

МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ РАДІОКЕРУВАННЯ

*Бичковський В. О., к.т.н., доцент; Реутська Ю. Ю., асистент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

THE MACROSCOPIC ANALYSIS OF RADIO – CONTROL PROBLEM

*Bychkovskiy V. O., Candidate of Science (Technics), Associate Professor;
Reutska Yu.Yu., Assistant
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

Вступ

Сучасний етап розвитку техніки характеризується широким застосуванням систем радіокерування, які використовуються в промисловості, на транспорті, при проведенні наукових досліджень та у військовій справі [1].

Формалізм існуючих підходів до аналізу задач радіокерування ґрунтується, в основному, на мікроскопічному опису, при якому розглядаються структурні та функціональні особливості системи та її елементів. В багатьох випадках такий підхід є доцільним. Але зайва деталізація процесів та міжелементних випадкових взаємодій настільки перевантажує процедуру аналізу, що з'ясувати загальну закономірність поведінки системи не представляється можливим. Тому не є несподіваним перехід від мікроаналізу до макроаналізу [2, 3, 4]. Макроскопічна точка зору передбачає перехід від випадкових внутрішньосистемних мікровзаємодій до деякого регулярного процесу при досить високому рівні формалізації явищ та процесів. Така формалізація може бути досягнута, якщо прийняти до уваги, що при всій різноманітності систем радіокерування їх поєднує одна загальна риса — ймовірність p виконання системою поставленої задачі цілеспрямовано збільшується завдяки надходженню керуючої інформації I , яка забезпечує заданий рух об'єкта або хід процесу.

Постановка задачі

Прийmemo до уваги, що макроскопічний підхід може ґрунтуватися на процедурі аналізу будь-яких найвагоміших характеристик системи. Серед таких можуть бути ймовірності виконання системою поставленої задачі без організації процесу радіокерування p_0 та в умовах організації такого процесу p . Подальше використання аналогій з електричними колами дає можливість в тій або іншій мірі формалізувати задачу керування [4]. В методі аналогій висновки та закономірності однієї області знань поширюються на інші області, а головною задачею стає встановлення подібності

параметрів або показників системи однієї фізичної природи з параметрами та показниками системи іншої фізичної природи. Ці подібності повинні бути досить обґрунтованими, не допускати іншого тлумачення та безпосередньо пов'язуватися із реальними процесами в системі. Тому аналогії з опором (час запізнення інформації), ємністю (пам'ять) та індуктивністю (ригідність) вважати беззаперечними не представляється можливим.

Таким чином, формалізація задачі радіокерування на макроскопічному рівні не втратила своєї актуальності та потребує нових підходів, які враховують особливості даних систем.

Теоретичні викладки

Прийmemo до уваги, що ймовірність p виконання задачі радіокерування залежить від кількості інформації I , яка циркулює в контурі керування. Нехай $p_m = 1$ — потенційно можливе значення p . Щоб p_m була потенційно можливим значенням, швидкість зростання p повинна поступово зменшуватися та асимптотично наближатися до $p_m = 1$. Це є можливим, коли dp пропорційно різниці $1 - p$, тобто

$$dp = k(1 - p)dI, \quad (1)$$

де k — константа швидкості зростання p . Нехай p_0 — ймовірність виконання задачі на підставі установочних даних (без організації процесу радіокерування), p_1 — ймовірність виконання поставленої задачі при організації процесу радіокерування. Перейдемо до зворотніх подій: $g_1 = 1 - p_1$; $g_0 = 1 - p_0$; $p = 1 - g_1g_0$. При використанні установочних даних p_0 — постійна величина, отже g_0 теж постійна величина. Перепишемо рівняння (1) у наступному вигляді:

$$\frac{d}{dI}(1 - g_1g_0) = kg_1g_0. \quad (2)$$

Приймаючи до уваги, що $g_1 = g_1(I)$, а g_0 — постійна величина, на підставі формули (2) визначаємо

$$\frac{dg_1}{g_1} = -kdI. \quad (3)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (3) від 1 до g_1 , а праву від 0 до I , знаходимо

$$g_1 = \exp(-kI). \quad (4)$$

Прийmemo до уваги, що кількість інформації $I = \ln N$, де N — інформаційна спроможність [5]. Тоді на підставі формули (4) можна записати

$$g_1 = N^{-k}. \quad (5)$$

Таким чином, ймовірність виконання поставленої задачі

$$p = 1 - (1 - p_0)N^{-k}. \quad (6)$$

Представляється можливим встановити залежність між p та відносною помилкою керування γ , оскільки $N = a/\gamma$ [5]. Параметр a залежить від щільності ймовірності керуючого сигналу. На підставі формули (6) запишемо

$$p = 1 - (1 - p_0) \left(\frac{\gamma}{a}\right)^k.$$

Хронологія зміни $N = N(t)$ може описуватися різноманітними математичними залежностями, в яких N змінюється від одиниці до деякої більшої величини. Однією з розповсюджених моделей зміни $N(t)$ є експоненціальна. Обґрунтуванням для її застосування слід вважати підтвержену практикою можливість апроксимації з прийнятною точністю ряду експериментальних даних для випадків, коли спостерігається постійність відсоткової зміни інформаційної спроможності [6,7]. Приймаючи $N = \exp(at)$, на підставі формули (6) визначаємо

$$p = 1 - (1 - p_0) \exp(-akt). \quad (7)$$

На підставі формули (7) визначаємо час, необхідний для виконання з ймовірністю p задачі радіокерування

$$t = \frac{1}{ak} \ln \frac{1 - p_0}{1 - p}.$$

В інших ситуаціях необхідно прийняти до уваги, що N постійно збільшується та асимптотично наближається до деякого потенційно можливого значення N_m . Якщо b — константа швидкості зростання N , то можна записати

$$dN = b(N_m - N)dt. \quad (8)$$

Перепишемо рівняння (8) у вигляді

$$\frac{dN}{N_m - N} = bdt$$

та проінтегруємо його ліву частину від 1 до N , а праву від 0 до t . Тоді отримаємо наступний результат:

$$N = N_m - (N_m - 1) \exp(-bt). \quad (9)$$

На підставі формул (6), (9) визначаємо

$$p = 1 - (1 - p_0) [N_m - (N_m - 1) \exp(-bt)]^{-k} \quad (10)$$

Враховуючи залежність (10) знаходимо час, необхідний для виконання з ймовірністю p задачі радіокерування

$$t = \frac{1}{b} \ln \left[\frac{N_m - 1}{N_m - \left(\frac{1 - p_0}{1 - p}\right)^{1/k}} \right].$$

Якщо проведено ідентифікацію системи радіокерування методом моделей заміщення, то представляється можливим встановити залежність p

від параметрів моделі. Нехай $W(S)$ — передаточна функція моделі заміщення. Якщо на вхід моделі подати збурення $x(t) = 1(t)$, то зображення реакції $y(t)$ на виході моделі $Y(S) = W(S)/S$, а сталі значення реакції

$$y_{ст} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{S \rightarrow 0} SY(S). \quad (11)$$

Відносна помилка від перехідного процесу

$$\gamma = \frac{y_{ст} - y(t)}{y_{ст}}. \quad (12)$$

В даному випадку інформаційна спроможність $N = 1/2\gamma$ [8]. Тоді на підставі формул (6), (12) можна визначити p для конкретної моделі заміщення системи радіокерування. Прийmemo до уваги, що найбільш загальною є модель заміщення третього типу з передаточною функцією

$$W(S) = \frac{k_0 e^{-S\tau}}{(TS + 1)^n}, \quad (13)$$

де k_0 — коефіцієнт передачі, τ — час запізнення, T — постійна часу, n — порядок моделі заміщення [9]. На підставі формул (11), (12), (13) визначаємо відносну помилку від перехідного процесу

$$\gamma = 1 - \frac{y(t)}{k_0} \quad (14)$$

Розглянемо модель заміщення третього типу першого порядку ($n = 1$). На підставі формули (13) знаходимо

$$W(S) = \frac{k_0 e^{-S\tau}}{TS + 1}$$

Оскільки $Y(S) = W(S)/S$, то реакція на виході

$$y(t) = k_0 [1 - \exp(-\frac{t-\tau}{T})]. \quad (15)$$

На підставі формул (14), (15) визначаємо відносну помилку γ , а потім інформаційну спроможність $N = 1/2\gamma$:

$$N = \frac{1}{2} \exp(\frac{t-\tau}{T}). \quad (16)$$

Мертвий час t_{M1} системи керування визначається із умови $N = 1$ [5]. Таким чином, на підставі формули (16) знаходимо

$$t_{M1} = T \ln 2 + \tau.$$

Приймаючи до уваги формули (6), (16), можна записати

$$p = 1 - (1 - p_0) 2^k \exp[-\frac{k(t-\tau)}{T}], t \geq t_{M1} \quad (17)$$

Для моделі заміщення першого типу першого порядку $\tau = 0$.

Розглянемо модель заміщення з передаточною функцією

$$W(S) = \frac{k_0 e^{-S\tau}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}.$$

Оскільки $Y(S) = W(S)/S$, то реакція на виході

$$y(t) = k_0 \left[1 + \frac{1}{T_2 - T_1} \left(T_1 \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - T_2 \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right) \right]. \quad (18)$$

Розклавши експоненціальні функції в ряд та обмежившись трьома першими складовими ряду, на підставі формули (18) визначаємо

$$y(t) = \frac{k_0 (t - \tau)^2}{2T_1 T_2}. \quad (19)$$

На підставі формул (14), (19) визначаємо відносну помилку γ та інформаційну спроможність $N = 1/2\gamma$:

$$N = \frac{T_1 T_2}{2T_1 T_2 - (t - \tau)^2}. \quad (20)$$

Накладаючи умову $N = 1$, знаходимо мертвий час системи керування:

$$t_{M2} = \sqrt{T_1 T_2} + \tau$$

Приймаючи до уваги формули (6), (20), можна записати

$$p = 1 - (1 - p_0) \left[\frac{2T_1 T_2 - (t - \tau)^2}{T_1 T_2} \right]^k, t \geq t_{M2}. \quad (21)$$

Для моделі заміщення першого типу другого порядку $\tau = 0$, $T_1 = T_2$. Таким чином, на підставі проведеного аналізу встановлено не тільки вплив часу запізнення τ , але і постійних часу моделей заміщення систем на ймовірність виконання задачі радіокерування. На підставі формул (17), (21) можна визначити час t , необхідний для виконання з ймовірністю p задачі радіокерування.

Висновки

Отримані результати дають можливість перевести процедуру аналізу процесу радіокерування на якісно новий рівень, який враховує інформаційно-ймовірнісну природу процесу та реальні характеристики систем радіокерування. Стає зрозумілим зв'язок ймовірності виконання поставленої задачі з кількістю керуючої інформації, інформаційною спроможністю, відотною помилкою системи радіокерування, постійною часу та часом запізнення керуючого сигналу. З іншого боку, представляється можливим визначити час, необхідний для виконання з заданною ймовірністю задачі радіокерування. При цьому враховуються максимальне значення інформаційної спроможності та константа швидкості її зростання або постійні часу та час запізнення керуючого сигналу в моделі заміщення системи радіокерування.

Література

1. Меркулов В. И. Авиационные системы радиоуправления. Том 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / Под ред. А. И. Канашенкова и В. И. Меркулова. — М. : Радиотехника, 2003. — 192 с. — ISBN 5-93108-035-х.
2. Бичковський В.О. Логічний аналіз обмінних процедур в системах радіокерування / В.О. Бичковський, С.П. Циганенко // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи «РТПСАС 2012»: Міжн. наук.-техн. конф. : тези доп. / НТУУ «КПІ». — Київ, 11-15 березня 2012. — С. 49—50. [\[Publ.\]](#)
3. Николаев В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. — М. : Машиностроение, 1985. — 199 с.
4. Денисов А. А. Информационные основы управления / А. А. Денисов. — Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 72 с.
5. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств / П. В. Новицкий. — М. : Энергия, 1968. — 248 с.
6. Чуев Ю. В. Прогнозирование количественных характеристик процессов / Ю. В. Чуев, Ю. Б. Михайлов, В. И. Кузьмин. — М. : Сов. радио, 1975. — 400 с.
7. Прохоренко В. А. Прогнозирование качества систем / В. А. Прохоренко, А. Н. Смирнов. — Минск : Наука и техника, 1976. — 199 с.
8. Ацюковский В. А. Построение систем связей комплексов оборудования летательных аппаратов / В. А. Ацюковский. — М. : Машиностроение, 1976. — 240 с.
9. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування / В. А. Ацюковский. — К. : Задруга, 1999. — 424 с.

References

1. Kanashhenkova A. I., Merkulova V. I., eds. (2003) *Aviacionnye sistemy radioupravleniya. Tom 1. Principy postroenija sistem radioupravlenija. Osnovy sinteza i analiza* [Aircraft radio system. Volume 1. Principles of construction of radio. Basics of synthesis and analysis]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 192 p.
2. Bychkovskiy V. O., Tsyhanenko S. P. (2012) *Lohichnyi analiz obminnykh protsedur v systemakh radiokeruvannia* [Logical analysis exchange procedures in radio control systems]. *Radioengineering fields, Signals, Devices and System (RTPSAS 2012)*. Kyiv, pp. 49-50. Available at: <http://conf.rtf.kpi.ua/ua/2012/sec2/64-bychkovskii-tsiganenko>
3. Nikolaev V. I., Bruk V. M. (1985) *Sistemotekhnika: metody i prilozhenija* [Systems Engineering: Methods and Applications]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 199 p.
4. Denisov A. A. (1983) *Informatsionnye osnovy upravlenija* [Information bases of management]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 72 p.
5. Novitskiy P. V. (1968) *Osnovy informatsionnoy teorii izmeritel'nykh ustroystv* [Fundamentals of information theory of measuring devices]. Moscow, Energija Publ., 248 p.
6. Chuev Ju. V., Mikhaylov Ju. B., Kuz'min V. I. (1975) *Prognozirovanie kolichestvennykh kharakteristik protsessov* [Prediction of quantitative characteristics of processes]. Moscow, Sov. Radio Publ., 400 p.
7. Prokhorenko V. A., Smirnov A. N. (1976) *Prognozirovanie kachestva sistem* [Prediction of quality systems]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 199 p.
8. Atsjukovskiy V. A. (1976) *Postroenie sistem svjazey kompleksov oborudovanija letatel'nykh apparatov* [Design and construction of communications systems equipment of aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 240 p.
9. Ostapenko Yu. O. (1999) *Identyfikatsiia ta modeliuвання tekhnolohichnykh ob'ektiv keruvannia* [Identification and modeling of process control objects]. Kyiv, Zadruha Publ., 424 p.

Бычковський В. О., Реутська Ю. Ю. Макроскопічний аналіз задачі радіокерування. На підставі інформаційно-ймовірнісного підходу до аналізу проблеми радіокерування розглянуто закономірності зміни ймовірності виконання задачі радіокерування в залежності від кількості керуючої інформації, інформаційної спроможності та відносної помилки системи радіокерування. Визначено час, необхідний для виконання задачі радіокерування. Враховано вплив констант швидкості зростання цієї ймовірності та інформаційної спроможності на час виконання задачі радіокерування. Розглянуто типові моделі заміщення систем радіокерування та відносні помилки від перехідного процесу. Визначено інформаційні спроможності моделей заміщення з врахуванням постійних часу та часу запізнення. Встановлено залежності ймовірності виконання задачі радіокерування від постійних часу, часу запізнення та константи швидкості зростання цієї ймовірності.

Ключові слова: макроскопічний аналіз, радіокерування, інформація, відносна помилка, моделі заміщення, ймовірність.

Бычковский В. А., Реутская Ю. Ю. Макроскопический анализ задачи радиоуправления. На основании информационно-вероятностного подхода к анализу проблемы радиоуправления рассмотрены закономерности изменения вероятности выполнения задачи радиоуправления в зависимости от количества управляющей информации, информационной способности и относительной ошибки системы радиоуправления. Определено время, необходимое для выполнения задачи радиоуправления. Учтены влияние констант скорости увеличения этой вероятности и информационной способности на время выполнения задачи радиоуправления. Рассмотрены типовые модели замещения систем радиоуправления и относительные ошибки от переходного процесса. Определены информационные способности моделей замещения с учетом постоянных времени и времени запаздывания. Установлены зависимости вероятности выполнения задачи радиоуправления от постоянных времени, времени запаздывания и константы скорости увеличения этой вероятности.

Ключевые слова: макроскопический анализ, радиоуправление, информация, относительная ошибка, модели замещения, вероятность.

Bychkovskyi V. O., Reutska Yu. Yu. The macroscopic analysis of radio – control problem.

Introduction. is to The radio–control systems broad application is characterized by contemporary stage technique development. Radio–control system analysis is based usually on microscopic principle. Actual task is macroscopic point of view in radio–control problem.

Problem statement. For radio control problem decision it is necessary to describe the dynamics of process in generalize form. It is possible in conditions when the principal method is macroscopic analysis. In this method it is actual the discount of task fulfillment probability and information quantity. It is necessary to find out the dependence between information quantity, relative error and dynamic characters of systems.

Theoretical results. The regularities of task probability fulfillment in radio – control problem were considered in dependence with control information quantity, information ability and relative error of radio–control system. Time of task fulfillment was determined for radio–control. The influence of speed increase coefficient of task fulfillment was determined. Typical substitution models for radio–control systems and relative errors were considered. The information abilities of substitution models with discount of time constants and belated time were determined. For task fulfillment probability of radio–control the dependences from

time constants, belated time and speed increase coefficient of task fulfillment probability were determined.

Conclusion. The results permit to transfer the analysis of radio-control process on new quality level. Information, probability and characters of radio-control systems were taken into consideration. The ability for determination of task fulfillment time was open.

Keywords: macroscopic analysis, radio-control, information, relative error, substitution models, probability.