

INFORMAȚIE ȘI SEMNIFICAȚIE ÎN COMUNICAREA DIN SISTEME REALE

Mihai Cătălin NEAGOE¹

mihaineagoe2003@gmail.com

„If and when we learn how to combine bits in fantastically large numbers to obtain what we call existence, we will know better what we mean both by bit and by existence.”²

Abstract. This paper presents the way in which the information concept is understood according to the research area or the real size part where the information processes are analysed. Regarding the technical domain, information represents a useful technical coordinate in optimising the communication system, the meaning of the message being ignored. In the event of human communication we can talk about information only if the message has a certain significance for the recipient and it is related to a purpose. At the level of population systems the purpose has the character of a supra individual law.

Keywords: communication, intelligence, information, bit, entropy, redundancy, semantics.

Rezumat. Acest articol prezintă modul în care este înțeles conceptul de informație în funcție de aria de cercetare sau de dimensiunea reală în care sunt analizate procesele informaționale. În ceea ce privește domeniul tehnic, informațiile reprezintă o coordonată tehnică utilă în optimizarea sistemului de comunicare, sensul mesajului fiind ignorat. În cazul comunicării umane, putem vorbi despre informații numai dacă mesajul are o anumită semnificație pentru destinatar și este legat de un scop. La nivelul sistemelor de populație, scopul are caracterul unei legi supra-individuale.

Cuvinte-cheie: comunicare, inteligență, informație, bit, entropie, redundanță, semantică.

Cuprins

Introducere

1. Teoria informației

1.1 De la teoria semnalelor la teoria matematică a informației.

Trei lucrări fundamentale.

1.1.1 Nyquist și viteza maximă a telegrafului

1.1.2 Hartley și transmisia informației

1.1.3 Shannon și teoria matematică a comunicației

2. Dincolo de teoria matematică a informației

2.1 Comunicare, informație și semnificație

2.2 O perspectivă psihologică asupra comunicării

3. Comentarii și unele observații

3.1 Entropia, de la degradarea energiei la starea de dezordine

3.2 Informație și sisteme reale

3.2.1 Informație și organizare

3.2.2 Informație și „ordine aleatoare”

¹ Inginer, psiholog, MA în Teoria Codării și Stocării Informației, MA în Terapii Cognitiv-Comportamentale.

² John Archibald Wheeler, *Information, Physics, Quantum: the Search for Links, Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics*, 1989, p. 368.

Concluzii
Mulțumiri
Anexa 1
Anexa 2
Anexa 3
Anexa 4
Anexa 5
Bibliografie

Introducere

În prima jumătate a secolului XX, informația a fost definită ca noțiune științifică și tehnică distinctă de sensul comun al termenului. O serie de date acumulate în diverse domenii au reprezentat baza unor studii impulsionate de dezvoltarea tehnologiilor în comunicație. Prin intermediul a trei articole fundamentale apărute în acea perioadă, prima parte a lucrării arată cum s-a ajuns de la teoria semnalelor la teoria matematică a informației. Măsura informației a fost asociată cu o funcție de numărul mesajelor de lungime dată ce se pot forma cu simbolurile utilizate de sistemul de comunicație. Pentru ca măsura să fie în termeni de cantități pur fizice, „factorii psihologici” implicați au fost eliminați. Ulterior, Shannon a propus o formulă matematică care exprimă „măsura informației, alegerii și incertitudinii” și pe care a considerat-o ca având un rol central în teoria sa. Aspectele semantice ale mesajului au fost ignorate „fiind irelevante pentru problemele ingineriești”. Cu toate acestea, teoria lui Shannon nu este limitată la detaliile tehnice; ea cuprinde și aspectele semantice sau „factorii psihologici”. Shannon a făcut legătura dintre formula lui și formula entropiei din mecanica statistică, și mai departe, dintre informație și entropie. Astfel, informația este legată de starea de organizare a unui sistem.

Partea a doua a lucrării tratează problema comunicării în limbaje naturale și oferă câteva date interesante privind redundanța limbii române calculată pe baza statisticilor n -gramelor³. Perspectiva psihologică readuce în discuție modul în care informația poate fi pusă în evidență în cadrul comunicării umane. Comentariile și observațiile din partea a treia pun față în față entropia din termodinamica clasică, definită de Clausius, cu entropia din mecanica statistică, definită de Boltzmann și legătura dintre aceasta din urmă cu entropia Shannon.

La final este analizat raportul dintre informație și organizare / ordine în procesele de comunicare la nivelul indivizilor și al sistemelor populaționale. Acest raport poate fi descris și înțeles doar într-un fragment bine delimitat din realitate.

1. Teoria informației

1.1 De la teoria semnalelor la teoria matematică a informației.

Trei lucrări fundamentale.

Apariția unei teorii a informației este legată inevitabil de comunicare și de tehnologiile utilizate în comunicație⁴. Numărul din 10 Ianuarie 1880 al publicației *Scientific American* evalua viitorul telefonului: „Ceea ce telegraful a realizat în ani, telefonul a făcut în luni. Un an, a fost o jucărie științifică, având infinite posibilități de utilizare practică; în anul următor era baza sistemului de comunicație cu cea mai mare viteză de expansiune (...).⁵” Faptul că, în anul 1890 erau o jumătate

³ Prin n -gramă se înțelege o secvență de n -litere succesive dintr-un text. Atunci când este vorba de două litere ($n = 2$) se folosește termenul de digramă iar când este vorba de succesiuni de trei litere ($n = 3$) termenul consacrat este trigramă.

⁴ Termenul de comunicație se referă la procesul de transmitere a datelor între sistemele tehnice.

⁵ James Gleick, *Informația o istorie, o teorie, o revărsare*, Editura Publica, 2012, p. 248.

de milion de utilizatori, iar în 1914 numărul acestora crescuse la 10 milioane, confirmă pe deplin predicția prestigioasei publicații.⁶ Predicția poate fi extinsă și la secolele următoare.

Această expansiune a fost posibilă prin dezvoltarea unor noi tehnologii, dar și a unor noi teorii. Optimizarea transmiterii semnalelor a dus la apropierea unor domenii științifice care nu au ca obiect de studiu exclusiv informația și la apariția unei teorii matematice a informației.

3.2.3 Nyquist și viteza maximă a telegrafului

În anul 1924, la Convenția inginerilor de electricitate din Philadelphia, Harry Theodor Nyquist prezenta o lucrare cu titlul „Anumiți factori care afectează viteza telegrafului”.⁷ Nyquist a folosit termenul de „*transmission of intelligence by telegraph*”⁸. Peste trei ani, Hartley va înlocui cuvântul „*intelligence*” cu „*information*”.

Nyquist a luat în considerare doi factori fundamentali care influențează viteza maximă de transmitere a datelor (*maximum speed of transmission of intelligence*) prin telegraf: (f1) forma semnalului și (f2) alegerea codului. Dacă pentru transmiterea semnalelor de înaltă frecvență cu minimum de distorsiuni, forma de undă dreptunghiulară a fost considerată superioară formei sinusoidale⁹, a rămas de stabilit în ce măsură alegerea codului influențează comunicația. Nyquist voia să știe cât de rapid și cât de multe date telegrafice pot fi transmise printr-un sistem de comunicație și pentru aceasta a comparat eficacitatea unor variante ale codului Morse – Codul Morse American și Codul Morse Continental – cu un cod ideal¹⁰ funcționând pentru simbolurile elementare cu două, respectiv trei valori de curent electric¹¹. Codul ideal are la bază principiul potrivit căruia la caracterele (literele) mai frecvente corespund secvențe (cuvinte) de cod mai scurte.¹² Ca mărime de comparație a fost folosit numărul mediu de semnale elementare pentru o literă. Metoda folosită¹³ s-a bazat pe convertirea undelor în date discrete (*signal element*)¹⁴ și codarea fiecărui caracter cu câte un număr specific de simboluri elementare¹⁵ a cărui valoare medie statistică determină viteza de transmitere (*line speed*). Ipotezele simplificatoare luate în considerare au fost: cuvintele de cod au aceeași lungime n (fixă) și durata transmisiei efective a fiecărui caracter este aceeași.¹⁶

Dacă numărul valorilor curente utilizate pentru semnalul elementar (*number of current values employed*) este m (dimensiunea alfabetului codului) iar numărul de semnale elementare pentru oricare caracter (*number of signal elements per character*) este n (lungimea fixă a cuvintelor de cod), atunci numărul de caractere posibile este de $N = m^n$ deci $n = \log N / \log m$; în cazul codărilor binare este $N = 2^n$ deci $n = \log_2 N$.

Viteza cu care datele (*intelligence*) sunt transmise printr-un circuit poate fi definită ca raportul dintre numărul de caractere (litere) ce pot fi transmise într-un interval de timp și durata

⁶ *Ibidem*, p. 248.

⁷ *Ibidem*, p. 257.

⁸ Harry Theodor Nyquist, *Certain Factors Affecting Telegraph Speed*, Bell System Technical Journal, Volume 3, Issue 2, 1924, p. 324.

⁹ *Ibidem*, p. 325.

¹⁰ Atributul de „ideal” se referă în limbajul actual la codarea surselor pentru canale fără perturbații (ex. algoritmul de codare Huffman).

¹¹ *Ibidem*, p. 334.

¹² *Ibidem*, p. 346.

¹³ *Ibidem*, p. 325.

¹⁴ Este vorba de conversia analog-digitală a nivelului (amplitudinii) semnalului care la bază poate fi o undă; domeniul continuu este practic mărginit și printr-o convenție de discretizare (cuantizare, digitizare) se realizează o conversie analog-digitală care oferă pentru sursă un alfabet discret deci finit (impulsuri cu valoare logică, cifre binare etc).

¹⁵ Numărul de simboluri elementare reprezintă lungimea cuvântului de cod.

¹⁶ *Ibidem*, p. 343.

respectivului interval, deci ca raport dintre numărul M al cuvintelor de cod dintr-un mesaj și durata T a mesajului:

$$w = \frac{M}{T} = \frac{X/n}{T} = \frac{s}{n}$$

unde X este numărul total de simboluri elementare din mesaj și $s = \frac{X}{T}$ este viteza de linie (*line speed*). Se pot face următoarele interpretări pentru viteza w de transmise a datelor:

(i1) $w = \frac{s}{n}$ este direct proporțională cu viteza de linie s și invers proporțională cu numărul n de semnale elementare pentru un caracter;

(i2) $w = \frac{s}{n} = \frac{s}{\log N / \log m} = K \cdot \log m$ este direct proporțională cu logaritmul dimensiunii alfabetului codului iar constanta de proporționalitate¹⁷ este:

$$K = s / \log N \quad (1)$$

În concluzie, în codarea semnalelor transmise prin telegraf intervin valori legate de: tipul codului, numărul de semnale elementare pentru un caracter și numărul valorilor curente utilizate pentru un semnal elementar. Codarea depinde de numărul semnalelor elementare fără să țină cont dacă semnalele transmise corespund unui mesaj cu sau fără sens. Rezultatele lui Nyquist au fost extinse ulterior de Ralph Hartley.

3.2.4 Hartley și transmisia informației

În anul 1927, la *International Congress of Telegraphy and Telephony* (ținut cu ocazia comemorării lui Volta), la *Lake Como*, Italia, inginerul electronist Ralph Vinton Lyon Hartley susținea comunicarea „*Transmission of Information*”. În aceste împrejurări este folosit prima dată termenul de „informație”. Articolul ce reproduce respectiva comunicare, publicat în 1928, conturează foarte bine ideea prezentării: determinarea măsurii cantitative a informației, în termeni de mărimi fizice, în contrast cu considerentele psihologice.¹⁸

Pentru că în uzul comun informația este un „termen foarte elastic”, Hartley a considerat necesar să creeze un sens mai specific (*a more specific meaning*), adecvat unui scop tehnic. A analizat factorii implicați în comunicare. Indiferent de tipul de comunicare (vorbire directă, scrisă, prin cablu etc), se remarcă grupuri de simboluri fizice, cuvinte, puncte, liniuțe etc., care, prin acord general, transmit anumite semnificații părților care comunică. De exemplu, în cazul comunicării verbale, expeditorul selectează mental un anumit simbol și prin aparatul său fonator, face ca atenția receptorului să fie îndreptată către acel simbol. La fiecare selecție sunt eliminate toate simbolurile cu excepția celui selectat. Prin selecții succesive, receptorul primește o serie de simboluri. Pe măsură ce selecțiile continuă, se elimină din ce în ce mai multe posibile secvențe de simboluri și spunem că informația devine mai precisă.¹⁹ Numărul de simboluri disponibil la orice selecție depinde în mod semnificativ de tipul alfabetului utilizat de comunicatori, de contextul comunicării și de gradul anterior de înțelegere dintre ei. Pentru două persoane care vorbesc limbi diferite, numărul de simboluri disponibil este neglijabil în comparație cu cel al persoanelor care vorbesc aceeași limbă.²⁰ În cazul comunicației prin telegraf, capacitatea de a transmite o secvență particulară de simboluri depinde de posibilitatea ca destinatarul să distingă între diferitele selecții făcute de expeditor. Pentru că doar unui număr limitat de secvențe posibile li s-au atribuit semnificații

¹⁷ *Ibidem*, p. 343.

¹⁸ Ralph Vinton Lyon Hartley., *Transmission of information*, Bell Sys. Tech. Journal, 7, 1928, p. 535.

¹⁹ *Ibidem*, p. 536.

²⁰ *Ibidem*, p. 536.

comune pentru destinatar și expeditor, acesta din urmă este limitat în selectarea simbolurilor disponibile din considerente psihologice și nu din considerente tehnice, ce țin de sistemul de comunicație. Prin urmare, estimarea capacității unui sistem fizic de a transmite informație poate fi făcută dacă se ignoră problema interpretării, dacă se consideră că selecția operatorului expeditor este perfect arbitrară și destinatarul poate distinge între diferitele selecții de simboluri. Astfel, consideră Hartley, influența factorilor psihologici este eliminată și devine posibilă stabilirea unei măsuri a informației în termeni de mărimi fizice și matematice.²¹

Pentru un sistem de comunicație ce utilizează trei simboluri, expeditorul are trei posibilități la fiecare alegere: A, B sau C.

Pentru două selecții succesive rezultă $3^2 = 9$ posibilități de secvențe de câte două simboluri: AA, AB, AC, BA, BB, BC, CA, CB, CC.

În mod similar, n selecții succesive fac posibile 3^n secvențe diferite de n simboluri. Dacă în loc de 3 simboluri se vor utiliza m simboluri, atunci n selecții fac posibile $N = m^n$ secvențe diferite.

Hartley a ajuns la un rezultat asemănător și pentru sistemele de comunicație care utilizează caractere codate cu N secvențe bloc de simboluri, fiecare bloc având aceeași lungime n_1 . Exemplul ales a fost sistemul de telegrafie cu printare Baudot (*printing telegraph*). Acesta utilizează un cod binar cu două simboluri elementare ($m = 2$) care grupate în secvențe cuvânt de cod de câte $n_1 = 5$ pot coda $N = 2^5 = 32$ caractere. Hartley a denumit simbolurile codului, simboluri primare iar caracterele, simboluri secundare.

Dacă se notează cu:

n_1 – numărul de simboluri primare utilizate pentru formarea unui caracter (simbol secundar);

n_2 – numărul de caractere (simboluri secundare) selectate de operator;

n – numărul de selecții ale simbolurilor primare care ar fi fost necesare pentru a produce aceeași secvență dacă nu ar exista nici un mecanism pentru gruparea simbolurilor primare în simboluri secundare ($n = n_1 \cdot n_2$), atunci numărul secvențelor posibile de simboluri secundare care pot rezulta din n_2 selecții va fi de $m^{n_1 \cdot n_2} = m^n$ indiferent de modul de grupare al simbolurilor primare.²² Rămâne de văzut dacă și cum ar putea fi folosită aceasta la evaluarea cantității de informație.

Pentru un sistem particular de comunicație, caracterizat de un mod specific de operare, sunt fixate dimensiunea A a alfabetului din care operatorul selectează caracterele ($A \leq N = m^{n_1}$) și dimensiunea m a alfabetului simbolurilor primare (alfabetului codului). Numărul secvențelor de mesaj necodat va fi m^n și crește pe măsură ce comunicația continuă. Acest fapt ar însemna o creștere exponențială a cantității de informație dacă m^n ar fi ales ca măsură pentru aceasta. Astfel de variații apar adesea în comunicarea verbală, supusă factorilor psihologici, când de exemplu, un cuvânt poate avea o semnificație foarte mare în funcție de context sau, dimpotrivă, schimbarea constantă a subiectului discuției și chiar a persoanelor implicate are efectul de a limita în practică acțiunea cumulativă a acestei relații exponențiale. În concluzie, numărul de secvențe m^n nu este adecvat pentru a fi utilizat direct ca măsură a informației.²³ Pentru a obține o măsură derivată care să aibă o valoare inginerescă practică, Hartley a considerat cantitatea de informație proporțională cu numărul n de selecții de simboluri primare și a ales factorul de proporționalitate astfel încât pentru cantități egale de informație să corespundă numere egale de secvențe posibile.²⁴ Formula obținută de Hartley „ca măsură practică a informației”²⁵ a fost:

$$H = n \cdot \log m \quad (2)$$

²¹ *Ibidem*, p. 538.

²² *Ibidem*, p. 539.

²³ *Ibidem*, p. 539.

²⁴ *Ibidem*, p. 540.

²⁵ *Ibidem*, p. 540.

Modul în care s-a ajuns la acest rezultat este analizat mai pe larg și prezentat în Anexa 1.

Conform formulei (2), dacă $n = 1$, informația asociată unei singure selecții primare este egală cu logaritmul numărului de simboluri primare disponibile. Pentru sistemul Baudot, numărul de simboluri primare $m = 2$ iar cantitatea de informație pentru o selecție este $\log 2$. Pentru 5 selecții oarecare, cantitatea de informație asociată este de $5 \cdot \log 2$. Același rezultat se obține și pentru selecția oricărui caracter (simbol secundar), acesta fiind format din 5 simboluri primare, deci $\log 2^5$ sau $5 \cdot \log 2$. Valoarea numerică a cantității de informație depinde, evident, de baza logaritmilor utilizați²⁶, dar alegerea bazei logaritmului împreună cu dimensiunea m a alfabetului simbolurilor de cod stabilesc numele unității de măsură pentru cantitatea de informație.

În concluzie, cantitatea de informație depinde de numărul simbolurilor primare indiferent de aranjamentul acestora. Această abordare se va menține și în teoria matematică a informației.

1.1.3 Shannon și teoria matematică a comunicației

Articolele lui Nyquist și Hartley i-au atras atenția lui Claude Elwood Shannon. El le-a citat în lucrarea sa „*A Mathematical Theory of Communication*” din 1948. În plus, într-un interviu din 1984, Shannon a declarat: "Am citit lucrarea lui Hartley și acest fapt a avut o influență importantă asupra vieții mele."²⁷ Intuițiile matematice din aceste articole erau un punct de pornire bun pentru dezvoltarea unei teorii a comunicației care să țină cont de noi factori, de exemplu, de structurile statistice ale mesajului original.²⁸

În activitatea de criptanalist din cadrul Bell Labs, în timpul celui de al doilea război mondial, Shannon a studiat „cazul informațiilor discrete, în care informația care urmează a fi criptată constă dintr-o secvență de simboluri discrete, alese dintr-o mulțime finită.” Aceste simboluri pot fi literele unui alfabet, cuvintele unei limbi, nivelul amplitudinii unui semnal audio sau video cuantizat.²⁹ Un caz tipic de sistem de comunicație discret este telegrafia în care mesajul este o secvență de litere și semnalul o secvență de puncte, linii, spații. Rezultatele obținute pentru cazul sistemelor discrete va constitui baza pentru abordarea sistemelor de comunicație continue și mixte.³⁰ La Bell Labs, în 1945, Shannon a scris „*A Mathematical Theory of Cryptography*”, aceasta fiind prima lucrare în care apare termenul de „teoria informației” (*information theory*). Lucrarea a fost clasificată ca secretă.

Dacă la nivelul cunoașterii comune problema fundamentală a comunicării este legată de înțelegerea mesajului transmis, pentru Shannon problema fundamentală a comunicării este aceea a reproducerii într-un punct, în mod exact sau aproximativ, a mesajului selectat într-un alt punct. Frecvent mesajele pot avea semnificație, adică ele pot fi corelate cu sisteme de entități fizice sau conceptuale, dar aceste aspecte semantice ale comunicării sunt irelevante pentru problemele ingineresti.³¹ Definiția relevă aspectele particulare ce caracterizează comunicația și implicit

²⁶ *Ibidem*, p. 541.

²⁷ Robert Price., *A Conversation with Claude Shannon*, IEEE Communications Magazine, May 1984, pg 123, apud Eugene Chiu, Jocelyn Lin, Brok McFerron, Noshirwan Petigara, Satwiksai Seshasai, *A Mathematical Theory of Claude Shannon - A study of the style and context of his work up to the genesis of information theory*, Bell System Technical Journal, 2001, p.13.

²⁸ Claude Elwood Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, p.1.

²⁹ Claude Elwood Shannon, *A Mathematical Theory of Cryptography - Case 20878*, Cover Sheet For Technical Memoranda Research Department, 1945, pp. 1, 2.

³⁰ Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press. Urbana, 1964, pp. 34, 35.

³¹ Claude Elwood Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, p.1.

informația în teoria matematică a comunicației. Cele două puncte, sursa, respectiv destinația mesajului pot fi separate în spațiu sau timp.

Modelul general al unui sistem de comunicație (Fig. 1) prezentat³² în *A Mathematical Theory of Communication* este format din cinci părți:

1. Sursa informației poate fi o persoană sau un dispozitiv care produce un mesaj ce va fi trimis către receptor; mesajul poate fi discret – o succesiune de caractere (ca în cazul telegrafului) sau funcții continue de mai multe variabile (cazul transmisiei undelor radio);

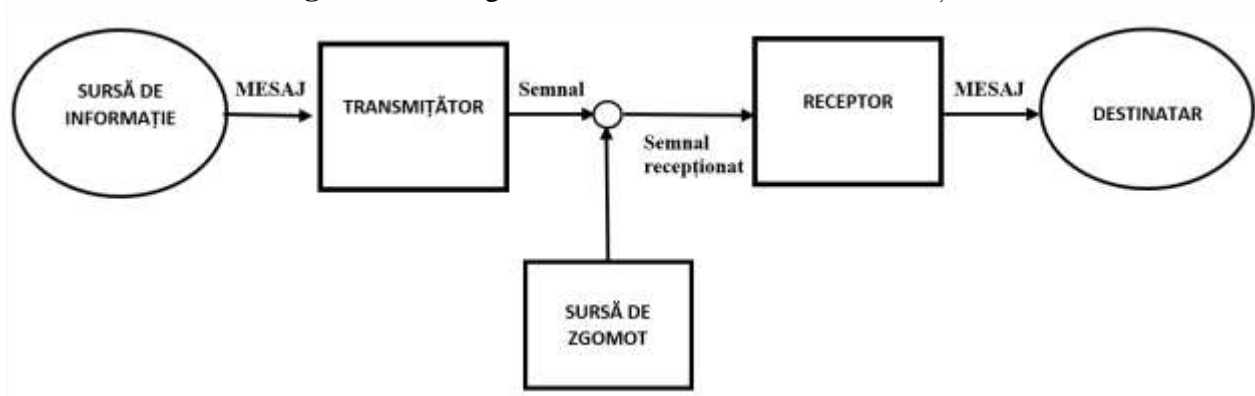
2. Transmițătorul care „operează asupra mesajului într-un anumit fel” codificându-l în semnale adaptate canalului de comunicație. Fiecărui sistem de comunicație îi corespunde un tip specific de semnale. De exemplu, în telefonie sunetul vocii, este schimbat într-un semnal electric având intensitatea proporțională cu presiunea creată de undele sonore asupra unui dispozitiv cu funcție de traductor. Acest semnal este adecvat canalului de comunicație utilizat în telefonie – cablul telefonic (fire din cupru sau din aliaje);

3. Canalul este mijlocul fizic folosit pentru transmiterea semnalului de la emițător la receptor. Poate fi o pereche de fire, un cablu coaxial, o bandă de frecvențe radio, un fascicul de lumină etc. În timpul transmisiei, semnalul transmis poate fi perturbat de zgomot. În Fig. 1 sursa de zgomot acționează asupra semnalului transmis modificându-l;

4. Receptorul inversează operația făcută de transmițător, reconstruind mesajul din semnale;

5. Destinația este persoana (sau obiectul) căruia îi este destinat mesajul și care se află la celălalt capăt al sistemului.

Fig. 1: Modelul general al unui sistem de comunicație³³



Un aspect semnificativ este că mesajul transmis este selectat dintr-o mulțime de mesaje. Dacă numărul de mesaje este finit, atunci acest număr sau orice funcție monotonă de acest număr poate fi privită ca măsură a informației produse atunci când din mulțime se alege un mesaj, toate alegerile fiind la fel de probabile. Cuvântul „informație” are aici un sens diferit de sensul comun și nu trebuie confundat cu „înțelesul” (*meaning*). Astfel, două mesaje, unul cu sens iar celălalt fără sens, pot fi echivalente din punctul de vedere al teoriei dezvoltate de Shannon, de unde și irelevanța aspectelor semantice ale comunicării pentru problemele ingineresti.³⁴ Ca și Hartley, Shannon a considerat că funcția logaritmică este „cea mai naturală alegere” pentru a exprima cantitatea de informație: este intuitivă, convenabilă din punct de vedere tehnic și matematic³⁵ și permite alegerea unei unități de măsură pentru cantitatea de informație.³⁶

³² *Ibidem*, pp. 33, 34.

³³ Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press . Urbana, 1964, pp. 33, 34.

³⁴ *Ibidem*, pp. 31, 32.

³⁵ Selecția mesajelor dintr-o mulțime finită poate fi considerată un experiment cu un număr finit de cazuri posibile. Dacă informația este asociată cu evenimentele legate de respectiva experiență iar cantitatea de informație este funcție de

Dacă se utilizează baza 2, unitățile ce rezultă pot fi numite cifre binare (*binary digits*) sau, mai pe scurt, biți (*bits*), cuvânt propus de J. W. Tukey. Un dispozitiv cu două poziții stabile, cum ar fi un releu sau un circuit de tip *flip-flop*, poate stoca un bit de informație. Un număr de n astfel de dispozitive pot memora secvențe de câte n biți (în sensul de simboluri binare), numărul total de stări posibile ale unui registru de n biți (în sensul de dispozitiv) fiind de 2^n .³⁷

Ca și predecesorii săi, Shannon a separat informația de „factorii psihologici”. Acest fapt, așa cum l-a explicat Warren Weaver în preambulul lucrării „*The Mathematical Theory of Communication*”, este o viziune cuprinzătoare asupra comunicării³⁸. Weaver a identificat trei tipuri de probleme ale comunicării: (A) Problema tehnică: se referă la acuratețea transferului de la expeditor la receptor al seturilor de simboluri sau a unui semnal continuu, variabil. Seturile de simboluri sunt utilizate în cazul mesajelor discrete din comunicarea verbală sau scrisă, semnalele continue sunt cele care fac posibilă comunicația prin telefon, radio sau Tv; (B) Problema semantică: se referă la gradul de concordanță dintre sensul pe care expeditorul vrea să-l transmită prin mesaj și interpretarea sensului de către receptorul mesajului; (C) Problema eficacității: se referă la succesul cu care intenția transmisă receptorului prin mesaj duce la comportamentul indicat. La acest nivel se găsesc și considerațiile estetice, în cazul artelor, discursului scris sau oral. Problema eficacității este strâns legată de problema semantică și se suprapune cu aceasta într-un mod destul de greu de definit.³⁹ (B) și (C) pun în evidență legătura care există între cibernetică și teoria matematică a comunicației / informației.

La prima vedere, se poate considera că (A) este limitat doar la detalii tehnice, ingineresti legate de proiectarea unui sistem de comunicație optim, în timp ce (C) cuprinde întreaga parte filosofică a problemei comunicațiilor. Dar, orice limitări descoperite la (A) se aplică și nivelurilor (B) și (C). Astfel, teoria nivelului (A) este, într-o măsură semnificativă, și o teorie a nivelului (C), deci aspectele tehnice, ingineresti nu sunt necesar irelevante pentru aspectele semantice; nivelul tehnic le cuprinde și pe celelalte.⁴⁰

Cercetările lui Shannon privind structura limbii ca mijloc de comunicare au avut la bază scopuri criptografice. Persistența structurii este punctul de pornire pentru găsirea cheii de criptare prin analize statistico-matematice. Acesta este motivul pentru care Shannon a abordat structura limbii într-un mod tangibil și calculabil, mod pe care antropologii și lingviștii nu-l adoptaseră niciodată.⁴¹ Metodologia utilizată a fost împrumutată din domeniul fizicii proceselor stochastice, Shannon făcând referință la lucrarea „*Stochastic Problems in Physics and Astronomy*” din 1943 a astrofizicianului Subrahmanyan Chandrasekhar. Mesajul este modelat ca un proces stohastic reprezentat de o sursă care produce o secvență discretă de simboluri în conformitate cu o structură de probabilități. Cazul particular în care simbolurile succesive sunt alese în funcție de alegerile precedente, se numește proces (lanț) Markov. Dintre procesele Markov care ar putea genera mesaje, există o clasă specială, importantă pentru teoria comunicării – procesele ergodice – acele procese în care proprietățile statistice ale unui întreg colectiv statistic pot fi deduse pe baza unui singur eșantion.⁴²

O limbă scrisă, naturală, cum ar fi engleza, germana, chineza, poate fi considerată un proces stohastic și ergodic. La fel, o sursă continuă la care semnalul a fost convertit în date discrete printr-

probabilitățile acestora și trebuie să fie aditivă la compunerea intensivă a evenimentelor independente (unde probabilitatea se obține multiplicativ) funcția care îndeplinește aceste condiții este funcția logaritmică.

³⁶ *Ibidem*, p. 32.

³⁷ *Ibidem*, p. 32.

³⁸ *Ibidem*, p. 6.

³⁹ *Ibidem*, p. 5.

⁴⁰ *Ibidem*, p. 6.

⁴¹ James Gleick, *op.cit.*, p. 278.

⁴² Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *op.cit.*, pp. 11, 45.

un proces de cuantificare. Este ceea ce a făcut Shannon pentru a obține modele utile înțelegerii structurii limbilor naturale și pentru a determina cât de mult dintr-un mesaj influențează alegerea simbolului următor. Practic, Shannon a realizat secvențe de caractere scrise în limbi artificiale prin care să aproximeze treptat o limbă naturală, gradual, pe baza unor ordine de aproximare⁴³:

(A0) Aproximația de ordinul zero se obține prin alegeri succesive, independente, literele (indexate cu $i = 1, 2, 3, \dots, n$) având probabilități egale;

(A1) Aproximația de ordinul întâi este obținută prin alegeri succesive, independente, dar pentru fiecare literă i se asociază o anumită probabilitate p_i ;

(A2) Aproximația de ordinul al doilea rezultă din alegeri succesive, în care probabilitatea unei litere j depinde doar de litera anterioară i ; structura statistică este descrisă de probabilitățile $p_i(j) =$ „probabilitatea ca litera i să fie urmată de litera j ”. Indicii i și j acoperă toate simbolurile posibile. Fiecare combinație de două litere – digramă – va avea o probabilitate $p(i, j)$ bine determinată în cadrul secvenței;

(A3) Aproximația de ordinul al treilea introduce trigramele. Fiecare literă este aleasă cu o probabilitate care depinde de cele două litere precedente, dar nu și de întreg mesajul anterior acelei litere. Structura statistică a secvenței este descrisă de mulțimea de probabilități $p_{i,j}(k)$ și fiecare trigramă va avea propria ei probabilitate $p(i, j, k)$.

(An) Generalizând, aproximația de ordinul n introduce n -gramele (combinațiile de n litere), în care fiecare literă este aleasă cu o probabilitate care depinde de cele $n - 1$ litere precedente, dar nu și de întreg mesajul anterior acelei litere. Structura statistică a secvenței este descrisă de mulțimea de probabilități $p_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}}(i_n)$ și fiecare n -gramă va avea propria ei probabilitate, unde n este ordinul n -gramei,

În mod asemănător pot fi definite procese stochastice care produc texte formate din secvențe de „cuvinte”.⁴⁴

În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele obținute prin aplicarea ordinelor de aproximare la limba engleză. Shannon a folosit un alfabet de 27 de caractere – literele alfabetului englez plus un spațiu între cuvinte. Șirurile de caractere au fost generate pe baza unor tabele de numere aleatoare⁴⁵.

1. Aproximația de ordinul zero – simboluri independente și echiprobabile:

XFOMLRXKXHRJFFJUJ ZLPWCFWKCYJ FFJEYVKCQSGHYD QPAAMKBZAACIBZLHJQD.

2. Aproximația de ordinul întâi – simboluri independente, dar cu frecvențele din limba engleză:

OCRO HLI RGWR NMIELWIS EU LL NBNESEBYA TH EEI ALHENHTTPA OOBTTVA NAH BRL.

3. Aproximația de ordinul al doilea – frecvențele fiecărui caracter corespund limbii engleze și, la fel, frecvențele fiecărei digrame:

ON IE ANTSOUTINYS ARE T INCTORE ST BE S DEAMY ACHIN D ILONASIVE TUCOOWE AT TEASONARE FUSO TIZIN ANDY TOBE SEACE CTISBE.

4. Aproximația de ordinul al treilea – structură de trigrame:

IN NO IST LAT WHEY CRATICT FROURE BIRS GROCID PONDENOME OF DEMONSTURES OF THE REPTAGIN IS REGOACTIONA OF CRE.

5. Aproximație de ordinul întâi pentru cuvinte – cuvinte independente, dar cu frecvențe întâlnite în textele din limba engleză:

REPRESENTING AND SPEEDILY IS AN GOOD APT OR COME CAN DIFFERENT NATURAL HERE HE THE A IN CAME THE TOOF TO EXPERT GRAY COME TO FURNISHES THE LINE MESSAGE HAD BE THESE.

⁴³ *Ibidem*, p. 42, 43.

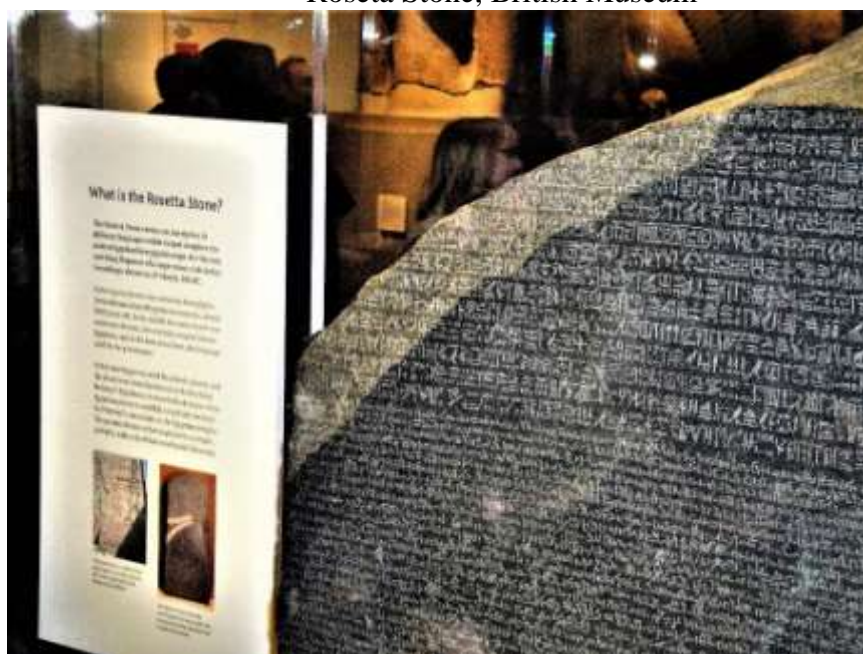
⁴⁴ Claude Elwood Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, p. 6.

⁴⁵ *Ibidem*, p. 7.

6. Aproximație de ordinul al doilea pentru cuvinte – cuvintele apar în perechi potrivite:
THE HEAD AND IN FRONTAL ATTACK ON AN ENGLISH WRITER THAT THE CHARACTER OF THIS POINT IS THEREFORE ANOTHER METHOD FOR THE LETTERS THAT THE TIME OF WHO EVER TOLD THE PROBLEM FOR AN UNEXPECTED.

Creșterea ordinului de aproximație duce la structuri din ce în ce mai asemănătoare cu structura unui text obișnuit în limba engleză. În plus, structura obținută printr-o aproximație se extinde până la dublul intervalului luat în considerare. De exemplu, pentru digrame structura corespunzătoare limbii engleze se extinde la secvențe de patru litere. Același proces este valabil și pentru secvențele de cuvinte.

Roseta Stone, British Museum⁴⁶



Pentru a determina cât de multă informație este „produsă”, Shannon a considerat o sursă discretă de mesaje reprezentată printr-un proces Markov de tip ergodic, pe care a numit-o sursă ergodică. Dacă sursa produce simboluri asociate cu o mulțime de evenimente posibile cu probabilitățile de apariție $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, cunoscute, Shannon definește cantitatea de informație ca măsură a „cât de multă alegere este implicată în selectarea evenimentelor” sau ca măsură a incertitudinii evenimentelor.⁴⁷ Mai multe alegeri implică mai multă incertitudine, respectiv mai multă informație. O astfel de măsură $H(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ trebuie să îndeplinească anumite condiții:

(c1) să fie continuă în $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$,

(c2) să fie monoton crescătoare cu $p = p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = 1/n$

(c3) dacă o alegere este descompusă în alegeri succesive, valoarea inițială a lui H trebuie să fie media ponderată a valorilor individuale ale lui H corespunzătoare fiecărei alegeri.⁴⁸

⁴⁶ Stelă egipteană ce datează din timpul regelui Ptolomeu al V-lea (204-181 î.e.n.), gravată cu trei texte identice, în trei scrieri diferite: hieroglifică, demotică și greaca veche. Descoperirea ei a dus la descifrarea hieroglifelor, prin metoda comparativă, cu ajutorul textului scris în limba greacă. Foto Mihai Neagoe, *British Museum*, Londra, 2010.

⁴⁷ S Claude Elwood Shannon, *op. cit.*, p. 10.

⁴⁸ *Ibidem*, p. 10.

Corespunzător condiției (c2) se va regăsi formula lui Hartley: $H = n \cdot \log m$. Funcția care îndeplinește cele trei condiții este:

$$H = -k \cdot \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i \quad (3)$$

unde k este o constantă pozitivă.

Shannon a propus această relație și a considerat că ea are un rol central în teoria informației „ca măsură a informației, alegerii și incertitudinii”. În plus, forma lui H din (3) este aceeași cu forma entropiei așa cum este definită în mecanica statistică de Boltzmann.⁴⁹

Pentru un câmp de evenimente, se poate arăta că:

(1) dacă un eveniment are probabilitatea $p = 1$ (evenimentul sigur), atunci: $H = \log_2 1 = 0$;

(2) dacă $p = p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = 1/n$ (evenimente echiprobabile și independente) atunci H este maxim și egal cu $H = n \cdot \log m \log n$. Aceasta este situația cea mai incertă, la care corespunde cea mai mare cantitate de informație ce se va obține după eliminarea incertitudinii;

(3) dacă un eveniment apare cu o probabilitate mai mare în raport cu celelalte evenimente, cantitatea de informație scade;

(4) dacă evenimentele au probabilități condiționate, cantitatea de informație este mai mică decât în cazul evenimentelor cu probabilități independente.

Pentru o sursă de informație cu alfabet finit (deci discret), Shannon definește entropia relativă ca raportul dintre entropia obținută ținând cont de structura statistică a secvențelor de simboluri din mesaj și valoarea maximă pe care o poate avea această entropie, în condițiile în care sursa ar utiliza aceleași simboluri asociate cu evenimente independente și echiprobabile. Entropia relativă indică comprimarea maximă posibilă a unui text atunci când codificarea se face în același alfabet.⁵⁰ Practic, dacă entropia relativă a unei surse este de 0,8 se poate spune că sursa are o libertate în alegerea simbolurilor pentru a forma un mesaj de aproximativ 80 %. Restul de 20 % este determinat de regulile statistice acceptate care guvernează utilizarea simbolurilor în cadrul mesajului și poartă numele de redundanță. Această fracțiune a mesajului este inutilă și prin urmare, repetitivă sau redundantă, în sensul că prezența ei nu aduce un plus de informație.⁵¹ Pentru corelații de până la 8 litere, Shannon aproximează redundanța limbii engleze obișnuite la aproximativ 50 %. Aceasta înseamnă că jumătate din ceea ce se scrie este determinat de structura limbii și jumătate este ales în mod liber.⁵² Analizând efectele statistice de lungă distanță (până la 100 de litere), pentru limba engleză obișnuită, Shannon a obținut o entropie de ordinul unui bit pe literă, cu o redundanță corespunzătoare de aproximativ 75 %.⁵³ Pentru această estimare se poate spune că un text în engleză de 100 de litere transportă 25 % din informația unui text cu 100 de litere alese la întâmplare.

2. Dincolo de teoria matematică a informației

După ce termenul de „teoria informației” (*information theory*) a apărut în articolul lui Shannon, utilizarea lui a devenit din ce în ce mai frecventă. La fel de frecvente erau și disputele între reprezentanții diferitelor științe privind modul în care informația ar trebui definită. Ideea

⁴⁹ *Ibidem*, p. 11.

⁵⁰ *Ibidem*, p. 14.

⁵¹ Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *A Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press . Urbana, 1964, p. 13.

⁵² Claude Elwood Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, p. 15

⁵³ Claude Elwood Shannon, *Prediction and Entropy of Printed English*, Manuscript Received, 1950, p. 50.

informației fără „semnificație” era greu de acceptat, mai ales de către reprezentanții științelor sociale.⁵⁴ Și în abordarea matematică a informației au apărut nuanțe: pentru Norbert Wiener formularea cu mesajelor tipice⁵⁵ permitea o reprezentare a cantității de informație, în timp ce pentru Shannon, aceeași formulare era o abordare strict tehnică – numărul de biți în mesaje tipice de lungime N . Cu toate acestea, teoria matematică a informației va fi asimilată în multe discipline orientând de o manieră decisivă evoluția lor.

2.1 Comunicare, informație și semnificație

Condiția obiectivă, necesară, pentru realizarea comunicației între două sisteme este ca mesajul să poarte o cantitate nenulă de informație, ceea ce înseamnă că destinatarul se află într-o stare de incertitudine în legătură cu un „câmp de evenimente” (înainte de recepționarea informației destinatarul ar trebui să aleagă între mai multe posibilități).⁵⁶ Dacă se face abstracție de semnificația și utilitatea mesajului pentru sistemul destinatar și sunt analizate doar aspectele legate de acuratețea transmiterii semnalelor distincte și numărul lor, se regăsește primul nivel al comunicației identificat de Weaver, corespunzător dimensiunii cantitative (statistico-matematice) a informației.

În paragraful § 1 s-a arătat motivul pentru care funcția logaritmică, respectiv logaritmul în baza 2, reprezintă alegerea cea mai naturală pentru cantitatea de informație. Unui singur caracter ales la întâmplare dintr-un alfabet de 2 litere i se asociază o cantitate de informație exprimată prin: $H = -\log_2(1/2) = 1 \cdot \text{bit}$. Dacă extragerea se face dintr-un alfabet de 32 de caractere, probabilitatea de apariție a oricărui caracter este $p = 1/32$ și $H = -\log_2(1/32) = -\log_2 2^{-5} = 5 \cdot \text{bit}$. Se poate spune că, în cazul acestei alegeri, există 32 de mesaje posibile și minim 5 întrebări cu răspuns DA sau NU prin care putem afla caracterul ales. Unui șir de 100 de astfel de caractere alese la întâmplare i se poate asocia o cantitate de informație de $100 \cdot 5 = 500 \cdot \text{bit}$. Altfel spus, 100 de caractere alese la întâmplare fac posibilă apariția a $32^{100} = 2^{500}$ mesaje diferite și deci cantitatea de informație determinată cu logaritmul în baza 2 este $H = -\log_2(1/32^{100}) = -\log_2 2^{-500} = 500 \cdot \text{bit}$.

Aceste observații se referă la situații simple de transmitere aleatoare a unui mesaj ca în cazul unei surse de informație, liberă să aleagă între mai multe mesaje definite, de exemplu între literele unui alfabet. Dar, așa cum s-a menționat în § 1.1.3, probabilitatea cu care sunt alese simbolurile succesive dintr-un mesaj într-o limbă naturală depinde de alegerile anterioare. Shannon a fost interesat de aceste aspecte și a dezvoltat metode de estimare a entropiei și redundanței unei limbi naturale. A considerat entropia ca un parametru statistic care măsoară cât de multă informație este produsă în medie pentru fiecare literă a unui text scris într-o anumită limbă, iar redundanța ca o măsură a cantității de constrângere impusă unui text datorită structurii statistice impuse de acea limbă. Dacă textul este codat în cifre binare (0 sau 1) în cel mai eficient mod, atunci entropia H este numărul mediu de cifre binare ce revine fiecărei litere a textului în limba originală.⁵⁷ Pentru determinarea cantității de informație (entropiei) datorată influenței statistice caracteristice unei limbi și extinsă peste n litere adiacente din text, Shannon a utilizat formula⁵⁸:

$$F_n = [-\sum_{i,j} p(b_i, j) \cdot \log_2 p(b_i, j)] - [-\sum_i p(b_i) \cdot \log_2 p(b_i)] \quad (4)$$

⁵⁴ Gleick, James, *op. cit.*, pp. 315, 317.

⁵⁵ Este vorba de mesajele (șiruri de simboluri) generate de o sursă ergodică staționară cu memorie finită. Dacă un mesaj de lungime n conține un număr n_i de simboluri a_i iar $n_i = n \cdot p_i$, oricare ar fi i , atunci mesajul este tipic.

⁵⁶ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, Vol. II, Editura Fundației „România de Măine”, București, 2000, p. 407.

⁵⁷ Claude Elwood Shannon, *op. cit.*, p. 50.

⁵⁸ *Ibidem*, p. 51.

în care: b_i este o secvență de $n-1$ litere [($n-1$)-gram]; j este o literă arbitrară care urmează secvenței b_i ; $p(b_i, j)$ este probabilitatea de apariție a n -gramei [b_i, j]; $p_{b_i}(j)$ este probabilitatea de apariție a literei j după secvența b_i (deci condiționată de aceasta), unde $p(b_i, j)$ și $p(b_i)$ sunt cunoscute.

Rezultatul relației (4) este măsura incertitudinii medii (entropia condiționată) a următoarei litere j atunci când precedentele ($n-1$) litere sunt cunoscute.⁵⁹

Entropia n -gramelor pentru valori mici ale lui n va fi calculată, în cele ce urmează, cu ajutorul formulei (4) și a tabelelor cu frecvențele de apariție a literelor, digramelor, trigramelor și 4-gramelor în limba română. Acestea sunt disponibile în Anexa 2.

Alfabetele asociate limbajelor naturale sunt elaborate social-istoric, în timp și au un număr diferit de litere, mai mare însă ca limita minimă necesară procesului de comunicație. Cel mai mic alfabet cunoscut al unei limbi naturale este de 11 litere.⁶⁰

Alfabetul limbii române are 31 litere deci cantitatea de informație asociată unei litere alese la întâmplare (ignorând spațiile dintre cuvinte și semnele de punctuație) va fi de:

$$F_0 = -\log_2(1/31) = 4,95 \cdot \text{bit/simbol}$$

Ținând cont de frecvențele de apariție în text ale literelor⁶¹, se obține:

$$F_1 = -\sum_{i=1}^{31} p_i \cdot \log_2(p_i) = 4,23 \cdot \text{bit/simbol}$$

Modul de determinare al entropiilor condiționate pentru digramele, trigramele și 4-gramele limbii române este arătat în Anexa 3.

În general, pentru șirul entropiilor condiționate $F_0 > F_1 > F_2 > \dots > F_n$ se pot defini entropii condiționate relative prin raportare la entropia inițială necondiționată F_0 .⁶²

În cazul nostru, entropia condiționată de ordinul întâi, relativă, va fi:

$$f_{1/0} = \frac{F_1}{F_0} = \frac{4,23}{4,95} = 0,85 \quad (5)$$

valoarea care arată că libertatea sursei în alegerea simbolurilor, respectiv a literelor din alfabetul limbii române, este de 85%. Restul, de 15 % reprezintă redundanța condiționată de ordinul întâi, relativă, determinată prin:

$$\rho_{1/0} = 1 - f_{1/0} \quad (6)$$

Această fracție din structura mesajului este determinată de regulile statistice acceptate care reglementează utilizarea simbolurilor în cauză. Ea este redundantă în sensul obișnuit al cuvântului, deci repetitivă, nenecesară, în sensul că dacă ar lipsi mesajul ar fi totuși în esență complet, sau cel puțin ar putea fi completat.⁶³

În tabelul de mai jos sunt date valorile entropiei relative și redundanței utilizând valorile entropiilor condiționate din Anexa 3:

	Litere	litere + spațiu	digrame	trigrame	4-gram
F_n [bit/simbol]	4,22	4,120	3,36	2,84	1,68
$f_{n/0}$	0,85	0,825	0,67	0,57	0,33
$\rho_{n/0}$	0,15	0,174	0,33	0,43	0,67

⁵⁹ *Ibidem*, p. 51.

⁶⁰ Viveka Velupillai, *An Introduction to Linguistic Typology*, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam / Philadelphia, 2013 p.71.

⁶¹ Anexa 2.

⁶² Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *op. cit.*, pp. 13, 56.

⁶³ *Ibidem*, p. 13.

Dacă se iau în considerare și spațiile dintre cuvinte mesajul devine mai structurat. „Spațiul” poate fi asimilat cu o literă care se adaugă la alfabetul inițial, rezultând 32 de litere. Se observă că, în acest caz, incertitudinea limbii scade iar redundanța crește.

Redundanța mesajului crește și dacă sunt incluse structuri care se extind peste cuvinte sau fraze dar și dacă sunt impuse „îngrădiri” care acționează în calitate de „invarianti” cu valoare egală atât pentru subiectul emițător cât și pentru cel receptor. Interdependența acestor „îngrădiri” transformă limbajul într-un ansamblu sistemic ale cărui elemente se află în legături non-întâmplătoare. Primul nivel restrictiv, sistemic, este realizat prin aplicarea regulilor gramaticale dintre care cele morfologice și sintactice sunt ușor de evidențiat pentru că impun organizarea „formală” care generează „structura externă” a limbajului.⁶⁴ Regulile morfologice au ca obiect structura cuvintelor luate separat, gruparea acestora în părți de vorbire, cu sau fără sensuri și funcții, invariabilitatea sau schimbarea formelor acestora, după anumite categorii gramaticale, relațiile dintre cuvinte și formele lor sintactice în cadrul propoziției. Aceste reguli nu funcționează izolat, ci în relații de interdependență cu regulile sintaxei, foneticii, formării cuvintelor, semanticii și logicii.⁶⁵

Făcând abstracție de semnificația și funcțiile cuvintelor, regulile morfologice impun cuvintelor parametrii de ordin formal-extern în calitate de categorii modale ale limbajului: substantive, adjective, verbe, adverbe etc. Fiecare categorie posedă o serie de indicatori „formali” comuni: au același referențial (obiectual, însușire, acțiune etc.), și criterii variaționale asemănătoare (substantivele se schimbă după gen, număr, caz; verbele se schimbă după mod, timp, persoană etc.). Se observă că pe baza acestui prim nivel restrictiv, receptorul poate spune că „omul” și „oamenii”, „complet” și „incomplet”, „merg” și „mergeau” sunt mesaje diferite.⁶⁶

În comunicarea interpersonală, elementele de bază asupra cărora „sursa” (persoana care emite mesajul) face alegeri sunt cuvintele. Acestea sunt considerate structuri (entități) date, mulțimea lor formând vocabularul limbii. Combinarea cuvintelor pentru formarea enunțurilor (al propozițiilor și al frazelor) se face după un ansamblu de reguli prestabilite – regulile sintactice.⁶⁷ Aplicarea lor generează „structura formală” a limbajului, care se concretizează în cadrul mesajelor particulare printr-un „flux de semne (cuvinte) ordonat selectiv după regulile gramaticale date (regulile sintaxei).⁶⁸

Dacă regulile morfologice au ca obiect cuvintele în sine, regulile sintaxei privesc enunțurile și fragmentele de enunțuri (frază, propoziția, părți de propoziție), relațiile dintre aceste unități și funcția cuvintelor în propoziție. Respectarea acestor reguli generează structuri care pot fi numite corecte (gramaticale) iar nerespectarea lor – structuri incorecte (agramaticale). Acestea din urmă sunt evidente, de exemplu, în cazul în care lipsesc acordurile dintre subiect – predicat, subiect – atribut sau predicat - complement.

Introducerea noilor restricții înseamnă o limitare a libertății de alegere a simbolurilor ce urmează în text, aceste simboluri fiind impuse de reguli prestabilite. Cunoașterea acestor reguli (la nivel conștient sau inconștient) permite refacerea cuvintelor sau propozițiilor când anumite părți din acestea sunt omise sau denaturate. Prin aceasta se asigură exactitatea transducerii unui mesaj, respectiv fidelitatea acestuia, chiar în prezența unui nivel crescut de zgomot. Shannon a descris o metodă empirică, grosieră de măsurare a redundanței unui text, care se bazează pe faptul că orice persoană posedă, implicit, o bună cunoaștere a statisticilor limbii vorbite. Familiaritatea cu

⁶⁴ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1975, p. 234.

⁶⁵ Gheorghe Constantinescu-Dobridor, *Gramatica limbii române*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2002, p. 22.

⁶⁶ Mihai Golu, *op. cit.*, p. 234.

⁶⁷ Gheorghe Constantinescu-Dobridor, *op. cit.*, p. 249.

⁶⁸ Mihai Golu, *op. cit.*, p. 235.

cuvintele, sintaxa și gramatica îi permite să completeze literele lipsă sau incorecte în citirea unui text sau să completeze o frază nefinalizată în conversație. Practic, subiectul participant la experiment trebuie să ghicească următoarea literă a unui text atunci când literele precedente sunt cunoscute, notându-se reușitele și erorile. În acest mod se poate cuantifica predictibilitatea și redundanța.⁶⁹ Experimentul cu predicție inversă (subiectul trebuie să ghicească litera ce precede literelor cunoscute) a dat rezultate asemănătoare, chiar dacă sarcina este mai dificilă.⁷⁰

Dar, acest tip de experiment, reproductibil în orice limbă naturală, necesită unele precizări suplimentare de natură psihologică.

2.2 O perspectivă psihologică asupra comunicării

Dezvoltarea limbajului la copil începe la nivelul fonemelor, continuă la nivelul cuvintelor și al morfemelor ajungând apoi la nivelul formării enunțurilor pe baza regulilor sintaxei. Dacă bebelușii, în primele luni de viață, sunt capabili să discrimineze între sunetele care corespund diferitelor foneme în orice limbă, adulții percep doar cuvintele când ascultă vorbirea. Spre deosebire de foneme, cuvintele au un sens, adică exprimă un conținut specific, de exemplu, „carte” sau „fugă”.⁷¹ Cuvintele sunt entități elaborate care sunt fixate ca atare în mecanismele memoriei verbale.⁷² O înțelegere psihologică completă a limbajului trebuie să pună alături analiza aspectelor formale de cercetarea conținutului informațional specific. Astfel, „limbajul trebuie considerat ca un ansamblu de semne cu semnificație, cu valoare designativă reală.”⁷³ Semnificația, ca indicator al comunicației, poate fi definită la nivel general – abstract ca o corespondență biunivocă între două mulțimi oarecare de semne, **A** și **B**.⁷⁴

Din punctul de vedere al psihologiei prezintă interes legătura dintre semnificația cuvântului și rezultatul modelării informaționale interne, subiective, ale lumii externe. Cuvântul este un simplu semn care prin asociere repetată pe parcursul dezvoltării ontogenetice cu obiectele și fenomenele exterioare se interiorizează sub forma unui model informațional. Dezvoltarea limbajului pe baza asimilării de noi cuvinte în memoria de lungă durată este posibilă pe baza legăturilor și condiționărilor dintre cuvinte iar prin aceasta cuvântul devine, așa cum a demonstrat Ivan Pavlov, „semnal al semnalelor”.

În cazul limbajului uman, elementele mulțimilor **A** și **B** sunt cuvinte care formează structuri relaționale. Mulțimea **A** formează repertoriul sistemului emițător (sursei), iar mulțimea **B** modelele teaurizate (teaurul intern) la nivelul destinatarului (receptorului), cu mențiunea că rolurile de sursă și destinatar sunt interschimbabile. Privit în ansamblu, procesul comunicării interpersonale începe la nivelul sursei prin alegerea cuvintelor din mulțimea **A**. Ca și în cazul planului formal (sintactic), planul semantic impune formarea mesajului pe baza unor structuri semantice „închise”, pe cât posibil complete și perfect definite.⁷⁵ Acestea rezultă din combinarea semnificațiilor de bază pe care le încorporează cuvintele. Semnificația mesajului nu poate fi stabilită prin simpla sumare a semnificațiilor particulare ale fiecărui cuvânt; ea se desprinde din structura relațională a cuvintelor care trebuie identificată și asimilată ca atare.⁷⁶ Mesajul va fi un ansamblu de cuvinte în care pe structurile formale externe se construiesc structurile semantice, ca mod de organizare și obiectivare a conținuturilor informaționale interne. Structurile semantice însă, au o relativă independență față de

⁶⁹ Claude Elwood Shannon, *op. cit.*, p. 54.

⁷⁰ *Ibidem*, p. 58.

⁷¹ Edward, E. Smith, Nolen-Hoeksema, Susan, Fredrickson, Barbara, L., Loftus, Geoffrey, R., *Atkinson & Hilgard Introducere în psihologie*, ediția a XIV-a, Editura Tehnică, București, 2005, p. 459 și p. 452.

⁷² Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, vol. II, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 415.

⁷³ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1975, p. 236.

⁷⁴ Mihai Golu, *op. cit.*, p.237.

⁷⁵ *Ibidem*, p. 238.

⁷⁶ *Ibidem*, p. 238.

cele sintactice (gramaticale) fiind „rezistente” la denaturările acestora (chiar și enunțurile agramaticale pot fi înțelese).⁷⁷

Dacă primirea mesajului, produce la nivelul mulțimii **B** o asemenea modificare care pune destinatarul în același raport cu obiectul de referință în care se află și emițătorul, se poate spune că s-a realizat latura semantică a informației.⁷⁸ Cantitatea semantică de informație (I_s) poate fi estimată pe baza transformărilor care au loc în tezaurul intern al destinatarului după primirea mesajului. Ea poate fi nulă, dacă tezaurul intern rămâne în aceeași stare sau poate fi pozitivă și tinde spre maxim când în teaur se realizează toate transformările posibile pe care le implică mesajul dat.⁷⁹ Pentru că indicatorii comportamentali sunt mai ușor de observat și măsurat, estimarea (I_s) poate fi realizată pe baza acestor indicatori înregistrați după recepționarea mesajului: dacă reacția sau răspunsul receptorului este în acord cu conținutul informațional al mesajului, se consideră că latura semantică a comunicării s-a realizat.⁸⁰ Se observă că există o diferențiere clară între cantitatea „obiectivă” sau statistică de informație și cea „relațională”, semantică. Prima este o funcție monoton crescătoare având ca variabilă probabilitatea alegerii mesajului dintr-o mulțime de mesaje. A doua este o funcție de mai multe variabile, cum ar fi: gradul de ordonare a mesajelor în concordanță cu un ansamblu dat de „reguli gramaticale”, numărul de repetiții ale mesajelor; nivelul de „pregătire al destinatarului” sau mărimea și gradul de structurare al tezaurului etc.⁸¹

Recepționarea și procesarea mesajelor din mediul intern și extern au o finalitate adaptativă prezentă în toate sistemele biologice. Pe lângă procesarea obiectivă prin care se obține cunoașterea lumii externe, există și o procesare condiționată de subiect, impusă de satisfacerea stărilor proprii de necesitate (motivație).⁸² În raport cu o anumită stare de necesitate sau sarcină de reglare a destinatarului, mesajul recepționat poate avea o „utilitate” mai mică sau mai mare.

Pentru evaluarea acestei „utilități” a fost introdusă noțiunea de cantitate pragmatică de informație (I_u), ca raport dintre probabilitatea atingerii obiectivului (scopului) înaintea primirii mesajului (p_a) și probabilitatea atingerii obiectivului (scopului) după primirea mesajului (p_u). Dacă (p_u) > (p_a), adică în urma comunicării subiectul se apropie de obiectivul propus sau își reduce nivelul stării de necesitate, se poate considera că mesajul conține o cantitate pragmatică de informație.⁸³

Latura semantică și latura pragmatică a informației pun în evidență raportarea semnelor sau a mesajului la organizarea și stările de necesitate (sarcinile de reglare ale sistemului destinatar). Ambele relevă aspectele calitative ale informației.⁸⁴ În cadrul comunicării interumane, se poate vorbi de informație numai dacă la primirea mesajului se realizează latura semantică.

3. Comentarii și unele observații

3.1 Entropia, de la degradarea energiei la starea de dezordine

Despre formula (3), Shannon a afirmat că „joacă un rol central în teoria informației”. Cantitățile exprimate de această formulă sunt „o măsură a informației, alegerii și incertitudinii iar

⁷⁷ *Ibidem*, p. 238.

⁷⁸ *Ibidem*, p. 45.

⁷⁹ *Ibidem*, p. 45.

⁸⁰ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, Vol. II, Editura Fundației „România de Măine”, București, 2000, pp. 407, 408.

⁸¹ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică Și Enciclopedică, București, 1975, p. 45.

⁸² Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, Vol. I, Editura Fundației „România de Măine”, București, 2000, p. 71.

⁸³ *Ibidem*, pp. 71-72.

⁸⁴ *Ibidem*, p. 70.

forma lui H poate fi recunoscută în formula entropiei așa cum este definită în mecanica statistică.”⁸⁵ În ce măsură entropia din formula (3) poate fi legată de noțiunea clasică de entropie?

În 1854, Clausius enunță Principiul al doilea al termodinamicii sub forma: „Căldura nu poate trece de la sine de la un corp mai rece la un corp mai cald”.⁸⁶ Acest principiu permite generalizarea unui fapt comun: căldura se deplasează de la sine de la corpul mai cald spre cel rece și niciodată invers. Clausius a denumit pierderea ireversibilă de energie, entropie, după grecescul *ἔτροπή* (transformare), și a notat-o cu „S” (în onoarea lui Sadi Carnot).⁸⁷ Funcția S este o mărime de stare definită prin:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (7)$$

în care dQ este cantitatea de căldură schimbată cu exteriorul într-o transformare reversibilă iar T este temperatura absolută la care are loc transformarea. Entropia S este o mărime de stare, variația sa într-o transformare oarecare depinde numai de starea inițială și starea finală. Ca mărime extensivă, ea are proprietatea de aditivitate.⁸⁸ Dacă sistemul este izolat și evoluează urmând un ciclu ireversibil oarecare între două surse de căldură, entropia acestuia crește (demonstrația este prezentată în Anexa 4) permanent și irevocabil:

$$dS_{\text{sist}} > 0 \quad (8)$$

Temperaturile corpurilor care alcătuiesc sistemul se uniformizează iar căldura nu mai poate fi utilizată pentru producerea unui lucru mecanic (energia devine legată). Legea Entropiei determină direcția generală a procesului entropic în orice sistem izolat în care, odată cu trecerea timpului, energia internă a sistemului rămâne constantă (*Principiul I*) iar repartitia acestei energii devine mai uniformă.⁸⁹ Acest proces de uniformizare a energiei în sistemele izolate a căpătat în timp noi interpretări ce au dus la schimbarea radicală a unor noțiuni. Astfel, considerând căldura ca rezultat al mișcării neregulate a particulelor, echilibrul termodinamic rezultă printr-un proces de amestecare a particulelor și vitezelor lor, desfășurat de la sine.⁹⁰ Pe această bază, entropia va fi regândită ca măsură a gradului de dezordine dintr-un sistem. Reprezentativ, în acest sens, a fost demersul lui Ludwig Boltzmann (1877) de a crea o „știință termodinamică așezată pe o temelie hibridă în care rigiditatea legilor mecanice este întretesută cu incertitudinea caracteristică noțiunii de probabilitate”.⁹¹ În acest cadru, entropia S a unui sistem izolat format din N molecule de gaz este legată de numărul Ω al microstărilor accesibile (compatibile cu o macrostare dată a sistemului) prin:

$$S = k_B \cdot \ln \Omega \quad (9)$$

unde k_B este constanta (universală) a lui Boltzmann și

$$\Omega = \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_s!} \quad \text{cu } N = N_1 + N_2 + \dots + N_s \quad (10)$$

iar N_i ($i := 1, 2, \dots, s$) reprezintă repartitia moleculelor de gaz între s stări posibile. În Anexa 5 sunt exemplificate microstările unui sistem format din patru particule și o incintă despărțită în patru compartimente. Rămâne de stabilit care este starea cu un grad de dezordine maximă. Dezordinea este o noțiune relativă sau chiar „complet fără sens: ceva este în dezordine numai în raport cu un

⁸⁵ C. E. Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, pp. 50, 51.

⁸⁶ Rudolf Clausius, *The Mechanical Theory of Heat*, Macmillan and Co, London, 1879, p. 78.

⁸⁷ *Ibidem*, p. 107.

⁸⁸ *Ibidem*, op. cit., p. 105.

⁸⁹ N. Georgescu-Roegen, *Legea entropiei și procesul economic*, Editura Politică, 1979, p. 63 și p. 234.

⁹⁰ *Ibidem*, p. 253.

⁹¹ *Ibidem*, p. 55.

obiectiv, mai bine zis, cu un scop”.⁹² Prin urmare, o colecție de obiecte poate fi în ordine în raport cu un criteriu și, în același timp, în dezordine față de alt criteriu. Datorită caracterului relativ (în sensul de neprecizat, arbitrar), dezordinea nu este măsurabilă cardinal⁹³ fapt evitat de mecanica statistică cu ajutorul a două principii fundamentale: (p1) dezordinea unei microstări este măsurată ordinal prin cea a macrostării corespunzătoare, și (p2) dezordinea unei macrostări este proporțională cu numărul microstărilor corespunzătoare.⁹⁴

Analizând formulele (7) și (9) se pot face unele observații: (o1) Entropia, în sensul ei original dat de Clausius, este o noțiune pentru care se poate obține o măsură precisă din alte variabile măsurabile cu instrumente; (o2) Relația (9) ($S = k \cdot \ln \Omega$) a dus la o nouă formulare a legii entropiei, în care entropia a fost asociată cu gradul de dezordine pentru care nu există nici o măsură obținută direct sau indirect cu instrumente; (o3) Considerând formula (9) ca o definiție formală a entropiei, se poate introduce această noțiune în orice situație cu care Ω poate fi asociat. De exemplu, în probleme legate de transmisia unui șir de simboluri, notând cu s numărul de simboluri distincte, se obțin W șiruri distincte de lungime N în care fiecare simbol i intră de N_i ori. Dacă se asociază Ω cu W , S va fi egal cu cantitatea de informație conținută într-un astfel de șir. Amestecând literele unei cărți, rezultatul va conține de fiecare dată aceeași cantitate de informație. Se observă dificultatea obținerii unei măsuri cardinale a dezordinii;⁹⁵ (o4) Toate încercările de a stabili echivalența formulelor (7) și (9) se bazează pe o „mulțime de erori logice și matematice și o confuzie generală în definirea cantităților fundamentale”⁹⁶; (o5) Un aspect care leagă entropia clasică de informație provine din faptul că în orice proces de transmitere sau stocare a energiei, entropia totală a sistemului considerat crește (se presupune că sistemul este izolat).⁹⁷ Chiar dacă transmiterea unui mesaj duce la scăderea entropiei într-un subsistem din sistemul considerat, entropia totală a sistemului crește așa cum arată relația (8).

Prin cele prezentate în această secțiune se observă cum legea entropiei ne oferă exemplul clasic de generare a unor teorii și speculații filosofice pornind de la probleme practice. Sensul original al termenului de entropie a fost dat de fizicianul german Rudolf Clausius și are la bază faptele fizice ce privesc căldura și lucrul mecanic; „toate celelalte sensuri constituie o categorie separată care se leagă de o simplă formulă algebrică - haina sub care entropia devine cunoscută în științele sociale și în teoria informației.”⁹⁸

3.2 Informație și sisteme reale

Din punct de vedere cronologic, termenul „informație” (măsurabilă cantitativ) a apărut ca o coordonată tehnică a sistemelor de comunicație construite de om, de exemplu, telegraful. Servind unor scopuri pur tehnice, cuantificarea informației în acest caz ține cont doar de numărul combinațiilor de simboluri din mesaj, independent de faptul că ele pot sau nu să corespundă unor aranjamente cu sens semantic. Este o abordare cantitativă care ignoră semnificația și utilitatea mesajului pentru destinatar și care corespunde sensului obiectiv și cantitativ al informației. Dacă analiza la nivel cantitativ descrie în totalitate procesul comunicației pentru sistemele tehnice, ea este insuficientă pentru înțelegerea comunicării sistemelor biologice, umane, sociale.

⁹² Henri Bergson, *Creative Evolution* (New York, 1913), p. 220; Bridgman, *Nature of Thermodynamics*, p. 173, *Bulletin of American Mathematic Society*, XII, 1906, p. 207 și urm., apud N. Georgescu - Roegen, *op. cit.*, p. 253.

⁹³ N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 254.

⁹⁴ H. Mărgineanu, *The Nature of Physical Reality*, New York, p.279 și urm., apud N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 254.

⁹⁵ N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 57.

⁹⁶ Aleksandr Khinchin, *Mathematical Foundations of Statistical Mechanics*, Dover Publications, Inc., New York, 1949, p.142.

⁹⁷ N. Georgescu-Roegen, *Nicholas*, *op. cit.*, p. 621.

⁹⁸ *Ibidem*, p. 52.

3.2.1 Informație și organizare

Pentru sistemele biologice, relația de comunicare cu mediul extern este importantă pentru satisfacerea stărilor proprii de necesitate. În cazul societăților umane, interacțiunile au la bază comunicarea prin intermediul limbajului. O creștere a gradului de organizare la nivelul destinatarului, în urma recepționării mesajului, pune în evidență o anumită cantitate de informație. Această afirmație are la bază modul în care Wiener definește cantitatea de informație ca „măsură a gradului de organizare a unui sistem așa cum entropia este o măsură a gradului de dezorganizare”⁹⁹. Dar, cum s-a văzut în § 3.1, organizarea / ordinea și dezorganizarea / dezordinea sunt noțiuni al căror sens este relativ la anumite criterii. În plus, dezordinea este conștientizată de fiecare dată când activitatea este împiedicată de o ordine nepotrivită, care nu corespunde cu scopul urmărit.¹⁰⁰ În abordarea cibernetică, *scopul* este vectorul principal al acțiunii, fiind formulat în urma comparării semnalelor ce codifică starea de necesitate a organismului cu modelele informaționale stocate ale obiectelor ce posedă proprietăți de natură să asigure starea de necesitate.¹⁰¹ În psihologie, noțiunea de scop se prefigurează odată cu definirea comportamentului ca „o serie de stări intenționale”.¹⁰² La om apar nevoi determinate socio-cultural iar „stările intenționale ce prefigurează scopul” se referă și la acestea, dincolo de nevoile biologice, primare, de supraviețuire. Dimensiunea calitativă a informației (evaluată prin (I_s) și (I_u)) este legată indisolubil de atingerea unor scopuri relative la anumite modele informaționale. Acestea sunt modele informaționale interne ale obiectelor și fenomenelor externe, considerate în acest caz surse de informație.¹⁰³ Limbajul este factor activ la realizarea acestor modele, el „constituind matricea pe care se structurează și funcționează sistemul operațiilor logice, judecățile și raționamentele.”¹⁰⁴ Un exemplu de organizare internă este dat de procesul de categorizare sau clasificare prin care un grup de obiecte / stimuli sunt incluși într-o clasă pe baza unor criterii comune. Prin reprezentarea mentală a categoriilor se ajunge la concepte, care la rândul lor sunt integrate în structuri cognitive mai complexe.¹⁰⁵ Schemele cognitive sunt un alt exemplu în care o mulțime organizată de elemente din realitate este asociat cu un bloc organizat de cunoștințe ireductibil la componentele sale. Aceste organizări formează structuri cognitive ireductibile la părțile lor componente, autonome și impermeabile la alte cunoștințe.¹⁰⁶ Dacă schema cognitivă se referă la o mulțime de elemente organizate serial, ea se transformă în scenariu cognitiv. Comportamentele de rutină ale omului sunt guvernate de scenarii referitoare la modul în care ele trebuie executate.¹⁰⁷

Ca ființă socială, omul se naște și aparține unei culturi cu modele de conduită considerate dezirabile, asociate cu un grad ridicat de organizare, cât și modele de inconduită prin care individul transgresează regulile sociale într-o manieră prescrisă, asociate cu dezordinea / dezorganizarea socială. Se observă că există o relație de dependență și condiționare reciprocă permanentă între ordinea / organizarea „internă” și cea externă, socială.

⁹⁹ Norbert Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, second edition, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1985, p. 11.

¹⁰⁰ N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 254.

¹⁰¹ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, vol. II, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 474.

¹⁰² Mielu Zlate, *Introducere în Psihologie*, Casa de Editură și Presă „Șansa” București, 1994, p.76.

¹⁰³ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, vol. I, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 47

¹⁰⁴ *Ibidem*, vol. II, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 428.

¹⁰⁵ Mircea Miclea, *Psihologie Cognitivă*, Ediția II, POLIROM, Iași, 2003, p. 131.

¹⁰⁶ *Ibidem*, pp. 249, 250.

¹⁰⁷ *Ibidem*, p. 254.

3.2.2 Informație și „ordine aleatoare”

Adaptarea la mediu este esențială pentru supraviețuirea individului. Încă de la naștere, individul este capabil să răspundă la stimuli primari, biologic esențiali. Răspunsul la acest gen de stimuli este automat, fiind determinat genetic¹⁰⁸. Pe parcursul evoluției filogenetice se structurează „tiparele” de răspuns automat utile supraviețuirii speciei. Ele pot fi considerate un mod de organizare incipient care asociază unui anumit stimul un răspuns specific. Din acest „nucleu” se dezvoltă, prin interacțiunea individului cu mediul, tipare complexe de răspunsuri comportamentale, integrate în ansambluri organizate și coerente, adecvate solicitărilor sau necesităților impuse de mediu. Fiecare individ al unei specii este purtătorul unor caractere specifice speciei (formă, culoare, mărime etc). Prin proprietățile lor fizico-chimice, aceste caractere pot deveni semnale asociate cu diferite tipuri de răspuns pentru indivizii care împart habitatul. Cum poate fi înțeleasă „informația” dincolo de relația individ – individ? Se consideră în cele ce urmează două sisteme biologice supraindividuale, reprezentate prin două populații din specii diferite, în cadrul unei biocenoze. Indivizii fiecărei populații au strămoși și descendenți comuni. Pe termen lung, genele populației pot fi privite ca un fond genetic comun. Termenul este însă o abstracție, deoarece reproducerea sexuală produce o recombinare genetică.¹⁰⁹ La nivelul indivizilor, fuzionarea celulelor sexuale în timpul fertilizării duce la formarea unui individ nou pe baza unui tip special de diviziune celulară – meioza. Prin meioză, celula sexuală formată în urma diviziunii unei celule obișnuite primește jumătate din cromozomii acesteia. În plus, fiecare cromozom este recompus în urma procesului de *crossing-over* din unități din cromozomii parentali, devenind „un mozaic peticit din gene maternelne și gene paternale.”¹¹⁰ Procesul de *crossing-over* produce un „amestec” al genelor parentale din mai multe generații iar noul organism rezultat în urma concepției va prezenta caractere care depind de combinațiile acestora. Prin aceasta se obține variabilitatea indivizilor unei populații.

Dacă gena este considerată unitate genetică (o porțiune din material cromozomial replicată fidel pe parcursul mai multor generații), reunirea prin *crossing-over* a subunităților anterior existente este calea obișnuită de formare a unei noi unități.¹¹¹ O altă cale importantă este mutația. Aceasta este practic o eroare în replicarea materialului genetic care poate duce la apariția genelor mutante. Acestea apar periodic în cadrul populației, indivizii mutanți prezentând caractere specifice.

Fiecare specie dispune de un genofond specific. Genofondul este mulțimea din care specia alege elementele și le combină la nivelul indivizilor în cromozomi. Combinațiile duc la variabilitatea genetică concretizată la nivelul indivizilor prin variația caracterelor între anumite limite. Caracterele exprimate prin proprietăți fizico-chimice devin semnale percepute de toți indivizii. Dacă aceștia sunt în raport de predatorism sau de competiție pentru resurse, ușurința cu care un individ percepe și interpretează aceste caractere devine un avantaj pentru acesta. Un număr mare de indivizi cu această proprietate maximizează supraviețuirea speciei pe termen lung. Pe de altă parte, indivizii cu caractere ușor de perceput au o rată de supraviețuire mai mică (vânatul este mai ușor de prins iar vânătorul mai ușor de identificat de către vânat).

Deoarece genele mutante sunt selectate periodic, în cadrul populației apar indivizi cu caractere noi. Dacă unele dintre aceste caractere avantajează supraviețuirea și înmulțirea indivizilor care le posedă, numărul acestora crește. Un exemplu este dat de evoluția speciei de fluture *Biston betularia* din Anglia. Acesta a suferit o mutație care a determinat culoarea neagră, cu mii de ani în urmă. Ea a fost menținută în genofondul speciei și a apărut periodic. În secolul al XIX-lea, mutația a devenit favorizantă, numărul exemplarelor negre a crescut mult, în timp ce numărul exemplarelor albe a scăzut. Fenomenul a avut loc pe fondul industrializării masive. În condițiile peisajului

¹⁰⁸ este vorba de reflexele necondiționate din condiționarea clasică, pavloviană.

¹⁰⁹ Richard Dawkins, *Genă Egoistă*, Publica, București, 2013, p.74.

¹¹⁰ *Ibidem*, p.77.

¹¹¹ *Ibidem*, p.80.

întunecat de fumul intens și praful de cărbune, exemplarele negre erau greu de identificat de păsările insectivore. Acest fenomen – melanismul industrial – este frecvent la speciile de insecte.¹¹² În acest exemplu, semnalul vizual este perturbat de „zgomotul” mediului. Un alt exemplu este mimetismul, dar în acest caz semnalele emise de „sursă” au un scop bine determinat, de inducere în eroare a receptorului. Relația informațională dintre cele două specii este în dublu sens dar evoluția lor este condiționată și de factorii de mediu.

Variabilitatea și mutația genetică sunt responsabile de variațiile individuale. Acestea au un caracter aleator și luate în sine nu sunt bune sau rele pentru o populație. Ele devin „bune” sau „rele” în cadrul relației cu anumite subsisteme din mediu luate separat sau împreună. O parte din această relație este de tip informațional și condiționează numărul exemplarelor dintr-o specie sau alta. Genetica numește aceste mecanisme care acționează în direcția creșterii gradului de adaptare a populațiilor la condițiile de mediu, selecție naturală.

Concluzii

În anii '20 ai secolului trecut oamenii de știință și inginerii au introdus în propriile lor domenii de cercetare noțiunea de informație. Expansiunea comunicațiilor a avut un rol hotărâtor în redefinirea acestei noțiuni. Teoria asupra „*transmission of intelligence by telegraph*” a fost dezvoltată către o teorie matematică a comunicației și informației, în care formula asociată cantității de informație este înrudită cu formula entropiei din termodinamica statistică. Semnificația (*meaning*) și „factorii psihologici” au fost considerați irelevanți pentru ceea ce Warren Weaver a numit nivelul A al comunicației. Dar acest lucru, așa cum a explicat Weaver, este o viziune cuprinzătoare asupra comunicației: nivelul A – al problemelor tehnice condiționează și se suprapune peste nivelurile B și C care se referă tocmai la factorii ignorați.¹¹³

Nivelurile B și C pun în evidență legătura dintre teoria lui Shannon și cibernetică. Estimarea informației, în cazul comunicației dintre sistemele cibernetice, va ține cont de acest fapt. Sunt luate în considerare și efectele produse la nivelul destinatarului după recepționarea mesajului, „fie pe planul organizării interne, fie în sfera interacțiunii cu mediul ambiant”.¹¹⁴ Această abordare, transpusă comunicării umane, pune în evidență, pe lângă dimensiunea cantitativă (statistică) și o dimensiune calitativă exprimată prin laturile semantică și pragmatică. Dimensiunea calitativă se raportează la anumite stări de organizare / ordine: latura semantică la organizarea internă; latura pragmatică, prin activitatea orientată spre scop, la organizarea lumii externe.

Considerând emitentul și receptorul ca părți într-un sistem de comunicare interumană (dialogul dintre două persoane), se observă ca toate părțile sistemului prezintă un anumit grad de organizare: semnele sunt selectate de emitent după anumite „reguli gramaticale” astfel încât să formeze secvențe ordonate; relația dintre semn și designat se menține invariantă în timp și este aceeași pentru emitent și destinatar; emitentul și destinatarul dispun de aceleași modele tezaurizate ale semnelor și regulilor gramaticale de organizare a simbolurilor. Organizarea elementelor tezaurului informațional se realizează prin intermediul limbajului, sub forma unor modele informaționale interne ale obiectelor și fenomenelor externe. În sens invers, obiectele lumii externe sunt ordonate în măsura în care modurile lor de a fi sunt înțelese analitic de mintea umană.¹¹⁵ Realizarea laturii semantice se produce dacă în urma mesajului primit, receptorul își va modifica

¹¹² Petre Raicu, Bogdan Stugren, Doina Duma, Nicolae Coman, Florica Mărăscu, *Biologie – Genetică și evoluționism*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994. p. 153.

¹¹³ Claude Elwood Shannon, Warren Weaver, *A Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press . Urbana, 1964, p 6.

¹¹⁴ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică Și Enciclopedică, București, 1975, p.51.

¹¹⁵ N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 254.

starea tezaurului său intern în concordanță cu conținutul informațional al mesajului, raportându-se la același designat, care se are în vedere și de emitent.¹¹⁶ Practic, mesajul este înțeles și urmează să fie interpretat prin prisma „interesului” sistemului destinat pentru satisfacerea unor stări de necesitate, a unor sarcini de reglare actuale sau de perspectivă¹¹⁷. Rezultatul acestei interpretări va fi stabilirea și formularea scopului, ca legătură direcționată a dorinței cu obiectul¹¹⁸. Atingerea scopului pune în evidență utilitatea mesajului pentru destinat și realizarea laturii pragmatice a comunicării. În acest caz, comunicarea este completă¹¹⁹. Dincolo de nevoile biologice, scopurile omului depind de un anume tip de organizare socială caracterizată prin modele sociale și culturale specifice.

În cazul celor două populații din specii diferite, procesele informaționale prezintă unele particularități față de modelul descris anterior. Alegerea genelor se face întâmplător și duce la apariția unor caractere diverse la nivelul indivizilor (caractere ce pot fi benefice sau mai puțin benefice pentru individ în contextul biocenozei considerate). Caracterele exprimate prin însușiri fizico-chimice devin semnale pentru ceilalți indivizi. Apar relații multiple de comunicare iar semnalele recepționate de indivizi declanșează comportamente de satisfacere a nevoilor biologice, primare. Realizarea laturii pragmatice a comunicării are ca efect eliminarea indivizilor ce posedă caractere nefavorabile contextului biocenozei. Receptorul se transformă într-un operator de selecție prin care este redus numărul indivizilor cu aceste caractere nefavorabile. În acest mod, se produce și o micșorare a numărului de gene care vor participa la formarea unor noi indivizi cu acel tip de caractere. Chiar dacă selecția se face la nivelul indivizilor, ea are caracterul unei legi supraindividuale ce acționează la nivelul sistemelor populaționale. Scopul selecției, din punctul de vedere al geneticii, este, în primul rând, de supraviețuire a speciei. În cadrul unei biocenoze, selecția asigură echilibrul ecologic.

În concluzie, se poate spune că studiul informației în cazul comunicării din sistemele reale poate fi realizat pentru un anume proces determinat de interesul cercetării și numai în cadrul unei părți delimitate din realitate.

Mulțumiri: Autorul mulțumește domnului cerc. șt. ing. Eugen Vasile pentru sfaturile și sugestiile oferite cât și pentru sprijinul acordat în clarificarea unor noțiuni din teoria informației.

ANEXA 1

Câteva mențiuni cu privire la formula lui Hartley

În articolul său (*Transmission of Information*), Hartley consideră valorile nivelului de semnal electric ca simboluri primare. În cazul sistemului de telegrafie Baudot, simbolurile primare sunt utilizate pentru codarea caracterelor. Mulțimea (finită) a simbolurilor primare formează alfabetul codului (în cazul sistemului Baudot este vorba de un alfabet binar). Caracterele (literele) sunt considerate simboluri secundare, mulțimea lor fiind de asemenea finită. În cazul sistemului Baudot, fiecărui caracter îi corespunde o secvență (cuvânt de cod) de 5 simboluri primare, această punere în corespondență numindu-se codare.

¹¹⁶ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, vol. I, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 71.

¹¹⁷ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1975, p. 242.

¹¹⁸ Mihai Golu, *Fundamentele Psihologiei*, vol. II, Editura Fundației România de Măine, București, 2000, p. 474.

¹¹⁹ Mihai Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1975, p. 51.

¹¹⁹ N. Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 47.

Tabel cu codificarea literelor alfabetului¹²⁰

(No Model.) J. M. E. BAUDOT. 11 Sheets—Sheet 6.
PRINTING TELEGRAPH.
No. 388,244. Patented Aug. 21, 1888.

Fig. 2A.

5	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
4	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
3	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
2	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
1	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +
	A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Utilizând următoarea notație:

m – dimensiunea alfabetului primar;

n_1 – numărul de simboluri primare utilizate pentru formarea unui caracter (simbol secundar);

n_2 – numărul de caractere (simboluri secundare) selectate de operator;

n – numărul de selecții ale simbolurilor primare care ar fi fost necesare pentru a produce aceeași secvență dacă nu ar exista nici un mecanism pentru gruparea simbolurilor primare în simboluri secundare, atunci numărul total M de secvențe de cod de aceeași lungime Λ va fi:

$$\bar{M} = m^\Lambda = m^{n_1 \cdot n_2} = (m^{n_1})^{n_2} = N^{n_2}$$

unde N este numărul de caractere.

Cantitatea de informație I este proporțională cu lungimea Λ a secvenței de cod care, la rândul ei, este proporțională cu lungimea mesajului: $I = K(m) \cdot \Lambda$ unde $K(m)$ este o constanta de proporționalitate.

Dacă se consideră două sisteme de codare cu m_1 și m_2 astfel încât $\bar{M}_1 = \bar{M}_2$ atunci $m_1^{\Lambda_1} = m_2^{\Lambda_2}$ deci $\Lambda_1 \cdot \log m_1 = \Lambda_2 \cdot \log m_2$. Deoarece cantitatea de informație este invariantă la schimbarea sistemului de codare $I_1 = I_2$, deci $K(m_1) \cdot \Lambda_1 = K(m_2) \cdot \Lambda_2$ și cu $\Lambda_1 = \Lambda_2$ rezultă:

$$\frac{K(m_1)}{\log m_1} = \frac{K(m_2)}{\log m_2} = \dots = \frac{K(m)}{\log m} = \lambda$$

unde λ este același pentru toate sistemele. Deci $K(m) = \lambda \cdot \log m$ și $I = \Lambda \cdot \lambda \cdot \log m$ sau $H = I/\Lambda = \lambda \cdot \log m$ unde H reprezintă cantitatea de informație pe simbol. Deoarece λ este arbitrar poate fi omis cu condiția ca baza logaritmului să fie arbitrară. Baza specială selectată împreună cu dimensiunea m a alfabetului codului stabilește numele unității de măsură pentru cantitatea de informație.

ANEXA 2

Datele statistice utilizate la determinarea frecvențelor de apariție a literelor, digramelor, trigramelor și 4-gramelor în limba română. Tabele cu frecvențele relative (literelor, digramelor, trigramelor și 4-gramelor în limba română)

Această cercetare statistică a fost făcută pentru scopul acestei lucrări.

➤ Datele statistice cuprind:

Număr cuvinte = 25 947

Caractere fără spații (litere) = 119 903

¹²⁰ J. M. E. Baudot, *Printing Telegraph*, No. 388,244, Patented Aug. 21. 1888.

Caractere cu spații (litere + spații) = 145920

➤ Textele utilizate au fost luate din:

1. Articol: *Profesorii predau, elevii se predau* de Cristian Tudor Popescu,
<https://republica.ro/profesorii-predau-elevii-se-predau>
Conține: 785 cuvinte și 3881 litere
 2. Articol: *Luminița Bejan, medic pediatru și medic de familie, aflată la a treia generație de pacienți: De zeci de ani, esența meseriei a rămas aceeași, la fel ca nevoile de bază ale copiilor- de îngrijire, siguranță și iubire* de Raluca Ion,
<https://republica.ro/luminita-bejan-medic-pediatru-si-medic-de-familie-aflata-la-a-treia-generatie-de-pacienti-de-zeci-de-ani>
Conține: 1352 cuvinte și 6528 litere
 3. Articol: *Suntem, adesea, mult prea duri cu noi înșine. Dacă un prieten ne-ar critica atât de mult, probabil că i-am spune „Adio”. 6 instrumente de auto-cunoaștere* de Mirela Oprea,
<https://republica.ro/suntem-adesea-mult-prea-duri-cu-noi-insine-daca-am-avea-un-prieten-care-ne-ar-critica-atat-de-mult-probabil>
Conține: 1295 cuvinte și 6334 litere
 4. Articol: *Sus inima!* de Andrei Pleșu,
<https://dilemaveche.ro/sectiune/situatiunea/articol/sus-inima-1>
Conține: 590 cuvinte și 2877 litere
 5. Roman: *Victoria Neînăripată*, Radu Tudoran, Ed. Eminescu, 1985, p. 100.
Conține: 2478 cuvinte și 11443 litere
 6. Roman: *Cișmigiu & Comp*, Grigore Băjenaru, Litera Internațional, București, 2009, p.100.
Conține: 2900 cuvinte și 13789 litere
 7. Roman: *Accidentul*, Mihail Sebastian, Ed. Adevărul Holding, București, 2009, p.100.
Conține: 2860 cuvinte și 12453 litere
 8. Roman: *Cel mai iubit dintre pământeni*, Marin Preda, Litera Internațional, București, 2009, p.100.
Conține: 2763 cuvinte și 12014 litere
 9. Roman: *De ce iubim femeile*, Mircea Cărtărescu, , Humanitas, București, 2004, p.100.
Conține: 2885 cuvinte și 13541 litere
 10. Roman: *Invitație la vals*, Mihail Drumeș, Jurnalul național, 2010, p100.
Conține: 2822 cuvinte și 12967 litere
 11. *Lorelai*, Ionel Teodoreanu, Jurnalul Național 2008, p.100.
Conține: 2574 cuvinte și 12713 litere
 12. Basme: *Basmele românilor*, vol. I, Ed. Curtea Veche Publishing, București, 2010, p. 100.
Conține: 2288 cuvinte și 9743 litere
 13. Poezie: *Poezii*, Mihai Eminescu, Editura Minerva, București, 1971, p.100.
Conține: 355 cuvinte și 1620 litere
- Tabelele cu frecvențele relative ale literelor, digramelor, trigramelor și 4-gramelor în limba română se pot găsi la adresa:
<https://drive.google.com/file/d/1jLTHv1iskQffMPyGqYhl7gsskYhqHqCC/view?usp=sharing>

ANEXA 3

Determinarea entropiilor pentru digramele, trigramele și 4-gramele limbii române

Determinarea entropiilor pentru digramele, trigramele și 4-gramele din limba română utilizând formulele din „*Prediction and Entropy of Printed English*”

Pentru digrame

$$\begin{aligned} F_2 &= - \sum_{i,j} p(i,j) \log_2 p_i(j) = \\ &= - \sum_{i,j} p(i,j) \log_2 p(i,j) + \sum_i p_i \log_2 p_i = \\ &= 7.597306871 - 4.228938024 = 3.368368847 \text{ biți/literă} \end{aligned}$$

Pentru trigrame:

$$\begin{aligned} F_3 &= - \sum_{i,j,k} p(i,j,k) \log_2 p_{i,j}(k) = \\ &= - \sum_{i,j,k} p(i,j,k) \log_2 p_{i,j}(i,j,k) + \sum_{i,j} p(i,j) \log_2 p(i,j) = \\ &= 10.44204529 - 7.597306871 = 2.844738419 \text{ biți/literă} \end{aligned}$$

Pentru 4-grame:

$$\begin{aligned} F_4 &= - \sum_{i,j,k,l} p(i,j,k,l) \log_2 p_{i,j,k}(l) = \\ &= - \sum_{i,j,k,l} p(i,j,k,l) \log_2 p_{i,j,k}(i,j,k,l) + \sum_{i,j,k} p(i,j,k) \log_2 p(i,j,k) = \\ &= 12.1243 - 10.44204529 = 1.68225471 \text{ biți/literă} \end{aligned}$$

ANEXA 4

Entropia sistemelor termodinamice izolate în cazul proceselor ireversibile

Considerând un sistem izolat format din două subsisteme (corpuri), cu temperaturile T_1 și T_2 ($T_1 \neq T_2$ și $T_1 > T_2$), între cele două părți ale sistemului se va produce un schimb de căldură de la corpul mai cald (T_1) la corpul mai rece (T_2).

Notând cu dQ cantitatea de căldură schimbată de cele două corpuri, atunci, conform relației (9), entropia primului corp se micșorează cu cantitatea $dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$, iar entropia celui de al doilea corp crește cu cantitatea $dS_2 = \frac{dQ}{T_2}$.

Pentru întreg sistemul, variația totală de entropie este: $dS_{\text{sist}} = \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \cdot dQ$

Deoarece $T_1 > T_2$, rezultă că $dS_{\text{sist}} > 0$ ceea ce arată că într-o transformare ireversibilă, entropia unui sistem izolat crește.

ANEXA 5

Microstările unui sistem format din patru particule și o incintă despărțită în patru compartimente

De exemplu, pentru o incintă despărțită în patru compartimente, I, II, III și IV și patru particule a, b, c, d , pot exista diverse macrostări: „două particule în I și două particule în II”, sau „o

particulă în I și trei particule în II” etc. Macroastării „o particulă în I, o particulă în II și două particule în III” îi corespund $\Omega = \frac{4!}{1! \cdot 1! \cdot 2!} = 12$ microstări.

În tabelul următor sunt redată pozițiile celor patru particule corespunzătoare fiecărei microstări ale macroastării considerate:

Nr. microstări	I	II	III	IV
1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c, d</i>	
2	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b, d</i>	
3	<i>a</i>	<i>d</i>	<i>b, c</i>	
4	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c, d</i>	
5	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a, d</i>	
6	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>a, c</i>	
7	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b, d</i>	
8	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a, d</i>	
9	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a, b</i>	
10	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b, c</i>	
11	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>a, c</i>	
12	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>a, b</i>	

Conform celor două principii, măsura ordinală a dezordinii oricărei din aceste microstări sau a macroastării considerate ($N_I = 1, N_{II} = 1, N_{III} = 2$ și $N_{IV} = 0$) este 12.

Pentru patru stări și patru particule, cea mai mare dezordine corespunde macroastării ($N_I = N_{II} = N_{III} = N_{IV} = 1$) cu $\Omega = 4! = 24$ microstări, iar cea mai mică dezordine, $\Omega = 1$, corespunde tipului ($N_I = 4, N_{II} = 0, N_{III} = 0, N_{IV} = 0$).

Pentru cazul general cu N particule, s stări posibile pentru o particulă, măsura dezordinii macroastării (N_1, N_2, \dots, N_s) cu $N = N_1 + N_2 + \dots + N_s$, este dată de numărul Ω al microstărilor compatibile cu macrostarea dată. În 1877, Ludwig Boltzmann a definit entropia S a unui sistem izolat format din N molecule de gaz în funcție de numărul Ω al microstărilor compatibile cu o macrostare dată prin

$$S = k_B \cdot \ln \Omega \quad (9)$$

$$\Omega = \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_s!} \quad \text{și} \quad N = N_1 + N_2 + \dots + N_s \quad (10)$$

iar N_i ($i := 1, 2, \dots, s$) reprezintă repartiția moleculelor de gaz între s stări posibile. Înlocuind (10) în (9), rezultă

$$S = k_B \cdot \ln \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot \dots \cdot N_s!} \quad (11)$$

unde k_B este constanta (universală) a lui Boltzmann. Introducând $p_i = N_i / N$ ca probabilități corespunzătoare microstărilor și ținând cont de formula lui Stirling de aproximare a factorialului în cazul numerelor mari, relația (11) devine $S \sim -N \cdot \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$, unde $H = -\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$ reprezintă funcția folosită de Boltzmann în abordarea statistică a termodinamicii.

BIBLIOGRAFIE

1. Baudot, J. M. E. *Printing Telegraph*, No. 388, 244, Patented Aug. 21. 1888.
[<https://patentimages.storage.googleapis.com/41/db/de/f22f7d839399ff/US388244.pdf>]
2. Clausius, R. *The Mechanical Theory of Heat*, Macmillan and Co, London, 1879.
3. Constantinescu – Dobridor, G. *Gramatica limbii române*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2002.
4. Dawkins, R. *Gena Egoistă*, Editura Publica, București, 2013.
5. Georgescu - Roegen, N. *Legea entropiei și procesul economic*, Editura Politică, 1979.
6. Gleick, J. *Informația o istorie, o teorie, o revărsare*, Editura Publica, București, 2012.
7. Golu, M. *Fundamentele Psihologiei*, Vol. I, Editura Fundației „România de Măine”, București, 2000.
8. Golu, M. *Fundamentele Psihologiei*, Vol. II, Editura Fundației „România de Măine”, București, 2000.
9. Golu, M. *Principii de psihologie cibernetică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1975.
10. Hartley, R., V. *Transmission of information*, Bell Sys. Tech. Journal, 7, p 535, 1928.
[https://monoskop.org/images/a/a6/Hartley_Ralph_VL_1928_Transmission_of_Information.pdf]
11. Khinchin, A. *Mathematical Foundations of Statistical Mechanics*, Dover Publications, Inc., New York, 1949.
12. Miclea, M. *Psihologie Cognitivă*, Ediția II, POLIROM, Iași, 2003.
13. Nyquist, H. *Certain Factors Affecting Telegraph Speed*, Bell System Technical Journal, Volume 3, Issue 2, p 324, 1924.
[https://monoskop.org/images/9/9f/Nyquist_Harry_1924_Certain_Factors_Affecting_Telegraph_Speed.pdf]
14. Price R. *A Conversation with Claude Shannon*, IEEE Communications Magazine, May 1984, pg 123 in Eugene Chiu, Jocelyn Lin, Brok McFerron, Noshirwan Petigara, Satwiksai Seshasai, A Mathematical Theory of Claude Shannon - A study of the style and context of his work up to the genesis of information theory, Bell System Technical Journal, 2001, p13.
[<http://web.mit.edu/6.933/www/Fall2001/Shannon1.pdf>]
15. Raicu, P., Stugren, B., Duma, D., Coman, N., Mărăscu, F. *Biologie – Genetică și evoluționism*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994.
16. Shannon, C., E. *A Mathematical Theory of Communication*, Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948, p1.
[<http://math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>]
17. Shannon, C., E., *Prediction and Entropy of Printed English*, Manuscript Received, 1950, p. 50.
[https://www.princeton.edu/~wbialek/rome/refs/shannon_51.pdf]
18. Shannon, C., E., *A Mathematical Theory of Cryptography* - Case 20878, 1945, p 1, 2, în Cover sheet for technical memoranda research department.
[<https://www.iacr.org/museum/shannon/shannon45.pdf>]
19. Shannon, C., E., Weaver, W. *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press. Urbana, 1964.
[https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164/component/file_2383163/content]
20. Smith, E., E., Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B., L., Loftus, G., R. *Atkinson & Hilgard Introducere în psihologie*, ediția a XIV-a, Editura Tehnică, București, 2005.
21. Viveka Velupillai, *An Introduction to Linguistic Typology*, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam/Philadelphia, 2013.
22. Wheeler, J., A. *Information, Physics, Quantum: the Search for Links, Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics*, 1989, p368.
[<https://cqi.inf.usi.ch/qic/wheeler.pdf>]
23. Wiener, N. *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, second edition, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1985.
24. Zlate, M. *Introducere în Psihologie*, Casa de Editură și Presă „Șansa” București, 1994.