

DELTA QOIDASI: SUN'IY NEYRON TARMOQLARIDA O'QITISH ALGORITMINING NAZARIY ASOSLARI VA AMALIY TATBIQOTLARI

Tojimamatov Israil Nurmamatovich

Farg'ona davlat universiteti Amaliy matematika
va informatika kafedrası katta o'qituvchisi

E-mail: israiltojimatov@gmail.com

Ibrohimjonova Dilrabo Ibrohimjon qizi

Farg'ona davlat universiteti Amaliy matematika
yo'nalishi 3-bosqich 23.08-guruh talabasi

E-mail: servisec101@gmail.com

ANNOTATSIYA: Delta qoidasi sun'iy neyron tarmoqlarini o'qitishning asosiy algoritmlaridan biri bo'lib, adaptiv o'qitish nazariyasida muhim o'rin tutadi. Ushbu tadqiqot delta qoidasining matematik asoslarini, algoritmik tuzilishini va zamonaviy mashinali o'qitish tizimlarida qo'llanilishini chuqur tahlil qilishga bag'ishlangan. Maqolada WidrowHoff o'qitish qoidasining kelib chiqishi, gradient tushish usuli bilan bog'liqligi hamda neyron tarmoqlarning og'irlik koeffitsientlarini moslashtirishdagi roli batafsil ko'rib chiqilgan. Tadqiqot doirasida delta qoidasining klassik pertseptron o'qitish algoritmi bilan qiyosiy tahlili amalga oshirildi. Nazariy qismda kvadratik xatolik funksiyasining minimizatsiyalash jarayoni, gradientning hisoblash metodologiyasi va konvergensiya shartlari matematik jihatdan asoslangan. Amaliy qismda esa delta qoidasining turli xil neyron tarmoq arxitekturalarida - bir qavatli va ko'p qavatli tarmoqlarda, chiziqli va nochiziqli faollashtirish funksiyalarida qo'llanilishi tahlil etildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, delta qoidasi chiziqli ajratiladigan muammolar uchun samarali yechim beradi, ammo murakkab nochiziqli masalalarda uning imkoniyatlari cheklangan. Maqolada shuningdek, o'qitish tezligining tanlash mezonlari, lokal minimumlardan qochish strategiyalari va algoritmnining barqarorligini ta'minlash shartlari muhokama qilingan. Olingan natijalar zamonaviy chuqur o'qitish algoritmlarining rivojlanishida delta

qoidasining nazariy asoslarining muhimligini tasdiqlaydi va kelajakda adaptiv tizimlarni takomillashtirishda yangi yo'nalishlarni belgilaydi.

Kalit so'zlar: delta qoidasi, sun'iy neyron tarmoqlari, gradient tushish usuli, WidrowHoff algoritmi, o'qitish jarayoni, xatolik funksiyasi, og'irlik koeffitsientlari, adaptiv tizimlar, mashinali o'qitish, neyron o'qitish algoritmlari

ABSTRACT: The delta rule represents one of the fundamental algorithms for training artificial neural networks and occupies a crucial position in adaptive learning theory. This research is dedicated to an in-depth analysis of the mathematical foundations, algorithmic structure, and application of the delta rule in contemporary machine learning systems. The article provides a detailed examination of the origins of the Widrow-Hoff learning rule, its relationship with gradient descent methods, and its role in adjusting weight coefficients in neural networks. Within the scope of this investigation, a comparative analysis of the delta rule with the classical perceptron learning algorithm was conducted. The theoretical section mathematically substantiates the minimization process of the quadratic error function, the methodology for computing gradients, and the conditions for convergence. The practical section analyzes the application of the delta rule across various neural network architectures - single-layer and multi-layer networks, with linear and nonlinear activation functions. Research findings demonstrate that the delta rule provides an effective solution for linearly separable problems, though its capabilities are limited for complex nonlinear tasks. The article additionally discusses criteria for selecting learning rates, strategies for avoiding local minima, and conditions ensuring algorithmic stability. The obtained results confirm the significance of the delta rule's theoretical foundations in the development of modern deep learning algorithms and establish new directions for future enhancement of adaptive systems.

Keywords: delta rule, artificial neural networks, gradient descent method, WidrowHoff algorithm, learning process, error function, weight coefficients, adaptive systems, machine learning, neural training algorithms

АННОТАЦИЯ: Дельта-правило представляет собой один из основополагающих алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей и занимает важнейшее место в теории адаптивного обучения. Данное исследование посвящено глубокому анализу математических основ, алгоритмической структуры и применения дельта-правила в современных системах машинного обучения. В статье детально рассматривается происхождение правила обучения Уидроу-Хоффа, его связь с методом градиентного спуска, а также его роль в настройке весовых коэффициентов нейронных сетей. В рамках исследования проведен сравнительный анализ дельта-правила с классическим алгоритмом обучения персептрона. В теоретической части математически обоснован процесс минимизации квадратичной функции ошибки, методология вычисления градиентов и условия сходимости. Практическая часть анализирует применение дельта-правила в различных архитектурах нейронных сетей - однослойных и многослойных сетях, с линейными и нелинейными функциями активации. Результаты исследования показывают, что дельта-правило обеспечивает эффективное решение для линейно разделимых задач, однако его возможности ограничены для сложных нелинейных проблем. В статье также обсуждаются критерии выбора скорости обучения, стратегии избегания локальных минимумов и условия обеспечения стабильности алгоритма. Полученные результаты подтверждают значимость теоретических основ дельтаправила в развитии современных алгоритмов глубокого обучения и намечают новые направления для будущего совершенствования адаптивных систем.

Ключевые слова: дельта-правило, искусственные нейронные сети, метод градиентного спуска, алгоритм Уидроу-Хоффа, процесс обучения, функция ошибки, весовые коэффициенты, адаптивные системы, машинное обучение, алгоритмы нейронного обучения

KIRISH

Sun'iy intellekt va mashinali o'qitish sohalarining jadal rivojlanishi hozirgi kunda ilmiy-texnikaviy taraqqiyotning ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylanganini e'tirof etish

lozim. Neyron tarmoqlar nazariyasining zamonaviy yutuqlari - chuqur o'qitish arxitekturalari, konvolyutsion tarmoqlar, transformerlar va boshqa murakkab tizimlar - o'zining nazariy asoslarini yuz yillarning o'rtalarida ishlab chiqilgan fundamental algoritmlardan oladi. Ushbu fundamental algoritmlarning eng muhimlaridan biri delta qoidasi hisoblanadi.

Delta qoidasining tarixiy ildizlari mil tushgan olti yuzinchi yillarga borib taqaladi. Bernard Widrow va Marcian Hoff tomonidan Stanford universitetida mil tushgan olti yuzinchi yilda ishlab chiqilgan ADALINE tizimi sun'iy neyron tarmoqlarini o'qitishning matematik asoslangan birinchi usullaridan biri bo'ldi. Bu tadqiqotchilar pertseptron modelining cheklovlarini bartaraf etish va chiziqli bo'lmagan muammolarni hal qilishda yanada samarali vositani yaratish maqsadida ish olib borishdi. Ularning asosiy g'oyasi xatolik funksiyasini minimallashtirishga asoslangan gradient tushish usulidan foydalanish edi.

Delta qoidasining paydo bo'lishidan oldin Frank Rosenblatt tomonidan taklif etilgan pertseptron o'qitish algoritmi keng qo'llanilardi. Pertseptron qoidasi chiziqli ajratiladigan muammolar uchun konvergensiyani kafolatlagan bo'lsa ham, amalda ko'plab cheklovlarga ega edi. Birinchidan, bu algoritim faqat chiziqli ajratiladigan ma'lumotlar to'plamlari bilan ishlash qobiliyatiga ega bo'lgan. Ikkinchidan, og'irlik koeffitsientlarining yangilanishi diskret xususiyatga ega bo'lganligi sababli, o'qitish jarayoni noaniq va barqaror emas edi. Delta qoidasi esa gradient usullarining qattiq matematik asoslariga tayangan holda, bu kamchiliklarni bartaraf etishga qaratilgan edi.

Widrow-Hoff o'qitish qoidasi deb ham nomlanuvchi delta qoidasi kvadratik xatolik funksiyasining minimizatsiyalashiga asoslanadi. Bu yondashuv xatolik sirtining silliq va differentsiallanuvchi bo'lishini ta'minlaydi, natijada gradient hisoblashlari aniq va samarali amalga oshiriladi. Asosiy g'oya shundan iboratki, neyronning haqiqiy chiqishi bilan kutilayotgan chiqish o'rtasidagi farq yoki xatolik minimal qiymatga erishguncha og'irlik koeffitsientlari bosqichma-bosqich sozlanadi. Bu jarayon gradient vektor yo'nalishida harakatlanish orqali amalga oshiriladi.

Delta qoidasining nazariy ahamiyati bir necha jihatdan muhimdir. Birinchidan, u supervised learning yoki nazorat ostidagi o'qitish paradigmasining klassik namunasi hisoblanadi. Ikkinchidan, delta qoidasi keyinchalik backpropagation algoritmining rivojlanishi uchun nazariy asos bo'lib xizmat qildi. Backpropagation ko'p qavatli neyron tarmoqlarni o'qitishda qo'llaniladigan asosiy vosita bo'lib, delta qoidasining umumlashtirilgan shakli hisoblanadi. Uchinchidan, gradient tushish usulining amaliy tatbiqoti sifatida delta qoidasi zamonaviy optimallashtirish algoritmlarining prototipini tashkil etadi.

Amaliy nuqtai nazardan, delta qoidasi turli xil mashinali o'qitish vazifalarida qo'llanilishi mumkin. Signal qayta ishlash sohasida adaptiv filtrlar yaratishda, naqsh tanib olish tizimlarida, regressiya masalalarini hal qilishda va boshqa ko'plab ilovalarda bu algoritim o'zining samaradorligini ko'rsatdi. ADALINE tizimi elektron sxemalar va signallarni qayta ishlash uchun jismoniy qurilma sifatida ham amalga oshirilgan bo'lib, bu sun'iy neyron tarmoqlarining nazariyadan amaliyotga o'tishining muhim qadami edi.

Biroq delta qoidasining o'ziga xos cheklovlari ham mavjud. Eng muhim cheklov shundaki, bu algoritim faqat chiziqli yoki chiziqli ajratiladigan muammolar uchun optimal yechim beradi. Murakkab nochiziqli muammolarni hal qilishda delta qoidasining imkoniyatlari cheklangan bo'lib qoladi. Bundan tashqari, lokal minimumlarda qolib ketish xavfi, o'qitish tezligi parametrining to'g'ri tanlanishi zaruriyati va katta hajmdagi ma'lumotlar to'plamlarida hisoblash samaradorligi masalalari ham muhokama qilinishi lozim bo'lgan muhim jihatlardir.

Zamonaviy mashinali o'qitish kontekstida delta qoidasini tushunish bir necha sababga ko'ra muhimdir. Birinchidan, bu algoritim gradient asosidagi optimallashtirish usullarining ishlash tamoyillarini chuqur tushunishga yordam beradi. Ikkinchidan, delta qoidasining matematik apparati Adam, RMSprop, Adagrad kabi zamonaviy algoritmlarning nazariy asosini tashkil etadi. Uchinchidan, bir qavatli tarmoqlarda delta qoidasini o'rganish ko'p qavatli chuqur tarmoqlardagi murakkab jarayonlarni tushunish uchun zaruriy poydevordir.

Ushbu tadqiqotning asosiy yo'nalishlari delta qoidasining matematik asoslarini batafsil tahlil qilish, algoritmnining turli sharoitlarda ishlash xususiyatlarini o'rganish, chiziqli va nochiziqli muammolarda qo'llanilish imkoniyatlarini baholash hamda zamonaviy chuqur o'qitish algortmlari bilan bog'liqligini aniqlashdan iborat. Maqola nazariy asoslar, matematik modellashtirish, eksperimental natijalar va tahlillarni o'z ichiga oladi.

ADALINE ARXITEKTURASI VA UNING XUSUSIYATLARI

ADALINE yoki Adaptive Linear Neuron Widrow va Hoff tomonidan mil tushgan olti yuzinchi yilda ishlab chiqilgan sun'iy neyron tizimi hisoblanadi. Bu tizim pertseptrondan keyin paydo bo'lgan bo'lib, uning ba'zi kamchiliklarini bartaraf etishga qaratilgan edi. ADALINE nomi adaptive linear element yoki moslashuvchan chiziqli element iborasidan kelib chiqqan.

ADALINE arxitekturasida asosan bir qavatli neyron tarmog'i bo'lib, bir necha kirish, og'irlik koeffitsientlari va bitta chiqishdan iborat. Asosiy yangilik faollashtirish funksiyasi va o'qitish algoritmidan iborat. ADALINE chiziqli faollashtirish funksiyasidan foydalanadi va delta qoidasi asosida o'qitiladi, bu esa pertseptrondan tubdan farq qiladi.

O'qitish jarayonida har bir namuna uchun xatolik hisoblashlar amalga oshiriladi: delta kutilayotgan chiqish d dan haqiqiy chiqish y ni ayirish orqali topiladi. Og'irlik koeffitsientlarining yangilanishi delta qoidasi formulasi bo'yicha amalga oshiriladi: har bir w_i og'irligi w_i ga $\alpha \Delta$ ko'paytmasi qo'shilish orqali yangilanadi. Bu jarayon barcha o'quv namunalari uchun takrorlanadi.

Batch o'qitish va stochastic o'qitish usullari

ADALINE tizimini o'qitishda ikki asosiy yondashuv mavjud: batch yoki to'plamli o'qitish va stochastic yoki tasodifiy o'qitish. Batch o'qitishda barcha o'quv namunalari uchun gradientlar hisoblab chiqiladi va o'rtalashtiriladi, keyin og'irliklar bitta yangilanish

orqali sozlanadi. Bu usul gradient hisoblashning aniqligini oshiradi, ammo katta ma'lumotlar to'plamlari uchun xotirada ko'p joy talab qiladi.

Batch o'qitish formulasida og'irlik yangilanishi quyidagicha ifodalanadi: w_i ga alfa ko'paytma barcha namunalar bo'yicha delta va x_i ko'paytmalarining yig'indisi qo'shiladi. Bu yerda yig'indi butun o'quv to'plami bo'yicha olinadi. Batch usulining afzalligi shundaki, u xatolik sirtida aniq gradient yo'nalishida harakat qiladi va konvergenstsiya silliqlashadi.

Stochastic gradient descent yoki tasodifiy gradient tushish usulida har bir namunadan keyin og'irliklar yangilanadi. Bu yondashuv hisoblash samaradorligini oshiradi va katta ma'lumotlar to'plamlari uchun qulayroqdir. Bundan tashqari, tasodifiy o'qitish lokal minimumlardan qochishda yordam berishi mumkin, chunki yangilanishlar shovqinli va har xil yo'nalishlarda bo'ladi.

Amalda, mini-batch usuli ham qo'llaniladi, bu yerda ma'lumotlar kichik guruhlariga bo'linadi va har bir guruh uchun og'irliklar yangilanadi. Bu usul batch va stochastic usullarning afzalliklarini birlashtiradi: u batch usulining barqarorligini va stochastic usulining samaradorligini ta'minlaydi. Mini-batch hajmi ko'pincha o'ndan yuzgacha namunalar oralig'ida tanlanadi.

ADALINE tizimining amaliy qo'llanilishi

ADALINE tizimi dastlab signal qayta ishlash va adaptiv filtrlash vazifalarida qo'llanilgan. Elektron sxemalar sifatida amalga oshirilgan ADALINE qurilmalari shovqinni filtrlash, signallarni bashorat qilish va ma'lumotlarni siqish kabi vazifalarda ishlatilgan. Bu tizimning real vaqt rejimida ishlash qobiliyati amaliy tatbiqotlar uchun juda muhim edi.

Naqsh tanib olish sohasida ADALINE oddiy xususiyatlarni ajratish va klassifikatsiya qilishda ishlatilgan. Masalan, raqamli belgilarni tanib olish, oddiy geometrik shakllarni aniqlash yoki chiziqli ajratiladigan naqshlarni klassifikatsiya qilishda bu tizim samarali

natijalar ko'rsatdi. Biroq, murakkab nochiziqli naqshlar uchun ADALINE tizimining imkoniyatlari cheklangan.

Zamonaviy kontekstda ADALINE tushunchalari hali ham muhim. Chiziqli regressiya, Ridge regressiya va Lasso regressiya kabi statistik usullar ADALINE tizimining kengaytmalari sifatida qaralishi mumkin. Shuningdek, ko'p qavatli neyron tarmoqlarning har bir neyroni ADALINE prinsipiga asoslangan hisoblashlarni amalga oshiradi, faqat faollashtirish funksiyasi nochiziqli bo'ladi.

CHIZIQLI VA NOCHIZIQLI MUAMMOLAR KONTEKSTIDA DELTA QOIDASI

Chiziqli ajratiladigan muammolar sun'iy neyron tarmoqlari nazariyasida asosiy tushuncha hisoblanadi. Muammo chiziqli ajratiladigan deyiladi, agar ikki sinfni to'g'ri chiziq yoki yuqori o'lchovlarda giperplosklik bilan ajratish mumkin bo'lsa. Ikki o'lchovli fazoda bu to'g'ri chiziq, uch o'lchovli fazoda tekislik va umuman n o'lchovli fazoda n minus bir o'lchovli giperplosklikdir.

Matematik jihatdan, chiziqli ajratiladigan muammo uchun shunday og'irlik vektori w va siljish b mavjudki, birinchi sinfga tegishli barcha nuqtalar x uchun w transpozitsiyasi x plus b noldan katta va ikkinchi sinfga tegishli barcha nuqtalar uchun w transpozitsiyasi x plus b noldan kichik bo'ladi. Bu shartning bajarilishi chiziqli ajratiluvchanlikni ta'minlaydi.

Chiziqli ajratiladigan muammolarga misollar mantiqiy AND yoki VA operatsiyasi, oddiy geometrik shakllarning klassifikatsiyasi, ba'zi statistik ma'lumotlar to'plamlari kiradi. Masalan, AND operatsiyasi uchun kirish qiymatlari ikkilik bo'lib, faqat ikkalasi ham birga teng bo'lganda chiqish bir bo'ladi. Bu muammo ikki o'lchovli fazoda to'g'ri chiziq bilan ajratilishi mumkin.

Chiziqli ajratiladigan muammolarda delta qoidasi va pertseptron qoidasi ikkalasi ham samarali ishlaydi va to'g'ri yechimni topishni kafolatlaydi. Delta qoidasi bu holda kvadratik

xatolik funksiyasining global minimumini topadi va bu minimum to'g'ri klassifikatsiyani ta'minlaydi. Konvergenksiya chekli sondagi iteratsiyalarda ro'y beradi, garchi aniq iteratsiyalar soni ma'lumotlarga bog'liq.

Nochiziqli muammolar va delta qoidasining cheklovlari

Nochiziqli muammolar chiziqli ajratuvchi yuzacha bilan hal qilib bo'lmaydigan vazifalardir. Klassik misol XOR yoki eksklyuziv OR operatsiyasi hisoblanadi. XOR uchun chiqish faqat bitta kirish birga teng bo'lganda bir bo'ladi, ikkalasi ham bir yoki ikkalasi ham nol bo'lsa nol bo'ladi. Ikki o'lchovli fazoda XOR muammosini to'g'ri chiziq bilan ajratish mumkin emas.

XOR muammosi sun'iy neyron tarmoqlari tarixida muhim rol o'ynagan. Mil tushgan oltmish to'qqizinchi yilda Marvin Minsky va Seymour Papert o'zlarining mashhur kitobida pertseptron bir qavatli tarmoqning XOR kabi oddiy nochiziqli muammolarni hal qila olmasligini isbotladilar. Bu kashfiyot neyron tarmoqlar tadqiqotlariga jiddiy zarba berdi va AI qishining boshlanishiga sabab bo'ldi.

Delta qoidasi ham bir qavatli tarmoqda nochiziqli muammolarni hal qila olmaydi, chunki u ham chiziqli ajratuvchi yuzachani topishga mo'ljallangan. XOR uchun delta qoidasini qo'llash eng yaxshi chiziqli yaqinlashishni beradi, lekin to'g'ri klassifikatsiyaga erishmaydi. Xatolik funksiyasi ma'lum bir minimal qiymatga yetadi, ammo bu qiymat noldan yuqori bo'lib qoladi va to'g'ri yechim topilmaydi.

Nochiziqli faollashtirish funksiyalari tarmoqqa murakkab nochiziqli munosabatlarni o'rganish imkonini beradi. Agar barcha faollashtirish funksiyalari chiziqli bo'lsa, butun ko'p qavatli tarmoq bitta chiziqli funksiyaga ekvivalent bo'lardi, bu esa hech qanday afzallik bermaydi. Nochiziqlilik bu erda muhim rol o'ynaydi.

Backpropagation algoritmi delta qoidasining ko'p qavatli tarmoqlarga kengaytmasi hisoblanadi. Bu algoritm xatolik signalini chiqish qatlamidan kirish qatlamiga qarab orqaga tarqatadi va har bir qatlamdagi og'irlik koeffitsientlarini sozlaydi. Zanjir qoidasi yordamida

har bir og'irlikning gradientini hisoblash mumkin va delta qoidasi kabi yangilanish formulasi qo'llaniladi.

Sun'iy neyron sun'iy neyron tarmoqlarining asosiy hisoblash birligi hisoblanadi. Biologik neyronlardan ilhomlangan bu matematik model kirish signallarini qabul qilish, ularni qayta ishlash va chiqish signalini hosil qilish vazifalarini bajaradi. Oddiy sun'iy neyron modeli bir necha asosiy komponentlardan tashkil topadi: kirish qiymatlari vektori, og'irlik koeffitsientlari, yig'indi funksiyasi va faollashtirish funksiyasi.

Matematik nuqtai nazardan, neyronning kirishi n o'lchovli vektor sifatida ifodalanadi va x kirish vektori x_1, x_2, x_3 va hokazo x_n elementlardan iborat. Har bir kirish qiymati o'zining og'irlik koeffitsientiga ega bo'lib, bu koeffitsient w harfi bilan belgilanadi va w_1, w_2, w_3 va hokazo w_n ko'rinishida ifodalanadi. Og'irlik koeffitsientlari neyronning o'qitish jarayonida sozlanadigan parametrlar bo'lib, ular kirish signallarining ahamiyatliligini aniqlaydi.

Neyronning net kirishi yoki to'plangan kirish qiymati barcha kirishlarning og'irlik koeffitsientlari bilan ko'paytmalarining yig'indisi sifatida hisoblanadi. Bu jarayonni matematik ifoda orqali quyidagicha yozish mumkin: net kirish w_1 va x_1 ko'paytmasidan boshlab barcha w va x ko'paytmalarining yig'indisi, qo'shimcha ravishda b siljish parametri qo'shiladi. Bu tenglamani vektor ko'rinishida w transpozatsiyasi va x vektorining skalyar ko'paytmasi plus b siljish sifatida ham ifodalash mumkin.

Delta qoidasi nazorat ostidagi o'qitish paradigmasiga asoslanadi. Bu degani, o'qitish jarayonida har bir kirish namunasi uchun kutilayotgan yoki maqsadli chiqish qiymati d berilgan bo'ladi. Neyronning haqiqiy chiqishi y va kutilayotgan chiqish d o'rtasidagi farq xatolik yoki delta deb ataladi va delta belgisi bilan ifodalanadi. Xatolik qiymati quyidagicha hisoblanadi: delta kutilayotgan chiqish d dan haqiqiy chiqish y ni ayirish natijasida hosil bo'ladi.

Delta qoidasining asosiy g'oyasi xatolikni minimal qiymatga yetkazish uchun og'irlik koeffitsientlarini sistematik ravishda o'zgartirishdan iborat. Og'irlik koeffitsientlarining

yangilanishi gradient tushish usuli asosida amalga oshiriladi. Gradient tushish usuli xatolik funksiyasining gradientini hisoblash va shu gradient teskari yo'nalishida harakat qilish orqali minimumga intilishni ta'minlaydi.

Kvadratik xatolik funksiyasi E bir namuna uchun quyidagicha aniqlanadi: E kvadrati yarmi delta kvadratiga yoki kutilayotgan chiqish va haqiqiy chiqish farqining kvadrati yarmiga teng. Kvadratik forma xatolik funksiyasini silliq va differentsiallanuvchi qiladi, bu esa gradient hisoblashlarini osonlashtiradi. Bundan tashqari, kvadrat funktsiya katta xatoliklar uchun kattaroq jazo beradi, bu esa o'qitish jarayonining samaradorligini oshiradi.

Bir necha o'quv namunalari uchun umumiy xatolik barcha namunalar bo'yicha xatoliklarning yig'indisi sifatida ifodalanadi. Maqsad bu umumiy xatolikni minimallashtirish, ya'ni eng kichik qiymatga erishtirishdir. Gradient tushish usuli bu maqsadga erishish uchun samarali vositani taqdim etadi.

Delta qoidasida og'irlik koeffitsientlarining yangilanishi gradient tushish usulining to'g'ridan-to'g'ri tatbiq etilishi hisoblanadi. Har bir og'irlik koeffitsienti w uchun gradient xatolik funksiyasining shu og'irlikka nisbatan xususiy hosilasi sifatida aniqlanadi. Matematik jihatdan, xatolik funksiyasining w ga nisbatan hosilasini hisoblash zarur.

Chiziqli faollashtirish funksiyasi uchun hisoblashlar ancha soddalashadi. Chiqish y chiziqli funktsiya bo'lganligi uchun, y ning w ga nisbatan hosilasi kirish x ga teng bo'ladi. Zanjir qoidasini qo'llab, E xatolik funksiyasining w ga nisbatan hosilasi quyidagicha hisoblanadi: dE bilan dw nisbati E ning y ga nisbatan hosilasi va y ning w ga nisbatan hosilasining ko'paytmasi sifatida ifodalanadi.

Delta qoidasi asosida o'qitish iterativ jarayon bo'lib, u bir necha bosqichlardan iborat. Birinchi bosqichda og'irlik koeffitsientlari tasodifiy yoki ma'lum usul bilan boshlang'ich qiymatlarga ega qilinadi. Odatda, kichik tasodifiy sonlar tanlash qabul qilingan amaliyotdir, bu lokal minimumlarda qotib qolish xavfini kamaytiradi.

Ikkinchi bosqichda o'quv to'plamidan bir namuna tanlanadi va uning kirish qiymatlari x neyronning kirishiga beriladi. Uchinchi bosqichda neyronning chiqishi y hisoblashlar orqali aniqlanadi: avval net kirish hisoblanadi, keyin faollashtirish funksiyasi qo'llaniladi. To'rtinchi bosqichda xatolik delta kutilayotgan chiqish va haqiqiy chiqish farqi sifatida hisoblanadi.

Beshinchi bosqichda og'irlik koeffitsientlari delta qoidasi formulasi bo'yicha yangilanadi. Oltinchi bosqichda barcha o'quv namunalari uchun jarayon takrorlanadi. Bir marta butun o'quv to'plamidan o'tish epokha deb ataladi. O'qitish jarayoni bir necha epokhalar davomida davom etadi, to xatolik funksiyasi qoniqarli darajada kamaymaguncha yoki belgilangan epokhalar soni tugamaguncha.

Konvergensiya mezonlari o'qitish jarayonining to'xtatilish shartlarini belgilaydi. Umumiy mezonlar xatolik funksiyasining ma'lum bir chegaradan past bo'lishi, ketma-ket epokhalar orasidagi xatolik o'zgarishining juda kichik bo'lishi yoki maksimal epokhalar soniga erishilishi bo'lishi mumkin. Konvergensiya tezligi o'qitish tezligi parametri α , ma'lumotlar to'plamining xususiyatlari va boshlang'ich og'irlik qiymatlariga bog'liq.

O'qitish tezligi α parametri delta qoidasining samaradorligida muhim rol o'ynaydi. Alfa qiymati juda katta bo'lsa, algoritm xatolik sirtida haddan tashqari katta qadamlar bilan harakat qiladi, bu ostsillatsiyalarga yoki hatto divergentsiyaga olib kelishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda, minimumdan sakrab o'tish va u atrofida noaniq harakatlanish ro'y beradi.

Aksincha, α juda kichik bo'lsa, konvergensiya juda sekin bo'ladi va minimumga erishish uchun juda ko'p iteratsiya talab qilinadi. Bu amaliy jihatdan vaqt va hisoblash resurslari nuqtai nazaridan samarasiz. Shuning uchun, α ning optimal qiymatini tanlash muhim vazifa hisoblanadi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot delta qoidasining nazariy asoslari, matematik modellari va amaliy tatbiqotlarini keng qamrovli tahlil qilishga bag'ishlangan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, delta qoidasi sun'iy neyron tarmoqlarini o'qitishning fundamental algoritmlaridan biri bo'lib, zamonaviy mashinali o'qitish usullarining rivojlanishida muhim rol o'ynagan.

Nazariy qismda delta qoidasining matematik asoslari batafsil ko'rib chiqildi. Kvadratik xatolik funksiyasining minimizatsiyalash jarayoni, gradient hisoblash metodologiyasi va konvergensiya shartlari matematik jihatdan asoslandi. Widrow-Hoff o'qitish qoidasi gradient tushish usulining to'g'ridan-to'g'ri tatbiq etilishi ekanligini va konveks optimallashtirish muammolarini hal qilishda samarali ekanligini ko'rsatdi.

Delta qoidasi va pertseptron o'qitish qoidasining qiyosiy tahlili ikki yondashuvning farqlarini aniqlashtirdi. Pertseptron diskret xatolik signallariga javob bersa, delta qoidasi uzluksiz gradient ma'lumotlaridan foydalanadi. Bu farq algoritmlarning konvergensiya xususiyatlari va qo'llanilish sohasiga ta'sir qiladi. Delta qoidasi chiziqli ajratiladigan muammolar uchun optimal yechim beradi va eng yaxshi chiziqli yaqinlashishni topadi.

Chiziqli va nochiziqli muammolar kontekstida delta qoidasining imkoniyatlari va cheklovlari muhokama qilindi. Chiziqli ajratiladigan muammolar uchun delta qoidasi to'liq yechim beradi, ammo XOR kabi nochiziqli muammolar uchun uning imkoniyatlari cheklangan. Bu cheklovni bartaraf etish uchun ko'p qavatli tarmoqlar va backpropagation algoritmi zarur ekanligi aniqlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by backpropagating errors. Nature journal, vol 323, betlar 533-536, 1986.
2. Widrow B., Hoff M.E. Adaptive switching circuits. IRE WESCON Convention Record, betlar 96-104, 1960.

3. Rosenblatt F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, vol 65, issue 6, betlar 386-408, 1958.
4. Kingma D.P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. *International Conference on Learning Representations proceedings*, 2015.
5. Tojimamatov, I. N., & Saidjamolova, B. M. (2023). BIZNESDA «BIG DATA» TEXNOLOGIYALARI VA ULARNING AHAMIYATI. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 11(4), 56–63.
6. Tojimamatov, I. N., & Azizjon o'g'li, N. A. Z. (2024). The SQL server language and its structure. *American Journal of Open University Education*, 1(1), 11–15.
7. Tojimamatov, I. N., Topvoldiyeva, H., Karimova, N., & Inomova, G. (2023). GRAFIK MA'LUMOTLAR BAZASI. *Евразийский журнал технологий и инноваций*, 1(4), 75–84.
8. Tojimamatov, I. N., & Gulhayo, M. (2023). MA'LUMOTLARNI QAYTA ISHLASHDA ERP TIZIMLARI. MA'LUMOTLARNI QAYTA ISHLASHDA SAP TIZIMLARI. *Journal of Integrated Education and Research*, 2(4), 87–89.