

*dr hab. inż. Franciszek Grabowski*¹

Zakład Systemów i Sieci Komputerowych, Instytut Inżynierii Technicznej
Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna

*dr Justyna Stasienko*²

Zakład Systemów Informatycznych, Instytut Inżynierii Technicznej
Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna

Termodynamika rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy

WPROWADZENIE

Termin „społeczeństwo informacyjne” jest w obiegu od ponad pół wieku. Dotychczas zaproponowano kilkadziesiąt definicji, co wskazuje na nijakość tego pojęcia. Wszystkie definicje najtrafniej ocenił E. Bendyk [Bendyk, (<http>): „Co to jest społeczeństwo informacyjne? Ideologiczny twór państwowych biurokratów czy precyzyjna etykieta opisująca stan społeczeństwa wskutek rozwoju zaawansowanych technologii? Ani jedno, ani drugie. Społeczeństwo informacyjne to puste stwierdzenie, które w warstwie ideologicznej się wyczerpało, jego wartość opisowa zaś jest równie mała”.

Dane, informacja, wiedza i mądrość towarzyszą ludzkości od zarania jej istnienia. Redukcjonistyczny punkt widzenia traktuje dane, informacje, wiedzę i mądrość rozłącznie, jako strukturę hierarchiczną niezależnych warstw. Wtedy można przyjąć, że informacja jest zbiorem niezależnych danych, które rozprzestrzeniają się zgodnie z dyfuzją normalną, natomiast wiedza jest superpozycją procesów dyfuzyjnych. Jest to zatem system prosty. Jednakże z holistycznego punktu widzenia dane są zagnieżdżone w informacji, zaś wiedza jest nieekstensywną strukturą danych i informacji. Nierównowagowa i nieekstensywna, przestrzenno-czasowa dynamika struktur danych jest kreowana w procesach poznawczych człowieka, na które wpływa otoczenie, system nerwowy oraz ciało [Kello, 2008]. W zależności

¹ Adres korespondencyjny: Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna, ul. Czarnieckiego 16, 37-500 Jarosław, e-mail: fgrab@prz.edu.pl, tel. 16 6244657.

² Adres korespondencyjny: Państwowa Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna, ul. Czarnieckiego 16, 37-500 Jarosław, e-mail: justyna.stasienko@pwste.edu.pl, tel. 16 6244657.

od poziomu poznawczego, struktury przestrzenne danych mogą przyjmować formę losowych, równowagowych danych ($p=1$), nierównowagowych, niekompletnych informacji i wiedzy ($0 < p < 1$) aż do absolutnej (kompletnej) wiedzy ($p=0$). Wskutek tego procesy poznawcze, wyrażone w postaci tekstu, dźwięku i obrazu, mają również kontekst czasowy typu $1/f$, który jest nierozzerwalnie związany z kontekstem przestrzennym [Alvarez-Lacalle, 2006; Hsu, 1991; Ihlen, 2010; Kello, 2010; Van Orden, 2005; Wagenmakers, 2004]. Dane, informacja, wiedza i mądrość są wzajemnie zagnieżdżone, podlegają konwergencji i stanowią adaptacyjny system złożony [Blumer, 1971; Castells, 2007; Rogers, 1971; Sawyer, 2005]. Dlatego sztucznie wyodrębnienie informacji z systemu złożonego niewiele wnosi, a jedynie sieje zamieszanie.

W kontekście wspomnianych uwarunkowań kluczową kwestią jest zrozumienie mechanizmów dyfuzji informacji i unoszenia wiedzy. Dlatego w artykule podjęto kwestię termodynamiki rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy rozpatrywanych zarówno w kategoriach redukcjonistycznych, jak i holistycznych.

TERMODYNAMIKA ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ INFORMACJI I WIEDZY

Pierwszy prezentowany model termodynamiczny rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy postrzegany jest jako system prosty o samoorganizacji jednorodnej. Kolejny model rozszerzony został do przypadku rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy rozumianych, jako niejednorodny, nieekstensywny samoorganizujący się system złożony.

ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ INFORMACJI I WIEDZY POSTRZEGANYCH JAKO SYSTEM PROSTY

Systemy rzeczywiste mają ograniczone możliwości i dlatego są nieliniowe. Idealizacja forsowana przez redukcjonizm odrzuca wszelkie ograniczenia. Oznacza to, że z przestrzenno-czasowego punktu widzenia, system jest jednorodny, liniowy, zdominowany przez dodatnie sprzężenie zwrotne (DSZ) i postrzegany jako czarna skrzynka. Jego wydajność może być opisana przez równanie Malthusa, rys. 3, charakterystyka 0:

$$X_M = \frac{dN}{dt} = rN \quad (1)$$

gdzie r jest parametrem determinującym intensywność wzrostu lub spadku wydajności, zaś N liczbą zadań realizowanych w systemie.

W rzeczywistości ograniczone zasoby systemu wymuszają samoorganizację na poziomie mikroskopowym i w konsekwencji prowadzą do zmian własności

na poziomie makroskopowym. W roku 1838, czyli sto lat przed cybernetykami, na ten fakt zwrócił uwagę P. Verhulst, który równanie (1) uzupełnił o dodatkowy człon. Pokazał, że ograniczone zasoby K nieuchronnie prowadzą do ujemnego sprzężenia zwrotnego (USZ). W ten sposób wyłoniło się równanie logistyczne, rys. 3, charakterystyka 1:

$$X_V = \frac{dN}{dt} = \underbrace{rN}_{\text{DSZ}} \underbrace{\left(1 - \frac{N}{K}\right)}_{\text{USZ}} = rKu(1-u) \quad (2)$$

Parametr $u = N/K$ jest współczynnikiem wykorzystania zasobów systemu, gdzie $0 \leq u \leq 1$.

Rozwiązując (2) otrzymuje się funkcję logistyczną, która opisuje dyfuzję, rys.1, charakterystyka N :

$$N(t) = \frac{KN_0}{N_0 + (K - N_0)e^{-rt}} = KN_0 [N_0 + (K - N_0)e^{-rt}]^{-1} \quad (3)$$

N_0 jest wartością początkową liczby zadań w systemie.

Równanie (2) umożliwia określenie polaryzacji pętli dominującej sprzężenia zwrotnego w systemie:

$$dX/dN = r - 2N \frac{r}{K} = 0 \quad (4)$$

Biorąc pod uwagę równanie (4) można zauważyć, że polaryzacja dominującej pętli sprzężenia zwrotnego systemu nieliniowego zmienia się wraz z wartością N :

$$\text{sign}\left(r - 2N \frac{r}{K}\right) = \begin{cases} +, & \text{jeżeli } N < \frac{K}{2} \\ -, & \text{jeżeli } N > \frac{K}{2} \end{cases} \quad (5)$$

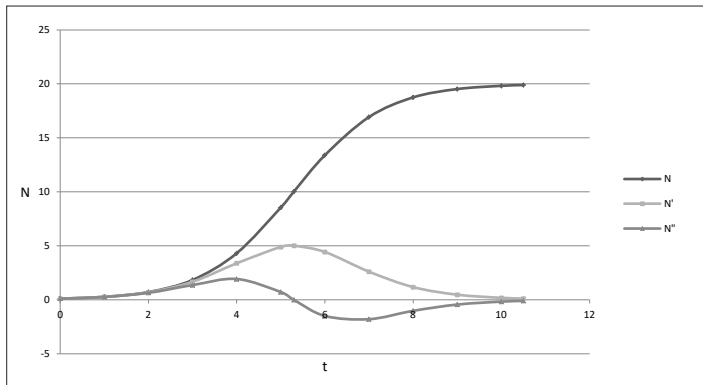
Na podstawie (5) widać, że w tej dwupętlowej strukturze równania logistycznego, gdy N wzrasta, polaryzacja pętli zmienia się z dodatniej na ujemną. W równaniu logistycznym zmiana dominacji pętli następuje wtedy, kiedy N osiąga połowę jego maksymalnej wartości. Jest to konsekwencją nieliniowości charakterystyki równania logistycznego. Istnieje bezpośredni związek pomiędzy bifurkacją a dominacją pętli. Bifurkacje są związane z gwałtownym przejściem do określonego, docelowego stanu systemu nieliniowego.

Różniczkując (3) można zauważyć, że bifurkacje zachodzą w punktach równowagi, które są także punktami przełączania pętli dominującej. Wtedy system samoorganizuje się i w punkcie równowagi termodynamicznej osiąga apogeum swoich możliwości, rys.1, charakterystyka N' :

$$\frac{d}{dt} N(t) = \frac{KN_0(K - N_0)e^{-rt}}{[N_0 + (K - N_0)e^{-rt}]^2} \quad (6)$$

Równanie (6) pokazuje zmianę polaryzacji dominującej pętli sprzężenia zwrotnego w dziedzinie czasu, rys. 1, charakterystyka N'' :

$$\frac{d^2}{dt^2} N(t) = \frac{(KN_0(K - N_0)e^{-rt})[N_0 + (K - N_0)e^{-rt}]^2}{[N_0 + (K - N_0)e^{-rt}]^4} - \frac{2KN_0(K - N_0)e^{-rt}[N_0 + (K - N_0)e^{-rt}][(K - N_0)e^{-rt}]}{[N_0 + (K - N_0)e^{-rt}]^4} \quad (7)$$



Rys. 1. Funkcja logistyczna, jako model dyfuzji (N), proces samoorganizacji systemu (N') i polaryzacja dominującej pętli sprzężenia zwrotnego (N'')

Źródło: opracowanie własne.

Równania (3), (6) i (7) korespondują z dyfuzją normalną $\langle x^2 \rangle \propto t$ opisaną prawem Fokkera-Ficka:

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x,t)}{\partial x^2} \quad (8)$$

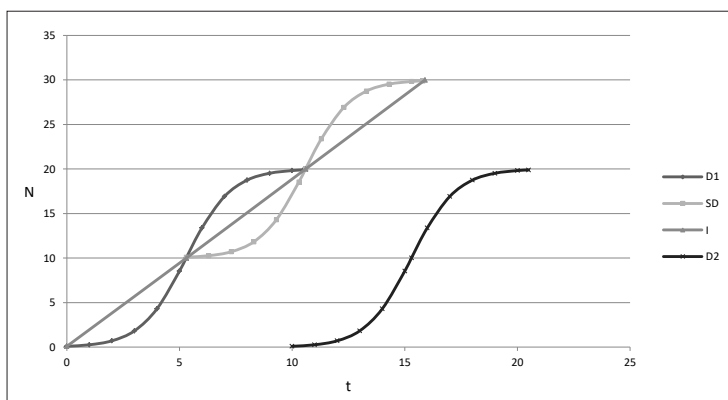
D jest współczynnikiem dyfuzji, zaś x odległością.

Uwzględniając składową dyfuzyjną (8) i unoszenia (2) możemy przedstawić postać ogólną równania określającego rozprzestrzenianie się informacji i wiedzy w warunkach ekstensywnych:

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N(x,t)}{\partial x^2} + rN(x,t) \left(1 - \frac{N(x,t)}{K} \right) \quad (9)$$

Przyjmując idealistyczny przypadek systemu o strukturze jednorodnej i przedstawiając rozważania w kategoriach analizy asymptotycznej można pokazać jak dyfuzja informacji przechodzi w unoszenie wiedzy.

Biorąc pod uwagę funkcję logistyczną, która opisuje dyfuzję normalną, można określić warunki matematyczne i przedstawić graficznie idealne przypadki procesu dyfuzji innowacji oraz unoszenia innowacji. Przy braku globalnego sprzężenia zwrotnego, czyli braku pamięci, jeżeli kolejne wstrzyknięcia innowacyjności następują w momentach $t+nT$, rys. 2, gdzie T jest czasem trwania pojedynczego procesu dyfuzji, zaś $n=1, 2, 3, \dots$, wtedy mamy do czynienia z idealnym przypadkiem dyfuzji innowacji. Z utylitarne punktu widzenia jest to przypadek pesymistyczny, gdyż oznacza stagnację poznawczą. Zmiana paradygmatu z dyfuzji innowacji do unoszenia innowacji może nastąpić przy zmianie trybu komutacji, co prowadzi do systemu z pamięcią. Optymistyczny przypadek unoszenia innowacji zapewnia idealna komutacja realizowana w punktach o współrzędnych $t+nT$ oraz $N+nK$, gdzie $n=1/2, 1, 2/3, \dots$. Z punktu widzenia analizy asymptotycznej jest to przypadek optymistyczny, ale nierealistyczny. Pomiedzy przypadkiem optymistycznym a pesymistycznym można wskazać nieskończenie wiele kombinacji, które są bardziej zbliżone do rzeczywistości, co jest pokazane w następnej sekcji.



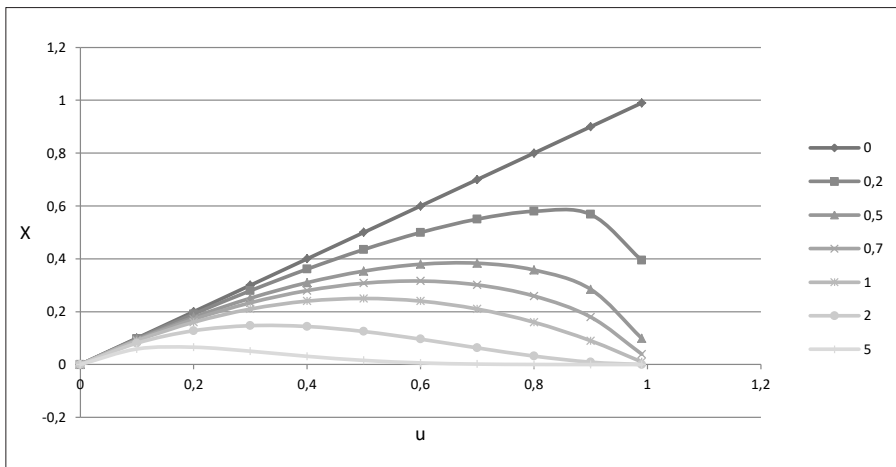
Rys. 2. Termodynamika dyfuzji informacji i przepływu wiedzy w systemie prostym. Pierwsze (D1) i drugie (D2) dyfuzyjne wstrzyknięcie informacji. Superpozycja informacji D1 i SD, co daje idealny przypadek wiedzy I

Źródło: opracowanie własne.

ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ INFORMACJI I WIEDZY POSTRZEGANYCH
JAKO SYSTEM ZŁOŻONY

Punktem wyjścia przypadków opisanych w poprzedniej sekcji było równanie logistyczne Verhulsta. Jest to przypadek szczególny. Odnosi się ono jedynie do jednorodnych procesów samoorganizacji, które lokują się w obszarze pod-ekstensywności termodynamicznej. W związku z tym, równanie logistyczne określa jedynie pojedynczą charakterystykę $X(u)$ przy r oraz K , jako parametry, rys. 3, charakterystyka 1. Tymczasem w ogólnym przypadku w systemie wyłaniają się zachowania zarówno o charakterze pod-ekstensywnym, jak i super-ekstensywnym, które są związane niejednorodnością samoorganizacji procesów. W ogólnym przypadku parametry systemu są zmienne i zależne od uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych. Zatem system jest wrażliwy na warunki początkowe związane bezpośrednio ze sprzężeniem zwrotnym dowolnego rzędu. W ogólnym przypadku system może podążać nieskończenie wieloma ścieżkami samoorganizacji, co uwzględnia parametr $-\infty < \varphi < +\infty$ w równaniu logistycznym dowolnego rzędu [13, 14]:

$$X = \frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)^\varphi = rKu(1-u)^\varphi \quad (10)$$



Rys. 3. Rodzina charakterystyk równania logistycznego dowolnego rzędu

Źródło: opracowanie własne.

Wrażliwość systemu złożonego na warunki początkowe nieuchronnie prowadzi do termodynamiki nieekstensywnej i entropii Tsallisa [15]:

$$S_q = k \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i^q}{q-1} \quad \left(S_1 = S_{BG}; \sum_{i=1}^W p_i = 1; q \in \mathfrak{R} \right) \quad (11)$$

gdzie W jest całkowitą liczbą konfiguracji, $\{p_i\}$ jest prawdopodobieństwem, k jest stałą zaś BG jest entropią Boltzmana-Gibbsa. Zgodnie z paradygmatem Tsallisa, jeżeli system składa się z dwóch podsystemów A i B, wtedy entropia systemu może być określona jako:

$$S_q(A+B) = S_q(A) + S_q(B) + (1-q)S_q(A)S_q(B) \quad (12)$$

W równaniu (12), człon $(1-q)S_q(A)S_q(B)$ wskazuje na nieekstensywność systemu i jest zależny od wrażliwości na warunki początkowe [16]:

$$\xi(t) \equiv \lim_{\Delta x(0) \rightarrow 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta x(0)} = \left[1 + (1-q)\lambda_q t \right]^{\frac{1}{1-q}} \quad (q \in \mathfrak{R}) \quad (13)$$

gdzie λ_q jest uogólnionym wykładnikiem Lapunowa. Równania (12) i (13) określają relacje pomiędzy informacją i wiedzą w systemie nieekstensywnym.

W przypadku nieekstensywnym mamy do czynienia z dyfuzją anomalną, $0 < \gamma < 2$:

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^\gamma N(x,t)}{\partial x^\gamma} \quad (14)$$

Uwzględniając składową dyfuzji i unoszenia równanie opisujące rozprzestrzenianie się wiedzy można przedstawić w postaci:

$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^\gamma N(x,t)}{\partial x^\gamma} + rN(x,t) \left(1 - \frac{N(x,t)}{K} \right)^\rho \quad (15)$$

W rzeczywistych, niejednorodnych systemach funkcja logistyczna dowolnego rzędu $N(t)$ plasuje się pomiędzy przypadkami opisywanymi w poprzedniej sekcji.

WNIOSKI

W artykule przedstawiono model rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy. W pierwszej kolejności pokazano przypadek, kiedy informacja i wiedza są komponentami redukcjonistycznego systemu prostego. Wtedy rozprzestrzenianie informacji podlega dyfuzji normalnej, zaś laminarne rozprzestrzenianie się wiedzy jest

superpozycją procesów dyfuzyjnych. Wzięto również pod uwagę przypadek holi-
styczny, gdzie informacja i wiedza stanowią interaktywne komponenty adaptacyj-
nego systemu złożonego. Wtedy termodynamika rozprzestrzeniania się informacji
i wiedzy staje się nieekstensywna, zaś przepływy mają charakter turbulentny.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez-Lacalle E, Dorow B., Eckmann J.P., Moses E., 2006, *Hierarchical structures induce long-range dynamical correlations in written texts*, PNAS, 103, 21, 7956–7961, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0510673103>.
- Bendyk E., 1999, *Ideologia społeczeństwa informacyjnego*, „Computer World”, 33 <http://www.calculemus.org/lect/mes99-00/spin/1bendyk.html> (dostęp: 15.07.2016 r.).
- Blumer H., 1971, *Social Problems as collective behavior*, „Social Problems”, 18, 298–306, <http://dx.doi.org/10.2307/799797>.
- Castells M., 2007, *The rise of the Network society*, John Wiley & Sons, <http://dx.doi.org/10.1002/9781444319514>.
- Hsu K.K., Hsu A., 1991, *Self-similarity of the “1/f noise called music*, „Proc. Natl. Acad. Sci.”, 88, 3507–3509, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.88.8.3507>.
- Ihlen E.A.F., Vereijken B., 2010, *Interaction-dominant dynamics in human cognition: Beyond 1/f^α fluctuation*, „Psychonomic Bulletin & Review”, J. of Experimental Psychology: General, 139, 3, 436–463, <http://dx.doi.org/10.1037/a0019098>.
- Kello C.T., Anderson G.G., Holden G.G., Anderson G.G., 2008, *The pervasiveness of 1/f scaling in speech reflects the metastable basis of cognition*, „Cognitive Science”, 32, 7, 1217–1231, <http://dx.doi.org/10.1080/03640210801944898>.
- Kello C.T., Brown G.D.A., Cancho R.F., Holden G.G., Linkenkaer Hansen K., Rhodes T., Van Orden G.C., 2010, *Scaling laws in cognitive sciences*, „Trends in Cognitive Sciences”, 14, 223–232, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2010.02.005>.
- Rogers E.M., Shoemaker F.F., 1971, *Communication of Innovations: A Cross-Cultural Approach*, New York, Free Press.
- Sawyer R.K., 2005, *Social emergence: societies as complex systems*, Cambridge University Press, <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511734892>.
- Van Orden G.C., Holden J.G., Turvey M.T., 2005, *Human cognition and 1/f scaling*, J. of Experimental Psychology: General, 134, 1, 117–123, <http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.134.1.117>.
- Wagenmakers E.J., Farrell S., Ratcliff R., 2004, *Estimation and interpretation of 1/f noise in human cognition*, „Psychonomic Bulletin & Review”, 11, 4, 579–615, <http://dx.doi.org/10.3758/BF03196615>.

Streszczenie

W artykule przedstawiono model termodynamiczny rozprzestrzeniania się informacji i wiedzy. Jako pierwszy pokazano idealistyczny przypadek, gdzie zarówno informacja, jak i wiedza są komponentami prostego, redukcjonistycznego systemu poznawczego. Wtedy rozprzestrzenianie informacji

podlega dyfuzji normalnej zaś rozprzestrzenianie się wiedzy jest superpozycją procesów dyfuzyjnych. Drugi bardziej realistyczny przypadek jest ujęciem holistycznym, gdzie informacja i wiedza są interaktywnymi nieekstensywnymi komponentami systemu poznawczego postrzeganego, jako adaptacyjny system złożony.

Słowa kluczowe: społeczeństwo informacyjne, informacja, wiedza, termodynamika, systemy złożone

Thermodynamics of spreading information and knowledge

Summary

The article presents the thermodynamic model of spreading information and knowledge. Firstly, an idealistic case is presented, where both information and knowledge are the components of a simple reductionist cognitive system. Here, the dissemination of information is subjected to normal diffusion, whereas the spread of knowledge is a superposition of diffusion processes. The second, more realistic case, represents a holistic approach, where information and knowledge are interactive non-extensive components of a cognitive system perceived as a complex adaptive system.

Keywords: information society, information, knowledge, thermodynamics, complex systems

JEL: C1, C6, Z0