

## ÝOL HEREKETINI DOLANDYRYŞ ULGAMYNÝŇ IŞ PROSESINI AMATLAŞDYRMAK\*

**Gulmät Penaýew,**

*Türkmenistanyň Inžener-tehniki we ulag kommunikasiýalary  
institutynyň ylym işleri boýunça prorektory,  
ykdysady ylmlaryň kandidaty*

**Röwşen Hydyrow,**

*Türkmenistanyň Inžener-tehniki we ulag  
kommunikasiýalary institutynyň mugallymy*

### Gysgaça beýan

*Ulag akymynyň durnuksyzlygynda we dürlüliginde adaty ýolyşygyň duýdurma wagtlarynyň hemişelik bolmagy awtoulaglaryň hereketinde käbir kynçylyklary döredýär we kähalatlarda ýol ulgamynda dykynlaryň döremegine sebäp bolýar. Şunlukda, çatrygyň geçirijilik ukybyny ýokarlandyrmak bilen birlikde ýola sarp edilýän wagty azaltmak üçin ýolyşygyň dolandyryş ulgamyny kämilleşdirmek zerurlygy ýüze çykýar, ýöne ulag akymynyň durnuksyzlygynda bu dolandyryş ulgamyny kämilleşdirmek anyk däl logikanyň peýdalanylmagynda has-da ýeňilleşdirilýär.*

*Bu iş anyk däl logikanyň esasynda ýol hereketiniň dolandyryş ulgamynyň iş prosesini kämilleşdirmäge gönükdirilendir. Bu dolandyryş ulgamynyň modeli Mamdaniniň algoritimi esasynda düzülip, zerur bolan düzüjileri özünde jemleýän Fuzzy logic Toolbox goşmaça MATLAB programma üpjünçiligi ulanyldy. Anyk däl algoritmiň ulanylmagy çatrykda eglenmeleriň we ulag dykynlarynyň döremeginiň önüni almaga mümkinçilik berer.*

**Esasy sözler:** anyk däl model, ulag akymy, intellektual ulgam, ýol hereketi, anyk däl netije çykaryş ulgamy.

### Giriş

Halkymyzyň ýaşayyş-durmuş şertleriniň barha gowulanmagy bilen ýurdumyzyň ýollarynda awtoulag serişdeleriniň sany hem barha artýar. Ulaglaryň sanynyň artmagy bolsa ýol hereketiniň howpsuzlygyny üpjün etmek we ulag akymalaryny düzgünleşdirmek babatynda alnyp barylýan işleri mundan beýläk hem has-da kämilleşdirmegi talap edýär.

Ulag akymalary nazaryýetinde bar bolan meseleleri fizika we matematika ugurlary boýunça alymlar tarapyndan düýpli öwrenildi we jikme-jik seljerildi. Ulag akymalaryny öwrenmekde köp tejribe toplanylmagyna garamazdan, ulag akymalary ýeterlik öwrenilmedik topara degişli bolup durýar (A. W. Gasnikow, S. L. Klenow, Ý. A. Nurminskiý, Ý. A. Holodow, N. B. Şamraý, 2010). Şeýlelikde, ulag akymalaryny modelirlemek bilen baglanyşykly dürli meseleler wajyp we döwrebap hasaplanýlar.

Ýol ulgamynyň käbir çatryklary gözden geçirilenden soň, ulaglaryň hereket intensiwligi bilen ýolyşygyň ýaşyl duýdurma wagtynyň arasyndaky baglanyşygy sazlamagyň netijeliligini ýokarlandyrmak maksady göz önünde tutuldy. Adaty ýolyşygyň bir siklinde ýaşyl we gyzyl duýdurmalarynyň wagtlarynyň hemişelik bolmagy awtoulaglaryň hereketinde käbir kynçylyklary ýüze çykaryp, hereketiň has artýan sagatlarynda ulag dykynlarynyň döremegine sebäp bolýar. Şonuň üçin anyk däl logikaly ýolyşygyň ulanylmagy bu ýagdaýlaryň döremeginiň önüni almaga mümkinçilik berer. Anyk däl logikaly ýolyşyk – sikl wagty hemişelik ýagdaýynda galýan (akymyň

---

\* Hydyrow R.B. e-mail: [hyd.row@yandex.ru](mailto:hyd.row@yandex.ru)

ýagdaýyna görä üýtgeýän biler), ýöne ýaşyl duýdurma wagty çatryga golaýlaýan ulaglaryň sanyna görä sikkleýin üýtgeýän ulgamdyr.

Bu iş anyk däl logikaly ýolyşygyň modelini gurmaga gönükdirilendir. Meseläni çözmek üçin ýolyşygyň işiniň anyk däl modeli (J. Alam, M. K. Pandey, 2014) üçin zerur bolan Fuzzy logic Toolbox goşmaçany özünde jemleýän MATLAB programmasy ulanyldy\*.

Ýolyşygyň dolandyryş ulgamlary babatynda ylmy-barlag işleri (J. Alam, M. K. Pandey, 2014; C. Rocha, I. Martínez, L. Menchaca, T. Villanueva, T. Berrones, P. Cobos, U. Agundis, 2018; Chiu, 1992; Martin McNeill, E. Thro, 1994; Nakatsuyama., Nagahashi, Nishizuka, 1984; Niittymaki, Pursula, 2000; Pappis, Mamdani, 1977; Shruthi, Vinodha, 2012) aýratyn orny eýeleýär. Anyk däl dolandyryş ulgamyny taslamak üçin ilkinji synanyşyk 70-nji ýyllarda S. P. Pappis we E. H. Mamdani (Pappis, Mamdani, 1977) tarapyndan ýerine ýetirildi. Ondan soň Niittimaki, Kikuçi, Çui we beýleki hünärmenler (Chiu, 1992) ulag akymynyň kadalaşmagy üçin dürli algoritmler we logiki gözegçilik ediji ulgamlary işlenilip düzüldi. Izolirlenen bir zolakly çatrykda signallary dolandyrmak üçin simulýator hem taslanyldy. Edil şol iş (Niittymaki, Pursula, 2000) edebiýatda dowam etdirildi. Bu ýerde anyk däl dolandyryş ulgamynyň ulag hereketiniň köp wagtynda ulag serişdesiniň eglenme wagtyň azalmagyna getirýändigini synlanyldy. Ýoldan geçýän pyýadalar üçin anyk däl logika esaslanýan algoritmi döredildi.

(Nakatsuyama., Nagahashi, Nishizuka, 1984) işde birtaraplaýyn uly ýolda iki ýanaşyk çatrygy dolandyrmak üçin anyk däl logika ulanyldy. Çatryk üçin ýaşyl duýdurma wagtyny uzaltmak ýa-da ýatyrmak üçin anyk däl dolandyryş düzgünleri işlenilip düzüldi. Çatryklarda ulag akymyny dolandyrmak üçin anyk däl logika ilkinji bolup (Chiu, 1992) işde ulanyldy. Bu synanyşykda diňe öwrümleri hasaba almazdan diňe ikitaraplaýyn ýollara baha bermek ýerine ýetirildi.

(Shruthi, Vinodha, 2012) işde simsiz sensory ulanmak bilen ileri tutulýan ýolyşyk dolandyryjysy hödürlenildi. Onda iki çatryk göz önünde tutulyp, «Tiz kömek» ulaglarynyň hereketini amatlaşdyrmak üçin simsiz sensorlary ulanmaga aýratyn ähmiýet berildi. «Tiz kömek» çyrasynyň tizligini we ses tolkunyny kesgitlemek üçin çatryklardan uzakda sensorlar ýerleşdirilýär. Bu sensorlar iki çatrykda ýol hereketi dolandyryş ulgamy bilen simsiz özara baglanyşyp, awtoulaglaryň ugurlaryny kesgitleýär.

(C. Rocha, I. Martínez, L. Menchaca, T. Villanueva, T. Berrones, P. Cobos, U. Agundis, 2018) işde dört zolakly izolirlenen çatrykda ýolyşygyň ýaşyl duýdurma wagtyň dowamlylygynyň bolup biläýjek üýtgemeleri anyk däl netije çykaryş ulgamyny ulanmak arkaly seljerilýär. Baş giriş üýtgeýjili «Mamdani» modeli teklip edilýär, olar:

1. Bu ýoluň her zolagyna gelýän ulaglaryň sany.
2. Öňki faza görä ýolyşygyň bellenen ýaşyl yşyk wagty.
3. Hakyky wagt.
4. Ýolyşygyň dolandyrmaly ýolunyň görnüşi.
5. Anyk däl ulgamyň netije çykaryş pursadyndaky hereketiň ýagdaýy.

Bu giriş üýtgeýjileriniň her biri trapeziýa görnüşli degişlilik funksiýasy bilen aňladylýar.

Modelleşdirmek, simulýasiýa we amatlaşdyrmak boýunça geçirilen ähli gözleglere (J. Alam, M. K. Pandey, 2014; C. Rocha, I. Martínez, L. Menchaca, T. Villanueva, T. Berrones, P. Cobos, U. Agundis, 2018; J. Taplin, 1999; R. Fujimoto, J. Leonard, 2001; T. Smaldone, 2002) garamazdan, ýol inženerçiliginde anyk däl logikanyň köp modelleri heniz hem işlenilip düzülýän döwründe bolup, ýolyşygyň duýdurma wagtyny kesgitlemekde (Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, Sei-Wang Chen, 2002), ýol ýagdaýyny çaklamakda (Heribert Kirschfink, Claire Chadenas, 1998), ulagyň ugry (J. Khan, H. Alnuweiri, 2002), ulag akymynyň paýlanylyşyny (Henry, Liu, Xuegang Ban, Bin Ran, Pitu Mirchandani, 2002), peýdalylygyny ýokarlandyrmakda (Hiroaki Inokuchi, Shogo Kawakami,

\* <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>

2000) we ulag akymynyň göwrüminiň toparlaýyn modelini aňlatmakda (M. Kaczmarek, 1999) ulanylyp bilner, ýöne ýolyşygy dolandyrmak babatynda az peýdalanylýar (Yetis Sazi Murat, Ergun Gedizlioglu, 2001).

**Işiň maksady we usulyýeti.** Bu ylmy işiň maksady häzirki zaman intellektual tehnologiýalary ulanyp, ýol hereketini düzgünleşdirmek meselesiniň has amatly çözümini kesgitlemek bolup durýar. Amatly çözüw düzgünleşdirilýän çatryklaryň geçirijilik ukybyna täsir edip biljek ähli görkezijileri göz önünde tutýar. Çatrygyň adaptiw dolandyryş ulgamlaryny işläp düzmekde garaşma wagty, dykyzlygy we ş.m. ýaly dürli görkezijileri hasaba almak bilen ulgamyň işiniň netijeliligini derňemekde anyk däl logikanyň serişdesi hökmünde MATLAB programmasy hem-de anyk däl model üçin *Mamdani agoritmi* ulanyldy. Işiň dowamynda daşary ýurtly hünärmenleriň ylmy işleri, şeýle hem programma üpjünçiliginiň netijeliligi öwrenildi.

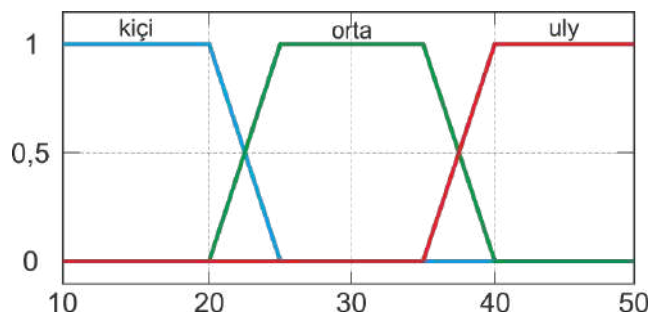
**Anyk däl dolandyryş ulgamy.** *Mamdaniň algoritmi* boýunça anyk däl netije ulgamynyň düzgün binýadyny emele getirmek üçin deslapky giriş we çykyş lingwistik üýtgeýjileri kesgitlemeli (A. W. Leonenkov 2005). Ýolyşygyň işi iki köçedäki awtoulaglaryň sanyna we ýaşyl duýdurmanyň sikldäki wagtyna bagly bolansoň, ýolyşygy dolandyrmagyň anyk däl logikaly modeli üçin üç giriş we bir çykyş lingwistik üýtgeýjileri alýarys, olar: ýaşyl duýdurmanyň wagty  $\beta_1$  – «ýaşyl duýdurmanyň wagty»; demirgazyk köçäniň nobat sikli gutaranyndaky ulag sany  $\beta_2$  – «demirgazyk köçäniň ulag sany»; gündogar köçäniň nobat sikli gutaranyndaky ulag sany  $\beta_3$  – «gündogar köçäniň ulag sany» we ýaşyl duýdurmasynyň üýtgame wagty  $\beta_4$  – «ýaşyl duýdurmanyň üýtgame wagty».

Birinji lingwistik üýtgemäniň term – köplügi hökmünde  $T_1 = \{\langle\text{kiçi}\rangle, \langle\text{aralyk}\rangle, \langle\text{uly}\rangle\}$  köplügi ulanýarys, ikinji we üçünji lingwistik üýtgeýäniň term – köplügi hökmünde  $T_2 = \{\langle\text{gaty kiçi}\rangle, \langle\text{kiçi}\rangle, \langle\text{aralyk}\rangle, \langle\text{uly}\rangle, \langle\text{has uly}\rangle\}$ ;  $T_3 = \{\langle\text{gaty kiçi}\rangle, \langle\text{kiçi}\rangle, \langle\text{aralyk}\rangle, \langle\text{uly}\rangle, \langle\text{has uly}\rangle\}$  köplügi alarys. Çykyş lingwistik üýtgeýäniň term – köplügi hökmünde  $T_4 = \{\langle\text{kiceltmeli}\rangle, \langle\text{üýtgetmeli däl}\rangle, \langle\text{köpeltmeli}\rangle\}$  köplügi alarys.

Giriş we çykyş lingwistik üýtgeýänleriň term-köplüğine baglylykda ýolyşygyň dolandyryş ulgamy üçin anyk däl önümiň 75 düzgüni kesgitlenildi. Mysal hökmünde düzgünler binýadyndan başsisi getirildi\*:

- 1) If ( $\beta_1$  is uly) and ( $\beta_2$  is gatykici) and ( $\beta_3$  is uly) then ( $\beta_4$  is kiceltmeli).
- 2) If ( $\beta_1$  is uly) and ( $\beta_2$  is kici) and ( $\beta_3$  is uly) then ( $\beta_4$  is kiceltmeli).
- 3) If ( $\beta_1$  is uly) and ( $\beta_2$  is gatykici) and ( $\beta_3$  is uly) then ( $\beta_4$  is kiceltmeli).
- 4) If ( $\beta_1$  is aralyk) and ( $\beta_2$  is hasuly) and ( $\beta_3$  is hasuly) then ( $\beta_4$  is uytgetmelidal).
- 5) If ( $\beta_1$  is kici) and ( $\beta_2$  is uly) and ( $\beta_3$  is kici) then ( $\beta_4$  is kopeltmeli).

$\beta_1$  – üýtgeýjiniň ululyklary (*1-nji surat*): kiçi – [0 0 20 25], (10-25 sek); aralyk – [20 25 35 40], (20-40 sek); uly – [35 40 50 50], (35-50 sek).



1-nji surat. Birinji giriş üýtgeýjisiniň degişlilik funksiýasy

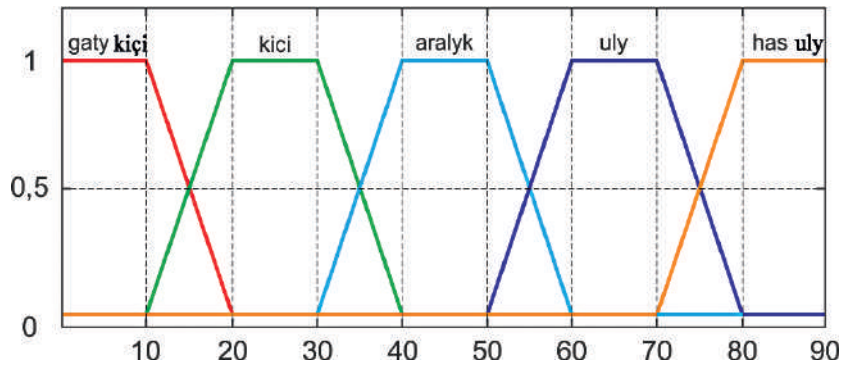
\* <https://fuzzymodel.wordpress.com/цветофор/>

Termleriň anyk ululyklarynyň deňişlilik derejesi deňişlilik funksiýalary arkaly kesgitlenilýär. Bu ýagdaýda birinji giriş lingwistik üýtgeýjiniň deňişlilik funksiýasy trapesiýa görnüşindedir we analitik görnüşde şeýle beýan edilýär (A. W. Leonenkow, 2005):

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}. \quad (1)$$

Bu ýerde  $a, b, c, d - a \leq b \leq c \leq d$  gatnaşyk boýunça tertipleşen erkin san.

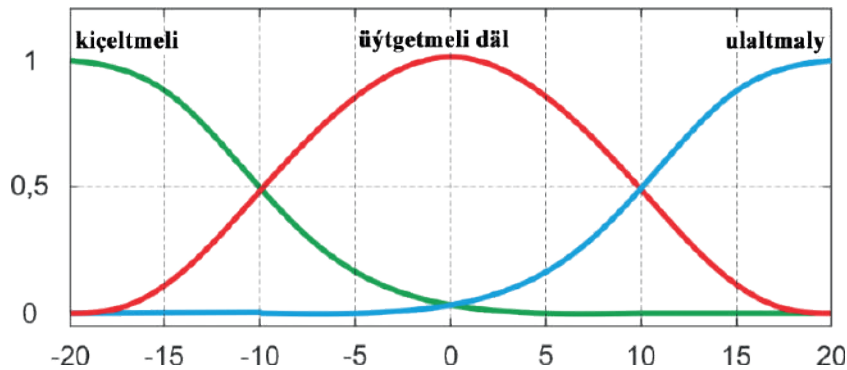
Edil şonuň ýaly galan iki  $\beta_2$  we  $\beta_3$  üýtgeýjiniň ululyklary (2-nji surat): gaty kiçi – [0 0 10 20], (0-20); kiçi – [10 20 30 40], (10 – 40); aralyk – [30 40 50 60], (30-60); uly – [50 60 70 80], (50 – 80); has uly – [70 80 90 90], (70 – 90).



2-nji surat. Ikinji we üçünji giriş üýtgeýjileriniň deňişlilik funksiýasy

Bu ýerde-de ikinji we üçünji giriş lingwistik üýtgeýjileriň deňişlilik funksiýalary trapesiýa görnüşindedir we analitik görnüşde (1) formula arkaly beýan edilýär.

Ýolyşygyň işiniň düýp manysy ýaşyl duýdurmanyň wagtyny üýtgetmek bolany üçin, bu üýtgemäniň ululygyny çykyş parametri hökmünde alýarys we bu ýagdaý üçin şertler (3-nji surat) (Ý. S. Wentsel, 1969): kiçeltmeli – [8,5 – 20], (– 20 – 0 sek); üýtgetmeli däl – [8,5 0], (– 15 – 15 sek); köpeltmeli – [8,5 20], (0 – 20 sek).



3-nji surat. Çykyş üýtgeýjisiniň deňişlilik funksiýasy

Değişlilik funksiýalary Gaussyň görnüşindedir we analitik görnüşde şeýle beýan edilýär (A. W. Leonenkow, 2005):

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}. \quad (2)$$

Bu ýerde  $\sigma$  we  $c$  – san parametrleri.

*Mamdaniniň algoritmi* boýunça anyk däl netije ulgamynyň düzgünler binýady we fazzifikasiýa tapgyrlary ýerine ýetirilenden soň, programma indiki tapgyrlaryny aşakdaky yzygiderlilik boýunça ýerine ýetirýär (A. W. Leonenkow, 2005).

Önümiň anyk däl düzgünleriniň netijeleriniň aktiwleşdirmesini indiki aňlatma boýunça ýerine ýetirýär:

$$\mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}. \quad (3)$$

Bu ýerde  $\mu(y)$  – terma değişlilik funksiýasy.

Önümiň anyk däl düzgünleriniň netijeleriniň akkumulýasiýasyny (birleşdirmesini) indiki aňlatma boýunça ýerine ýetirýär:

$$\mu_D(x) = \max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (4)$$

Bu ýerde  $\mu_A(x)$  we  $\mu_B(x)$  – A we B köplüginin değişlilik funksiýasy.

Çykyş üýtgeýjileriniň defazzifikasiýasyny aşakdaky üç usul boýunça ýerine ýetirýär (A. W. Leonenkow, 2005):

Agyrlyk merkezi usuly boýunça:

$$y = \frac{\int_{Min}^{Max} x \mu(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x) dx}. \quad (5)$$

Bu ýerde  $y$  – defazzifikasiýanyň netijesi;  $x$  – çykyş lingwistik üýtgeýjä baglylykdaky üýtgeýji;  $\mu(x)$  – anyk däl köplüğe değişlilik funksiýasy.

Ýekenokatly köplük üçin agyrlyk merkezi usuly boýunça:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}. \quad (6)$$

Bu ýerde  $n$  – ýekenokatly anyk däl köplügin sany.

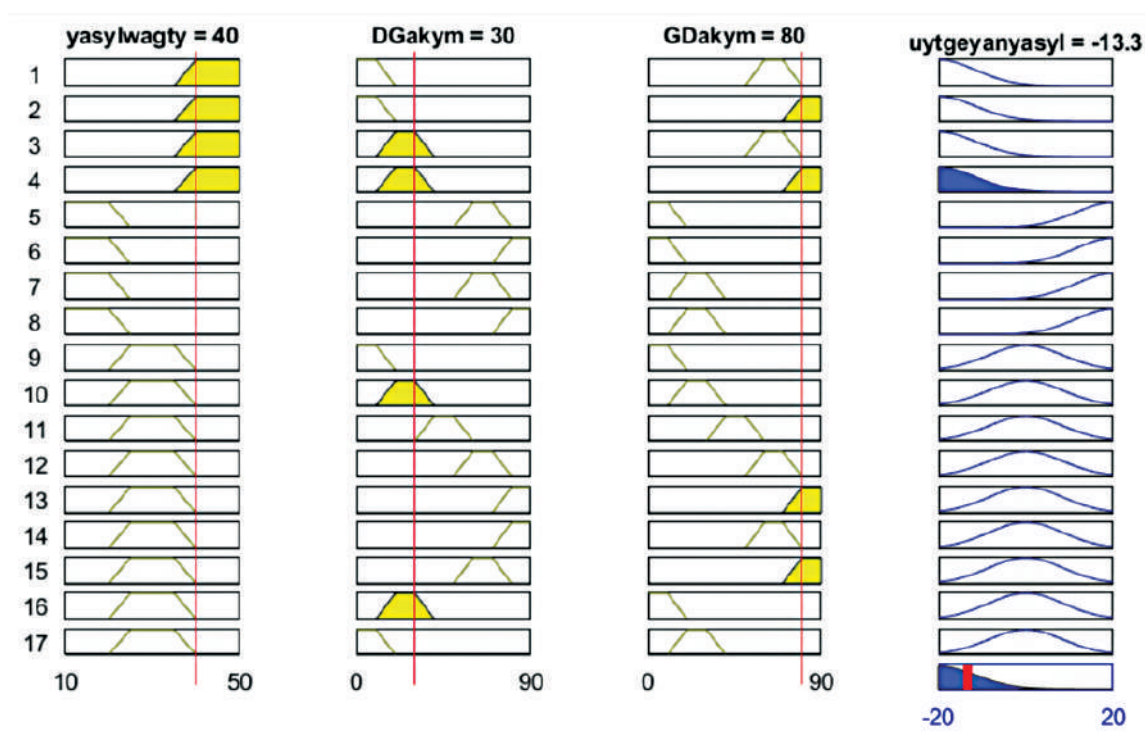
Meýdan merkezi usuly boýunça:

$$\int_{Min}^u \mu(x) dx = \int_u^{Max} \mu(x) dx. \quad (7)$$

Defazzifikasiýa tapgyry algoritmiň soňudyr.

Mysal hökmünde (*4-nji surat*) anyk däl logikaly ýolyşygyň signal dolandyryjysynyň giriş lingwistik üýtgeýjileri:  $\beta_1 = 40$  – ýaşyl duýdurma wagty;  $\beta_2 = 30$  – demirgazyk köçedäki awtoulaglaryň sany;  $\beta_3 = 80$  – gündogar köçedäki awtoulaglaryň sany esasynda 4-nji suratda hasaplamalaryň netijesi getirilýär. Şunlukda, anyk däl netije  $\beta_4 = -13,3$  sek boldy. Onda ýaşyl duýdurmanyň wagty 26,7 sek bolar.

Anyk däl logikaly ýolyşygyň iş prinsipi: ýolyşyk demirgazyk we günorta köçelerdäki datçikleriň kömegi bilen awtoulaglaryň sany barada maglumat toplaýar. Bu maglumatlary görkezilen değişlilik funksiýalaryna laýyklykda anyk däl görnüşe öwürýär, soňra bolsa programmanyň içinde gaýtadan işlenilýär, ýaşyl duýdurma wagtynyň üýtgemeginiň alnan bahasy defazzifikasiýalaşdyrylýar (aýdyň görnüşe geçirilýär) we ýolyşygyň signal dolandyryjysyna iberilýär. Bu signala görä, indiki siklde ýolyşygyň ýaşyl duýdurma wagty başgaça bolar.



4-nji surat. Anyk däl netijäniň işleri ýerine ýetirilenden soň grafiki interfeýsde düzgünleriň programmasy

**Netije.** Ýaşyl duýdurmanyň wagtyna demirgazyk we gündogar köçäniň ulag sanyna baglylykda we ýaşyl duýdurmanyň üýtgeме wagtyna laýyklykda anyk däl önümiň 75 düzgüni (bu düzgün çatrygyň çylşyrymlygyna görä we ulag akymynyň intensiwligine görä köpeldilip ýa-da azaldylyp bilner) kesgitlenildi we *Mamdaniniň algoritmi* boýunça ýolyşygyň anyk däl modeli düzüldi.

Awtoulaglaryň käbiri ýaşyl duýdurma wagtynda geçmegi başaýar, galanlary gyzyl duýdurmanyň gutarmagyna garaşyp çatrykda durýar. Bir siklden soň ýolyşygyň oňünde duran şol awtoulaglaryň hemmesi hyzmat edilmedik hasaplanýar. Bu görkeziji ulgamyň netijeliligi bolup, ýolyşygyň berlen mukdardaky sikleri üçin hyzmat edilmedik ulaglaryň ortaça sany alynýar. Şeýlelikde, ulgamyň netijelilik görkezijisini peseltmegiň we ulag akymyny düzgünleşdirmegiň anyk däl logikaly awtomatlaşdyrylan usuly saýlanyldy.

## EDEBIÝAT

1. Alam J., Pandey M. K. «Development of intelligent traffic light system based on congestion estimation using fuzzy logic» IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) e-ISSN: 2278-0661, p- ISSN: 2278-8727 Volume 16, Issue 3, Ver. VI (May-Jun. 2014), PP 36-44.
2. Castán Rocha, J.A., Ibarra Martínez S., Laria Menchaca J., Terán Villanueva, J.D., Treviño Berrones, M.G., Pérez Cobos, J. and Uribe Agundis, D. (2018) Fuzzy Rules to Improve Traffic Light Decisions in Urban Roads. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 10, 36-45.
3. Chiu S. «Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic». Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 1992, pp.98-107.
4. Henry X. Liu, Xuegang Ban, Bin Ran, and Pitu Mirchandani, A Formulation and Solution Algorithm for a Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, U.S.A, 2002.

5. Heribert Kirschfink, and Claire Chadenas, Traffic Situation Prediction Applying Pattern Matching and Fuzzy Classification, Germany, 1998.
6. Hiroaki Inokuchi, and Shogo Kawakami, Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model, Kanasai University, 2000.
7. John Taplin, Simulation Models of Traffic Flow. Department of Information Management and Marketing, University of Western Australia, 1999.
8. Junaid A. Khan, and Hussein Alnuweiri, A Traffic Engineered Routing Algorithm Based on Fuzzy Logic, Department of Electrical and Computer Engineering, University of BC, Vancouver, Canada, 2002.
9. Mariusz Kaczmarek, Fuzzy Group Model of Traffic Flow, Institute of Computing Science, Poznań University of Technology, 1999.
10. Martin McNeill F., Ellen Thro. Fuzzy Logic. A Practical Approach Boston: Academic Press, 1994.
11. Nakatsuyama M., Nagahashi H., and Nishizuka N. «Fuzzy Logic Phase Controller for Traffic Junctions in the One-Way Arterial Road». Proceedings of the IFAC Ninth Triennial World Congress, 1984, pp. 2865-2870.
12. Niittymaki J., and Pursula M. «Signal Control Using Fuzzy Logic. Fuzzy Sets and Systems», Vol. 116, 2000, pp. 11-22.
13. Pappis C.P., and E. H. Mamdani. «A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction». IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-7, No. 10, October 1977, pp. 707-717.
14. Richard Fujimoto, and John Leonard, Grand Challenges in Modeling and Simulating Urban Transportation Systems, Georgia Institute of Technology, 2001.
15. Shruthi K.R. and Vinodha K. «Priority based traffic lights controller using wireless sensor networks» International Journal of Electronics Signals and Systems (IJESS) ISSN: 2231- 5969, Vol-1 Iss-4, 2012 PP 58-61.
16. Tony Smaldone, Traffic Light Simulation: A Study into how Long it Takes Vehicles Stopped at a Red Light to go and to Cross the Light After it Turns Green, Rutgers University, 2001.
17. Yetis Sazi Murat, and Ergun Gedizlioglu, A New Approach for Fuzzy Traffic Signal Control, Pamukkale University & Istanbul Technical University, Turkey, 2001.
18. Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, and Sei-Wang Chen, A Vision-based Traffic Light Detection System at Intersections, Journal of Taiwan National University: Mathematics, Science & Technology, Vol. 47, No. 1, 2002, 67-86.
19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М., 1969.
20. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б Введение в математическое моделирование транспортных потоков. Учебное пособие – М.: МФТИ, 2010.
21. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005.
22. <https://fuzzymodel.wordpress.com/светофор/>
23. <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>