

В.П. БОЮН

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: vboyun@gmail.com.

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЗАСОБАМИ ІНФОРМАТИКИ ТА КІБЕРНЕТИКИ

Анотація. Визначено особливості й уточнено сфери застосування наукових методів інформатики та кібернетики на основі визначеного В.М. Глушковым поняття інформації, а також зазначено, що поняття «штучний інтелект» належить цим науковим галузям. Доведено неможливість використання традиційних теоретичних і практичних основ дискретизації, квантування й кодування сигналів у системах реального часу та наголошено на потребі у розробленні нових теоретичних основ на базі міри змін для кібернетичних систем. Запропоновано слідкувальну модель аналого-інкрементного перетворення неперервних сигналів з приростами, кратними степеневі 2, та методи їхнього узгодження із засобами оброблення інформації. Наголошено на доцільності використання динамічної теорії інформації на основі δ -ентропії для виділення корисної (динамічної) інформації із сигналів, зображень, відео, ітераційних процесів і взагалі з даних про зміни в еволюційних процесах. Запропоновано підходи до синтезу нових технічних рішень на основі методу приростів знань. Визначено особливості створення штучного інтелекту методами інформатики та кібернетики, а також необхідність їхньої синергії з іншими галузями наук.

Ключові слова: інформатика, кібернетика, інформація, штучний інтелект, обчислювальна техніка, статична інформація, динамічна інформація, міра змін, δ -ентропія, інформативність, прирости знань, евристики.

ВСТУП

Останнім часом спостерігається плутанина з поняттями «інформатика», «кібернетика», «інформація» та «штучний інтелект», що зумовлено великою кількістю їхніх визначень, а також їхніми відмінностями в Україні та за кордоном. Це стосується і віднесення штучного інтелекту до галузі інформатики або кібернетики. Найбільш відповідними поняттями для інформатики та кібернетики, на думку автора, є їхні визначення, надані в [1]:

Інформатика — це теоретична і прикладна наука, яка вивчає структуру і загальні властивості інформації, а також методи і (комп'ютерні) засоби її створення, перетворення, зберігання, передачі та використання в різних галузях людської діяльності. Обчислювальна техніка є інструментом для інформатики і низки інших галузей;

Кібернетика — це наука про загальні закони отримання, зберігання та перетворення інформації у складних керувальних технічних, біологічних, адміністративних і соціальних системах.

Оскільки поняття «інформація» є надзвичайно важливим і ключовим для багатьох галузей науки, від його визначення залежить і сфера застосування. У зв'язку з диференціацією науки нині є декілька сотень визначень цього поняття для різних застосувань, тому доцільно звернутися до його витоків, коли тільки формувалися напрямки наук, пов'язані з інформацією. Напевно, більш значимим було визначення, надане Клодом Шенноном, який сформулював поняття інформації як «міри невизначеності розподілу матерії й енергії у просторі та часі» [2], що сприяло стрімкому розвитку систем передавання й накопичення інформації. Зокрема, під час передавання текстової інформації зменшувався її обсяг у понад два рази (залежно від мови), а для передавання неперервних сигналів були вико-

ристані розроблені у вимірювальній техніці теоретичні основи дискретизації сигналів, методи оптимального квантування відліків та методи економічного кодування [3]. Це й стало теоретичною базою науки «інформатика».

У вимірювальній техніці, системах передавання інформації, інформатиці тощо для аналого-цифрового перетворення неперервних сигналів створено теоретичні основи, які охоплюють і оптимізують такі процеси:

— дискретизація сигналів у часі, яку здійснюють для зменшення кількості відліків сигналу за допомогою теореми відліків Найквіста–Котельникова;

— квантування сигналу за рівнем для зменшення кількості рівнів і розрядності, яке здійснюють відповідно до ймовірностей значень сигналу (оптимальне квантування). Більш імовірні значення сигналу квантують з меншим квантом, менш імовірні — з більшим, що забезпечує мінімальну кількість рівнів квантування для заданої дисперсії шуму квантування;

— кодування сигналу згідно зі статистичною теорією відповідно до ймовірностей появи відліків сигналу дає змогу скоротити середню довжину кодової комбінації одного відліку сигналу і за рахунок цього зменшити обсяг інформації про сигнал (економічне кодування Шеннона) [2].

Аналого-цифрове перетворення (у разі потреби у реєстрації процесу, передаванні та запам'ятовуванні великих масивів інформації, характерних для науки «інформатика»), яке здійснюють на базі розглянутих теоретичних основ, забезпечує послаблення вимог до каналів передавання інформації та обсягів пам'яті для її збереження. Наявність запізнювання інформації, зумовленого скінченним часом аналого-цифрового перетворення, передавання та запам'ятовування, для систем реєстрації не принципова. Потрібно тільки узгодити пропускну здатність усіх елементів тракту. Декодування та оброблення інформації, відновлення неперервної форми сигналу здійснюють не в реальному часі і за допомогою інших засобів, тому часові й апаратні витрати на реалізацію цих процесів не враховуються під час оцінювання ефективності усього тракту.

В.М. Глушков, закладаючи основи кібернетики, у своїй праці «Мислення і кібернетика» (1963 р.) дав настільки містке для кібернетики поняття інформації, що воно не втратило своєї актуальності навіть до теперішнього часу: «Інформація у найзагальнішому її розумінні є мірою неоднорідності розподілу матерії й енергії у просторі та в часі, мірою змін, якими супроводжуються всі процеси, що відбуваються у світі» [4]. Зауважимо, що виділяють два різновиди неоднорідності — статичну (характеризує поточний стан деякої матеріальної чи енергетичної системи) та динамічну (характеризує її змінність у часі). Перша частина цього визначення збігається з визначенням, яке запропонував К. Шеннон для систем економічного передавання і запам'ятовування інформації в інформаційних системах. Якщо статичну інформацію було описано у сотні робіт у світі і вона стала вже класикою, то динамічній інформації не приділяли належної уваги практично до початку XXI століття. Зазначимо, що К. Шеннон у короткій статті «Бандвагон» [2] застерігав від необгрунтованого застосування цього поняття в усіх інших галузях, оскільки воно було розроблене для зменшення надлишковості під час передавання та зберігання інформації. Наявність сотень визначень поняття інформації пов'язана з конкретною моделлю досліджуваної дійсності, де визначається те різноманіття, від якого насамперед залежить якість системи або критерій її ефективності. Рішення щодо вибору міри інформації не можна прийняти з використанням засобів математики. Це суто евристична процедура, в якій слід враховувати конкретні умови, вимоги та особливості [5].

Зазначені теоретичні основи зовсім не придатні для систем реального часу, зокрема з таких причин:

— дискретизація процесу згідно з теоремою відліків Найквіста–Котельникова має великий крок дискретизації у часі, а для відновлення проміжних значень сигналу потрібно скористатися рядом Котельникова, під час реалізації якого (і цифрової, і аналогової) виникають значні технічні труднощі. Крім того, відновлення процесу рядом Котельникова спричиняє значні затримки сигналу, оскільки для цього потрібні не тільки попередні значення сигналу, але й майбутні, що неприпустимо в системах реального часу. Хоча на практиці використовують частішу дискретизацію сигналу порівняно з теоремою відліків, проте необхідність відновлення неперервного сигналу зумовлює використання інтерполяційних або екстраполяційних методів. Це також призводить до затримок сигналу в контурі керування;

— практично не можуть бути використані відліки сигналу, отримані методами оптимального квантування або методами економічного кодування. Відліки були закодовані відповідно до ймовірностей значень сигналу та втратили саме значення параметра, тому їх потрібно попередньо декодувати.

Наведемо такий приклад. У 60–70-ті роки минулого сторіччя у світі спостерігали шалений бум проєктів з розвитку аналого-цифрової (гібридної) техніки, створювали гібридні обчислювальні (моделювальні) машини, цифро-аналогові комплекси на базі цифрових і аналогових машин, цифрові диференціальні аналізатори, цифрові інтегрувальні машини, пристрої з різними формами представлення інформації [6, 7]. Однак, навряд чи можна сказати, що цей етап завершився дуже вдало, оскільки науковці сподівалися на те, що зможуть об'єднати позитивні якості обох класів машин, а, за невеликим винятком, отримали об'єднання їхніх негативних якостей. Значною мірою крах цього напрямку був спричинений використанням зазначеної вище вимірювальної моделі та теоретичних основ дискретизації, квантування і передавання інформації, які не враховували потребу в обробленні інформації в реальному часі та наявність запізнювання інформації в контурі зворотного зв'язку систем керування.

Автор цієї статті, вже маючи досвід створення й експлуатації декількох систем керування, зокрема розроблення і дослідження системи дистанційного керування з м. Київ бесмерівським конвертором для виплавки сталі у м. Дніпродзержинськ (нині м. Кам'янське), під час створення цифро-аналогового комплексу з автоматизацією набору структурних схем і гібридною системою реалізації нелінійних залежностей на базі керувальної машини «Дніпро-1» та моделювальної установки ЕМУ-10 пройшов дуже гарну школу, досліджуючи моделювання на зазначеному комплексі звичайних диференціальних рівнянь з початковими і крайовими умовами, диференціальних рівнянь з частинними похідними, інтегральних рівнянь тощо. Ці дослідження показали, що найменше втручання (затримка інформації, східчастість її представлення) у процес моделювання на аналоговій моделі призводило (наприклад, під час моделювання диференціального рівняння другого порядку) до того, що синусоїда (як результат моделювання) або швидко затухала або розширювалася. Ці недоліки зумовлені використанням вимірювальної моделі та відповідних їй методів дискретизації, квантування та передавання інформації. Тому для цифро-аналогового комплексу Інституту кібернетики було розроблено цифрові керувальні опірники (цифро-аналогові перемножувачі). Їх включали в аналогові моделі, а керування ними здійснювали з цифрової машини, реалізуючи також змінні коефіцієнти та нелінійні залежності. Отриманий досвід сприяв удосконаленню засобів перетво-

рювання форми представлення інформації та її оброблення в системах реального часу, а згодом і розробленню динамічної теорії інформації.

У системах реального часу, насамперед тих, що призначені для керування високодинамічними процесами або швидкісними об'єктами, виникає зовсім інша ситуація щодо виконання аналого-цифрового перетворення у системі зворотного зв'язку. Під час створення різних спеціалізованих пристроїв кібернетичної техніки на практиці постійно виникала потреба в узгодженні методів і алгоритмів оброблення інформації з методами і формами представлення інформації з аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Спочатку це були АЦП з перетворенням неперервного сигналу за допомогою лінійної (або східчастої) розгортки у часові інтервали, які заповнювалися імпульсами фіксованої частоти, підрахованими лічильником (так звані АЦП з число-імпульсним виходом). Хоча це і не дуже ефективний метод, однак його використання дало змогу сумістити процеси аналого-цифрового перетворення з простим обробленням цієї інформації (наприклад, множення на постійний коефіцієнт, степенювання тощо) без виконання операції множення та отримати результат з мінімальною затримкою. Згодом на основі часової розгортки було отримано досить ефективні генератори різних функціональних залежностей.

Для АЦП порозрядного врівноваження також було модифіковано алгоритми обчислення функцій і структури пристроїв для їхньої реалізації з порозрядним обробленням без операцій множення та з мінімальною затримкою інформації. Ефективнішими виявилися АЦП слідкувального врівноваження з бінарною і тернарною системою кодування приростів інформації, які забезпечували значне зменшення надлишковості представлення інформації та спрощення її оброблення. Однак недоліком цих слідкувальних АЦП, як і методу δ -модуляції для передавання сигналів, є обмеження частотного діапазону (обмеження щодо крутизни) сигналів. Воно унеможливило їхнє використання у системах керування високодинамічними процесами та швидкісними об'єктами.

З огляду на те, що складність і час оброблення інформації зростають практично пропорційно розрядності її представлення, що негативно впливає на оперативність отримання керувальних рішень, запропоновано скорочувати розрядність представлення інформації в режимі слідкування до одного біта, на відміну від класичного підходу, який полягає в скороченні кількості відліків. Таким важливим бітом може бути старший значущий розряд у величині приросту, який можна отримати шляхом порівняння аналогової величини приросту ε_i з виходами порогових елементів, величини яких є значеннями, кратними степеневі 2. Для компенсації похибки в результаті, що виникає за рахунок заокруглення значення приросту до степеня 2, запропоновано здійснити екстраполяцію порогів згідно з формулою

$$incr(\varepsilon_i) = 2^{\left\lceil \log_2 \frac{1.5 |\varepsilon_i|}{\delta_x} \right\rceil}.$$

Тоді величину приросту (increment) можна визначити як

$$\Delta x_i = \text{sign}(\varepsilon_i) \cdot incr(\varepsilon_i).$$

Цю складну формулу можна реалізувати дуже просто, без обчислень, шляхом збільшення в 1.5 раза порогів під час налаштування, і залишок від операції заокруглення не буде накопичуватися [8].

Адаптація до похідної сигналу забезпечила підвищення точності його відстеження після аналого-інкрементного перетворення, оброблення і відтворення. Для порівняння на рис. 1 наведено графіки сигналів для різних моделей.

Робота з приростами сигналу, кратними степеневі 2, дала змогу значно зменшити надлишковість представлення інформації та розширити частотний діапазон оброблюваних сигналів. До того ж замість операції множення в алгоритмах оброблення використано операцію зсуву на величину степеня 2, що спростило реалізацію пристрою.

Ці підходи використано для спрощення алгоритмів обчислення — від операцій масштабування, піднесення до степеня, обчислення поліномів тощо до реалізації різних функціональних залежностей (експоненційної, логарифмічної, тригонометричних, гіперболічних тощо). Для реалізації обернених функцій прямі функції включають у зворотний зв'язок. Для багатоканальних систем аналого-цифрового перетворення й обчислення нелінійних залежностей можна застосувати метод розгортки у часі. Він також буде ефективним для реалізації генераторів різних функцій [9].

Отже, виконання перетворень форм інформації та обчислень зазначених вище функцій за допомогою традиційних методів представлення інформації, не пов'язаних з необхідністю їхнього використання у системах реального часу, можна віднести до сфери науки «інформатика». З іншого боку, узгодження методів перетворення форм інформації з методами її оброблення для забезпечення системного критерію якості в реальному часі відносять до сфери науки «кібернетика».

Подальше осмислення міри змін (приростів інформації та знань) дало змогу сформулювати основні положення динамічної інформації як теоретичної бази систем реального часу.

ОСНОВИ ДИНАМІЧНОЇ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ [8]

Системи зі штучним інтелектом мають працювати в умовах реального часу, оскільки штучний інтелект значною мірою орієнтований на діалог з користувачем та взаємодію з навколишнім середовищем. Останні мають переважно неперервний характер і потребують системного підходу до сукупності процесів аналого-цифрового перетворення та організації обчислювального процесу, їхнього підпорядкування єдиному критерію якості. Через це потрібно ви-

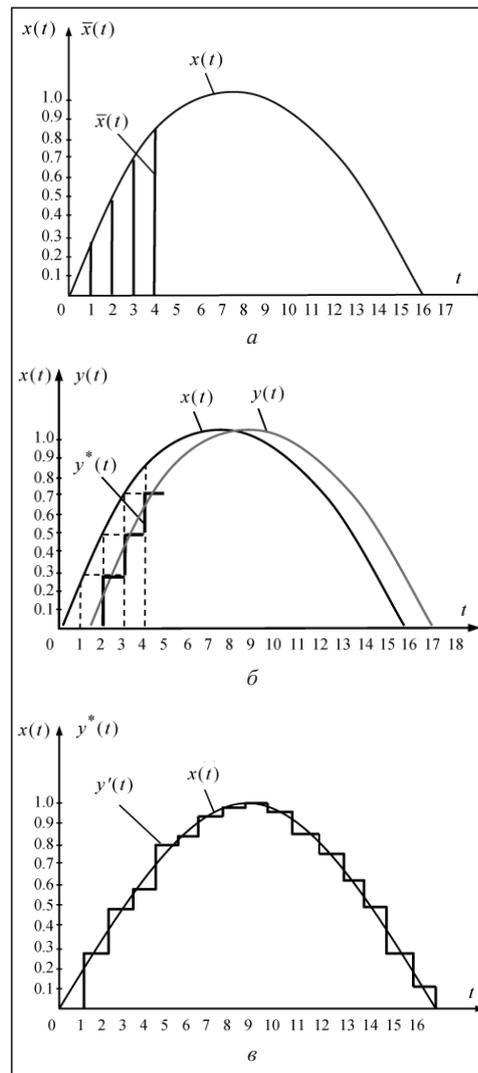


Рис. 1. Графіки представлення сигналу для вимірювальної та слідкувальної моделей: вимірювання сигналу без урахування його запізнювання на час аналого-цифрового перетворення та оброблення (а); вимірювання сигналу з урахуванням його запізнювання (запізнювання сигналу на 1.5 кроки дискретизації) (б); представлення сигналу у разі аналого-інкрементного перетворення з екстраполяцією шляхом збільшення порогів у 1.5 раза (в)

сувати відповідні вимоги до реалізації кожного процесу в комплексі. З огляду на високі вимоги систем реального часу до запізнювання інформації в контурі зворотного зв'язку, слід інформаційно узгодити способи цифрового представлення неперервних сигналів, алгоритми аналого-цифрового перетворення, що відповідають цим способам, методи оброблення інформації, які враховують способи цифрового представлення неперервних сигналів і форму інформації на виході АЦП для одно- і багатоканальних випадків, принципи організації обчислювального процесу у спеціалізованих та проблемно-орієнтованих процесорах і системах. Невиконання цих умов буде призводити до значної надлишковості представлення інформації та потреби у додаткових узгодженнях форм представлення інформації в ланцюжку зворотного зв'язку. У системному критерії якості слід врахувати весь цей ланцюг перетворення, передавання та оброблення інформації в реальному часі.

Основною задачею системи керування є точне або наближене визначення (обчислення) вихідного сигналу $Y(t)$, що є функцією або оператором від вхідного сигналу $X(t)$, тобто виконання перетворення

$$Y(t) = F[X(t)].$$

Сигнали $X(t)$ і $Y(t)$ можуть бути як скалярними, так і векторними.

Для виконання цієї задачі в сучасних системах керування неперервні вхідні сигнали перетворюють у цифрову форму, здійснюють їхнє цифрове оброблення, за потреби відбувається передавання інформації, а в деяких випадках і відновлення неперервної форми вихідного сигналу.

Зазначимо, що оброблення й відновлення неперервної форми сигналу здійснюють в реальному часі і при цьому використовують амплітудні значення сигналів. Для того, щоб оброблення відбувалося без додаткових перетворень після квантування і кодування, коди відліків сигналу мають зберігати в собі значення параметра.

У системі за рахунок процесів дискретизації, квантування, оброблення і відновлення неперервної форми сигналу зі східчастої функції замість ідеального сигналу $y(t)$ на виході отримують сигнал $y^*(t)$. Тоді під системною похибкою одного каналу будемо розуміти абсолютне (або середньоквадратичне) значення функції розузгодження між ідеальним сигналом $y(t)$, що має бути отриманий у результаті оброблення сигналу $x(t)$, і реальним сигналом $y^*(t)$, який отримують після його перетворення, передавання, оброблення і відновлення його неперервної форми

$$\delta(t) = \frac{|y(t) - y^*(t)|}{Y}, \quad t_0 < t < t_N,$$

де Y — діапазон змінення сигналу; t_0, t_N — початковий і кінцевий моменти часу спостереження сигналу відповідно.

Під максимальною похибкою будемо розуміти величину

$$\delta_{\max} = \max \delta(t), \quad t \in [t_0, t_0 + T],$$

де T — інтервал спостереження сигналу $x(t)$, а під середньою похибкою — величину

$$\delta_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{c_i},$$

де δ_{c_i} — похибка на i -му інтервалі дискретизації (t_{i-1}, t_i) ,

$$\delta_{c_i} = \frac{1}{Y\Delta t_i} \int_{t_{i-1}}^{t_i} |y(t) - y^*(t)| dt,$$

N — кількість інтервалів дискретизації, $N = \frac{T}{\Delta t}$ (для рівномірної дискретизації).

Як показують дослідження, основний внесок у системну похибку зумовлює запізнювання сигналу в контурі зворотного зв'язку, яке є пропорційним швидкості змінення сигналу та величині запізнювання τ_3 :

$$\Delta = |x'(t)| \cdot \tau_3,$$

де $|x'(t)|$ — максимальне значення модуля похідної сигналу.

Як відомо, більш повною оцінкою похибки, зумовленої запізнюванням, є середньоквадратичне значення або середнє за модулем значення похибки.

Швидкість змінення сигналу, яка є об'єктивною характеристикою динамічних властивостей об'єкта, суттєво впливає на похибку від запізнювання, тому вона має бути відображена в інформаційній мірі.

Для оцінювання динамічних процесів найбільш підходящими є такі інформаційні критерії, як ентропія, кількість інформації, інформативність, коефіцієнт надлишковості тощо. Однак поняття інформації та її міра залежать від конкретних умов, вимог та обмежень, зумовлених конкретними моделями процесів.

Оскільки кількість інформації в реалізації випадкового процесу також пов'язана з похідною сигналу, то у разі представлення сигналу відрізками східчастих ліній з величиною східця δ_y її визначають як

$$I = \frac{1}{\delta_y} \int_0^T |y'(t)| dt,$$

а інформативність реалізації випадкового процесу — як

$$\bar{I} = \frac{\Delta t}{\delta_y} M[|y'(t)|].$$

Отриману величину, що являє собою середнє значення змінення випадкового процесу у квантах δ_y на інтервалі Δt , назовемо δ -ентропією і позначимо H_δ :

$$H_\delta = \frac{\Delta t}{\delta_y} M[|y'(t)|].$$

Зауважимо, що δ -ентропія є мірою невизначеності змінення випадкового процесу та характеризує його динамічні властивості.

Вибравши масштабувальний коефіцієнт $\frac{\delta_y}{\Delta t}$ за умов його рівності максимальному значенню похідної, отримаємо приведену δ -ентропію

$$h_\delta = \frac{|y'(t)|_c}{|y'(t)|_{\max}}.$$

Приведена δ -ентропія не залежить від вибраних кванта (за рівнем) і кроку дискретизації, а повністю визначається законом розподілу похідних сигналу. Приведена δ -ентропія змінюється в діапазоні (0–1).

За допомогою приведеної δ -ентропії можна порівнювати динамічність процесів різної фізичної природи, оцінювати їхню інформативність за різних законів розподілу похідних сигналу тощо.

Отже, міра змін, яка ґрунтується на похідній сигналу або процесу, є одночасно і мірою інформативності процесу, і оцінкою похибки його представлення.

Введені поняття і розглянуті у [8] питання є основами динамічної теорії інформації. Динамічна теорія інформації ґрунтується на системному підході, враховує особливості систем реального часу, їхні вимоги й обмеження, специфіку розв'язуваних задач. Вона дає змогу оцінити динаміку сигналів, інформаційні й точнісні характеристики методів цифрового представлення неперервних сигналів і вибрати з цих методів найбільш ефективний для конкретного застосування.

Згодом динамічна теорія інформації була допрацьована для процесів сприйняття й оброблення зображень та відеопослідовностей, в яких також виділяли корисну (динамічну) інформацію між кадрами відеопослідовності під час панорування, загрублену інформацію під час пошуку об'єкта в зображенні та обмежену інформацію навколо місцеположення об'єкта в попередньому кадрі відеопослідовності у процесі його відстеження [10].

Для визначення обсягу інформації у відеопослідовності зазвичай використовують потенційну оцінку на основі амплітудно-просторової та часової роздільності

$$C_{\text{В.П.}} = \frac{X}{\Delta x} \cdot \frac{Y}{\Delta y} \cdot \log_2 \left(\frac{Z}{\delta z} + 1 \right) \frac{1}{\Delta t},$$

де X і Y — розміри поля зображення; Z — координата яскравості зображення; $1/\Delta t = f$ — частота кадрів; Δx , Δy , δz , Δt — дискретність подання відповідних координат зображення. Значення X , Y та Z у формулі зазвичай вважають фіксованими і такими, що дорівнюють максимальному значенню. Фіксованими є також значення Δx , Δy , δz , Δt , тому цей підхід дає оцінку зверху кількості інформації, але вона дуже завищена і не вказує шляхів скорочення надлишковості цифрового представлення зображень.

Однак, якщо забезпечити змінність параметрів у наведеній формулі, то з'явиться можливість адаптувати відеокамеру до вимог і особливостей задачі і до того ж значно зменшити надлишковість представлення зображень і відеопослідовностей. Цю змінність реалізують шляхом керування параметрами зчитування інформації з відеосенсора, водночас суміщають процеси введення інформації та її оброблення, що дає змогу з мінімальною затримкою отримувати інформацію для керування параметрами зчитування наступного кадру.

Розроблені динамічні моделі цих процесів продемонстровано на всесвітніх виставках з інформаційних технологій СеВІТ-2000 та СеВІТ-2007 у Ганновері, на інших міжнародних виставках. Вони отримали схвальні відгуки, проте не показали усіх своїх переваг через їхню реалізацію на традиційних (на той час) засобах комп'ютерної і відеотехніки. Тому у 2001 р. була створена перша в Україні інтелектуальна відеокамера ІВК-1 з новими інформаційними основами, автоматичним виділенням динамічної частини зображення та його попереднім обробленням, керуванням параметрами зчитування відеоінформації тощо, яка показала на два порядки вищу продуктивність [11]. Згодом було ство-

рено сімейство інтелектуальних відеокамер різного призначення (з фото- і теле-об'єктивами, підвищеною продуктивністю та зі збільшеними обсягами пам'яті). Вони стали основою для створення низки інтелектуальних відеосистем, призначених для контролю якості продукції за ознаками форми, розмірів, колірності та її ідентифікації, контролю статичних і динамічних параметрів фізичних, хімічних і біологічних об'єктів, стеження за рухомими об'єктами тощо.

Створено цифровий оптичний капіляроскоп [12]. Завдяки програмному забезпеченню, яке автоматизує вимірювання статичних параметрів капілярів на нігтьовому ложі пальців (довжини артеріальної і венозної ділянок, калібру та звивистості капіляра тощо), а також оцінювання таких динамічних параметрів, як швидкість та прискорення кровотоку в ділянках капіляра, він дає змогу неінвазивно досліджувати стан мікроциркуляторної ланки кровообігу пацієнта.

В основу розробленої гемодинамічної лабораторії «МакроМікроПотік» [12] покладено метод цифрової оптичної капіляроскопії, який відіграє роль арбітра благополуччя всієї серцево-судинної системи живого організму. Цей метод дає змогу візуалізувати найвіддаленіший сектор судинної системи і чітко відобразити артеріолярну, венолярну патологію в аспекті глобальних першопричин неполадок у судинній системі зі скринінгом можливих причин як з боку серцевої діяльності, так і внаслідок патології магістральних і периферичних судин артеріальної та венозної ланок. Тут об'єднано три технології (доплерівську детекцію магістрального потоку крові, цифрову оптичну візуалізацію та комплексне оцінювання стану мікроциркуляції) під єдиним програмно-аналітичним забезпеченням для виявлення дисбалансу між патологією в магістральних артеріях та венах і розладами в мікросудинах пацієнта. Тому саме такий комплекс, який отримує інформацію на макро- і мікрорівнях, здатний забезпечити ефективну комплексну діагностику серцево-судинної системи та формування реальних індивідуально орієнтованих алгоритмів лікування з інструментальним контролем його ефективності.

Виявлено, що у разі оброблення зображень, шляхом обчислення середніх значень різниць за модулем між сусідніми пікселями за рядками та стовпцями зображення

$$H\delta_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left| \frac{\Delta z_{ij}}{\delta z} \right|; \quad H\delta_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\Delta z_{ij}}{\delta z} \right|,$$

можна оцінити його динамічність, визначити місця з підвищеною динамічністю (наприклад, текстури), різні параметри текстури (рис. 2), місцеположення штрих-кодів, DMX-кодів, відбитків пальців, номерів авто тощо [13]. Як видно з рис. 2, можна виділити крок (зерно) текстури та середні значення перепадів яскравості або колірності за рядками та стовпцями (контраст). На регулярних текстурах можна виявити місця порушення регулярності (дефекти) (наприклад рис. 2, б).

Досвід практичної і наукової роботи з приростами інформації і знань допоміг науковцям усвідомити важливість поняття «міра змін», розвинути його і широко використовувати надалі й в інших галузях.

Під змінами (приростами, або різницями) у визначенні В.М. Глушкова розуміють будь-які процеси, явища тощо. Це можуть бути: зміни клімату; підвищення або зниження врожайності сільськогосподарських культур, видобутку вугілля, валового національного продукту, добробуту населення; зміни у сигналах з давачів інформації; рух у відеопослідовності; природи знань; евристики в будь-якій галузі; еволюційні процеси тощо.

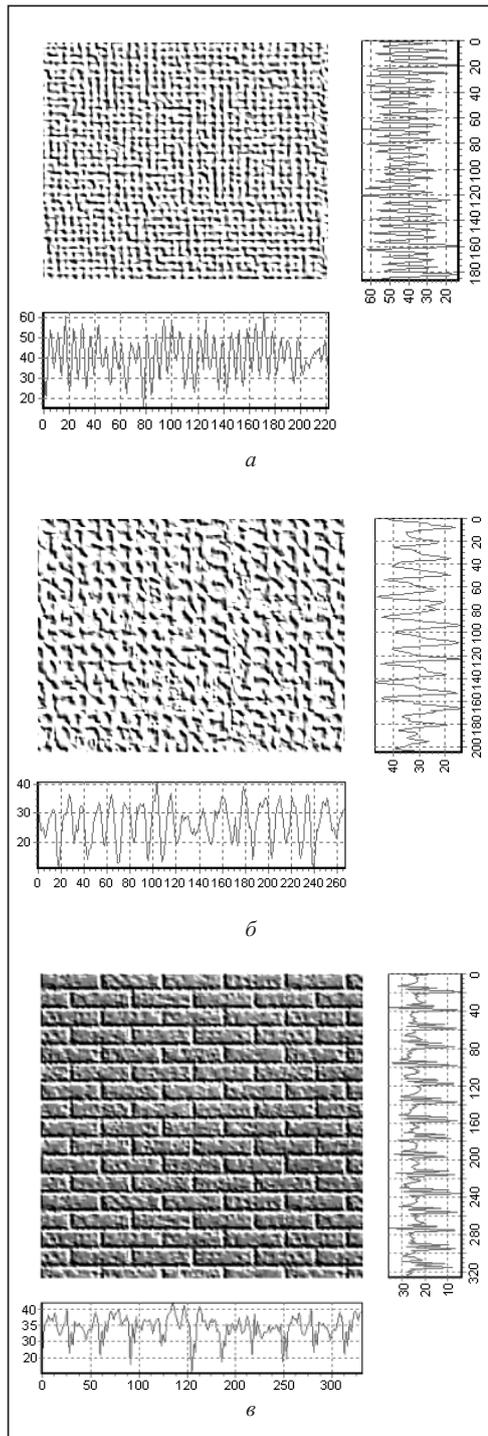


Рис. 2. Оцінювання параметрів текстур: полотно (а), мішківина (б), цегляна кладка (в)

ми похідними методом цифрових сіток, інтегральних рівнянь тощо [15]. Це дало змогу замінити масові операції множення і додавання на кожній ітерації або кроці на операції зсуву, які сумішалися з операціями додавання у часі.

Сукупність приростів знань на часовому інтервалі дає знання про поведінку процесу або об'єкта. Ця ідея є корисною в безлічі випадків, і навіть у різних галузях. Наприклад, інформація про валовий національний продукт країни характеризує поточний рівень її економіки, а зміни кількості цього продукту на якомусь часовому інтервалі дають інформацію про те, що відбувається в економіці (розвиток чи стагнація). Друга похідна цих змін характеризує швидкість розвитку чи уповільнення економіки і забезпечує дуже корисну інформацію для аналізу. Сітківка ока людини також працює на перепадах яскравості між сусідніми точками у площині зображення, які обчислюють за принципом концентричної організації зон збудження і гальмування нейронів сітківки [14]. На основі аналізу приростів працюють цифрові диференційні аналізатори, цифрові аналоги та цифрові інтегровальні машини [7].

Після аналізу й осмислення принципів змінення та процесів узгодження методів і форм подання інформації з різних типів АЦП з методами оброблення інформації, а також модифікації алгоритмів для їхньої реалізації вдалося визначити низку методів і підходів, які сприяли створенню нових технічних рішень та підвищенню ефективності цих процесів. Зокрема були реалізовані без операції множення алгоритми обчислення кореляційних функцій, коефіцієнтів дискретного перетворення Фур'є, цифрової фільтрації, алгоритми розв'язання лінійних алгебраїчних рівнянь ітераційними методами (з використанням приростів нев'язок та кодуванням приростів невідомих величинами, кратними степеневі 2), диференціальних рівнянь з частинни-

На технічні пристрої з використанням зазначених підходів отримано понад 200 авторських свідоцтв і патентів. Багато які з них упроваджено для керування складними і високодинамічними процесами (три системи керування параметрами і положенням плазми в термоядерних установках типу ТОКАМАК) [16], швидкісними об'єктами (система наведення снаряда за зображенням об'єкта), а також використано в розробленні системи керування для міжнародного термоядерного експериментального реактора (ITER) тощо.

Більшість задач, які виникають у практичній діяльності під час сприйняття інформації, її збереження та оброблення, можна розв'язати методами як інформатики, так і кібернетики. Методи і підходи до розв'язання задач вибирають залежно від конкретної постановки задачі, вимог до часу її розв'язання, критеріїв оцінювання якості результатів. Пояснимо це на прикладах.

Якщо потрібно зібрати інформацію з аналого-цифровим перетворенням, передати її каналами зв'язку в якийсь інформаційний центр, накопичити, а потім (будь-коли) здійснити її статистичне оброблення, визначити кореляцію між параметрами, провести спектральний аналіз, підготувати звіт для прийняття рішень тощо, тоді краще скористатися методами і теоретичними основами інформатики.

Коли є потреба здійснити аналого-цифрове перетворення, обчислити та подати сигнал керування на виконавчі пристрої в умовах значного обмеження у часі, тоді, можливо, доцільно відмовитися від передавання інформації, а безпосередньо на місці виконувати необхідні розрахунки та здійснювати керування об'єктом через виконавчі пристрої. Водночас дуже важливо узгодити форми представлення інформації між сусідніми блоками системи керування, а також використати системний критерій якості, який охоплює всі складові процесу перетворення, оброблення і взаємодії з виконавчими механізмами. У цьому випадку доречнішим буде використання методів і теоретичних основ кібернетики.

Якщо у кіберфізичних системах та мережі «Інтернет речей» є велика кількість простих сенсорів та різних типів давачів інформації і щодо них немає обмежень у часі, достатньо використати традиційні АЦП з комутаторами та один або кілька процесорів для оброблення інформації. Однак для відеокамер спостереження або інших сенсорів з великими обсягами інформації, які розв'язують задачі пошуку об'єкта, його відстеження та розпізнавання в реальному часі, цей варіант не годиться, оскільки ці задачі належать сфері кібернетики.

Визначення поняття динамічної інформації (як міри змін) виявилось винятково плідним і для кібернетики, і під час вивчення інформаційних властивостей фізичних систем. Тому можна сподіватися, що цей підхід буде застосовним і у новій перспективній галузі інформатики, яка останніми роками почала формуватися й отримала назву «кіберфізична інформатика», а також в мережі «Інтернет речей». Слід зазначити, що під час організації Інституту кібернетики НАН України за ініціативи В.М. Глушкова ще у 1969 р. було створено відділення кібернетичної техніки для технічної підтримки інших відділень (теоретичної й економічної кібернетики, біологічної і медичної кібернетики та технічної кібернетики). Співробітники цього відділення мають значні здобутки в цій галузі. Вони опублікували понад два десятки монографій, зокрема три за тематикою цієї статті [8, 9, 14], і донині розробляють знання-орієнтовані системи, системи комп'ютерного зору з елементами зорового аналізатора людини, медичні й агропромислові системи зі штучним інтелектом, системи напівнатурного моделювання тощо.

Однією з перших робіт щодо постановки і розвитку динамічної теорії інформації як теоретичної бази систем реального часу стала монографія [8]. У ній показано, як оперативно добувати і використовувати корисну інформацію із сигналів, зображень, відео, ітераційних процесів і взагалі інформацію про зміни в ситуації.

Дослідження в галузі динамічної теорії інформації, пов'язані з теорією динамічних систем та самоорганізацією, розглянуто в [17]. У роботі [18] показано, що будь-який нейроморфний підхід стикається з проблемою певного розриву

між об'єктивно вимірюваною інформацією про ансамбль нейронів (Мозок) та суб'єктивною інформацією про свідомість людини (Розум). На основі динамічної теорії інформації можна побудувати модель, яка дасть змогу прослідкувати, як на основі Мозку виникає Розум.

Природний інтелект людини, яка вже пройшла деякі стадії навчання та набула інтелектуального досвіду, у деяких випадках може ефективно працювати без взаємодії з навколишнім середовищем (планувати, оптимізувати та отримувати нові знання). Тому створення штучного інтелекту для реалізації цих задач можна здійснювати за допомогою методів і засобів інформатики.

В умовах змінного середовища природний інтелект сприймає інформацію різного типу за допомогою своїх інтелектуальних каналів (зір, слух тощо) та виконує якісь фізичні дії. Тому реалізацію штучного інтелекту для сприйняття в реальному часі зовнішнього середовища, взаємодії з природним інтелектом, керування рухами, адаптації до умов середовища забезпечують методами і засобами кібернетики.

Звичайно, тут є ще багато тонкощів, які можна деталізувати, однак, загалом, внесок у створення штучного інтелекту можуть зробити фахівці у галузі як інформатики, так і кібернетики, а також багатьох інших наук, оскільки природний і штучний інтелект є об'єктами міждисциплінарних досліджень.

ВИСНОВКИ

Отже, теоретичні основи аналого-цифрового перетворення сигналів (дискретизація, квантування, кодування та передавання) в інформатиці та кібернетичі суттєво відрізняються. Також різними є критерії оцінювання якості цих процесів і сфери застосування цих критеріїв.

Завдяки динамічній теорії інформації можна оперативіно здобувати і використовувати корисну інформацію із сигналів, зображень, відео, ітераційних процесів і взагалі інформацію про зміни в ситуації. Ця теорія може слугувати базою систем реального часу, яким значною мірою належить і штучний інтелект.

Визначення поняття інформації як міри змін поширюється практично на всі галузі, до яких дотична кібернетика. На основі змін працюють еволюційні алгоритми, евристичні методи добування знань, принципи адаптації до змін та самоорганізації. З використанням змін працює сітківка ока людини та деякі інші органи, тому доцільно ці ефективні підходи використовувати й під час розроблення принципів створення штучного інтелекту.

Розвиток штучного інтелекту, як об'єкта міждисциплінарних досліджень, забезпечується синергією багатьох наук: інформатики, кібернетики, нейрофізіології, когнітивної психології, математики, евристики, еволюційної теорії тощо. Їхня комбінація залежить від сфери застосування та спеціалізації штучного інтелекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енциклопедія кібернетики: у 2 т. Київ: Голов. ред. Укр. рад. енцикл., 1973. 1160 с.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1963. 830 с.
3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. Киев: Вища шк., 1983. 455 с.
4. Глушков В.М. Мышление и кибернетика. *Вопросы философии*. 1963. № 1. С. 36–48.
5. Коган И.М. Прикладная теория информации. Москва: Радио и связь, 1981. 216 с.
6. Корн Г., Корн Т. Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины. Т. 2. Москва: Мир, 1968. 312 с.
7. Каляев А.В. Теория цифровых интегрирующих машин и структур. Москва: Сов. радио, 1970. 472 с.

8. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. Киев: Из-во ИК НАНУ, 2001. 326 с.
9. Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г., Соловьев В.П. Введение в кибернетическую технику: Обработка физической информации. Киев: Наук. думка, 1979. 256 с.
10. Боюн В.П. Інтелектуальне вибіркоче сприйняття візуальної інформації. Інформаційні аспекти. *Штучний інтелект*. 2011. № 3. С. 16–24. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/59347>.
11. Боюн В.П., Сабельников Ю.А. Интеллектуальная видеокамера. *Электронные компоненты и системы*. 2002. № 2. С. 17–23.
12. Боюн В.П., Лущик У.Б., Малиновський Л.Б., Новицький В.В. Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток» для комплексного дослідження та ефективної корекції судинної системи людського організму. *Наука та інновації*. 2010. Т. 6, № 1. С. 45–58. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/28081/05-Boyun.pdf>.
13. Boyun V.P. Bioinspired approaches to the selection and processing of video information. *Proc. 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)* (21–25 August 2018, Lviv, Ukraine). Lviv, 2018. P. 498–502. <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478541>.
14. Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г. Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы. Киев: Наук. думка, 1989. 248 с.
15. Boyun V.P. The issues regarding the organization of the human retina: A cybernetic approach. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59, N 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00537-7>.
16. Боюн В.П. и др. Цифровая система автоматического управления реального времени в токамаке (эксперименты по управлению концентрацией плазмы в токамаке на установке «Гуман-3»): Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1968. 23 с. (Препринт. АН УССР, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 88-67).
17. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. Москва: Наука, 2001. 244 с.
18. Чернавская О.Д. Динамическая теория информации как базис естественно-конструктивистского подхода к моделированию мышления. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2017. Т. 9, Вып. 3. С. 433–447.

V.P. Boyun

FEATURES OF CREATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE USING INFORMATICS AND CYBERNETICS

Abstract. Peculiarities are determined, and scopes of application of the methods of informatics and cybernetics are specified based on V.M. Glushkov's definition of the concept of information. The concept of artificial intelligence is noted to belong to these branches of science. The impossibility of using the traditional theoretical and practical foundations of discretization, quantization, and signal transmission in real-time systems and the need to develop new theoretical foundations based on the measure of changes for cybernetic systems have been proved. A tracking model of analog-incremental transformation of continuous signals with increments, multiple of the degree of 2, and methods of their coordination with the information processing means are proposed. The basis of the dynamic theory of information based on δ -entropy is proposed for excreting useful (dynamic) information from signals, images, videos, iterative processes and, in general, from the data on changes in evolutionary processes. Approaches to the synthesis of new technical solutions based on the method of knowledge increments are proposed. The peculiarities of creating artificial intelligence by the methods of informatics and cybernetics and the need for their synergy with other fields of science are determined.

Keywords: computer science, cybernetics, information, artificial intelligence, computational technique, static information, dynamic information, measure of change, δ -entropy, information, knowledge gain, heuristics.

Надійшла до редакції 07.04.2023