

Александар Ј. СПАСИЋ
Педагошки факултет у Врању
Универзитета у Нишу

УДК 519.1:378
- прегледни научни рад-
DOI: 10.5937/gufv2401023S

МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ГЕНЕРАЛИЗОВАНИХ МРЕЖА У ОБРАЗОВАЊУ: ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ И НЕКЕ ПРАКТИЧНЕ РЕАЛИЗАЦИЈЕ

Сажетак: Генерализоване мреже (*Generalized Nets, GNs*) јесу апстрактни математички објекти намењени моделовању, симулацији, оптимизацији и контроли реалних процеса. По својој суштини представљају суперструктуру Петријевих мрежа, која се користи за моделовање различитих процеса у индустрији, науци, медицини и многим другим областима. Тема овог истраживања су могућности примене генерализованих мрежа у изради модела одређених образовних процеса и система који те процесе потпомажу. Методолошки оквир за ово истраживање заснован је на општем методу квалитативне анализе и препорукама за истраживања са прегледом литературе. Као метод рада усвојен је приступ претраге релевантних база научних радова у области примене генерализованих мрежа у моделовању система и процеса у образовању. Основна питања у овом истраживању односе се на следеће: које су оквирне теме у пронађеним публикацијама које се тичу генерализованих мрежа и образовања; колико и који од пронађених мрежних модела припадају којој тематској области; који типови и карактеристике генерализованих мрежа су примењени у овим моделима; и које су основне карактеристике самих модела (као што су број транзиција и број места од којих се састоји њихова статичка структура).

Резултат истраживања показује да је од укупно 150 пронађених радова у базама *WoS*, *Scopus*, *IEEE Xplore* и *Google Scholar*, 36 испунило укључујуће критеријуме; тих 36 радова разврстано је по категоријама и детаљно анализирано у дискусији. Закључак истраживања јесте да је примена генерализованих мрежа у образовању значајно заступљена у научним публикацијама, при чему се генерализоване мреже у највећој мери примењују у процесима и системима везаним за високо образовање. Ово се објашњава позицијама и искуствима самих аутора радова који су универзитетски наставници.

Кључне речи: математичко моделовање процеса, генерализоване мреже, интуиционистички фази скупови.

* aleksandar.spasic@pfvr.ni.ac.rs

Увод

Почетак моделовања помоћу генерализованих мрежа везује се за 1982. годину, када је бугарски академик Красимир Т. Атанасов дефинисао појам *генерализована мрежа* (*обобщена мрежа* на бугарском, односно *generalized net* на енглеском језику) и развој идеје приказао (у Atanassov, 1984a/b; Atanassov, 1986; Atanassov, 1987; Atanassov, 1988) са циљем генерализације свих до тада познатих проширења концепта Петријевих мрежа.

Генерализоване мреже су настале као логичан наставак намера да се створе алати погодни за моделовање првенствено паралелних процеса, чему су Петријеве мреже иницијално и биле намењене.

Генерализоване мреже су апстрактни математички објекти намењени моделовању, симулацији, оптимизацији и контроли реалних процеса. Представљају екстензију Петријевих мрежа, и то такву да омогућавају опис временских параметара, логичких стања, капацитета појединачних компоненти и историју моделованих процеса.

Као алат за моделовање различитих процеса у индустрији, медицини, мултимедији, телекомуникацијама, системима за надзор и безбедност и многим другим областима, генерализоване мреже су, према ауторовим сазнањима, употребљене у више од 1 000 пројеката, а прегледи објављених публикација које приказују неке од ових модела дати су у прегледним истраживањима (Alexieva et al, 2007; Radeva, 2002).

Могућности примене генерализованих мрежа у изради модела одређених образовних процеса и система који те процесе потпомажу тема је овог истраживања. Иако је број модела везаних за образовање мањи него, на пример, за индустрију, претпоставка која је претходила овом истраживању јесте да постоји и одређени број значајних публикација које могу да прикажу могуће примене генерализованих мрежа у образовању.

Интересовање аутора за генерализоване мреже и могућности њихове примене у различитим моделима, првенствено у онима који се користе за опис система стереоскопске мултимедије, изражено је у публикацијама (Spasić, 2013), (Spasić & Janković, 2013) и (Spasic et al, 2022).

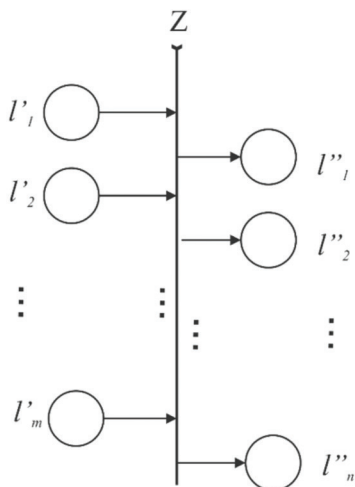
Теорија генерализованих мрежа

Уопштено говорећи, генерализована мрежа је бипартитни усмерени граф, састављен од скупа чворова који се зову транзиције или прелази и скупа чворова који се зову места или позиције. И једна и друга врста чворова служе за дефинисање статичке природе и структуре моделованог процеса.

Приказ динамичке природе процеса представља се помоћу скупа језгара (токена) који представљају основне информационе јединице, иницијализовани су неком почетном вредношћу и крећу се од улазних до излазних места у транзицијама модела, притом мењајући своје вредности. Другим речима, језгра су инстанце-јединке моделованог процеса, које могу да памте

историју стања процеса, и то је прва значајна разлика између генерализованих и Петријевих мрежа. Језгра, њихове карактеристичне функције које им омогућавају трансформације, као и услови преласка кроз транзицију, дефинисани у индексној матрици транзиционих предиката, одређују логику моделованог процеса.

Друга важна разлика између обичних Петријевих мрежа и генерализованих мрежа је однос између места и транзиција, који је карактеристичан за генерализоване мреже. Сама транзиција има сложенију природу, и састоји се од m улазних и n излазних места, где је $m, n \geq 1$ (слика 1).



Слика 1. Изглед графичке структуре транзиције

Места у мрежи су означена кружићем $\bigcirc$, док сваки од делова мреже који изгледа као онај на слици 1 представља графичку структуру једног прелаз (транзиције) у генерализованој мрежи.

Свако место у генерализованој мрежи има највише једну улазну и највише једну излазну грану. Места која немају улазне гране зову се улазна места (места l' на слици 1). Места која немају излазне гране зову се излазна места (места l'').

Улазна места су увек позиционирана са леве стране транзиције, док се излазна места увек налазе са десне стране транзиције.

Када језгра уђу у улазно место, оно постаје потенцијално окинуто, а у тренутку трансфера језгра кроз транзицију ка излазним местима, место је окинуто.

Транзиција постаје активна у одређеном дискретном тренутку време-на и остаје активна све до следећег предефинисаног тренутка.

У садашњем облику генерализованих мрежа време има дискретни карактер, то јест повећава се у дискретним корацима (интервалима). Стање мреже се посматра у сваком актуелном тренутку.

Могућности практичне употребе генерализованих мрежа су различите, а најчешће јесу:

- опис и моделовање реалних процеса,
- симулација процеса и
- контрола процеса.

Сваки прелаз (транзиција) описан је помоћу седморке:

$$Z = \langle L', L'', t_1, t_2, r, M, \square \rangle$$

где су:

- L' и L'' коначни, непразни скупови места, и то улазних и излазних места, респективно. За транзицију са слике 1 је тако:

$$L' = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_m\} \text{ и } L'' = \{l''_1, l''_2, \dots, l''_n\};$$

- t_1 је актуелни тренутак окидања транзиције;
- t_2 је тренутна вредност трајања активног стања транзиције;
- r је транзициони услов који одређује која језгра ће бити пренета од улазних места ка излазним местима транзиције. Параметар p се дефинише у облику индексне матрице:

$$r = \begin{array}{c|cccc} & l''_1 & \dots & l''_j & \dots & l''_n \\ \hline l'_1 & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ l'_i & r_{ij}; & & & & \\ \vdots & (r_{ij} - \text{предикат}) & & & & \\ l'_m & & & & & \end{array} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

r_{ij} је предикат помоћу кога се изражавају услови за трансфер језгра са i -тог улазног места на j -то излазно место. Уколико је истинитосна вредност предиката r_{ij} „тачно“, односно „true“, тада језгро може да се пренесе са i -тог улазног места ка j -том излазном месту, у супротном, трансфер није могућ;

- M је индексна матрица капацитета транзиционих грана:

$$M = \begin{array}{c|cccc} & l''_1 & \dots & l''_j & \dots & l''_n \\ \hline l'_1 & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ l'_i & m_{ij}; & & & & \\ \vdots & (m_{ij} \geq 0, \text{ природни број или } \infty) & & & & \\ l'_m & & & & & \end{array} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

- $\square$ је тип транзиције и представља објекат чији је облик сличан Буловом изразу. Као променљиве садржи симболе улазних места транзиције и Булове везнике $\wedge$ и $\vee$ помоћу којих се дефинишу следећа стања:
 - $\wedge(l'_{i_1}, l'_{i_2}, \dots, l'_{i_u})$ – свако место $l'_{i_1}, l'_{i_2}, \dots, l'_{i_u}$ мора да садржи најмање једно језгро и
 - $\vee(l'_{i_1}, l'_{i_2}, \dots, l'_{i_u})$ – мора да постоји најмање једно језгро у скупу места $l'_{i_1}, l'_{i_2}, \dots, l'_{i_u}$, где је $\{l'_{i_1}, l'_{i_2}, \dots, l'_{i_u}\} \subset L'$.

Вредност типа транзиције се израчунава као Булов израз и када је израз „тачан“, транзиција постаје активна).

Уређена четворка

$$E = \langle \langle A, \pi_A, \pi_L, c, f, \theta_1, \theta_2 \rangle, \langle K, \pi_K, \theta_K \rangle, \langle T, t^0, t^* \rangle, \langle X, \Phi, b \rangle \rangle$$

се назива *генерализованом мрежом* ако је:

- A скуп транзиција;
- π_A функција која одређује приоритете транзиција, тј. $\pi_A: A \rightarrow \mathcal{N}$;
- π_L функција која одређује приоритете места, тј. $\pi_L: L \rightarrow \mathcal{N}$;
- c функција која одређује капацитете места, тј. $c: L \rightarrow \mathcal{N}$, где је

$$L = pr_1 A \cup pr_2 A$$

Скуп L је, очигледно, скуп свих транзиција у генерализованој мрежи;

- f функција која израчунава истинитосне вредности предиката услова транзиција. Функција f добија вредности „тачно“ или „нетачно“ или вредности из скупа $\{0,1\}$. Нека је $\mathcal{P}$ скуп свих предиката који се користе у датом моделу. Функција f се тада дефинише као $f: \mathcal{P} \rightarrow \{0,1\}$;
- θ_1 функција која одређује следећи тренутак у коме дата транзиција Z може бити активирана, односно:

$$\theta_1(t) = t', t' \in [T, T + t^*] \text{ и } t \leq t'$$

Вредност ове функције се израчунава у тренутку када транзиција завршава своје функционисање;

- θ_2 функција која одређује трајање активног стања транзиције Z , односно:

$$\theta_2(t) = t', t \in [T, T + t^*] \text{ и } t' \geq 0$$

Вредност ове функције се израчунава у тренутку када транзиција започиње своје функционисање;

- K скуп свих језгара генерализоване мреже.
Скуп K се може приказати у облику:

$$K = \bigcup_{l \in Q^I} K_l$$

где је K_l скуп свих језгара која уђу у мрежу у месту l , а Q^I скуп свих улазних места мреже;

- π_K функција која одређује приоритете језгара, тј. $\pi_K: K \rightarrow N$;
- θ_K функција која одређује тренутак када језгро α може да уђе у мрежу, односно:

$$\theta_K(\alpha) = t, \alpha \in K \text{ и } t \in [T, T + t^*];$$

- T тренутак у коме генерализована мрежа започиње своје функционисање. Овај тренутак се одређује у односу на глобалну временску скалу;

- t^0 елементарни временски корак;
- t^* трајање функционисања генерализоване мреже;
- X функција која додељује иницијалне вредности (карактеристике) сваком језгру које улази преко улазног места у мрежу;
- Φ карактеристична функција која додељује нове карактеристике сваком језгру приликом проласка од улазног до излазног места дате транзиције;
- b функција која даје максимални број карактеристика које одређено језгро може да прими, тј. $b: K \rightarrow N$.

Тако, на пример, ако је за неко језгро α , $b(\alpha) = 1$, то значи да језгро улази у мрежу са својом иницијалном карактеристиком и њу задржава до краја функционисања мреже. Уколико је $b(\alpha) = \infty$, језгро α ће задржати све своје карактеристике које је стекло крећући се кроз мрежу. Уколико је $b(\alpha) = k < \infty$, језгро α ће задржати последњих k карактеристика, док ће све карактеристике старије од k бити „заборављене“.

Метод

Методолошки оквир за ово истраживање заснован је на општем методу квалитативне анализе и препорукама за истраживања са прегледом литературе (Creswell & Creswell, 2023: 61).

Као метод рада усвојен је приступ претраге релевантних база научних радова у области примене генерализованих мрежа у моделовању система и процеса у образовању.

Основна питања у овом истраживању су следећа:

1. Које су оквирне теме у пронађеним публикацијама које се односе на генерализоване мреже и образовање, а затим и колико и који од пронађених мрежних модела се налазе у којој од тематских области?

2. Који су типови и карактеристике генерализованих мрежа примењени у овим моделима?
3. Које су основне карактеристике самих модела (број транзиција и број места од којих се статичка структура модела састоји)?

Претраге радова су обављене у шест значајних база научних публикација: ERIC, EBSCO, Web of Science (WoS), SCOPUS, IEEE Xplore и Google Scholar. У базама ERIC и EBSCO нису пронађени резултати који су релевантни за ово истраживање. Истраживање укључује публикације објављене на конференцијама, у релевантним научним часописима и у књигама које могу бити и тематски зборници.

Истраживање укључује само публикације које су објављене на енглеском језику, при чему нема ограничења када је у питању временски оквир и актуелност радова. И поред тога што је оригинални концепт генерализованих мрежа, као и највећи број аутора пронађених публикација са говорног подручја бугарског језика, поновљене претраге у базама научних публикација нису дале релевантне резултате на овом језику, те су стрингови за претрагу на бугарском искључени из овог истраживања.

У свим одабраним базама коришћен је следећи стринг за претрагу: *Generalized Net* AND (education OR teaching OR learning OR pedagogy OR university OR school).

Укључујући критеријум по коме је вршен избор публикације јесте да се у публикацији успоставља било каква веза између образовања и генерализованих мрежа. Искључујући критеријум јесте да је публикација у области примене генерализованих мрежа у неком другом пољу које није у директној вези са образовањем, попут медицине, индустрије, мултимедије или машинског учења, где се кључна реч „учење“ такође може пронаћи.

Приликом тематске анализе пронађених публикација коришћен је аналитички оквир „отвореног кодирања“ (Creswell & Creswell, 2023:228), уз претпоставку да разнородност тема може бити велика, те да је неопходно груписање тематски сродних публикација. Када је у питању одређивање врсте и типа генерализованих мрежа које се описују у одређеној публикацији, поред примене стандардних генерализованих мрежа, појављују се и радови у којима су мреже допуњене применом интуиционистичких фази скупова (Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS) (Atanassov, 1999; Atanassov, 2012).

Како би се одговорило на истраживачка питања, било је неопходно:

1. Категорисати радове према темама и врсти мреже.

Основне тематске категорије су:

- Квалитет учења/подучавања;
 - Организација и функционисање установе;
 - Уређење виртуелног окружења за учење/подучавање;
 - Остало, неклаификовано на другом месту.
2. Одредити врсту примењеног мрежног решења, односно да ли се ради о стандардној генерализованој мрежи или је истраживање допуњено и применом интуиционистичких фази скупова.
 3. Анализирати број транзиција и места у мрежи која се користи у предложеном моделу.

Резултати

Укупно 150 научних радова је пронађено у базама WoS (31), Scopus (25), IEEEExplore (58) и Google Scholar (36). Од укупног броја пронађених, 86 радова је уклоњено на основу искључујућих критеријума, што је довело до укупно 64 рада који се могу овде анализирати. Од тога је 28 студија искључено јер су дупликати, односно понављају се у различитим базама. Од 36 преосталих студија које чине ово истраживање, 5 није било могуће преузети због недостатка отвореног приступа публикацији, те су оне анализиране само на основу сажетака.

Резултати дистрибуције пронађених радова према тематским областима у које су сврстане приказани су у табели 1.

Табела 1. Дистрибуција пронађених радова према тематским категоријама

Тематска категорија	Број радова	Референце
Квалитет учења/ подучавања	13	(Hadzhikoleva et al., 2019; Hadzhikoleva et al., 2020; Hristova & Sotirova, 2008; Orozova & Krawczak, 2015; Shannon et al., 2005; Shannon et al., 2006; Shannon et al., 2009; Shannon et al., 2010 Jan; Shannon et al., 2010; Shannon et al., 2020; Sotirova et al., 2009 Dec; Sotirova et al., 2016; Sotirova et al., 2018)
Организација и функционисање установе	11	(Dimitrakiev et al., 2010; Langova-Orozova et al, 2005; Langova-Orozova et al, 2005b; Shannon et al., 2004; Shannon et al., 2003 Sep; Shannon et al., 2006 July; Shannon et al., 2008 July; Shannon et al., 2010; Shannon et al., 2010 May; Shannon et al., 2018; Tasseva, 2006)
Уређење виртуелног окружења за учење/ подучавање	10	(Orozova & Atanasov, 2012; Orozova et al., 2016; Orozova & Ivanov, 2018; Orozova & Jecheva, 2010; Orozova & Sotirova, 2014; Shannon et al., 2004; Shannon et al., 2008 July; Shannon et al., 2008 Sep; Shannon et al., 2012; Taseva et al., 2003)
Остало	2	(Shannon et al., 2012; Todorov et al., 2022)

Дискусија

Резултати који су добијени и систематизовани у табели 1 анализирани су према основним истраживачким питањима, наведеним у методолошком оквиру овог рада. Сви радови, разврстани у 4 тематске категорије, анализирају се према типу и врсти предложеног мрежног решења, тј. у зависности од тога да ли се у раду користе стандардне генерализоване мреже или је примењено решење засновано и на примени интуиционистичких фази скупова. Поред тога, у сврху приказа величине и сложености самог модела који је у раду приказан, даје се и податак о броју транзиција и места од којих се генерализована мрежа састоји, као и наративно објашњење могуће примене модела који је приказан у раду.

Укупно 13 радова пронађено је у оквиру ове категорије. Они су објављени у временском интервалу од 2005. до 2020. године.

Обезбеђивање квалитета подучавања у високом образовању је веома сложена активност. Укључује низ процеса који се односе на оцењивање различитих образовних објеката и предмета који се вреднују различитим методологијама. Поред тога, е-учење укључује широк спектар виртуелних ресурса за учење и активности које захтевају индивидуални приступ. Софтверска помоћ у активностима обезбеђивања квалитета повећава њихову ефикасност, штеди време и минимизира вероватноћу прављења грешака. У чланку (Hadzhikoleva et al., 2019) представљен је генерализовани мрежни модел за обезбеђивање квалитета, који се састоји од 5 транзиција и 22 места. Овај модел нуди флексибилан приступ моделовању различитих објеката и процеса за (само)вредновање и акредитацију у образовању. Циљ модела је да понуди различите опције за имплементацију софтверских апликација.

Процедуре обезбеђивања квалитета су сложене и захтевају велику количину информација које високошколско особље треба да прикупи. Употреба централизованог софтверског система за екстерну евалуацију квалитета може објединити процедуре акредитације и помоћи у њиховој оптимизацији. Рад (Hadzhikoleva et al., 2020) предлаже формални генерализовани мрежни модел централизованог система за обезбеђивање квалитета у високом образовању. Није позната детаљна структура модела.

У раду (Hristova & Sotirova, 2008) приказана је алгоритмизација мултифакторске методе, која се користи за процену квалитета наставе на универзитетима. Методе и процедуре оцењивања предложене у раду имају за циљ да оцењивање учине објективнијим. Генерализована мрежа која се користи за описивање процеса алгоритмизације у овом раду је стандардна ГН мрежа са 9 транзиција које садрже укупно 20 места.

У раду (Orozova & Krawczak, 2015) разматрају се могућности које пружа учење засновано на пројектном приступу. Генерализовани модел има 11 транзиција и 30 места. Модел служи за спровођење истраживања и анализу могућности за рад студената на пројектима који су прилагођени њиховом нивоу знања и вештина. Интеграција учења заснованог на пројектима са могућностима електронског и веб-базираног учења чини процес учења разноврснијим и атрактивнијим за ученике. Тако конструисан ГН модел омогућава праћења процеса персонализације и коришћења различитих интелигентних алата за учење које је засновано на пројектима. На основу модела и акумулиране статистике стварних података, могу се извршити евалуације и открити трендови развоја процеса везаних за учење засновано на пројектима.

Рад (Shannon et al., 2005) описује генерализовани мрежни модел са интуиционистичким фази проценама у циљу симулације електронског адаптивног оцењивања студената. Коначна оцена се утврђује на основу скупа је-

диница за оцењивање, као што су задатак, тест или испит. Свака јединица оцењивања је повезана са тежинским коефицијентима, представљеним интуиционистичким фази проценама, који одређују важност сваке јединице. Рад није у систему отвореног приступа и није познат број транзиција и места.

Генерализована мрежа приказана у раду (Shannon et al., 2005) користи се за конструисање модела који описује процес евалуације проблема које решавају студенти. Модел користи теорију интуиционистичких фази скупова, и може се користити за симулацију неких процеса који се односе на процену искуства студената. Мрежа има 7 транзиција и 18 места.

Генерализована мрежа описана у раду (Shannon et al., 2009) користи се за конструисање модела који описује процес евалуације предавача. Модел користи и теорију интуиционистичких фази скупова, и састоји се од укупно 10 транзиција са 34 места. Модел пружа могућност симулације многих процеса које треба узети у обзир приликом сумативне процене напретка студената и оцењивања њихових предавача. Према мишљењу самих аутора, може бити важан елемент општијег модела за описивање различитих токова информација унутар универзитета, те као такав допуњује пионирски рад Алфа Поларда (Pollard, 1970) у овој области.

Генерализована мрежа се користи и за конструисање модела који описује процес евалуације курса који студент похађа (Shannon et al., 2010 Jan). Модел користи теорију интуиционистичких фази скупова. Модел се може користити за симулацију неких процеса који се односе на процену искуства студената. Рад није у систему отвореног приступа, па није позната детаљна структура мреже.

Конструисање модела који описује примену техника рударења података (data mining) за анализу оцена студената на дигиталном универзитету приказано је у раду (Sotirova et al., 2009). Модел нуди могућност симулације многих процеса које треба узети у обзир приликом сумативне процене напретка студената, а такође пружа компактну репрезентацију откривених образаца и омогућава примену модела на нове количине података. Модел има 8 транзиција и 23 места.

Конструисани генерализовани мрежни модел процеса евалуације приказан у раду (Sotirova et al., 2016) представља методу InterCriteria анализе, која открива могуће корелације између парова критеријума. Овај модел се може применити за праћење и анализу процеса оцењивања на универзитету. Оцењени објекти могу бити предавачи, студенти, докторанди, проблеми које решавају студенти, дисциплине и тако даље. Дате су две имплементације засноване на интуиционистичким фази скуповима. Прва имплементација обухвата корелације између различитих дисциплина за правилно конструисање академског курикулума, док се друга фокусира на анализу корелација за ниво важности различитих дисциплина при формирању просечне оцене. Модел се састоји од 7 транзиција са 25 места.

Истраживање изложено у раду (Shannon et al., 2020) представља конструисан генерализовани мрежни модел који описује процес креирања и евалуације образовног садржаја коришћењем скупа критеријума. Дат је

пример едукације студената медицине о дијабетес мелитусу и могућности-ма венске тромбозе. Модел има 8 транзиција са 20 места.

У раду (Sotirova et al., 2018) предложен је метод за евалуацију обезбеђивања квалитета на универзитетима и научним организацијама. Вредновање квалитета се заснива на критеријумима који мере различите аспекте универзитетске делатности, и састоји се од различитих подкритеријума. За процену се користи теорија интуиционистичких фази скупова. Добијене интуиционистичке фази процене одражавају степен задовољења сваког критеријума. Конструисан је генерализовани модел који даје могућност алгоритмизације методологије формирања оцена квалитета. Модел има 4 транзиције и 15 места.

Категорија *Организација и функционисање установе*

Овој категорији припада укупно 11 радова. Радови су објављени у временском интервалу од 2003. до 2018. године.

Административне услуге у дигиталном универзитету описане су у раду (Dimitrakiev et al., 2010). Оне могу да се заснивају на различитим захтевима академског особља, студената, катедри, одељења за стипендије и тако даље. Захтеви се могу примити електронском поштом, телефоном или путем веба. Сваки захтев се преноси на сервер ради провере, а ако је захтев дуплиран или непожељан, он се задржава. Ако је потребно, подносилац захтева врши исправку. Одобрени захтеви се достављају на решавање. Модел има 5 транзиција и 20 места.

Радови (Langova-Orozova et al, 2005) и (Langova-Orozova et al, 2005b) описују процесе израде факултетских распореда часова. Генерализовани мрежни модели приказани у овим радовима имају 14 транзиција и 45 места и 6 транзиција и 16 места, респективно.

Генерализоване мреже се користе за изградњу модела приказаног у раду (Shannon et al., 2003), који описује организацију снабдевања и сервисирања различитих јединица Универзитета преко мултиагентског система. Овај модел се може применити за анализу и управљање у универзитетској служби набавке. Уз мале преправке, модел може да се користи и за службу материјалне логистике неке компаније или у е-трговини. Модел има 9 транзиција.

Генерализовани мрежни модел приказан у раду (Shannon et al., 2004) може се користити за симулацију процеса који се дешавају унутар електронских архива неког универзитета. Информације које се размењују унутар система могу се затим проценити помоћу интуиционистичких фази процена. Модел се састоји од 10 транзиција и више од 32 места.

Рад (Shannon et al., 2006 July) бави се уређењем и прецизном расподелом редоследа наставних предмета, која је веома важна за квалитет процеса наставе. Курсеви су стриктно повезани одређеним редоследом који чини њихово учење мање или више ефикасним. Генерализовани мрежни модел има 5 транзиција са 15 места.

Главни фокус рада (Shannon et al., 2008 July) стављен је на анализу процеса функционисања универзитета који ефикасно интегрише информационо-комуникационе технологије (ИКТ) у све активности универзитета. Разматран је конкретан пример заснован на процесу администрације курсева на Универзитету у Единбургу. Овај универзитет је у време објављивања рада био у процесу развоја интегрисаног информационог система који покрива већину универзитетских активности. Анализирана је и могућност коришћења ГН као алата за моделирање оваквих процеса. Модел има две мреже, једну са 5 транзиција и 18 места и другу са 5 транзиција и 15 места.

Рад (Shannon et al., 2010 May) описује процес пружања административних услуга на дигиталном универзитету. У ту сврху се користе генерализоване мреже и теорија интуиционистичких фази скупова. Овако конструисан модел има за циљ оптимизацију функционисања универзитета стварањем поузданог информационог окружења за праћење и управљање квалитетом универзитетског образовања. Модел се састоји од мреже са 6 транзиција и 18 места.

Помоћу техника рударења података (data mining) могуће је одредити колико је вероватно да ће одређени студенти бити успешни на основу њихових интересовања, географске локације и школских способности (Shannon et al., 2010). Предвиђање омогућава фокусирање ресурса универзитетског особља на оне кандидате који ће највероватније похађати њихове курсеве. Овај рад описује модел примене алата генерализованих мрежа које имају 8 транзиција и 28 места.

Генерализована мрежа приказана у раду (Shannon et al., 2018) користи се за конструисање модела који описује организацију процеса за размену информација између различитих јединица унутар школе. Модел се може применити и за анализу и за оптимизацију тока информација. Сврха генерализоване мреже конструисане у овом раду је да моделира ток информација и повезане процесе унутар школе и да тежи њиховој оптимизацији. Пошто су моделовани процеси веома сложени у било којој реалној школи, овде представљени модел није превише детаљно описан. Ипак, пружено је довољно информација за примену модела у пракси. Мрежа се састоји од 8 транзиција и 34 места.

Рад (Taseva, 2006) приказује генерализовану мрежу Техничког универзитета у Софији, и представља софистициран процес размене информација између одвојених делова универзитета. Добијени резултати би могли да помогну у оптимизацији односа између различитих одељења у циљу смањења утrophка финансијских средстава. Модел има 5 транзиција и 19 места.

Категорија Уређење виртуелног окружења за учење/подучавање

Овој категорији припада укупно 10 радова. Радови су објављени у временском интервалу од 2003. до 2018. године.

Конструисани ГН модел приказан у радовима (Orozova & Atanassov, 2012) и (Shannon et al., 2012) даје могућност праћења процеса избора и коришћења различитих интелигентних алата за е-учење. Тако се могу добити

информације о преференцијама полазника и резултатима њиховог подучавања. На основу ГН модела, који има 7 транзиција са 25 места и акумулиране статистике реалних података, могу се извршити евалуације и открити трендови развоја процеса везаних за електронско учење и његово сервисирање.

У раду (Orozova et al., 2016) користе се генерализоване мреже за развој модела процеса персонализације и адаптивног коришћења интелигентног окружења за учење од стране полазника или корисника. У моделу је значајна улога додељена „персоналном асистенту“, који је компонента контекстно осетљивог образовног окружења за испоруку е-услуга и садржаја за е-учење. Како рад није у систему отвореног приступа, то нема информација о другим особинама модела.

Употреба генерализованих мрежа за развој модела процеса персонализације и адаптивног коришћења интелигентног виртуелног колаборационог простора приказана је у раду (Orozova & Ivanov, 2018). У овом моделу је значајна улога додељена персоналном асистенту. Процене и обрасци се могу извести на основу развијеног ГН модела и статистичких података апсорбованих из стварних процеса који се односе на сервисирање виртуелног колаборационог простора за сарадњу. Предложени модел се састоји од 11 транзиција и 34 места.

Рад (Orozova & Jecheva, 2010) представља генерализовани мрежни модел система е-учења, који може да задовољи неке специфичне безбедносне захтеве. Сврха је да се анализирају главни типови корисника е-учења и њихове улоге у процесу учења на даљину, као и њихове интеракције кроз систем. Поред тога, узети су у обзир неки безбедносни захтеви за систем е-учења, а безбедносно праћење уграђено је у предложени модел. Модел има 8 транзиција и 31 место.

Теоријски генерализовани модел мреже који описује организацију е-учења у различитим предметима предложен је у раду (Orozova & Sotirova, 2014). Приказане су технике за избор одговарајућег облика интервенције, као и избор алтернативних стратегија током процеса подучавања. Уведени су критеријуми за процену ефикасности система управљања учењем у односу на унапред дефинисане теме предавања коришћењем интуиционистичких фази скупова. Модел се састоји од 7 транзиција и 19 места.

У раду (Shannon et al., 2004) генерализована мрежа се користи за конструисање модела који описује организацију е-учења студената у оквиру универзитетског интранета. Модел се може користити и за процену знања ученика. Заснован је такође на теорији интуиционистичких фази скупова и састоји се од 7 транзиција и 18 места.

Истраживање изложено у раду (Shannon et al., 2006 Sep) бави се моделовањем тока информација у типичном универзитету. Оквир у коме се овај процес одвија јесте теорија генерализованих мрежа. Иако редослед поступака може варирати од једне институције до друге, процеси су скоро непроменљиви, тако да се развој мреже у овом раду може лако прилагодити или изменити у складу са одређеним околностима. Модел се састоји од 8 транзиција и 24 места.

У низу истраживачких радова, аутори (Shannon et al., 2008 Sep) проучавали су неке од најважнијих модела савремених универзитета, као што су: истраживачки универзитет, предузетнички универзитет и дигитални универзитет, и конструисали своје моделе генерализоване мреже. Овај рад је заснован на студијама случаја Софијског универзитета, Техничког универзитета у Минхену и Универзитета у Единбургу. Главни фокус је на анализи процеса функционисања универзитета, који ефикасно интегрише информационе и комуникационе технологије (ИКТ) у све активности универзитета. Разматран је конкретан пример, заснован на процесу администрације курсева на Универзитету у Единбургу. Анализирана је и могућност коришћења ГН као алата за моделирање оваквих процеса. Модел се састоји од 5 транзиција и 20 места.

У раду (Shannon et al., 2010), као и у низу сродних истраживачких радова, аутори проучавају неке од најважнијих процеса функционисања универзитета и конструишу њихове моделе помоћу генерализоване мреже. Главни фокус у овом раду је анализа процеса израде распореда курсева на дигиталном универзитету и евалуација њиховог квалитета. Рад није у систему отвореног приступа и није познато колико транзиција и места има генерализовани модел.

У раду (Taseva et al., 2003) конструисан је генерализовани мрежни модел токова информација у апстрактном универзитету, који је вођен примером Техничког универзитета у Софији. Рад није у систему отвореног приступа, те није познат број транзиција и места у генерализованом моделу. Категорија *Остало*

Циљ генерализоване мреже конструисане у раду (Shannon et al., 2012) јесте моделовање процеса уписа на факултет. Модел користи стандардне генерализоване мреже и има 6 транзиција и 21 место.

Генерализовани мрежни модел за анализу „привлачности послодавца“ из перспективе студената универзитета оних који траже посао приказан је у раду (Todorov, 2022). У том раду су предложене интуиционистичке фази процене за процену привлачности послодавца и степена неизвесности. Модел има 6 транзиција и 21 место.

Закључак

Генерализоване мреже представљају моћан математички алат за моделовање различитих система и процеса у разним областима, па тако и у образовању.

У раду је дата анализа 36 најважнијих радова у области примене генерализованих мрежа у образовању. Радови су разврстани у тематске категорије, при чему су приказане основне особине сваког мрежног модела конструисаног у овим радовима.

Рад показује да је примена генерализованих мрежа у образовању значајно заступљена у научним публикацијама, те да се генерализоване мреже у највећој мери примењују у процесима и системима везаним за високо об-

разовање. Ово се објашњава позицијама и искуствима самих аутора радова који су универзитетски наставници.

Практичне импликације рада могу бити у томе што приказ примене једног теоријског математичког концепта у пракси може подстаћи друге ауторе, којима је област математичког моделовања блиска, да развију и представе своје генерализоване моделе који би били примењиви у сфери образовања.

Литература

1. Alexieva, J., Choy, E., & Koycheva, E. (2007). Review and bibliography on generalized nets theory and applications. *Survey of Generalized Nets (E. Choy, M. Krawczak, A. Shannon and E. Szmidt, Eds.)*, Raffles KvB Monograph, 10, 207–301.
2. Atanassov, K. (1984a). Theory of generalized nets (an algebraic aspect), *AMSE Review*, 1(2), 27–33.
3. Atanassov, K. (1984b). On the concept “Generalized net”“, *AMSE Review*, 1(3), 39–48.
4. Atanassov, K. (1986). More on the concept “Generalized net”“, *AMSE Review*, 3(4), 7–11.
5. Atanassov, K. (1987). More on the concept “Generalized net” II“, *AMSE Review*, 5(1), 1–7.
6. Atanassov, K. (1988). More on the concept “Generalized net” III“, *AMSE Review*, 6(3), 35–38.
7. Atanassov, K. T. (1999). *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*. Springer.
8. Atanassov, K. T. (2012). *On intuitionistic fuzzy sets theory* (Vol. 283). Springer.
9. Creswell, J.W and Creswell, J.D. (2023). *Research Design - Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, Sixth Edition*. Los Angeles: Sage.
10. Dimitrakiev, D., Sotirov, S., Sotirova, E., Orozova, D., Shannon, A., & Panayotov, H. (2010). Generalized net model of process of the administration servicing in a digital university. In *Proceedings of the 14th International Conference on Intuitionistic Fuzzy Sets (ICIFS2010)*, 50–56.
11. Hadzhikoleva, S., Orozova, D., Andonov, N., & Hadzhikolev, E. (2019, November). Generalized net model of a system for quality assurance in higher education. In *AIP Conference Proceedings*, 2172(1). AIP Publishing.
12. Hadzhikoleva, S., Orozova, D., Hadzhikolev, E., & Andonov, N. (2020, August). Model of a centralized system for quality assurance in higher education. In *2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 87–92. IEEE. DOI: 10.1109/IS48319.2020.9199951
13. Hristova, M., & Sotirova, E. (2008, September). Generalized net model of the multifactor method of teaching quality estimation at universities. In *2008 4th International IEEE Conference Intelligent Systems*, 2, 16–20. IEEE.
14. Langova-Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Melo-Pinto, P., Kim, T.K., Park, D.W., Kim, Y.H., Jang, L.C. and Kang, D.J. (2005). Generalized Net Model of Intranet in an Abstract University with Current Estimations. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 5(1), 35–39.

15. Langova-Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Melo-Pinto, P., Kim, T., Park, D.-W., Kim Y.-H., Jang, L.-Ce & Kang, D.-J. (2005b). Generalized Net Model of Intranet in an Abstract University with Current Estimations (II). *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*. 15(3), 382–388. Korean Institute of Intelligent Systems. <https://doi.org/10.5391/jkiis.2005.15.3.382>
16. Orozova, D., & Atanassov, K. (2012). Generalized net model of the process of selection and usage of an intelligent e-learning system. *Comptes Rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 65(5), 591–598.
17. Orozova, D., Atanassov, K., & Todorova, M. (2016, January). Generalized net model of the process of personalization and usage of an e-learning environment. In *Proceedings of the Jangjeon Mathematical Society*, 19(4), 615–624.
18. Orozova, D., & Ivanov, A. (2018, June). Generalized net model of virtual collaboration space. In *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, 1-4, IEEE. DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447090
19. Orozova, D. A., & Jecheva, V. G. (2010). Generalized Net Model of E-learning System with Privacy Protection Module. In: Iskander, M., Kapila, V., Karim, M. (eds) *Technological Developments in Education and Automation*. 309–313, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3656-8_57
20. Orozova, D., & Krawczak, M. (2015). Project-Based Learning Modelled with a Generalized Net, *Issues in IFS and GNs*, 12, 68–79.
21. Orozova, D., & Sotirova, E. (2014). Modeling of a learning management system. *2014 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*. Bourgas, Bulgaria, 1–4, doi:10.1109/siela.2014.6871879
22. Pollard, A.H. (1970). Some Hypothetical Models in Systems of Tertiary Education. *The Australian Journal of Statistics*, Vol. 12, 78–91.
23. Radeva, V. (2002). A review and bibliography on generalized nets theory and applications. *Advanced Studies in Contemporary Mathematics*, 4(2), 173–199.
24. Shannon, A., Atanassov, K., Sotirova, E., & Vasilev, V. (2020, August). Generalized net model for creating and evaluating of educational content. In *2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 517–520. IEEE. DOI: 10.1109/IS48319.2020.9200109
25. Shannon, A., Dimitrakiev, D., Sotirova, E., Krawczak, M., & Kim, T. (2009). Towards a model of the digital university: generalized net model of appraisal of lecturers with intuitionistic fuzzy estimations. *Cybernetics and Information Technologies*, 9(2), 69–78.
26. Shannon, A., Kerre, E., Szmidt, E., Sotirova, E., Petrounias, I., Kacprzyk, J., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Georgiev, P., Melliani, S., Kim, T. (2004, June). Intuitionistic fuzzy estimation and generalized net model of e-learning within a university local network. In *2004 2nd International IEEE Conference on 'Intelligent Systems'. Proceedings (IEEE Cat. No. 04EX791)* 2, 423–426. IEEE.
27. Shannon, A., Langova-Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Melo-Pinto, P., Kim, T.K., Jang, L.C. and Kang, D.J. (2004). A Generalized Net Model on University Electronic Archives. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 4(2), 125–128.
28. Shannon, A., Langova-Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Melo-Pinto, P., & Kim, T. (2005). Generalized net model for adaptive electronic assessment, using intuitionistic fuzzy estimations. In *Computational Intelligence, Theory and*

- Applications: International Conference 8th Fuzzy Days in Dortmund, Germany, Sept. 29–Oct. 01, 2004 Proceedings*, 291–297, Springer Berlin Heidelberg.
29. Shannon, A., Langova-Orozova, D., Sotirova, E., Petrounias, I., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Kim, T. & Tasseva, V. (2006, September). A generalized net model of the separate information flow connections within a university. In *2006 3rd International IEEE Conference Intelligent Systems*, 760–763, IEEE.
 30. Shannon, A., Miteva, B., Sotirova, E., Atanassov, K., & Kim, T. (2018). A generalized net model of information flow within a school. *Advanced Studies in Contemporary Mathematics (Kyungshang)*, 28(4), 699–706.
 31. Shannon, A., Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Nikolov R., Sotirov S. & Kim, T. (2008, September). Towards a model of the digital university: a generalized net model for producing course timetables. In *2008 4th International IEEE Conference Intelligent Systems*, 2, 16–25. IEEE.
 32. Shannon, A., Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Chountas, P., Georgiev, P., Nikolov, R., Sotirov, S. & Kim, T. (2008, July). Towards a model of digital university: a generalized net model of update existing timetable. In *Proceedings of the 9th International Workshop on Generalized Nets (K, Atanassov and A. Shannon, Eds.)*, Sofia, 2, 71–79.
 33. Shannon, A., Orozova, D., Sotirova, E., Hristova, M., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Nikolov, R., Sotirov, S. & Kim, T. (2010). Towards a model of the digital university: a generalized net model for producing course timetables and for evaluating the quality of subjects. *Studies in Computational Intelligence, Intelligent Systems: From Theory to Practice*, 299, 373–381.
 34. Shannon, A., Riecan, B., Orozova, D., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Parvathi, R., & Kim, T. (2012). Generalized net model of the process of selection and usage of an intelligent e-learning system. In *2012 6th IEEE International Conference Intelligent Systems*, 233–236. IEEE, doi:10.1109/is.2012.6335223
 35. Shannon, A., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Sotirov, S., & Kim, T. (2006, July). Generalized net model of the process of ordering of university subjects. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Generalized Nets*, Sofia, 14–15.
 36. Shannon, A., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Kim, T., Jang, L.C., Kang, D.J. and Rim, S.H. (2006). A note on generalized net model of e-learning evaluation associated with intuitionistic fuzzy estimations. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 6(1), 6–9. <https://doi.org/10.5391/IJFIS.2006.6.1.006>
 37. Shannon, A., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Sotirov, S., Hadjitodorov, S. & Kim, T. (2010 May). Generalized net model of the process of administrative servicing in a digital university with intuitionistic fuzzy estimations. In *14th International Conference on Intuitionistic Fuzzy Sets*, Sofia, 15–16.
 38. Shannon, A., Sotirova, E., Atanassov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P., Kim, T., & Lambova, T. (2012). Generalized net model of the process of applying to university. In *12th International Workshop on Generalized Nets Burgas*, 27–31.
 39. Shannon, A., Sotirova, E., Hristova, M., & Kim, T. (2010, January). Generalized net model of a student's course evaluation with intuitionistic fuzzy estimations in a digital university. In *Proceedings of the Jangjeon Mathematical Society*, 13(1), 31–38.

40. Shannon, A., Sotirova, E., & Orozova, D. (2010). Generalized Net Model of Using Data Mining Techniques for Process of Undergraduate Matriculation in a Digital University. *Proc. of Eleventh Int. Workshop on GNs and Second Int. Workshop on GNs, IFSS, KE London, 9-10 July 2010*, 1–6.
41. Shannon, A., Sotirova, E., Ralev, N., Petrounias, I., Atanasov, K., Krawczak, M., Melo-Pinto, P. and Taseva, V. (2003, September). A generalized net model of a multiagent system for the supplying and servicing of sections of a university. In *Proc. of the International Workshop on Generalized nets, Sofia*, 1–7.
42. Sotirova, E., Bureva, V., & Sotirov, S. (2016). A Generalized Net Model for Evaluation Process Using InterCriteria Analysis Method in the University. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 332, 389–399. doi:10.1007/978-3-319-26302-1_23
43. Sotirova, E., Dimitrova, K., & Papancheva, R. (2009, December). A generalized net model for analysis of students evaluations by data mining techniques in the digital university. In *10th International Workshop on Generalized Nets, IWGN*, 41–46.
44. Sotirova, E., Petkov, T., & Krawczak, M. (2018). Generalized net modelling of the intuitionistic fuzzy evaluation of the quality assurance in universities. In *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2017: Proceedings of: EUSFLAT-2017–The 10th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, September 11-15, 2017, Warsaw, Poland IWIFSGN'2017–The Sixteenth International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets, September 13-15, 2017, Warsaw, Poland*, 3(643), 341–347, Springer International Publishing. DOI10.1007/978-3-319-66827-7_31
45. Spasić, A. (2013). *Primena generalizovanih mreža u modelovanju softverski intenzivne produkcije stereoskopskog multimedijalnog sadržaja*. Doktorska disertacija. Niš: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet.
46. Spasic, A.J., & Jankovic, D.S. (2013). Static structure of GN model of stereoscopic multimedia production, In: *Proceedings of 2013 11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, 109–114, doi: 10.1109/TELSKS.2013.6704902.
47. Spasic, A. J., Jankovic, D. S., Rajkovic, P. J. & Aleksic, D. S. (2022). Programme-Sensitive Modifications of Generalized Net Model of Software-Intensive Production of Stereoscopic Multimedia Content. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 61(5), 824–842. DOI: 10.1134/S1064230722050136
48. Tasseva, V. (2006, July). A generalized net model of the separate information flow connections within the Technical University, Sofia. In *Proceedings of the Seventh Int. Workshop on Generalized Nets, Sofia*, 8–14.
49. Taseva, V., Petrounias, I. & Sotirova, E. (2003). Generalized net model of the information streams in an abstract university: featuring the Technical University, Sofia. *Proceedings of the 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Advanced Design, Production and Management Systems*, 1065–1071.
50. Todorov, M., Avramova-Todorova, G., & Sotirov, S. (2022, July). Investigation of Employer Attractiveness from an University Students Perspective by Application of Intuitionistic Fuzzy Assessments. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 573–580. Cham: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-031-09173-5_66.

POSSIBILITIES OF APPLYING GENERALIZED NETS IN EDUCATION:
THEORETICAL FOUNDATIONS AND SOME PRACTICAL
IMPLEMENTATIONS

Summary: *Generalized Nets (GNs) are abstract mathematical objects designed for modelling, simulation, optimization, and control of real processes. Essentially, they represent a superstructure of Petri Nets, used for modelling various processes in industry, science, medicine, and many other fields. The topic of this research is the potential application of generalized nets in the development of models for specific educational processes and systems that support these processes. The methodological framework for this research is based on the general method of qualitative analysis and recommendations for research with a literature review. The adopted work method involves searching relevant scientific databases in the field of applying generalized networks in modelling systems and processes in education. The key questions in this research relate to: determining the general themes in the found publications concerning generalized networks and education, as well as identifying how many and which of the found network models belong to which thematic areas; what types and characteristics of generalized nets are applied in these models, and what are the basic characteristics of the models themselves (the number of transitions and the number of places that make up the static structure of the model). The research results show that out of a total of 150 found papers in the WoS, Scopus, IEEE Xplore, and Google Scholar databases, 36 met the inclusion criteria, and these papers were categorized and analysed in detail in the discussion. The research concludes that the application of generalized nets in education is significantly represented in scientific publications, and the application is mostly related to processes and systems associated with higher education, which can be explained by the positions and experiences of the authors of the papers, who are university lecturers.*

Key words: *mathematical process modelling, generalized networks, intuitionistic fuzzy sets.*