

УДК 004.089

МРНТИ 27.47.23+50.53.17

БАЙЕС ЖЕЛІЛЕРМЕН ЖҰМЫС ІСТЕУДІҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІ

ШАЯХМЕТОВА А.С., ЛИТВИНЕНКО Н., МАМЫРБАЕВ О.Ж., КАСЫМОВА Д.Т.

ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты

Аңдатпа: Ғылымның түрлі салаларында және қолданбалы зерттеулерде байес желілері себеп-салдарлық ықтимал байланыстарға ие күрделі процестерді зерттеуге арналған қуатты құрал болып табылады. Байес желілерінің аппаратына негізделген модельдерді іске асыруды қамтамасыз ететін бағдарламалық құралдарға қажеттілік туындады. Бағдарламалық өнімдер нарығы осы қажеттілікке тез жауап берді. Байес желілерімен жұмыс істеу үшін көптеген нақты бағдарламалық өнімдер пайда болды. Мақалада байес желілерімен жұмыс істеудің кейбір мәселелері қарастырылады.

Түйінді сөздер: Байес желілері, жасанды интеллект, программалық өнім

ON THE ISSUE OF WORKING WITH BAYESIAN NETWORKS

Abstract: In various fields of science and applied research, Bayesian networks are a powerful tool for studying complex processes with causal probabilistic relationships. There is a need for software tools that provide implementation of models based on Bayesian network hardware. The software market quickly responded to this need. There are many excellent software products for working with Bayesian networks. The article discusses some issues related to working with Bayesian networks.

Key word: Bayesian networks, artificial intelligence, software product

К ВОПРОСУ РАБОТЫ С БАЙЕСОВСКИМИ СЕТЯМИ

Аннотация: В различных областях науки и прикладных исследованиях байесовские сети являются мощным инструментом для изучения сложных процессов, обладающих причинно-следственными вероятностными связями. Возникла потребность в программных инструментах, обеспечивающих реализацию моделей, основанных на аппарате байесовских сетей. Рынок программных продуктов быстро отреагировал на данную потребность. Появилось много прекрасных программных продуктов для работы с байесовскими сетями. В статье рассматриваются некоторые вопросы, связанные работой с байесовскими сетями.

Ключевые слова: Байесовские сети, искусственный интеллект, программный продукт

Кіріспе

Жасанды интеллект ғылымның, экономиканың, қоғамдық өмірдің және өндірістің әртүрлі салаларына берік орнықты. Жасанды интеллект әртүрлі мәселелерді шешуде кеңінен қолданылады. 2000 жылдың басына қарай жасанды интеллектті қолданудың ең танымал бағыты байес желілерінің аппаратын

зерттеуде пайдалану болды [1]. Көп жағдайда бұл зерттелетін мәселелердің көпшілігінде белгісіздіктің болуымен, зерттеушілердің зерттелетін процестердің әртүрлі факторларының ықтималдық бағаларын алу, әрқелкі зерттелетін факторлар арасындағы тәуелділікті түсіну ниетімен байланысты. Байес

желілері осы және басқа да көптеген мәселелерді шешуге мүмкіндік береді [2].

Сараптамалық жүйелердің ішінде ең жиі қолданатын үш түрі бар:

- Rule-Based жүйелері
- Нейрондық жүйелер
- Байес желілері

Өмірде жиі толық емес немесе жеткіліксіз ақпарат бар жағдайларды бағалауға тура келеді. Нақты бағалауды жүргізу күрделі немесе мүмкін емес. Дегенмен, мұндай жағдайларда да біз ақылға қонымды шешімдер қабылдаймыз. Оны логикалық тұжырым процедуралары іске асыра алуы қажет [3]. Мұндай жағдайларда әрдайым қате нәтиже беру ықтималдығы бар екені түсінікті. Логикалық тұжырым процедурасы қателік ықтималдығын минимизациялау қажет. Қосымша ақпаратты ескере отырып, жаңа қосымша ақпарат келген кезде зерттеліп отырған үдеріс процедурасы қателік ықтималдығын төмендететін болады [4].

Кейде дәл бағалауды жасау қиын, бірақ белгісіздікке қарамастан, біз ақылға қонымды шешімдер қабылдаймыз. Сараптамалық жүйесі пайдалы болуы үшін, олар да мұны істей алуы керек [5].

Соңғы уақытта ең танымал сараптамалық жүйелерге нейрондық және байес желілері көмегімен құрылған жүйелер жатады [6].

Жұмыстың мақсаты Байес желілерімен жұмыс істеу кезіндегі негізгі мәселелерді қарастыру болып табылады.

Осы мақсатты шешу үшін келесі міндеттер алынды:

- Байес желілерін құру, сақтау, түзетумен жұмыс істеу үшін модульдерді құру.
 - Байес желілерін интерактивті құру үшін графикалық модульдерді құру.
- Әрі қарай әр бөлікті жеке талдайық.

Байес желілерін түзету, сақтау, құрумен жұмыс істеуге арналған модульдерді құру

Байес желісінің дұрыстығын тексеру. Бұған ең алдымен бағдарланған циклдердің болуын тексеру кіреді. Ациклдылықты тексеру "ұрпақ" ұғымын пайдалану арқылы жү-

зеге асырылады. Бағанда бағдарлы циклдың бар-жоғын көрсетпеу керек, сондай-ақ пайдаланушы түзетулері бар доғаларды да көрсету қажет. Байес желілерінде жүргізілетін есептерді бірнеше топқа бөліп қарастыруға болады:

– Байес желісінің дұрыстығын тексеру. Мұнда ең алдымен бағдарланған циклдердің болуын тексеру кіреді. Циклдік тексеру "Ұрпақ" ұғымын пайдалану арқылы жүзеге асырылады». Бағанда бағдарлы циклдың бар-жоғын көрсету жеткіліксіз, сондай-ақ пайдаланушы түзетуге қолданатын доғаларды көрсету керек.

– Байес желісін түпкі түйін мен ұрпақтарға бөлу. Түйіндерді ұрпақ буындарына бөлу алгоритмі келесідей:

1-ші қадам. Алдымен түпкі түйіні жоқ төбелерді іздейміз және таңдаймыз. Мұндай төбелер нөлдік ұрпаққа жатқызамыз, таңдалған төбелерді атап өтеміз.

2-ші қадам. Әрі қарай, біз белгіленбеген қалған төбелерді қарастырамыз, осы төбелердің түпкі түйінін анықтаймыз және түпкі түйін тек нөлдік ұрпаққа жататын төбелерді ғана көрсетеміз.

3-ші қадам. Ұрпақтардың бірінші буынын аламыз, сондай-ақ бірінші буынын жаңадан таңдалған төбелерін атап өтеміз.

4-ші қадам. Түпкі түйіні тек нөлдік немесе бірінші буынға жататын төбелерді ғана таңдаймыз.

5-ші қадам. Ұрпақтардың екінші буынын аламыз, сондай-ақ таңдалған төбелерді де атап өтеміз. Сондықтан біз барлық төбелер белгіленгенге дейін жалғастырамыз.

– Байес желісін инициализациялау. Түпкі түйіні жоқ Шартты Ықтималдықтар кестесі бойынша және түпкі түйіні жоқ тораптардың деректері жөнінде түпкі түйіні бар тораптарды есептеу.

– Қатаң куәліктер тапсырмасының дұрыстығын тексеру.

– Жұмсақ куәліктер тапсырмасының дұрыстығын түзету.

– Қатаң куәліктер болған кезде графтарды деңгейлерге бөлу модулін құру. Қатаң куәлік-

тер болған кезде есептесу деңгейінде бөлу талап етіледі. Алгоритм келесідей:

1-ші қадам. Белгілі бір уақытта қандай да бір сәтте байес желісінің кейбір төбелері куәлік алады.

2-ші қадам. Алынған куәліктерді ескере отырып, желі түйіндерінің мәнін қайта есептеу керек. Бұл тапсырма бастапқы тапсырмадан әлдеқайда күрделі. Күрделі мәселелердің бірі байес желісінің түйіндерін есептеу тәртібін анықтау болып табылады. Есептеу жүргізуді қажет етпейтін барлық түйіндерді бір жиынға жинау қызықты болар еді. Бұл жиынды байес желілерінің нөлдік деңгейлі түйіндері деп атаймыз.

3-ші қадам. Есептеу жүргізу үшін жеткілікті болатын нөлдік деңгейдегі түйіндерден алынған ақпараттан келесі жиынға барлық түйіндерді жинаймыз. Бұл жиынды байес желісінің бірінші деңгейіндегі түйін деп атаймыз.

4-ші қадам. Келесі жиынға барлық түйіндерді жинаймыз, олардың мәнін есептеу үшін нөлдік және бірінші деңгейлі түйіндердегі ақпараттар жеткілікті. Бұл жиынды байес желісінің екінші деңгейіндегі түйін деп атаймыз.

5-ші қадам. Келесі жиынға барлық түйіндерді жинаймыз, олардың мәнін есептеу үшін нөлдік, бірінші және екінші деңгейлі түйіндердегі ақпарат жеткілікті. Бұл жиынды байес желісінің үшінші деңгейіндегі және т.с.с. түйін деп атаймыз.

Байес желісінің сан түрлі деңгейлерінің құрылысын егжей-тегжейлі талдайық. Есептеулерді талап етпейтін түйіндерге (нөлдік деңгейдегі түйіндер) жатқызуға болады. Байес желісінің әркілы деңгейлерінің құрылымын егжей-тегжейлі қарастырайық. Есептеулерді қажет етпейтін түйіндерге (нөлдік деңгейдегі түйіндерді) жатқызуға болады:

1) Куәлік алған түйіндер

2) Куәлік алған түйіндердің барлық ұрпақтары мен түпкі түйіндерін қайта санау қажет. Сондай-ақ куәлік алған барлық түйіндердің түпкі түйіндері болып табылатын барлық түйіндерді қайта есептейміз. Ол түйіндер нөлдік деңгейге жатпайды. Бұл түйіндерді

байес желісінен жоямыз куәлік алған түйіндерді де алып тастаймыз. Байес желісінің қалған түйіндерін қарастырамыз. Бұл түйіндер доғалармен бірге зерттелетін желінің кейбір түйіндерін құрайды. Осы кіші желіден түпкі түйіні жоқ түйіндерді тандаймыз. Бұл түйіндер де нөлдік деңгейге кіреді.

Бірінші, екінші және одан кейінгі деңгейлерді анықтау үшін байес желісінің көптеген түйіндерін екі ішкі жиынға (екі ішкі желі): BS1 және BS2 бөлеміз. BS1 ішкі жүйесіне куәлік алған түйіндерді, олардың ұрпақтарын, олардың түпкі түйіндерін, сондай-ақ олардың түпкі түйіндерінің ұрпақтарын жатқызамыз. Қалған түйіндерді BS2 ішкі желісіне жатқызамыз. BS2 ішкі желісінде "буындарды" анықтаймыз. Егер түйін белгілі бір ұрпаққа тиесілі болса, онда бұл түйін сол деңгейге тиісті деп есептейміз. Қандай да бір буынды түйінді есептеу үшін осы буынды, одан да үлкен буынды басқа түйін, сондай-ақ BS1 ішкі түйін туралы ақпарат талап етілмейтінін түсіну қиын емес. Алдыңғы деңгейлердің түйіндері туралы деректер ғана қажет (барлығы мүмкін емес).

Түйіндердің бір бөлігі (BS2 желісі) деңгейлерге бөлінген. BS1 желісінің көптеген түйіндерін деңгейлерге таратыңыз. Алдымен куәлік алған түйіндердің түпкі түйіндері болып табылатын барлық BS1 түйіндерін, ұрпақ түйіндерін ауыстырамыз. Ол үшін тиісті доға бағытын өзгертеміз. BS1A арқылы жаңа ішкі желіні белгілейміз. Бұл желі BS1 ішкі желісінен тек кейбір доғалар бағытымен ерекшеленеді. BS1A ішкі желісінде куәлік алған түйіндердің түпкі түйіні болмайды – барлық түйіндер куәлік алған түйіндердің ұрпақтары болады. BS1A ішкі желісін буындарға бөлеміз. Әрбір түйінге ұрпақ нөміріне тең деңгей нөмірін береміз.

Бастапқы байес желісінің түйіндері BS1A және BS2 қосалқы желілеріндегі осы түйіндер жататын деңгейлер бойынша үлестіріледі.

Осылайша, байес желісінің барлық топтаптары деңгейлер бойынша бөлінеді (нөлдік, бірінші, екінші және т. б.). Нөлдік деңгейге тиісті түйіндер есептеуді керек етпейді. Бірінші деңгейдегі түйіндерді есептеу үшін

нөлдік деңгейдегі кейбір түйіндердің деректері ғана қажет. Бірінші деңгейдегі түйіндерді есептеу үшін нөлдік деңгейдегі кейбір түйіндердің деректері ғана қажет және с.с. Есептеу кезінде, негізінен, толық ықтималдық формуласы және Байес формуласы қолданылады [7].

Байес желілерін құру, сақтау, түзету жұмыстары үшін модульдер құру

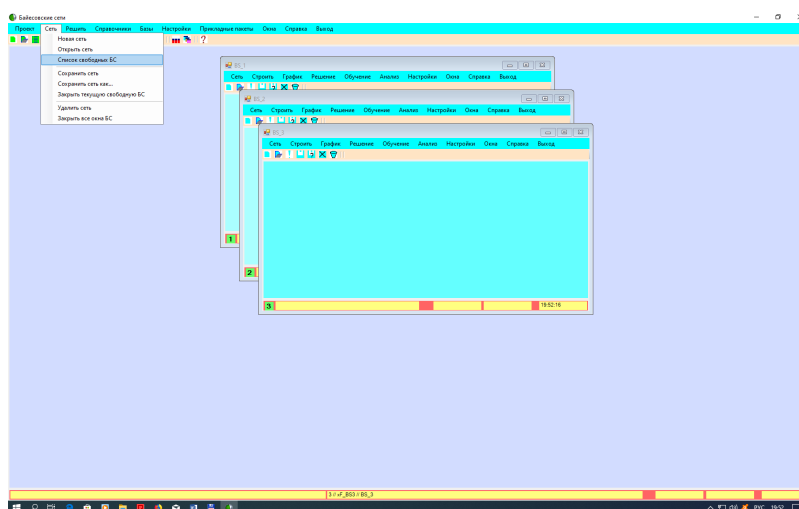
Құрылып жатқан программалық кешеннің негізінде байес желілерін құру, сақтау, түзету жұмыстары үшін модульдер құру мысалынан үзінді келтірейік. Бұл программалық кешенде Байес желілері екі парадигмада әрекет ете алады:

- Бірнеше байес желілері бір жобаның бөлігі болып табылады. Әрбір байес желісі тәуелсіз зерттеуге жататын тәуелсіз блок болып табылады. Көбінесе бұл блоктарды қандай-да бір жолмен жаңа желінің блоктары болып саналатын Байес желісіне біріктіру-

ге болады. Бұл жағдайда желілер жоба терезесінің ішінде жасалады. Байес желілерінің терезесі кез келген жоба терезесінің ішкі терезелері болып есептеледі. Бір желі жобаның екі терезесіне бір уақытта бірдей тиісті бола алмайды. Бір жобаның желісін басқа жобаға көшіруге болады, болашақта ол әртүрлі желілер болады. Бір жобаның ішінде желі атауы әртүрлі болуы керек. Әрқелкі жобаларда желілер бірдей атауға ие болуы мүмкін.

– Зерттеліп отырған үдеріс жалғыз байес желісімен сипатталады. Бұл желіні бірнеше тәуелсіз желілерге бөлу мүмкін емес немесе қандай да бір себептермен орынсыз. Мысалы, зерттелетін үдерістің күрделілігі күрт қиындайды. Байес желілерінің атауы әртүрлі болуы керек. Кез келген желіні басқа жобаға көшіруге болады.

«Желі» жобасының негізгі мәзірінің негізгі терезесін қарастырайық (1 сурет).

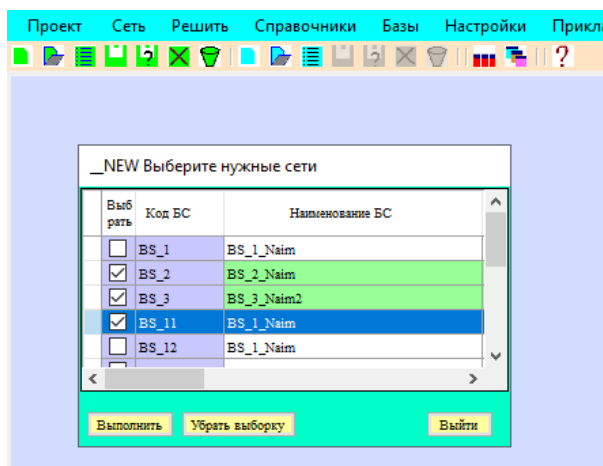


1 сурет – «Желі» жобасының негізгі мәзірінің негізгі терезесі

Басты терезеде де, жоба терезесінде де бір уақытта бес байес желілеріне дейін ашуға болады. «Желі» мәзірі негізгі терезеде келесі әрекеттер жасауға мүмкіндік береді:

– Жаңа желі. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталанады. Осы тармақты шақырған кезде, болашақ Байес желісінің кейбір атрибуттарын көрсету қажет модальды терезе пайда болады. Басты терезеде байес желілерінің барлық атаулары бірегей болуы тиіс.

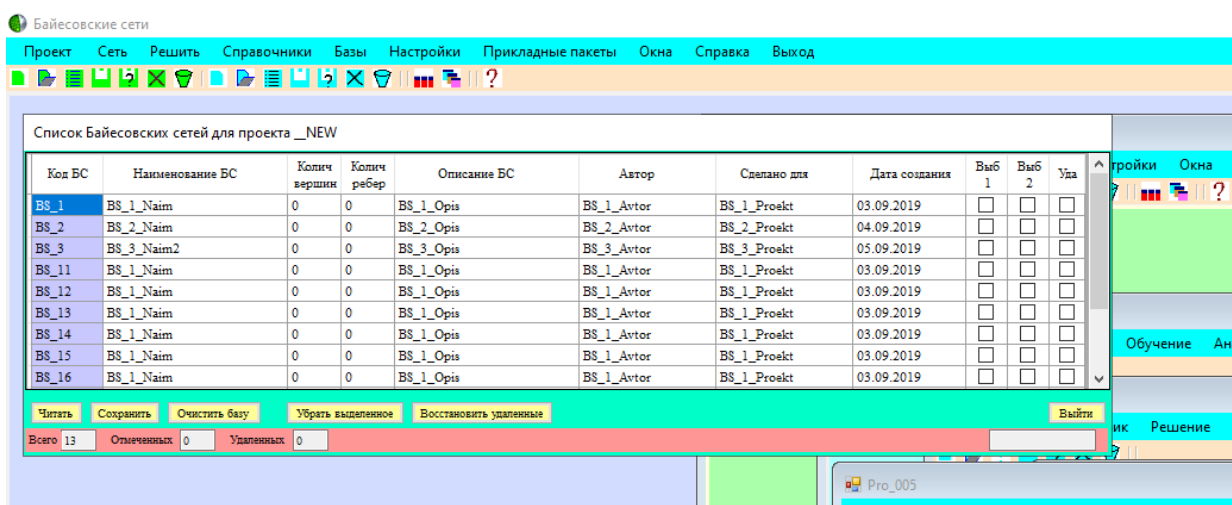
Желіні ашу. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталаңады. Осы тармақты шақырған кезде модальды терезе пайда болады (2 сурет). Басты терезеде бір уақытта 5 байес желісіне дейін ашуға болады. Қажетті желілерді белгілеу қажет. Тиісті жолдар жасыл түспен белгіленеді. Егер басты терезеде ашылған желі таңдалса, екінші рет бұл желі ашылмайды.



2 сурет – «Желіні ашу» мәзірінің терезесі

– Бос байес желілерінің тізімі. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталаынады. Осы тармақты шақырған кезде модальды терезе пайда болады (3 сурет). Бұл терезеде пайдаланушы бар еркін Байес

желілерін түзете алады, сондай-ақ қажетсіз желілерді жоя алады. Желілерді жою екі кезеңде жүргізіледі. Бірінші кезеңде қажетсіз желілер қашықтағы ретінде белгіленеді, бірақ физикалық түрде бұл желілер сақталады. Одан әрі желідегі деректер қалпына келтірілуі мүмкін. Екінші кезеңде қашықтағы желілер физикалық түрде жойылады және осы желілерді қалпына келтіру одан әрі мүмкін емес. Терезеде 6 командалық түймесі бар: "шығу", "жойылғанды қалпына келтіру", "белгілеуді алып тастау", "Оқу", "сақтау", "қорды тазарту". Сондай-ақ терезе 4 мәтіндік өрістен тұрады. Бірінші жолда қордағы желілердің жалпы саны көрсетіледі. Екінші жолда белгіленген жазбалардың саны көрсетіледі. Үшінші өріс жойылған деп белгіленген жазбалардың санын көрсетеді. Төртінші өріс дерекқорға өзгерістерді сақтау кезінде енгізілген өзгертулердің санын көрсетеді.



3 сурет – «Бос Байес желілері тізімі» терезесі

Желіні сақтау. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталаынады. Осы тармақты шақырған кезде модальдык терезе пайда болады. Бұл терезеде байес желісінің кейбір параметрлерін түзетуге және осы желі қорында сақтауға болады. Егер басты терезеде бірнеше желі ашылса, айтылған нәрсе ағымдағы желіге қатысты (түспен бөлінген) болады.

– Ағымдағы бос БЖ жабу. Ағымдағы бос байес желісін жабады. Негізгі терезе-

де басқа ашық желілер бар болса, олардың бірі болады. Желі жабылған кезде пайдаланушы өзгерістерді сақтауға мүмкіндігі бар. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталаынады.

– Желіні жою. Басты терезенің ағымдағы желісін алыстан деп белгілейді. Егер басқа ашық желілер болса, олардың бірі болады. Желіні жойғанда, пайдаланушы өзгерістерді сақтауға мүмкіндігі бар. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталаынады.

– Барлық БЖ терезелерін жабу. Басты терезеде барлық ашық байес желілерін жабады. Әрбір желіні жапқан кезде пайдаланушы өзгерістерді сақтауға мүмкіндігі бар.

"Желі" мәзірі жоба терезесінде көп жағдайда басты терезенің "желі" мәзірінің функциясын қайталайды, бірақ нақты жобаның байес желілеріне жатады және келесілерді жасауға мүмкіндік береді:

– Жаңа желі. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталанады. Бұл тармақты шақырғанда, болашақ байес желісінің кейбір атрибуттарын көрсету қажет модальды терезе пайда болады.

– Желіні ашу. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталанады. Осы тармақты шақырғанда, ағымдағы жобада модальдық терезе пайда болады. Әрбір жобада бір уақытта 5 байес желісіне дейін ашуға болады. Қажет желілерді белгілеу арқылы жүзеге асады. Тиісті жолдар жасыл түспен белгіленеді. Егер ағымдағы жобада бірнеше желі ашылса, ашық желілердің жалпы саны 5-тен артық болмайды.

– Желілер тізімі. Мәзірдің бұл тармағы командалық батырмамен қайталанады. Осы тармақты шақырған кезде модальдық терезе пайда болады. Негізгі терезедегі сияқты бұл терезеде пайдаланушы байес желілерін түзете алады, сондай-ақ осы жобаға тиесілі қажетсіз желілерді жоя алады. Желілерді жою екі кезеңде жүргізіледі. Бірінші кезеңде қажетсіз желілер қашықтағы ретінде белгіленеді, бірақ физикалық түрде бұл желілер сақталады. Одан әрі деректер желісін қалпына келтірілуі мүмкін. Екінші кезеңде қашықтағы желілер физикалық түрде жойылады және осы желілерді қалпына келтіру одан әрі мүмкін емес. Терезе 6 командалық батырмалардан тұрады. Осы батырмалардың қызметі негізгі терезе үшін сипатталған батырмалардың қызметіне ұқсас. Сондай-ақ терезе 4 мәтін өрісінен тұрады. Бірінші өрісте қорда осы жобаға тиісті желілердің жалпы саны көрсетіледі. Екінші өрісте белгіленген жазбалардың саны көрсетіледі. Үшінші өрісте жойылған жазбалардың саны көрсетіледі. Төртінші өрісте

қордағы өзгерістерді сақтау кезінде жасалған өзгерістердің саны көрсетіледі.

– Желіні сақтау. Бұл мәзір тармағы негізгі терезе мәзірінің тиісті тармағына ұқсас жұмыс істейді. Негізгі терезедегі сияқты меню тармағы командалық батырмамен қайталанады.

– Желіні сақтау. Бұл мәзір тармағы негізгі терезе мәзірінің тиісті тармағына ұқсас жұмыс істейді. Негізгі терезедегі сияқты меню тармағы командалық батырмамен қайталанады.

– Ағымдағы байес желісін жабу. Бұл мәзір тармағы негізгі терезе мәзірінің тиісті тармағына ұқсас жұмыс істейді. Негізгі терезедегі сияқты меню тармағы командалық батырмамен қайталанады.

– Желіні жою. Бұл мәзір тармағы негізгі терезе мәзірінің тиісті тармағына ұқсас жұмыс істейді. Негізгі терезедегі сияқты меню тармағы командалық батырмамен қайталанады.

Байес желісінің терезесінде, желі қай жерде орналасқанына қарамастан, негізгі терезеде немесе жоба терезесінде, қолданушыға келесі қызметтері қолжетімді:

– Қолданушы Байес желісінің графикалық кескіні үшін терезені шақыра алады. Бұл терезеде қолданушы жаңа желі құрып, бұрыннан бар байес желісіне түзету жүргізе алады.

– Қолданушы қарастырылып отырған байестік желі үшін шартты ықтималдықтар кестесін түзету үшін терезені шақыра алады.

– Қолданушы қарастырылып отырған желіні есептеудің әртүрлі параметрлерін көрсету үшін терезені шақыра алады.

– Қолданушы алынып отырған желінің шешімін талдау үшін терезені шақыруы мүмкін.

– Пайдаланушы қарастырылып отырған желінің әркілы баптауларын белгілеу үшін терезені шақыра алады (түйін бейнесі, түйіндегі жазбалар, доға бейнесі, доғадағы жазбалар, әркілкі қаріптер, түстер және т.б.)

Қорытынды және болашақ жұмыс

Сонымен, соңғы уақытта Байес желілері зерттеудің сан түрлі саласында белсенді қолданыс табуда. Әсіресе анық емес мәліметтермен жұмыс жасағанда қолдануда жақсы нәти-

же береді. Құрылған байес желісі жекелеген объектілер арасындағы себептік қатынастарды көрсетеді [8-10].

Болашақ жұмыс қолданбалы ғылым саласын зерттеушіге бағытталған байестік желілермен жұмыс істеуге арналған қолданбалы программалар пакетін құруға бағыт-

талған. Пакетпен жұмыс қолданушыдан программалау мен математикадан ерекше дағдыны қажет етпеу керек. Қолданушының пакетпен жұмысы интерактивті режимде жүруі және математика мен программалаудағы ерекше терминология минималды пайдаланылуы керек.

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің № АР 05131293 (2018–2020 жж.) Гранты бойынша «Байестік желі тапсырмаларын шешуге арналған қолданбалы бағдарламалар пакетін құру және бағдарламалық жүзеге асыру» тақырыбы аясында жүргізілді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. F.V. Jensen, T.D. Nielsen, Bayesian Networks and Decision Graphs. Springer. – 2007. – 447 p.
2. K.P. Murphy, An introduction to graphical models. – 2001. - 19 p. <http://www.stat.yale.edu/~jtc5/BioinformaticsCourse2001/MurphyBayesNetIntro.pdf>
3. D. Barber, Bayesian Reasoning and Machine Learning. – 2017. – 686 p. <http://web4.cs.ucl.ac.uk/staff/D.Barber/textbook/020217.pdf>
4. D. Barber, Machine Learning. A probabilistic Approach. – 343 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/7bc7/54bc548f32b9ac53df67e3171e8e4df66d15.pdf>
5. K.P. Murphy, Machine Learning A Probabilistic Perspective. The MIT Press. – 1067 p.
6. П.И. Бидюк, А.Н. Терентьев, Построение и методы обучения Байесовских сетей // Таврический вестник информатики и математики. – 2004. – №2. - с.139-154.
7. Литвиненко Н.Г., Литвиненко А.Г., Шаяхметова А.С., Мамырбаев О.Ж. К вопросу о классификации типов свидетельств в байесовских сетях // Матер.научн. конф. ИИВТ МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». – Алматы. – С. – 2018.
8. S. Conrady, L. Jouffe, Bayesian Networks & BayesiaLab. A Practical Introduction for Researches. ISBN: 978-0-9965333-0-0.
9. Литвиненко Н.Г., Литвиненко А.Г., Мамырбаев О.Ж., Шаяхметова А.С. Работа с Байесовскими сетями в BAYESIALAB. – Алматы: ИИВТ, 2018. – 311 с.
10. Литвиненко Н.Г., Литвиненко А.Г., Шаяхметова А.С., Мамырбаев О.Ж., Сатымбеков М., Турдалыулы М. Использование байесовских сетей при исследовании соответствия претендента вакантной должности // Матер. III Международ. научн. конф. «Информатика и прикладная математика». – 2018. – Алматы. – С.324-332.