

Лекция 10. Data Mining модельдерінің түрлері

1. Лекция мақсаты мен міндеттері: Data Mining модельдерінің түрлеріне жататын нақты емес көптік және лингвистикалық ауыспалы түсінігі, нақты емес логиканың ерекшеліктері, Нақты емес срездер және Анық емес көптіктерді қарастыру.

2. Лекция мазмұны:

1. Data Mining модельдерінің түрлері.

2. Нақты емес срездер.

3. Анық емес көптіктерді

3. Оқытудың техникалық құралдары: Zoom онлайн оқыту платформасы

4. Лекция оқудың тәртібі, оқыту әдістері мен түрлері: баяндау, сұрақ – жауап, түсіндіру, кіріспе лекция

Адамға күрделі объектілерді басқару процессінде тиянақсыз шектегі түсініктер мен қатынастармен операциялау тән. Тиянақсыздықтың көзі болып объектілер класының, тиесілік дәрежесінің (көлем, толық тиесіліктен толық тиесілікке дейін үздіксіз өзгеріп тұратын). Бинарлы сипатты қызметке негізделген қарапайым математикалық көптік түсінігі мұндай сипаттама қалыптастыруға мүмкіндік бермейді.

Л. Заденің екі негізгі шығысты нақты емес көптік және лингвистикалық ауыспалы түсінігін енгізуі - күрделі жүйелердің сипаттамасын қалыптастыру мүмкіндігін кеңейтті. Осындай модельдер логиканың деп аталады.

Нақты емес логиканың негізгі құндылықтарын қарастырып көрейік. Егер қысқаша айтатын болсақ, онда нақты емес логика адамның ойлауын жемісті көруге мүмкіндік береді. Күнделікті қызметте адам математикалық өрнектер негізінде модельді қалыптастыруды қолданбайды, барлық төңіреkteгіні сипаттайтын бір әдбебап заңдылықты іздестірмейді. Ол нақты емес табиғи тілді қолданады. Адам шешім қабылдау процессінде жағдайды жеңіл меңгереді, оларды оқиғаларға бөледі, әр оқиғаға сәйкесінше, тәжірибесіне, шешімдерді қабылдау ережелеріне қарай күрделі мәселелерді шешеді, кейде сапалық өлшемдерге кереғар шешімдерді де қолданады. Осылайша адамның алдында белгілі жағдайдағы объектілер үзінділерінің қасиеттері сипаттайтын бірқатар локальді модельдер туындайды. Барлық модельдердің бір ортақтығының болуы және сапалық деңгейде түсіну үшін өте қарапайымдылығы аса маңызды болады. Мұндай сөздік модельдің қаңқасының мысалы ретінде «егер....., онда.....» құрылымы болып табылады.

Нақты емес логиканың ерекшеліктерінің негізгі үш ережесі:

1. Шешімдерді қабылдау ережесі болып «егер....., онда.....» түріндегі шартты айтулар орын алғанда және логикалық қорытынды механизмінің көмегімен жүзеге асырылғанда табылады;

2. Бір қорытылған анық ереженің орнына анық емес логика көптеген жеке ережелерді тірек етеді. Онда ақпаратты кеңістікті таратудағы әр жергілікті облыс үшін, әр реттелуші көлем үшін, басқарудың әрбір мақсаты үшін өз ережелері тапсырылады. Ол көп еңбекті талап ететін процессті

мақсаттар орамдарынан және қорытылған мақсатты өлшем алудан бас тартуға мүмкіндік береді, өз алдына қарама-қайшы мақсаттармен операциялар жасау мүмкіндігін береді;

3. «Егер..., онда.....» түріндегі ереже оператормен диалог тәртібінде тапсырмаларды топтастырып шешуге мүмкіндік береді, ол пайдалану процессінде топтастырушының сапасын жоғарылатуға мүмкіндік тудырады.

Осылайша адам ойлуының және анық емес логикасының жалпы белгілерін байқауға болады, сондықтан анық емес логика негізіндегі басқару әдістерін көбінесе эвристикалық деп есептеуге болады. Эвристикалық тәсілдер тапсырмаларды шешуде қатаң математикалық модельдер мен алгоритмдерге негізделмеген, олар «дұрыс мағына» пікіріне негізделген.

Анық емес деректерді өңдеудің эвристикалық алгоритмдерінің дамуы деп өзің-өзі ұйымдастырушы жүйелерді айтуға болады. Қандай жағдай болмасын соңғысының өзегі болып анықтық еместікті өңдеу болып табылады, ал артынша адам ойлауының қағидалары қолданылады. Бірақ өзің-өзі ұйымдастырушы жүйелер ары қарай кете береді және дами түседі, объектілерге икемделеді, белгілі мәнде, басқару объектісі жөніндегі ақпарат жұмысы процессінде дербес алып қолданады.

Жалпы жағдайда, келесідей іске асырылу схемасын жасауға болады: анықтау → болжау → идентификация → * шешім қабылдау → басқару.

Бұл мақсаттар бір класқа жатқызылғанын да анықтауға болады.

Нақты емес срездер. Бір технологияны (деректер қоймасын) өзге (анық емес логика) технологиямен байытудың жақсы мысалы нақты емес кескіндерді көрсетеді (fuzzy slices). Олармен өлшемдер бойынша фильтрлар түсіндіріледі, онда анық емес көлемдер көрсетіледі, мысалы «барлық жас қарызданушының кірісі аз». Реляциялық деректер базасында бұл рольді анық емес сұраныстар атқарады (fuzzy queries, flexible queries), оларды алғаш рет 80-ші жылдардың Д. Дюбуа және Г. Прада еңбектерінде ұсынған.

Өйткені ДҚ ақпараты анық түрде беріледі, фильтрде қолдану үшін анық емес түсініктерді анық емес көптіктердің көмегімен қалыптастыру қажет, олар төменде келтірілген.

Анық емес көптіктер. Анық емес көптіктерді математикалық теориясы (fuzzy sets) және анық емес логикасы (fuzzy logic) көптіктің классикалық теориясымен және классикалық формалды логикамен қорытылған болып табылады. Бұл түсініктер алғаш рет американдық ғалым Лотфи Задемен (Lotfi Zadeh) 1965 жылы ұсынылған болатын. Жаңа теорияның пайда болуына себепті адам процесстерін, жүйелерін, объектілерін сипаттауға жақын және анық емес талқылаулардың бар болуы тудырды.

Анық емес көптіктің сипаттамасы болып тиесілік функциясы көрсетіледі (membership function). $\mu(x)$ арқылы тиесілік дәрежесін, элементтің x анық емес көптікті, қарапайым көптік функциясының сипаттамасы түсінігін қорытындылайтын, белгілейік. Сонда анық емес көптік C келесі түрдегі реттелген жұптар көптігі деп аталады $C = \{\mu(x)/x\}$, сонда $\mu(x)$ әр

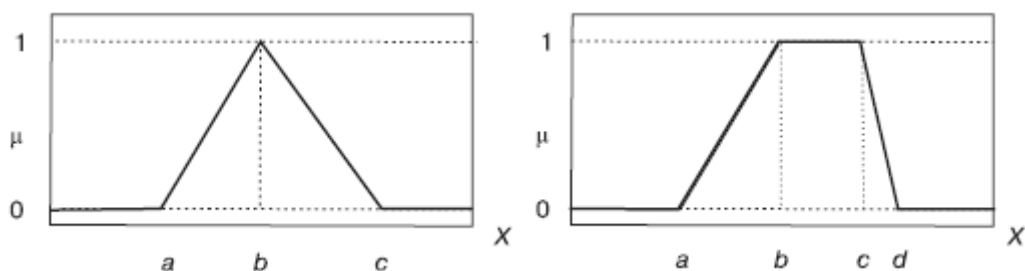
мәндегі $[0, 1]$, $x \in X$ аралығында қабылдай алады. $\mu(x) = 0$ мәні тиесіліктің көптікке жатпайтындығын білдіреді, 1 толық тиесілікті білдіреді.

Осыны қарапайым мысалда иллюстрациялап көрейік. Нақты емес анықтама қалыптастырып көрейік «сенімсіз қарыздар». X (талқылау облысы) ретінде кейінгі 6 айда несие бойынша мерзімінен өтіп кеткен қарызданған жағдайларының саны көрсетіледі. Ол 0-ден 6-ға дейін көрсетілсін делік. Сарапшы анықтаған анық емес көптік келесідей көрінуі мүмкін:

$$C = \{0/0; 0,4/1; 0,7/2; 0,9/3; 1/4; 1/5; 1/6\}.$$

Сонымен, екі мерзімінен өтуіп кетуі бар қарыздар «сенімсіз» көптігіне 0,7 тиесілік дәрежесімен жатқызылады. Бір банк үшін мұндай мерзімінен өткізу саны мәнсіз болғанмен, өзге банктер үшін ол алаңдатарлық белгі болып табылады. Дәл осында сәйкес көптік тапсырмасының анық еместігі көрінеді.

Ауыспалыларға, деректердің толассыз түріне жататындары, тиесілік функциясын сарашылық формуламен тапсырған және көрнекілік ретінде графикамен көрсеткен жөн. Тиесілік функциясын тапсыруға арналған қисық типтік формалардың оншақты түрлері бар. Ең танымал деген кесектік-сызықтық түрлерін қарастырайық: үшбұрышты және трапециялы 1.1 суретте.



1.1 – сурет – Тиесіліктің типтік функциялары

Тиесіліктің үшбұрышты функциясы үштік санмен анықталып (a, b, c) келесі сипататрға ие:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Трапециалды функцияға төрт сан қажет: (a, b, c, d):

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Анық емес көптіктер үшін, қарапайымдылары сияқты негізгі логикалық операциялар анықталған. Есептесуге ең қажеттілері қилысу, біріктіру және теріске шығару болып табылады.

- Екі тақ санның қилысуы $A \cap B$ (анық емес «И»):

$$\mu(x) = \min(\mu A(x), \mu B(x));$$
- Екі анық емес көптікті біріктіру $A \cup B$ (анық емес «НЕМЕСЕ»):

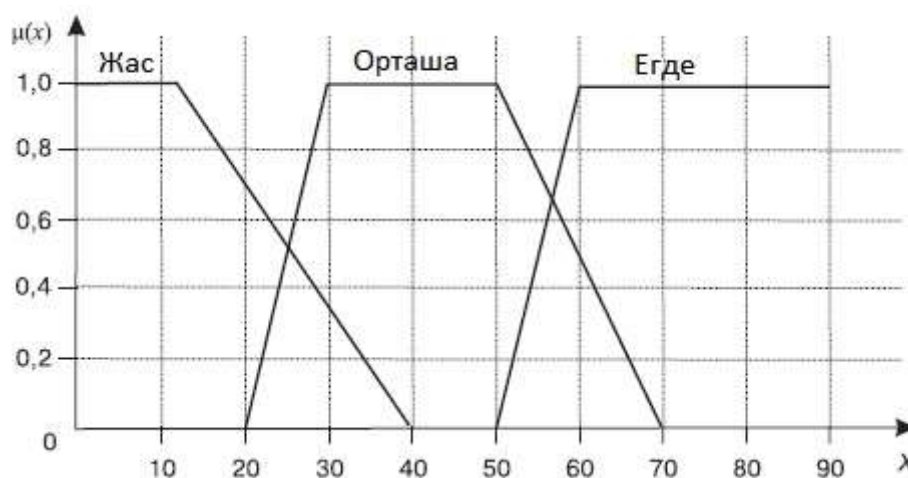
$$\mu(x) = \max(\mu A(x), \mu B(x));$$
- Анық емес көптікті теріске шығару $\neg A$:

$$\mu(x) = 1 - \mu A(x),$$

мұндағы $\mu(x)$ — операцияның нәтижесі;
 $\mu A(x)$ — x элементінің A элементіне тиесілігі;
 $\mu B(x)$ — x элементінің B элементіне тиесілігі.

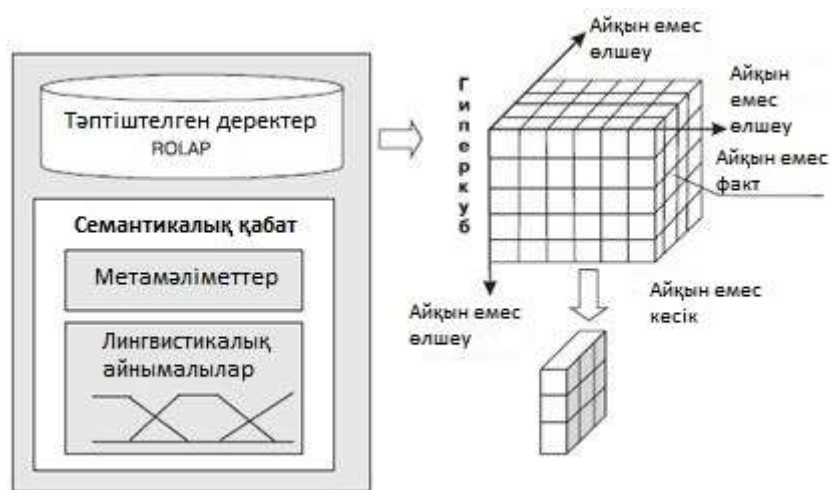
Бір объектіге жатқызылатын көптіктің жиынтығы лингвистикалық ауыспалылықты құрайды. Мысалы, лингвистикалық ауыспалылық Жас ерекшелігі Жас, Орташа, Егделеген болып қабылдануы мүмкін (оларды базалық терм-көптік немесе терм деп атайды). Келесі түрде талқылау облысын тапсырайық $X = \{x \mid 0 < x < 90\}$ (жылдар). Енді әр терм үшін тиесілік функциясын құру қалды (сурет 1.2).

Әрбір функция нақты сандар арқылы анықталатын болады: Жас = $\{0; 0; 12; 40\}$, Орта = $\{20; 30; 50; 70\}$, Ауыспалы = $\{50; 60; 90; 90\}$.



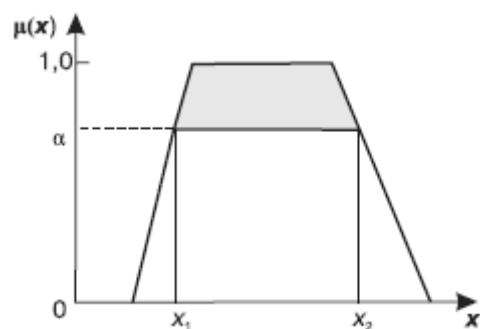
1.2 – сурет – Лингвистикалық ауыспалы «ЖАС»-тың графикалық суреті

Нақты емес срездердің жасалу принципі. Лингвистикалық ауыспалыны әр өлшемге, өлшем немесе факты атрибутына тапсыруға болады, олардың мәні үздіксіз түрде болады. Олардың параметрлері: атауы, терм-көптігі, тиесілік параметрлері деректердің семантикалық сақтау қойма қабытында сақталады (сурет 1.3).



1.3 – сурет – Анық емес кесінді қолдауымен деректер қоймасын ұйымдастырудың нұсқасы

Анық емес кесінді орындаудың нәтижесі, тапсырылған жағдайды қанағаттандыратын көптеген гиперкуб ұяшықтарынан басқа, кесіндіге сәйкес индекс болып табылады $CI \in [0, 1]$. Ол куб қиылысында кездесетін қорытынды тиесілік дәрежесін көптеген анық емес өлшемдер мен деректерге қатысын ұсынады және деректер жинағының әр жазбасында есептелінеді. ДҚ сұраныстарын орындауды жылдамдату үшін сәйкестік $CI > \alpha$ индексінің жоғарғы шегін тапсырады. Ол келесі деңгейде SQL-сұранысы деңгейінде жазбаларды іріктеуге көмектеседі, олар сәйкестік индексінің минималды табалдырығын қанағаттандырмайды (сурет 1.4). Суретте көрсетілген, $[x_1, x_2]$ аралығындағы мәндегі анық емес көптік элементтері α – дан төмен емес тиесілік дәрежесін қамтамасыз етеді.



1.4 – сурет – Анық емес көптік

Анық емес кесіндіні қалыптастыруды сұлба (сурет 1.5) иллюстрациялайды. 1 қадамда деректер қоймасының семантикалық қабаты қолданылады. 3 қадамында нәтижелендіретін SQL-тапсырыс α сәйкестігінің минималды индексін ескере отырып шегіне түседі. 5 қадам анық емес логикалық операцияларды қолдануды алғышарттайды.



1.5 – сурет – Анық емес кесіндіні алудың алгоритмі

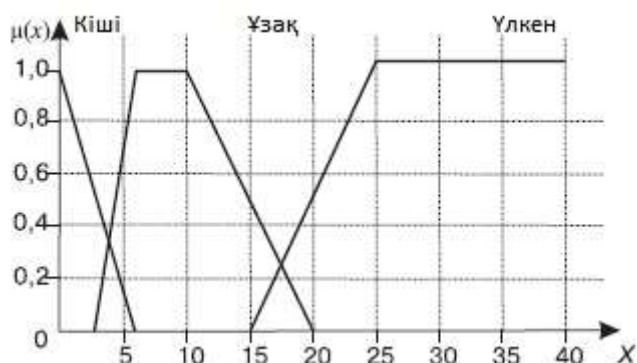
Мысалды қарастырайық. Қоймада бос жұмыс орындарын іздеушілер туралы ақпараттар тұр делік және кесінді (анық) өлшемдері бойынша сауалнама Коды, Жасы және Жұмыс өтілі келесі деректер жиынтығы қамтамасыз етеді кесте 1.1.

Әрине, сауалнама Коды – ол қызметтік жол. Жасты есептеу үшін 1.1 суретте анықталған лингвистикалық ауыспалыны, ал жол үшін Жұмыс өтілін – ауыспалы, анықталған 1.5 суретте. Әр тиесілік қызметі сандармен сипатталады: Кішісі = {0; 0; 6}, Жалғасымды = {3; 6; 10; 20}, Үлкен = {15; 25; 40; 40}.

1.1 – кесте – Өлшем бойынша кесінділермен «Жас» және «Жұмыс өтілі»

Сауалнаманың коды	Жас	Жұмыс өтілі
1	23	4
2	34	11
3	31	10
4	54	36
5	46	26
6	38	15
7	21	1
8	23	2

9	30	8
10	30	12



1.6 – сурет – «Жұмыс өтілі» лингвистикалық ауыспалының графикалық келбеті

Нақты емес срез жасайық «Жасы = Жұмыстың орта стажы = Жалғасымды». Мысалы, 4 анкета үшін ақпарат аламыз:

$$CI = \min(\mu_{\text{Средний}}(54), \mu_{\text{Продолжительный}}(36)) = \min\left(\frac{70-54}{20}, 1\right) = 0,8.$$

Дәл солай әр үміткер үшін тиесілік дәрежесің қорытынды анық емес көптікпен есептейік, 0,3ке тең сәйкестіктің минималды индексін тапсырайық және 7 кестеде көрсетілген нәтижені аламыз.

1.2 – кесте – Айқын емес кесіктің нәтижесі

Сауалнаманың коды	Жас	Жұмыс өтілі	Сәйкестік индексі
3	31	10	1
9	30	8	1
6	38	15	1
2	34	11	0,9
10	30	12	0,8
8	23	2	0,3
1	23	4	0,3

Деректер қоймасындағы анық емес ізденіс сарапыға максималды пайда келтіреді, егер анық емес түсініктерді операциялай отырып ақпаратты алып

кана қоймай, қалайда тапсырыстың релеванттілік дәрежесін кему (өсу) бойынша көрсететін болсақ. Бұл келесі сұрақтарға жауап беруге көмектеседі: біріншіден қандай клиенттерге звондау керектігін, кімге жарнамалық ұсыныс жасау керектігін және т.б.

Генетикалық алгоритмдер (ГА) түрлі типті тапсырмаларды шешуге мүмкіндік беретін оңтайландырудың әржақты әдістерінің санына жатады (кодБинаторлық, шектеулер мен шектеулерсіз жалпы тапсырмалар) және күрделілік дәрежесі әртүрлі. Сонымен ГА ландшафтысы тегіс емес үлкен кеңістіктегі бір өлшемді, сондай-ақ көп өлшемді ізденісті сипаттайды.

Соңғы кездері ГА теориясының дамуына және оларды тәжірибелік қолдануға арналған шетел ғалымдарының еңбектері көбейіп кетті. Бұл зерттеулердің нәтижелері көбінесе ГА өзге әдістермен және технологиялармен интеграцияланғанда кең тарайды. ГА интеграциясының және анық емес теория әдістерін, сондай-ақ нейронды есептеулер мен жүйелердің тиімділігін дәлелдейтін еңбектер пайда болды.

Мұндай интеграцияның тиімділігі сәйкес аспаптық құралдарды (ИС) өңдеуде тәжірибелік дәлелін тапты. Сонымен, Attar Software фирмасы сараптамалық жүйені жасауға арналған, өздерінің ИС жұмысын жетілдіру тапсырмаларын шешуге бағдарланған, ГА-компоненттің қосты. California Scientific Software фирмасы нейрондық желілер үшін автоматты генерациясын және нейрондық желілерді дұрыстауды қамтамасыз ететін ИС-ты ГА-компоненттерімен қосты. NIBS Inc. фирмасы өзінің құнды қағаздар нарығын болжауға бағытталған нейрондық желілері үшін ИС-ты ГА-компоненттерімен қосты, қаржылық сарапшылардың пікірінше оларды болжауды нақтылауға көмектеседі.

ГА интеграциясының және анық емес логикаға жалпыға танымал көзқарастарға қарамастан, бұрынғысынша анық емес өнімдік алгоритмін (НПА) қолдану есебінен ГА жұмысы процессінде бейімделу мақсатында елеулі ГА операциондық базис параметрлерін анықтау тапсырмасы көкейкесті болып тұр.

Жасаңды интеллект облысында аспапты құралдардың коммерциялық жетістігінің төменде тізбектелген себептері ГА-да қолданылатын деректерді талдау жүйесін өңдеуге қойылатын жалпы талаптар ретінде қарастырылуы мүмкін:

- АЖ өңдеулерінің интегралданғандығы , өзге ақпараттық технологиялармен және құралдармен жеңіл интегралдануы;
- АЖ өңдеулерінің ашықтығы мен тасымалдағыштығы әртүрлі бағдарлама-аппараттық ортада орындалу және қайта бағдарламалаусыз өзге платформаларға тасымалдану мүмкіндігін стандарттарға сәйкес қамтамасыз етеді;
- Дәстүрлі бағдарламалау тілдерін қолдана отырып ИС-қа ауысу интегралдылықты қамтамасыз етуді жеңілдетеді, ЭВМ тез әрекет ету және оперативтік сақтау көлемінің қосымшаларына қойылатын талаптарды төмендетеді;

- Сәулет "клиент-сервер" ИС әзірлемесі, «клиент-сервер» сәулеттегі таратылған есептеулерді қолдайды, қосымшаларда қолданылатын қондырғылардың құнын төмендетеді, қосымшаларды децетралдандырады және олардың өнімділігін жоғарылатады.

Нейронды желілердің ГА интеграциясы нейрондар кірісінің салмақтық мағыналарын тиімді іздестіру проблемаларын шешуге мүмкіндік береді, ал ГА және анық емес логика интеграциясы өнімдік ережелер жүйесін оңтайландыруға мүмкіндік береді, олар ГА басқару операторларымен қолданылады (екі бағытты интеграция).

Data Mining облысындағы ГА қосымшаларының сұранысқа ие болып жүргендерінің бірі өте тиімді модельді іздестіру болып табылады (нақты облыс ерекшелігіне лайықты алгоритмді іздестіру).

Нейронды желілер - адам миына биологиялық жағынан ұқсастыққа негізделген модельдер классы. Бұл әдістерді қолданғанда, алдымен желі сәулетің нақты тандау сұрағы бірінші орында тұрады (әр қайсындағы «қабаттардың» саны және «нерондардың» мөлшері).

Желінің өлшемі мен құрылымы зерттелуші құбылыстың мәніне сәйкес келуі тиіс (мысалы, формалды есептеу күрделілігінің мәнінде). Талдаудың бастапқы кезеңінде құбылыстың табиғаты аса мәлім болмайды, сәулетті тандау оңай жұмыс емес болып табылады және ұзақ уақыт «сынама мен қателер» процессімен жиі байланысты болады (бірақ кейінгі кезде нейронды-желілік бағдарламалар пайда бола бастады, күшті сәулет желісін іздестіру тапсырмасын шешу үшін).

Артынша құрылған желі оқыту процессіне ұшырайды. Бұл кезеңде желі нейрондары кіріс деректерін итеративті өңдейді және өз салмағын желі жақсы болжауы үшін дұрыстайды (дәстүрлі терминмен айтатын болсақ «қиыстырып келтіруді жүзеге асырады» деп айтар едік). Бар деректерді оқытқаннан кейін желі жұмысқа дайын және оны болжау құруға қолдануға болады.

«Оқытудың» нәтижесінде алынған нейрондық желі деректерде көрінетін заңдылықтарды көрсетеді. Осындай қолданыста ол кейбір ауыспалылар арасындағы тәуелділік модельдерінің қызметтік эквиваленті болып табылады, олар дәстүрлі модельдеудегі құрылатынға ұқсас. Бірақ, дәстүрлі модельдерге қарағанда, нейронды желілерде бұл тәуелділіктер ашық түрде жазылмайды, статистикадағыдай жазылады (мысалы, «А бақылауға арналған В-мен жағымды коррелдендірілді, олардың С көлемі аз, ал D –да көп»). Кейде нейронды желілер өте жоғары сападағы болжауды береді, бірақ олар зерттеуге теориялық емес көзқарастың типтік мысалын көрсетеді (кейде оны «қара жәшік» деп атайды).

Мұндай тұрғыда тәжірибелік нәтижеге жұмылдырылады, бұл жағдайда құбылыстың негізінде жатқан механизмдердің мәні немесе қандайда бір бар теорияның алынған нәтижелеріне емес болжаудың нақтылығы және олардың қолданбалы құндылықтарына топтастырылады.

Бірақ нейронды желілердің әдістері зерттеулерде қолданылатындығын ескерген жөн, өйткені нейронды желілер елеулі ауыспалы немесе сондай

топтарды іздестіру мақсатында деректер алуға көмектеседі және алынған нәтижелер кейінгі модельдерді құру жолын жеңілдетеді. Сонымен қатар қазіргі кезде нейрожелілік бағдарламалар бар, күрделі алгоритмдер көмегімен маңызды кіріс ауыспалылықтарын табуға болады, ол дегенмен модельді құруға тікелей көмектеседі.

Нейронды желілердің артықшылығының бірі, олар теориялық жағынан қандайда бір толассыз функцияны аппроксимирлей алады, сондықтан зерттеушіге алдын-ала модельге қатысты гипотеза қабылдау қажет емес. Бірақ нейронды желілердің мәнді жетіспеушілігі желінің ақырғы шешімі желінің бастапқы қондырғыларына тәуелді, оны тәжірибе жүзінде, әдетте құбылыс теориясын құруда қолданатын дәстүрлі аналитикалық терминдерге интерпретациялау мүмкін емес.

Кейбір авторлар оны масалы параллельдікпен негіздейтін кездер де бар. Мысалға, Наукин 1994 жылы нейтронды жылы анықтады.

Нейронды желі - ол экспериментті білімді сақтаудың табиғи қабілеттілігі бар және оларды қолданыста қолжетімді ететін операцияларды массивті параллельді ететін процессор. Ол екі қатынаста миға ұқсайды:

1. Жүйе үйрену процесі кезінде білімді жинақтайды;
2. Ақпаратты сақтау үшін нейронаралық қосылыстардың интенсивтілігінің мөлшері қолданылады, оларды синоптикалық таразы деп атайды.

Бірақ, Риплей айтып отырғандай (1996 ж) бар нейрожүйелі бағдарламалардың көбісі бір процессорлы компьютерлерде жұмыс жасайды. Оның ойынша, олардың жұмысын программалы қамтамасыз етуді жасаған кезде жасауға болады.

5. Деңгейлік тапсырмалар:

1-деңгей.

- Data Mining технологиясы.
- Модельдердің түрлері.

2-деңгей.

- Нақты емес срездер дегеніміз не?
- Анық емес көптіктер дегеніміз не?

3-деңгей.

- Нақты емес срездердің жасалу принципі қандай?
- Жасанды интеллект дегеніміз не?
- Машиналық оқытудың класстарын атаңыз?

6. БОӨЖ тапсырмалары:

Шекті шарттар. Парето тиімділігі. Precision-Recall және ROC қисықтары. AUC.

7. БӨЖ тапсырмалары:

I және II типтегі қателер санының өлшемі бойынша шешуші Ереженің шегін орнату. Қате қисығы (ROC curve). ROC қисығын тиімді құру алгоритмі

8. Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Ғ. Айғараева, Қ. Асанова, М. Нысанов. Сандық қондырғылар және микропроцессорлық жүйелер. Оқулық. 2010
2. Д. С. Козен. Есептеу теориясы. Сандық. Оқулық Алматы. 2013.
3. Асамбаев А.Ж. Жасанды интеллект негіздері.- Алматы: ЖШС РПБК "Дәуір", 2011-135б. Оқу құралы.
4. Рассел С., Норвиг П. Жасанды интеллект: Жаңашыл әдіс -Алматы, 2014.. Оқу құралы.
5. К. Пол. Цифровое искусство. Учебник. Москва , 2017, 220
6. Андреас Мюллер, Сара Гвидо. Введение в машинное обучение с помощью Python. –Москва. 2016.
7. В.Н.Негода. Машинно-ориентированное программирование. Учебное пособие Ульяновск 2015.