

KOGNITIV HISOBLASH ASOSIDAGI SUN'IY TIZIMLAR: TAHLIL VA TADQIQOTLAR

Alimova Fotima Muratovna

Muhammad al Xorazmiy nomidagi TATU

Nazarova Gulchehra Nurmuxanbetovna

Muhammad al Xorazmiy nomidagi TATU

Kuvnakov Avaz Ergashevich

Muhammad al Xorazmiy nomidagi TATU

Annotatsiya. Mazkur maqolada sun'iy intellekt rivojlanishidagi yangi bosqich — kognitiv yondashuvning shakllanishi va uning ilmiy asoslari tahlil qilinadi. Kognitiv yondashuv neyrofiziologik tamoyillar va insonning bilish faoliyati asosida intellektual o'rganishga qodir tizimlarni yaratishga yo'naltirilgan. Sun'iy kognitiv tizimlar inson tafakkurini modellashtirish, axborotni qayta ishlash jarayonlarini matematik ifodalash va kompyuter metaforasi orqali tushuntirishga asoslanadi. Maqolada, shuningdek, psixologiya, neyrobiologiya va matematik lingvistika, xususan, N. Xomskiy tomonidan ishlab chiqilgan transformatsion grammatikalarning kognitiv yondashuvga ta'siri ham yoritiladi. Sun'iy kognitiv tizimlarning rivojlanishi inson intellektiga yaqin tizimlarni yaratishga xizmat qilishi qayd etiladi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, kognitiv tizim, kognitivistik yondashuv, emergent yondashuv, dinamik tizimlar, inaktiv tizimlar.

KIRISH

Sun'iy intellektning rivojlanishi yangi yondashuvning shakllanishiga olib keldi. Bu yondashuv, yaqinda aniqlangan neyrofiziologik tamoyillar, ya'ni asab tizimi tuzilishining asoslari hamda insonning bilish va tafakkur (kognitiv) faoliyati usullariga asoslangan holda intellektual o'rganishga qodir tizimlarni yaratishni nazarda tutadi. Bunday yondashuv “kognitiv yondashuv” bo'lib, ushbu tizimlar esa “sun'iy kognitiv tizimlar” deb yuritiladi. Hozirda sun'iy kognitiv tizimlarni yaratish bilan bog'liq ilmiy yo'nalish informatika va sun'iy intellekt rivojlanishining asosiy yo'nalishiga aylanmoqda.

Sun'iy kognitiv tizimlarni rivojlantirishdan maqsad — ularning intellektual darajasini insonnikiga yaqinlashtirishdir. Bu esa an'anaviy intellektual tizimlar samarali hal eta olmaydigan ko'plab masalalarni avtomatlashtirish imkonini beradi. Kognitiv yondashuv uchun muhim jihatlardan biri — inson faoliyatini ierarxik tarzda tashkil etilgan holda ko'rib chiqishdir.

ASOSIY QISM

Kognitiv yondashuvning dastlabki asosiy vazifasi — ma'lumotni qayta ishlash

jarayonlarini, ya'ni signal sezgi organlariga tushganidan boshlab javob hosil bo'lguncha bo'lgan bosqichlarni o'rganish edi.

Kognitiv yondashuv tarafdorlari inson tomonidan axborotni qayta ishlash jarayonlarini hisoblash qurilmalaridagi jarayonlarga o'xshatgan holda, ya'ni "kompyuter metaforasi" asosida tushuntiradilar [2].

Bu yondashuvning rivojlanishida dinamik modellar va tafakkur jarayonlarini tasvirlash uchun matematik ifodalashdan foydalanish ham muhim ahamiyatga ega.

Kognitiv yondashuvga kuchli ta'sir ko'rsatgan yana bir yo'nalish — matematik lingvistika sohasidagi tadqiqotlar bo'ldi, xususan, N. Xomskiy tomonidan ishlab chiqilgan transformatsion grammatikalar bu borada muhim o'rin tutdi [3].

Psixologiya va neyrobiologiya nuqtai nazaridan insonning asab tizimi kognitiv va affektiv (hissiy) tizimlardan iborat bo'ladi [4].

Kognitiv tizim muhit haqidagi axborotni sezgi organlari orqali qabul qilish, bu axborotni tuzish va bilimlar ko'rinishida qisqa va uzoq muddatli xotirada saqlash, shuningdek, aqliy (mentallik) asosda ma'lumotni qayta ishlash jarayonlarini tashkil etish va intellektual masalalarni hal qilishda ishtirok etish funksiyalarni bajaradi.

Affektiv tizim — bu inson organizmidagi harakat effektorlarini (mushaklar, ovqat hazm qilish, qon aylanish organlari va boshqalarni) boshqaruvchi tizim bo'lib, kognitiv tizim tomonidan ishlab chiqilgan rejalarining amalga oshirilishini ta'minlaydi, ya'ni harakatlarni muvofiqlashtiradi va boshqaradi.

Ushbu ikki tizim — kognitiv va affektiv tizimlar — doimiy o'zaro aloqada bo'lib, inson organizmining o'zgaruvchan muhit sharoitida maqsadga muvofiq ishlashini ta'minlaydi.

Zamonaviy kognitiv fanlar sohasidagi tadqiqotlar asosida qiziqarli umumlasmalar ishlab chiqildi. Ular yangi kognitiv modellar yaratishga asos bo'ldi va miyaning kognitiv jarayonlariga oid yangi gipotezalarni asoslash imkonini berdi [5].

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, hozirgi paytda psixologiyada kognitiv yondashuv muayyan qiyinchiliklarga duch kelmoqda. Buning sababi — tafakkur jarayonining turli jihatlarini tushuntirish uchun ko'plab modellar taklif qilinayotganligi, ammo ular orasidan asosli tanlov qilish uchun yetarli dalillarning yo'qligidir.

Sun'iy intellekt va kognitiv fan

Hozirgi kunda "kognitiv" atamasi faqat psixologiyada emas, balki texnika sohasida ham keng qo'llanilmoqda. Fikrlash jarayonlarini modellashtiruvchi bir qator kognitiv modellarning ishlab chiqilishi, ya'ni inson miyasidagi tafakkur qanday kechishini ifodalovchi formallashtirilgan modellar yaratilishi — texnik tizimlarni ishlab chiqishda kognitiv yondashuvdan foydalanish bosqichini boshlab berdi.

Natijada "kognitiv tizimlar" atamasi intellektual texnik tizimlarda kognitiv modellarni qo'llash holatlarini ifodalash uchun ham ishlatilmoqda [6,7].

Psixologik tushunchalarning texnik sohalarga o'tishi, sun'iy tizimlarning inson intellektual salohiyatiga yaqinlashuvini maqsad qilganligini ko'rsatadi.

Psixologiyada "kognitivlik" tushunchasi bilish va bilim tushunchalari bilan bog'liq. Kognitiv fan esa inson miyasidagi axborotni qayta ishlash jarayonlarini chuqur o'rganadi va ularning formallashtirilgan modellarini yaratishga harakat qiladi.

Texnik nuqtai nazardan, eng muhim jihat — miyaning axborotni qabul qilishi, uni sezgilar orqali qayta ishlashi va tuzilgan bilimlar tizimini shakllantirishi hisoblanadi.

Kognitiv fan doirasida bilish va tafakkur bilan bog'liq axborotlarni qayta ishlash jarayonlarini o'rganish natijalari asosida miyaning kognitiv nazariyasi ishlab chiqildi. Bu nazariya miyaning faoliyatini axborot yondashuvi va bilimlar konsepsiyasi asosida tushuntiradi.

Ushbu nazariya sun'iy intellekt tizimlarini takomillashtirishda foydali bo'lib chiqdi.

Sun'iy intellekt tizimlari bo'yicha mutaxassislar, miyaning kognitiv nazariyasiga asoslangan holda, bilish (kognitsiya) jarayonini texnik nuqtai nazardan talqin qila boshladilar. Bunda intellektual tizimlar uchun ikki asosiy yondashuv ajratiladi [11]:

1. Kognitivistik yondashuv – bu yondashuv tashqi olam haqidagi bilimlarni ramziy (simvolik) ifodalash va ushbu ramzlar asosida intellektual masalalarni yechishda axborotni qayta ishlashga asoslanadi.

2. Emergent yondashuv – bu yondashuv o'z-o'zini tashkil etish (self-organization) tamoyillariga asoslanadi va atrof-muhitdagi o'zgarishlarga moslasha oladigan tizimlarning shakllanishini ta'minlaydi.

Kognitivistik yondashuv — bu sun'iy intellektda klassik hisoblangan yondashuv bo'lib, u kognitivlikni muammolarni hal qilish qobiliyati sifatida talqin qiladi. Bu yondashuvda muammo sohasi haqidagi bilimlar ramziy (simvolik) ko'rinishda ifodalanadi va ushbu simvollar orqali vazifalar yechiladi.

Mazkur yondashuv jismoniy simvolik tizimlar kontsepsiyasining ishlab chiqilishi, bilish nazariyasi va mantiqiy xulosa chiqarishga asoslangan tizimlar yaratilishiga olib keldi.

Emergent yondashuv esa simvolik yondashuvga qarshi chiqadi. U axborotni simvolik shaklda qayta ishlashga tayanmaydi, balki kognitivlikni o'z-o'zidan paydo bo'ladigan (ya'ni "emergent") yoki rivojlanib boradigan qobiliyat deb hisoblaydi. Bu qobiliyat o'z-o'zini tashkil qilish (self-organization) jarayonida vujudga keladi va strukturaviy yoki algoritmik shaklda muammolarni oqilona hal qilishga olib keladi.

Emergent kognitiv tizimlarda o'z-o'zini tashkil qilish jarayonida avtomatik ravishda konnektivistik, dinamik, yoki inaktiv tuzilmalar shakllanadi. Bu tuzilmalar faollashtirilganda, tizim oqilona xulq-atvorni namoyon qila boshlaydi.

Ushbu ikki yondashuv orasidagi farqlar faqat simvollar bilan ishlash mexanizmlaridagina emas, balki kognitivlikning mohiyati borasida ham fundamental

(tub)dir. Bu farqlar 1-jadvalda qisqacha tavsiflangan.

1-jadval. Kognitivistik va emergent yondashuvlarning taqqoslanishi

Xususiyat	Kognitivistik tizimlar	Emergent tizimlar
Hisoblash harakatlari	Simvollarga sintaktik manipulyatsiya	Tarmoqning parallel o‘z-o‘zini tashkil etishi
Tasvirlar tuzilmasi	Simvolik ketma-ketliklar namunasi	Tizimning global holatlari
Semantik asos	“Idrok–simvol” turidagi assotsiatsiyalar	Konstruktsiya ko‘nikmalari
Vaqt bo‘yicha cheklovlar	Inobatga olinmaydi	Haqiqiy vaqt rejimida sinxron yuklash
Jismoniy mujassamlashuv	Ko‘zda tutilmaydi	Ko‘zda tutiladi
Idrok	Abstrakt simvolik tasvirlar	Tashqi buzilishlarga javob
Harakat	Sabab-oqibatli simvolik manipulyatsiyalar	Tizim tomonidan muhitga ta’sir (buzish)
Oldindan ko‘ra bilish	Avvaldan berilgan modellardan foydalangan holda protsedurali yoki ehtimoliy xulosa chiqarish	“Idrok–harakat” yo‘nalishida holatlar fazosini o‘z-o‘zidan samarali kesib o‘tish
Moslashuv	Yangi bilimlarni o‘rganish	Yangi dinamikani rivojlantirish

Kognitivizm 1945–1956 yillarda kibernetika davridan rivojlana boshladi. Aynan shu davrda kibernetiklar miyaning mantiqqa asoslangan ilmiy modelini yaratish niyatida edilar. Kognitivizmning asosiy g‘oyasi shundan iboratki: bilish (kognitsiya) — bu hisoblash jarayonidir, ya’ni ichki bilimlar shaklida tasvirlangan axborotga asoslangan hisob-kitob. Bu bilimlar tashqi dunyo haqidagi abstrakt ma’lumotni ifodalaydi.

Ushbu tasavvur idrok orqali shakllanadi, ya’ni inson muhitdan axborotni qabul qiladi va uni mos simvolik tuzilma shaklida qayta ishlaydi. Keyin esa bu tuzilma rejalashtirish va harakatlar ishlab chiqishda qo‘llaniladi. Bunday yondashuv “simvollar bilan manipulyatsiya” deb ataladi.

Kognitivistik tizimlarda kognitivlik tashqi muhitdagi holat va xatti-harakatlarni aniq simvolik tasvirlar bilan manipulyatsiya qilish orqali ta’minlanadi. Bunday manipulyatsiyalar tizimga moslashuvchan, oldindan ko‘ra oladigan va samarali o‘zaro ta’sirlarni tashkil qilish, shuningdek, tajriba orqali to‘plangan bilimlarni jamlash imkonini beradi.

Idrok esa sezgi ma’lumotlaridan foydalanib, tashqi dunyoning makoniy va vaqtli tasvirlarini abstraktlashtirish bilan bog‘liq. Mantiqiy xulosalar chiqarish tashqi dunyo haqidagi simvolik tasvirlar ustida manipulyatsiya qilish orqali amalga oshiriladi, bu esa sabab-oqibatli harakatlar natijasida shakllangan dunyo konfiguratsiyasini o‘zgartirish

imkonini beradi.

Ko'pchilik kognitivistik tizimlarda simvolik tasvirlar inson tomonidan ishlab chiqilgan bo'ladi. Bu esa ularni inson tomonidan oson tushuniladigan va talqin qilinadigan qiladi. Biroq aynan shu jihat — ya'ni tasvirlarning inson tomonidan yaratilganligi — kognitivistik tizimlarning cheklovchisiga aylanadi, chunki bu tasvirlar ideal holatga keltirilgan bo'lib, tizimning moslashuvchanligini va real dunyo murakkabligiga to'liq moslasha olish imkoniyatini kamaytiradi.

Jismoniy simvolik tizim tushunchasi Newell va Saymon tomonidan sun'iy intellekt sohasidagi dastlabki ishlarda kiritilgan. Bu tushuncha avtomatik, formal tizimga tenglashtiriladi. Bunday tizim vaqt o'tishi davomida simvolik tuzilmalarning o'zgaruvchan to'plamini hosil qiladi. Simvol esa bu yerda jismoniy naqsh sifatida tushuniladi va u simvolik tuzilmaning tarkibiy qismidir.

Newell va Saymon fikricha, jismoniy simvolik tizim ichida ikkita kuchli bog'langan rekursiv jarayon mavjud: birinchisi — jarayonlar boshqa jarayonlarni yaratishi mumkin, ikkinchisi esa — naqshlar boshqa naqshlarga moslashtirilishi mumkin, va bu naqshlar ham jarayonlar bo'lishi mumkin. Ushbu model asosida tizim nafaqat abstrakt tasvirlar va ularga asoslangan xulosalardan tashkil topadi, balki mavjud holat va tasvirlar orqali o'zini o'zgartirish, ya'ni moslashish xususiyatiga ham ega bo'ladi.

Shu sababli jismoniy simvolik tizimlar kognitivistik tizimlarning abstrakt modellari sifatida qoraladi.

Bilish nazariyasiga asoslangan tizimlar o'rganishga va tajriba asosida bilimlar orttirishga qodir bo'lib, bu inson xatti-harakatlariga o'xshashlikni ta'minlaydi — ayniqsa, xatolardan saboq olish orqali yanada samarali qarorlar qabul qilinadi.

Amaliy xulosa chiqarishga asoslangan tizimlar esa psixologiyadagi yuqori darajadagi tushunchalarga — ishonchlar, istaklar va niyatlar (Beliefs, Desires, Intentions) — tayanadi. Bunday tizimlarda “nima qilish kerak?” degan savolga javob topish jarayoni odatda insonlarning kundalik hayotdagi qaror qabul qilish uslubiga o'xshaydi. Bu tizimlar quyidagilardan tashkil topgan: birinchidan, tizimning ishonchlari, istaklari va niyatlarini ifodalovchi ma'lumot tuzilmalari; ikkinchidan, qaror qabul qilish funksiyalari — bu funksiyalar qaysi niyatni qabul qilish (ya'ni nima qilishni hal qilish) va maqsadlarga qanday vositalar bilan erishishni tanlash (ya'ni qanday qilishni hal qilish) jarayonlarini amalga oshiradi.

Emergent kognitiv tizimlar

Emergentlik (o'z-o'zidan paydo bo'lish) kognitivlikka boshqa nuqtai nazardan qaraydi — bu yondashuvda kognitivlik bu tizimning o'z muhitida faol va samarali bo'lish jarayoni sifatida tushuniladi. Bu holat o'z-o'zini tashkil etish jarayoni orqali yuzaga keladi, ya'ni tizim va muhit o'rtasidagi doimiy o'zaro ta'sirlar natijasida tizimning tuzilmasi va parametrlarining real vaqt rejimida uzluksiz qayta

moslashtirilishi ro'y beradi. Bu o'zaro ta'sir natijasida tizim va muhit bir-birini belgilaydi.

“Bir-birini belgilash” degani shuki, kognitiv tizim o'zini muhit sharoitida aniqlaydi, va ayni paytda idrok jarayoni tizim uchun nimaning haqiqiy va muhim ekanini belgilaydi. Shu orqali tizim o'z faoliyati natijasida o'z “haqiqatini” (ya'ni o'z dunyosini) o'zi yaratadi.

Ba'zi mualliflar ta'kidlaydiki, kognitivlik idrokning davomchisi hisoblanadi. Idrok nisbatan qisqa vaqt oralig'ida faoliyat ko'rsatsa, kognitivlik uzoqroq vaqt davrlarini o'z ichiga oladi. Shu sababli, kognitivlik tizimga idrokning oraliq tabiatini qoplash imkonini beradi va unga uzoq muddatli muhitga moslashish hamda bu muhitdagi voqealarni oldindan bashorat qilish imkonini yaratadi.

Kognitivistik yondashuvdan farqli o'laroq, emergent yondashuv shuni ta'kidlaydiki, kognitiv o'rganish uchun asosiy model bilimlarni yodlashga emas, balki bashorat qilish ko'nikmalarini shakllantirishga asoslangan bo'lishi kerak. Ya'ni, harakatlarni boshqaruvchi va ularni takomillashtiruvchi jarayonlar barcha intellektual tizimlar uchun asosiy hisoblanadi.

Kognitivizm odatda abstrakt, mujassamlanmagan modellar bilan ishlaydi, shuning uchun tizimning fizik jihatdan mavjudligi bu model uchun muhim emas. Emergent yondashuv esa aksincha — tubdan mujassamlangan bo'lib, fizik jihatdan real shaklda mavjud bo'lishi zarur.

Konnektivistik tizimlar ma'lumotni parallel tarzda qayta ishlashni amalga oshiradi — bu yerda asosiy e'tibor statistik xossalarga, ya'ni ma'lumotlar orasidagi bog'lanish kuchiga qaratiladi, mantiqiy qoidalariga emas.

“Konnektivizm” atamasi, kompyuterlar paydo bo'lishidan avval, 1932 yilda psixolog E. Thorndike tomonidan ishlatilgan. U bu atamani assotsiativ yodlashning kengaytirilgan shaklini ifodalash uchun qo'llagan. Bunda konnektivistik tamoyillar asosiy o'rin tutgan bo'lib, ular ayniqsa assotsiativ xotira modelida yaqqol ko'zga tashlanadi.

Shuningdek, u nazoratsiz (unsupervised) o'rganish algoritmi g'oyasini oldindan bashorat qilgan edi. Bu algoritm keyinchalik fiziolog D. Xebb tomonidan taklif qilingan. Aynan Xebb “konnektivizm” atamasini neyron tarmoqlarga nisbatan birinchi marta ishlatgan [17].

Konnektivizمنى McCulloch va Pitts ham qo'llab-quvvatlagan. Ular shuni isbotladiki, propozitsional mantiqdagi har qanday ifodani oddiy qayta ishlovchi elementlardan tashkil topgan tarmoq bilan ifodalash mumkin, va bu tarmoq Tyuring mashinasiga teng kuchga ega [18].

Neyron tarmoqlar asosidagi tizimlar — konnektivistik yondashuvning amaliy ifodasidir. Bunday tizimlarning ishlab chiqilishi va o'rganilishi Rosenblatt, Hopfield va boshqa mashhur olimlarning ishlari bilan bog'liq.

Shuningdek, Rummelhart, Werbos va boshqalarning PDP (Parallel Distributed Processing — Parallel Taqsimlangan Qayta Ishlash) arxitekturasi asosida ishlab chiqilgan neyron tarmoq modellarining rivoji ham kognitiv fan taraqqiyotiga katta hissa qo'shdi. Aynan shu arxitektura tadqiqotchilarni miyani ketma-ket emas, balki parallel faoliyat yurituvchi hamkor komponentlar tarmog'i sifatida modellashtirish tomon yo'naltirdi.

XULOSA VA MUNOZARA

Kognitiv hisoblash – bu sun'iy intellektning ilg'or yo'nalishi bo'lib, inson miyasi faoliyatini taqlid qiluvchi tizimlar orqali axborotni qayta ishlash va qaror qabul qilish jarayonlarini takomillashtirishni maqsad qiladi. Ushbu maqolada kognitiv hisoblashning tarixiy rivojlanishi, asosiy tamoyillari, muhim yondashuvlari (simvolik, subsimvolik va emergent) va amaliy dasturlari tahlil qilinadi.

Kognitiv yondashuvlar, xususan, neyron tarmoqlar va til modellari yordamida inson tafakkuri, tilni tushunish va qaror qabul qilish kabi murakkab vazifalar muvaffaqiyatli modellashtirilmoqda. Shu bilan birga, bu soha hali ham ko'plab muammolar – ma'lumotga bo'lgan ehtiyoj, izohlanish muammosi va axloqiy masalalarni hal qilish zaruratiga duch kelmoqda.

Kognitiv hisoblashning rivoji sun'iy intellekt, nevrologiya, psixologiya va falsafa kabi fanlararo tadqiqotlar orqali davom etmoqda. U nafaqat texnologik innovatsiyalarni ilgari suradi, balki inson tafakkurini chuqurroq tushunish va uni sun'iy tizimlarda namoyon etish imkonini ham beradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Neiser U. Cognitive psychology.— NY, 1967.
2. Солто Р. Когнитивная психология.— М.: Мир, 1996.
3. Хомский Н. Три модели описания языка. Кибернетический сборник. Вып.2 М.: Издво ИЛ, 1961.
4. Шеперд Г. Нейробиология. Том 1, 2.— М.: Мир, 1987.
5. Величковский Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. В 2х тт.— М.: Академия, 2006.
6. Станкевич Л.А. Когнитивные нейрологические системы управления // Проблемы нейрокибернетики (Материалы 12й Международной конференции по нейрокибернетике, РостовнаДону, Россия, октябрь, 1999).— РостовнаДону: Издво СевероКавказского НЦ высшей школы, 1999.
7. Гергей Т. Когнитивные системы — потребность информационного общества и вызов компьютерным наукам // IX Национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ2004 (18 сентября– 2 октября 2004 г., Тверь). Труды конференции в 3х томах, Том 1, М.: Физматгиз, 2004, с.3–10.

8. Станкевич Л.А. Искусственная нервная система гуманоидного робота // Труды Юбилейной международной конференции по нейрокибернетике (Ростовна Дону, 25–28 сентября 2002), РостовнаДону, 2002.
9. Станкевич Л.А. Нейрологические средства систем управления интеллектуальных роботов // Научная сессия МИФИ2004. VI Всероссийская НТК «Нейроинформатика2004»: Лекции по нейроинформатике, ч.2.– М.: МИФИ, 2004, с.57–110.
10. Станкевич Л.А. Когнитивный подход к управлению гуманоидными роботами // В книге «От моделей поведения к искусственному интеллекту». Серия «Науки об искусственном», Ред. Редько В.Г.– Издво УРСС, 2006, Гл.14, с.386–443.
11. Vernon D., Metta G., Sandini G. A survey of artificial cognitive systems: implications for autonomous development of mental capabilities in computational agents // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.11, No.2, April 2007, pp.151–180.
12. Newell A., Simon H.A. Computer science as empirical inquiry: Symbol and search // Communications of the Association for Computing Machinery.– vol.19, pp.113126, 1976, Tenth Turing Award Lecture, ACM.
13. Anderson J. The arhitecture of cognition.– Harvard University Press, MA, 1983. 14.
14. Bratman M. Intention, plan, and practical reasoning.– Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
15. Sandini G., Metta G., Vernon D. Robocup: An open framework for research in embodied cognition // In: Proc. IEEE RAS/RSI Int. Conf. on Humanoid Robots (Humanoids 2004), 2004, pp.13–32.
16. Throndaik E.L. The fundamental of learning.– New York: Columbia Univ., Teacher College, 1932.
17. Hebb D.O. The organization of Behavior.– New York: Willey, 1949.
18. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of ideas immanent in nervous activity // Bull. Math. Biophys., vol.5, pp.115–133, 1943.