

Franciszek GRABOWSKI, Dominik STRZAŁKA
POLITECHNIKA RZESZOWSKA, ZAKŁAD SYSTEMÓW ROZPROSZONYCH

Rekonfigurowalność systemów w kontekście statystyki nie-ekstensywnej

Dr hab. inż. Franciszek GRABOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Mat-Fiz. w WSP Rzeszów i Elektrotechniki PRz, obronił pracę doktorską na Wydziale Elektroniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie. Zainteresowania naukowe dotyczą systemów cyfrowych rozproszonych i złożonych.



e-mail: fgrab@prz.rzeszow.pl

Mgr inż. Dominik STRZAŁKA

Ukończył z wyróżnieniem studia na kierunku informatyka realizowane na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej broniąc pracę magisterską w 2003 r. Obecnie jest asystentem na Zakładzie Systemów Rozproszonych. Jego zainteresowania naukowe skupiają się głównie na zastosowaniu idei systemów złożonych oraz samopodobnych modeli statystycznych w analizie systemów komputerowych.



e-mail: strzalka@prz.rzeszow.pl

Streszczenie

W artykule pokazano, że czas życia systemów rekonfigurowalnych wpisuje się w przypadek super-ekstensywny, nieaddytywnej termodynamiki nierównowagowej i entropii Tsallis, która oprócz składnika addytywnego o charakterze ilościowym, opisującym nierekonfigurowane struktury klasyczne, zawiera dodatkowy człon jakościowy wpisujący się w charakter struktur rekonfigurowalnych. Podejście to stanowi rozszerzenie klasycznej, addytywnej formuły entropii Boltzmanna-Gibbsa-Shannona. Badania dotyczą relacji pomiędzy postępem technologicznym określonym przez prawo Moore'a a czasem życia produktu w odniesieniu do struktur klasycznych i rekonfigurowalnych.

Słowa kluczowe: rekonfigurowalność, entropia nie-ekstensywna.

Systems reconfiguration via non-extensive statistics approach

Abstract

The article shows that the time of living of reconfigurable systems can be described by non-extensive, non-additive, non-equilibrium thermodynamics and Tsallis entropy, which beside the additive linear component that describes classical non-reconfigurable structures, has got additional term that can characterize the reconfigurable structures. The presented approach is the enhancement of classical additive formula of Boltzman-Gibbs-Shannon entropy. The relation between technological progress described by Moore's law and product time of living for classical and reconfigurable structures was shown.

Keywords: reconfiguration, non-extensive entropy.

1. Wstęp

Artykuł dotyczy nowego, uogólnionego, nie-ekstensywnego modelu czasu życia wyrobu oraz jakości usług w systemach rekonfigurowalnych, wpisujących się w paradygmat systemów złożonych, w odróżnieniu od dotychczasowych modeli addytywnych, adekwatnych do opisu systemów klasycznych, które lokują się w formule systemów prostych. Przez uogólnienie rozumiemy uwzględnienie zjawisk wyższych rzędów, charakterystycznych dla systemów złożonych, co stanowi uzupełnienie modeli uwzględniających jedynie zjawiska niższych rzędów specyficzne dla systemów prostych. Opis sięgający do zjawisk niższych rzędów wpisuje się w uproszczone, redukcjonistyczne, postrzeganie rzeczywistości utrzymane w kategoriach statycznych, czy też quasi-statycznych, liniowości i addytywności związanej ze stanem równowagi termodynamicznej, kiedy to staramy się opisać maksimum zachowań systemu sięgając do minimum hipotez. W modelu tym przyjmuje się regułę Kartezjusza i Galileusza mówiącą, iż „każdy problem należy rozbić na tyle oddzielnych elementów, na ile to jest tylko możliwe”. Podejście to jest usprawiedliwione jedynie w przypadku, gdy procesy w systemie mają charakter krótkoterminowy. Bazując na takim podejściu, w wieku XVIII,

wydawało się, że nauka osiągnęła tak wysoki poziom, iż pozostało już niewiele do odkrycia. Ludzkości zaczęło towarzyszyć przekonanie, że odkryte niezmiennicze prawa przyrody precyzyjnie i raz na zawsze wyznaczają ruch każdej cząstki we wszechświecie, którego przyszłość można obliczyć. W takim ujęciu system, czy też jego elementy, o nieograniczonych zasobach mogą znajdować się w jednym z dwóch, hipotetycznych, przeciwstawnych stanów i reagować jedynie dwubiegunowo, zgodnie z formułą „tak-nie”, czy też „0-1”.

Tymczasem wiadomo, że w rzeczywistych, w odróżnieniu od idealizowanych, systemach o ograniczonych zasobach, czy też ich elementach, typu człowiek, serce, komputer, procesor, itp., pomiędzy wspomnianymi, dwoma, przeciwstawnymi, skrajnymi stanami takimi jak np. narodziny-śmierć, przyspieszanie-slowalnianie, miłość-nienawiść, hossza-bessa, narastanie-opadanie, występuje całe bogactwo zjawisk o cechach emergentnych, które stanowią o różnorodności i pięknie życia ludzkiego, różnorodności procesów gospodarczych, czy też działaniu systemów komputerowych. Procesy te, w ogólnym przypadku, korespondują ze zjawiskami wyższych rzędów o charakterze długoterminowym, u podłoża których leży dynamika, nieliniowość oraz nieekstensywność będąca punktem wyjścia do opisu nierównowagowej termodynamicznej. Nie wpisują się one w formułę „tak-nie”, lecz w formułę „tak-ale” lub „nie-ale”, leżącą u podstaw systemów złożonych, i korespondującą z arystotelesowską zasadą mówiącą, że „całość to więcej niż suma jej części”.

Nieuchronne występowanie w systemach rzeczywistych zjawisk wyższych rzędów, a szczególnie procesów o charakterze długoterminowym, które degradują wydajność i jakość świadczonych usług, można zdyskontować wykorzystując je zwrótnie do długoterminowego, predykcyjnego zarządzania systemami, wskutek czego można nie dopuścić, lub przynajmniej złagodzić, niepożądane efekty. Jest to szczególnie istotne w rozrastających się gwałtownie systemach cyfrowych począwszy od pojedynczych procesorów aż do systemów globalnych, typu Internet, gdzie złożoność przerasta możliwości przysłowiowego ręcznego sterowania. W tym kontekście zrozumiałe są inicjatywy takie jak systemy autonomiczne o cechach samo-ptymalizacji, samo-zarządzania, samoorganizacji, samo-rekonfiguracji, samonaprawiania [1]. Oddają one specyfikę systemów złożonych okrzykniętych już wiodącą nauką XXI wieku, która w zasadniczy sposób pogłębia nasze spojrzenie na to, co dzieje się wewnątrz i wokół nas, oraz stwarza nowe możliwości narzucone przez paradygmat redukcjonistyczny.

2. Postęp technologiczny a czas życia produktu-czy droga donikąd?

W okresie cyfrowej rewolucji przemysłowej określenie postęp technologiczny jest jednym z częściej pojawiających się. Postęp technologiczny, p_t , w funkcji czasu, t , określa prawo Moore'a [2]

wpisujące się w formułę prawa potęgowego. W roku Moore 1965 stwierdził, że liczba tranzystorów w układach scalonych w okresie 18 miesięcy, p_{t+18} , podwaja się:

$$p_{t+18} = 2 \cdot p_t \quad (1)$$

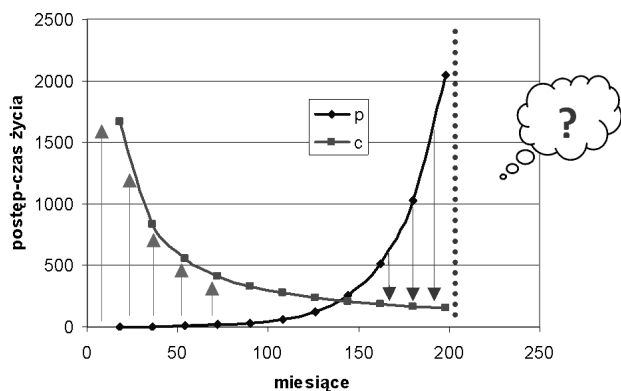
Ten, eksponencyjny rozwój stanowi od ponad czterdziestu lat jedną z głównych sił napędowych współczesnego rozwoju. Jednakże nie jest to ani pierwsza, ani ostatnia rewolucja technologiczna w dziejach ludzkości. Warto pamiętać, że sztanowym produktem jednej z nich była *maszyna parowa*. Jednakże każda rewolucja, również *cyfrowa*, wyczerpuje z czasem swoją formułę. W związku z tym narzuca się pytanie czy formuła Moore'a się już wyczerpała, czy też jak szybko to nastąpi? Wszak każdy paradygmat wykreowany przez człowieka nie jest wieczny.

Rewolucja cyfrowa związana z postępem technologicznym sprawia, że sprzęt elektroniczny, komputerowy i inny starzeje się w tempie dotychczas niespotykanym. Ledwo znajdzie się na półkach, a już wypierają go nowocześniejsze modele. Wydaje się, że ten proces nie ma końca i podlega ustawicznemu przyspieszeniu. Z tych właśnie powodów większość modeli, np. telefonów komórkowych, telewizorów, aparatów cyfrowych, itp. wychodzi z produkcji już po kilku miesiącach. Dopóki działa, nie wyrzucaj. Ta reguła miała kiedyś uzasadnienie technologiczne: nie kupowano nowego telewizora tylko dlatego, że stary, w drewnianej obudowie, nieco się zakurzył. Dlaczego tak się nie dzieje obecnie? Często można natknąć się na opinie, że tę kwestię wyjaśnia prawo Moore'a. Czy aby na pewno?

Wiadomo, że czas (cykl) życia produktu, c , w funkcji czasu ustawicznie się skraca zgodnie z zależnością:

$$c(t) \propto \frac{k}{t} \quad (2)$$

gdzie k jest stałą. Zależność (2), podobnie jak (1), wpisuje się w formułę prawa potęgowego. Charakterystyki $p(t)$ oraz $c(t)$ zostały pokazane na rys. 1.



Rys. 1. Prawo Moore'a (p) a czas życia produktu (c) w funkcji czasu
Fig. 1. Moore's law (p) and product time of living (c) as a function of time

Patrząc na te dwa przeciwstawne względem siebie procesy, $p(t)$ oraz $c(t)$, można popaść w konfuzję. Rodzi się w sposób naturalny pytanie: jak to jest możliwe, by postęp technologiczny, dzięki któremu produkt powstał, pozostawał w sprzeczności z czasem życia produktu? Czy w miarę postępu, to ujemne sprzężenie zwrotne, pomiędzy p i c , nieuchronnie musi się pogłębiać? Przecież już na przysłowiowy „pierwszy rzut oka” widać, że jest to relacja absurdalna, gdyż dalszy postęp technologiczny ostatecznie doprowadziłby do sytuacji, kiedy czas życia produktu osiągnąłby wartość niesamowicie małą, zaś czas projektowania

i wytworzenia produktu, w , pozostawałyby w coraz silniejszej relacji:

$$c < w \quad (3)$$

W tym miejscu należy zauważyć, że czas życia produktu jest ściśle związany z jakością usług, która ma charakter dynamiczny i może być podzielona na wrodzoną, postrzeganą i ocenianą [3]. Wrodzona jakość usług jest bezpośrednio związana z postępem technologicznym, który gwarantuje określony poziom produktu, a tym samym poziom usług. Postrzegana jakość usług jest związana z wrażeniem jakie odnosi odbiorca usługi. Na wrażenie to ma wpływ nie tylko wrodzona jakość usług, ale i oczekiwania klienta oraz doświadczenia związane z obsługą. Oceniana jakość usług to wynik ogółu doświadczeń użytkownika z daną usługą użytkownika. Stąd chęć kontynuowania współpracy lub decyzja o rezygnacji z danej usługi. Biorąc pod uwagę te, trzy rodzaje jakości usług widać, że pomimo ustawicznego wzrostu poziomu jakości wrodzonej nie musi to oznaczać wzrostu poziomu postrzeganej i ocenianej jakości usług.

3. Termodynamika równowagowa a nierównowagowa

Dotychczas obowiązujący paradygmat utożsamia postęp technologiczny wyłącznie z ilością, zaś postrzeganie rzeczywistości przez człowieka dotyczące czy to projektowania, czy to analizy zakłada, że poprawnie działający system musi pracować w warunkach niedociągnięcia lub co najwyżej równowagi. Wtedy, zgodnie z termodynamiką równowagową, mamy do czynienia z ekstensywnością entropii. Oznacza to, że jeżeli system składa się, np. z dwóch statystycznie niezależnych podsystemów A i B , tak że:

$$p_{ij}^{A+B} = p_i^A p_j^B \quad (\forall (i,j)) \quad (4)$$

Wtedy entropia całego systemu jest sumą entropii podsystemów:

$$S_{BGS}(A+B) = S_{BGS}(A) + S_{BGS}(B) \quad (5)$$

S_{BGS} oznacza entropię Boltzmanna - Gibbsa - Shannona, która jest określona jako:

$$S_{BGS} = -k \sum_{i=1}^W p_i \ln p_i \quad (6)$$

gdzie k jest stałą Boltzmanna, p_i prawdopodobieństwem i -tej konfiguracji mikroskopowej.

Własność określona (5) nosi miano addytywności. W tę formułę wpisuje się prawo Moore'a określające klasyczne pojęcie postępu technologicznego, którego miarą jest jedynie wzrastająca liczba elementów, np. tranzystorów w strukturze VLSI. Zatem postrzegany on jest, jako system prosty, czyli zbiór połączonych ze sobą elementów pozostających ze sobą w interakcjach o charakterze wyłącznie krótkoterminowym. W takim przypadku postęp technologiczny oznacza jedynie zmiany ilościowe a nie jakościowe. A co z jakością?

Procesy w otaczającej nas rzeczywistości, w odróżnieniu od szczególnego, addytywnego przypadku (5), wpisują się w formułę nie-ekstensywną termodynamiki nierównowagowej, bazującej na entropii Tsallisa [4]:

$$S_q = k \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i^q}{q-1} \quad \left(S_1 = S_{BGS}; \sum_{i=1}^W p_i = 1; q \in R \right) \quad (7)$$

gdzie q wiąże się z uogólnioną funkcją wykładniczą zwaną q -exponentą:

$$y = \underbrace{\left[1 + (1-q)x\right]^{1/(1-q)}}_{q\text{-exponenta}} \equiv e_q^x \quad (8)$$

Uwzględniając (7), entropia systemu złożonego, składającego się, np. z dwóch podsystemów A i B , jest określona jako:

$$S_q(A+B) = S_q(A) + S_q(B) + (1-q)S_q(A)S_q(B) \quad (9)$$

Porównując (5) i (9) można zauważyć, że w (9) występuje dodatkowy człon o charakterze dynamicznym, z którym wiążemy cechę nie-ekstensywności. Stąd bierze się statystyka nie-ekstensywna. S_q jest zawsze nieujemna ($S_q \geq 0$). W związku z tym, dla $q < 1$, mamy do czynienia z super-ekstensywnością lub inaczej z super-addytywnością:

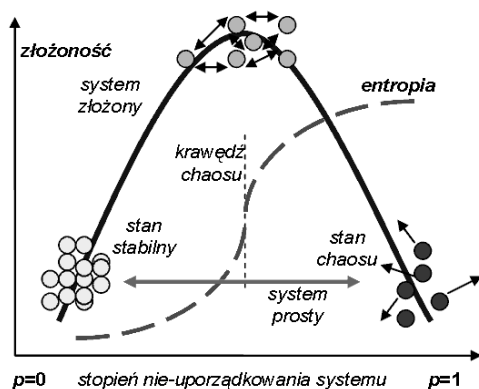
$$S_q(A+B) > S_q(A) + S_q(B) \quad \text{dla } q < 1 \quad (10)$$

Zaś w przypadku, gdy $q > 1$, z pod-ekstensywnością lub inaczej pod-addytywnością:

$$S_q(A+B) < S_q(A) + S_q(B) \quad \text{dla } q > 1 \quad (11)$$

4. Podnoszenie poziomu jakości usług a systemy złożone

Jak zdyskontować właściwości systemów złożonych w procesie projektowania i eksploatacji systemów? Otóż super-ekstensywność (10) oznacza samoorganizację systemu na krawędzi chaosu, rys. 2.



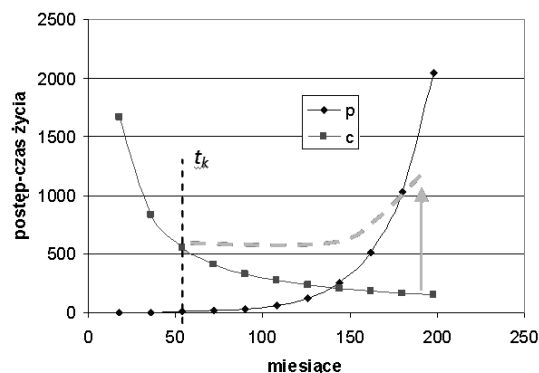
Rys. 2. Samoorganizacja systemu, gdzie p jest prawdopodobieństwem
Fig. 2. System self-organization, where p is the probability

Z samoorganizacją jest związana dynamiczna, nierównowagowa, długoterminowa funkcja celu, z którą w parze idzie samo-optimalizacja, samo-adaptacja, samo-zarządzanie, samo-naprawianie, samo-leczenie, samo-rekonfiguracja, która prowadzi wprost do podniesienia poziomu jakości usług, a tym samym czasu życia produktu. Oznacza to, że w celu podniesienia poziomu jakości usług w systemie, w relacji postęp technologiczny-czas życia produktu musimy wprowadzić (super-ekstensywne) sprzężenie zwrotne dodatnie, które zniweluje degradujący wpływ (pod-ekstensywnego) sprzężenia ujemnego.

Zatem biorąc pod uwagę (2) oraz (10) można określić czas życia produktu systemu rekonfigurowalnego jako:

$$c \propto \frac{k}{t} + (1-q)c_k \quad \text{dla } q < 1 \quad (12)$$

gdzie $c_k = k/t_k$ jest krytyczną wartością czasu życia produktu, zaś t_k jest krytycznym momentem czasowym spadku czasu życia produktu, w którym należy dokonać rekonfiguracji prowadzącej do podniesienia jakości usług, rys. 3.



Rys. 3. Samoorganizacja, jako podstawa podniesienia poziomu jakości usług i czasu życia wyrobu

Fig. 3. Self-organization as a basis of quality of service and product time of living level enhancement

5. Zakończenie

Dotychczas wytwarzane, zgodnie z kanonami inżynierii klasycznej, systemy proste charakteryzują się tym, iż oczekuje się od nich wykonania możliwych do przewidzenia zadań w określonym środowisku. Tymczasem systemy złożone winny działać w złożonych, otwartych środowiskach z nieprzewidywalnymi konsekwencjami. Zrozumienie istoty systemów złożonych może dostarczyć sposobów konstruowania systemów rozproszonych pracujących w złożonych, dynamicznych środowiskach. Kluczowym elementem przy ustaleniu różnicy pomiędzy podejściem klasycznym i złożonym jest definicja określająca cel działania. W pierwszym przypadku jasno ustalona procedura prowadzi do oczekiwanego efektu, w drugim przypadku zastosowanie określonych zasad wprowadza możliwość adaptacji do zaistniałych warunków. W artykule wskazano na podstawowy, nie-ekstensywny termodynamiczny kontekst tych procesów.

6. Literatura

- [1] D. Braha, Al. A. Minai, Y. Bar-Yam: Complex Engineered Systems. Science Meets Technology, Springer, 2006, New York
- [2] G.E. Moore, Electronics, 1965,
- [3] W. C. Hardy: QoS Measurement and Evaluation of Telecommunications Quality of Service, John Wiley & Sons, 2001, New York
- [4] C. Sallis: Thermostatistically approaching living systems: Boltzmann-Gibbs or nonextensive statistical mechanics?, Physics of Life Reviews 3, 2006, 1-22