

DYNAMICZNA WYCENA PRODUKTÓW CYFROWYCH W WIRTUALNYCH SYSTEMACH EKONOMICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELOWANIA ROZMYTEGO

Jarosław Jankowski

Katedra Inżynierii Systemów Informatycznych, Wydział Informatyki ZUT
e-mail: jjankowski@wi.zut.edu.pl

Streszczenie: Złożone platformy internetowe przyjmują coraz częściej postać wirtualnych systemów ekonomicznych. Integrują one technologie i metody przetwarzania danych dla potrzeb monitorowania rynków elektronicznych oraz wielopoziomą dyskryminację cenową i dynamiczne wyceny. W artykule przedstawiono koncepcję modelowania rozmytego zorientowanego na identyfikację parametrów determinujących zachowania użytkowników dla potrzeb systemów dynamicznej wyceny.

Słowa kluczowe: modelowanie rozmyte, systemy internetowe, dynamiczna wycena

WPROWADZENIE

Rozwój technologii teleinformatycznych sprzyja powstawaniu systemów o charakterze dualnym, które łączą cechy systemów technicznych i ekonomicznych. Wiele publikacji identyfikuje nowe obszary w zakresie wirtualnych światów, platform społeczności i systemów MMO (ang. *massive multiplayer online*) zarówno w sferze technologicznej jak i ekonomicznej, co jest zauważalne m.in. w pracach [Messingera i in. 2009], publikacjach pod redakcją J. Spencera oraz Y. Sivan wydawanych przez Virtual Worlds Institute [Spencer i in. 2009, Sivan i in. 2009]. W. B. Bainbridge podkreśla, że wirtualne światy mają potencjał badawczy w wielu dyscyplinach nauki [Bainbridge 2007]. Za wirtualny świat uważa się środowisko interaktywne, w którym możliwa jest dwukierunkowa komunikacja w sposób synchroniczny lub asynchroniczny, z innymi użytkownikami, dla których dana jest reprezentacja cyfrowa. Jednym z aspektów funkcjonowania systemów są platformy dystrybucji produktów cyfrowych, które zazwyczaj są odpo-

wiednikami produktów realnych, o zbliżonej funkcjonalności [Korolom 2009]. Sektor ten dynamicznie się rozwija i jest aktualnie jednym z obiecujących kierunków ebiznesu. Analitycy Piper Jaffray wskazują na 134% wzrost rynku amerykańskiego przedmiotów wirtualnych w stosunku do roku 2008 i sprzedaż na poziomie 621 milionów dolarów [Piper Jaffray 2009]. Prognozy zakładają sprzedaż na poziomie 2.5 mld dolarów rocznie w USA do roku 2013. W tych uwarunkowaniach powstają systemy które integrują technologie i metody przetwarzania danych zorientowane na monitorowanie rynków elektronicznych, wielopoziomową dyskryminację cenową i wzrost wskaźników ekonomicznych powiązanych z systemami internetowymi takich jak ARPU (ang. *average revenue per user*) czy ARPPU (ang. *average revenue per paying user*). Specyfika analizowanych obszarów, zmienność środowiska, niepewność danych pomiarowych wskazują na możliwość zastosowania zbiorów rozmytych, które zapewniają bardziej naturalny opis modelowanych zjawisk. W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania modeli rozmytych do identyfikacji charakterystyk środowiska i parametrów wpływających na wycenę usług cyfrowych oraz wyniki badań eksperymentalnych.

PRZEDSTAWIENIE PROBLEMU I DOSTĘPNE ROZWIĄZANIA

W systemach internetowych funkcjonujących w czasie rzeczywistym istnieje potrzeba implementacji zautomatyzowanych rozwiązań sterowania i kontroli nad przebiegiem realizacji procesów oraz detekcji trendów i charakterystyk użytkowników. W przypadku platform społecznych, które leżą u podstaw wielu systemów kształtujących wirtualne systemy ekonomiczne analizom podlegają również powiązania w ramach sieci. Pod uwagę brany jest zbiór n produktów cyfrowych $O=[o_1, \dots, o_n]$, zbiór m użytkowników $U=[u_1, \dots, u_m]$, do których kierowany jest przekaz interaktywny w postaci sekwencji komunikatów k_1, k_2, \dots, k_z . Poprzez modelowanie funkcji $d(k_i, u_j)$ dopasowania zawartości komunikatu k_i do wektora preferencji użytkownika u_j możliwe jest oddziaływanie na zachowania odbiorców. Istnieje możliwość kształtowania zachowań poprzez wyznaczenie wektora podaży $s=[s_1, s_2, \dots, s_n]$ oraz zdefiniowanie dla każdego użytkownika u wektora cen $p_{i,u}$ zmiennych w czasie tak by uzależnić wektor cen $p_u(t)=[p_{1,u}(t), p_{2,u}(t), \dots, p_{n,u}(t)]$ od zbioru parametrów definiujących charakterystyki użytkownika $u_j=[c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,3}]$ oraz struktury i cechy obiektu. Problem konstrukcji podstaw metodycznych systemów dynamicznej wyceny zbioru produktów zdefiniowali G. Gallego i G. Ryzin [Gallego i in 1997]. Popyt jest określany przez funkcję popytu $\lambda(p(t))$, gdzie $\lambda: P \rightarrow L$, $P \subseteq R^n$ definiuje przestrzeń wektorów cen, a $L = \{x \geq 0: x = \lambda(p), p \in P\}$ określa zbiór osiągalnych wektorów popytu. Zakłada się istnienie funkcji odwrotnej, która przekształca popyt $p(\lambda)$, $p: L \rightarrow P$ na wektor cen. Przy danym ograniczeniu zasobów C w zadanym horyzoncie czasu T , maksymalizujemy funkcję popytu, która generuje z wektora cen wektor popytu. Celem jest wyznaczenie strate-

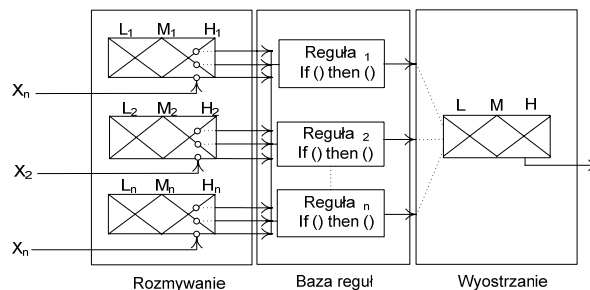
gii, która maksymalizuje w zadanych interwałach czasowych wektor cen pomnożony przez wektor popytu ukształtowany w zadanym interwale czasu.

Problematyka dynamicznej wyceny produktów jest szeroko dyskutowana w wielu różnych aspektach. W literaturze m.in. [Stole 2007] przywołuje się najczęściej trzy poziomy dyskryminacji cenowej oraz podejścia, w których hierarchia cen uzależniona jest od poziomu dochodowości. Według H. R. Variana identyfikuje się dwie skrajne sytuacje, gdzie występują warunki monopolu lub konkurencji doskonałej i hiperkonkurencji [Varian 1989]. Jednym z obszarów zastosowań metod optymalizacji jest maksymalizacja wartości sprzedaży produktów cyfrowych poprzez dynamiczne wyceny. W literaturze nie odnaleziono rozwiązań bazujących na wyznaczaniu zasileń systemów wyceny i charakterystyk układu z wykorzystaniem modelowania rozmytego i próbkowania rynku pozwalającego na określenie nie tylko struktury wektora cen, ale i wektorów charakterystyk użytkowników, które wpływają na wielowymiarowe kształtowanie ich preferencji.

STRUKTURA MODELU ROZMYTEGO

Podczas prowadzonych badań opracowano model systemu wnioskowania rozmytego i układów zorientowanych na modelowanie i wyznaczanie charakterystyk użytkowników oraz wpływ wektora cech na podejmowane decyzje. W obszarach, w których analizowane są złożone zjawiska, znajdują zastosowanie rozmyte systemy wnioskujące i prognozujące oparte na zbiorach rozmytych zdefiniowanych przez L.A. Zadeha [Zadeh 1965]. Wartość sygnału wejściowego systemu rozmytego podlega operacji rozmywania, a na wyjściu bloku wnioskowania otrzymujemy N zbiorów, które zostają poddane wyostrzeniu. Jednym z częściej wykorzystywanych modeli jest model Mamdaniego przedstawiony po raz pierwszy w pracy [Mamdani 1977], omawiany również szeroko w literaturze, między innymi w pracach [Babuska 1998, Piegat 1999]. Zasadniczym założeniem jest odwzorowanie wejść modelu w postaci wektora X na wyjście Y^* o jak największym zbliżeniu i minimalizacji błędu średniokwadratowego do odwzorowania X na Y realizowanego przez system. Przebieg charakterystyki modelu rozmytego zależy od zastosowanego aparatu logiki rozmytej i sposobu przeprowadzenia operacji rozmywania. Przy łączeniu dwóch przesłanek na podstawie zbiorów można zastosować operator $\min(\mu_{A_i}(x_1^*), \mu_{B_j}(x_2^*))$ lub operator iloczynu algebraicznego PROD zaproponowany przez Larsena generujący wynik postaci $\mu_{A_i}(x_1^*) \cdot \mu_{B_j}(x_2^*)$ [Larsen 1980]. Strukturę ogólnego układu wnioskowania przedstawiono na Rys. 1.

Rysunek 1. Struktura modelu rozmytego



Źródło: [Piegat 1999]

W proponowanym rozwiązaniu zakłada się integrację podsystemu wnioskowania z układem rzeczywistym, gdzie zasilenia powiązane są z platformą internetową. Dla potrzeb realizacji wykorzystano zaproponowaną przez R. Janga koncepcję adaptacyjnego systemu neuronowo – rozmytego oraz model wnioskowania Takagi-Sugeno [Jang 1993]. Przy konstruowaniu modelu uwzględniono elementy struktur sieciowych i powiązań w obrębie systemu, które mogą wpływać na podejmowanie decyzji.

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Proponowany system pomiarowy zakłada dwupoziomowe monitorowanie rynku z udziałem systemów aukcyjnych, gdzie można obserwować zależności popytu, podaży i inne zjawiska użyteczne przy wyznaczaniu charakterystyk środowiska. Elementem centralnym jest elektroniczna platforma (ang. *emarketplace*), która daje możliwość dystrybucji obiektów cyfrowych na rynku pierwotnym i wtórnym w systemie aukcyjnym oraz monitorowanie zachowań rynku. Poniżej przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w ramach platformy wirtualnego świata, które stanowią jeden z obszarów projektu virtuLabs ukierunkowanego na rozwój metod i systemów analitycznych dedykowanych platformom internetowym. W pierwszej części przeprowadzono aukcję pierwotną, podczas której użytkownicy licytowali przedmioty wprowadzone do systemu. Transakcje realizowano dla dziewięciu produktów cyfrowych dostępnych w limitowanych wersjach oznaczonych symbolami s_1 - s_9 . W Tabeli 1 przedstawiono uzyskane wyceny i liczbę ofert dla poszczególnych przedmiotów. Do użytkowników w ramach aukcji pierwotnej przekazano 315 przedmiotów wirtualnych w wersji limitowanej. W kolejnym okresie użytkownicy mieli możliwość sprzedaży obiektów cyfrowych na aukcji wtórnej i uruchomili 842 aukcji.

Tabela 1. Rozkład ofert w aukcji pierwotnej

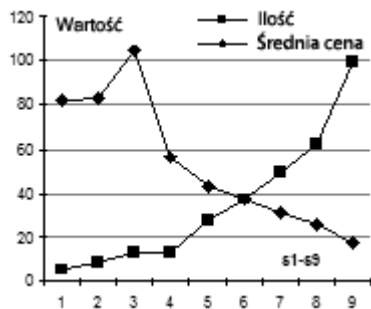
Produkt	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9
Oferty	1251	619	564	816	324	313	170	228	653
Śr. cena	221	193	151	105	157	170	195	137	98
Limit	5	9	13	13	28	37	49	62	99

Zaakceptowane oferty cenowe dla poszczególnych produktów									
6100	2835	1500	2000	1111	2000	1064	500	781	
5848	2639	1500	1500	700	907	985	500	689	
5848	2500	1500	1330	700	675	700	250	680	
5000	2180	1500	1302	450	645	500	203	500	
4500	2000	1500	1300	411	550	472	200	50	
-	1500	1500	1180	353	550	300	160	455	
4400	1500	1500	1110	350	500	300	150	400	
4400	1499	1499	1110	310	402	151	150	400	
4400	1362	1300	1090	301	400	150	150	400	
4400	1362	1180	1090	300	300	150	150	350	
4400	-	1090	1090	300	299	150	130	345	
4200	1331	1090	1090	300	259	150	115	300	
4000	1180	1090	1090	300	250	123	110	300	
3569	1105	-	-	285	250	121	100	300	
3016	1090	1090	1090	250	206	115	100	290	
3000	1090	1090	1050	250	200	110	100	270	
2999	1090	1090	1050	226	200	100	100	265	
2950	1090	1042	1050	225	200	100	100	240	
2950	1090	1004	1042	220	200	84	87	239	
2835	1090	1004	1004	200	200	80	80	239	
2835	1088	1004	1004	200	200	80	80	238	

Źródło: obliczenia własne

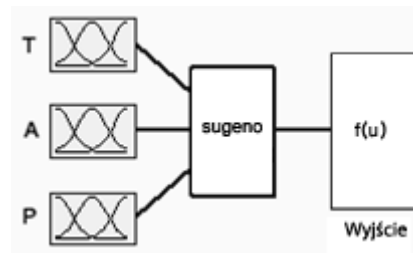
Najczęściej przedmiotem transakcji były produkty s_7 , s_8 oraz s_9 . Podczas okresu trwania aukcji ich uczestnicy złożyli 7325 ofert zakupu. Średnia wycena była odwrotnie proporcjonalna do ilości dostępnych egzemplarzy w systemie (Rys. 2).

Rysunek 2. Zależność średniej wyceny od liczby ilości produktów na rynku



Źródło: obliczenia własne

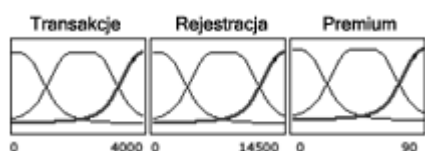
Rysunek 3. Struktura systemu wnioskowania rozmytego



Źródło: opracowanie własne

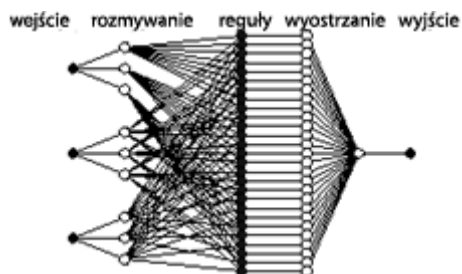
W pierwszym etapie konstruowano model reprezentacji charakterystyk użytkownika pod kątem uwarunkowań ekonomicznych, liczby aktywowanych usług i ich typu. $E_i=[e_1, e_2, e_3]$ gdzie e_1 - liczba transakcji, e_2 - liczba jednostek wirtualnej waluty, e_3 - liczba aktywacji usług rozszerzonych premium. Dla potrzeb obliczeniowych wykorzystano środowisko MatlabTM. W pierwszym kroku zbadano rozkład przy podziale na 3 grupy w zależności od parametrów użytkownika charakteryzujących jego aktywność w sieci. Wykorzystano rozmytą metodę k-średnich w cyklu 10 iteracji (przy większej liczbie iteracji funkcja celu nie ulegała zmianie). Współrzędne środków klas wynoszą odpowiednio: $C_1= \{429.41, 8901.83, 20.72, 1991.88\}$, $C_2= \{651.17, 449.76, 13.29, 1409.76\}$, $C_3=\{721.88, 2737.84, 15.32, 1926.64\}$. Uzyskano również macierz parametrów dla funkcji przynależności, dla pierwszych czterech rekordów wartości wynoszą odpowiednio: $\{0.0208, 0.8146, 0.1646\}$, $\{0.0408, 0.3780, 0.5811\}$, $\{0.3001, 0.1962, 0.5037\}$, $\{0.0161, 0.8555, 0.1284\}$. Kolejnym etapem było skonstruowanie modelu rozmytego z trzema wejściami i jednym wyjściem, którego strukturę przedstawiono na Rys. 3. Parametry wejściowe odpowiadały poszczególnym elementom składowym wektora $E_i=[e_1, e_2, e_3]$, które pozyskano z danych empirycznych. Na wyjściu otrzymano poziomy cenowe wyznaczone dla wektora parametrów. Zbiór uczący zawierał dane na temat 173 transakcji i przypisanych im wektorów cech użytkowników. Na Rys. 4 przedstawiono rozkład funkcji przynależności dla poszczególnych wejść systemu.

Rysunek 4. Funkcje przynależności dla parametrów ekonomicznych



Źródło: opracowanie własne

Rysunek 5. Pięciopoziomowa struktura systemu

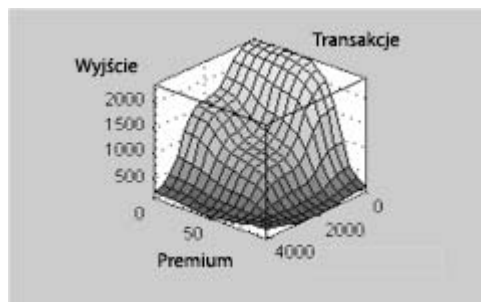


Źródło: opracowanie własne

Dokładność modelu testowano dla 4 różnych kształtów funkcji przynależności, jednak największą dokładność uzyskano dla funkcji Gaussa i taki rozkład przyjęto w końcowym modelu. Dla każdego wejścia analizowano również liczbę funkcji przynależności. Satisfakcjonujące rezultaty uzyskano przy 3 funkcjach przynależności dla poszczególnych wejść. Na Rys. 5 przedstawiono pięciowarstwową strukturę modelu ANFIS, gdzie dla każdego bloku przeprowadzono uczenie metodą wstecznej propagacji i hybrydową. Model uczący testowano dla 20, 50, 10, 200 i 300 epok. Uczenie powyżej 100 epoki nie przynosiło poprawy i proces zatrzyma-

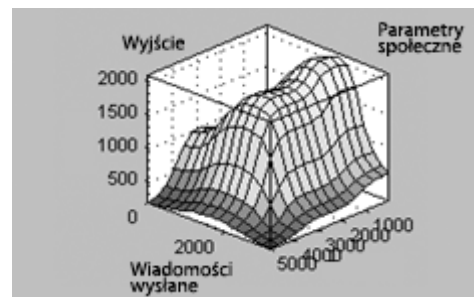
no, by uniknąć efektu przetrenowania. Na Rys. 6 przedstawiono powierzchnię odpowiedzi układu w zależności od wejścia s_1, s_3, s_4 . Pokazuje ona zależności pomiędzy wejściami, a wyjściem systemu i określa wpływ poszczególnych składowych wektora charakterystyki użytkownika na wartości wyceny obiektów cyfrowych.

Rysunek 6. Zależność pomiędzy parametrami i wyjściem modelu E_i



Źródło: obliczenia własne

Rysunek 7. Zależność pomiędzy parametrami wejściowymi i wyjściem w modelu S_i



Źródło: obliczenia własne

Drugi model uwzględnia charakterystyki społeczne użytkowników odnoszące się do aktywności i lokalizacji w sieci społecznej. Charakterystykę społeczną dla użytkownika i -tego określa wektor $S_i = [s_1, s_2, s_3]$, gdzie s_1 - stopień węzła sieci społecznej, s_2 - aktywność użytkownika w komunikacji wewnętrznej (komunikaty wychodzące), s_3 - aktywność użytkownika w komunikacji wewnętrznej (komunikaty przychodzące). Analizowano dane z 173 transakcji zarejestrowanych w systemie dystrybucji. Na Rys. 7 przedstawiono odpowiedź systemu na sieci wytrenowanej z podobnymi parametrami jak dla parametrów społecznych. W efekcie uzyskano system wnioskowania dla modelu wyznaczonego na podstawie danych na temat aktywności w ramach sieci społecznej. Dla wybranych poziomów wejścia model wyznacza wartość ceny na wyjściu. Uzyskane wyniki wskazują na występowanie powiązań między parametrami użytkownika, a podejmowanymi decyzjami i poziomem wyceny obiektów. Przedstawiona procedura konstrukcji modeli może być zastosowana również w innych systemach ekonomicznych przy uwzględnieniu ich specyfiki.

ZAKOŃCZENIE

Rozwijający się rynek dóbr wirtualnych wymaga odpowiedniego wsparcia technologicznego oraz rozwoju narzędzi i metod zorientowanych na wspomaganie decyzji w tym środowisku. Platformy elektroniczne pozyskują coraz więcej użyt-

kowników zaangażowanych w komunikację i rozrywkę w środowisku wirtualnym. Większość aplikacji tego typu daje możliwość posiadania wirtualnej reprezentacji oraz udziału w życiu społeczności internetowych. Rynek wirtualny tworzy również nowe środowiska elektroniczne, w których można generować realne dochody poprzez sprzedaż wirtualnych przedmiotów. Jest to dodatkową motywacją dla użytkowników, którzy pozyskane za wirtualne waluty przedmioty mogą sprzedawać w systemach aukcyjnych gdzie podstawą rozliczeń są rzeczywiste środki płatnicze. Produkty cyfrowe generują również korzyści pośrednie i zwiększają atrakcyjność komunikacji między użytkownikami. Wykorzystanie modeli rozmytych umożliwia uwzględnienie charakterystyki środowiska i daje podstawę do rozwoju nowych metod dyskryminacyjnych. Zaproponowana procedura dwupoziomowego monitorowania środowiska marketplace i generowania zasileń modelu na dwóch poziomach zapewnia dodatkowe źródła pozyskiwania wiedzy na temat zachowań systemu i umożliwia generowanie oferty cenowej w zależności od parametrów odbiorcy. Przedstawione rozwiązania wskazują na alternatywne obszary zastosowań, ukierunkowane na usprawnianie procesów podejmowania decyzji powiązanych z organizacją i funkcjonowaniem platform internetowych.

BIBLIOGRAFIA

- Babuska R. (1998) *Fuzzy Modeling for Control*, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Bainbridge W. S. (2007) The Scientific Research Potential of Virtual Worlds, *Science* 27 July 2007 Vol. 317. no. 5837, pp. 472 – 476.
- Gallego G., Ryzin G. (1997) A multiproduct dynamic pricing problem and its applications to network yield management, *Operational Research* vol. 45(1), pp. 24–41.
- Harsanyi J.C. (1997) Games with Randomly Disturbed Payoffs: A New Ration-ale for Mixed Strategy Equilibrium Points. *Int. J. Game Theory* 2, pp. 1-23.
- Jang J. S. R. (1993) ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 23, No. 3 pp. 665-685.
- Korolom M. (2009) The future of virtual goods, <http://www.hypergridbusiness.com/com/2009/09/the-future-of-virtual-goods>
- Larsen P. M. (1980) Industrial Applications of Fuzzy Logic Control, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 12, No. 1/1980, pp. 3-10.
- Mamdani E. H. (1997) Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey, in *Fuzzy Automata and Decision Processes* M. M. Gupta, G. N. Saridis, B. R. Gaines, eds., North-Holland, New York, pp. 1-13.
- Messingera P.R., Strouliab E., Bonea K. M., Niud R. H., Smirnova K., Perelgute S. (2009) Virtual worlds - past, present, and future: New directions in social computing, *Online Communities and Social Network, Decision Support Systems*, Volume 47, Issue 3, June 2009, pp. 204-228, Elsevier.
- Piegat A. (1999) Modelowanie i sterowanie rozmyte. *Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit*, Warszawa, pp. 349- 358.
- Piper Jaffray (2009) Investment research report, Pay to play - paid Internet services, <http://www.piperjaffray.com>

- Riley J.G., Samuelson W.F. (1981) Optimal Auctions, *American Economic Review* 71, 1981, pp. 381-392.
- Sivan Y. (2009) Virtual Worlds Research: Past, Present and Future, *Journal of Virtual Worlds research*, Volume 1, Number 1, Virtual Worlds Institute, ISSN 1941-8477.
- Spencer J. (2009) Virtual Worlds Research: Past, Present and Future, *Journal of Virtual Worlds research*, Volume 1, Number 1, Virtual Worlds Institute, ISSN 1941-8477.
- Stole L. A., Armstrong M., Porter R. (2007) *Handbook of Industrial Organization*, Volume 3. Amsterdam, Elsevier, pp. 21-99.
- Varian H. (1989) Price discrimination, Schmalensee, R., Willig, R. (eds) , *Handbook on Industrial Organization*, Amsterdam, Elsevier, 1989, pp. 597-654.
- Zadeh L. A. (1965) Fuzzy sets, *Information and Control* 8 (3) 338–353.

Digital goods dynamic pricing in virtual economy system with fuzzy modeling

Abstract: Complex Internet platforms more commonly act as virtual economic systems. They integrate technologies and methods of data processing, for purposes of electronic market monitoring, with multilevel discrimination and dynamic pricing. The article herein presents the concept of fuzzy modeling focused on identification of parameters that determine users behavior for purpose of dynamic pricing system.

Keywords: fuzzy modeling, web applications, dynamic pricing