

УДК 681.3

О. О. Морозов, Л. В. Морозова

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ У ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

У статті обґрунтовуються методи оцінювання інформації як основа виконання завдання оптимізації потоків інформації у задачах керування складними системами. Як критерій оптимального керування (за інформацією) пропонується мінімізація функції втрат системи через дефіцит інформації.

К л ю ч о в і с л о в а: інформація, керування, складні системи, оптимізація потоків інформації.

Постановка проблеми. Значення процесів збирання, зберігання та передавання інформації суттєво зростає у випадку керування складними системами (СС). Головна особливість таких систем – наявність величезної кількості зв'язаних між собою елементів, що приймають і передають інформацію керування. Задача вивчення і оптимізації цих потоків інформації надзвичайно утруднена через множину існуючих методів визначення кількості інформації, що циркулює в складних системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Природні вимоги, що висувують до визначення “інформація у процесі керування СС”, призводять до необхідності вивчення семантичного аспекту, різних мір “цінностей”, структури мови і т. ін. Докладний виклад таких питань, а також широкий план робіт у цій області містяться в роботах [1–5]. Багато робіт присвячені спробам застосування звичайної міри кількості інформації (шеннонівської) у дослідженнях процесів управління [3; 6–8]. Особливо цікаві матеріали, що стосуються підрахунку кількості інформації для елементів (складників) систем, які є найнеобхіднішою ланкою процесу автоматизації керування, оцінювання впливу якості керування на ефективність функціонування систем, визначення вартості керування [9].

Мета статті – обґрунтування деяких методів оцінювання інформації керування та наступної оптимізації циркулюючих потоків на основі вибору економічного критерію.

Виклад основного матеріалу. Визначимо межі, всередині яких пропонується модель відповідатиме реальності.

1. Через те, що поняття “цінність інформації” недостатньо розроблене, використовуватимемо лише класичне визначення кількості інформації [10].

2. Всі викладені далі міркування стосуються лише інформації керування як вибору одного рішення з множини ситуацій, яка вважається дискретним статистичним ансамблем (тобто на ньому заданий деякий розподіл імовірностей, відомий точно або апріорно передбачуваний).

3. Залежність повної вартості виробленої інформації від вартості її одиниці вважається лінійною (або кусково-лінійною).

4. Передбачається, що до елемента, який має потребу в інформації керування, надходить лише вірна та необхідна інформація (яка не містить дезінформації), що залежно від потреби використовується повністю або частково. Очевидно, це найскладніше обмеження.

5. Передавання інформації вважається синхронізованим та таким, що відбувається без перекручувань.

Вважатимемо всю систему організаційного керування орієнтованим графом $G = (X, \Gamma)$ [11], де X – множина елементів керування (керуючих та керованих), які надалі позначатимемо малими буквами x, y ; Γ – деяке неоднозначне перетворення, визначене так, що якщо $y \in \Gamma x$, то у графі G існуватиме дуга (x, y) , причому напрямком на ній ми вибираємо від x до y , а сама дуга існує тоді і тільки тоді, коли від елемента x до елемента y системи передається деяка інформація керування. Іноді доцільно зазначений граф потоків інформації G представити у вигляді $G = (X, U)$, де U – вся множина дуг, тобто $(x, y) \in U$, якщо від x до y передається інформація. У звичайному трактуванні

(у теорії зв'язку) кожна дуга графу є каналом зв'язку, призначеним для передавання керуючої інформації. Її у подальшому вважають вираженою в бітах (для визначеності всі логарифми далі беруть з основою 2).

Перейдемо до питання оцінювання кількості інформації, необхідної для керування складною системою.

Нехай для досягнення мети функціонування СС необхідно впливати на n змінних керованої системи, тобто керування складатиметься у вказуванні множини значень (або діапазонів), яких повинні набувати керовані змінні. Якщо діапазони, у яких змінюються змінні керованої системи, будуть відповідно A_1, A_2, \dots, A_n , а точності (тобто діапазони) одиниць відліку $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, тоді

$$N = \frac{A_1 A_2 \dots A_n}{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \quad (1)$$

є кількістю можливих виборів керуючого впливу. Нехай кожному вибору керуючого впливу відповідатиме M можливих відгуків керованої системи. Число M визначається для відгуків так само, як і для впливів. Якщо B_1, B_2, \dots, B_m – діапазони вихідних величин, а $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – точності відліку вихідних змінних, то

$$M = \frac{B_1, B_2, \dots, B_m}{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m}. \quad (2)$$

Повна кількість варіантів керування буде M^N , а інформація, необхідна для фіксації єдиного відгуку керованої системи на даний вплив, дорівнюватиме

$$I = N \cdot \log M. \quad (3)$$

Для найпростішого варіанта двох відгуків (виконане – не виконане, так – ні, 0 – 1) інформація дорівнює N біт [12].

Зрозуміло, що вищенаведений підрахунок виконаний за припущення єдиного вибору (тобто залишається лише одинична множина ситуацій у результаті керування) і за припущення апріорної рівномірності всіх варіантів. Обидва припущення є штучними, але оцінка інформації за формулою (3) може слугувати верхньою межею споживаної системою інформації і використовуватися в тих випадках, коли дійсний розподіл імовірностей на ансамблі ситуацій невідомий або дуже складний.

Розглянемо формулу кількості інформації керування найзагальнішого вигляду. Нехай X – первісний ансамбль ситуацій, ентропію якого позначимо через $H(X)$ – невизначеність перед прийняттям рішення, а $H(X/Y)$ – невизначеність після прийняття рішення, виражена через умовну ентропію, де Y – ансамбль рішень керування. Тоді для інформації керування одержуємо класичну формулу

$$I = H(X) - H(X/Y), \quad (4)$$

яка як окремий випадок містить у собі формулу (3). Наприклад, початковий ансамбль ситуацій складається з множини рішень C_1, C_2, \dots, C_k з імовірностями p_1, p_2, \dots, p_k . Тоді

$H(X) = -\sum_{i=1}^k p_i \log p_i$, причому $\sum_{i=1}^k p_i = 1$. У результаті прийняття рішення Y залишилася

множина із ℓ ситуацій з імовірностями q_1, q_2, \dots, q_ℓ і невизначеністю

$H(X/Y) = -\sum_{i=1}^{\ell} q_i \log q_i$. Інформація керування розраховується за формулою (4). В окремому

випадку, коли $k = M^N$ і $p_1 = p_2 = \dots = p_k$, залишається лише одна ситуація: $q_1 = 1$,

$q_2 = q_3 = \dots = q_\ell$, невизначеність відсутня, тобто $H(X/Y) = 0$. Отже, $I = N \cdot \log M$, як і впливає з формули (3).

Розглянемо два зв'язані один з одним елементи складної системи, причому один з них керуючий (посилає інформацію), а інший керований (приймає її), і не будемо відзначати зв'язок цих елементів з іншими в системі, а також можливий зворотний зв'язок між ними.

Нехай I_1 – кількість інформації, що доставляється до керованого елемента, а r_1 – вартість одиниці інформації, включаючи вартість її доставки до споживача та одержання, тоді $I_1 \cdot r_1$ – повна вартість інформації, що доставляється.

Обчислимо втрати СС внаслідок дефіциту інформації: I_2 – кількість інформації, необхідна керованій системі, її дефіцит $I_2 - I_1$ ($I_2 \geq I_1$). Вартість одиниці відсутньої інформації позначимо через r_2 . Ця величина обчислюється через втрати системи, спричинені дефіцитом інформації. Розглянемо таку функцію витрат:

$$S = \begin{cases} I_1 r_1 + (I_2 - I_1) r_2, & I_1 \leq I_2, \\ I_1 r_1, & I_1 > I_2. \end{cases} \quad (5)$$

З урахуванням виразу (5) природним критерієм оптимального керування (за інформацією) є умова:

$$S = \min. \quad (6)$$

Варто обговорити запропонований критерій. Справа в тому, що без додаткових обмежень на величини, що входять у (5), вибір значення I_1 , яке мінімізує S , достатньо простий. Це добре ілюструють графіки функції S для різних співвідношень між вартостями r_1 і r_2 , наведені на рисунку.

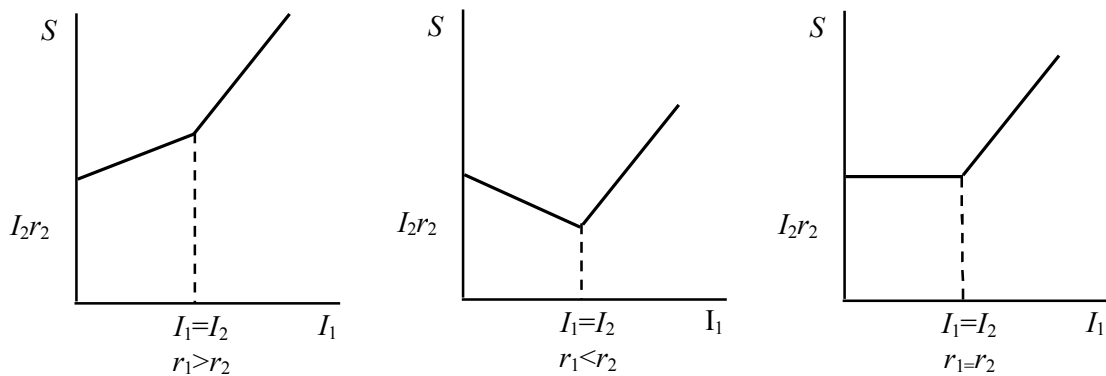


Рис. Графіки функції S для різних співвідношень між r_1 і r_2

Очевидно, що за умови $r_1 > r_2$ шукане значення $I_1 = 0$, отже, невиправдане доставлення будь-якої кількості інформації. У разі $r_1 \leq r_2$ витрати S мінімальні, якщо $I_1 = I_2$, тобто вигідніше всього в цьому випадку повністю забезпечити керовану систему необхідною інформацією.

Однак вже найпростіші обмеження на кількість I_1 виробленої інформації або на пропускну здатність каналу зв'язку між елементами системи істотно змінюють ситуацію. Очевидно, що за наявності подібних обмежень (у разі певних співвідношень між r_1 і r_2) можна очікувати, що I_1 , яке мінімізує S , буде $0 < I_1 < I_2$.

Варто додати, що у визначенні цільової функції S величинам r_1 і r_2 необов'язково надавати грошового вираження. Вигляд функції S залишиться тим самим, якщо під r_1 розуміти час на прийом

і дешифрування одиниці інформації. Таке трактування природне у разі функціонування СС з деяким поточним контролем, від результатів якого залежить керування подальшим ходом процесу. Критерій (6) дозволяє щоразу робити вибір: затративши більше часу, одержати велику кількість інформації або за меншого обсягу інформації здійснювати керування більш оперативно.

Перейдемо до розгляду загальної задачі оптимізації системи керування в цілому. Як і раніше вважатимемо її графом $G = (X, U)$, заданим у такий спосіб: кожній дузі графа $(x, y) \in U$ відповідає пропускна здатність цієї дуги $c(x, y) \geq 0$, що обчислюється в одиницях швидкості потоку інформації за час одного циклу.

Кожній вершині $x \in X$ графа керування відповідає двокомпонентний вектор $(a(x), b(x))$, де $a(x)$ виражає кількість інформації, необхідної для елемента СС x (бажана кількість інформації), а $b(x)$ – кількість інформації, що вироблена елементом x і направляється до інших елементів системи (у випадку наявності петлі і до елемента x).

На дугах графа G відшукують потокову функцію $f(x, y)$, що виражає кількість інформації, яка надходить від x до y та визначена на всіх без винятку дугах $(x, y) \in U$. Функція має задовольняти таким умовам:

$$0 \leq f(x, y) \leq c(x, y), \quad (7)$$

$$\sum_{y \in X} f(y, x) \leq a(x), \quad (8)$$

$$\sum_{y \in X} f(x, y) \leq b(x) \quad (9)$$

для всіх вершин $x \in X$.

За умовою (7) шуканий потік інформації не повинен бути негативним та перевищувати пропускну здатність каналу. За умовою (8) кількість інформації, яка доставляється елементу x від всіх інших керуючих елементів, зв'язаних з x , не повинна перевищувати необхідну. Умова (9) обмежує кількість інформації, що направляється елементом x іншим елементам системи, величиною $b(x)$ – виробленою кількістю.

Припустимо, що $r_1(x)$ і $r_2(x)$ – вже розглянуті раніше вартості одиниць інформації, тільки віднесені тепер до споживаної елементом x інформації, а $r_3(x)$ і $r_4(x)$ – величини, що відповідають величинам r_1 і r_2 , але віднесені до виробленої елементом x інформації. Тоді вартість витрат і втрат на придбання та виробництво інформації для елемента x системи виражається формулою:

$$S(x) = r_1(x) \sum_{y \in X} f(y, x) + r_2(x) \left[a(x) - \sum_{y \in X} f(y, x) \right] + r_3(x) b(x) + r_4(x) \left[b(x) - \sum_{y \in X} f(x, y) \right]. \quad (10)$$

Загальний інформаційний критерій для системи матиме вигляд:

$$\sum_{x \in X} S(x) = \min. \quad (11)$$

Послання умов (7–9) лінійних нерівностей з умовою (11) приводить до звичайної задачі лінійного програмування для знаходження системи потоків інформації [13]. Якщо кількість вузлів (елементів) у графі керування дорівнює n , а кількість дуг (зв'язків) – m , то в умовах (7–9) міститься $2n + m$ лінійних нерівностей. Це дає уявлення про загальний обсяг обчислювальної роботи для розв'язування задачі.

Характер обмежень (7–9) і вигляд цільової функції (10), (11) може бути, зрозуміло, іншим. Наприклад, умову (8) можна замінити на

$$\sum_{y \in X} f(y, x) \geq a(x), \quad (12)$$

якщо поставити за мету обов'язково задовольнити об'єкт x необхідною для його функціонування інформацією. Це відповідає другому випадку ($I_1 > I_2$) формули (5). При цьому у виразі (10)

для $S(x)$ з перших двох членів залишиться лише перший. Подібні зміни не можна зробити в умові (9). Можлива постановка задачі зі змішаними умовами (8) і (12) та з відповідними змінами у вигляді цільової функції.

Висновки

1. Усе розглянуте не залежить від виду інформації в системі керування (наприклад, це може бути семантична інформація), якщо визначено її кількість.

2. Проводити оптимізацію можна “пошарово”, тобто для системи керування за кожним видом інформації окремо.

3. Серед найцікавіших задач, що стосуються розглянутого питання, можна виділити такі:

а) керування, що враховує час приймання і передавання інформації, тобто той факт, що інформація знецінюється, якщо вона передана після початку процесу виконання якихось завдань системою; очевидно, час варто вважати однією зі змінних величин, якими керують;

б) керування випадковими потоками інформації на графі, тобто $f(x, y)$ – випадкова величина зі своїм розподілом імовірностей; ця задача має і загальне значення в теорії потоків у мережах;

в) оцінювання надійності і якості роботи системи керування зі збільшення ймовірності досягнення мети виробництва.

Список використаних джерел

1. Горский, Ю. М. Системно-информационный анализ процессов управления [Текст] / Ю. М. Горский. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 327 с.
2. Мамиконов, А. Г. Принятие решений и информация [Текст] / А. Г. Мамиконов. – М. : Наука, 1983. – 183 с.
3. Афанасьев, С. В. Эффективность информационного обеспечения управления [Текст] / С. В. Афанасьев, В. Н. Ярошенко. – М. : Экономика, 1987. – 254 с.
4. Советов, Б. Я. Теория информации [Текст] / Б. Я. Советов. – Л. : ЛГУ им. А. А. Жданова, 1977. – 184 с.
5. Колесник, В. Д. Курс теории информации [Текст] / В. Д. Колесник, Г. Ш. Полтырев. – М. : Наука, 1982. – 416 с.
6. Сергеев, В. И. Логистика: информационные системы и технологии [Текст] / В. И. Сергеев. – М. : Альфа-Пресс, 2008. – 435 с.
7. Корнеев, И. К. Информационные технологии в управлении [Текст] / И. К. Корнеев, В. А. Маншурцев. – М. : Инфра-М, 2001. – 190 с.
8. Меняев, М. Ф. Информационные технологии управления [Текст] : учеб. пособие 3 кн. / М. Ф. Меняев – М. : Омега-Л, 2003. – Кн. 3: Системы управления организацией. – 464 с.
9. Гарбер, К. Определение количества информации в системах управления производством на основе теории информации [Текст] / К. Гарбер, Б. Генкин. – М. : Экономика, 1966. – С. 59–67.
10. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетики [Текст] / К. Шеннон. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.
11. Бурков, В. И. Теория графов в управлении организационными системами [Текст] / В. И. Бурков, А. Ю. Заложнев, Д. А. Новиков. – М. : Синтег, 2001. – 124 с.
12. Бриллюен, Л. Наука и теория информации. [Текст] / Л. Бриллюен. – М. : Наука, 1960. – 392 с.
13. Раскин, Л. Г. Многоиндексные задачи линейного программирования (теория, методы, приложения) [Текст] / Л. Г. Раскин, И. О. Кириченко. – М. : Радио и связь, 1982. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 01.12.2011 р.