

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 519.2

¹О.О. Білобородов, ²Ю.Г. Даник¹Національний університет оборони України, Київ²Житомирський військовий інститут Національного авіаційного університету, Житомир**МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАРІННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

Наведено результати дослідження впливу параметрів динамічної системи на старіння інформації про її стан.

Ключові слова: динамічна система, старіння інформації, планування заходів контролю стану динамічної системи

Представлены результаты исследования влияния параметров динамической системы на старение информации о ее состоянии.

Ключевые слова: динамическая система, старение информации, планирование мер контроля состояния динамической системы

The results of the study of the influence of parameters of dynamic systems on aging information about its condition.

Keywords: dynamical system, aging information, planning and control of the condition of a dynamical system

Постановка проблеми

Однією з важливих наукових проблем дослідження антропогенних та природних систем є прогнозування їх стану або положення на основі відомостей про початковий стан. Залежно від складності системи закон, що описує стан системи, може бути детермінованим або імовірнісним, описувати еволюцію системи в часовому вимірі, просторі, або в просторово-часовому вимірі. Прогнозування стану системи здійснюється для прийняття управлінських рішень з метою впливу на систему або на об'єкти, що взаємодіють з нею. Детермінований закон опису стану системи дає змогу після однократного контролю параметрів здійснювати прогнозування стану на будь-який час. Більшість законів опису є імовірнісними, що призводить до необхідності планування повторного або періодичного контролю. Тому актуальним є завдання визначення ступеня придатності наявної інформації про стан системи для вироблення на її основі управлінських рішень. Результати дослідження процесів старіння інформації про стан динамічної системи можуть служити

обґрунтуванням вибору серед джерел надходження інформації тих, що найбільш раціонально будуть відповідати меті конкретного завдання [1], а також дозволяють раціонально спланувати їх застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про спроможність сучасного спеціалізованого програмного забезпечення проводити аналіз історичного контексту даних [2]. Старіння інформації розглядається дослідниками як необхідна складова оцінки стану складних систем [3; 4]. У той же час, недостатньо розглянуті питання комплексного впливу гетерогенних в часовому вимірі даних на ефективність забезпечення інформацією про стан динамічних систем. Недостатньо досліджено питання визначення старіння інформації про стан системи просторово розподілених об'єктів.

Мета статті

Метою статті є формалізація процесів старіння інформації про стан окремих класів систем залежно від їх динамічних характеристик та завдань контролю їх стану. Досягнення мети статті пропонується здійснити на основі дослідження залежності імовірності стану динамічної системи від часу.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо марковську систему з безперервним часом, що характеризується N станами, Λ – матриця $N \times N$ інтенсивностей переходу, \bar{p} – N -мірний вектор ймовірностей станів системи: $p = \|p_1(t), \dots, p_N(t)\|$. Стан системи можна оцінити шляхом розв’язання рівнянь Колмогорова [5]:

$$d\bar{p} / dt = \Lambda \bar{p}. \quad (1)$$

За відсутності апріорних даних про систему невизначеність її стану можна оцінити через граничні значення ймовірностей станів. В цьому випадку ліві частини системи рівнянь Колмогорова дорівнюють нулю $\Lambda \bar{p} = 0$, а її розв’язують шляхом виключення одного з рівнянь системи та додавання умови нормування: $\sum_{n=1}^N p_n(t) = 1$.

Через результати розв’язання системи рівнянь можна визначити апріорну невизначеність стану системи $H(t_0)$ та очікувану кількість інформації $I(t_0)$:

$$I(t_0) = H(t_0) = - \sum_{n=1}^N p_n \log p_n,$$

де t_0 – час до моменту контролю стану системи.

За результатами контролю в час θ визначається реальний стан системи, невизначеність стану дорівнює нулю $H(\theta) = 0$, а кількість отриманої інформації:

$$I(\theta) = H(t_0) - H(\theta) = H(t_0). \quad (2)$$

Отримана під час здійснення контролю інформація про стан системи може виступати початковими умовами системи (1): $p_i = 1, \forall j \neq i : p_j = 0$, розв’язання якої дає змогу визначити ймовірність стану на заданий час:

$$H(t) = \begin{cases} - \sum_n p_n(t-\theta) \log p_n(t-\theta), & t > \theta; \\ H(t_0), & t \leq \theta. \end{cases} \quad (3)$$

Залежність кількості інформації про систему від часу можна визначити через початкову та поточну невизначеність її стану:

$$I(t) = H(t_0) - H(t). \quad (4)$$

Відносне зниження кількості інформації про стан системи, зумовлене імовірнісним характером його зміни з часом, можна описати введенням функції старіння інформації (рис. 1):

$$\eta(t) = \frac{I(t)}{I(t_0)} = 1 - \frac{H(t)}{H(t_0)}. \quad (5)$$

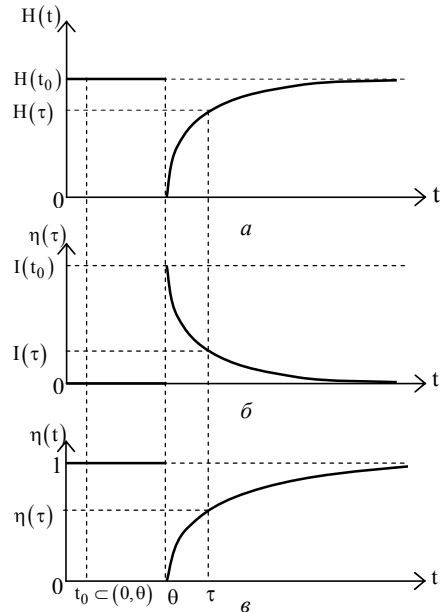


Рис. 1. Залежність від часу ентропії (а), кількості інформації (б) та функції її старіння (в)

З (5) можна наочно побачити очевидну властивість інформації: швидкість її старіння $\dot{\eta}(t)$ пропорційна швидкості зміни ентропії системи, що визначається диференційними рівняннями (1) і залежить від величини значень інтенсивностей переходу Λ . Кожний наступний сеанс контролю, що визначає стан системи, знижує невизначеність про систему до нульового значення. Кількість інформації про систему буде визначатись інтенсивністю зміни стану та часом з моменту останнього контролю (рис. 2).

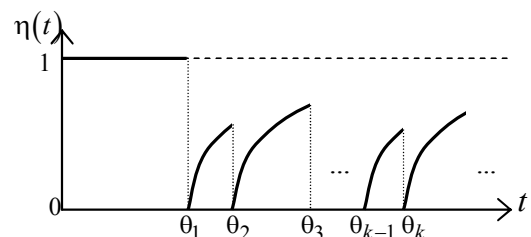


Рис. 2. Вигляд функції старіння при здійсненні повторного контролю стану

У такій постановці невизначеність буде визначатись виразом:

$$H(t) = \begin{cases} -\sum_n p_n(t - \theta_k) \log p_n(t - \theta_k), & \forall t \in (\theta_k, \theta_{k+1}); \\ H(t_0), & t \leq \theta_1. \end{cases}$$

Розширимо область застосування методу визначення старіння інформації на системи, стан яких характеризується M параметрами. Початкова невизначеність стану:

$$H(t_0) = -\sum_m \sum_n p_{mn} \log p_{mn}. \quad (6)$$

Якщо засоби контролю не спроможні одночасно визначити значення всіх параметрів, то після контролю в час θ :

$$H(\theta) = -\sum_{\{m: S_m = \emptyset\}} \sum_n p_{mn} \log p_{mn}, \quad (7)$$

тобто залишається невизначеність за неконтрольованими параметрами. Тому необхідно розділити невизначеність стану за параметрами:

$$H_m(t) = \begin{cases} -\sum_n p_{nm}(t - \theta_{nk}) \log p_{nm}(t - \theta_{nk}), & t \in (\theta_{nk}, \theta_{n(k+1)}); \\ H_m(t_0) = -\sum_n p_{nm} \log p_{nm}, & t < \theta_{m1}, \end{cases} \quad (8)$$

де θ_{mj} – j -й момент контролю параметра m .

Невизначеність стану системи на заданий час:

$$H(t) = \sum_m H_m(t). \quad (9)$$

Кількість інформації та функція старіння визначається за (4) та (5) відповідно.

Розглянемо інший клас динамічних систем – просторово розподілених об'єктів. Стан системи характеризується положенням сукупності об'єктів, або меж площинного об'єкта. Осередок простору, в межах якого знаходиться n -й об'єкт контролю позначимо через R_n . Для точкового об'єкта $R_n = \bar{\lambda}_n$ – його координати в обраній системі. Площинний об'єкт можна представити обмежуючим геометричним полігоном $R_n = \|\bar{\lambda}_{1n}, \bar{\lambda}_{2n}, \dots, \bar{\lambda}_{jn}\|$, що складається з J вершин. Район, в межах якого здійснюється контроль за об'єктами, позначимо через R , який також можна визначити через координати обмежуючого полігону $R = \|\bar{\lambda}_1^R, \bar{\lambda}_2^R, \dots, \bar{\lambda}_T^R\|$ площею Λ_R . Невизначеність положення окремого об'єкта:

$$H_{0n}(X, Y) = -\iint_R f_n(x, y) \log f_n(x, y) dx dy - \log \Delta x \cdot \Delta y, \quad (10)$$

де X, Y – випадкові величини, що описують координати об'єкта; $\Delta x, \Delta y$ – межа точності визначення координат; $f(x, y)$ – щільність імовірності розподілу об'єктів всередині району контролю.

В умовах апіорної невизначеності розподілу об'єктів всередині району контролю, функцію розподілу положення об'єкта $f_n(x, y)$ наближено

можна оцінити рівномірною щільністю $\hat{f}(x, y) = \frac{1}{S_R}$,

де S_R – площа району контролю, та в (10) відповідні позначення функцій замінити їх оцінками. В практичних задачах загальна кількість об'єктів часто невідома, тому в розрахунках приймемо оцінені значення їх кількості \hat{N} . Приймавши незалежним просторовий розподіл, апіорна невизначеність положення всіх об'єктів в районі контролю:

$$\hat{H}_\Sigma(t_0) = \sum_{n=1}^{\hat{N}} \hat{H}_{0n}(X, Y) \quad (11)$$

В більш загальному випадку, за необхідності врахування кореляційних характеристик просторового розподілу вираз (11) слід розширити введенням умовної ентропії розподілу окремого об'єкта відносно інших. В рамках дослідження обмежимося наведеним виразом.

Враховуючи, що можливості апаратури не завжди дозволяють здійснювати контроль всієї території R , або виявляти всі об'єкти, позначимо через \tilde{N}_B кількість виявлених об'єктів за результатами контролю заданого району або його частини. Виявлення об'єктів за результатами контролю передбачає їх локалізацію, тобто визначення положення. Тому невизначеність положення об'єктів за результатами контролю в час θ :

$$\tilde{H}_\Sigma(\theta) = \sum_{n=1}^{\hat{N} - \tilde{N}_B} \hat{H}_{0n}(X, Y) \quad (12)$$

Кількість інформації, що отримується за результатами контролю можна оцінити різницею між апіорною оцінкою (11) та невизначеністю за результатами контролю $\tilde{H}_\Sigma(\theta)$:

$$I(\theta) = \hat{H}_\Sigma(t_0) - \tilde{H}_\Sigma(\theta). \quad (13)$$

Детерміновані динамічні характеристики об'єктів контролю дозволяють спрогнозувати їх положення в будь-який момент часу. У такому випадку інформація

не підлягає старінню, а кожний наступний сеанс контролю дозволяє збільшити кількість інформації про стан системи за рахунок виявлення та визначення положення нових об'єктів. Насправді ж можна говорити про певні імовірнісні характеристики напрямку та швидкості зміни положення об'єктів:

$$f(\vec{v}_n) = w_x(v_n) \cdot w_y(v_n), \quad (14)$$

де $w_x(v_n)$, $w_y(v_n)$ – проекції щільності імовірності розподілу вектора швидкості n -го об'єкта на координатні осі.

Для оцінки старіння інформації про стан системи просторово розподілених об'єктів необхідно оцінити величини зміни положення виявлених об'єктів протягом часу. Імовірнісний характер розподілу вектора швидкості об'єктів призводить до необхідності оцінки їх положення в певній ділянці простору, розміри та форма якої визначаються характеристиками розподілу $w_x(v_n)$ та $w_y(v_n)$. Візьмемо за початок координат положення i -го об'єкта та представимо область імовірного перебування об'єкта у вигляді двовірної функції координат $X(t)$ та $Y(t)$ в обраній системі:

$$g(x, y, t) = p(\{X(t) < x\} \cdot \{Y(t) < y\}). \quad (15)$$

При наявних оцінках розподілу вектора швидкості, враховуючи, що $\vec{r} = \vec{v} \cdot t$, вираз (15) можна знайти відповідно до правил визначення функції випадкових аргументів [6]:

$$\begin{aligned} g_n(x, t) &= \frac{d}{dx} [p(X < x)] = \frac{1}{t} \cdot w_x\left(\frac{v_n}{t}\right); \\ g_n(y, t) &= \frac{d}{dy} [p(Y < y)] = \frac{1}{t} \cdot w_y\left(\frac{v_n}{t}\right). \end{aligned} \quad (16)$$

Тоді залежність від часу невизначеності стану системи просторово розподілених об'єктів:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\hat{N}} H_n(t),$$

$$H_n(t) = \begin{cases} \hat{H}_{0n}(X, Y), & t < \theta_{n1}; \\ - \iint_{(X, Y) \in R} g_n(x, t - \theta_{nk}) \log g_n(x, t - \theta_{nk}) \times \\ \times g_n(y, t - \theta_{nk}) \log g_n(y, t - \theta_{nk}) dx dy - \\ - \log \Delta x \cdot \Delta y, & t \in (\theta_{nk}, \theta_{n(k+1)}) \end{cases}$$

де θ_{nk}, θ_{nk} – перший та останній час виявлення n -го об'єкта.

Отримані оцінки старіння інформації про стан системи або положення об'єктів використовуються для визначення часових вимог до періодичності контролю. Обчислені показники старіння інформації в даному випадку будуть виступати оберненою мірою оцінки достовірності в часовому вимірі. Для урахування нестационарного характеру функції старіння періодичність контролю можна визначити висуваючи вимоги до характеристик перевищення функцією старіння заданого рівня (рис. 3). Наприклад, до частки часу, протягом якого перевищується заданий рівень старіння інформації (рис. 3, б):

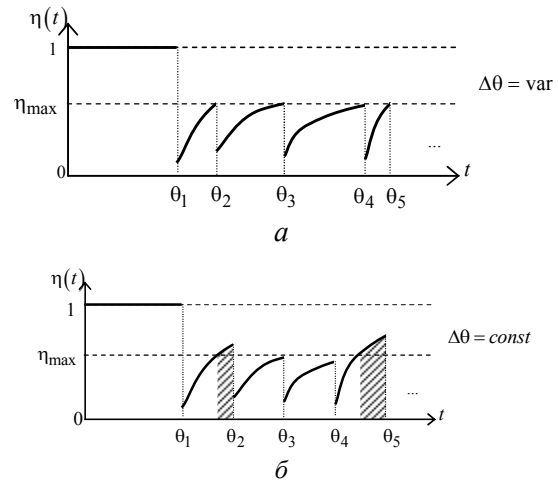


Рис. 3. Визначення періодичності контролю стану: а – недопущення старіння інформації вище заданого рівня; б – вибір сталого періоду контролю через вимоги до часу, протягом якого функція старіння може перевищувати заданий рівень

При здійсненні контролю просторово розподілених об'єктів показники періодичності будуть визначатись метою контролю. Враховуючи, що головною метою геоінформаційного забезпечення є визначення просторових характеристик об'єктів [7], основним завданням повторних сеансів контролю можна визначити встановлення факту досягнення об'єктом певних рубежів (пунктів, точок в просторі), що еквівалентно перебуванню об'єкта в осередку простору заданого розміру, із заданою імовірністю з метою подальшого впливу на нього або прийняття інших управлінських рішень. У такій постановці необхідну періодичність контролю можна визначити шляхом визначення часу, протягом якого об'єкт досягає заданих рубежів із заданою імовірністю за виразом:

$$p(X < x_3) = \frac{1}{t} \int_0^{x_3} w_x\left(\frac{x}{t}\right) dx,$$

з якого після представлення інтегралу через первісні або числовими методами розв'язують рівняння за t для заданої імовірності $p(x_3)$.

За наявності статистичних оцінок закону розв'язок рішення знаходиться числовими методами.

Повторний контроль у визначений час дозволяє зробити висновки про ступінь достовірності оцінок динамічних характеристик, уточнити прогноз подальшого розвитку та більш ефективно спланувати керуючий вплив.

Таким чином, оцінювання старіння інформації про стан динамічних систем можна здійснити шляхом аналізу характеру зміни імовірнісних характеристик стану або положення протягом часу. Формалізація показників старіння інформації дає змогу конкретизувати просторові та часові вимоги до результатів контролю, а також визначити область найбільш імовірного стану системи на заданий час. Напрямом подальших досліджень оцінювання старіння інформації про стан системи просторово розподілених об'єктів можна визначити проведенням аналізу імовірнісного характеру потоку подій початку руху та зупинки об'єктів. У такій постановці розглянутий в дослідженні випадок розподілу вектору швидкості являє собою оцінку швидкості міграції, тобто усереднення характеристик переміщення об'єктів протягом тривалого часу.

Список літератури

1. Ландэ Д.В. *Основы интеграции информационных потоков: Монография* / Д.В. Ландэ – К.: Инжиниринг, 2006. – 240 с.
2. Владимиров В.Н. *Историческая геоинформатика: геоинформационные системы в исторических исследованиях: монография* / В.Н. Владимиров – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2005. – 192 с.
3. Али А.А. *Исследование влияния времени старения информации на эффективность последовательного информационного резервирования при распознавании опасных полетных ситуаций* / А.А. Али – К.: «Искусственный интеллект» № 2, 2008. – С. 20-27.
4. Плэтт В. *Информационная работа стратегической разведки. Издательство иностранной литературы* / В. Плэтт – М.: 1958. – 338 с.
5. Колмогоров А.Н. *Теория вероятностей и математическая статистика* / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1986. – 535 с.
6. Венцель Е.С. *Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – [7-е изд. стер.] / Е.С. Венцель. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.*
7. *Географічні інформаційні системи: Підручник / [С.П. Мосов, В.М. Тарасов, О.А. Чорнокнижний та ін.]. – К.: НАОУ, 2006. – 240 с.*

Стаття надійшла до редколегії 15.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Інститут інформаційних технологій Національного університету оборони України, Київ.