

2. Велика кількість збурень, що впливають на якість кінцевого продукту призводять до необхідності створення систем керування процесами, що враховують вплив збурень без їх безпосереднього вимірювання та постійного налагодження регуляторів.

3. Одним з напрямків до вирішення задачі створення систем керування, що не потребують втручання у технологічний процес та налагодження регуляторів є використання концепції дуального керування.

#### Список літератури

1. **Марюта А.Н.** Автоматический контроль грансостава сыпучих материалов / **А. Марюта, Ю. Качан.** – К. – Донець: «Вища школа», 1977. – 120 с.
2. **Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. Учебное пособие для студентов вузов М. Недра, 1983г. 277 с
3. Способы дробления, классификация оборудования [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/sposoby-drobleniya-klassifikatsiya-obogudovaniya>
4. **Бауман В. Л., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д.** Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
5. Дробилка центробежная ДЦ: принцип действия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.uralomega.ru/stuff/drobcentr/howwork>
6. Физико-химическая активация щебня в процессе электрогидравлического дробления [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.victororel.com/fiziko-himicheskaya-aktivaciya-shhebnya-v-processe-elektrogidravlicheskogo-drobleniya/>
7. **Мерин Б.** Электрогидравлические технологии – нетрадиционный метод решения технических проблем.
8. Ультразвуковое измельчение [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.ultrazvuc.ru/processe/processes\\_area\\_id/1/processes\\_id/3](http://www.ultrazvuc.ru/processe/processes_area_id/1/processes_id/3).
9. **Фельдбаум А.А.** Теория дуального управления / **А.А. Фельдбаум** // Автоматика и телемеханика. – 1960, т.21 № 9. С 1240-1249.
10. **Фельдбаум А.А.** Теория дуального управления / **А.А. Фельдбаум** // Автоматика и телемеханика. – 1960, т.21 № 11. С 1453-1464.
11. **Фельдбаум А.А.** Теория дуального управления / **А.А. Фельдбаум** // Автоматика и телемеханика. –1961, т.22 № 1. С. 3-16.

Рукопис подано до редакції 19.03.12

УДК 62-52

А.А. ЖОСАН, канд. техн. наук, доц.,

Є.С. КІРСАНЬ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### НЕЙРОРЕГУЛЯТОР ЧИ ДУАЛЬНИЙ РЕГУЛЯТОР?

Останнім часом в автоматизації як промислових, так і не промислових процесів дуже часто почали використовуват нейрорегулятори. Однак почали вводити таке поняття як дуальне керування, що також набирає обертів в автоматизації процесів. У роботі наведено огляд основних функцій нейрорегуляторів і дуальних регуляторів та їхні сфери оптимального застосування.

**Мета роботи.** Надати теоретичні відомості з питання особливостей нейрорегуляторів та дуальних регуляторів у загальному вигляді, визначити їх основні сфери застосування в науці та техніці та визначити їх переваги один над одним та висвітлити їх недоліки.

**Викладення матеріалу.** В останні кілька років ми спостерігаємо вибух інтересу до нейронних мереж, які успішно застосовуються у всіляких областях - бізнесі, медицині, техніці, геології, фізиці. Нейронні мережі ввійшли в практику скрізь, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або керування. Такий вражаючий успіх визначається декількома причинами:

*Багаті можливості.* Нейронні мережі - винятково потужний метод моделювання, що дозволяє відтворювати надзвичайно складні залежності. Зокрема, нейронні мережі нелінійні по своїй природі. Протягом багатьох років лінійне моделювання було основним методом моделювання в більшості областей, оскільки для нього добре розроблені процедури оптимізації. У завданнях, де лінійна апроксимація незадовільна (а таких досить багато), лінійні моделі працюють погано.

*Простота у використанні.* Нейронні мережі вчать на прикладах. Користувач нейронної мережі підбирає представницькі дані, а потім запускає алгоритм навчання, що автоматично сприймає структуру даних. При цьому від користувача, звичайно, потрібно якийсь набір еври-

тичних знань про те, як варто відбирати й підготовляти дані, вибирати потрібну архітектуру мережі й інтерпретувати результати.

Незважаючи на різноманітність видів нейронних мереж [1] та розв'язуваних ними прикладних завдань, математичні моделі на основі нейронних мереж будуються за загальним алгоритмом: підготовка вхідних даних, вибір виду та архітектури мережі, навчання мережі, аналіз точності та інтерпретація результату.

Відомо, що на адекватність нейромережевої моделі перш за всі впливає співвідношення обсягу вхідних даних та кількості параметрів моделі, яка виражається формулою

$$N = W/e, \quad (1)$$

де  $N$  - розмір навчальної вибірки;  $W$  - число вагових коефіцієнтів;  $e$  - точність моделі.

Стандартним підходом для забезпечення необхідної точності моделі згідно з (1) є зменшення розмірності задачі. Найчастіше для цього використовують метод головних компонент, що дозволяє розв'язати одразу декілька завдань: по-перше, виконується ортогоналізація векторів входу, що виключає їх взаємну кореляцію; по-друге, виконується впорядкування векторів навчальної множини так, щоб вектори, що охоплюють великий діапазон значень, були першими (головні компоненти); по-третє, видаляються вектори, діапазон значень яких незначний.

Використання нейронних мереж, як показано в [2,3], дозволяє не тільки прогнозувати стан технологічного об'єкта, але й розв'язувати задачу оптимального управління шляхом створення адаптивної системи управління (СУ) на основі нейроконтролера (НК) зі здатністю до навчання (рис. 1).

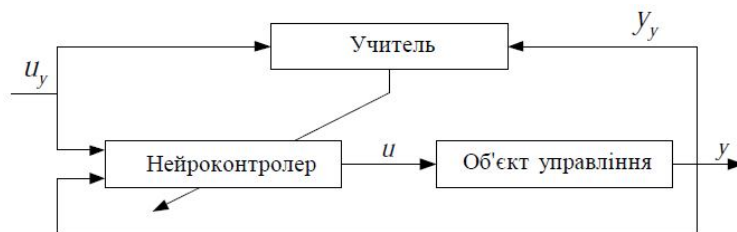


Рис. 1. Загальна схема системи управління з нейроконтролером

мпі процесу керування, або асинхронно, у темпі змін, що відслідковують ОУ або зовнішнього середовища.

Рішення цього досить непростого завдання забезпечується наявністю в складі нейромережевої системи керування блоку або алгоритму навчання, що забезпечує первісне настроювання нейрорегулятора, і потім його перенастроювання в ході роботи нейромережевої системи керування.

Нейромережі найбільше пристосовані до рішення широкого кола завдань [4], так чи інакше пов'язаних з обробкою образів. Список типових постановок завдань для нейромереж:

- Апроксимація функцій по набору точок (регресія)
- Класифікація даних по заданому набору класів
- Кластеризація даних з виявленням заздалегідь невідомих класів-прототипів
- Стиск інформації
- Відновлення втрачених даних
- Асоціативна пам'ять
- Оптимізація, оптимальне керування

Напевно, у кожній предметній області при найближчому розгляді можна знайти постановки нейромережевих завдань. Список областей, де рішення такого роду завдань має практичне значення вже зараз, наведено нижче.

**Економіка й бізнес:** пророкування ринків, автоматичний ділінг, оцінка ризику неповернення кредитів, пророкування банкрутств, оцінка вартості нерухомості, виявлення пері- і недооцінених компаній, автоматичне рейтингування, оптимізація портфелів, оптимізація товарних і грошових потоків, автоматичне зчитування чеків і форм, безпека транзакцій по пластикових картках.

**Медицина:** обробка медичних зображень, моніторинг стану пацієнтів, діагностика, факторний аналіз ефективності лікування, очищення показань приладів від шумів.

**Авіоніка:** ті, яких навчають, автопілоти, розпізнавання сигналів радарів, адаптивне пілотування сильно ушкодженого літака.

*Зв'язок:* стиск відео-інформації, швидке кодування-декодування, оптимізація стільникових мереж і схем маршрутизації пакетів.

*Інтернет:* асоціативний пошук інформації, електронні секретарі й агенти користувача в мережі, фільтрація інформації в push-системах, колаборативна фільтрація, рубрикація новинних стрічок, адресна реклама, адресний маркетинг для електронної торгівлі.

*Автоматизація виробництва:* оптимізація режимів виробничого процесу, комплексна діагностика якості продукції (ультразвук, оптика, гамма-випромінювання), моніторинг і візуалізація багатомірної диспетчерської інформації, попередження аварійних ситуацій, робототехніка. Один із прикладів Ford Motors Company впровадила в себе нейросистему для діагностики двигунів після невдалих спроб побудувати експертну систему.

*Політичні технології:* аналіз і узагальнення соціологічних опитувань, проорокування динаміки рейтингів, виявлення значимих факторів, об'єктивна кластеризація електорату, візуалізація соціальної динаміки населення.

*Безпека й охоронні системи:* системи ідентифікації особистості, розпізнавання голосу, осіб у юрбі, розпізнавання автомобільних номерів, аналіз аэро-космічних знімків, моніторинг інформаційних потоків, виявлення підробок. Багато банків використовують нейросети для виявлення підробок чеків

*Введення й обробка інформації:* Обробка рукописних чеків, розпізнавання підписів, відбитків пальців і голосу. Уведення в комп'ютер фінансових і податкових документів.

У першому випадку вони застосовуються для розпізнавання не тільки кількості товарів і їхньої вартості, але також і формату документа. У випадку податкових декларацій розпізнаються фіскальні коди й суми податків.

*Геологорозвідка:* аналіз сейсмічних даних, асоціативні методи пошуку корисних копалин, оцінка ресурсів родовищ. Нейросети використовуються фірмою Амосо для виділення характерних піків у показаннях сейсмічних датчиків. Надійність розпізнавання піків - 95% по кожній сейсмо-линії. У порівнянні з ручною обробкою швидкість аналізу даних збільшилася в 8 разів.

Термін «дуальне керування» був введений А.А. Фельдбаумом наприкінці 50-х рр., і означає можливість вивчати властивості об'єкта за даними нормального функціонування й відразу використовувати отримані знання для безпосереднього керування. Разом з ідеєю екстремального регулювання при випадкових сигналах пошуку. Ідея дуального керування відкрила цілий напрям робіт в області теорії автоматичного керування, ідентифікації, навчання (Первозванський А. А., 1962; Райбман Н. С., Чадеєв В. М., 1966; Медведєв Г. А., Тарасенко В. П., 1967; Цыпкин ЯЗ., 1968; Ядыкин И.Б., 1979).

Більш точно трактування терміну дуальне керування означає [5] форму керування, при якій керуючі впливи служать одночасно для вивчення керованого об'єкта й для приведення його до оптимального стану. Дуальне керування використовується в таких ситуаціях, коли невідомі рівняння руху об'єкта, а також немає початкової інформації, достатньої для того, щоб заздалегідь розрахувати оптимальний закон керування. Окремі риси дуального керування можна знайти в системах різних класів.

Керування будь-яким об'єктом або процесом є цілеспрямований вплив на нього з метою встановлення необхідних станів об'єкта, зміни його стану в необхідному напрямку або втримання в заданому постійному стані. Керування об'єктами, різними по своїй природі (соціально-економічними, технічними, біологічними), має на увазі використання концептуально загальних принципів, що включають наявність інформації про:

- кінцевої мети керування;
- початкових умовах функціонування об'єкта;
- його внутрішній структурі;
- зовнішньому середовищу.

У системах автоматичного керування інформація про об'єкт керування складається з інформації, що визначає залежність вихідної величини від керуючого впливу, інформації про стан об'єкта, інформації про збурювання або перешкоду, що діє на об'єкт, інформації про вплив, що задає, і меті керування. У системах з повною інформацією до початку функціонування є вся апіорна інформація, а поточну інформацію керуючий пристрій одержує по ланцюзі зворотного зв'язка в процесі роботи системи. У системах з неповною інформацією апіорно відомі не самі впливи, а лише статистичні характеристики випадкових вхідних впливів. Принцип дії цих сис-

тем полягає в тому, що вони накопичують відсутню інформацію вже під час роботи. Подібні системи одержали назву оптимальних систем з незалежним нагромадженням інформації через те, що процес нагромадження не залежить від алгоритму керуючого пристрою. У системі дуальне керування передбачається активне вивчення випадковим образом характеристик, що змінюються, об'єкта керування. При цьому на вхід об'єкта подаються «вивчаючі» впливи, а реакція об'єкта аналізується керуючим пристроєм. Керуючі впливи використовуються не тільки для керування об'єктом, але одночасно також і для його вивчення.

Розглянемо загальну схему дуального керування (рис. 2) [6] дозволять виділити характерні етапи обробки даних, одержуваних у процесі контролю й виміру стану діючого об'єкта, і їх наступної інтелектуальної обробки з метою підвищення якості роботи об'єкта, а також для побудови оцінної нелінійної динамічної моделі еволюції керованого об'єкта.



Рис. 2. Загальна схема дуального керування

Конструктивне рішення завдання дуального керування, вибору його режимів і оптимізації вимагає урахування обставин:

можлива наявність динаміки в об'єкті керування, що працює в реальному масштабі часу; випадковий характер вхідних впливів і перешкод:

істотно обмежений інтервал спостереження деякої приватної реалізації сигналів на вході й на виході об'єкта:

необхідність одержання об'єктивних кількісних характеристик точності досягнутих рішень;

вплив досяжних параметрів точності оцінок, пов'язаних з вивченням поточних характеристик об'єкта за даними його нормального функціонування, на результуючу ефективність дуального керування.

У фізиці також використовується поняття дуальності. Найпростіше зрозуміти дуальність між кристалом і газом [7].

Розглянемо кристал при дуже низькій температурі. Атоми майже не коливаються, лише іноді те отут, те там пробігає слабенька хвиля колективного коливання - фонон. Таких фононів дуже мало, їхня концентрація низька, тому весь кристал у цілому можна уявити собі як дуже розріджений газ фононів, причому для цього газу можна теж увести свою абстрактну температуру.

Глянувши під іншим кутом, ми замість кристала при низькій температурі побачили газ якихось об'єктів при високій температурі. Тобто. дуальність зв'язує дві протилежних межі однієї й тієї ж теорії (атомістичної теорії будови речовини, можливо, зі зміненням законом взаємодії).

У математиці також широко використовується поняття дуальності [8]. У середині 1980-х років теоретики дійшли висновку, що суперсиметрія, що є центральною ланкою теорії струн, може бути включена в неї не одним, а п'ятьма різними способами, що приводить до п'яти різних теорій: типу I, типів ІА і ІВ, і дві гетеротичні струнні теорії. Залишалися відкритими питання про те, яка саме теорія більше адекватна й що робити з іншими чотирма теоріями. Всі п'ять суперструнних теорій зв'язані один з одним перетвореннями, названими дуальностями. Якщо дві теорії зв'язані між собою перетворенням дуальності (дуальним перетворенням), це означає, що першу з них можна перетворити так, що один з її меж буде еквівалентний другій теорії.

У комп'ютерній техніці також використовується поняття дуальності [9]. А саме це поняття стосується до розробок дуальних процесорів, які дозволяють обробляти й виконувати різні операції набагато швидше. Ефективність двохпроцесорної платформи (AMD, Intel і т. ін.) дуже процвітає стосовно однопроцесорних система. Багатопоточне програмування є дійсно прогресивною технологією збільшення продуктивності, з успіхом реалізованої, приміром, за допомогою використання інтегрованих середовищ розробки Delphi і Kylix.

Втрати швидкодії, пов'язані із програмною реалізацією паралельного алгоритму за допомо-

гою багатопоточності, при числі потоків не більше шести не перевищують 12 %. Зростання продуктивності практично пропорційний числу процесорів у комп'ютері (за винятком оцінених вище втрат). Програмування парного числа потоків у цілому забезпечує більшу продуктивність, чим при непарній їхній кількості.

Дуальність одержала широке поширення й у сфері стільникових телефонів [10]. Ринок так званих дуальних телефонів, тобто пристроїв, що пропонують роботу одночасно із двома (або навіть більше) SIM-картами. Наявність у ряду користувачів двох і більш активно використовуваних SIM-карт спонукало до появи компромісних рішень. І на початку десятиліття на ринку з'явилися рішення, що дозволяли працювати із двома SIM-картами в одному апараті.

Ідея дуалізму добралася й до сфери освіти. Протягом останнього років у сфері освіти багатьох країн ми спостерігаємо інтегративні процеси різної спрямованості й інтенсивності [11]. Говорячи про інтеграції освітніх програм, часто використовують терміни «дуальна» програма (dualprogram). Точний переклад досить простий - «подвійна програма» і її ідея полягає в тому, що підприємство бере на себе видатки на навчання студента і навіть виплачує йому стипендію, а студент зобов'язується по закінченню вузу почати свою трудову діяльність саме на цьому підприємстві.

Виходячи з матеріалу що представлений у роботі, можна зробити такий висновок.

Основними перевагами нейромережевого моделювання перед іншими методами є:

висока завадостійкість та адекватність;

нечутливість до наявності пропусків і перекручувань у даних;

неявний облік схованого взаємного впливу відомих змінних і реалізація

нелінійного впливу невідомих параметрів.

Основними недоліками нейромереж, що перешкоджають їхньому використанню є:

неінтерпритація вербалізованого результату сформованого нейромережевою моделлю;

необхідність наявності великого обсягу вихідних даних для навчання й тестування нейромережевої моделі;

неможливість використання наявних знань представлених у формі функціональних залежностей;

Навіть невелике лінійне збільшення коефіцієнта може привести до значного росту швидкості навчання, що викликає стрибки в просторі ваг.

Геометричне зменшення коефіцієнта іноді буває недостатньо швидким.

Дуальне керування - це форма керування, при якій керуючі впливи служать одночасно для вивчення керованого об'єкта й для приведення його до оптимального стану. Дуальне керування використовується в таких ситуаціях, коли невідомі рівняння моделі об'єкта. Дуальне керування більш краще приводить систему до адаптивного керування, за рахунок того, що регулятор «заточений» під конкретний об'єкт і потребує меншого числа навчаючих кроків. Чисельні випробування регулятора, що використовують таку концепцію, показали високу якість перехідних процесів при випадкових змінах параметрів об'єкта і навіть у випадку коли об'єкт стає нестійким. Це дає підстави для сподівань, що така концепція може дати позитивні результати при керуванні об'єктом, що характеризується точками біфуркації та атракціями.

### Список літератури

1. Медведєв В. С. Нейронні мережі. MATLAB 6. / В. С. Медведєв, В. Г. Потьомкін – М. : ДІАЛОГ- МИФИ, 2002. – 496 с.
2. Allison, B., Ball, J. “Cascaded Model Predictive Control of a Rotary Lime Kiln”, Paptac 88th Annual Meeting., 2002, pp. 159–164.
3. Bo Y., Yi L, Shouning Q. (1997). A rule based cement kiln control system using neural networks. In: Proceedings of Intelligent Processing Systems, Beijing. Vol. 1. pp. 493–497. IEEE.
4. <http://iit.ntu-kpi.kiev.ua/Neuro/LIBRARY/SHUMSKIY/lecture1.htm>
5. <http://bse.sci-lib.com/article033973.html>
6. <http://cmm.ipu.ru/proc/Кононова%20А.И.%20Сердюк%20А.А.%20Трояновский%20В.М.%20.pdf>
7. <http://www.neuch.ru/referat/78658.html>
8. <http://www.neoesoterik.org/kosmologia-1/m-teoria>
9. [http://ko.com.ua/dualnyj\\_athlon\\_testiruem\\_alternativno\\_12365](http://ko.com.ua/dualnyj_athlon_testiruem_alternativno_12365)
10. <http://www.3dnews.ru/phone/dual-phones/>
11. <http://library.uipa.kharkov.ua/library/Documents/BolonProz/3/Dual.htm>

Рукопис подано до редакції 22.03.12