

# RAKENDUSI REAAL- JA HUMANITAARTEADUSTE SÜMBIOOSIST

*Einar Meister, Jaan Penjam, Enn Tõugu*

Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituut

Seosed inseneri- ja humanitaarteaduste vahel on tihedamad kui ehk tavaliselt arvatakse. Tänapäeval ei saada klassikalistel humanitaaraladel läbi oma tehnoloogiateta (keeletehnoloogia, õpetamise tehnoloogia jms), ammugi siis loodusteadustes, mille rakendused on tehnoloogiatega oluliselt läbi kasvanud (keemiatehnoloogia, geenitehnoloogia, biotehnoloogia). Aga õige on ka vastupidine – inseneriteadused, mille peamiseks sihiks on uute tehnoloogiate ja tehniliste lahenduste väljatöötamine, baseeruvad olulisel määral loodus- ja ka humanitaarteadustel. Käesolevas artiklis vaatame lähemalt arvutiteaduse ja lingvistika vastastikuseid rakendusi. Arvutiteadust on aegade jooksul viljeldud Küberneetika Instituudi mitmes osakonnas, arendatud on nii teoreetilisi aluseid kui saadud ka huvitavaid ja praktilikas kasulikke tulemusi.

Arvuti- ja kommunikatsioonitehnika kiire areng on innustanud ulmekirjanikke ning teadlasigi unistama arvutist kui inimese intellektuaalsest abimehest. Ning kuigi infotehnoloogia on tõepoolest muutnud paljudel elualadel töökeskkonda, muutnud isegi inimsuhtluse olemust, nii et teatud mõttes saame rääkida uuest kooselu vormist – infoühiskonnast, jääb arvuti siiski just intellektuaalsetes valdkondades inimesele nõrgaks partneriks. Arvuti kasutamise tõttu on vaieldamatult kasvanud ning mitmekesis-  
tunud infotöötamise võimalused. Tervikuna pole aga edusammud nii suured kui oleks võinud oodata, sest me ei saa hakkama üha kasvavas infohulgas orienteerumisega, vajaliku ülesleidmisega, arvuti juhita-  
vate protsesside jälgimise ning suunamisega. Üheks probleemiks on kommunikatsioon arvuti ja inimese vahel. Keel (märgisüsteem), mida kasutame lävimisel teiste inimestega, sisaldab signaale ja sümbol-  
leid, mida tajume kompimise, haistmise ja maitsmise kaudu, mis arvuti käsitsemisel on peaaegu kasutud. Küllalt vähe kasutatakse tänapäeval ka kuulmis-  
meelt. Peamiselt on loetletud meeleorganeid kasutatud vaid arvuti korrasoleku tuvastamiseks kõige primitiivsemal tasemel. Ka inseneride poolt laialt

kasutatavad visuaalsed keeled on arvutile raskelt mõistetavad.

Maailmas püütakse arvuti ja inimese kommunikatsiooniprobleemi lahendada korraga mitmest otsast ning erineval moel. Üheks populaarsemaks teoreetiliseks rakenduslikuks uurimisteenaks on nn semantilise veebi temaatika, kus kirjeldatakse mõistete ja nähtuste ontoloogiasid, nende semantikat, lähtudes mõistete omavahelistest seostest. Küberneetika Instituudis on see valdkond esindatud teemaga “Ontoloogiale orienteeritud programmeerimine” (programmide süntees, ontoloogiate kirjeldamine). Seda tööd võib klassifitseerida tehisintellekti ja selle rakenduste uurimisena mis on saanud instituudi üheks traditsiooniliseks suunaks. Siin tehtavad tööd kajastavad ilmekalt alus- ja rakendusuringute omavahelisi seoseid. Ühelt poolt moodustavad kõnealusele valdkonnale teoreetilise aluse matemaatiline loogika ja teoreetiline informaatika. Teisalt, kuivõrd tegu on nii või teisiti algteadmiste kirjeldamisega ning tulemuse esitamisega inimkeeles, kasutatakse lingvistikale ja semiootikale omaseid tehnikaid. Mitmed Küberneetika Instituudis loodud tehnikatel põhinevad süsteemid on leidnud täiesti praktilise kasutuse [1].

Allpool tutvustame radarseire süsteemide modelleerimist, hüdrosüsteemide simuleerimist ning mõningaid keeletehnoloogial põhinevaid rakendusi. Modelleerimisel kasutatakse täpselt defineeritud semantikaga visuaalset ontoloogiate kirjelduskeelt, mille kiireks projekteerimiseks ja realiseerimiseks on teadlased pakkunud lahenduse ning toetava tarkvara. Visuaalkeelte semantika realiseeritakse, kasutades eesti teadlaste väljatöötatud programmide automaatse sünteesi meetodit.

## RADARKATTE MODELLEERIMINE

Radarseadmeid kasutatakse territooriumi jälgimiseks nii kaitse- ja transpordis. Radarite optimaalne paigutamine ning töörežiimi leidmine on

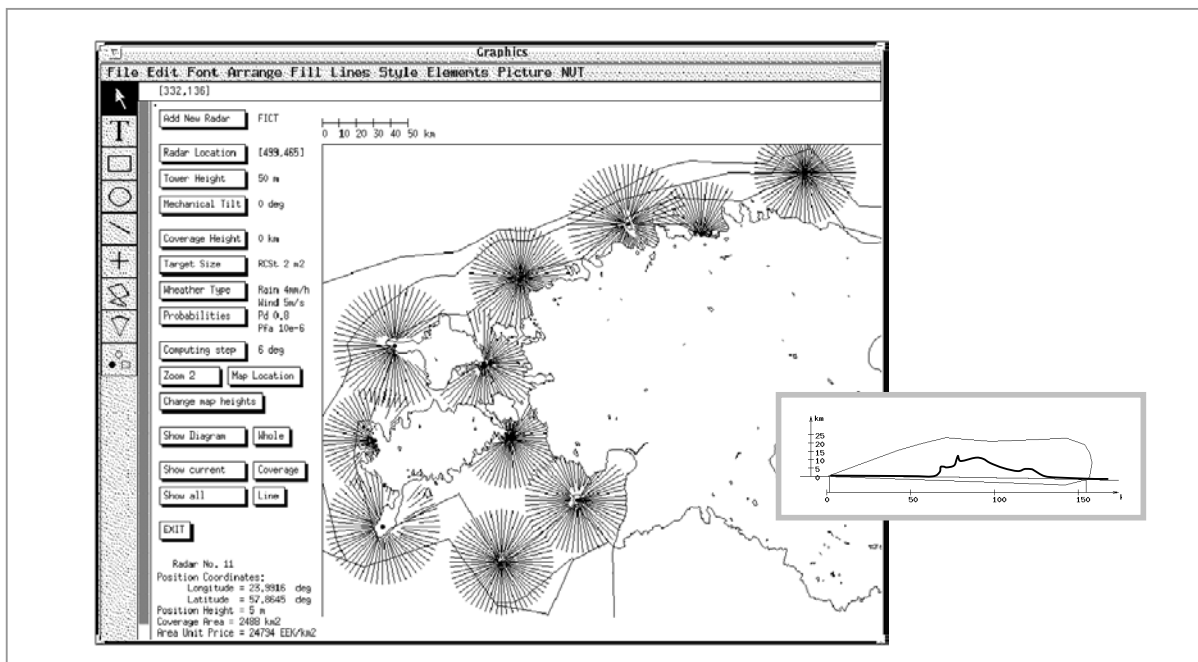
keerukas ülesanne, sest arvestama peab väga paljude teguritega, mis mõjutavad elektromagnetlainete levi. Loomulikult mõjutavad radari seireulatust geograafilised tingimused, sest sarnaselt valguskiirega ei saa radarikiirega “näha” mäe, maja või metsa taha.

Tuleb silmas pidada, et radarikiir peegeldub kõigilt ümbruskonna objektidelt ning sõltub nende füüsikalistest omadustest (pinnatemperatuur, liikumine jms murdumis-pegelduskoeffitsiente muutvad tegurid), keskkonnast, mida radarkiir peab läbima (udu, vihm, tõusvad õhuvoolud jms nähtused segavad elektromagnetkiirguse levikut raadiolokatsioonis kasutatavatel sagedustel, samuti nagu nähtava valguse sageduste piirkonnas). Radari vastuvõtja antenn registreerib nii enda väljasaadetud kiire peegelduse kui ka kõigi teiste raadiosaatjate kiired ja nende peegeldused tuhandetelt muudelt objektidelt. Ka kosmiline kiirgus on üheks raadiokiirguse allikaks. Seepärast tuleb hoolega valida aparatuuri, andmetötlusalgoritme ning nende konfiguratsiooni, et lõpptulemusena näha ekraanil just neid objekte, mida on tarvis registreerida või jälgida.

Seiresüsteemi modelleerimiseks arvutil on loodud visuaalkeel, kirjeldatud ja realiseeritud selle süntaks ja semantika. Selles keeles “kirjutamine” toimub arvuti ekraaniaknasse kuvatud maakaardil, mille iga punkt on seotud vastava paikkonna digitaalkaardiga. Viimane määrab iga punkti geograafilised koordinaadid, maapinna kõrguse, taimkatte kõrguse ja liigid, ehitiste ja rajatiste olemasolu jms.

Kasutaja (seiresüsteemi projekteerija) saab valida hiire abil positsioone kaardil ning proovida paigutada neisse erinevaid raadiolokatsiooniseadmeid, määrata ilmastikutingimusi, määratleda millised ilmastikutingimused võiksid esineda ning objektid, mida seiresüsteem peaks suutma avastada.

Tuginedes sellisele situatsiooni kirjeldusele ning keele semantika kirjeldusele sünteesib arvuti programmi, mille alusel leida toodud seadmete seireulatust. Seireulatuse arvutamise tulemusi kujutatakse samal kaardil, nii et radarsüsteemi projekteerija saab üsna hea ettekujutuse, millise ala tema kujutatav radarite süsteem võiks katta (joonis 1).



Joonis 1.

Rannikumere seiresüsteemi mudel.

Saadud kujutisel võib valida ühe radaritest, määrata suuna ning lasta süsteemil kuvada radari katte vertikaallõike koos maismaareljeefiga (joonise 1 parempoolne aken), mille järgi saab teatud lisateavet, miks antud radari seireulatuse ei olnud antud suunas võimalik soovitav ulatuses.

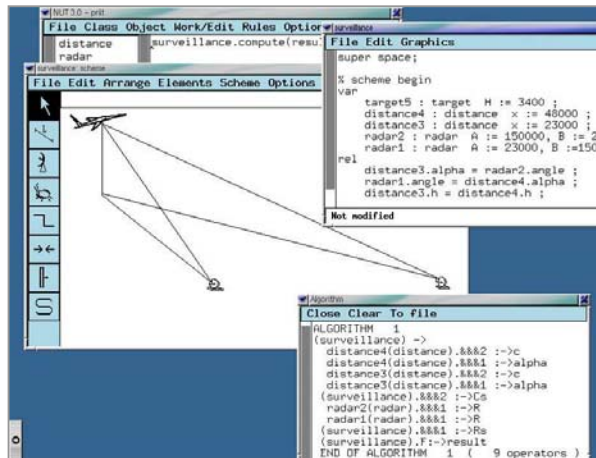
Paigutades radarid digitaalsele kaardile ja/või täpsustades vastavates dialoogiakendes radarite parameetreid (joonis 2), arvutatakse nende poolt kaetav ala, ning seda tööd korratakse kuni rahuldava paigutuse saamiseni. Töö üheks põhitäitjaks on olnud Vahur Kotkas. Arvutused on tehtud Küberneetika Instituudi tööjaamadel, neid tööd kiirendamiseks paralleelselt kasutades.

Töö tulemusi on kasutaud piirivalveameti, veeteedeameti ja kaitseministeeriumi radarsüsteemide paigutuse optimeerimisel. Lisaks radarkatte arvutustele on kasutatud sama visuaalkeelt ning arvutisüsteemi hindamiseks, kuidas ühe radari töö võib teisi mõjutada, milline on projekteeritava süsteemi tekitatav raadiokiirguse tase asulates jms. Süsteem on kergesti laiendatav, nii et projekteeritavas seiresüsteemis saaks kasutada peale radarite muid elektroonseid seireseadmeid. Põhimõtteliselt saaks sellist süsteemi kasutada ka mobiilsidesüsteemide optimeerimiseks.

## HÜDROSÜSTEEMIDE SIMULEERIMINE

Visuaalsete keelte üheks edukamaks rakenduseks on hüdrosüsteemide simuleerimine, mida tehakse koostöös Tallinna Tehnikaülikooliga [2, 3], põhitäitjad Mait Harf, Gunnar Grossschmidt. Selle töö tulemuseks on saadud maailmas ainulaadseid tulemusi hüdroulikate aparaatide ja süsteemide dünaamika alal, mis võimaldavad väga täpsete mudelite peal analüüsida tööpinkide ning robotite hüdrosüsteemide dünaamikat, lennukite maandumiselikute ja autode käigutuse vibratsioone dünaamilise koormuse all jne.

Selline ülesanne on arvutuslikult raske, kuna on tegemist nn jäiga süsteemiga, milles tuleb jälgida üheaegselt nii kõrgsageduslikke võnkumisi kui aeglaselt kulgevaid protsesse. Kogu see keerukus on peidetud konstrueeritud visuaalkeele semantikasse, kontseptuaalne tase, milles peab süsteemi koostaja simuleeritavat objekti kirjeldama, on sarnane sellega, mida kasutati radarkatte modelleerimisel. Joonistada tuleb seadme põhimõtteline skeem (joonis 3), määrata komponentide parameetrid, seadme töö üldised nõuded ning arvutada seadme efektiivsust, turvalisust jt projekteerimisel vajalikke näitajaid.



Joonis 2.

Radarite parameetrite täpsustamine.

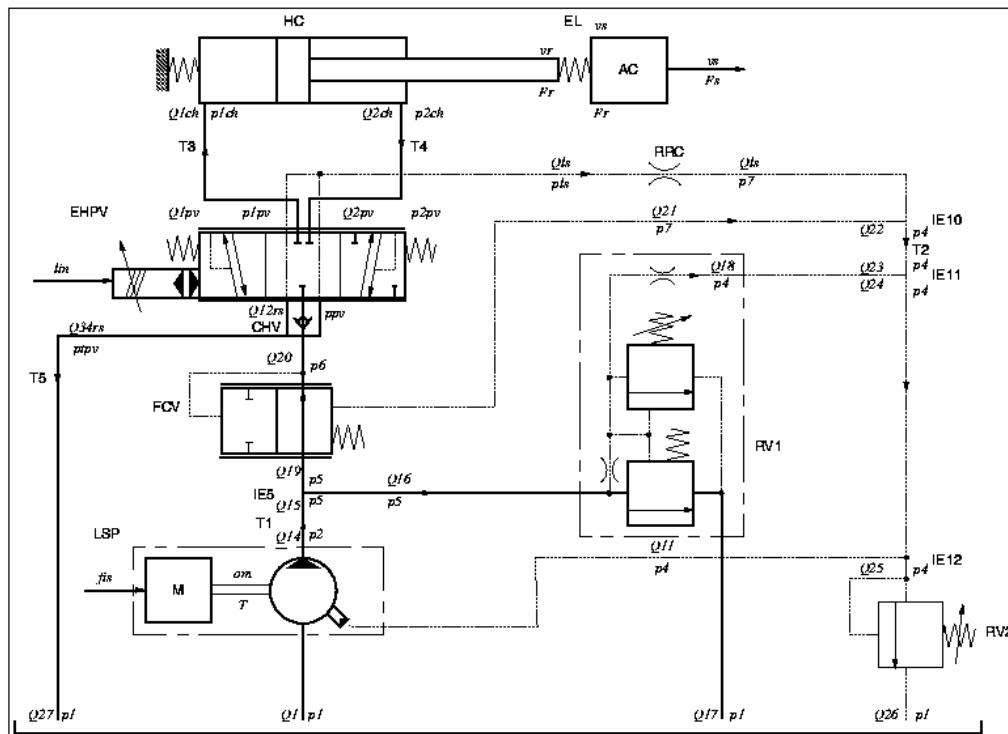
Visuaalset kommunikatsiooni arvutiga kasutatakse ka masinaehituslikeks inseneriarvutusteks vajalike tarkvarapakettide loomisel Ahto Kalja juhtimisel [4].

## UURINGUD KEELETEHNOLOOGIA VALDKONNAS

on teiseks rakenduslikuks suunaks Küberneetika Instituudis. Eesmärgiks on ka siin kommunikatsiooniprobleemi lahendamine. Loomulik keele kasutamine arvutiga suhtlemisel muutub reaalsuseks lähematel aastatel. Esmajoones saavad sellise suhtluskeele õigused nn "suured" keeled (inglise, prantsuse, hispaania, hiina ja jaapani keel), mille jaoks on vastav baastehnoloogia juba praeguseks suures osas olemas. Meie uuringute üheks oluliseks sihiks on luua arvutisuhtluses eesti keelele võrdsed võimalused võrreldes teiste keeltega.

Selle eesmärgi saavutamiseks on vajalikud järgmised komponendid:

- teadmised foneetikast, fonoloogiast, morfoloogiast, süntaksist ja semantikast;
- keeleressursid – suuremahulised kõne- ja tekstikorpused;
- tehnoloogilised lahendused – algoritmid ja programmid kõnesünteesiks ja -tuvastuseks, teksti morfoloogiliseks ja süntaktiliseks analüüsiks, jms.



Joonis 3.  
Koormustundliku pumba skeem

Küberneetika Instituudi foneetika ja kõnetehnoloogia labori uurimisvaldkonnad haaravad ainult osa eelnimetatutest, keskendudes eelkõige eestikeelse suulise kõne ja -tehnoloogia uuringutele.

### FONEETILISTE UURINGUTE

tulemusena esitatud eesti hääliku- ja vältesüsteemi akustilis-pertseptiivsed kirjeldused [5, 6, 7] on eelkõige keeleteaduse valdkonda kuuluvad, kuid samas leiavad need ka otsest rakendust eestikeelse kõne sünteesi- ning tuvastusalgoritmide loomisel.

Olulisel kohal on ka korduvkasutatavate keeleressursside loomine. EU Copernicus-projekti raames kogutud EESTI KEELE FONEETILINE ANDMEBAAS [8] sisaldab salvestusi 70lt kõnelejal ja on koostatud eelkõige foneetiliste uuringute vajadusi silmas pidades. Kõnetuvastussüsteemide trenimiseks vajatakse aga vähemalt 1000 inimese kõnenäiteid salvestatuna

erinevates akustilistes tingimustes. Sellise suuremahulise andmebaasi loomine on parajasti käimas (vt <http://www.phon.ioc.ee/base>).

Koostöös Eesti Keele Instituudi ja firmaga FiloSoft on loodud eestikeelse KÕNESÜNTEESI prototüüp [9], mis oskab ette lugeda suvalist eestikeelset teksti. Programm on saadav vabavarana Intenetiist (<http://www.phon.ioc.ee/synt>). Antud prototüübi baasil on välja töötatud Windows-keskkonnaga ühilduv kõnesüntesaator nägemispuuetega arvutikasutajatele. Kõnesünteesi kasutamine elektronposti ettelugemiseks mobiiltelefonis on tõenäoliselt üks lähitulevikus realiseeritavatest rakendustest.

Eriliseks väljakutseks on kindlasti EESTIKEELSE KÕNETUVASTUSE väljatöötamine. Kõnetuvastusest rääkides on sageli oluline täpsustada, millist tuvastussüsteemi silmas peetakse – kas tegu on väikese (< 100 sõna), keskmise (100–1000 sõna), suure

(>1000 sõna) või lausa piiramatu sõnastikuga, kas sõnu hääldatakse ühekaupa või sidusalt, kas süsteem on kõnelejast sõltuv või sõltumatu, kas süsteemi sisendiks on signaal kõrgekvaliteedilisest mikrofonist või hoopiski mobiiltelefoni kanalist, jms. Väikese sõnastiku mahuga isoleeritult hääldatud sõnade tuvastust on reaalne rakendada juba lähitulevikus. Üheks sellise süsteemi rakenduse võimaluseks oleks näiteks Eesti Mobiiltelefoni poolt realiseeritud mobiilse parkimise teenus. Vastav pilootprojekt andis küll paljulubavaid tulemusi heakvaliteedilise kõne puhul (tuvastuskorrektsus 98%), kuid reaalse mobiilside kanali sageduspiirangute ja häirete korral tuvastati korrektselt vaid ligikaudu 75% sõnadest [10].

Piiramatu sõnastikuga eestikeelse kõne tuvastus jääb lähiaastatel kahjuks ainult unistuseks, sest vastavad uuringud on alles algusjärgus ja lahendamist vajavate probleemide hulk suur.

Kõnetuvastusega mõneti sarnane ülesanne on KÕNELEJATUVASTUS, s.o. kõneleja isiku kindlakstegemine tema kõnenäidete alusel. Uuringud selles valdkonnas on suunatud eelkõige kõneleja-spetsiifiliste tunnuste analüüsile [11]. Viljakaks on osutunud mitmeparametriselise normaliseeritud kõneleja-profiili idee, mida on edukalt rakendatud kõnesalvestuste ekspertiiside teostamisel kriminalistikas ja automaatse kõnelejatuvastussüsteemi prototüübi loomisel.

Rakendusuurimustel on oma positiivne tagasimõju teoreetilistele distsipliinidele, näiteks on arvutiteadlaste uurimistööd (sh ka ülalkirjeldatud rakendused) olnud aluseks mitmetele uutele uurimissuundadele üldises algebras ja loogikas (temporaalloogika mitmed süsteemid, mittemonotoonne loogika jm). Praktiliste inseneriülesannete lahendamine on viinud visuaalse programmeerimise meetodite tekkeni, tehisintellekt on stimuleerinud tõestusteooria arengut formaalloogikas ning kõnetehnoloogia on loonud uusi võimalusi eksperimentaalfoneetikas.

#### KASUTATUD KIRJANDUS:

1. Tyugu, E., Matskin, M., Penjam, J. Applications of structural synthesis of programs. Lecture Notes in Comp Sci., Vol.1708, Springer-Verlag, 1999, 551-569.
2. Grossschmidt, G., Harf, M. Modelling and simulation of hydraulic systems in NUT programming environment. Viertes Deutch-Polnisches Seminar "Innovation und Fortschritt in der Fluidtechnik", September 20-21, 2001, Sopot, 329-348.
3. Grossschmidt, G., Harf, M. Simulation of an electro-hydraulic servo-valve in NUT programming environment. Proc. of the 13th European Simulation Symposium "Simulation in Industry" ESS'2001, October 18-20, 2001, Marseille, France, 229-233.
4. Kalja, A., Kotkas, V., Tiidemann, T. CAD problem solving and technical systems modelling using the AI programming environments. Jaakkola, H. et al. (eds.) Information modelling and Knowledge Bases XII. IOS Press, Amsterdam, 2001, 284-290.
5. Eek, A., Meister, E. Acoustics and perception of Estonian vowel types. Phonetic Experimental Research, Institute of Linguistics, University of Stockholm, PERILUS XVIII, 1994, 55-90.
6. Eek, A., Meister, E. The perception of stop consonants: locus equations and spectral integration. Proc. of the XIIIth International Congress of Phonetic Sciences, August 13-19, Stockholm, 1995, 1, 18-21.
7. Eek, A., Meister, E. Simple perception experiments on Estonian word prosody: Foot structure vs. segmental quantity. Lehiste, I., Ross, J. (eds.). Estonian Prosody: Papers from a Symposium. Tallinn, 1997, 71-99.
8. Eek, A., Meister, E. Estonian speech in the BABEL multi-language database: Phonetic-phonological problems revealed in the text corpus. Proc. of LP'98. Vol II The Karolinum Press, Prague, 1999, 529-546.
9. Mihkla, M., Eek, A., Meister, E. Text-to-speech synthesis of Estonian. Proc. of 6<sup>th</sup> European Conference on Speech Communication and Technology, Vol. 5. Budapest, 1999, 2095-2098.
10. Meister, E., Lobanov, B., Vahisalu, R. Spoken dialogue system for mobile parking. Proc. of the International Workshop SPEECH and COMPUTER (SPECOM'2001), Moscow, Russia, 29-31 October, 2001, 123-126.
11. Meister, E. Kõneleja-spetsiifiliste tunnuste otsingul. Tähendusepüüdja. Pühendusteos professor Haldur Öimu 60. sünnipäevaks. Tartu, 2002, 266-284. (Tartu Ülikooli üldkeeleteaduse õppetooli toimetised; 3).

