6. Висновки

Запропоновано алгоритм та пристрій для вимірювання температури, що дає можливість підвищення точності і стабільності, забезпечує взаємозамінність напівпровідникових сенсорів за рахунок виключення впливу нестабільних параметрів на результат вимірювання, інваріантність до впливу опорів бази і виводів бази та емітера вимірювального діода, а також опорів двопровідної з`єднувальної лінії зв`язку і залишкових параметрів струмового та потенціального комутаторів вимірювальних каналів.

Запропонований також алгоритм адитивно-мультиплікативного калібрування, який реалізується без додаткових прецизійних та стабільних елементів. Структурна схема багатоканального цифрового термометра може бути реалізована без великих апаратних затрат.

1. Степановских А. Прикладная экология – М.:ЮНИТИ – ДАНА, 2003. – С. 596–624. 2. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації" №403/6691 2001 р. 3. IEEE-P1451 D2.01 Draft Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electrical and Electronics Engineers, August, 1996. 4. I.Bryzek, "Introduction to IEEE-P14512:the Emerging Hardware Independent Communication Standard for Smart Transducers",Proceedings of Ewrosensors X,Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 15–21. 5. I.Warrior, "IEEE-P1451 Network Capable Application Processor Information Model", Proceedings Sensors Expo, Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 15–21. 6. S.Woods, "IEEE-P1451 Transducer to Microprocessor interface", Proceedings Sensors Expo. Anaheim, April, 1996, Helmers Publishing, pp. 9–14. 7. Catalog ELFA-2007.Available:www elfa. com. 8. Catalog Analog Device. Available: www.analog.com. 9. System Extention Data Book // Dallas Semiconductor. –2006. – 2600 p. 10. Sensor Technology Handbook Editor-in-Chief Jon S. Wilson 2005, Elsevier Inc. – 691 p. 11. Microsensors. Principles and Application. Gardner J.W., J.Willey and Jons. – Chichester, England. –1993. – p. 530. 12. Яцук В., Яцук Ю. Метод покращання характеристик температурних сенсорів на основі p-n переходу // Вимірювальна техніка та метрологія. – Вип. 59. – 2000. – С. 90–96. 13. Патент 59763A (UA). Спосіб вимірювання температури та пристрій для його здійснення // Опубл.15.09.2003. – Бюл. №9. – 5 с. 14. Федорков Л.А., Телец О.И. Микроэлектронные АЦП и ЦАП. – М.: Энергия, 1985. – 252 с.

УДК 656.052:681.51.54

В.М. Дубовой, О.О. Ковалюк
Вінницький національний технічний університет

БАГАТОКРОКОВІ СТРАТЕГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто задачу прийняття рішень в динамічних системах. Запропоновано математичну модель, яка описує залежність стану лінійної динамічної системи від керівних рішень. Отримано критерій стійкості динамічної системи при реалізації знайденого рішення.

A decision making process in dynamic system has been observed. The mathematical model that combines linear system state and decision has been proposed. The dynamic systems stability criterion has been developed.

Вже протягом тривалого часу значна увага дослідників приділяється **проблемі** прийняття рішень в складних системах, проте в більшості випадків процес знаходження оптимального рішення є досить складним завданням [4, 7]. Це пояснюється наявністю невизначеності в даних, а також складною структурою систем, що досить часто передбачає прийняття різних рішень для окремих підсистем [5, 6]. Наведені фактори в поєднанні з обмеженим часом прийняття рішення значно ускладнюють знаходження оптимального рішення. Одним із способів підвищення точності процесу прийняття рішень є використання багатокрокових стратегій, які враховують результат від прийняття попередніх рішень [7]. Цей підхід широко використовується для прийняття рішень з використанням статистичних даних, проте загальновідомих моделей багатокрокових стратегій прийняття рішень в динамічних системах немає.

Отже, постає **задача** розробки математичних моделей, що описують багатокрокові стратегії прийняття рішень в динамічних системах. Для **розв'язання поставленої задачі** розглянемо динамічну модель системи, обмежившись випадком лінійної системи.

Критерії прийняття рішення в процесі управління передбачають необхідність оцінювання якості рішення на основі характеристик близькості результату управління до поставленої мети. Для здійснення такого оцінювання введемо метрику у просторі рішень.

Задача прийняття рішень є однією з найпоширеніших у багатьох галузях. Вона полягає у виборі рішення d_i з множини можливих рішень D на основі наявної інформації у вигляді вектора даних $\vec{y} \in Y$. Рішення d_i, своєю чергою, характеризується вектором показників $d_i = [d_{i1}, \ldots, d_{in}]$. Прийняття рішень в задачах управління відрізняється тим, що якість управління у метричному просторі станів визначається залежить як від невизначеності результату, так і від середнього відхилення стану об'єкта Y від необхідного стану Y_0. Узагальнена оцінка обох факторів визначає можливість відхилення, яке виходить за межі ε-околу оптимального результату

$$P(|Y - Y_0| > \varepsilon) = \int_{\varepsilon}^{+\infty} \beta(|Y - Y_0|)\, dY \quad , \tag{1}$$

де $\beta(*)$ – узагальнювальна функція невизначеності [3].

Послідовність зміни станів об'єкта керування є результатом відповідної послідовності рішень

$$\left\{Y^{(0)}, Y^{(-1)}, Y^{(-2)}, \ldots, Y^{(-m)}\right\} = F\left(\left\{d^{(0)}, d^{(-1)}, d^{(-2)}, \ldots, d^{(-n)}\right\}\right) \tag{2}$$

Модель (2) встановлює відповідність між двома просторами: простором рішень D і простором станів Y. Ґрунтуючись на (1) визначимо критерій якості R рішення d_i, вважаючи найкращим таке рішення d_0, яке забезпечує мінімум функціоналу (1).

Виконаємо розбиття множини рішень D на три підмножини

$$D = D^+ \cup D^0 \cup D^- \tag{3}$$

де D^+ – "хороші рішення", тобто такі, що наближають до мети. Очевидно, оптимальне рішення $d_{opt} \in D^+$; D^- - "погані рішення", тобто такі, що віддаляють від до мети; D^0 – "нейтральні рішення", тобто такі, що не впливають на досягнення мети.

Простір рішень D схематично показано на рис. 1.

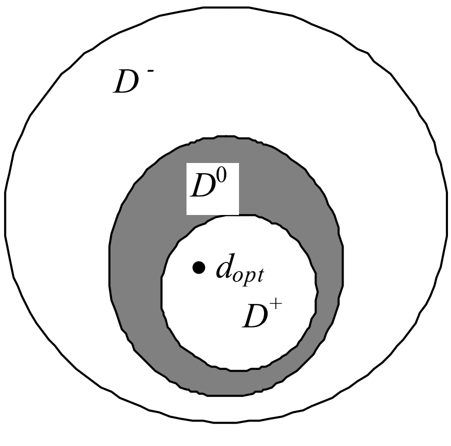

Рис. 1. Розбиття множини рішень

Простір рішень D є топологічним, оскільки множина T її підмножин є топологією на D, для якої виконуються умови:

1) все D і пуста множина належать T;

2) об’єднання довільного сімейства множин, що належать T, належить T;

3) перетин двох множин, що належать T, належить T.

Топології мають специфічні властивості, які називаються аксіомами сепарабельності [1]:

Аксіома T0 (аксіома Колмогорова). З будь-яких двох точок, що не збігаються, хоча б одна має окіл, що не містить другу.

Аксіома T1. З будь-яких двох точок, що не збігаються, кожна має окіл, що не містить другу точку.

Аксіома T2 (аксіома Хаусдорфа). З будь-яких двох точок, що не збігаються, кожну з них можна вибрати по околу так, щоб ці околи не перетинались.

Ґрунтуючись на сепарабельності топології, визначимо поняття ε-околу.

Означення. ε-околом рішення $d_0 \in D^*$ (де D^* – одна з підмножин D^+, D^0, $D^{\mathrm{Ї}}$) є підмножина $D^\varepsilon \subset D^*$ така, що для будь-якого рішення $d_i \in D^\varepsilon$ виконується умова $\left|R(d_i) - R(d_0)\right| < \varepsilon$.

Простір рішень D, на якому визначене поняття ε-околу, є метричним. Цей факт дає змогу застосовувати до аналізу систем, керованих рішеннями, потужний апарат числових методів теорії управління.

Оскільки у багатокроковій стратегії прийняття рішень при керуванні динамічною системою кожне рішення залежить від деякої кількості попередніх рішень, а також від поточного і попередніх станів керованої системи, то для побудови відповідної моделі визначимо операції перетворень на просторах рішень D і станів Y. Система перетворень складається з чотирьох основних операторів – двох основних і двох обернених

$$\begin{gathered} D \xrightarrow{K_d} R \\ Y \xrightarrow{K_y} R \\ R \xrightarrow{K_y^{-1}} Y \\ R \xrightarrow{K_d^{-1}} D \end{gathered} \tag{4}$$

Визначимо також на просторах D і Y операцію додавання у розумінні

$$\begin{gathered} d = d_1 + d_2 \leftrightarrow d = K_d^{-1}\left[K_d(d_1) + K_d(d_2)\right] \\ y = y_1 + y_2 \leftrightarrow y = K_y^{-1}\left[K_y(y_1) + K_y(y_2)\right] \end{gathered} \tag{5}$$

Ґрунтуючись на означеннях (1) – (5), побудуємо дискретну модель динаміки лінійної системи, яка керується рішеннями і представляється передавальною функцією загального типу:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{D(p)} = \frac{a_n p^n + ... + a_1 p + a_0}{b_m p^m + ... + b_1 p + b_0}, \tag{6}$$

де $Y(p)$, $D(p)$ – зображення за Лапласом стану лінійної системи і керівних рішень. З (6) знаходимо:

$$b_m p^m y + ... + b_1 p y + b_0 y = a_n p^n d + ... + a_1 p d + a_0 d \;. \tag{7}$$

Відповідно до перетворення Лапласа:

$$p^k Z(p) \overset{L}{\leftrightarrow} \frac{d^k Z(t)}{dt^k} \,. \tag{8}$$

У разі дискретного подання аналогом похідних є відповідні різниці, які в загальному випадку описуються формулою:

$$z^{(k)}(t_0) = \frac{1}{\Delta t^k} \sum_{i=0}^{k} (-1)^i C_k^i z_{-i} \;, \tag{9}$$

де t_0 – момент надходження останнього даного, поточний момент часу; Δt – інтервал дискретизації.

Підставляючи (9) в (7), отримаємо дискретний вираз передавальної функції

$$\sum_{j=0}^{m} \left[\frac{b_i}{\Delta t^j} \sum_{i=0}^{j} (-1)^i C_j^i y_{-i} \right] = \sum_{j=0}^{n} \left[\frac{a_i}{\Delta t^j} \sum_{i=0}^{j} (-1)^i C_j^i d_{-i} \right]. \tag{10}$$

Виділимо з правої частини рівняння (10) рішення d_0, що приймається у поточний момент часу

$$d_0 = \sum_{i=0}^{m} K'_{y_i}\, y_{-i} + \sum_{i=1}^{n} K'_{d_i}\, d_{-i}\ , \tag{11}$$

де

$$K'_{y_i} = -\frac{\sum\limits_{j=i}^{m} C_j^i \dfrac{b_j}{\Delta t^j}}{\sum\limits_{j=0}^{n} \dfrac{a_j}{\Delta t^j}}; \qquad K'_{d_i} = -\frac{(-1)^{i+1} \sum\limits_{j=i}^{n} C_j^i \dfrac{a_j}{\Delta t^j}}{\sum\limits_{j=0}^{n} \dfrac{a_j}{\Delta t^j}}\ . \tag{12}$$

Модель (11) рекурсивна, оскільки поточне рішення обчислюється з використанням попередніх значень. Початкові значення змінних рекурсивного виразу:

$$\forall d_i = 0, i = 0,-1,\ldots,-n; \quad \forall y_i = 0, i = 0,-1,\ldots,-m\ .$$

Модель (11) дає змогу сформулювати властивості стратегії прийняття рішень і знайти вирішальну функцію для керування лінійною динамічною системою. Із (11) можна показати, що стратегія прийняття рішень при керуванні лінійною динамічною системою є багатокроковою, причому кількість кроків дорівнює порядку чисельника передавальної функції керованої системи.

Використовуючи дискретну модель динаміки об’єкта, керованого рішеннями та метричний простір рішень, дослідимо стійкість системи керування загалом. Узагальнену структурну схему системи керування за допомогою рішень зображено на рис. 2.

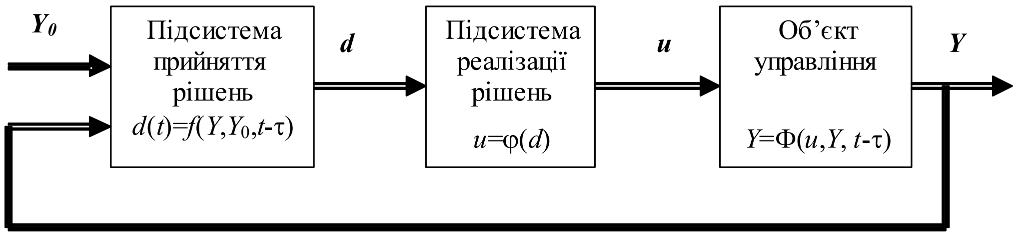

Рис. 2. Система, керована рішеннями

Рішення d приймається на підставі вектора умов $\vec{x} = \{Y, Y_0\}$, які для РДС визначаються як у поточний момент t, так і у попередні моменти (t-τ), де $\tau = \Delta t \cdot [1,\ldots \max(n,m)]$. Модель системи рис.2 складається з трьох рівнянь

$$\begin{cases} d(t) = f(Y, Y_0, t-\tau) \\ u(t) = \phi(d) \\ Y(t) = \Phi(u, Y, t-\tau) \end{cases} \tag{13}$$

Затримки при прийнятті і реалізації рішень приводять до перетворення системи у немінімально-фазову.

Для дослідження стійкості системи визначимо поняття “сусіднього рішення”. Сусідніми називатимемо рішення d_i і d_j, якщо перетин їх ε-околів є непустою множиною. Визначити сусідство двох околів можна розв’язанням рівняння

$$F_i^{-1}(\vec{x}, \varepsilon) = F_j^{-1}(\vec{x}, \varepsilon)\,, \tag{14}$$

де F_i^{-1}, F_j^{-1} – обернені з точністю до ε вирішальні функції для i-го і j-го рішень відповідно, відносно вектора умов прийняття рішень $\vec{x}$.

Множину розв’язків $X_\varepsilon(d_i, d_j)$ рівняння (14) назвемо ε-межею рішень d_i і d_j.

Ґрунтуючись на відомих критеріях стійкості замкнених систем управління [2], можна сформулювати критерій стійкості системи в умовах невизначеності, керованої рішеннями:

– *замкнена система, керована рішеннями, буде стійкою, якщо при* $Y(t-\Delta t)=Y_0(t-\Delta t)$ *розв'язки систем*

$$\begin{cases} d(t)=f(Y,Y_0,t-\tau) \\ u(t)=\phi(d) \\ Y(t)=\Phi(u,Y,t-\tau) \end{cases} \quad i \quad \begin{cases} d(t+\Delta t)=f(Y,Y_0,t+\Delta t-\tau) \\ u(t+\Delta t)=\phi(d) \\ Y(t+\Delta t)=\Phi(u,Y,t+\Delta t-\tau) \end{cases}$$

задовольняють умову $\left|R[d(t)]-R[d(t+\Delta t)]\right|<\varepsilon$ *;* (15)

– *замкнена система, керована рішеннями, буде нестійкою, якщо при* $Y(t-\Delta t)=Y_0(t-\Delta t)$ *розв'язки систем*

$$\begin{cases} d(t)=f(Y,Y_0,t-\tau) \\ u(t)=\phi(d) \\ Y(t)=\Phi(u,Y,t-\tau) \end{cases} \quad i \quad \begin{cases} d(t+\Delta t)=f(Y,Y_0,t+\Delta t-\tau) \\ u(t+\Delta t)=\phi(d) \\ Y(t+\Delta t)=\Phi(u,Y,t+\Delta t-\tau) \end{cases}$$

задовольняють умову $\left|R[d(t)]-R[d(t+\Delta t)]\right|>\varepsilon$ *;* (16)

- *замкнена система, керована рішеннями, буде на межі стійкості, якщо при* $Y(t-\Delta t)=Y_0(t-\Delta t)$ *розв'язки систем*

$$\begin{cases} d(t)=f(Y,Y_0,t-\tau) \\ u(t)=\phi(d) \\ Y(t)=\Phi(u,Y,t-\tau) \end{cases} \quad i \quad \begin{cases} d(t+\Delta t)=f(Y,Y_0,t+\Delta t-\tau) \\ u(t+\Delta t)=\phi(d) \\ Y(t+\Delta t)=\Phi(u,Y,t+\Delta t-\tau) \end{cases}$$

задовольняють умову $Y(t+\Delta t)\subset X_\varepsilon$. (17)

З формул (15) – (17) випливає, що стійкість системи залежить від часу прийняття рішень Δt, критерію R, вирішальної функції F, величини ε-околу і параметрів об'єкта керування.

Висновки

Отже, отримано рекурсивну модель, що дає змогу оцінити стан системи з урахуванням рішень, прийнятих на попередніх кроках. Запропоновано критерій оцінки стійкості системи при реалізації рішень. Представлені моделі можуть бути широко використані для пошуку оптимальних рішень в динамічних системах під час кількісного оцінювання прийнятих рішень.

1. Борисович Ю.Г., Близняков Н.М., Израилевич Я.А., Фоменко Т.Н. Введение в топологию. – М.: Наука, 1995. – 416 с. 2. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1977. – 519 с. 3. Глонь О.В., Дубовой В.М. Моделювання систем керування в умовах невизначеності. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 170 с. 4. Зайченко Ю.П. Многокритериальные задачи принятия решений в нечётких условиях и методы их решения // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002.– № 2. – С. 53–62. 5. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. – К.: Наукова думка, 2006. – 264 с. 6. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах...– М.: Логос, 2003. – 392 с. 7. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна.– М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.