

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

Z-İMLİKASIYA VƏ ONUN TƏTBİQİ

İxtisas: 1203.01 – Kompüter elmləri

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Şamil Azər oğlu Əhmədov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı –2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Sənayedə və iqtisadiyyatda intellektual idarəetmə və qərar qəbuletmə sistemləri” elmi-tədqiqat laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın müxbir üzvü,
Texnika elmləri doktoru, professor
Rafiq Əziz oğlu Əliyev

Rəsmi opponentlər: Texnika elmləri doktoru, professor
Məhəmməd Aydın oğlu Əhmədov
Texnika elmləri doktoru, professor
Mütəllim Mirzəəhməd oğlu Mütəllimov
Texnika elmləri doktoru, professor
Valeh Azad oğlu Mustafayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.48 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,
Texnika elmləri doktoru, professor



Rafiq Əziz oğlu Əliyev

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:



Texnika elmləri namizədi, dosent

Akif Vəli oğlu Əlizadə

Elmi seminarın sədri:



Texnika elmləri doktoru, professor

Xanlar Mehvəli oğlu Həmzəyev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Bugünkü mürəkkəb və məlumatla zəngin mühitdə qərar qəbuletmə sistemləri tez-tez qeyri-müəyyən, qeyri-dəqiq və qismən etibarlı olan məlumatları effektiv şəkildə işləmək məcburiyyətində olur. Ənənəvi məntiq sistemləri, "doğru" və "yalan" kimi ikili qiymətlər üzərində qurulduğuna görə, real dünyanın bu cür mürəkkəbliklərini modelləşdirmək üçün qeyri-adekvatdır. Qeyri-səlis məntiq və ehtimal əsaslı məntiqi çıxarış qeyri-dəqiqlik və qeyri-müəyyənliyi ifadə etməkdə irəliləyiş əldə etsə də, bu yanaşmalar problemləri ayrı-ayrılıqda həll edir və imperfekt məlumatların ikili təbiətini- qeyri-dəqiqliyi və etibarlılıq dərəcəsini -tam şəkildə əhatə edə bilmir.

Bu boşluq, qeyri-dəqiqlik və etibarlılığı vahid riyazi çərçivədə birləşdirən Z -ədədlər və Z -qeyri-səlis münasibətlər üzrə tədqiqatların aparılmasına səbəb olmuşdur. İdarəetmə sistemləri, tibb, qərar qəbuletmə və verilənlərin analizi kimi sahələrdə nəzəri və praktiki tətbiqlər mövcud olsa da, Z -qaydalar əsasında məntiqi nəticə çıxarma üçün mükəmməl və sistemli metodologiyalar hələ də yetərli deyil. Mövcud yanaşmalar, bimodal informasiyaya əsaslanan qaydalar bazalarının işlənilməsində məhdudiyətlərə malikdir. Bu çətinlikləri nəzərə alaraq, Z -ədəd qiymətli informasiya əsasında nəticə çıxarmağı bacaran yeni formal modellərə ehtiyac var, bu da qeyri-müəyyənliyin insanabənzər şəkildə anlaşılması və daha effektiv idarə olunmasını təmin edə bilər.

Yuxarıda qeyd edilənlər mövcud qeyri-səlis və ehtimal əsaslı implikasiya alətlərinin təhlilini, onların çatışmazlıqlarının aradan qaldırılmasını vurğulayır və Z -ədəd konsepsiyasına əsaslanan təxmini nəticə çıxarma metodlarının işlənilməsinin hazırlanmasının zəruriliyini əsaslandırır. Bu da dissertasiyada araşdırılan elmi məsələlərin aktual olduğunu sübut edir və yeni konsepsiya və metodların yaradılmasına ehtiyac olduğunu sübut edir.

Təxmini nəticə çıxarma, xüsusilə məlumatların qeyri-dəqiq və qeyri-müəyyən olduğu hallarda, qərar qəbuletmə və ekspert sistemlərində mühüm rol oynayır. Bu kontekstdə, qeyri-səlis

implikasiya modelləri şərti qaydalara əsaslanaraq nəticələrin əldə olunmasında əsas mexanizm kimi çıxış edir. Klassik məntiq “əgər... onda...” tipli ifadələri sərt şəkildə təqdim etdiyi halda, qeyri-səlis məntiq qeyri-səlis implikasiyalar vasitəsilə daha çevik və insanabənzər interpretasiya imkanı yaradır. Lakin Mamdani, Gödel, Lukasieviç, Zadə, Əliyev, Reichenbach, Kleene-Dienes, Goguen, Yager, Weber, Fodor və digər tədqiqatçılar tərəfindən təklif olunan mövcud qeyri-səlis implikasiyalar praktiki tətbiqlərdə bir sıra məhdudiyyətlərlə üzləşir. Bu implikasiyalar yalnız qeyri-müəyyənliyi nəzərə alır, lakin məlumatın etibarlılığı və ya inam dərəcəsi kimi vacib cəhətləri yetərinə əhatə edə bilmir.

Buna görə də, qeyri-səlis implikasiyanın funksional imkanlarını Z -ədədinə əsaslanan implikasiyalara qədər genişləndirən yeni yanaşmalara artan ehtiyac var. Z -ədədlər həm məlumatın qeyri-müəyyənliyini, həm də onun etibarlılığını (inam və ya güvən kimi) eyni vaxtda modelləşdirməyə imkan verir. Bu nəticə çıxarmada daha çox ifadəli və reallığa yaxın nəticənin əldə edilməsinə gətirib çıxarır.

Mövcud qeyri-səlis implikasiya modellərinin çatışmazlıqlarının araşdırılması, onların mövcud tətbiq potensialının təhlili və Z -ədəd nəzəriyyəsi əsasında yeni implikasiyaların işlənməsinin əsaslandırılması işin aktuallığını ifadə edir. Bu da müasir qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarış sistemlərinin inkişafı üçün həm nəzəri, həm də praktiki cəhətdən vaxtında ortaya qoyulan tədqiqat istiqamətini ifadə edir. Yuxarıda qeyd olunanlar dissertasiya işinin aktuallığını müəyyən edir. Qeyd etmək lazımdır ki, şərti nəticə çıxarma idarəetmə sistemləri və qərar qəbuletmə sistemlərinin əsasını təşkil edir. Bu işdə qeyd edilən problemə də baxılır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı idarəetmə sistemidir. Dissertasiya işinin tədqiqat predmeti isə Z -implikasiya və Z -şərti nəticə çıxarma yanaşmasının yaradılmasıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın əsas məqsədi Z -şərti nəticə çıxarma əsasında işləyən bir idarəetmə qurğusunun (kontrollerin) layihələndirilməsidir. Dissertasiya işinin vəzifəsi Z -implikasiyanın tərifinin formal şəkildə ilk dəfə ifadə edilməsi, onun

əsas xüsusiyyətlərinin araşdırılması və idarəetmə sistemlərində tətbiq potensialının öyrənilməsidir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı konkret vəzifələr müəyyənləşdirilmiş və həll olunmuşdur:

- 1) Mövcud şərti nəticə çıxarma yanaşmalarının çatışmazlıqlarının müəyyənləşdirilməsi;
- 2) Qeyri-səlis implikasiyaların Z-mühitinə genişləndirilməsi;
- 3) Z-şərti nəticə çıxarma üçün alqoritmin yaradılması;
- 4) Z-şərti nəticə çıxarma əsasında işləyən kontrollerin layihələndirilməsi;
- 5) Layihələndirilmiş kontroller üçün həssaslıq analizinin aparılması.

Tədqiqat metodları. Dissertasiyada qarşıya qoyulmuş məsələlərin həlli üçün qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsi, Z-ədədlər nəzəriyyəsi, ehtimal nəzəriyyəsi, təxmini nəticə çıxarma metodları, aqreqasiya və kompozisiya üsulları, eləcə də ehtimal əsaslı implikasiyalardan istifadə edilmişdir. Əldə olunan nəzəri nəticələrin doğruluğunu təsdiqləmək üçün eksperimental tədqiqat metodları ilə yanaşı, həm riyazi modelləşdirmə, həm də simulyasiya modelləşdirmə üsulları tətbiq olunmuşdur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində aşağıdakı müddəalar müdafiyyə təqdim olunur:

1. Mövcud şərti nəticə çıxarma yanaşmalarındakı çatışmazlıqların müəyyən edilməsi və yeni yanaşmanın təklif olunması;
2. İmpikasiya funksiyalarının əsas xüsusiyyətlərini təmin edən Z-implikasiya anlayışının təklif edilməsi;
3. Z-şərti nəticə çıxarma üçün alqoritmin işlənilib hazırlanması;
4. Z-şərti nəticə çıxarmaya əsaslanan kontrollerin sintezi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində təqdim olunan əsas elmi yeniliklər aşağıdakılardır:

- 1) İlk dəfə olaraq Z-implikasiyanın tərifinin formalaşdırılması;
- 2) Qeyri-səlis implikasiyanın Z-mühitinə genişləndirilməsi;
- 3) Z-şərti nəticə çıxarma üçün alqoritmin yaradılması;
- 4) ALI-1 və ALI-4 məntiqlərinin Z-qeyri-səlis mühitinə genişləndirilməsi.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Tədqiqatın nəzəri əhəmiyyəti. Tədqiqat qeyri-səlis məntiq və şərti nəticə çıxarma nəzəriyyəsinə Z-implikasiya anlayışını təqdim etməklə və formal şəkildə ilk dəfə tərif verməklə inkişaf etdirir. Bu yanaşma qeyri-dəqiqlik və etibarlılığın vahid çərçivədə modelləşdirilməsini mümkün edir. Beləliklə, mövcud qeyri-səlis məntiq sistemləri və təxmini nəticə çıxarma metodologiyaları genişləndirilir və daha əhatəli, ifadəli modellərin qurulması üçün zəmin yaradılır.

Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti. Praktik baxımdan, bu tədqiqat qeyri-müəyyən, qeyri-dəqiq və qismən etibarlı məlumatlarla işləyə bilən daha dayanıqlı idarəetmə və qərar qəbuletmə sistemlərinin yaradılmasına imkan verir. Hazırlanmış alqoritmlər və proqram təminatı real dünya tətbiqləri üçün qərar qəbul etmənin dəqiqliyini və sistemin etibarlılığını artırmağa imkan verən alətlər təqdim edir. Dissertasiyada əldə olunan nəticələr universal xarakter daşıyır və təklif olunan alqoritm sənaye, iqtisadiyyat, psixologiya, sosiologiya, texniki sahələr və s. daxil olmaqla müxtəlif sahələrdə tətbiq oluna bilər.

Dissertasiyanın aprobasiyası. Əsas elmi-praktik nəticələr “Sənaye və iqtisadiyyatda intellektual idarəetmə və qərar qəbuletmə sistemləri” elmi tədqiqat laboratoriyasının seminarlarında, ADNSU-nun doktorantlarının “Elm” gününə həsr olunmuş böyük elmi seminarında, yerli və beynəlxalq konfranslarda müzakirə edilmişdir:

1.10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing with Words and Perceptions, Pragua, Czech Republic, 2019;

2.11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020), Tashkent, Uzbekistan, 2020;

3.1-st UFAZ-ASOIU-UNISTRA scientific conference, Baku, 2021;

4.11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions and Artificial Intelligence, Antalya, Turkey, 2021;

5. Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu

ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların elmi konfransı, 2022;

6.15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools, Budva, Montenegro, 2022;

7.Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı, Bakı, Azərbaycan,2023;

8.16-th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools,Antalya, Turkey,2023;

9. 12th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words, Perceptions and Artificial Intelligence , Budva, Montenegro,2024;

10.III International Scientific-Practical Conference on Artificial Intelligence Technologies and Aerospace Issues, Baku, 2025;

11.17-th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools, Iași, Romania, 2025.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, “Sənayedə və iqtisadiyyatda intellektual idarəetmə və qərar qəbuletmə sistemləri” elmi tədqiqat laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Çap olunmuş elmi əsərlər. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində 15 iş nəşr edilmişdir, o cümlədən: 12 iş həm müəllifsiz, 9 (SCOPUS bazasına daxil olan) və 1(Web of Science bazasına daxil olan) xaricdə nəşr edilmişdir; 7 konfrans materialı(3-ü xaricdə) , 8 məqalə (7-si xaricdə, 1- yerli jurnalda) nəşr edilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrıca həcmi və ümumi həcmi. Dissertasiya girişdən (8737 işarə), 5 fəsildən (I fəsil – 48893 işarə, II fəsil – 11123 simvol, III fəsil – 43758 işarə, IV fəsil – 51316, V fəsil – 47123 işarə), nəticədən (1411 simvol) və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın ümumi həcmi (212361 simvol) təşkil edir, 27 cədvəl və 7 şəkildən ibarətdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə tədqiqat mövzusunun aktuallığı, müəyyən edilmiş məqsədlər, istifadə olunan tədqiqat metodları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, işin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti təqdim olunur.

Birinci fəsildə qeyri-səlis məntiq¹ əsaslanan klassik şərti məntiqi çıxarış üsulları, həmçinin ehtimal məntiqinə əsaslanan üsullar təhlil edilir. Həm qeyri-səlis, həm də ehtimal yanaşmalarının əsas zəif cəhətləri (məhdudiyyətləri) müəyyənləşdirilir. Bununla yanaşı, bu çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün yeni anlayış və yanaşmaların işlənilib hazırlanmasına ehtiyac olduğu göstərilir. Real dünya problemlərində mürəkkəbliyin və qeyri-müəyyənliyin artması nəzərə alınaraq, Z -ədədlərlə² təsvir olunan informasiya əsasında məntiqi çıxarış etməyə imkan verən yanaşmaların əhəmiyyəti göstərilir. İmplikasiyaya əsaslanan yanaşmaların Z -qaydalarla məntiqi çıxarış aparmaq üçün daha uyğun alternativ olduğu əsaslandırılır. Bundan əlavə, bu fəsildə tədqiqatın əsas məqsədi və qarşıya çıxan problemlər aydın və yığcam şəkildə izah olunur.

İkinci fəsildə Z -implikasiyanın³ formalaşdırılması üçün zəruri olan qeyri-səlis məntiqin və Z -ədəd nəzəriyyəsinin əsas anlayışları şərh edilmişdir. Burada həmçinin qeyri-səlis çoxluqların əsas anlayışları, qeyri-səlis çoxluqlar üzərində əməliyyatlar, qeyri-səlis münasibət, qeyri-səlis kompozisiya, ehtimal çoxluq, ehtimal paylanmalarının aqreqasiyası, diskret Z ədədi və onlar üzərində əməliyyatlar, Z -Əgər-Onda qaydaları verilmişdir. Müxtəlif növ qeyri-müəyyənliklərin inteqrasiyası müasir elmi ədəbiyyatda geniş araşdırılan istiqamətdir. Bu nöqtəyi-nəzərdən Z -ədəd konsepsiyası qeyri-səlis və ehtimal qeyri-müəyyənliklərinin adekvat inteqrasiyası üçün üstün yanaşma hesab olunur.

1. Aliev, R. A. Soft Computing and its Application / Aliev, R.A., Aliev R.R. - Singapore: World Scientific, -2001.- 444 p.

2. Zadeh, L. A. A note on Z -numbers // Information sciences, – 2011,181(14), p. 2923-2932

3. Aliev, R.A., Ahmadov Sh.A., Gardashova L.A., Hueynov O. H.: Extension of ALI-I logic to Z -fuzzy environment. In proc.: //Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham, -2025. Vol. 1622.

Üçüncü fəsildə Z-implikasiyanın ilk dəfə formal tərifini təqdim edilir. Onun struktur çərçivəsi kopula nəzəriyyəsi ilə əsaslandırılır. Burada klassik qeyri-səlis implikasiyaların Z-ədəd mühitinə necə uyğunlaşdırıldığı və modifikasiya edildiyi izah edilir. Bu fəsildə Z-implikasiyaya əsaslanan nəticə çıxarma ilə mövcud ədəbiyyatda olan boşluğun necə aradan qaldırılması məsələsinə də baxılır. Z-implikasiya adlanan yeni tip implikasiya qeyri-səlis və ehtimal implikasiyalarının sinerjisi yolu ilə formalaşdırılır. Təklif olunan Z-implikasiyanın implikasiya olması isbat olunur və onun əsas xassələri təhlil edilir. Burada qeyri-səlis və ehtimal implikasiyalarına əsaslanan mürəkkəb operator kimi ALI-1 və ALI-4 implikasiyaları istifadə olunur. Xüsusi halda, bu formullaşdırma qeyri-səlis və ya ehtimal implikasiyasına qədər sadələşdirilir. Bu problemə aid əsas anlayışlar aşağıda təqdim olunur:

Tərif 1. Diskret Z-ədəd². Diskret Z-ədəd qeyri-səlis A və B ədədlərin nizamlanmış cütüdür $Z = (A, B)$. A komponenti təsadüfi X dəyişəninin ala biləcəyi qeyri-səlis məhdudiyətdir. B isə $\mu_B : \{b_1, \dots, b_n\} \rightarrow [0, 1]$, $\{b_1, \dots, b_n\} \subset [0, 1]$ mənsubiyyət funksiyası ilə A -nın $P(A)$ ehtimal ölçüsü üzrə qeyri-səlis məhdudiyətdir.

$$P(A) = \sum_{i=1}^n \mu A(x_i) p(x_i), P(A) \in \text{supp}(B)$$

Tərif 2. Qeyri-səlis Ali-1 implikasiyası¹ aşağıda verilmişdir:

$$I(p, q) = \begin{cases} 1 - p, & \text{if } p < q \\ 1, & \text{if } p = q \\ q, & \text{if } p > q \end{cases}$$

Ali-1 implikasiyası qeyri-səlis implikasiyadır və ehtimal implikasiyanın xassələrini ödəyir.

Tərif 3^{1,4}. $I : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ funksiyası bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0, 1]$ üçün aşağıdakı xassələri ödədikdə qeyri-səlis implikasiya adlanır: (I) əgər $p_1 \leq p_2$ onda $I(p_1, q) \geq I(p_2, q)$, (II) əgər $q_1 \leq q_2$ onda

4. Grzegorzewski, P.: Probabilistic implications// Fuzzy Sets and Systems.-2013, 226, p. 53–66.

$I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$, (I3) $I(0,0)=1$, (I4) $I(1,1)=1$, (I5) $I(1,0)=0$.

Tərif 4⁵. Qeyri-səlis kompozisiya. Qeyri-səlis çoxluğun və qeyri-səlis münasibətin max-min kompozisiyası aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\mu_Q(q) = \max_p \min[\mu_P(p), \mu_R(p, q)],$$

burada $\mu_R(p, q)$ -qeyri-səlis münasibətin mənsubiyyət funksiyasıdır. $\mu_P(p)$ -cari girişi p ifadə edən qeyri-səlis çoxluğun mənsubiyyət funksiyasıdır, $\mu_Q(q)$ isə q çıxışını ifadə edən qeyri-səlis çoxluğun mənsubiyyət funksiyasıdır.

Tərif 5⁴. Kopula $C: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ (konkret olaraq 2-kopula)

funksiyadır və aşağıdakı xassələri ödəyir:

(a) $C(p,0) = C(0,q) = 0$ hər bir $p,q \in [0,1]$ üçün,

(b) $C(p,1) = p$ hər bir $p \in [0,1]$ üçün,

(c) $C(1,q) = q$ hər bir $q \in [0,1]$ üçün,

(d) hər bir $p_1, p_2, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün $p_1 \leq p_2$ və $q_1 \leq q_2$

$$C(p_2, q_2) - C(p_2, q_1) - C(p_1, q_2) + C(p_1, q_1) \geq 0.$$

İstənilən C kopula və bütün $p, q \in [0,1]$ üçün $W(p,q) \leq C(p,q) \leq$

$M(p,q)$ ödənilir, burada $W(p,q) = \max\{p + q - 1, 0\}$, $M(p,q) = \min\{p, q\}$

–də kopulalardır.

Tərif 6⁴. $I_C: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ funksiyası əgər $p=0$ olduqda $I_C(p,q) = 1$, əgər $p>0$ olarsa $C(p,q)/p$, kimi təyin olunursa, ehtimal implikasiya adlanır.

İki Z ədəd verilmişdir $Z_1 = (A_1, B_1)$ və $Z_2 = (A_2, B_2)$. I_Z ilə işarələnən Z -implikasiyanın tərifinin formalaşdırılması probleminə baxaq:

Tərif 7³. I_Z Z -implikasiya $(A_1, B_1), (A_2, B_2)$ Z -çoxluqları arasında kumulyativ ehtimal paylanmalarının əsas çoxluqları

$$G_1 = \{p: \int p_1 = p, \sum p_1 \mu_{A_1} \in B_1\},$$

5. Aliev, R. Fuzzy Process Control and Knowledge Engineering in Petrochemical and Robotic manufacturing / Aliev, R., Aliev, F., Babaev, M. -Koln, Germany: Verlag TUV Rheinland, -1991.-146 p.

$$G_2 = \{q: \int p_2 = q, \sum p_2 \mu_{A_2} \in B_2\}$$

nəzərə alınmaqla təsvir oluna bilər.

Nəticə etibarilə qeyri-səlis implikasiya (Tərif 3) və ehtimal implikasiya (Tərif 6) Ali-1 I_Z Z-implikasiyanın formalaşdırılması üçün əsas ola bilər:

Z-implikasiya I_Z vektor-qiyətli funksiyadır:

$$I_Z = I_{FC}(k_1 I_F(\mu_{A_1}, \mu_{A_2}), k_2 \{I_C(p, q): p \in G_1, q \in G_2\}),$$

burada I_F və I_C uyğun olaraq ALI-1 qeyri-səlis implikasiyası və ehtimal implikasiyasını ifadə edir. Kopulanın növündən asılı olaraq müxtəlif ehtimal implikasiyaları olmaq olar. Vektor qiymətli funksiyanın ikinci komponenti $I_{FC} = (I_F(\mu_1, \mu_2), \{I_C(p, q)\})$ G_1, G_2 kumulyativ paylanmalar çoxluğu ilə təyin olunan ehtimal implikasiyalar $\{I_C(p, q)\}$ çoxluğudur.

K –binar iki-ölçülü sütun vektorudur: $K = (k_1, k_2)^T$, $k_1, k_2 \in \{0,1\}$.

Z-implikasiyanın xüsusi halı aşağıdakılardan biridir:

Əgər $k_1=1, k_2=0$ olarsa, onda I_Z qeyri-səlis implikasiyadır.

Əgər $k_1=0, k_2=1$ olarsa, onda I_Z ehtimal implikasiyadır.

Ümumi halda $k_1 = 1, k_2 = 1$ olarsa, Z-implikasiya alınır.

Tərif 8⁶. İmplikasiya $[0,1] \times [0,1]$ -dən $[0,1]$ -ə qədər kəsilməz I funksiyadır ki, $\forall p, p', q, q', r \in [0,1]$ aşağıdakı xassələri ödəyir:

(I1) ƏGƏR $p \leq p'$ ONDA $I(p,q) \geq I(p',q)$ (birinci argument üzrə azalan),

(I2) ƏGƏR $q \leq q'$ ONDA $I(p,q) \leq I(p,q')$ (ikinci argument üzrə artan),

(I3) $I(0,q) = 1$ (yanlıqlıq),

(I4) $I(1,q) \leq q$ (neytrallıq), (1)

(I5) $I(p, I(q,r)) = I(q, I(p,r))$ (mübadilə(yerdəyişmə))

(I6) $I(p,q) = I(n(q),n(p))$ (kontrapozitiv simmetriya),

burada $n(\cdot)$ – kimi təyin edilə bilən inkardır. $n(q) = T(\neg Q) = 1 - T(Q)$, burada $T(Q)$ Q -nün doğruluq qiymətidir.

6. Aliev, R. A. Tserkovny, A.: Systemic approach to fuzzy logic formalization for approximate reasoning // Information Sciences, -2011, 181, -p.1045–1059.

Tərif 9⁴. Tərif 6 ilə təyin olunan ehtimal implikasiya $I_c: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ aşağıdakı şərtləri ödəyir:

$$I(0,0)=1;$$

$$I(1,1)=1;$$

$$I(1,0)=0;$$

$$\text{Əgər } q_1 \leq q_2 \text{ ONDA } I(p, q_1) \leq I(p, q_2) \quad (2)$$

Tərif 10³. Kumulyativ ehtimal paylanmalarının aqreqasiyası. (ehtimalların aqreqasiyası çəkiləndirilmiş cəm üsulu ilə yerinə yetirilib):

$$p = \sum_{i=1}^n w_i p_i.$$

burada p_i kumulyativ ehtimal paylanmalarıdır, w_i müsbət çəkilərdir: qlobal ehtimalın formalaşdırılması üçün ehtimalların cəminin 1-ə bərabər olması zəruridir.

Aşağıdakı kimi təyin olunan implikasiya əməlinə baxaq:

$$I(p, q) = \begin{cases} 1 - F(p, q)^{norm}, & p > q \\ 1, & p \leq q \end{cases} \quad (3)$$

Teorem 1⁶. Kəsilməz $I(p, q)$ funksiyası:

$$I(p, q) = \begin{cases} 1 - F(p, q)^{norm}, & p > q \\ 1, & p \leq q \end{cases} = \begin{cases} \frac{1-p+q}{2}, & p > q \\ 1, & p \leq q \end{cases} \quad (4)$$

olarsa, (I1) – (I6) aksiomları (1) ödənilir və deməli, bu formula implikasiyadır.

İsbati.

$$(I1) \forall p, p' \in [0,1] \ p' \geq p > q \Rightarrow I(p, q) - I(p', q) = 1 - p + q - 1 + p' - q = p' - p \geq 0 \Rightarrow I(p, q) \geq I(p', q)$$

$$\text{Digər tərəfdən } q \geq p' \geq p \Rightarrow I(p, q) - I(p', q) \equiv 0 \Rightarrow I(p, q) \equiv I(p', q).$$

$$(I2) \forall q, q' \in [0,1] \ q \leq q' < p \Rightarrow I(p, q) - I(p, q') = 1 - p + q - 1 + p - q' = q - q' \leq 0 \Rightarrow I(p, q) \leq I(p, q')$$

$$\text{Baxmayaraq ki, } p \leq q \leq q' \Rightarrow I(p, q) - I(p, q') \equiv 0 \Rightarrow I(p, q) \equiv I(p, q').$$

$$(I3) I(0, q) \equiv 1, \ q \geq 0.$$

$$(I4) I(1, q) = \begin{cases} \frac{q}{2}, & q \neq 1, \\ 1, & q = 1, \end{cases} \Rightarrow I(1, q) \leq q.$$

Qeyd edək ki,

(I5) $p \rightarrow q = k(1 - p + q)$, burada $k = 0.5$ | $p > q$ və ya $1 - p \leq q$, onda $\forall p, q, r \in [0,1] \mid p > q > r, \Rightarrow p \rightarrow (q \rightarrow r) = k(p \rightarrow (q \rightarrow r)) = k(1 - p + 1 - q + r) = k(2 - p - q + r)$

Digər tərəfdən,

$k(q \rightarrow (p \rightarrow r)) = k(q \rightarrow (1 - p + r)) = k(1 - q + 1 - p + r) = k(2 - p - q + r)$.

(I6) $I(n(q), n(p)) = (1 - q) \rightarrow (1 - p) = \begin{cases} \frac{q+1-p}{2}, & 1 - q > 1 - p \\ 1, & 1 - q \leq 1 - p \end{cases} =$

$\begin{cases} \frac{1-p+q}{2}, & p > q \\ 1, & p \leq q \end{cases}$

Teorem 2. $I(p, q)$ (4) implikasiyası ehtimal implikasiyanın xassələrini ödəyir.

İsbatı. (2)-dən görüldüyü kimi $I_C : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ ehtimal implikasiyası aşağıdakı şərtləri ödəyir:

$I(0,0)=1; I(1,1)=1; I(1,0)=0$ (5) – (7)

$\forall q_1 \leq q_2$ ONDA $I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$ (8)

(5) - (7) şərtləri ödənilir (bunlar qeyri-səlis implikasiyanın şərtləri arasında var). İndi (8) şərtinə baxaq. Əgər $p > q$ olarsa, (8) şərti ödənilir, çünki $I(p, q) = (1 - p + q)/2$, q üzrə monoton şəkildə azalmayan funksiyadır. Əgər $p \leq q$ olarsa, (8) şərti yenə də ödənilir, çünki $I(p, q)$ sabit olur.

Ali-4 (4) Z-implikasiyadır. Misal ilə Ali-4 implikasiyasının Z-implikasiya olduğunu yoxlayaq. Ali-4 ehtimal implikasiyasıdır və (2) şərtlərini ödəyir.

Misal. Ehtimal implikasiyanın xüsusiyyətləri: $p=0$ və $q=0$ götürək, onda

$$I(0,0) = \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq 0 \\ (1-p+q)/2, & \text{if } p > q \end{cases}$$

(I1) və (I2) (ehtimal matrisə bax) şərtləri ödənilir:

Misal üçün, fərz edək ki, qurulmuş ehtimal matris aşağıdakı kimidir (Cədvəl 1):

Cədvəl 1

Ehtimal matrisi

$p \backslash q$	0,388148	0,709923	0,726526	0,726526	0,726526	0,726526	1,000000
0,552072	0,418038	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
0,783175	0,302486	0,463374	0,471675	0,471675	0,471675	0,471675	1,000000
0,840490	0,273829	0,434716	0,443018	0,443018	0,443018	0,443018	1,000000
0,840490	0,273829	0,434716	0,443018	0,443018	0,443018	0,443018	1,000000
0,840490	0,273829	0,434716	0,443018	0,443018	0,443018	0,443018	1,000000
0,848778	0,269685	0,430572	0,438874	0,438874	0,438874	0,438874	1,000000
1,000000	0,194074	0,354961	0,363263	0,363263	0,363263	0,363263	1,000000

$p=1$ və $q=0$ olsun, onda (I3) xüsusiyyəti:

$$I(1,0) = \begin{cases} 1, & \text{if } p \leq q \\ (1-1+0)/2=0, & \text{if } 1 > 0 \end{cases}$$

ödənilir.

Xassə 4 (I4). $q_1 = 0.388148$ və $q_2 = 0.709923$ olarsa matrisdən görüldüyü kimi xassələr ödənilir: Əgər $q_1 \leq q_2$ onda

$$I(p, q_1) \leq I(p, q_2) = 0.418038 \leq 1.000000.$$

ALI-4 –qeyri-səlis implikasiyası (II)-(I5) şərtlərini ödəyir (bax Tərif 3). Qeyri-səlis implikasiyanın xassələrini yoxlayaq. Fərz edək ki, ALI-4 implikasiyası ilə qurulan münasibət matrisi aşağıdakı kimidir (Cədvəl 2):

Cədvəl 2

Münasibət matrisi (ALI-4 implikasiyası ilə qurulan)

$p \backslash q$	0,5	0,67	0,92	1	0,92	0,67	0,5
0,2	1	1	1	1	1	1	1
0,34	1	1	1	1	1	1	1
0,73	0,385	0,47	1	1	1	0,47	0,385
1	0,25	0,335	0,46	1	0,46	0,335	0,25
0,73	0,385	0,47	1	1	1	0,47	0,385
0,34	1	1	1	1	1	1	1
0,2	1	1	1	1	1	1	1

(II)-(I5) xüsusiyyətləri ödənilir:

(I1) əgər $p_1 \leq p_2$ onda $I(p_1, q) \geq I(p_2, q)$: $0.34 \leq 0.73$,
 $1 \geq 0.385$, $1 \geq 0.47$, ..., $1 \geq 1$.

(I2) əgər $q_1 \leq q_2$ onda $I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$: $0.67 \leq 0.92$, onda $1 \leq 1$,
 $0.47 \leq 1$, $0.335 \leq 0.46$, $0.47 \leq 1$.

$$(I3) I(0,0)=1: \begin{cases} 1, & \text{əgər } p \leq q \\ (1-p+q)/2, & \text{if } p > q \end{cases}$$

$$(I4) I(1,1)=1: \begin{cases} 1, & \text{əgər } p \leq q \\ (1-p+q)/2, & \text{if } p > q \end{cases}$$

(I5) $I(1,0)=0$:

$$I(1,0) = \begin{cases} 1, & \text{əgər } p \leq q \\ (1-1+0)/2=0, & \text{if } 1 > 0 \end{cases}$$

Ali-1 Z implikasiyadır:

Misal. Fərz edək ki, Ali-1 implikasiyası və 1 qayda ƏGƏR E ONDA U verilib:

$$\mu_E(e) = 1.00/-10 + 0.73/-7 + 0.34/-3 + 0.20/0 + 0.13/3 \\ + 0.08/7 + 0.06/10$$

$$\mu_U(u) = 1.00/-1 + 0.92/-0.7 + 0.67/-0.3 + 0.50/0 + 0.37/0.3 \\ + 0.26/0.7 + 0.20/1$$

Ali-1 implikasiyası üzrə qurulan münasibət matrisi aşağıdakı kimidir(Cədvəl 3):

Cədvəl 3

R qeyri-səlis münasibət matrisi

	<i>I</i>	<i>0.92</i>	<i>0.67</i>	<i>0.5</i>	<i>0.37</i>	<i>0.26</i>	<i>0.2</i>
<i>I</i>	1	0.92	0.67	0.5	0.37	0.26	0.2
<i>0.73</i>	0.27	0.27	0.67	0.5	0.37	0.26	0.2
<i>0.34</i>	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.26	0.2
<i>0.2</i>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1
<i>0.13</i>	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
<i>0.08</i>	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
<i>0.06</i>	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

Aşağıda qeyri-səlis məntiqin xüsusiyyətlərinin verifikasiyasına baxaq:

Misal.

(I1): əgər $p_1 \leq p_2$ onda $I(p_1, q) \geq I(p_2, q)$,

Dəyişənlərin və implikasiyaların qiymətləri: $p_1=0.13$, $p_2=0.2$,

$I(p_1, q)=0.87$, $I(p_2, q)=0.8$

$0.13 \leq 0.2$ və $0.87 \geq 0.8$

bu (I1) şərtini bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün (bax Cədvəl 3) ödəyir

(I2): əgər $q_1 \leq q_2$ onda $I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$,

$q_1=0.67$ və $q_2=0.92$, olsun onda $I(p, q_1)=0.67$ və $I(p, q_2)=0.92$,

$q_1=0.67 \leq q_2=0.92$, onda $I(p, q_1)=0.67 \leq I(p, q_2)=0.92$,

bu (I2) şərtini bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün (bax Cədvəl 3) ödəyir.

(I3): $I(0,0)=1$,

Fərz edək ki, $p_1=0$ və $q_1=0$ onda

Ali-1 implikasiyasında $I(p, q) = \begin{cases} 1-p, & \text{if } p < q \\ 1, & \text{if } p = q \\ y, & \text{if } p > q \end{cases}$ Əgər $p=0$ və $q=0$

Onda

$I(p, q) = 1$ və ya $I(0,0)=1$

Bu (I3) şərtini bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün ödəyir.

(I4): $I(1,1)=1$,

$p=1$ və $q=1$

Bu (I4) şərtini bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün ödəyir (Cədvəl 3)

(I5): $I(1,0)=0$,

əgər $p=1$ və $q=0$, $p > q$ onda $I(1,0)=0$

Bu (I5) şərtini bütün $p, p_1, p_2, q, q_1, q_2 \in [0,1]$ üçün ödəyir.

Beləliklə, əgər $k_1 = 1, k_2 = 0$ olarsa, onda I_z qeyri-səlis implikasiyadır.

Misal.

Əgər $k_1 = 0, k_2 = 1$ onda I_z ehtimal implikasiyadır.

Aşağıda ehtimal implikasiyanın xüsusiyyətlərinin verifikasiyasına baxaq.

Fərz edək ki, 2 paylanma verilib: (0,0.07564,0.567815,0.348348, 0.008197,0,0) və (0.164606, 0.313403, 0.276772, 0.217191, 0.028028, 0).Paylanmalar üzrə kumulyativ ehtimal paylanmaları aşağıdakı kimi olar:

$p=0.8$ (giriş): $q=0.8$ (çıxış):

0	
0.07564	0.164606
0.643455	0.478009
0.991803	0.754781
1	0.971972
1	1
1	1

Paylanmalardan istifadə ilə qurulan kopula cədvəl 4-də verilib.

Cədvəl 4

Kopula

$p \setminus q$	0	0.164606	0.478009	0.754781	0.971972	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0.07564	0	0	0	0	0.047612	0.07564	0.07564
0.643455	0	0	0.121464	0.398236	0.615427	0.643455	0.643455
0.991803	0	0.156409	0.469812	0.746584	0.963775	0.991803	0.991803
1	0	0.164606	0.478009	0.754781	0.971972	1	1
1	0	0.164606	0.478009	0.754781	0.971972	1	1
1	0	0.164606	0.478009	0.754781	0.971972	1	1

Misal.

Fərz edək ki, $p=0.07564$ və $q=0.478009$.

$W(p,q)=\max\{p+q-1,0\}$ kopula düsturundan istifadə ilə alırıq:

$$W(p,q)=\max\{0.07564+0.478009-1,0\}=\max\{0.553649-1,0\}=0$$

$$M(p,q)=\min\{p,q\}=(0.07564,0.478009)=0.07564$$

$$W(p,q) \leq C(p,q) \leq M(p,q) \text{ ödənilir: } 0 \leq 0 \leq 0.07564.$$

(d): hər bir $p_1, p_2, q_1, q_2 \in [0,1]$ belə ki, $p_1 \leq p_2$ və $q_1 \leq q_2$
 $C(p_2, q_2) - C(p_2, q_1) - C(p_1, q_2) + C(p_1, q_1) \geq 0.$

Əgər $p_1=0.643455$, $p_2=0.991803$, $q_1=0.478009$, $q_2=0.754781$ onda alırıq:

$$C(p_2, q_2) - C(p_2, q_1) - C(p_1, q_2) + C(p_1, q_1) = 0.746584 - 0.469812 - 0.398236 + 0.121464 \geq 0$$

Aşağıdakı şərtləri ödəyən istənilən C kopulası üçün Ali-1

$I_C : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ ehtimal implikasiyadır:

- 1) $I(0,0)=1$
- 2) $I(1,1)=1$
- 3) $I(1,0)=0$
- 4) Əgər $q_1 \leq q_2$ onda $I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$.

Misal . Münasibət matrisinə baxaq (bax Şəkil 1).

Əgər $q_1=0.102587$, $q_2=0.25778$ onda alırıq

$I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$:

$$1 \leq 1;$$

$$0.102587 \leq 0.864042$$

$$0.102587 \leq 0.25778$$

	0.102587	0.25778	0.467194	0.672929	0.851013	0.992232	1
0	1	1	1	1	1	1	1
0.135958	0.102587	0.864042	0.864042	0.864042	0.864042	0.864042	0.864042
0.583634	0.102587	0.25778	0.467194	0.416366	0.416366	0.416366	0.416366
0.892009	0.102587	0.25778	0.467194	0.672929	0.851013	0.107991	0.107991
1	0.102587	0.25778	0.467194	0.672929	0.851013	0.992232	1
1	0.102587	0.25778	0.467194	0.672929	0.851013	0.992232	1
1	0.102587	0.25778	0.467194	0.672929	0.851013	0.992232	1

Şəkil 1. Münasibət matrisi

Misal.

If $q_1=0.467194$, $q_2=0.672929$ onda alırıq

$I(p, q_1) \leq I(p, q_2)$:

$$1 \leq 1;$$

$$0.864042 \leq 0.864042$$

$$0.467194 \leq 0.672929$$

Beləliklə, Ali-1 implikasiyası ehtimal implikasiyanın xassələrini ödəyir.

Dördüncü fəsildə Z-şerti məntiqi nəticə çıxarış alqoritmi və program təminatının hazırlanması nəzərdən keçirilir. Hal-hazırda elmi ədəbiyyatda Z-şerti məntiqi nəticə çıxarış, xüsusilə də Z-implikasiyaya əsaslanan məntiqi çıxarış haqqında demək olar ki, heç bir məlumat yoxdur. Z-qaydalarının işlənməsi yeni tip implikasiyanın tətbiqini tələb edir. Lakin bu məsələ elmi ədəbiyyatda müzakirə olunmayıb. Z-implikasiya adlanan bu yeni implikasiya tipi, qeyri-səlis (Ali-1) implikasiyası və ehtimal implikasiyanın sinerjisi vasitəsilə formalaşdırılır (bax: 3-cü fəsil). Burada Z-qiymətlərlə verilmiş Əgər-Onda qaydalarından istifadə edərək məntiqi nəticə çıxarış aparmağa imkan verən müvafiq alqoritm təklif olunur. Sadəlik üçün çıxarışı SISO modeli üzrə nəzərdən keçirək. Tutaq ki, Əgər-Onda qaydaları və cari müşahidə(yeni giriş) verilib:

Rule i : If X is $Z_{ix}(A_{ix}, B_{ix})$ Then Y is $Z_{iy}(A_{iy}, B_{iy})$ $i = \overline{1, n}$,

X is $Z'_x(A'_x, B'_x)$

Məqsəd Y -in Z -ədədə əsaslanan qiymətini $Z'_y(A'_y, B'_y)$ tapmaqdır.

Bu problemin həlli üçün alqoritm⁷ aşağıda təsvir olunmuşdur:

Addım 1. Tərif 7-yə əsasən, $Z(A_{ix}, B_{ix})$ Z -giriş və Z -çıxış $Z(A_{iy}, B_{iy})$ arasında $i=1, \dots, n$ qaydaları üçün münasibət matrisinin hesablanması

Addım1.1. Hər bir $i=1, \dots, n$ qaydası üçün qeyri-səlis implikasiyanı

$I_{Fi}(\mu_{A_{ix}}, \mu_{A_{iy}})$ (Tərif 2) tətbiq etmək üçün $k_1=1, k_2=0$ qəbul edilir.

Addım1.2 Ehtimal implikasiyanı $\{I_{Ci}(p, q): p \in G_{ix}, q \in G_{iy}\}$ tətbiq etmək üçün $k_1=0, k_2=1$ qəbul edilir. Bu məqsədlə əvvəlcə $Z(A_{ix}, B_{ix})$ və $Z(A_{iy}, B_{iy})$ üçün kumulyativ ehtimal paylanmaları çoxluğunun tapılması tələb olunur:

$$G_{ix} = \{p: \int p_{ix} = p, \sum p_{ix} \mu_{A_{ix}} \in B_{ix}\},$$

7.Ahmadov, S.A. Z-implication and its application // III International Scientific and Practical Conference on Artificial Intelligence Technologies and Aerospace, Baku, -2025, - p.3-9

$$G_{iy} = \{q: \int p_{iy} = q, \sum p_{iy} \mu_{A_{iy}} \in B_{iy}\}$$

Sonra hər bir $p \in G_{ix}, q \in G_{iy}$ üçün $I_{Ci}(p, q)$ ehtimal implikasiya tətbiq olunur.

Addım 2. Bütün $i=1, \dots, n$ qaydaları üçün hesablanmış ehtimal və qeyri-səlis münasibət matrislərinin aqreqasiyası.

Addım 2.1. Bütün qaydaların matrislərinin birləşməsini Ali-1 məntiqinin dizyunksiya bağlayıcısı vasitəsilə hesabla:

$$I_F = \cup_i I_{Fi} (\mu_{A_{ix}}, \mu_{A_{iy}}).$$

Addım 2.2 Tərif 10-dan istifadə etməklə $\{I_C = \sum_i^n w_i I_{Ci}(p, q) | p \in G_{i1}, q \in G_{i2}, \sum_i^n w_i = 1\}$ bütün qaydaların ehtimal matrislərini aqreqasiya et.

Beləliklə, tapılmış aqreqasiya olunmuş matris : $(I_F, \{I_C\})$ olar.

Addım 3. $Z(A'_x, B'_x)$ cari giriş və tapılan aqreqasiya olunmuş matris üzrə $(I_F, \{I_C\})$ kompozisiya əməlinin yerinə yetirilməsi.

Addım 3.1. A hissəsi üçün kompozisiyanı yerinə yetir: $A'_y = A'_x \circ I_F$, burada \circ dizyunksiya- konyunksiya kompozisiyasıdır (Ali-1 məntiqi).

Step 3.2. Paylanmalar çoxluğu $G'_x = \{p': \int p'_x = p', \sum p'_x \mu_{A'_x} \in B'_x\}$ for $Z(A'_x, B'_x)$, və aqreqasiya olunmuş ehtimal implikasiyalar üzrə münasibətlər çoxluğu $\{I_C\}$ verilib, G'_y paylanmalar çoxluğunun hesablanması.

Addım 3.2.1. Ehtimal paylanmaların uyğun matrisini $I_p(p_x, p_y)$ kumulyativ ehtimal paylanmaların hər bir aqreqasiya olunmuş matrisi $I_C(p, q) \in \{I_C\}$ üçün tap.

Addım 3.2.2. Verilən $\{I_p\}$ və G'_x üçün G'_y hesabla:

$G'_y = \{p'_y = p'_x \circ I_{Cp}(p_x, p_y): p'_x \in G'_x, I_p(p_x, p_y) \in \{I_p\}\}$, burada \circ dizyunksiya- konyunksiya kompozisiyasıdır (Ali-1 məntiqi).

Addım 4. A'_y və G'_y verilib, B'_y hesablamaqla $Z(A'_y, B'_y)$ tap:

$$B' = \{(\mu_{b'_y}(b'_y), (b'_y)): b'_y = P(A'_y) = \sum \mu_{A'_y} p'_y, p'_y \in G'_y\}.$$

$\mu_{b'_y}$ mənsubiyyət funksiyası Zadənin genişlənmə prinsipindən istifadə ilə $\mu_{b'_x}$ və $\mu_{b'_{ix}}, i=1, \dots, n$ əsasında tapılır.

beləliklə, $Z'_y(A'_y, B'_y)$ hesablandı.

Nümunə. Təklif olunan alqoritmin Əgər-Orda qaydalarına əsaslanan idarəetmə probleminə tətbiqinə baxaq. Problemdə nəticə və şərt hissələri Z-ədəd əsasında verilmiş SISO (bir giriş-bir çıxışlı) model istifadə olunur. Sadəlik naminə, Z⁺-ədəd şəkilli verilmiş giriş üçün Z⁺-ədəd tip çıxışın necə hesablandığı göstərilir.

Z-ədəd əsasında qurulmuş idarəetmə sistemi bir giriş və bir çıxışdan ibarət produksiya qaydaları ilə təsvir olunur.

Tutaq ki, Z-qiymətli idarəetmə sistemində 7 qayda⁵ istifadə olunur:

1. Əgər e xətası [mənfi böyük (NB), çox əminliklə] ONDA idarəetmə u [neqativ böyük (NB), çox əminliklə];
2. Əgər e xətası [mənfi orta (NM), çox əminliklə] olarsa ONDA u idarəetmə [mənfi ortat (NM), çox əminliklə];
3. Əgər e xətası [mənfi kiçik (NS), çox əminliklə] olarsa ONDA u idarəetmə [mənfi kiçik (NS), çox əminliklə];
4. Əgər e xətası [sıfır (ZE), çox əminliklə] olarsa, ONDA u idarəetmə [sıfır, çox əminliklə];
5. Əgər e xətası [müsbət kiçik (PS), çox əminliklə] olarsa ONDA u idarəetmə [müsbət kiçik (PS), çox əminliklə];
6. Əgər e xətası [müsbət orta (PM), çox əminliklə] olarsa ONDA u idarəetmə [müsbət orta (PM), çox əminliklə];
7. Əgər e xətası [müsbət böyük (PB), çox əminliklə] olarsa ONDA u idarəetmə [müsbət böyük (PB), çox əminliklə]

burada çox əminliklə = $0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1$.

Z-qiymətli idarəetmə sisteminin xətası e ilə, idarəetmə u ilə işarə olunur. İdarəetmə sisteminin qayda bazası belə təsvir olunur:

Qayda⁵ 1:

$$\mu_{E1}(e) = ((1.00/-10 + 0.73/-7 + 0.34/-3 + 0.20/0 + 0.13/3 + 0.08/7 + 0.06/10)), (0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1))$$

$$\mu_{U1}(u) = ((1.00/-1 + 0.92/-0.7 + 0.67/-0.3 + 0.50/0 + 0.37/0.3 + 0.26/0.7 + 0.20/1), (0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1))$$

... ..
 Qayda⁵ 7:

$$\mu_{E7}(e) = ((0.06/-10 + 0.08/-7 + 0.13/-3 + 0.20/0 + 0.34/3 + 0.73/7 + 1.00/10), (0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1))$$

$$\mu_{U7}(u) = ((0.20/-1 + 0.26/-0.7 + 0.37/-0.3 + 0.50/0 + 0.67/0.3 + 0.92/0.7 + 1.00/1), (0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1))$$

Məsələ verilən yeni girişlə Z məntiqi çıxarışı həyata keçirməkdir. Fərz edək ki, yeni giriş belədir:

$$Z = \mu_E(e_{ic}^c) = (0.11./-10 + 0.17/-7 + 0.34/-3 + 0.61/0 + 0.96/3 + 0.73/7, 0.41/10, \text{ çox əminliklə})$$

Ali-1 implikasiyasından istifadə edilməklə yaradılmış qeyri-səlis münasibət matrislərinin fraqmentləri 5–7-ci cədvəllərdə verilib.

Cədvəl 5

R1 qeyri-səlis münasibət matrisi

	<i>1</i>	<i>0.92</i>	<i>0.67</i>	<i>0.5</i>	<i>0.37</i>	<i>0.26</i>	<i>0.2</i>
<i>1</i>	1	0.92	0.67	0.5	0.37	0.26	0.2
<i>0.73</i>	0.27	0.27	0.67	0.5	0.37	0.26	0.2
<i>0.34</i>	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.26	0.2
<i>0.2</i>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1
<i>0.13</i>	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
<i>0.08</i>	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
<i>0.06</i>	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

Cədvəl 6

R2 qeyri-səlis münasibət matrisi

	<i>0.91</i>	<i>1</i>	<i>0.86</i>	<i>0.67</i>	<i>0.5</i>	<i>0.34</i>	<i>0.26</i>
<i>0.73</i>	0.27	0.27	0.27	0.67	0.5	0.34	0.26
...
<i>0.11</i>	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
<i>0.08</i>	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92

Cədvəl 7**R7 qeyri-səlis münasibət matrisi**

	<i>0.2</i>	<i>0.26</i>	<i>0.37</i>	<i>0.5</i>	<i>0.67</i>	<i>0.92</i>	<i>1</i>
<i>0.06</i>	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
<i>0.08</i>	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
...
<i>1</i>	0.2	0.26	0.37	0.5	0.67	0.92	1

Münasibətlərin aqreqasiyası $Ali-1^1$ implikasiyasının məntiqi bağlayıcısından istifadə ilə yerinə yetirilmişdir. Nəticə Cədvəl 8-də verilib.

Cədvəl 8**Aqreqasiya olunmuş qeyri-səlis münasibət matrisi**

0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0
0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0
...
0.37	0.5	0.39	0.67	0.86	1	0.91
0.66	0	0.5	0.67	0.66	0.66	0.66

Növbəti addım Z -ədədinə əsaslanan çıxışın B hissəsinin hesablanmasıdır. Sadəlik naminə Z -rəqəm əsasında çıxış quracağıq (B hissəsinin əvəzinə bir paylamayı nəzərdən keçirəcəyik).

Bu halda biz bütün qaydalar üçün giriş və çıxış üzərində bir ehtimal paylanması müəyyən edirik. Ehtimalların paylanması məqsəd proqramlaşdırma metodundan istifadə etməklə hesablanır. İki qaydanın giriş və çıxışları üzrə əldə edilmiş paylanmaların fraqmenti aşağıda verilmişdir (Cədvəl 9,10):

Cədvəl 9**Qayda 1 üzrə tapılmış paylanmalar**

Giriş	Çıxış	Kumulyativ ehtimal	
0.787008	0	0.787008	0
0	0.791118	0.787008	0.791117
0	0	0.787008	0.791117
0	0	0.787008	0.791117
0	0	0.787008	0.791117
0	0	0.787008	0.791117
0.212992	0.208883	1	1

Cədvəl 10**Qayda 7 üzrə tapılmış paylanmalar**

giriş	çıxış	Kum.eht.	Kum.eht.	Yeni giriş	Kum. Eht.
0.212992	0.208884	0.212992	0.208884	0	0
0	0	0.212992	0.208884	0	0
...
0.787008	0	1	1	0	1

İndi hər bir qayda üçün ehtimal implikasiya (münasibət matrisi) qurmalıyıq. Məsələn, qayda üzrə ehtimal implikasiya Cədvəl 11-də göstərilir:

Cədvəl 11**1-ci qayda üçün ehtimal implikasiya**

-1E-06	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992
-1E-06	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992	0.212992
...
-1E-06	0.791117	0.791117	0.791117	0.791117	0.791117	1

Bütün qaydalar üçün ehtimal implikasiyaların areqasiyasının nəticəsi Cədvəl 12-də verilib:

Table 12**Aqreqasiya olunmuş ehtimal implikasiya münasibəti**

1E-06	0.066675	0.904096	0.904096	0.904096	0.904096	0.904096
-1E-06	0.066675	0.904096	0.904096	0.904096	0.904096	0.904096
...
-1E-06	0.212992	0.212992	0.475534	0.630216	0.913349	0.05621
-1E-06	0.34696	0.467194	0.475534	0.630216	0.960138	1

Növbəti hissədə yeni giriş, aqreqasiya olunmuş qeyri-səlis matris (Cədvəl 8) və aqreqasiya olunmuş ehtimal matris (Cədvəl 12) verildikdə, nəticə $Z^+(A, p)$ hesablanmalıdır. Bu məqsədlə formalalaşdırdığımız Z-implikasiyadan istifadə olunur. A hissəsi Ali-1 qeyri-səlis implikasiyası ilə, p isə ehtimallı implikasiya ilə hesablanır. Sonuncu (ehtimallı implikasiya) aşağıdakı ehtimal paylanmasını verir:

Tapılmış kumulyativ ehtimal paylanması (0, 0.34696, 0.467194, 0.657509, 0.657509, 0.960138,1), adi ehtimal paylamaya (0, 0.346961, 0.120234, 0.190315, 0,0.302629, 0.039862) keçirilir. Tapılmış nəticə aşağıda verilib:

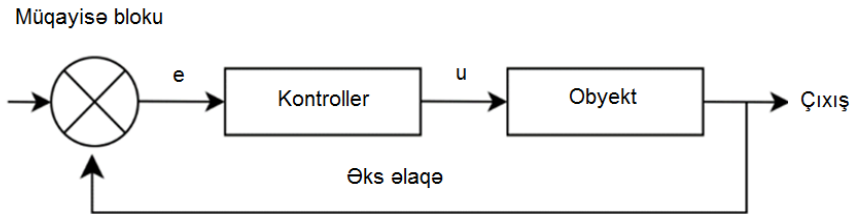
$$Z^+(A,p)=((0.5/-1,0.61/-0.7,0.5/-0.3,0.67/0,0.73/0.3,0.73/0.7,0.73/1), (0, 0.346961, 0.120234, 0.190315,0,0.302629,0.039862))$$

Həmçinin, 4-cü fəsilə proqram təminatının sınaqdan keçirilməsi müzakirə olunur. Təklif olunan Z-implikasiyaya əsaslanan məntiqi çıxarış modelinin praktiki tətbiqini nümayiş etdirmək üçün proqram prototipi hazırlanmışdır.

Bəşinci fəsilə kompleks Z-şərti nəticə çıxarışdan istifadə ilə kontrollerin dizaynı, idarəetmə sistemlərinə tətbiqi və baxılan modelin həssaslıq təhlili nəzərdən keçirilmişdir.

İdarəetmə sistemi kontroller, obyekt və müqayisə blokundan ibarətdir (Şəkil 2). Proporsional kontrolleri nəzərdən keçirək. O, iki parametrlə xarakterizə olunur:

xəta ($e=[-10,10]$) və idarəetmə ($u=[-1 \ 1]$).



Şəkil 2. İdarəetmə sisteminin strukturu

Fərz edək ki, kontroller aşağıdakı üç Z- qaydası ilə təsvir olunur:

1. Əgər e xətası [mənfi kiçik (NS), çox əmin] ONDA u idarəetmə [mənfi kiçik (NS), çox əmin];
2. Əgər e xətası [sıfır (ZE), çox əmin deyil] ONDA u idarəetmə [sıfır, çox əmin deyil];

3. Əgər e xətası [müsbət kiçik (PS), əmindirsə] ONDA u idarəetmə [müsbət kiçikdir (PS), çox əmin deyildir].

$$\text{çox əmin deyil} = \left\{ \frac{0.1}{0.6}, \frac{1}{0.7}, \frac{0.5}{0.8} \right\}, \text{əmin} = \left\{ \frac{0.2}{0.75}, \frac{1}{0.8}, \frac{0.4}{0.9} \right\},$$

$$\text{çox əmin} = \left\{ \frac{0.3}{0.8}, \frac{1}{0.85}, \frac{0.3}{0.9} \right\}$$

Giriş parametri idarəetmə sisteminin xətası e-dir, idarəetmə isə u-dur. Qaydalar Z-məlumat vasitəsilə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər.3 qayda verilib:

$$\begin{aligned} IF e \text{ is } Z_1 \text{ THEN } u \text{ is } Z_2 & \quad IF e \text{ is } (NS, VS) \text{ THEN } u \text{ is } (NS, VS) \\ IF e \text{ is } Z_3 \text{ THEN } u \text{ is } Z_4 & \quad \vee \text{ ya } IF e \text{ is } (Z, NVS) \text{ THEN } u \text{ is } (Z, NVS), \\ IF e \text{ is } Z_5 \text{ THEN } u \text{ is } Z_6 & \quad IF e \text{ is } (PS, S) \text{ THEN } u \text{ is } (PS, NVS) \end{aligned}$$

burada Z-ədədlər aşağıdakı kimidir:

$$Z_1 = \left(\left\{ \frac{0.29}{-10}, \frac{0.56}{-7}, \frac{1}{-3}, \frac{0.68}{0}, \frac{0.36}{3}, \frac{0.15}{7}, \frac{0.08}{10} \right\}, \left\{ \frac{0.3}{0.8}, \frac{1}{0.85}, \frac{0.3}{0.9} \right\} \right)$$

$$Z_2 = \left(\left\{ \frac{0.56}{-1}, \frac{0.81}{-0.7}, \frac{1}{-0.3}, \frac{0.87}{0}, \frac{0.69}{0.3}, \frac{0.45}{0.7}, \frac{0.32}{1} \right\}, \left\{ \frac{0.3}{0.8}, \frac{1}{0.85}, \frac{0.3}{0.9} \right\} \right)$$

$$Z_3 = \left(\left\{ \frac{0.15}{-10}, \frac{0.29}{-7}, \frac{0.68}{-3}, \frac{1}{0}, \frac{0.68}{3}, \frac{0.29}{7}, \frac{0.15}{10} \right\}, \left\{ \frac{0.1}{0.6}, \frac{1}{0.7}, \frac{0.5}{0.8} \right\} \right)$$

$$Z_4 = \left(\left\{ \frac{0.45}{-1}, \frac{0.62}{-0.7}, \frac{0.87}{-0.3}, \frac{1}{0}, \frac{0.87}{0.3}, \frac{0.62}{0.7}, \frac{0.45}{1} \right\}, \left\{ \frac{0.1}{0.6}, \frac{1}{0.7}, \frac{0.5}{0.8} \right\} \right)$$

$$Z_5 = \left(\left\{ \frac{0.08}{-10}, \frac{0.15}{-7}, \frac{0.36}{-3}, \frac{0.68}{0}, \frac{1}{3}, \frac{0.56}{7}, \frac{0.29}{10} \right\}, \left\{ \frac{0.2}{0.75}, \frac{1}{0.8}, \frac{0.4}{0.9} \right\} \right)$$

$$Z_6 = \left(\left\{ \frac{0.32}{-1}, \frac{0.45}{-0.7}, \frac{0.69}{-0.3}, \frac{0.87}{0}, \frac{1}{0.3}, \frac{0.81}{0.7}, \frac{0.62}{1} \right\}, \left\{ \frac{0.1}{0.6}, \frac{1}{0.7}, \frac{0.5}{0.8} \right\} \right)$$

Məqsəd Z-şərti nəticə çıxarışı yerinə yetirməkdir. Yeni giriş e

$$\left(\left\{ \frac{0.09}{-10}, \frac{0.15}{-7}, \frac{0.32}{-3}, \frac{0.59}{0}, \frac{0.94}{3}, \frac{0.71}{7}, \frac{0.39}{10} \right\}, \left\{ \frac{0.2}{0.75}, \frac{1}{0.8}, \frac{0.4}{0.9} \right\} \right)$$

verilib. Z-ədəd şəklində giriş üçün çıxışı u təyin edək.

Fəsil 4-də verilən alqoritmə uyğun olaraq hər bir qayda $i=1,\dots,3$ (addım 1) üçün Z- giriş $Z(A_{ix}, B_{ix})$ və Z-çıxış $Z(A_{iy}, B_{iy})$ arasında münasibət matrisi hesablayırıq. Məhz, biz qeyri-səlis və ehtimal implikasiyaları tətbiq edirik. Birinci qayda (addım 1.1) üçün alınan qeyri-səlis matris Cədvəl 13-də göstərilmişdir.

Cədvəl 13

Qeyri-səlis münasibət matrisi R1

	0,56	0,81	1	0,87	0,69	0,45	0,32
0,29	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
0,56	1	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,32
1	0,56	0,81	1	0,87	0,69	0,45	0,32
0,68	0,56	0,32	0,32	0,32	0,32	0,45	0,32
0,36	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,32
0,15	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
0,08	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92

Bundan əlavə, ehtimal implikasiya $\{I_{Ci}(p, q): p \in G_{ix}, q \in G_{iy}\}$ tətbiq edilir (Addım 1.2). Əvvəlcə e və u-nun Z-ədədinə əsaslanan qiymətləri üçün ehtimal paylanmalarını çıxarmalıyıq. Z ədədi $Z=(A,B)$ ədədi nəzərə alınmaqla aşağıdakı şərti ödəyən p ehtimal paylanmalarını tapmaq lazımdır: $\sum_i p(x_i)\mu_A(x_i) = b$, burada $b \in B$.

Giriş və çıxışların seçilmiş universium nöqtələri $b \in B$ müvafiq olaraq (0,8, 0,85,0,9) və (0,8,0,85,0,9) təşkil edir.

Məqsəd proqramlaşdırma problemini həll etməklə bu nöqtələr üçün paylanmalar əldə edilir. Birinci və üçüncü qaydalar üzrə əldə edilmiş paylamalar aşağıda verilmişdir (Cədvəl 14,15):

Cədvəl 14

Birinci qayda üçün tapılmış paylanmalar

Giriş üçün paylamalar, p_x			Çıxış üçün paylamalar, p_y		
0,8	0,85	0,9	0,8	0,85	0,9
0	0	0	0,052444903	0	0
0,133333	0,075641	0,017949	0,175624926	0,164 606	0,046413
0,50785	0,567814	0,694231	0,253120487	0,313403	0,448053
0,275965	0,348347	0,287821	0,229063992	0,276772	0,364077
0,082852	0,008198	0	0,18992893	0,217191	0,141458
0	0	0	0,099816762	0,028028	-1E-06
-1E-06	0	0	0	0	0

Üçüncü qayda üçün tapılmış paylamalar

Giriş üçün paylamalar, p_x			Çıxış üçün paylamalar, p_y		
0,75	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8
0	0	0	0,275779388	0,175553	0,052519
0	0	0	0,04048479	0,045768	0,06187
0,123583	0,06589	0	0,067849702	0,096793	0,146992
0,271424	0,309886	0,287821	0,08837339	0,135062	0,210834
0,413968	0,490892	0,694231	-1E-06	0,169435	0,261308
0,191026	0,133332	0,017949	0,225121918	0,186951	0,231467
0	0	0	0,302392813	0,190437	0,03501

Alınmış ehtimal paylanmaları üçün p, q kümülativ ehtimal paylamaları qurulur və $I_{ci}(p, q), p \in G_{ix}, q \in G_{iy}$ ehtimal implikasiyalar tətbiq edilir.

Birinci qayda üçün tapılmış bəzi matrislər aşağıda (Şəkil 3) verilmişdir (kumulyativ ehtimaldan istifadə etməklə):

	0,052445	0,22807	0,48119	0,710254	0,900183	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
0,133333	0,052445	0,866667	0,866667	0,866667	0,866667	0,866667	0,866667
0,641183	0,052445	0,22807	0,48119	0,358817	0,358817	0,358817	0,358817
0,917149	0,052445	0,22807	0,48119	0,710254	0,900183	0,082851	0,082851
1,00000	0,052445	0,22807	0,48119	0,710254	0,900183	1	1
1,00000	0,052445	0,22807	0,48119	0,710254	0,900183	1	1
1	0,052445	0,22807	0,48119	0,710254	0,900183	1	1
	0	0,164606	0,478009	0,754781	0,971972	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
0,075641	0	0,924359	0,924359	0,924359	0,924359	0,924359	0,924359

1	0	0,164606	0,478009	0,754781	0,971972	1	1
1	0	0,164606	0,478009	0,754781	0,971972	1	1
	0,052519	0,114389	0,261381	0,472215	0,733522	0,96499	1
0	1	1	1	1	1	1	1

0,866668	0,052519	0,114389	0,261381	0,472215	0,733522	0,133332	0,133332
1	0,052519	0,114389	0,261381	0,472215	0,733522	0,96499	1
1	0,052519	0,114389	0,261381	0,472215	0,733522	0,96499	1

Şəkil 3. Birinci qayda üçün alınmış matrislər

2-ci addımda bütün $i=1, \dots, 3$ qaydalar üçün hesablanmış qeyri-səlis və ehtimal matrisləri aqreqasiya olunur. 2.1-ci addımına uyğun olaraq, Ali-1 məntiqinin dizyunksiya əməliyyatından istifadə etməklə ümumiləşdirilmiş qeyri-səlis matris tapılır (Cədvəl 16):

$$\vee_{ALI-1}(p, q) = \begin{cases} p & p + q < 1 \\ 1 & p + q = 1 \\ q & p + q > 1 \end{cases}$$

Cədvəl 16

Aqreqasiya olunmuş qeyri-səlis matris

0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
...
0,32	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Bundan əlavə, çəkili cəm metodundan (Tərif 3) istifadə edərək, bütün qaydaların ehtimal matrislərini aqreqasiya edirik (addım 2.2). Nəticələr (Cədvəl 17)-də göstərilmişdir.

Cədvəl 17

Bütün qaydalar üzrə aqreqasiya edilmiş ehtimal matrisləri

0,992473238	0,992473238	0,992473238	0,992473238	0,992473238	0,992473238	0,992473238
0,620184764	0,891592198	0,891592198	0,891592198	0,891592198	0,891592198	0,891592198
...
0,095283049	0,223077958	0,417143989	0,608879896	0,777472565	0,865697794	0,412306073
0,095283049	0,223077958	0,417143989	0,608879896	0,777472565	0,865697794	0,679696207
0,095283049	0,223077958	0,417143989	0,608879896	0,777472565	0,865697794	1
...
0,03501265	0,136532111	0,311757832	0,53332271	0,767565766	0,66943672	0,058410378
0,03501265	0,136532111	0,311757832	0,53332271	0,767565766	0,946655855	1
0,03501265	0,136532111	0,311757832	0,53332271	0,767565766	0,946655855	1

3-cü addımda verilmiş cari giriş $Z(A'_e, B'_e)$ və aqreqasiya edilmiş matrislər $(I_F, \{I_C\})$ üçün kompozisiya əməliyyatı yerinə yetirilməlidir. Z-qiymətli çıxışın A hissəsi 3.1-ci addıma uyğun olaraq hesablanır (Cədvəl 18):

$$\mu_U(u) = \max_u \min[\mu_E(e^c), \mu_R(u, e)]$$

Cədvəl 18

Kompozisiya əməlinin nəticəsi

e1(new input)							
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
...
0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
	0,45	0,45	0,69	0,87	0,94	0,81	0,44
Result	-1	-0,7	-0,3	0	0,3	0,7	1

Beləliklə alınan nəticə : $A_u = \left(\left\{ \frac{0,45}{-1}, \frac{0,45}{-0,7}, \frac{0,69}{-0,3}, \frac{0,87}{0}, \frac{0,94}{0,3}, \frac{0,81}{0,7}, \frac{0,44}{1} \right\} \right)$.

İndi, max-min kompozisiya ilə aqreqasiya edilmiş ehtimal matrisləri və yeni cari girişin ehtimal paylanmasıdan istifadə etməklə (3.2-ci addım, Cədvəl 19) çıxışın (nəticənin) ehtimal paylanmalarını hesabladıq (Cədvəl 20).

Cədvəl 19

Yeni giriş

Paylanmalar			Kumulyativ paylanmalar		
0,7	0,8	0,9	0,7	0,8	0,9
0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000
0,042575	-1E-06	-1E-06	0,0426	0,0000	0,0000
0,116257	0,038604	0	0,1588	0,0386	0,0000
0,199474	0,274913	0,154821	0,3583	0,3135	0,1548
0,334469	0,513237	0,819908	0,6928	0,8268	0,9747
0,264072	0,173247	0,025272	0,9568	1,0000	1,0000
0,043152	0	0	1,0000	1,0000	1,0000

Cədvəl 20

Nəticədə çıxışın hesablanmış ehtimal paylanmaları

P1:	0,187848375	0,11958306	0,14496842	0,137132092	0,075242536	0,130243982	0,204981535
P2:	0,095283049	0,127794909	0,194066031	0,191735907	0,168592669	0,088225228	0,134302206
P3:	0,03501265	0,101519461	0,175225721	0,221564879	0,234243056	0,179090089	0,053344145

Addım 4-də B hissənin hesablanması yerinə yetirilib. Hesablanmış ehtimal paylanmaları (Cədvəl 20) və nəticənin A tərəfindən istifadə

ilə $A_u = \left(\left\{ \frac{0.45}{-1}, \frac{0.45}{-0.7}, \frac{0.69}{-0.3}, \frac{0.87}{0}, \frac{0.94}{0.3}, \frac{0.81}{0.7}, \frac{0.44}{1} \right\} \right)$, müvafiq B hissəsi müəyyən edilmişdir:

$$B_u = \left(\left(\frac{0.1}{0.62409476}, \frac{1}{0.690133396}, \frac{0.3}{0.76382951220365} \right) \right).$$

Beləliklə, $Z(A_u, B_u)$ hesablandı.

Həmçinin bu fəsildə 7 qaydaya əsaslanan idarəetmə sisteminin dizaynı və tətbiqi müzakirə olunur (Ali-4 Z-implikasiyasından istifadə etməklə). Fərz edək ki, Z-idarəetmə sistemində aşağıdakı 7 qayda⁵ iştirak edir:

Əgər e xətası [mənfi böyük (NB), kiçik əminliklə] ONDA u idarəetmə [mənfi böyük (NB), demək olar ki, əminliklə];

Əgər e xətası [mənfi orta (NM), əminliklə] ONDA u idarəetmə [mənfi orta (NM), əminliklə];

Əgər e xətası [mənfi kiçik (NS), çox əminliklə] ONDA idarəetmə u [mənfi kiçik (NS), çox əminliklə];

Əgər e xətası [sıfır (ZE), orta dərəcədə əminliklə], onda idarəetmə u [sıfır, orta dərəcədə əminliklə];

Əgər e xətası [müsbət kiçikdir (PS), əminliklə] ONDA u idarəetmə [müsbət kiçik (PS), orta dərəcədə əminliklə];

Əgər e xətası [müsbət orta (PM), çox əminliklə] ONDA u idarəetmə [müsbət orta (PM), əminliklə];

Əgər e xətası [müsbət böyük (PB), orta dərəcədə əmindirsə] ONDA u idarəetmə [müsbət böyük (PB), əminliklə].

Burada Z-idarəetmə sistemi üçün xətalər e ilə işarə edilir, idarəetmə u kimi təsvir olunur. Qaydalar vasitəsilə mənsubluq funksiyası aşağıdakı kimi təyin edilir:

demək olar ki, əminliklə = $0.3/0.7 + 1/0.73 + 0.2/0.75$;

orta dərəcədə əminliklə = $0.2/0.5 + 1/0.6 + 0.4/0.8$;

əminliklə = $0.1/0.7 + 1/0.8 + 0.3/0.9$;

çox əminliklə = $0.2/0.8 + 1/0.9 + 0.2/1$;

e-nin qiymətləri :

mənfi böyük = $1,00/-10 + 0,73/-7 + 0,34/-3 + 0,20/0 + 0,13/3 + 0,08/7 +$

+0,06/10;

mənfi orta=0,73/-10+1/-7+0,61/-3+0,34/0+0,20/3+0,11/7+0,08/10;

mənfi kiçik=0,34/-10+0,61/-7+1/-3+0,73/0+0,41/3+0,20/7+0,13/10;

sıfır=0,20/-10+0,34/-7+0,73/-3+1/0+0,73/3+0,34/7+0,20/10;

müsbət kiçik=0,13/-10+0,20/-7+0,41/-3+0,73/0+1/3+0,61/7+0,34/10;

müsbət orta=0,08/-10+0,11/-7+0,20/-3+0,34/0+0,61/3+1,00/7+

+0,73/10;

müsbət böyük=0,06/-10+0,08/-7+0,13/-3+0,20/0+0,34/3+0,73/7+

+1,00/10.

u-nun qiymətləri:

mənfi böyük=1,00/-1+0,92/-0,7+0,67/-0,3 + +0,50/0+0,37/0,3+

+0,26/0,7 +0,20/1;

mənfi orta= 0,91/-1+1/-0,7+0,86/-0,3+ +0,67/0+0,5/0,3+0,34/0,7+

+0,26/1;

mənfi kiçik= 0,61/-1+0,86/-0,7+1/-0,3+ +0,92/0+0,74/0,3+0,5/0,7+

+0,37/1;

sıfır= 0,50/-1+0,67/-0,7+0,92/-0,3+ +1,00/0+0,92/0,3+0,67/0,7+

+0,50/1;

orta= 0,37/-1+0,50/-0,7+0,74/-0,3+ +0,92/0+1/0,3+0,86/0,7+0,67/1;

müsbət orta= 0,26/-1+0,34/-0,7+0,50/-0,3+ +0,67/0+0,86/0,3+

+1,00/0,7+0,91/1;

müsbət böyük = 0,20/-1+0,26/-0,7+0,37/-0,3+ +0,50/0+0,67/0,3+

+0,92/0,7 +1,00/1.

Verilmiş 7 qayda (xətalər və idarəetmə) üzrə mənsubiyyət funksiyaları qiymətləndirilmişdir. Məqsəd 7 qayda və ALI-4 implikasiyasından istifadə edərək çıxışı təyin etməkdir.

Yeni giriş: $Z_E =$

$(\mu_E(e_c^E) = 0.11/-10 + 0.17/-7 + 0.34/-3 + 0.61/0 + 0.96/3 + 0.73/7 + 0.41/10,$

əminliklə)

Kompüter simulyasiyasının nəticələri addım-addım 5-ci fəsilə müzakirə olunur. Alınmış nəticə aşağıda verilmişdir. 7 qayda üçün

ehtimal matrisləri yaradılır və aqreqasiya edilmiş ehtimal matrisi müəyyən edilir (Cədvəl 21)

Cədvəl 21

Ümumiləşdirilmiş ehtimal matrisası

.914693	0.92802	1	1	1	1	1
0.738237	0.830239	0.846479	1	1	1	1
...
0.481938	0.611951	0.742803	0.846316	0.924793	0.926892	1
0.364251	0.424492	0.561735	0.607711	0.846115	0.926138	1
0.225287	0.285528	0.422771	0.468746	0.637164	0.761984	1
...
0,203301	0,243951	0,429466	0,567629	0,67483	0,767178	1
0,137032	0,177683	0,363198	0,501361	0,66999	0,762338	1
0,054055	0,094706	0,217379	0,361198	0,529827	0,67839	1

Yeni giriş cədvəl 22-də verilib.

Cədvəl 22

Yeni girişlər və onların kumulyativ ehtimalları

0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9
0	0	0	0	0	0
0.042575	-1E-06	-1E-06	0.042575	-1E-06	-1E-06
0.116257	0.038604	0	0.158832	0.038603	-1E-06
0.199474	0.274913	0.154821	0.358307	0.313516	0.15481959
0.334469	0.513237	0.819908	0.692776	0.826753	0.974727898
0.264072	0.173247	0.025272	0.956848	1	1
0.043152	0	0	1	1	1

Yeni paylanmalardan (kumulyativ paylanmalar), aqreqasiya olunmuş matris və maksimum aqreqasiyadan istifadə edərək üç çıxış paylanması (p_1, p_2, p_3) tapırıq.

Alınan kumulyativ ehtimalları standart ehtimallara çeviririk və nəticələr aşağıdakı kimidir (Cədvəl 23):

Tapılmış ehtimallar

p_1 :	0,358307	0	0	0,099989	0,112701	0,110875	0,318129
p_2 :	0,313516	0	0,109255	0,045975	0,168417	0,124821	0,238016
p_3 :	0,203301	0,04065	0,185515	0,138163	0,107201	0,092348	0,232822

Yeni girişlərdən və aqreqasiya edilmiş ehtimal paylanmalarından istifadə edərək aşağıdakı nəticəni təyin edirik:

$$Z(A,B) = \left(\left\{ \frac{0.61}{-1}, \frac{0.61}{-0.7}, \frac{0.7825}{-0.3}, \frac{0.9325}{0}, \frac{0.96}{0.3}, \frac{0.895625}{0.7}, \frac{0.862188}{1} \right\}, \left\{ \frac{0.1}{0.793588}, \frac{1}{0.798296}, \frac{0.2}{0.809171} \right\} \right)$$

Alınan Z-çıxışın defazzifikasiyası elmi ədəbiyyatdan məlum olan yolla həyata keçirilir.

İŞİN ƏSAS ELMİ NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr aşağıdakılardır:

1. Z-implikasiyanın formal tərif: İlk dəfə Z-implikasiya anlayışı formal olaraq təqdim edilmiş və müəyyən edilmişdir. Bu yeni model ənənəvi qeyri-səlis və ehtimal nəticələrinin məhdudiyətlərini aradan qaldıraraq məlumatın həm qeyri-dəqiqliyi, həm də etibarlılığı ilə düşünməyə imkan verir.
2. Qeyri-səlis implikasiyanın Z-mühitinə genişləndirilməsi: Ali-1 və Ali-4 kimi klassik qeyri-səlis implikasiyalar Z-mühitinə genişləndirilib və qayda-əsaslı sistemlərdə əminlik səviyyələrini özündə birləşdirən daha ifadəli şərti nəticə çıxarış imkanı yaradır.
3. Z-şərti çıxarış alqoritmının işlənməsi: Z-ədədlərə əsaslanan təxmini çıxarış üçün orijinal alqoritm hazırlanmışdır. Bu alqoritm təklif olunan qərar qəbuletmə modelinin hesablama nüvəsini təşkil edir.

4. Kontrollerin layihələndirilməsi: Kontroller Z-şerti məntiqi çıxarış əsasında layihələndirilmişdir. Bu, təklif olunan metodun xüsusilə qeyri-müəyyən və qeyri-dəqiq giriş informasiyası olan idarəetmə sistemlərinə tətbiq oluna biləcəyini nümayiş etdirir.

5. ALi-1, Ali-4 məntiqlərinin Z-qeyri-səlis mühitə genişləndirilməsi: ALi-1 və Ali-4 qeyri-səlis implikasiyaları Z-ədəd əsaslı məntiqi çıxarışda istifadə olunmaq üçün uyğunlaşdırılmış və genişləndirilmişdir ki, bu da onların daha mürəkkəb və qeyri-müəyyən mühitlərdə tətbiq olunmasına imkan verir.

Bu nəticələr həm informasiyanın qeyri-dəqiqliyi, həm də qismən etibarlılığı ilə məntiqi çıxarış tələb edən intellektual sistemlərin gələcəkdə elmi və praktik baxımdan hazırlanması üçün güclü əsas təşkil edir.

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə dərc olunmuşdur:

1. Ahmadov, S.A., Gardashova L.A. Fuzzy Dynamic Programming Approach to Multistage Control of Flash Evaporator System // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Switzerland, -2020. 1095, -p. 101-105.
2. Ahmadov, S.A. Estimated of linguistically described weight of criteria // 11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation”, Tashkent, Uzbekistan, -26-28 November, 2020, 1323,- p.303-308.
3. Ahmadov, S.A. Solution of control problem using implication // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı, Bakı, -28-29 Aprel, 2022, - s. 421-424.
4. Ahmadov, S.A. Z+ - number based alternatives selection in investment problem // *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, -2022. 362, - p.43-50.
5. Ahmadov, S.A. Experimental Selecting Appropriate Fuzzy Implication in Traffic IF-Then Rules // *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, -2023.610,-p.40–49.

6. Ahmadov, S.A. Analysis of Fuzzy Implication // Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions Journal, 2023. 8 p. doi:10.2139/ssrn.4662431
7. Ahmadov, S.A. Fuzzy implication based inference approach. // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların respublika elmi konfransı, Bakı, -4-5 may, 2023, -s. 403-408
8. Əhmədov, Ş.A. Riskin qiymətləndirilməsində qeyri-səlis implikasiyadan istifadə // Ulu öndər Heydər Əliyevin anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunmuş “İqtisadiyyatın idarə edilməsinin müasir problemləri və perspektivləri” mövzusunda respublika elmi konfransı, Bakı, -23-24 noyabr 2023, -s. 122-126
9. Ahmadov, S.A. Probabilistic Reasoning Using the Normal Distribution for Traffic Light Controller // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham, -2024. 1141,- p. 94-103
10. Ahmadov, S.A., Jala I.Ahmadova. Z-number based classification for dental disease // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham, -2025.1472,-p. 101-109.
11. Aliev, R.A., Ahmadov, S.A., Gardashova, L.A., Huseynov, O.H. Extension of Ali-1 logic to Z-situation //Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham, -2025. 1622,-9 p.
12. Ahmadov, S.A. Z-number based clustering of medical dataset // Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, Cham, -2025. 1472, - p. 60-67.
13. Ahmadov, S.A. Z-implication and its application // III International Scientific and Practical Conference on Artificial Intelligence Technologies and Aerospace, Baku, - 2025, - p.3-9
14. Ahmadov, S.A. Z-conditional reasoning in control system // 17th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools, Iași,Romania,- 2025, -12 p. <https://icafs2025.az/>

15. Ahmadov, S.A. Extension fuzzy implication to Z-implication // 17th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools, Iași, Romania, -2025, -11 p. <https://icafs2025.az/>

İddiəçının həmmüəllifliklə dərc edilmiş əsərlərdə şəxsi rolu:

[1]-İdeya müəllifi, məsələnin qoyuluşu, nəticələrin təhlili.

[9]- Məsələnin qoyuluşu və həlli.

[10]-Alqoritmin tərtibi, kompüter simulyasiyası.

Dissertasiyanın müdafiəsi 28 oktyabr 2025-ci il tarixində saat 16:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.48 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010, Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti 20

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 25 sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

Çapa imzalanıb: 23.09.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38761

Tiraj: 50