

prof. dr hab. CZESŁAW CEMPEL

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: czcem@ciop.pl

DOI: 10.5604/01377043.1201788

Nowa metodologia oceny systemów złożonych przy niepełnej, nielicznej i niepewnej informacji

– krótki przegląd możliwości wykorzystania teorii szarych systemów

Fot. Nongkran ch/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono, w formie z oczywistych przyczyn skróconej, podstawowe założenia teorii tzw. szarych systemów, prezentując jednocześnie szeroki przegląd najnowszej literatury naukowej na ten temat. Omówiono uzasadnienie potrzeby stosowania szarych systemów, ich elementy składowe oraz rodzaje, a także dotychczasowy stan wiedzy na temat ich potencjału. W tekście zostały również zaprezentowane przykładowe sposoby zastosowania szarych systemów w różnych obszarach rynkowych.

Słowa kluczowe: metodologia/metodyka, szare systemy, teoria naukowa, fizyka, ekonomia, rodzaje informacji

New methodology of complex system evaluation with incomplete, rare and uncertain information – a short review of possibilities of use of the grey system theory

The article presents, in the obviously consolidated version, primary and basic premises of the so-called grey systems theory, simultaneously affording readers a broad scope of the current scientific literature source material on the topic. First and foremost, a justification for the use of the given theory is presented, their components and versions as well as the foregoing state of knowledge on their potential of use. There have been several exemplary ways of executing the theory in various market branches provided in the text, too.

Keywords: methodology/methods, grey systems, scientific theory, physics, economics, information types

Wstęp

Systemy techniczne i socjotechniczne, które użytkujemy i w których żyjemy – od maszyn i urządzeń począwszy, na systemach pracy i metropoliach skończywszy – są coraz bardziej złożone, a posiadane informacje o ich granicach, strukturze, zachowaniu, połączeniu z metasystemem¹ nie zawsze wystarczają do ich analizy i oceny zachowania.

¹ Metasystem = system nadrzędny powołany do spełniania bardziej złożonych funkcji.

Artykuł anonsuje nową metodologię, za pomocą której można badać systemy złożone, przydatną mimo braku informacji o nich i przedstawia szeroki przegląd efektów badawczych tego podejścia, zwanego teorią szarych systemów (*Grey Systems Theory* – dalej w artykule jako GST). Jednocześnie zaprezentowany został obszerny przegląd cytowanej literatury, dzięki której można się zapoznać ze szczegółami rozwiązań, a także z konkretną metodologią rozwiązywania zagadnień i problemów w ramach zastosowań GST w nauce, inżynierii, technologii, gospodarce, a także inżynierii bezpie-

czeństwa. O nośności tej tematyki badań i potencjale jej zastosowań świadczy chociażby ponad 2,2 mln odpowiedzi do hasła GST w naukowej wyszukiwarce Google Scholar.

Uzasadnienie potrzeby stosowania GST

Wprowadzanie czytelnika w teorię szarych systemów wypada zacząć od samego szczytu pojęciowego, czyli pojęcia systemu jako takiego: system to byt przejawiający swe istnienie przez synergiczne współdziałanie elementów. Wobec tego nie istnieje jednoelementowy system, bo nie istnieje synergia, czyli dodatkowa energia (i własności) ze współdziałania elementów, części i podsystemów. Elementy składowe każdego systemu mogą zaś być: materialne, energetyczne, informatyczne, pojęciowe, ludzkie, organizacyjne, techniczne i społeczne [1]. Mówimy tu zatem o bardzo szerokiej klasie systemów działaniowych, od maszyn począwszy, na takich systemach socjotechnicznych, jak przedsiębiorstwa (systemy pracy), miasta i kraje skończywszy.

Dlaczego systemy mogą być jednak szare? (*grey*) Obserwując i rozpatrując ich funkcjonowanie i stan potrzebujemy informacji o ich granicach, strukturze wewnętrznej, oddziaływaniu na otoczenie – metasystemem. Tymczasem, w większości przypadków nasze informacje o tych systemach są niepełne, często nieliczne, a czasem nawet niepewne. Według ogólnej teorii systemy dzielą się na białe (*whitebox*), szare (*greybox*) i czarne (*blackbox*). O pierwszych wiemy wszystko, o drugich tylko niektóre rzeczy (ograniczenie zasobu informacji), a o ostatnich – nic i mamy jedynie możliwość obserwacji wejścia i/ lub wyjścia systemu złożonego, jeśli takie przyporządkowanie da się określić [2-4].

W rzeczywistości rzadko kiedy mamy wokół siebie systemy białe. Na ogół są one szare lub czarne².

Wracając do systemów szarych, wyłaniają nam się co najmniej dwie kategorie ich „szarości”: niepełność informacji i niepewność oddziaływań. Szarości można oczywiście uszczegóławiać dalej,

² Podobną gradację pojęć stosują fizycy, gdyż jak wiadomo od niedawna, nasza fizyka dotyczy jedynie 5% materii widzialnej wszechświata, reszta to czarna materia + czarna energia, które dopuściliśmy do istnienia od kilkunastu lat.

ale warto tu dodać, że zwykle nasze obserwacje (pomiar, wyniki badań rynku, opinii itp.) są na ogół nieliczne, a więc otrzymana informacja o zachowaniu się systemu jest niepełna. W badaniach systemów społecznych i systemów pracy nasze badania prowadzimy zaś nie na całym systemie, lecz na próbie. Na dodatek na podstawie tak niepełnych, niepewnych i nielicznych informacji mamy oceniać działanie systemu, a często też prognozować jego zachowanie i podejmować różnorakie decyzje funkcjonalne, operacyjne i strategiczne o dużej odpowiedzialności technicznej i społecznej.

Wiemy już zatem, że zwykle zajmujemy się szarymi systemami złożonymi, bo nasze dane o nich są niepełne, niepewne i nieliczne. Zastosowanie tu klasycznej statystyki i probabilistyki byłoby zatem wielce ryzykowne, podobnie jak zbiorów rozmytych, lub też zbiorów zgrubnych, bo nie mamy należytą ku temu informacji o systemie, wymaganej w tych podejściach badawczych. Mimo to, niezbędnym naszym celem jest stworzenie wiarygodnego modelu systemu, maszyny w najprostszym przypadku, mimo wymienionych braków informacji, by na tej podstawie przewidywać jego zachowanie i podejmować różnorakie decyzje. Możemy za to wykorzystać nowo powstającą teorię szarych systemów, która nie wymaga takich informacji o systemie, bo minimalna liczba obserwacji do stworzenia przybliżonego modelu³ systemu wynosi $n \geq 4$.

Dotychczasowy stan wiedzy w GST

Teoria szarych systemów powstała w Chinach. Stworzył ją profesor Uniwersytetu Huazhong, Luo-Long Deng, anonując ją w publikacji angielskiej w roku 1982 [5]. Od tego czasu zyskała wielu zwolenników i zaczęła stopniowo uzupełniać wspomniane już 3 podejścia (statystyczne, rozmyte, zgrubne), stosowane do systemów niepewnych.

Za pomocą GST zaczęto rozwiązywać wiele problemów praktycznych – nauki, inżynierii, technologii, gospodarki i życia społecznego (szkolnictwo, opieka zdrowotna), a chińskie bazy danych notują już kilkanaście tysięcy prac, przy których ją wykorzystano [2,5,6,7].

Systemy złożone, o których tu mówimy, mają wiele obszarów wpływu na środowisko lub ze środowiska, także z systemów sąsiadujących – kooperujących. Czasami nawet trudno rozróżnić, czy jest to czynnik wpływający na nasz system, czy też reakcja naszego systemu. Mogą one mieć zatem wiele wejść, pobudzających nasz system, jak i wiele wyjść, umożliwiających reakcje systemu do otoczenia. Z punktu widzenia modelowania mogą to być systemy wielowejsciowe i wielowyjściowe, a ich obserwacje dadzą nam zbiór wektorów zachowań systemu i wektorów czynników wpływu, np.

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)); X_j = (x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)),$$

aczkolwiek może być ich znacznie więcej, jeśli interesuje nas wiele zachowań i wiele czynników wpływu w badanym systemie; wektory o tej samej długości i zmierzone w tych samych momentach obserwacji: $k = 1, \dots, n$.

³ Model to przybliżona czasoprzestrzenna reprezentacja systemu stworzona w zamiarze zrozumienia systemu rzeczywistego [1, s.86].

Nie mając dokładnej informacji o zapisanych wektorach obserwacji nie możemy mieć pewności, czy są one wyjściem czy też wejściem systemu. Najpierw należy zatem zbadać, jaki jest wzajemne podobieństwo wektorów X_i oraz X_j . W teorii szarych systemów taki proces badania podobieństwa nosi nazwę *Grey Incidence (Relation) Analysis* – GRA i analiza ta pozwala nam określić wzajemne związki i wpływ różnych czynników na nasz system [7].

Analiza wzajemnych związków między wektorami obserwacji daje nam informacje, jaki jest nasz system w danym momencie. Niemniej jednak, równie ważne mogą być tendencje rozwojowe, które tkwią w naszym systemie. Często chcemy więc dowiedzieć się, jaki jest i jaki będzie trend rozwoju danego wektora obserwacji, czyli chcemy wykonać prognozę jego zachowania. W tym celu trzeba opracować model i za jego pomocą pozyskać prognozę przyszłego możliwego zachowania systemu. Minimalna liczność elementów wektora obserwacji systemu do stworzenia modelu jego zachowania wynosi $n \geq 4$. Poszczególne kroki budowy takiego modelu prognostycznego nie są skomplikowane i można je prześledzić w monografiach [2], a także w publikacjach polskojęzycznych [8, 35].

Zajmując się systemami wielkimi, o niepełnej i niepewnej informacji, jesteśmy często zainteresowani uzyskaniem liczących się efektów działania systemu, kiedy mamy do dyspozycji szereg możliwości wpływu na jego zachowanie. Którą z tych możliwości wybrać, to kwestia uprzedniej oceny efektywności możliwych wariantów i właściwej decyzji wyboru. Tym sposobem wkraczamy na teren szarych modeli podejmowania i oceny decyzji. Zagadnienie jest nieproste, ale stopniowo rozpracowywane przez GST w postaci *Grey Decision Making* – GDM, czyli podejmowaniu decyzji z pomocą teorii szarych systemów. Jest to bardzo obszerny dział zastosowań podstawy GST, który trudno zreferować w krótkim przeglądzie. Główne zastosowania wiążą się z produkcją, logistyką i ogólnie gospodarką; w skali przedsiębiorstwa, prowincji, regionu, a nawet kraju.

W sytuacjach tych mamy zawsze zbiór zdarzeń $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ i zbiór możliwych reakcji na te zdarzenia; $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, w drodze do osiągnięcia określonych celów – C_m . Metodologia GST pozwala oszacować efekty w odpowiedzi na sytuację związaną z celem m , czyli $s_i = (a_i, b_i)^m$, a przez to optymalizować efekty określonych decyzji u_i , czyli doradzać podejmowanie ich w określonych uwarunkowaniach, nawet mimo niepełnej, nielicznej i niepewnej wiedzy.

Obszary niektórych zastosowań teorii szarych systemów – GST

Postęp cywilizacyjny to m.in. rozwój samochodowego transportu osobowego, indywidualnego i zbiorowego. Towarzyszą temu niestety wypadki drogowe, co zostało dobrze udomkowione statystycznie i, jak się okazuje z wielu prac, teoria szarych systemów i jej modele dają tu najdokładniejsze oceny prognozy spodziewanych wypadków drogowych [9, 10].

Modele prognostyczne szarych systemów mogą również służyć do oceny terminu spodziewanych nadzwyczajnych wydarzeń lub katastrof, takich jak osuwanie się zboczy, susze i powodzie, zawały

i wycieki gazu w kopalniach, trzęsienia ziemi, pożary na okręcie i inne zdarzenia nadzwyczajne, a nawet skuteczności ostrzału z działa [11-16].

Teoria szarych systemów sprawdziła się również w ocenie i przewidywaniu trendu rozwoju w gospodarce, a także w rolnictwie, medycynie, prognozie ruchu na giełdzie, rozwoju energetyki, prognozowaniu dla przedsiębiorstw turystycznych, ruchu lotniczego, ruchu w Internecie, a nawet w ocenie kosztów; produkcji *software*. Można znaleźć jej zastosowania w badaniu bezpieczeństwa handlu w sieci internetowej (*e-commerce*), w ocenie stanu finansowego firmy, bankructwa firm, prognozach ofert na aukcji, w prognozowaniu popytu, a także ocenie ilości odpadów stałych do recyklingu [17-25].

Diagnostyka maszyn i systemów, określenie ich stanu i przewidywanie czasu koniecznej odnowy to następny obszar zastosowań GST, jak np. w pierwszych pracach z Australii, Chin czy z Polski. Podobnie jest z możliwością oceny uszkodzeń konstrukcji budowlanych, oceny własności betonu na mrozie czy też lokalizacji źródeł hałasu w przemyśle [26-29].

Ocena stanu systemu niekoniecznie musi dotyczyć maszyny – może odnosić się do stanu komfortu termicznego w pracy, tak ważnego na stanowiskach pracy, jak też jakości powietrza. Wypada też wspomnieć o niecodziennych próbach zastosowań GST do oceny talentu ludzi, pracy nauczycieli, w neuropsychologii, w badaniach jakości informacji marketingowej, a także do oceny jakości sukcesji w polskich firmach rodzinnych [30-34].

Jak już wspomnieliśmy, GST dało podstawy do rozwoju wieloatrybutowego podejmowania decyzji, co pokazano na przykładzie wyboru projektu i wykonawcy budynków szkolnych, a także dostawy części i podzespołów do budowy samolotów dostawczych w Chinach.

Podsumowanie

W badaniach i ocenie stanu systemów technicznych i socjotechnicznych potrzebujemy informacji pewnej, licznej i pełnej. Niestety wszystkie te trzy atrybuty informacji o badanym systemie są rzadko w naszej dyspozycji. Okazuje się jednak, że wielką pomocą w tym względzie może być opracowana w Chinach w latach 80. XX w. teoria szarych systemów – GST. Minimalna liczba danych „obserwacji”, jakich potrzebujemy do budowy przybliżonego modelu systemu dla interesującej nas cechy wynosi $n \geq 4$. Dlatego też w literaturze światowej spotykamy zastosowania GST do rozwiązywania szerokiej klasy zadań i problemów w wielu dziedzinach: nauki, inżynierii, medycyny i psychologii, eksploatacji maszyn i systemów pracy, inżynierii bezpieczeństwa, technologii produkcji, logistyki i zarządzania systemami gospodarczymi, a nawet w naukach wojskowych badających efektywność działań na polu bitwy. Stąd też warto zapoznać się z przytoczonym przeglądem literatury i wybrać kilka rozwiązań metodologią GST w interesującej nas problematyce.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cempel C. *Teoria i inżynieria systemów*. Wyd. ITE, Radom 2008:291
- [2] Liu S-F, Lin Y. *Grey Systems – Theory and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, 2010:379

- [3] Skyytner L. *General Systems – Theory, Ideas & Applications*. World Scientific, Singapore 2001:460
- [4] Andrew A.M. *Why the world is grey*. "Grey Systems – Theory and Application" 2011, Vol.1, No. 2:112-116
- [5] Deng J-L. *Control Problems of Grey Systems*. "Systems and Control Letters" 1982, Vol. 1, No.5:288-94, North Holland, Amsterdam
- [6] Liu S-F, Forest J., Yang Y. *A brief introduction to grey systems theory*. "Grey Systems Theory and Application" 2012, Vol. 2, No. 2:89-104
- [7] Wei G. *Grey relational analysis model for dynamic hybrid multiple attribute decision making*. Knowledge-Based Systems, Vol.24, Iss.5:672-679
- [8] Cempel C., Tabaszewski M. *Zastosowanie teorii szarych systemów do modelowania i prognozowania w diagnostyce maszyn*. „Diagnostyka” 2007, Vol. 42, No. 2:11-18
- [9] Mao M., Chirwa E.C. *Application of grey model GM(1,1) to vehicle fatality risk estimation*. "Technological Forecasting and Social Change", 2006, No. 73:588-605
- [10] Wang L., Lu H-P., Zheng Y. *Macro prediction of traffic accident in Beijing based on model GM(1,N)*. ICCTR 2010 Conference, Towards Sustainable Transportation System:1914-1924
- [11] Dang Y.G., Liu S-F. *An improvement on the slope degree of grey incidence*. "Engineering Science of China" 2004, Vol.6, No. 3:41-44
- [12] Liu S-F. *Grey forecast of drought and inundation in Henan Province*. "The Journal of Grey Systems" 1994, Vol. 6, No. 4:279-288
- [13] Zhang H., Song W. *Hazard source identification of mined-out area based on grey systems theory*, Zhu et al. (eds): ICICA 2010, LNCS 6377, 2010:493-500
- [14] Cheng K.H., Chang W.Ch. *Grey systems theory for earthquake forecasting*. "Journal of International Research Center for the Prevention of Seismic Hazard" China 1999:99-108
- [15] Kuo H.C., Chang H.K. *A real-time shipboard fire-detection system based on grey-fuzzy algorithms*. "Fire Safety Journal" Vol. 38, No. 4:341-363
- [16] Cheng Q.Y., Qiu W.H. *Grey system forecast for firing accuracy of gun*. "Journal of System Science and Engineering" 2001, Vol. 10, No. 2:205-211
- [17] Liu S-F, Dang Y.G., Li B.J. et al *Computational analysis on the periodic contribution of technological advances in Henan Province*. "Journal of Henan Agricultural University" 1998, Vol. 32, No. 3:203-207
- [18] Tan X.R. *Grey medical incidence theory and applications*. PhD Dissertation of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 1997
- [19] Hsu C.C., Chen C.Y. *Application of improved grey prediction model for power demand forecasting*. "Energy Conversion and Management" 2003, Vol. 44, No. 14:2241-2249
- [20] Wang Z.X., Pei L.L. *System thinking – based grey model for sustainability evaluation of urban tourism*. "Kybernetes" 2014, Vol. 43, No. 3/4:462-479
- [21] Li G-D., Yamaguchi D., Nagai M. *A GM(1,1) – Markov chain combined model with an application to predict the number of Chinese international airlines*. Technological Forecasting and Social Change, September 2006:1-19
- [22] Liu J., Qiao J-Z. *A grey rough set model for evaluation and selection of software cost estimation methods*. "Grey Systems; Theory and Application" 2014, Vol.4, No. 1:3-12
- [23] Dong F.Y. *Development prediction on the finance of Chinese firms based on newly improved GM(1,1) model*. "Management Science of China" 2007, Vol. 15, No. 4:93-97
- [24] Barczak S. *Zastosowanie teorii szarych systemów do przewidywania przyszłych ofert składanych na aukcjach pierwszej ceny poprzez pryzmat modelu szarego systemu*. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej, Katowice 2011:1-18
- [25] Werner K., Mierziak R., Pochmara J. *Teoria systemów szarych jako narzędzie wspomaganie prognozowania popytu*. „Logistyka” 2009, No. 2
- [26] Luo M.F., Kuhnell B.T. *Diagnosis of rotating machine faults using grey relational grade analysis*. "The Bulletin of CMC Monash" 1991, Vol. 3, No. 1:1-8
- [27] Cempel C., Tabaszewski M. *Zastosowanie teorii szarych systemów do modelowania i prognozowania w diagnostyce maszyn*. „Diagnostyka” 2007, Vol. 42, No. 2:11-18
- [28] Zółtowski B. *Consideration in diagnostics of the grey systems theory*. "Journal of Polish CIMAC" 2011, Vol. 6, No. 2:191-200
- [29] Yang Y., Wang S.W., Hao N.L., Shen X.B., Qi X.H. *Online noise source identification based on power spectrum estimation and grey relational analysis*. "Applied Acoustics" 2009, Vol. 70, No. 3:493-497
- [30] Yi D.S. *Grey models and prediction of human talents*. "Systems Engineering" 1987, Vol. 5, No.1:36-43
- [31] Wen K.L., Hsieh W.F. *Optimal teacher evaluation based on cardinal grey relational grade*. J. Chien-Kuo Institute of Technology, April 2003:29-38
- [32] Cui W., Cui S.F. *Theoretical discussion of applying grey system theory to neuropsychological studies*. "Grey Systems Theory and Applications" 2011, Vol.1, No. 3:268-273
- [33] Kijewska J., Mierziak R. *The quantitative and synthetic information quality evaluation based on the Grey System Theory*. Proceedings of 17th International Conference QMOD/ICQSS, 3-5 September, Prague, Czech Republic, 2014:1-11
- [34] Więcek-Janka E., Mierziak R., Kijewska J. *Taxonomic Approach to Competencies in the Succession Process of Family Firms with the Use of Grey Clustering Analysis*. Proceedings of IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, August 18-20, 2015, University of Leicester UK
- [35] Cempel C. *Teoria szarych systemów – nowa metodologia analizy i oceny złożonych systemów: przegląd możliwości*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. „Organizacja i Zarządzanie” 2014, 63:9-20

Znajdziesz nas w Internecie: www.ciop.pl, e-mail: bpredakcja@ciop.pl

