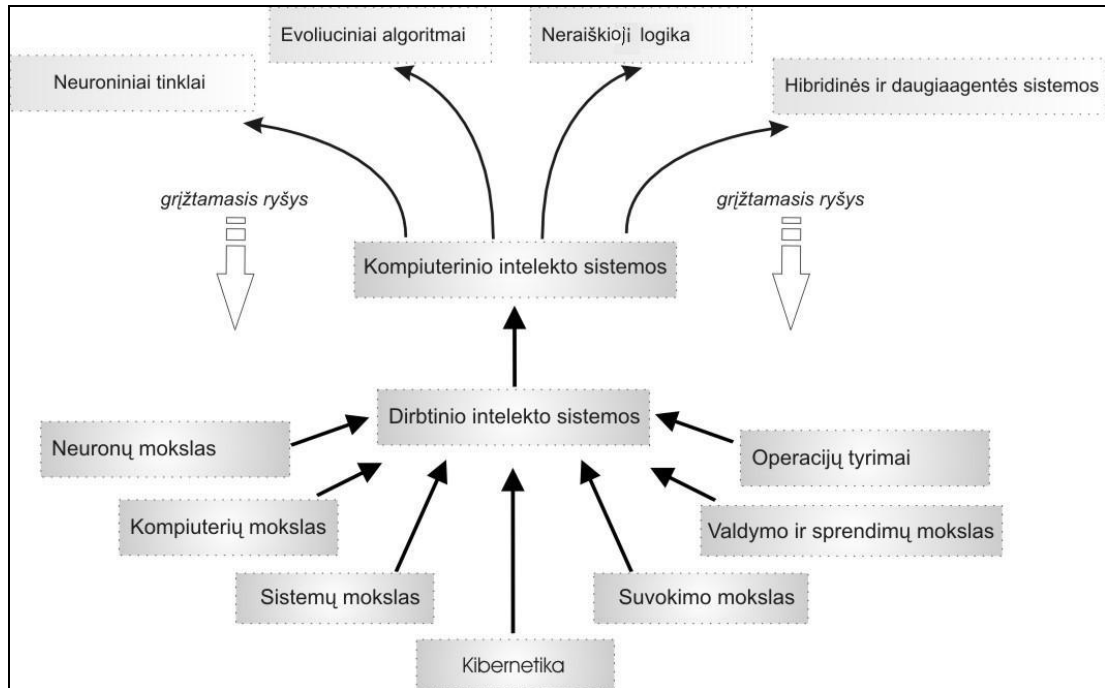


Savo ruožtu DIS yra pagimdžiusi ne vieną naują mokslo sritį, pvz.: į tą sąrašą įeitų mašinų mokymas (angl. *machine learning*), natūralios kalbos apdorojimas (angl. *natural language processing*), kompiuterinis vaizdo atpažinimas (angl. *computational vision*), ekspertinės sistemos, daugiaagentės sistemos ir kt., tarp kurių kompiuterinio intelekto mokslo sritis užima labai svarbią vietą.



2 pav. Kompiuterinio intelekto sistemų ir pamatinių mokslų sąsajų medis

Kaip matyti iš 2 pav., kompiuterinio intelekto sistemos savo ruožtu apima kelias labai stambias sritis: neuroninius tinklus, evoliucinius algoritmus, neraiškioją logiką ir hibridines sistemas. Atkreiptinas dėmesys, kad egzistuoja grįžtamasis ryšys tarp kompiuterinio intelekto sistemų atšakų ir pamatinių, arba „šakninių“, mokslų (žr. 2 pav.), kurių pagrindu susikūrė pats dirbtinio intelekto mokslas. Taip per grįžtamąjį ryšį tolesnė kompiuterinių sistemų mokslo raida kuria naujas galimybes pamatiniams mokslams, kurie, remdamiesi neuroninių tinklų, evoliucinių skaičiavimų, neraiškiosios logikos ir daugiaagentės sistemų mokslais, žengia į kokybiškai naują raidos stadiją.

Taigi kalbamuojau metu jau sunku aiškiai nustatyti ribas, kur baigiasi vienas mokslas, ir kur prasideda kitas, tad natūralu, kad esama daugybės minėtų mokslų klasifikacijų. Nė su viena iš jų nebūtina susisieti, nes iš esmės visi mokslai susiformavo natūraliai – kaip noro pažinti Realybę atsakas: jos begalinė įvairovė ir sudaro prielaidas naujoms teorijoms ir mokslams rasti, o vėliau, jiems jungiantis, iš naujos perspektyvos suvokti senąsias problemas.

Toliau šiame poskyryje trumpai apžvelgsime kompiuterinio intelekto paradigmas, o nuodugniau jas pristatysime kituose skyriuose. Trumpą apžvalgą pradėsime nuo evoliucinių skaičiavimų, toliau apžvelgsime dirbtinius neuroninius tinklus, neraiškioją logiką, daugiaagentes sistemas, hibridines sistemas, o poskyrio gale viską apibendrinsime pristatydami KIS kontekstą sudėtingų ir adaptyvių socialinių sistemų aplinkoje.

Evoliuciniai skaičiavimai. Evoliucinių skaičiavimų (angl. *evolutionary computation*) eros pradžia laikomas praėjusio šimtmečio vidurys, 1950 m. pabaiga, metas, kai skaičiavimo mašinų pajėgumai dar tik buvo pradėję didėti, bet jau iš pat pradžių šis

procesas sudarė prielaidas skaičiavimams imlių mokslų plėtrai. Aišku, idėja automatizuoti kai kurių problemų sprendimą, pasitelkus evoliucinius principus buvo gimusi dar gerokai prieš atsirandant kompiuteriams. Ji rėmėsi Ch. Darwino evoliucijos teorija, kurios vienas iš pagrindinių bruožų yra natūrali populiacijos atranka, išliekant geriausiai prisitaikiusių individų genotipui. Remiantis šia analogija buvo sukurti evoliucinių skaičiavimų algoritmai. Jais buvo realizuota geriausių populiacijos individų atranka pagal iš anksto pasirinktus atrankos kriterijus.

⇒ Evoliuciniai skaičiavimai (angl. *evolutionary computation*) – tai kompiuterinio intelekto sritis, nagrinėjanti kombinatorinio optimizavimo problemas. Pagrindinis jos tikslas – taikyti natūralios evoliucijos principus, pagal kuriuos išlieka tik geriausiai prisitaikiusieji prie duotos aplinkos. Evoliucinių skaičiavimų algoritmai apima genetinius algoritmus, evoliucinį programavimą, evoliucines strategijas bei genetinį programavimą.

Evoliuciniai skaičiavimai (ES) savo ruožtu susideda iš kelių paradigmu. Istoriniu požiūriu pirmiausia atsirado evoliucinis programavimas²¹. Jį pristatė L. J. Fogelis [21]. Kaip evoliucinio programavimo tąsa vėliau radosi genetiniai algoritmai (GA). Juos aprašė J. H. Hollandas [22]. Šiuo metu būtent genetiniai algoritmai yra labiausiai žinomi ir išplėtoti. Jie iš esmės skirti paieškos technologijoms – kaip euristiniai globaliosios paieškos algoritmai, naudojantys atrankos, paveldimumo, mutacijų ir kryžminimo (rekombinavimo) principus. GA realizuoti naudojamos kompiuterinio imitavimo priemonės, leidžiančios kurti individų populiacijas. Kiekvieną populiacijos individą charakterizuoja chromosomų aibės. Pasitelkus genetinio optimizavimo algoritmą (atrankos funkciją), ieškoma geriausio populiacijos individo, t. y. jį charakterizuojančių požymių aibės, kuri ir parodo problemos sprendinį.

Kita perspektyvi skaičiavimo sistemų atšaka yra evoliucinės strategijos (angl. *evolution strategies*). Pirmasis jas taikyti pasiūlė I. Rechenbergas [23]. Evoliucinės strategijos yra orientuotos į pačios evoliucijos modeliavimą. Tam tikslui tiriama strateginiai parametrai (parametrų erdvė), kurie daro įtaką sistemos evoliucionavimo eigai bei įvairovei. Taip tiriama tarsi evoliucijos evoliucija.

Ketvirtoji stambi ES atšaka atsirado tik XX a. paskutiniame dešimtmetyje. Tai genetinis programavimas (GP). Jis yra analogiškas GA, tačiau populiacijos individai šiuo atveju yra programiniai kodai, kurie evoliucionuoja ieškodami geriausio sprendinio programinio kodo pavidalu. Dėl savo paieškos ypatumų GP naudoja funkcines programavimo kalbas, pvz., LISP²², kurių procedūras galima nesunkiai išreikšti medžio struktūra²³ [24].

Čia trumpai paminėtos tik pagrindines ES atšakas. Pažymėtina, kad šiuolaikinė ES apima ar yra glaudžiai susijusi ir su daugybe kitų mokslų atšakų, pvz.: kultūrine evoliucija, spiečių, skruzdėlių kolonijų optimizavimu, dirbtiniu gyvenimu ir kt [25]. Apie tai plačiau bus

²¹ Evoliucinis programavimas remiasi adaptacijos bei mutavimo principais, bet labiau yra žinomas kaip teorinis mokslas, skirtas sudėtingoms sistemoms modeliuoti, o ne kaip praktinė priemonė taikomiesiems uždaviniams spręsti.

²² LISP turi daug dialektų, pvz.: INTERLISP, MACLISP, ZETALISP, METALISP, FRANZ LISP ir t. t., kurie apie 1993 m. buvo sujungti į vieną bendrąjį dialektą pavadinimu COMMON LISP (1994 m. ANSI publikavo COMMON LISP standartą ANSI X3.226-1994).

²³ Grafų teorija (medžių struktūra) modeliuoja porinius ryšius tarp baigtinės aibės objektų. Tam tikslui naudojamos dvi pagrindinės priemonės, t. y. mazgai ir ryšio linijos, kurios juos jungia.

kalbama specialiai tam skirtame skyriuje, pristatančiame evoliucinius skaičiavimus, o toliau trumpai apžvelgsime dirbtinius neuroninius tinklus.

Dirbtiniai neuroniniai tinklai. Dirbtiniai neuroniniai tinklai (angl. *artificial neural networks*), kaip jau minėta, yra KI dalis [26]. Jie sudaryti iš tarpusavyje sujungtų dirbtinių neuronų, kurie paprastai yra imituojami programiškai, naudojant atitinkamą įrangą. Dirbtinių neuronų sandara panaši į biologinių, tačiau jie nebūtinai turi atitikti biologinių neuronų sudėtį ir funkcionalumą [5].

⇒ Dirbtiniai neuroniniai tinklai (DNT; angl. *artificial neural networks*) – tai skaičiavimo modeliai, kurių architektūra imituoja lygiagrečiąsias skaičiavimo sistemas, būdingas biologinėms neuronų sistemoms. Naudojamas vadinamasis konekcionistinis skaičiavimo principas, kai skaičiavimo sistema, priklausomai nuo išorinės ir vidinės informacijos srautų, skaičiavimo (optimizavimo) metu keičia savo vidinius parametrus (mokosi). Bendruoju atveju DNT vertintini kaip netiesiniai statistiniai įėjimo ir išėjimo duomenų sąryšių modeliavimo įrankiai.

Istoriniu požiūriu DNT kildinami iš pirmųjų dirbtinių neuronų modelių, t. y. perceptronų, kurie modeliavo multidimensių tiesinių regresorių funkcijas. Šių modelių pirmieji pasiūlė ir praktiškai plėtojo F. Rosenblattas ir D. Hebbas [5]. Vėliau atsirado daugybė kitų DNT architektūrų bei mokymosi algoritmų, pvz.: atgalinio sklidimo (angl. *error backpropagation*), Hopfieldo, rekurentiniai, radialinių bazių ir kt.

Bendriausiu požiūriu skirtinos dvi pagrindinės DNT atšakos – prižiūrimojo ir neprižiūrimojo mokymo. Prižiūrimojo mokymo atveju DNT yra pateikiami duomenys apie tai, kas turima gauti išėjime. Pagal šiuos duomenis sistema „išmoksta“, t. y. optimizuoja save taip, kad pagal užduotus paklaidos kriterijus sugebėtų gauti reikalingas išeišgas. O neprižiūrimojo mokymo atveju DNT veikimas yra optimizuojamas remiantis sąnaudų funkcijos, kuri aprašo įėjimo duomenų ir norimo išėjimo sąryšį, minimizavimu.

Papildymas

Apskritai DNT elgiasi kaip „juodoji dėžė“. Mes tik tikimybiškai galime prognozuoti jos elgesį, kuris, net ir esant visiškai identiškomis pradinėmis sąlygoms, gali būti aprašomas tik statistiškai.

DNT rūšių ir porūšių yra daug. Šį mokslą plėtoti padeda daugybė kitų mokslų, pvz.: neuronų mokslas (angl. *neuroscience*), mašinių mokymo mokslas (angl. *machine learning*), matematika, fizika, kompiuterių mokslas ir kt. Šiuo metu jau sukurta daugybė DNT metodų ir algoritmų, kurie geba atpažinti, klasifikuoti, optimizuoti, išsiminti, apibendrinti ir t. t. DNT taikomi visose srityse, įskaitant ir socialinę. Apie tai plačiau žr. trečiajame šios knygos skyriuje.

Neraiškioji logika. Kita kompiuterinio intelekto šaka – neraiškiosios sistemos (angl. *fuzzy systems*). Jos ne tik praplėtė dvinarę logiką, tarp „0“ ir „1“ naudojančią kitų tarpinių loginių reikšmių intervalą, bet ir apibrėžė bei išplėtojo narystės funkcijas bei aibes. Tikimybių teorija griežtai inžineriniu požiūriu aprašo neapibrėžtumą pagal tikimybinės funkcijas, tačiau neraiškiųjų sistemų atveju mes nepriskiriame tikimybių, o nusakome konkrečios vertės priklausymo laipsnį skirtingoms kategorijų grupėms. Pavyzdžiui, sąvoka „aukštas / žemas žmogus“ skiria žmonių aibę tik į dvi dalis, tačiau mes juk dažnai sakome „nelabai aukštas“, „nelabai žemas“ ir t. t. Operacijos su tiksliai neapibrėžtomis sąvokomis davė labai naudingų taikymų socialinėje srityje, kur vyrauja būtent tokio tipo duomenys.

⇒ Neraiškiųjų aibių teorija (angl. *fuzzy sets theory*) – tai L. Zadeho pasiūlytas (1965 m.) klasikinės dvinarių aibių teorijos išplėtotas variantas, kai būsenų kintamiesiems naudojama tarpinės reikšmės tarp 0 ir 1. Neraiškiosios aibės naudojamos neraiškiosios logikos sistemose, kurios priklauso kompiuterinio intelekto sričiai. Neraiškiosios logikos sistemos puikiai tinka socialiniams uždaviniams spręsti, kur vyrauja neapibrėžtumai, dalinės tiesos (pvz., šnekamosios kalbos analizei ar kitų gyvenimiškų neapibrėžtų problemų sprendimams). Tam tikslui naudojamos neraiškiosios aibės, narystės funkcijos ir priskyrimo taisyklės.

Neraiškiosios aibės pirmą kartą buvo pristatytos 1965 m. L. A. Zadeho [27]. Jis pasiūlė praplėsti klasikinę aibių teoriją, pagal kurią vertė priklauso arba nepriklauso duotai aibei – nėra jokių tarpinių variantų. Anot L. A. Zadeho, konkreti vertė gali priklausyti kelioms aibėms, jeigu narystė aibėse aprašoma vadinamosiomis narystės funkcijomis, kurios leidžia vertei priklausyti kelioms aibėms vienu metu.

Gyvenime dažnai naudojamos ne dvinare logika ar tikimybinėmis išraiškėmis, o ne tokiomis tikslėmis, bet pakankamai informatyviomis sąvokomis. Neraiškiosios logikos sistemos būtent ir yra kompiuterinės programos, kurios leidžia operuoti visiems mums įprastais terminais. Tai ypač aktualu socialiniams mokslams, kuriems būdinga neapibrėžtumas ir netikslumai, susiję su realiomis gyvenimo situacijomis. Pavyzdžiui, natūrali kalba nėra paremta dvinare logika, todėl socialiniai mokslai negali būti išspręsti į dvinarės logikos rėmus. Neraiškiosios logikos sistemų mokslas nuodugniai nagrinėjamas ketvirtajame šios knygos skyriuje.

⇒ Savitvarkės sistemos – tai paprastai atvirosiosios, turinčios vidinę struktūrą sistemos, kurios, reaguodamos į išorinius veiksnius, sukuria sudėtingą savitvarkę struktūrą be išorinio valdymo ar kontrolės. Savitvarka stebima pradedant fiziniiais ir baigiant cheminiiais, biologiniiais bei socialiniiais reiškiniiais.

Hibridines intelektines sistemas. Penktasis knygos skyrius kalba apie hibridines intelektines sistemas. Natūralu, kad KI paradigmos jungiasi tarpusavyje ir su kitomis mokslų atšakomis. Taip atsiranda tarpdalykiniai ar daugiadalykiniai mokslai. Šiame procese atsiranda prielaidos sinerginiams efektams²⁴.

⇒ Hibridiniai metodai – tai keli metodai, naudojami vienu metu sprendžiant konkretų uždavinį. Skirtingi metodai gali būti naudojami sudėtingo uždavinio paskiroms dalims spręsti arba vienas metodas gali optimizuoti kito metodo veikimą ir pan.

Šiuo metu hibridiniai metodai yra labai populiarūs, nes dažnai duoda geresnius rezultatus nei tie patys metodai, naudojami atskirai. Kaip pavyzdį galime paminėti hibridinį neuroninių tinklų ir neraiškiosios logikos metodą, sutrumpintai vadinamą ANFIS (angl. *adaptive neural fuzzy inference system*). Jis susideda iš DNT ir neraiškiosios logikos metodų. Jis padeda efektyviau spręsti daugelį taikomųjų uždavinių [28]. Be to, yra daugybė ir kitų hibridinių sistemų, pvz.: evoliucionuojantys neuroniniai tinklai, hibridinės agentų technologijos ir kt.

²⁴ Sinerginį efektą stebime tada, kai, sakykime, dviejų išvien veikiančių mokslų rezultatai geba išspręsti tai, ko nesugeba kiekvienas atskirai paimtas.

Požymių konstravimo algoritmai. Šeštajame skyriuje aprašomi požymių konstravimo algoritmai, taikomi pirminiams duomenims apdoroti. Jie leidžia rasti efektyvią vektorinę duomenų perteiktį, būtiną tolesniems analizės etapams. Pavyzdžiui, jei stebėjimų matavimas didelis, arba jie aprašomi nestandartiniais objektais (pvz., grafais, simbolių sekomis ir pan.), šie algoritmai leidžia sukonstruoti vektorius, išlaikančius esminę informaciją apie pradinis stebėjimus. Gautuosius vektorius jau gali naudoti įvairūs KIS besiremiantys metodai kaip mokymo ar testavimo pavyzdžius. Svarbu paminėti, kad tokiais atvejais požymių konstravimas dažnai yra pirminis duomenų analizės etapas, nuo kuriuo sėkmės priklauso taikomų KIS metodikų efektyvumas. Kadangi daugelis ekonominių ir socialinių reiškinių yra netiesinės prigimties, pateikti ir netiesiniai šių algoritmų variantai, besiremiantys branduolių teorija. Be klasikinių pagrindinių komponentų ar diskriminantinės analizės metodų pateikiami ir Hilberto-Schmidto nepriklausomumo kriterijumi besiremiantys algoritmai, kurie gali būti efektyviai taikomi ir klasifikavimo, ir regresijos uždaviniams.

Daugiaagentės sistemos. Septintasis knygos skyrius supažindina su daugiaagentėmis sistemomis (MAS)²⁵. Pastarąjį dešimtmetį MAS tapo viena iš populiariausių tyrimų sričių. Tyrėjai vis dar diskutuoja, kas sudaro šį mokslą, kam jis priklauso, koks pagrindinis jo tyrimo objektas ir priemonės. Viena aišku, kad jis priklauso DIS ir naudoja kompiuterines imitavimo priemones, o pagrindiniai veikėjai, t. y. agentai, yra autonominiai vienetai, turintys tam tikrą intelektą, tikslus ir tarpusavio bendravimo priemones [29].

Kaip jau minėta praėjusiame poskyryje, daugiaagentės sistemos – tai sistemos, susidedančios iš kelių ar daugiau programinių agentų, kurie, veikdami kolektyviai, gali rasti sprendinius, kuriuos būtų sunku rasti naudojant monolitinius sprendimo algoritmus. Tokioms sistemoms, turinčioms santykinai paprastus agentus, būdinga savitvarka, sudėtingas elgesys ir gebėjimas rasti netrivialius sprendimus.

MAS gali būti sudarytos iš reaktyviųjų, proaktyviųjų, stacionariųjų ar mobiliųjų agentų. Tokie agentai, siekdami savo tikslų, tarpusavyje bendrauja. Tam tikslui jie naudoja komunikavimo protokolus, sudaro sandorius ir gauna instrukcijas. Tai funkcionalumo požiūriu pakankamai universalios sistemos. Jos mėgdžioja socialinių sistemų – biologinių rūšių ir žmonių – elgesį.

Paskutiniuose knygos skyriuose nagrinėjamos sudėtingos ir adaptyvios socialinės sistemos. Pagrindinis tikslas – pateikti alternatyvų požiūrį į socialinių, ekonominių ar finansinių sistemų elgesio imitavimą; pagrindinė idėja – visuomenės kaip sudėtingos sistemos modeliavimas, besiremiantis dinamiškumo, savitvarkos, adaptyvumo, struktūrinio pasikartojamumo (fraktališkumo) prielaidomis. Šiuose skyriuose skaitytojas turės galimybę susipažinti su įvairiais socialinių sistemų, taip pat ir žmonių visuomenės, ar rinkų imitavimo modeliais. Kitame poskyryje apžvelgsime pagrindines kompiuterinio intelekto ypatybes, aptarsime esminius jo skirtumus nuo kitų mokslų.

Papildymas

Šiuolaikinėms daugiaagentėms sistemoms būdinga ne tik kooperacija ir komunikacija, bet ir paskiriems agentams įvedamos įvairios būdo savybės, pvz.: tikėjimas, troškimai, ketinimai ir kt.

²⁵ MAS trumpinys yra plačiai paplitęs akademinėje literatūroje. Jis rodo angliško žodžių junginio „Multi-Agent Systems“ pirmąsias raides.