

# ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 681.51; 025.4.036

**В.Віцентій**

*Тернопільська академія народного господарства*

## АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ЛЮДИНО-МАШИНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НА ПРИКЛАДІ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ

*Розглянуто людино-машинну систему, в якій людина формує задаючий вплив керування та оцінює зворотній зв'язок. Запропонована адаптивна система керування (АСК), яка на кожному кроці керування забезпечує, крім оптимальності керування, отримання більше інформації від людини. Система адаптується поєднувати ці задачі для досягнення оптимальності серій керувань. АСК розглянута на прикладі інформаційно-пошукової системи (ІПС).*

Хоча розробка систем, які використовують діалог з людиною, почалась з початку використання ЕОМ [1], на сьогодні відсутня інформація про системи, що здатні повноцінно сприймати розмовну мову. Для взаємодії з людиною використовують формалізовану мову [2]. Загалом переклад із розмовної мови на формалізовану є незручний, часто приводить до помилок і неточності. Цьому сприяє також те, що інформація людини може бути нечіткою, внаслідок нечіткості розмовної мови та властивості людини використовувати інтуїтивні нечіткі образи.

Людино-машинну взаємодію (ЛМВ) можна поліпшити без удосконалення мови спілкування за допомогою наступної АСК. Система виконує кожен крок керування декілька разів. На кожному кроці вона намагається не лише забезпечити оптимальність керування, але й отримати більше інформації від людини. Таке керування є дуальним і має подвійну ціль [3]. В традиційних системах дуального керування, крім оптимальності, потрібно здійснити ідентифікацію об'єкта керування або вивчити вплив збурень, що є відмінним від збільшення обсягу отриманої від людини інформації. Збільшення обсягу інформації знаходиться у зворотньому зв'язку та точнішому задаючому впливі людини. Намагання отримати більше інформації може приводити до зменшення показників оптимальності для деякого окремого керування, проте до їх збільшення для декількох керувань. Запропонована система адаптуватиметься раціонально поєднувати свої цілі, так як виконання однієї з них в загальному випадку суперечить іншій.

На рис. 1 зображено приклад системи керування із ЛМВ. Функції системи, що відповідають обведеним пунктирною лінією функціональним блокам, виконуються людиною, інші – машиною.

Наведену на рис. 1, 2 і 3 ЛМВ побудовано таким чином, що людина і машина становлять одну систему керування вищого рівня. Машинні функціональні частини є об'єктом керування для людини, причому їх можна розглядати як окрему систему керування нижчого рівня.

Інколи людина організовує виконання певної задачі керування декілька разів, застосовуючи своїм об'єктом керування навіть АСК (рис. 2, 3). Людина використовує таку серію повторюваних керувань, наприклад, для свого кращого усвідомлення задачі та задаючого впливу, вивчення об'єкта керування, збурень, які на нього діють, і відповідно для уточнення задаючого впливу та забезпечення системи кращою оцінкою

зворотнього зв'язку. При цьому людина бере до уваги свою інтуїцію, знання, можливості сприйняття інформації тощо. Машина виконує порівняно вузькоспеціалізовану функцію з адаптацією. Контури адаптації обох систем керування є відповідно вищого та нижчого рівнів.

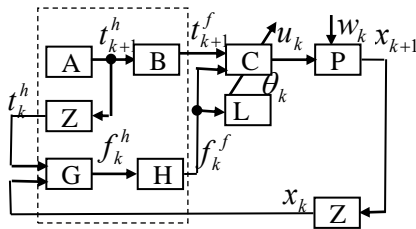


Рис.1

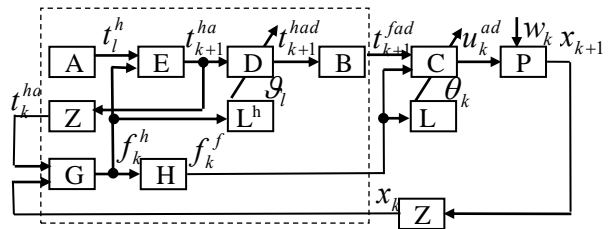


Рис.2

Рисунок 1. Система керування з ЛМВ

Рисунок 2. Система керування, в якій людина використовує серії керувань

A – формування задаючого впливу; B – формалізація задаючого впливу; C – контролер; P – об’єкт керування; G – порівняння задаючого впливу і стану об’єкта керування; H – формалізація порівняння; L – навчальний механізм; Z – затримка;  $t_{k+1}^h$  – задаючий вплив на  $k$ -му кроці керування;  $t_{k+1}^f$  – формалізований задаючий вплив;  $f_k^h$  – результат порівняння  $x_k$  і  $t_k^h$ ;  $f_k^f$  – формалізація значення  $f_k^h$ ; E – уточнення задаючого впливу; D – корекція задаючого впливу для забезпечення дуальної цілі;  $L^h$  – навчальний механізм людини;  $t_l^h$  – задаючий вплив  $l$  серії керувань;  $t_{k+1}^{ha}$  – задаючий вплив  $(k+1)$ -го повторюваного керування;  $t_{k+1}^{had}$  – задаючий вплив скорегований  $t_{k+1}^{ha}$  для досягнення дуальної цілі;  $t_{k+1}^{fad}$  – формалізований задаючий вплив  $t_{k+1}^{had}$ ;  $u_k^{ad}$  – вектор керування;  $\mathcal{G}_l$  – параметри закону керування, що відповідають адаптації верхнього рівня.

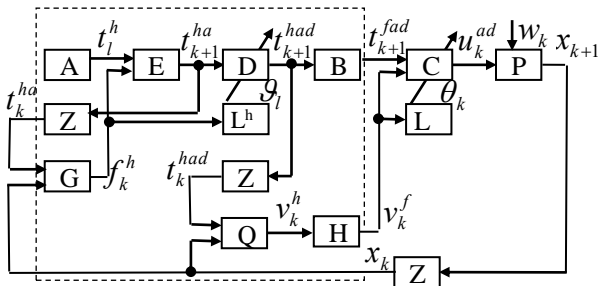


Рис.3

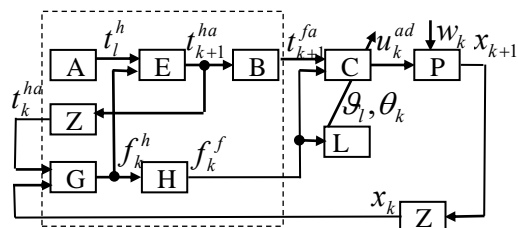


Рис.4

Рисунок 3. Система керування з двома порівняннями сигналів зворотнього зв'язку

Рисунок 4. Запропонована система керування

Q – порівняння задаючого впливу та стану об’єкта керування для системи;  $v_k^h$  – результат порівняння задаючого впливу та стану об’єкта керування для системи;  $v_k^f$  – формалізоване значення  $v_k^h$ .

Серед недоліків, наведених на рис. 2 і 3 систем керування, виділимо такі: 1) забезпечення дуальності покладено на людину; 2) адаптацію щодо забезпечення дуального задаючого впливу покладено на людину; 3) людина по-різному оцінює зворотній зв'язок для системи, якою вона керує, і для себе.

Запропонована система керування усуває ці недоліки (рис. 4). В цій системі функції забезпечення дуальності та адаптації покладено на машину.

Параметри закону керування розділимо на ті, що відповідають адаптації вищого та нижчого рівнів. Закон керування має вигляд:

$$u_k = \gamma_k(\mathcal{G}_l, \theta_k, x_k, t_{k+1}, w_k). \quad (1)$$

Параметри  $\mathcal{G}_l$  настроюються не після кожного керування, а після кожної серії повторюваних керувань  $\{u_k\}, k \in L_l$ . Тут  $L_l - l$  серія повторюваних керувань. Це пояснюється тим, що оптимальності серії керувань може відповідати неоптимальність деяких керувань в серії. При цьому критерій оптимальності керування серії керувань служить альтернативою обох критеріїв нижчого рівня. Алгоритм керування з адаптацією на двох рівнях зображено на рис. 5.

Збільшення інформативності ЛМВ в запропонованій системі досягається за принципом: чим більше інформації людина отримує в результаті керування, тим більше інформації надходить від людини при оцінці зворотнього зв'язку та уточненні задаючого впливу. Машинна частина системи повинна виробляти такі сигнали керування, кожний з яких є і якомога ближчим до оптимального сигналу на своєму кроці керування, і інформативним. Оптимальне поєднання цих властивостей система виконує при адаптації.

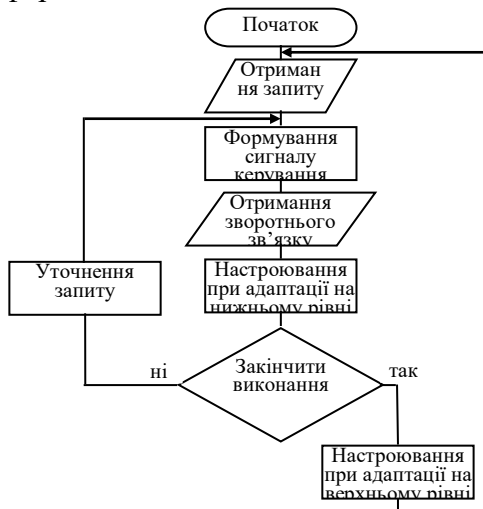


Рисунок 5. Алгоритм керування

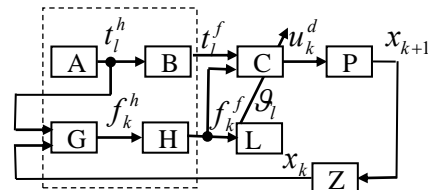


Рисунок 6. Система керування запропонованою ІПС

Для реалізації властивості адаптації важко застосувати методи, які ґрунтуються на градієнті функції критерія оптимальності керування. Це пов'язано з тим, що: 1) людина, принаймні, формує порівняння зворотнього зв'язку і задаючого впливу; 2) потрібно знаходити градієнт для критерія оптимальності серії повторюваних керувань. Замість методів, які використовують аналітичний вираз градієнта, можна використати методи його апроксимації. Перевага методу Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation (SPSA) над іншими пов'язана із порівняно малою кількістю визначень значень критерія оптимальності [4, 5]. Для запропонованої системи виділимо такі особливості: 1) для визначення одного значення критерія оптимальності треба провести серію керувань; 2) різним визначенням значень критерія оптимальності відповідає різний задаючий вплив людини. Отже, кожне наступне значення критерія оптимальності визначається тоді, коли система суттєво змінила свої характеристики. Велика кількість визначень критерія оптимальності для оцінки градієнта в такому випадку приведе до неточності. Серед різновидів SPSA стосовно систем із значною зміною динаміки кращі результати отримуються за допомогою одного визначення значення критерія оптимальності при оцінці значення градієнта [6].

ІПС є зручним прикладом для реалізації вищевикладених теоретичних положень. Працюючи з ІПС, людина дає запит для пошуку інформації. ІПС повинна видати користувачу шукану інформацію. Звичайно, ІПС не видає одразу всю інформацію, а робить це порціями, керуючись мотивами, що людина не може відразу сприйняти багато інформації і що потрібно обмежувати час відповіді на запит. Цю особливість роботи

ІПС можна використати для побудови системи із забезпеченням більшої інформативності взаємодії з людиною, не змінюючи при цьому правил користування ІПС.

Відносно ІПС адаптація нижчого рівня стосується правильного визначення відповідності кожного документа та запиту. Адаптація вищого рівня стосується визначення, чи документ збільшить інформативність, якщо буде включений у порцію.

Закон керування ІПС визначає релевантності документів, тобто величини, значення яких відображають відповідність документа і запиту та використовуються для визначення порядку подачі документів користувачеві. Візьмемо наступний критерій оптимальності керування

$$J_l(\mathcal{G}_l) = \sum_p \sum_k (x_{pkl} - t_{pkl})^2, \quad (2)$$

де  $\mathcal{G}_l$  – вектор параметрів закону керування для  $l$ -го запиту;  $x_{pkl}$  – релевантність  $k$ -го документа  $p$ -ї порції документів до  $l$ -го запиту;  $t_{pkl}$  – визначена користувачем релевантність, припустимо, що вона відома.

Під час відповіді на запит визначається релевантність документів, які ще не надані користувачеві, та у поточну порцію включаються документи з найбільшою релевантністю.

Схема системи керування ІПС зображена на рис 6. Виконувана нею задача подібна до розпізнавання образів. Збільшення інформації ІПС забезпечує щодо оцінки зворотнього зв'язку людиною.

Візьмемо для апроксимації закону керування нейронну мережу. Відомі методи навчання нейронної мережі, які ґрунтуються на алгоритмі зворотнього розповсюдження помилки, не можна використати для розглянутої ІПС, оскільки цей алгоритм вимагає аналітичного визначення градієнта критерія оптимальності. Для навчання нейронної мережі можна використати побудовані на основі SPSA методи [7,8].

Значення вихідного сигналу нейронної мережі визначає релевантність документа. На вхід мережі подаються образ документа, образ запиту, зворотній зв'язок образу збільшення релевантності, зворотній зв'язок образу зменшення релевантності, образ документів вже включених в поточну порцію. Ці образи формуються відповідними алгоритмами і мають вигляд:  $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)^T$ . Тут  $x_i$  – міра наявності  $i$ -го слова природньої мови в образі, яка приймає значення від 0 до 1.

Механізм забезпечення більшої інформативності взаємодії для даної архітектури нейронної мережі наступний. Образи зворотнього зв'язку формуватимуться на основі документів, поданих користувачеві у відповідній порції. Припустимо, що більше інформації матиме порція з документами, що більше відрізняються один від одного. Для формування таких порцій нейронна мережа при визначенні релевантності документа не лише враховує відповідність образу документа образіві запиту та зворотнього зв'язку, а й відмінність між образом включених у порцію документів та поточного документа.

### **Висновки**

Запропонована АСК для людино-машинної взаємодії формує дуальне керування, забезпечуючи при цьому не лише оптимальність даного керування, а також надходження більшого обсягу інформації від людини. Система адаптується до їх поєднання для досягнення оптимальності серій керувань.

За приклад реалізації підходу служить запропонована ІПС. До інших об'єктів застосування АСК можна віднести: систему керування роботом, який виконує вказівки людини; систему налаштування інтерфейса людина-комп'ютер; систему спілкування з

людиною; систему керування в багатоагентних середовищах; системи багаторівневого розпізнавання образів.

Напрямами подальших досліджень можуть бути розробка прикладних систем, методів багаторівневої адаптації, методів навчання нейронних мереж та розробки їх архітектури для багаторівневої адаптації, принципів поліпшення інформативності взаємодії з людиною та їх конкретизації для застосувань тощо.

*A human-machine system, where human forms a control target for an automatic control system and estimates feedback is considered. An adaptive control system which on each control step, except the criterion of control optimality, has the criterion to provide more information from human is offered. The system adapts to combine them for achievement of optimality of several controls. As an example of the ACS an information retrieval system is offered.*

### **Література**

1. Дракин В.И., Попов Э.В., Преображенский А.Б. Общение конечных пользователей с системами обработки данных.- М.: Радио и связь, 1988.- 288с.
2. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке.- М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982.- 360с.
3. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем.- М.: Наука, 1966.
4. Spall J.C. Implementation of the Simultaneous Perturbation Algorithm for Stochastic Optimization // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.- 1998.- Vol. 34.- Pp. 817-823.
5. Spall J.C. Multivariate Stochastic Approximation Using a Simultaneous Perturbation Gradient Approximation // IEEE Transactions on Automatic Control.- 1992.- Vol. 37.- Pp. 332-341.
6. Spall J.C. A one measurement form of simultaneous perturbation stochastic approximation // Automatica.- 1997.- Vol. 33- Pp.109-112.
7. Maeda Y., De Figueiredo R.J.P.. Learning Rules for Neuro-Controller via Simultaneous Perturbation//IEEE Transactions on Neural Networks.- September 1997.- Vol.8 (5).- Pp. 1119-1130.
8. Wouwer A. Vande, Renotte C., Remy M. On the Use of Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation for Neural Network Training. Proceedings of the American Control Conference, San Diego, California.- June 1999.- Pp. 388-392.

*Одержано 10.04.2002 р.*