

УДК 004.421

ТМСОЛЛАРНИ АНИҚЛАШНИНГ ОММАБОП АЛГОРИТМЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ ТАҲЛИЛИ

Мирзаакбар Хаккулмирзаевич ХУДАЙБЕРДИЕВ

Техника фанлари доктори
профессор

Тошкент ахборот технологиялари университети
Тошкент, Ўзбекистон

mirzaakbarxudoyberdiev@gmail.com

Ойбек Зокирович ҚОРАБОШЕВ

таянч докторант

Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни
ривожлантириш илмий-тадқиқот институти
Тошкент, Ўзбекистон

koraboshevoybek@gmail.com

Нурмухаммад Муқумжон ўғли АЛИМҚУЛОВ

таянч докторант

Андижон давлат университети
Тошкент, Ўзбекистон

developeradu@gmail.com

Аннотация

Мақолада тимсолларни аниқлаш масалалари ва усуллари, таниб олиш тизимининг самарадорлигини баҳолаш тизими учун амалга ошириладиган вазифалар таҳлил қилинган.

Таянч сўзлар: сунъий интеллект, тимсол, декомпозиция, классификациялаш, кластер таҳлили, таксонлар, таксономия, корреляция.

АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ АЛГОРИТМОВ И МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Мирзаакбар Хаккулмирзаевич ХУДАЙБЕРДИЕВ

Доктор технических наук
профессор

Ташкентский университет информационных технологий
Ташкент, Узбекистон

mirzaakbarxudoyberdiev@gmail.com

Ойбек Зокирович ҚОРАБОШЕВ

базовый докторант

Научно-исследовательский институт развития цифровых
технологий и искусственного интеллекта
Ташкент, Узбекистон

koraboshevoybek@gmail.com

Нурмухаммад АЛИМҚУЛОВ

Базовый докторант

Аннотация

В статье анализируются проблемы и методы распознавания образа. Также в статье анализируются задачи, выполняемые для системы оценки эффективности системы распознавания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образ, декомпозиция, классификация, кластерный анализ, таксоны, таксономия, корреляция.

Жаҳонда сунъий интеллект масалаларини тимсолларни аниқлаш усул ва алгоритмлари ёрдамида ҳал этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга, ахборот технологияларининг замонавий тенденцияларини ҳисобга олган ҳолда тимсолларни аниқлаш усуллари ва алгоритмларини янада ривожлантириш ва такомиллаштириш зарурияти сақланиб қолмоқда. Ҳозирги кунда Республикамизда ҳам замонавий ахборот технологияларини иқтисодий ва ижтимоий соҳаларига кенг қамровли тадбиқ қилишга, жумладан, ахборотларга рақамли ишлов бериш, маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш ва сунъий интеллект алгоритмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ахборотни қайта ишлаш тизими учун тимсол объект ёки ҳодиса ҳақидаги маълумотлар, жумладан параметрлар ва муносабатлар тўпламидир. Параметрлар – ўлчов тизимлари ёки математик моделлар ёрдамида олинган миқдорий характеристикалар. Агар биз динамик объект ёки жараён билан шуғулланадиган бўлсак, ҳаволалар тимсолнинг ички тузилишини ҳам, унинг хатти-ҳаракатларининг хусусиятларини ҳам тасвирлаши мумкин.

Ҳар қандай таниб олиш алгоритми R мавҳум функционал тизим сифатида ифодаланиши мумкин, у учта компонентдан иборат:

$$R = \{A, S, P\} \quad (1)$$

бу ерда, $A = \{A_k\}$, $k = 1, \dots, K$ - синфлар алифбоси, яъни тимсолларни тарқатиш керак бўлган тоифалар тўплами,

$S = \{S_j\}, j = 1, \dots, n$ - белгили луғат, тимсол тавсифини ташкил этувчи белгилар тўплами,

$P = \{p_l\}, l = 1, \dots, L$ - қарор қабул қилиш қоидалари тўплами.

Ушбу тизимнинг ишлаши қуйидагича бўлади: тимсол кириш сифатида берилади, - C тўплами элементларининг баъзи конфигурацияси, унга P дан маълум қоидалар кетма-кетлиги қўлланилади, конфигурация натижасида A тўпланининг элементларидан бирига мос келадиган индекс тайинланади. Тизимнинг ишлаш сифати тайинланган тимсол индексининг кутилган натижага қанчалик тез-тез мос келиши билан белгиланади.

A, S компонентлар тизимнинг ахборот қисми, P эса услубий қисмидир. Тимсолларни тавсифлашнинг турли усуллари учун синф тушунчасининг маъноси ҳар хил бўлиши аниқ. Ўз навбатида, тимсолни тавсифлаш усули таниб олиш объектларининг жисмоний табиати ва уларга мос келадиган тушунчаларни расмийлаштириш имкониятларига боғлиқ. Қарор қабул қилиш усуллари, албатта, таниб олиш объектларини ифодалаш усули билан ўзаро боғлиқдир. Шунинг учун ҳар қандай таниб олиш тизими тимсол синтези жараёнини, яъни таниб олиш объектлари ва уларнинг синфлари тавсифларини шакллантириш ва тимсол таҳлилини, яъни қарор қабул қилиш жараёнини ўз ичига олади. R тизимининг ахборот компонентлари хусусиятларига кўра, тимсолларни аниқлаш муаммосига учта ёндашув мавжуд: 1) эталон билан таққослаш принципи; 2) кластерлаш принципи; 3) хоссаларнинг умумийлик принципи. Эталон билан таққослаш принципи ҳар бир A_k синфини чекланган эталон тимсоллар тўплами билан боғлаш мумкин бўлган ҳолларда қўлланилади. $\Omega_k = \{\varpi_m, m = 1, \dots, M_k\}$. Шунинг учун эталон билан таққослаш принципи бошқача тарзда санаб ўтиш принципи деб аталади. Бунда таниб олиш жараёни таниб олувчи ёки алгоритм киритишида олинган тимсолларни A_k синфларининг Ω_k стандартлари билан ўхшашликнинг танланган ўлчови асосида оддий таққослашдан иборат.

Эталон билан таққослаш принципи ҳисоблаш қурилмаларининг имкониятлари жуда чекланган техник таниб олиш тизимларини қуришда пайдо бўлган биринчи ёндашувлардан биридир. Шунга қарамай, у ҳали ҳам, хусусан, аналог ва аналогдан рақамли таниб олиш тизимларида қўлланилади. Ушбу ёндашувнинг кенг тарқалган намунаси чоп этилган шрифтни аниқлашдир. Тематик тасвирни қайта ишлашда у текстураларни таниб олиш ва маълум бир шаклдаги объектларни таъкидлаш учун ишлатилиши мумкин. Агар белгилар аниқ муносабатларга эга бўлмаган ўлчовлар (параметрлар) тўплами бўлса, у ҳолда тимсол X белги майдонида n ўлчовли вектор сифатида кўрсатилиши мумкин:

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}$$

Ҳар бир A_k синфи X фазодаги маълум векторлар тўплами билан боғланган. Натижада, белги фазоси кластерлар ёки таксонлар деб аталадиган A_k синфларига мос келадиган ҳудудларга бўлинади. X фазонинг исталган сони бир синфга тўғри келиши мумкин. Бу минтақалар бир-бирига мос келиши мумкин, аммо қарор қабул қилиш методологияси охир-оқибат фазодаги нуқтани маълум бир синфга бир маънода белгилашни таъминлаши керак.

Кластерлаш (таксономия) принципи миқдорий маълумотларни қайта ишлашнинг турли хил қўлланиладиган соҳаларида, шу жумладан мультиспектрал ва спектрзонал аэрокосмик тасвирларни компьютер таҳлили тизимларида (спектрал белгилар бўйича классификациялаш) кенг қўлланилади.

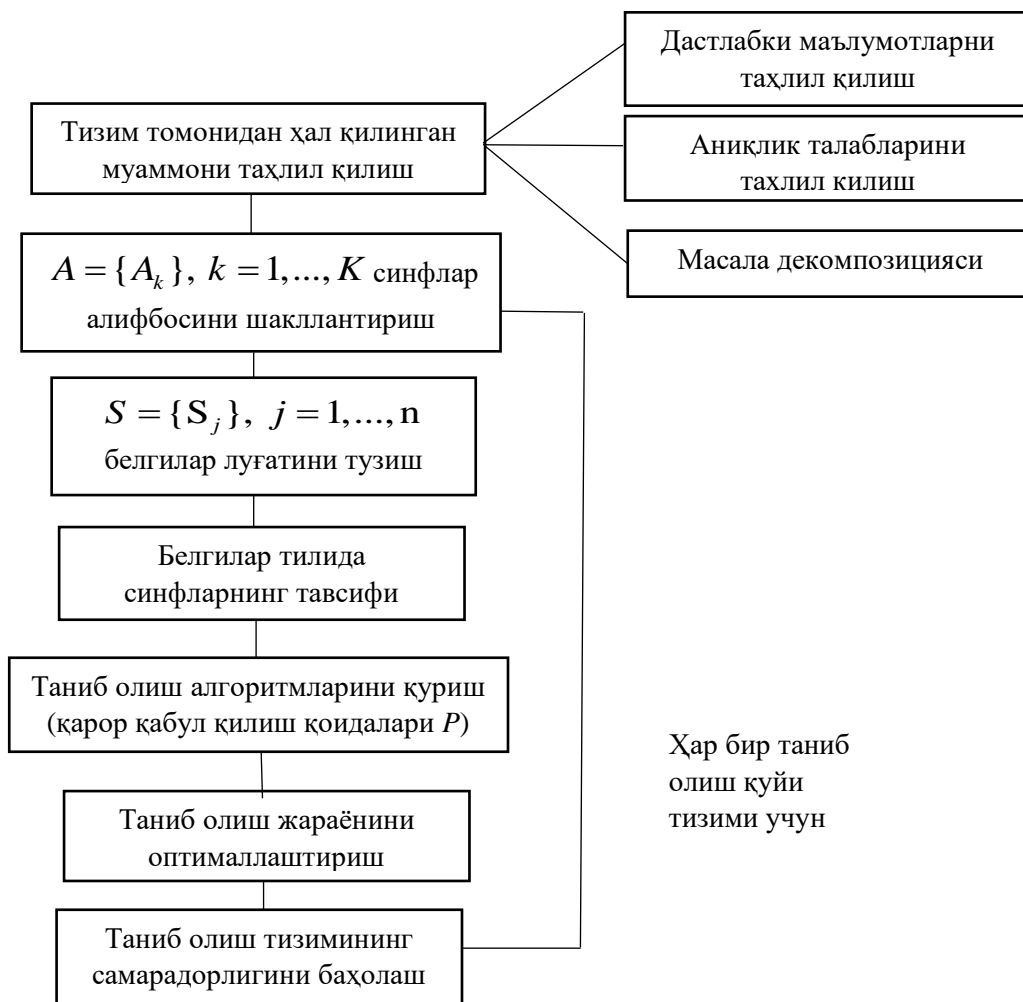
Хусусиятларнинг умумийлиги принципи асосан тимсол элементлари орасидаги боғланишлардан фойдаланади. Қоида тариқасида, у ҳар бир синфнинг тимсоллар тўплами чекланган миқдордаги стандартларнинг ишончли тавсифини олиш учун жуда катта бўлган ҳолларда қўлланилади, аммо чекланган намуналардан синфларнинг етарли миқдордаги фарқловчи

хусусиятларини аниқлаш мумкин. Очилган хусусиятлар мос модел асосида кодланади ва хотирада баъзи тузилмалар, функциялар ёки муносабатлар кўринишида сақланади. Таниб олиш жараёнида тимсолнинг зарурий хусусиятларини аниқлаш имконини берадиган схема бўйича тимсол таҳлил қилинади; кейин улар A_k синфлари хоссалари билан таққосланади. Умумлаштирувчи хусусият тимсолни яратиш алгоритмининг ўзи бўлиши мумкин; бу ҳолда тимсоллар синфлари маълум турдаги тузилмаларни яратиш алгоритмлари билан берилади. Таниб олишнинг санаб ўтилган ёндашувлари асосан тимсолларни синтез қилиш жараёнига, яъни маълумотни тақдим этиш усулига - P тизимининг A ва C компонентларига тегишли бўлади.

Тимсолларни таҳлил қилиш усуллари, яъни қарор қабул қилиш қоидалари кўп ҳолларда тимсолларни синтез қилиш усули билан ўзаро боғлиқдир, гарчи кўпинча у ёки бу қарор қабул қилиш аппарати, масалан, статистик, турли хил синтез усуллари билан қўлланилиши мумкин.

Тимсолларни аниқлаш бўйича қарор қабул қилиш методологиясида ҳам учта асосий йўналиш мавжуд: 1) эвристик усуллар; 2) математик усуллар; 3) лингвистик (синтактик) усуллар. Эвристик усуллар таниб олиш тизимини ишлаб чиқувчининг тажрибаси ва сезгисига асосланади. Қоида тариқасида, бу усуллар маълум турдаги таниб олиш муаммоларини ечишга қаратилган ва тимсолларни синтез қилиш усули билан бевосита боғланган. Кўпинча эталон билан таққослаш принципи ва хусусиятларнинг умумийлиги принциpidан фойдаланилганда қўлланилади. Математик усуллар классик математик аппаратлардан фойдаланишга асосланган: чизиқли дастурлаш усуллари, корреляция таҳлили, статистик қарорлар назарияси ва бошқалар. Улар белгилар ўлчовлар (параметрлар) билан ифодаланган ҳолларда қўлланилади ва уларнинг муносабатлари аналитик боғлиқликлар шаклида тасвирланиши мумкин. У ёки бу даражада математик усуллар таниб олишнинг учта ёндашувида қўлланилади. Математик усуллар одатда детерминистик ва статистик усулларга бўлинади. Статистик усуллар кўпинча масофавий зондлаш маълумотларини таҳлил қилиш муаммоларида қўлланилади. Бу

кузатиш шароитлари ва ўрганиш объектларининг ўзларининг юқори даражадаги ўзгарувчанлиги, шунингдек, масофадан зондлашнинг турли босқичларида маълумотларнинг йўқолиши билан боғлиқ. Лингвистик (синтактик, тузилмавий) усуллар тимсолнинг ҳосила бўлмаган (бирламчи) деб аталадиган элементлар ва улар орасидаги муносабатни тавсифловчи белгилардан иборат маълум бир тузилиш бўлган ҳолларда қўлланилади. Бу усуллар мантиқ алгебраси аппарати ва расмий тиллар назариясидан кенг фойдаланади. Ўз-ўзини ўқитиш тизимларида ўрганиш жараёни таниб олиш жараёнининг ўзида махсус алгоритм орқали амалга оширилади. Таниб олиш сифатини баҳолаш учун таниб олиш хатолари билан боғлиқ баъзи функционал функциялар қўлланилади, бу эса ўқитиш жараёнида максимал ёки минималлаштирилади. Бундай функциянинг кенг тарқалган турларидан бири квадрат хатолар йиғиндисидир.



1- расм. Таниб олиш тизимини қуришнинг умумий схемаси.

Мураккаб тизимларни декомпозициялашда таниб олишнинг аниқлигига, яъни рухсат этилган хато эҳтимолига қўйиладиган талаблар катта аҳамиятга эга. Агар битта таниб олиш алгоритми турли хил жисмоний табиатнинг белгиларидан фойдаланса ёки тубдан бошқа моделлардан олинган бўлса, хатонинг катталиги олдиндан айтиб бўлмайдиган бўлиб чиқиши мумкин. Шунинг учун тизимнинг декомпозицияланиши муаммони ҳал қилишнинг алоҳида босқичларида таниб олишнинг тўғрилигини ишончли баҳолаш ва керак бўлганда, бутун ечим схемасини тўғрилаш мумкин бўлган тарзда амалга оширилиши керак.

Мураккаб тизимнинг декомпозициясидан сўнг, ҳар бир даражани ўз синфлар рўйхати, белгилар луғати ва классификациялаш қоидаларига эга бўлган алоҳида таниб олиш қўйи тизими R сифатида кўриб чиқиш мумкин. Таниб олиш тизимини қуришнинг умумий схемаси 1 - расмда кўрсатилган.

Таниб олиш тизимининг самарадорлигини баҳолаш бутун тизим учун амалга оширилади, чунки у вазифани ажратиш усулига сезиларли даражада боғлиқ бўлиши мумкин. Уни қуйидаги кўрсаткичлар бўйича баҳолаш мумкин.

1. Якуний таниб олишнинг аниқлиги.
2. Таниб олишнинг умумий вақти.
3. Тизимни ишлаб чиқиш ва ишлатиш харажатлари.

Бундан ташқари, кластер таҳлили (ингл. cluster analysis) масаласи ҳам тимсолларни аниқлаш соҳасида асосий вазифалардан ҳисобланади. Кластер таҳлили – бу кўп ўлчовли статистик процедура бўлиб, у объектлар намунаси ҳақидаги маълумотларни ўз ичига олган маълумотларни тўплайди ва кейин объектларни нисбатан бир хил гуруҳларга жойлаштиради. Кластерлаш масаласи статистик қайта ишлашга, шунингдек, ўқитувчисиз ўқитиш масалаларининг кенг синфига тегишли бўлади.

Кластер одатда шартни қаноатлантирадиган $\{x_i\}$ тимсоллар гуруҳидир:

$$\|x_i - x_k\| < d \quad (2)$$

бу ерда, $\| \cdot \|$ - тимсоллар орасидаги ўхшашлик ўлчови, d - ушбу ўлчов учун берилган чегара чеклови.

Кластерлар баъзан таксонлар деб аталади ва кластер таҳлили эса таксономия деб аталади. Ўхшашликнинг энг кенг тарқалган ўлчови Х ўлчовлар (белгилар) майдонидаги тимсол нуқталари орасидаги масофадир. Бундай ҳолларда асосан Евклид метрикаси қўлланилади.

$$\|a - b\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i^2 - b_i^2)} \quad (3)$$

Баъзи ҳолларда масофа ўлчовидан бошқа ўхшашлик ўлчовларидан фойдаланиш мумкин, масалан, $\cos \alpha$, бу ерда α a ва b векторлари орасидаги бурчак (корреляция ўлчови). Ушбу ёндашув юқори аниқликдаги тасвирларни қайта ишлашда кўпинча эътиборга олиниши керак бўлган ёруғлик шароитларининг маҳаллий ўзгармаслигини таъминлайдиган спектрал бурчакли классификацияга асосланади. Бундай ҳолда, ўхшашлик ўлчови объектнинг бутун ёрқинлигини тавсифловчи x векторининг модулига боғлиқ эмас, балки фақат каналлар бўйлаб ёрқинлик қийматларининг нисбатларига боғлиқ. Таниб олиш муаммосидаги ўхшашликнинг корреляция ўлчови бўйича кластерлаш бошқа мустақил маънога ҳам эга. Бундай кластерлаш маълумотларни сиқиш учун, хусусан, хусусият майдони ҳажмини камайтириш учун ишлатилади. Ушбу тоифадаги муаммолар омил таҳлили деб аталади. Бу тегишли бўлимда алоҳида муҳокама қилинади. Кластер концепциясидан фойдаланиш ўрганилаётган объектлар ёки ҳодисаларнинг тимсоллари кластерларнинг марказлари деб аталадиган маълум характерли қадриятлар атрофида гуруҳланишга табиий тенденцияга эга эканлигини кўрсатади. Ушбу тенденция қанчалик кучли бўлса, муаммони ҳал қилишда кластерли таҳлил усулларида шунчалик муваффақиятли фойдаланиш мумкин.

Кластер таҳлилининг энг кенг тарқалган усуллари шартли равишда икки гуруҳга бўлиш мумкин.

1. Тўплам нуқталари орасидаги масофага берилган чегара чеклови учун кластерларни аниқлаш усуллари.

2. Берилган сонли гуруҳлар учун кластерларни шакллантириш усуллари.

Биринчи ёндашувда кластерлар сони одатда априори номаълум. Муаммони бу тарзда шакллантириш учун дастлабки маълумотлар (2) d дан чегара масофа чегараси ва тўплам элементларини бирлаштириш қоидаларидир. Натижада, кластерларнинг сони ва шакли танланган таҳлил усулига, чегара қийматига ва бошланғич шартларга жуда боғлиқ.

Кластерни шакллантириш усулларига кўра, бу ёндашувда бир боғлаш усуллари (ҳозиргига энг яқин элементларни таҳлил қилиш), тўлиқ боғлаш усуллари (энг узоқ элементларни таҳлил қилиш) ва ўртача боғлаш усуллари фарқланади. Иккинчи ёндашувда кластер марказларининг дастлабки сони кўрсатилади, улар таҳлил давомида кластерларга қўйилган талаблар энг яхши тарзда қондириладиган тарзда кўчирилади. Қоида тариқасида, бу ерда кластерни шакллантириш жараёнида максимал даражага кўтариладиган (ёки минималлаштирилган) кластерлаш сифати мезони мавжуд.

Дастлабки тимсол сифатида биз баъзи "экстремал" нуқтани танлаймиз, масалан, X фазода минимал координаталар билан.

Келинг, уни K_1 кластерининг m_1 маркази деб атаймиз. Иккинчи марказ K_2 сифатида биз бутун тасвирлар тўпламидан ундан узоқроқ нуқтани танлаймиз. Биз d чегара қийматини қуйидагича аниқлаймиз.

$$d = |m_1 - m_2| / 2 \quad (4)$$

1-қадам. m_1 ва m_2 $|x - m_1|$, $|x - m_2|$ марказларигача бўлган тимсол тўпламимизнинг барча x учун масофаларни ҳисобланг. Ҳар бир жуфтликдан минимал масофани танланг.

2-қадам. Кўплаб тимсоллар бўйлаб максимал қийматни аниқланг

$$M \max \{ \min(|x - m_1|, |x - m_2|) \} \quad (5)$$

x_i тасвири шу қийматга мос келсин. $M > d$ бўлса, K_3 кластерининг марказини x_i белгилаймиз. Янги чегара ўлчови d сифатида биз олдинги босқичда ҳисобланган барча минимал масофалар бўйича $d = M/2$ қийматини ёки ўртача қийматнинг ярмини олишимиз мумкин.

3-қадам. Барча x учун биз аллақачон тузилган кластерларнинг марказларигача бўлган минимал K масофани ҳисоблаймиз:
$$\min \|x - m_k\|, k = 1, \dots, K.$$

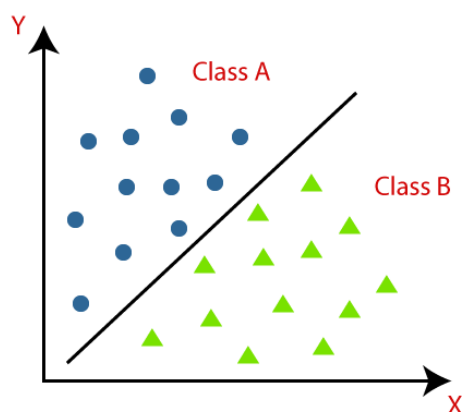
4-қадам. X тимсолининг кластер марказигача бўлган ўртача минимал масофасини ҳисобланг $\rho_{cp}(x, m_k) = \|x - m_k\| / N$, бу ерда N - жуфтларнинг умумий сони (x, m_k) . Янги чегара белгиланг $d = \rho_{cp}(x, m_k)$.

5-қадам. Биз тасвирларнинг бутун тўпламидан (6.3) дан M қийматига мос келадиган (x_i) хи ни қидирамиз. Агар $M \leq d$ бўлса, жараён тугайди. Акс ҳолда, биз (x_i) ни кейинги кластер маркази сифатида белгилаймиз ва 3-босқичга ўтаемиз.

Агар d қиймати биз ишлаётган белгиларни ўлчашнинг ўртача квадратик хатосидан камроқ бўлса, жараённи тўхтатиш мантиқан тўғри келади. Ушбу алгоритм ихчам тасвирлар гуруҳларини олиш имконини беришига қарамай, у ҳам барча кластерларни аниқлаш алгоритмлари каби эвристикдир. Кейинчалик объектив натижага эришиш учун кластерлаш сифатининг математик асосланган кўрсаткичларидан фойдаланиш керак. Ушбу сифат мезонлари кластерлаш амалга ошириладиган аниқ вазифанинг мақсадларига мослаштирилиши мумкин.

Тимсоларни аниқлашда асосан таснифлаш алгоритмларидан кенг фойдаланилади. Таснифлаш алгоритми – бу ўқув маълумотлари асосида янги кузатишлар тоифасини аниқлаш учун фойдаланиладиган назорат остида ўқитиш усули. Таснифлашда дастур берилган маълумотлар тўплами ёки кузатишлардан ўрганади ва кейин янги кузатишни бир қатор синфлар ёки гуруҳларга таснифлайди. Масалан, Ҳа ёки Йўқ, 0 ёки 1, Спам ёки Спам эмас, мушук ёки ит ва ҳоказо. Таснифлаш алгоритмларини қуйидаги диаграмма

ёздамида яхшироқ тушуниш мумкин. Қуйидаги диаграммада иккита синф, А синф ва Б синфлар мавжуд. Бу синфлар бир-бирига ўхшаш ва бошқа синфларга ўхшамайдиган хусусиятларга эга.



Ҳозирги кунда таснифлашнинг энг оммабоп қуйидаги алгоритмларидан фойдаланилади:

- Naive Bayes;
- K-Nearest Neighbors;
- Support Vector Machines;
- Least Squares Linear Regression;
- Least Squares Multiple Linear Regression.

Ушбу оммабоп таснифлаш алгоритмларидан фойдаланган ҳолда, ҳар бир таснифлаш алгоритмига турли хил ўқув танланмалар киритиш орқали 1-жадвалда келтирилган предикат қийматларини аниқлаймиз.

1-жадвал

Оммабоп таснифлаш алгоритмларининг предикат қийматлари натижалари

| № | Таснифлаш алгоритмининг номи | Ўқув танланма | Янги объект (предикат) | Натижа |
|----|---------------------------------|--|------------------------|------------|
| 1. | Naive Bayes | $a = [[5, 1, 1], b = [1, 5, 1], c = [1, 1, 5]]$; | [3,1,1] | a |
| 2. | K-Nearest Neighbors | $a = [[1, 3], [1, 4], [2, 4]]$ $b = [[3, 1], [4, 1], [4, 2]]$ | [3, 2] | b |
| 3. | Support Vector Machines | $60=3.1, 61=3.6, 62=3.8, 63=4, 65=4.1$ | 64 | 4.03334 |
| 4. | Least Squares Linear Regression | $60=3.1, 61=3.6, 62=3.8, 63=4, 65=4.1$ | 64 | 4.05811 |
| 5. | Least Squares | $[73676, 1996]=2000, [77006,$ | [60000, | 4094.82993 |

| | | | | |
|--|----------------------------|---|-------|--|
| | Multiple Linear Regression | 1998]=2750, [10565, 2000]=15500, [146088, 1995]=960, [15000, 2001]=4400, [65940, 2000]=8800, [9300, 2000]=7100, [93739, 1996]=2550, [153260, 1994]=1025, [17764, 2002]=5900, [57000, 1998]=4600, [15000, 2000]=4400 | 1996] | |
|--|----------------------------|---|-------|--|

Хулоса ўрнида таъкидлаш жоизки, кўпчилик мутахассислар, таниб олиш тизимларини ишлаб чиқувчилари ҳам, фойдаланувчилари ҳам тимсолни аниқлаш ҳам фан, ҳам санъат эканлигига ишонч ҳосил қилишади. Бу, одатда, сунъий интеллект тизимларини моделлаштириш, ривожлантириш ва ишлатиш билан боғлиқ ҳар қандай соҳага тегишли бўлиши мумкин. Ҳар қандай, ҳатто яхши ўрнатилган классификациялаш алгоритми, муаммонинг моҳиятини ва маълумотларнинг физик табиатини, улар қайси соҳага тегишли бўлишидан қатъи назар, мазмунли созлашни талаб қилади: фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш, масофадан зондлаш, географик таҳлил, тиббий диагностика ёки социологик тадқиқотлар шулар жумласидандир. Шунинг учун керакки, ҳар қандай ахборот тизимининг “ақллилиги” биринчи навбатда, уни ишлаб чиқувчилар ва фойдаланувчиларнинг илмий ёндашувларига боғлиқ.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Андреев Г.Г. Кравцова В.И., Михайлов В.И., Чабан Л.Н. Определение возможностей космического мониторинга необследованных территорий на основе сканерной информации высокого и среднего разрешения //Исследования Земли из космоса, 1996. – № 3. – С.24-31.
2. Журавлёв Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. «Распознавание». Математические методы. Программная система. Практические применения. – Москва: Фазис, 2006. – 103 с.

3. Худайбердиев М.Х. Ўсимликларнинг бир туркумини таснифлашда ўқув ва назорат танланмаларни шакллантириш муаммолари // Информатика ва энергетика муаммолари, 2016. – №.5. – Б. 37-42.

4. Худайбердиев М.Х., Минглиқулов З.Б. Масофавий таълим жараёнида норавшан идентификация масаласи //Иновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалиётга татбиқ этиш муаммолари: республика илмий-техник анжумани, Жиззах, 2014 йил 16-17 май. – Б. 67-70.

5. Худайбердиев М.Х., Юлдашев Ш.И. Йирик хажмдаги ахборотларга ишлов беришда тимсолларни аниқлаш алгоритмлари // Фан ва таълим-тарбиянинг долзарб масалалари: рес. илмий-назарий анжумани, Нукус, 2019. – Б. 103-106.

6. Худайбердиев М.Х. Таксономия масаласини ечишда локал компактликни баҳолаш алгоритми // Информатика ва энергетика муаммолари, 2020. – № 5. – Б. 32-38.

7. Tuan Tsai and William D. Philpot. A Derivative-Aided Hyperspectral Image Analysis System for Land-Cover Classification. - IEEE Transaction of Geoscience & Remote Sensing, 2002, V. 40, № 2.

8. Bea Thai, Glenn Healey. Invariant Subpixel Material Detection in Hiperspectral Imagery. - IEEE Transaction of Geoscience & Remote Sensing, 2002, V. 40, № 3.