään s70 kuuluivat kaikki ne jotka tarkkailujoukko tunnisti 70 %:sesti. s70:een kuului 52 % näytteistä (eli 369 näytettä), s80: 36.7%/257, s90: 149/21.3%, s95: 94/13.4% ja s100:55/7.9%. Siis vain 7.9 % näytteistä kaikki tarkkailuryhmän jäsenet pystyivät samanaikaisesti tunnistamaan. Joukkoa s70 käytettiin opetusdatana valittuihin hahmontunnistusluokittimiin.

Useammassa tutkimuksessa on havaittu äänen perussävelen olevan ratkaiseva vihje tunteen tunnistamiseksi. Muita tunteen ilmaisemiseen vaikuttavia akustisia signaaleja ovat: äänen energia (tietenkin), taajuus, spektrin ominaisuudet (vrt. yllä) formantit (erityisesti F1 ja F2) sekä temporaaliset – tilapäiset – ominaisuudet kuten puheen nopeus ja tauot. Vokaalisessa tunnetutkimuksessa on myös käytetty johdannaissuureita kuten lineaarista ennustavaa koodausta, perussävelen verhoikäyrää jne.

Petrushinin tutkimuksessa käytettiin hahmontunnistukseen seuraavia piirteitä: Äänen perustaajuus (F0), energia, puhenopeus, kolmea alinta formanttia (ja näiden kaistaleveyttä). Puhenopeudella tarkoitetaan käänteisarvoa puhutun pituuden osuudesta hiljaisiin hetkiin. Muille parametreille laskettiin keskiarvo, standardi poikkeama, minimi ja maksimiarvot. Tunnistimena käytettiin neljää erilaista: knn-lähintä naapurua, hermoverkkoja, kokoelmaa pienempiä hermoverkkoja joiden tulokset johdettiin enemmistöäänestykseen ja ”asiatuntijajoukkoa”, joista kukin asiantuntijaverkko (hermoverkko) tunnistaa yhtä tunnetta kerrallaan.

3 TUNTEIDEN SYNTEESISTÄ

Koska koneemme pystyvät ainakin jossain määrin tunnistamaan tiettyjä luokiteltuja tunteita luvussa 3 mainituin menetelmin, nousee helposti esiin kysymys voivatko koneet myös syntetisoida tunteita. Erityisen mielenkiinnon kohteena on ollut erilaiset älykkäät agentit¹², joita voidaan soveltaa mm. tietokoneavusteisessa opetuksessa, suunnittelussa

¹² Ohjelmisto agentti termi on tämän päivän tietotekniikka kirjallisuudessa hyvin häilyväinen. Jopa alan tutkijoiden joukossa selkeätä yhteisymmärrystä termin sisällöstä ei ole saavutettu [33]. Vaikka agentin käsite on enemmänkin laajaalainen sateenvarjotermi niin ohjelmisto agentilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sellaista ohjelmistopalasta, joka pystyy (sovelluksesta riippuen) vuorovaikuttamaan toisten agenttien kanssa, oppimaan käyttäjän pyrkimyksistä ja toiveista, keräämään autonomisesti tietoa, suodattamaan käyttäjälle tulevaa tietoa, ohjaamaan tiedonhakuprosessia ja osallistuman aktiivisti suunnitteluprosessiin.

(sanan planning merkityksessä) ja jopa robottien ohjauksessa. Kappaleessa 2 käsitteimme erilaisia tunnemalleja, näistä sekä biososiaalista että kognitiivista lähestymistapaa on sovellettu tunteiden generointiin. Erilaisista kognitiivisista malleista valitettavasti vain muutama soveltuu hyvin tietokonepohjaiseen, algoritmiseen tunteiden synteisiin. Tässä keskitymme kahteen nimittäin Ortony, Clore ja Collinsin (OOC) ja Rosemanin malleihin [2].

3.1 Ortonyn, Cloren ja Collinsin (OOC) malli

Alun perin Ortonyn, Cloren ja Collinsin teoria oli tarkoitettu tekoalysovelluksissa esiintyvien päättelysääntöjen formulointiin. Mallin käytännöllisyyden vuoksi tietojenkäsittely-yhteisö on laajalti soveltanut heidän vuonna 1988 julkaisemaa kirjaansa Cognitive Structure of Emotions. Heidän mielestään ei ole kovin olennaista onko koneilla tunteita sen sijaan olennaista on että tekoälyjärjestelmät pystyvät käsittelemään säännöstöillään erilaisia tunteita erityisesti sellaisissa sovelluksissa kuten luonnollisen kielen pragmaattisessa sisällön ymmärtämisessä, yhteistoiminnallisissa ongelmanratkaisu tilanteissa ja suunnittelutehtävissä.

OOC mallissa tunteita ei esitetä käyttämällä joukkoa (atomistisia) perustunteita vaan ryhmitellään tunteet erilaisin kognitiivisin esiintymisehdoin. Erityisesti siinä oletetaan tunteiden syntyvän (positiivisesti tai negatiivisesti) arvioitujen tiettyjen tilanteiden luomien stimulusten tuloksena. Näitä tilanteita heidän mallissaan ovat tietyt tapahtumat, agentit ja objektit (vrt. oheiseen kuvaan 7). Tällaisella arkkitehtuurilla Ortony Clore ja Collins tunnistivat 22 erilaista tunnetta ryhmiteltynä tunnetyyppin mukaan

OCC mallissa tunteiden synteesi tietokoneella on suhteellisen helppoa. Mallista on muodostunut de Facto menettelytapa vaikka se korostaa kognitiivista tunteiden generointia. Tarkastellaan esimerkiksi miten ilo generoidaan mallissa.

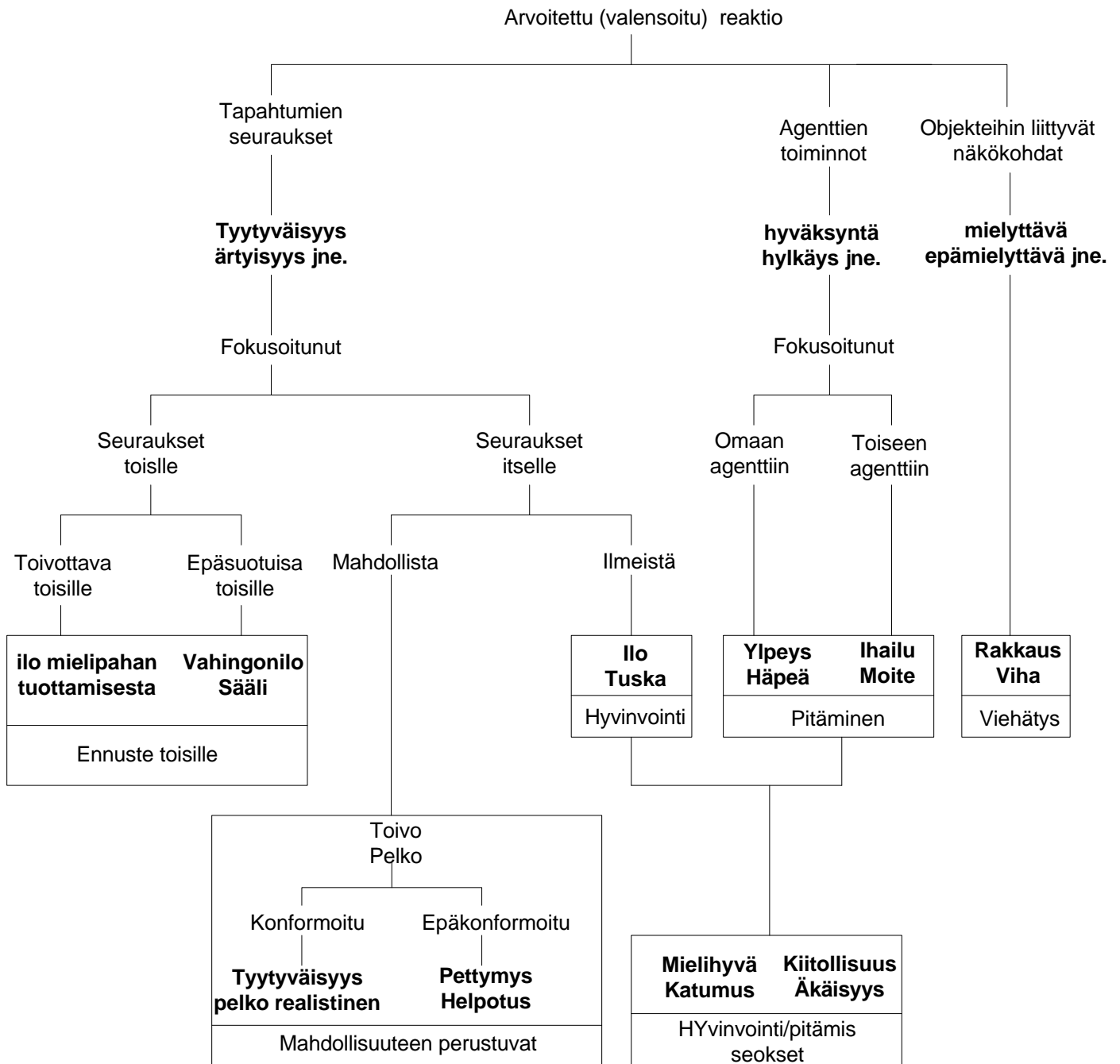
Ilon synteesi: Merkitään $D(p,e,t)$:llä henkilön p ajanhetkellä t kokeman tapahtuman e haluttavuutta. Funktio antaa positiivisen arvon jos tapahtuman odotetaan antavan suotuisia seurauksia kun taas funktio palauttaa negatiivisen arvon jos tapahtuman odotetaan antavan harmillisia seurauksia. Olkoon $I_X(p,e,t)$ taas kombinaatio globaaleista tapahtuman intensiteetti arvoista (kuten odotettavuus, realismi, läheisyys). Merkitään $P_j(p,e,t)$:llä mahdollisuutta generoida ilo. Nyt saadaan ilolle päätössääntö:

$$\begin{aligned} &\mathbf{IF} D(p,e,t) > 0 \\ &\mathbf{THEN} P_j(p,e,t) = f_j(D(p,e,t), I_X(p,e,t)) \end{aligned}$$

missä f_j on ilolle spesifi funktio. – Vastaavanlaisia säännöstöjä voidaan luoda kaikille OCC mallissa esitellyille tunteille (esiintymismahdollisuuksille). Yllä mainittu sääntö ei vielä aiheuta ilon tilaa tai kokemista vaan se liipaisee toisen säännön, joka määrää ilon intensiteetin I_j . Olkoon T_j tietty ilon (henkilöstä ja ajanhetkestä riippuva) kynnyksiarvo, tällöin:

$$\begin{aligned} &\mathbf{IF} P_j(p,e,t) > T_j(p, t) \\ &\mathbf{THEN} I_j(p,e,t) = P_j(p,e,t) - T_j(p, t) \\ &\mathbf{ELSE} I_j(p,e,t) = 0 \end{aligned}$$

Säännöstö aktivoi ilon tunteen eli antaa nolasta poikkeavan intensiteetin kun kynnsarvo on ylitetty. Tuloksena syntynyt ilo voidaan kuvata useammalla eri intensiteetiltään vaihtelevalla (diskreetillä) termillä kuten olla hyvillään, mielissään tai haltioitunut.



Kuva 7: Orhony, Cloren ja Collinsin tunnemalli

Vaikka OCC mallia on laajalti sovellettu niin Orhony, Clore ja Collins eivät kuitenkaan anna yksityiskohtaisia kuvauksia tai apuneuvoja siitä miten malli pitäisi implementoida. Lisäksi siinä ei ole kuvattu miten tunteet vuorovaikuttavat keskenään, sekoittuvat, käyttäytyvät ajallisesti (esimerkiksi vaimenevat ajan mukaan) ja mitä arvoja

voidaan käyttää liipaisukynnyksissä. Koska OCC malli syntetisoi tunteet tiettyjä tapahtumia, objekteja tai agentteja sisältävistä tilanteista ja koska tunne tila jo itsessään voi olla tällainen tapahtuma mahdollistaa malli sen, että tunne voi liipaista toisen tunteen tai (rekursiivisesti) saman tunteen.

3.2 Ira Rosemanin kognitiivinen arviointimalli.

Yksi uusimmista tietokonesynteessin soveliaista tunneteorioista on Ira Rosemanin kehittämä arviointimalli. Roseman on kategorisoinut ne arviointitavat, jotka ihmiset tekevät joko symbolisesti tai primitiivisesti mutta kuitenkin automaattisesti tietyn tunteen herättämistä tapahtumista tai stimuluksista.

Rosemannin malli pohjautuu kahdenlaisiin empiirisiin tutkimuksiin. Ensinnäkin toisessa tutkimuspatteristossa koehenkilöitä pyydettiin muistelemaan tiettyjä tunnekokemuksia ja vastaamaan kyselykaavakkeeseen. Kyselykaavake oli laadittu siten, että voitiin mitata tunteeseen johtanutta arviointia. Toisessa tutkimuspatteristossa koehenkilöitä pyydettiin lukemaan lyhyitä tarinoita ja vastaamaan kysymyksiin mitä tarinan päähenkilö voi tuntea ja kuinka syvällisiä nämä tunteet ovat. Näiden tutkimusten pohjalta Roseman laati 17 tunnetta ja 6 arviointitapaa sisältävän mallin (vrt . oheiseen taulukkoon).

		Positiivinen tunne Motiivi konstantti		Negatiivien tunne Motiivi inkonstantti		
		Haluttava	Ei toivottu	Haluttava	Ei toivottu	
Olosuhteiden aiheuttama	Odottamaton	Yllätys				
	epävarma	Toivo		Pelko		alhainen säätely mahdollisuus
	varma	ilo	Helpotus	suru	hätä	
	epävarma	Toivo		turhautuminen	inho	korkea säätely mahdollisuus
varma	ilo	Helpotus				
Muun aiheuttama	epävarma	Mieltymys		Vastenmielisyys		alhainen säätely mahdollisuus
	varma			viha	halveksinta	korkea säätely mahdollisuus
Itse aiheutettu	epävarma	Ylpeys		Kaipaus		alhainen säätely mahdollisuus
	Varma			syllisyys	häpeä	alhainen säätely mahdollisuus

Taulu 4: Ira Rosemannin arviointi malli

Roseman erottelee arviointimekanismeiksi:

1. Tapahtuman odottamattomuus, herättää yllätystunteen.
2. Vaikutin tai tilanne: Odottaako henkilö saavansa palkinnon (haluttava vaikutin) tai pyrkiikö välttämään rangaistuksen tai onko tilanne sovelias henkilön vaikuttimien kanssa.
3. Todennäköisyys Ovatko seuraukset todennäköisiä vai epätodennäköisiä ?
4. Mahdollisuus hallita. Kun epämieluisa tapahtuma esiintyy uskooko henkilö voivansa hallita tilannetta ? Mikäli näin on syntyy joko turhautuneisuutta tai iloa.
5. Ongelman luonne. Jos tietty tapahtuma on negatiivinen siten että, se estää tavoitteen saavuttamisen niin usein seurauksen onkin turhautuminen. Mutta jos

tietty asia on jo alunperin negatiivinen niin usein inhon kaltaisia tunteita nousee.

6. Toiminta. Toisia ihmisiä kohtaan tunnetut tunteet syntyvät jos tapahtuman aiheuttaa toinen henkilö tai itse. Toiseen kohdistuvien tapahtumien seurauksena on esimerkiksi rakkaus, viha häpeä jne.

Vaikka Rosemannin mallia ei vielä ole täysin syntetisoitu, niin sen pohjalta voidaan OCC mallin tavoin luoda joukko päätössääntöjä. Mallin etuna onkin, että sillä voidaan generoida hyvin ihmisen tunne-elämän kaltaista käyttäytymistä tiettyjen tapahtumien seurauksena.

4 SOVELLUKSIA

Tunnekoneita on sovellettu kokeellisesti osana laajempaa tutkimustoimintaa. Kirjallisuudessa esiintyy moniakin sovelluksia ohessa vain muutama esimerkki.

4.1 'Tikru'¹³

'Tikru' –projekti on yritys rakentaa sellainen pehmolelu, joka reagoi käyttäjän mielekkäällä ja luonnollisella tavalla [13]. Tikrun 'aistijärjestelmä' on muodostunut: a) taivutus anturista, b) ponnahdus kytkimestä, c) tilt anturista, d) kiihtyvyyssanturista, e) puristuskytkimestä. Tikru pystyy liikuttamaan päätään, korviaan ja äännelemään eritavoilla. Näillä sen arvellaan voivat välittää seuraavia tunteita: a) erittäin onnellinen (ekstaasi), b) onnellinen, c) neutraali, d) surullinen, e) erittäin surullinen

Tikru voi vaihtaa tunteita ja reagoida tunteellisella tavalla käyttäjän toimintoihin. Nämä käyttäjän toiminnot välitetään aistijärjestelmästä. Se voi tulla surulliseksi kun sillä ei ole tovin leikitty, erittäin surullinen kun se paiskataan pois (kiihtyvyys anturin antaman tiedon perusteella), Onnelliseksi se tulee tietenkin käyttäjän helliessä sitä (puristuskytkimen tietojen perusteella).

4.2 Orkesterin johtajan takki

Väitöskirjassaan Teresa Martin Nakra tarkasteli ja implementoi kapellimestarin takkia [11]. Takki on puettava laite¹⁴, joka mittaa fysiologisia signaaleja ja liikkeitä. Takin mittaamat signaalit johdetaan musiikkiohjelmistoon, joka tulkitsee nämä signaalit ja liittää ne tunnevoimaisesti musiikin yhteyteen. Tällä ohjelmalla voidaan muokata beatia, tempo, artikulaatiota, dynamiikkaa sekä nuotin pituutta.

Mitattavia signaaleja oli 16 kpl. Nämä eivät pelkästään mitanneet positio tai kiihtyvyys suureita vaan myös lihaksen jännitystä eri puolilla orkesterinjohtajan käsiä. Lisäksi mitattiin hengitystiheyttä kuten aikaisemmin mainitussa Healeyn väitöskirjassa. Takki puettiin kuudelle eri orkesterinjohtajalle (joista 3 oli jo valmistunut ja 3 opiskelijaa). Mittaustuloksia kerättiin 12 tunnin ajan. Tuloksista generoitiin 35 piirrettä, joiden katsottiin heijastavan intuitiivista ja luonnollista käsien liikehdintää orkestereita johdettaessa. Lopulta havaittiin, että lihasjännitys ja hengitys suureilla on merkittävä osuus orkesterinjohtajan ilmaisemissa eleissä.

¹³ Nimi 'tikru' tulee siitä, että rakennettu pehmolelu muistuttaa Nalle Puh:n tiikeriä, tikrua.

¹⁴ Tekniikan sanastokeskus ehdotti termille wearable device suomenkielistä käännöstä puettava laite.

4.3 Bruzard tunne avatari

Jonathan Klein on luonut visuaalisen ja ääni alustan tunteiden koneelliseen esittämiseen, lempinimeltään Bruzard [15]. Bruzardin sanotaan olevan interaktiivinen, animoitu 3D hahmo jonka suunnittelun tavoitteena on ollut sekä ilmaista tunteita että mallintaa ihmisen tunteiden dynamiikkaa. Tähän dynamiikkaan sisältyy tunteiden intensiteetti, siirtyminen tilasta toiseen ja tunnetilan vaimeneminen.

Ulkonaisesti Bruzard pyrittiin luomaan lapsen näköiseksi ja oloiseksi, jolla toki on täydellinen kokoelma tunteita mutta omaa vain satunnaisen tietoisuuden siitä mitä ympärillä tapahtuu (erityisesti tapahtumien mutkistuessa). Se kykenee ilmaisemaan tunteensa mutta on verbaalisesti melko kömpelö.

Bruzardin suunnittelussa on käytetty paljon perinteisiä kasvoanimaatioista tuttuja suunnittelu-tekniikoita, jotta sen tunneilmeet olisivat helpommin luettavissa. Tällaisia seikkoja ovat mm. silmien laajeneminen, silmäkulmien nouseminen tai erilaiset vartalon liikkeet.

Bruzardia voidaan soveltaa monin paikoin. Klein ehdottaa mm

- Opetuksen apuna, antamalla tunnetulkintaista takaisinkytkentää tietyn opiskelutehtävän suoriutumisessa.
- Osana tietokoneen käyttöliittymää, jolloin se voisi ilmaista koneen eri tiloja ja antaa visuaalisen tunnevoimaisen takaisinkytkennän käyttäjän toimista (vrt. esimerkiksi Microsoft Office Assistanttiin).
- Bruzard voidaan liittää tunteiden fysiologiseen mittauksiin, jolloin Bruzard voisi ilmaista mitattuja suuria heijastavia tunteita.

4.4 Sosiaalisesti uskottavat agentit ja vuorovaikutteinen draama

Carnegie Mellon yliopistossa läpiviedyn Oz projektin tavoitteena oli luoda interaktiivisen dramman kehitysympäristö. Tässä synteettiset hahmot (eräänlaiset avatarit) olivat ns. sosiaalisesti uskottavia, joten ohjelmiston käyttäjälle saattoi syntyä illuusio elävästä elämästä [2, 34, 35]. Projektin ajatuksena oli luoda sellainen immersiiivinen ympäristö, fantasia maailma, jossa esiintyi joukko potentiaalisia seikkailuja ja joukko hahmoja. Ohjelmiston käyttäjä itse saattoi seikkailla tässä maailmassa ja hahmot reagoivat sekä keskenään että käyttäjän toimenpiteisiin tietyn hyvin väljästi kirjoitetun käsikirjoituksen alaisuudessa.

Monista Oz projektissa kehitetyistä hahmoista mainittakoon kotikissa Loytard. Tällä oli suuri kokoelma erillaisia tunnetiloja ja näitä vastaavia käyttäytymismalleja. Loytard saattoi esimerkiksi toivoa tulla ruokittavaksi, osoitti iloa kun ruokaa tarjottiin, saattoi kehrtä olleessaan tyytyväinen jne.

Oz projektissa kehitettyä arkkitehtuuria tutkijat kutsuivat ”Tok”:ksi. Kehitetty ohjelmistoarkkitehtuuri suoritti monia eri tehtäviä, eikä keskittynyt pelkästään hahmojen tunteiden synteisiin. Muista tehtävistä mainittakoon ympäristön havainnointi, tavoitteellisen käyttäytymisen mallintaminen ja jonkinlainen kirjoitetun kielen tulkinta (mm. käsikirjoituksen). Osajärjestelmä jonka tehtävänä oli syntetisoida tunteita kutsuttiin Em:ksi. Em syntetisoi tunteita yllä mainitun OCC mallin mukaisina algoritmeina ja näin mallintaa myös ihmisen kaltaista käyttäytymistä. Em:iin oli implementoitu 11 positiivista tunnetta (mm. ilo, rakkaus ja tyytyväisyys) ja 13 negatiivista tunnetta (mm. pelko, pettymys ja viha). OCC mallin mukaisesti generoiduilla tunteilla oli erilaisia intensiteetti arvoja sekä tunteen muodostamisessa tiettyjä kynnyksarvoja. Kullekin tunteelle oli myös

mallinnettu tunteen vaimenemisominaisuuksia. Näin käsikirjoituksen laatijalla ja hahmojen luojalla on käytettävissään joustava kokoelma työkaluja hahmojen persoonallisuuksien luomiseksi.

Em arkkitehtuuri mahdollisti tietyssä tunnetilassa uusien tavoitteiden ja käyttäytymismallien asettamisen. Esimerkiksi sangen neutraalissa toimistoympäristössä jokin hahmo saattoi suuttua toiselle niin paljon, että hahmo saattoi luoda kostamaan tähtäävän tavoitteen tai toinen hahmo saattoi olla niin onnellinen, että pyrki tanssimaan. Lopulta Em arkkitehtuuri mahdollisti sen, että tietyt tunteet saattoivat vaikuttaa siihen miten hahmo havaitsee ympäristöään. Esimerkiksi tietty hahmo, saattoi olla niin kiukkuinen, että havaitessaan toisten hahmojen pyörivän ympärillään kuvitteli (havaitsi) näiden haluavan tapella.

4.5 Opetus agentit

Lähteessä [16] Elliot, Lester ja Rickel tarkastelevat virtuaalista opetusjärjestelmää. Järjestelmä sisältää eräänlaisen virtuaalisen agentin jolla väitetään olevan persoonallisuus ja pystyvän reagoimaan tunnepohjaisesti. Hankkeen tavoitteena on ollut luoda sellainen kokeellinen pedagoginen agentti, joka pystyy motivoimaan opiskelijoita. Tämä on arveltu voitavan saavuttaa seuraavin tavoittein:

1. Pedagoginen agentti pitäisi voida huolehtia opiskelijasta tämän opintomenestyksestä
2. Agentin pitää pystyä havaitsemaan opiskelijan tunnetiloja erityisesti tämän turhautuminen.
3. Agentin pitää pystyä innostumaan voidakseen innostaa opiskelijoita.
4. Agentilla pitää olla rikas ja kiinnostava persoonallisuus, jotta opiskelutapahtuma olisi mielenkiintoisempi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tunnetutkimus on melko nuorta verrattuna esimerkiksi tähtitieteeseen, fysiikkaan tai kemiaan. Olemme lukeneet tästä yleiskatsauksesta sen, että tunteiden ilmiäsi fysiologisina signaaleina, kasvojen ilmeinä tai äänensävyinä on heijastumaa hermoston toiminnasta. Tiedämme nyt tunteiden ulkoisten piirteiden olevan havaittavia ja mitattavia seikkoja. Mutta sen sijaan täysin tarkasti emme vielä tiedä miten aidot, spontaanit tunteet täsmällisesti kuvautuvat toisaalta tajunnansisäisinä prosesseina ja toisaalta autonomisen hermoston tiloina. Mittaustapahtumat näet usein biasoivat tutkimusta.

Suurin osa julkaistuista tunteita havaitsevista menetelmistä on keskittynyt vain yhteen piirteeseen. Mitataan joko äänneasua, fysiologisia tapahtumia tai kasvojen ilmeitä. Tässä prosessissa erilaiset hahmontunnistusmenetelmät ovat osoittautuneet hyviksi tekniikoiksi. Mutta jos haluamme parantaa tunnistustarkkuutta joudumme mittaamaan useampaakin signaalia yhdessä: Ääntä, fysiologisia signaaleita, kasvojen ilmeitä ja vartalon elehtimistä. Toistaiseksi ei juuri kirjallisuudesta löytynyt viitteitä tällaisesta multimodaalisesta lähestymistavasta.

Toinen keskeinen seikka on tunteiden tajunnansisäinen luonne. Itse varsinainen psykologinen tutkimus tällä alueella on nuorta ja melko haparoivaa. Jotta voisimme syntetisoida tunteita rakentaa koneita, jotka oma-aloitteisesti voisivat käyttäytyä tunnevaltaisesti ja matkia ihmisen sielullista tunneälyä, joudumme huolellisesti

punnitsemaan ihmisen käyttäytymisen syitä ja seurauksia kognitiivisena prosessina. Yhtenä syynä siihen, että tunteiden synteesi on vielä kovin alkeellista on varmaankin se, että tätä tajunnansisäistä prosessia ei oikein tunneta kunnolla.

Tarvitaanko tunnekoneita ? Tarvitaan, jos haluamme koneidemme olevan ystävällisiä ottavan huomioon käyttäjän tarpeita ja toiveita, esittävän hyviä ratkaisutapoja käyttäjän ongelmiin. Mutta toisaalta ihmisillä voi olla huoli siitä, että koneet ottavat ylivallan, niin kuin Avaruusseikkailu 2001:n HAL teki. Niin, voivatko ?

LÄHTEET

- [1] **Stork D.** (ed): HAL's Legacy: 2001's Computer as Dream and Reality, ed. MIT Press 1997
- [2] **Picard R.:** Affective Computing , 2. Ed, MIT Press 1997
- [3] **Klein J.T.:** Computer Response to User Frustration, Technivcal Report 480, MIT SM thesis, Jan 1999.
- [4] **Healey J., Picard R.:** Digital Processing of Affective Signal, Proceedings of ICASSP' 1998
- [5] **Healey J., Picard R.:** Smart Car: Detecting Driver Stress, Proceedings of ICPR'00, Barcelona 2000.
- [6] **Healey J.:** Wearable and Automotive System for Affect Recognition from Physiology, PhD thesis, MIT May 2000
- [7] **Vyzas E., Minka T., Healey J.:** Emotion Recognition in an actor, <http://www.media.mit.edu/affect>
- [8] **Fernandez R.:** Stochastic Modelling of Physiulogical Signals with Hidden Markov Models: A step Toward Frustration Detection in Human-Computer Interfaces, Master Thesis, Technical Report 446 MIT
- [9] **Scheirer J., Klein J., Norwood M., Riley K.:** The Frustration Experiment, <http://www.media.mit.edu/affect>
- [10] **Anon.:** Reserch on Sensing Human Affect, <http://www.media.mit.edu/affect>
- [11] **Nakra T.M.:** Inside the Conductor's Jacket: Analysis, Interpretation and Musical Synthesis of Expressive Gesture, PH D. Thesis, Technical Report 518, MIT Feb 2000.
- [12] **Darwin C.:** Expression of Emotion in Man and Animals, Project Gutenberg Etext #1227, <http://sailor.gutenberg.org/etext98/eema10.txt>
- [13] **Kirsh D.:** The Affective Tigger: a a study on the construction of an emotionally reactive toy , May 1999
- [14] **Anon.:** Synthesizing Emotions in Machines, <http://www.media.mit.edu/affect>
- [15] **Klein J.:** Bruzard, A platform for computer Expression of Emotion <http://www.media.mit.edu/affect>
- [16] **Elliot C., Lester J.C., Rickel J.:** Integrating affective computing into animated tutoring agents, IJCAI Workshop on Animated Interface Agents, Nagoya, Japan 1997
- [17] **de Rosis F., Grasso F.:** Affective Natural Language Generation
- [18] **Freedman J. :** Redefining 'Personal' Computing, Is teaching emotions to computers the

key to sci-fi reality, <http://www.medill.nwu.edu/journalism/magazine/bright/brightlite/computing.html>

- [19] **Anon.:** Emotions Encyclopedica Britannica, 2001,
- [20] **Lehtovaara Arvo:** *Tunne*, EncyclopedicaFennica, Otava 1965
- [21] **Imoniemmi R.:** *Aivojen rakenne ja toiminta* , <http://www.biomag.helsinki.fi/braincourse>
- [22] **Leppäluoto J.:** *Neurofysiologian luentorunko*, Oulun yliopisto Fysiologian laitos, <http://cc.oulu.fi/~fysiowww/Neuro.html>
- [23] **Rosenblum M., Yacoob Y., Davis L.:** *Human Emotion Recognition from Motion Using a Radial Basis Function Network Architecture*, IEEE Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects, Austin Texas, 1994
- [24] **Lien J. J-J:** *Automatic Recognition of Facial Expressions Using Hidden Markov Models and Estimation of Expression Intensity*, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1998
- [25] **Zhao W., Chellappa R., Rosenfeld A., Phillips P.J.:** *Face Recognition: A Literature Survey*
- [26] **DeCarlo D., Metaxas D.:** *Model Based Face Tracking*, <http://www.cs.rutgers.edu/~decarlos/facetrack.html>
- [27] **Gong S.:** *Locating and tracking faces using color*, <http://www.dcs.qmw.ac.uk/research/vision/articles/bmvc97/node2.html>
- [28] **Rowley H.A., Baluja S., Kanade T.:** *Neural Network-Based Face Detection*, IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, 1998
- [29] **Sung K-K., Poggio T.:** *Example-Based Learning for View-Based Human Face Detection*, IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 20, No 1 1998
- [29] **Spangenberg S.:** *The RBF Network Receiver*, <http://www.ee.ed.ac.uk/~ssp/project/html/node30.html>
- [30] **Theodoridis S., Koutroumbas K.:** *Pattern Recognition*, AcademicPress, 1999
- [31] **Anon.:** *Development of Feature Representations from Emotionally coded Facial Signals and Speech*, Report for the TMR PHYSTA project: Principied Hybrid Systems: Theory and Application
- [32] **Petrushin V.:** *Emotion in speech: Recognition and application to call centers*, Andersen consulting
- [33] **Nwana H., Ndumu D.:** *An Introduction to Agent Technology*, Intelligent System Research, Applied Research and Technology
- [34] **Mateas M.:** *An Oz-Centric Reviewe of Interactive Drama and Believable Agents*, Carnegie Mellow University
- [35] **Reilly W.S.N:** *Believable Social and Emotional Agents*, May 1996, CMU-CS-96-138
- [36] **Kelso M., Weyhrauch P., Bates J.:** *Dramatic Presence*, PRESENCE: The Journal of Teleoperators and Virtual Environments, Vol 2, No 1, MIT Press.

