ІГРОВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Стеклов В.К., Нацик Д.О., Карась О.М.
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Abstract

Steklov V., Natzyk D., Karas O. Game systems of automatic control. *The general circuit of game system of automatic control, classification of game systems of automatic control, and also examples of game operations is considered.*

Бурхливий розвиток мереж зв'язку в напрямках збільшення їхнього розміру й ускладнення, розширення спектра послуг, росту кількості компаній, що займаються проектуванням, експлуатацією зв'язаних між собою мереж, необхідності підвищення надійності роботи мережі, якості обслуговування, економічної ефективності й інших вимог, що ведуть фірми і корпорації прийшли до однозначного висновку – необхідність створення зручної і надійної системи управління ними.

Усі пошуки поліпшення управління мережами й удосконалення систем управління спрямовані на зниження витрат і підвищення показників якості управління мережами зв'язку.

Одним з варіантів вирішення проблеми є – оптимізація процесу управління мережею, чого можна досягти, використовуючи методи теорії ігор. СУ з застосуванням цих методів називають «ігровими» [4].

Складні задачі автоматичного управління операціями багатьох об'єктів можна трактувати як задачі автоматичного проведення деякої гри.

Теорія ігор – це розділ математики, який застосовується для формулювання та вирішення задач, пов'язаних з конфліктними ситуаціями.

Конфліктна ситуація – це ситуація, що виникає коли декілька „гравців" прагнуть досягнути своєї мети.

Кожна гра характеризується певними правилами. При цьому дається набір всіх можливих „ходів" – дія кожного гравця, порядок чергування „ходів" учасників гри. Всі можливі способи поведінки окремого гравця на даному кроці гри називаються ходовою стратегією гравця. План дій гравця в будь-якій ситуації гри називається повною стратегією гри або просто стратегією. Кожний гравець отримує деякий виграш, який залежить від того, яку стратегію він вибрав сам, а яку стратегію вибрав його супротивник.

Знайти розв'язок гри – означає вказати, які стратегії і в якому порядку повинні застосовувати гравці, так як в кожний момент може бути використана лише одна стратегія.

Зацікавленості окремих сторін можуть бути прямо протилежні, якщо кожний гравець прагне збільшити свій виграш за рахунок супротивника [5].

Існують різні способи класифікації ігор. В залежності від кількості зацікавлених груп, що приймають участь у грі, розрізняють ігри з одним учасником, з двома учасниками – парні ігри та більш ніж з двома учасниками. Дії сторін можуть бути частково випадковими, частково такими, що підкоряються деяким правилам – алгоритмам.

Так як гра складається з ряду послідовних етапів – кроків, управління в ігровій системі здійснюється дискретно шляхом формування дискретної послідовності команд управління однією або декількома сторонами, що приймають участь у грі.

Основною особливістю принципу дії ігрових систем є формування команд управління на основі співставлення множини можливих розв'язків – виборів на кожному етапі операції, що управляється. Критерієм співставлення різних можливих рішень – виборів слугує деякий показник, який назвемо функцією вигоди.

Функція вигоди задається при побудові ігрової системи автоматичного управління на основі аналізу операції, що управляється. Розв'язки, які відповідають найбільшому значенню функції вигоди, назвемо оптимальними.

Основним вузлом ігрової системи автоматичного управління є управляюча машина, що визначає множину можливих виборів та оптимальний вибір в цій множині. Більшість можливих практичних застосувань ігрових систем можна представити у вигляді гри, в якій приймають участь дві сторони: I сторона, яка управляється даною системою, та II сторона, яка не управляється даною системою.

Наведемо приклад ігрової операції за участю двох сторін. Нехай, наприклад, є розгалужена мережа зв'язку, яка з'єднує багато пунктів. В кожному з пунктів майже безперервно з'являються запити на передачу інформації в інші пункти. Ставиться задача такого управління засобами та каналами зв'язку, при котрому забезпечувалась би передача максимальної загальної кількості інформації (точніше математичного очікування цієї кількості) в одиницю часу. Ця задача може бути вирішена ігровою системою автоматичного управління. I стороною в цьому випадку є вся мережа зв'язку, II стороною – запити на передачу інформації, функцією вигоди – загальна кількість інформації, що передається в одиницю часу.

В ігрових системах автоматичного управління, як і в інших класах автоматичних систем, доцільно розрізняти початкову та робочу інформацію.

Необхідною початковою інформацією про I сторону назвемо сукупність знань про властивості процесу або системи, що управляється, які необхідні для визначення можливих рішень та функції вигоди. В наведеному прикладі управління мережею зв'язку необхідною початковою інформацією про I сторону є відомості про пропускну здатність усіх каналів та вузлів зв'язку. Необхідна початкова інформація про I сторону в ігрових системах повинна бути повною. Вона дозволяє задати вигляд та числові параметри функції вигоди та встановити обмеження для множини можливих виборів. Лиш подальше удосконалення ігрової системи в напрямку надання їй здатності накопичення досвіду може зменшити кількість необхідної початкової інформації про процес або систему, що управляється.

Яка ж необхідна початкова інформація про II сторону, що не управляється даною системою? За своїм призначенням ігрова система управління повинна виконувати свої функції при майже довільних, наперед невідомих властивостях та діях II сторони. Тому необхідна початкова інформація про II сторону в ігрових системах автоматичного управління мінімальна. Саме ця обставина дозволяє відносити ігрові системи до систем з мінімальною необхідною початковою інформацією.

Ігрова система функціонує на основі робочої інформації про I та II сторони. Робоча інформація представляє собою сукупність знань про наявний стан та дії сторін, що приймають участь. Загальна схема ігрової системи автоматичного управління представлена на рис.1.

На початку операції, що управляється в управляючу машину потрапляє робоча інформація про II сторону. На основі цієї інформації та початкової інформації управляюча машина визначає оптимальний вибір з числа можливих та формує відповідні оптимальному вибору команди управління. Команди управління діють на процес, котрий управляється.

Існує два принципово різних підкласи ігрових систем автоматичного управління:

- ігрові системи з набором шаблонних рішень;
- ігрові системи з поетапним автоматичним пошуком рішень.

В системах з набором шаблонних рішень задача оптимального вибору вирішена наперед для певної множини варіантів дій II сторони. В такій системі в управляючій машині вже зберігаються „шаблони" рішень. Задача управляючої машини в подібних системах зводиться до встановлення відповідності фактичних дій II сторони одному з розрахункових варіантів та формуванню команд, які відповідають заготовленому для цього варіанту розв'язку. Цей розв'язок визначає дії I сторони на протязі всієї операції [6].

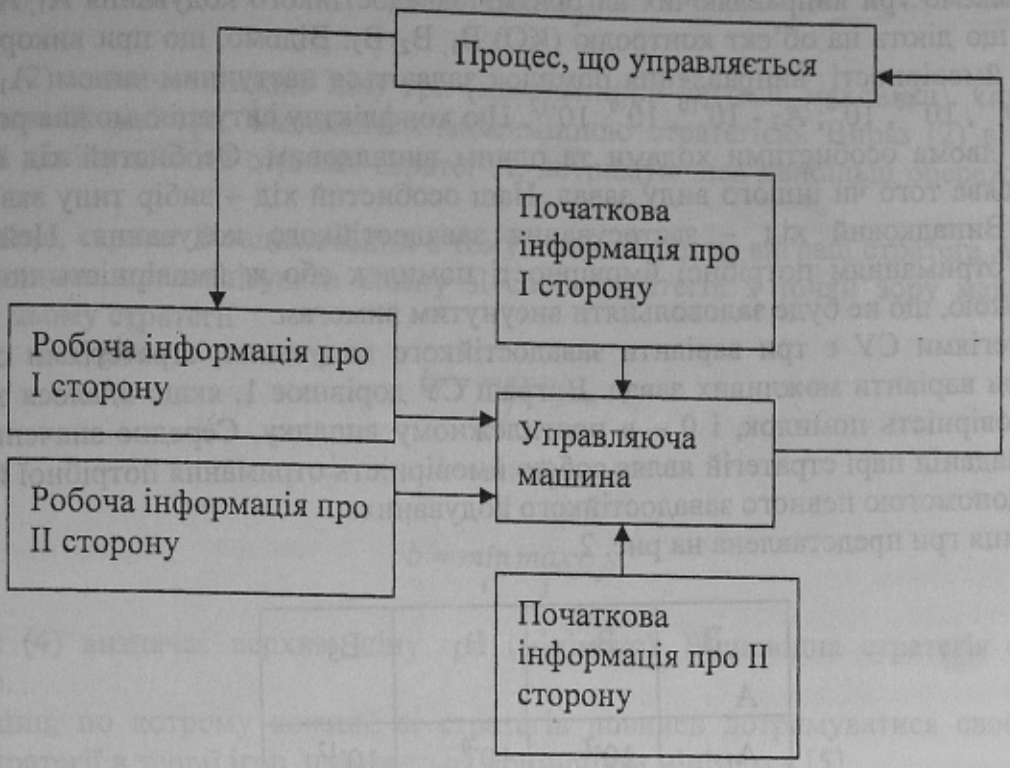

Рисунок 1 – Загальна схема ігрової системи автоматичного управління.

Легко бачити принципові недоліки ігрових систем з набором шаблонних рішень. В більшості практичних задач кількість можливих різних дій сторін на протязі операції настільки велика, що їх неможливо охопити розрахунковими варіантами хоча б через недостатню ємність пам'яті запам'ятовуючих пристроїв, що технічно реалізуються. Практично завжди обмежена інформація про дії II сторони звичайно не дозволяє встановити точну відповідність дій цієї сторони розрахунковому варіанту, навіть якщо така відповідність в дійсності існує. Ці недоліки обмежують область можливого застосування ігрових систем з набором шаблонних рішень рідкісними спеціальними випадками.

Значно більш досконалі ігрові системи автоматичного управління з автоматичним пошуком рішень.

Функціонування систем проходить наступним чином. Управляюча машина отримавши на самому початку операції робочу інформацію про дії II сторони, на основі початкової інформації про I сторону визначає множину можливих виборів для першого, більш менш короткого етапу операції.

По закінченню першого етапу в управляючу машину знову подаються робоча інформація про II сторону та робоча інформація про I сторону. Управляюча машина визначає множину можливих виборів, значення функції вигоди, оптимальний вибір для другого етапу та формує відповідні команди управління. Команди управління другого етапу визначають дії I сторони на цьому етапі і далі цикли повторюються до закінчення операції.

Очевидно, що процес управління в ігровій системі з автоматичним пошуком рішень є замкнутим дискретним процесом.

Зрозуміло, що ігрові системи автоматичного управління передбачають використання автоматичних систем інших класів в різних ланках управляючого процесу.

Розглянемо приклад ще одного використання ігрової системи автоматичного управління.

Нехай для деякого об'єкта мережі, яка управляється існує три варіанта алгоритмів завадостійкого кодування, котрі дозволяють забезпечити потрібну ймовірність помилок.

Так, маємо три виправляючих алгоритми завадостійкого кодування A_1, A_2, A_3 та три види завад, що діють на об'єкт контролю (КО) B_1, B_2, B_3. Відомо, що при використанні цих алгоритмів ймовірності виправлення помилок задаються наступним чином: A_1 - 10^{-7}, 10^{-9}, 10^{-12}; A_2 - 10^{-11}, 10^{-10}, 10^{-8}; A_3 - 10^{-10}, 10^{-9}, 10^{-12}. Цю конфліктну ситуацію можна розглядати як гру 3 х 3 з двома особистими ходами та одним випадковим. Особистий хід супротивної сторони – поява того чи іншого виду завад. Наш особистий хід – вибір типу завадостійкого кодування. Випадковий хід – застосування завадостійкого кодування. Цей хід може закінчитися отриманням потрібної ймовірності помилок або ж ймовірність помилок буде занадто високою, що не буде задовольняти висунутим вимогам.

Стратегіями СУ є три варіанти завадостійкого кодування, стратегіями супротивної сторони – три варіанти можливих завад. Виграш СУ дорівнює 1, якщо вдалося забезпечити потрібну ймовірність помилок, і 0 – в протилежному випадку. Середнє значення виграшу при кожній заданій парі стратегій являє собою ймовірність отримання потрібної ймовірності помилок за допомогою певного завадостійкого кодування.

Матриця гри представлена на рис. 2.

B / A	B_1	B_2	B_3
A_1	10^{-7}	10^{-9}	10^{-12}
A_2	10^{-11}	10^{-10}	10^{-8}
A_3	10^{-10}	10^{-9}	10^{-12}

Рисунок 2 – Матриця гри.

Таким чином, під закінченою грою з нульовою сумою двох конфліктуючих сторін розуміють набір стратегій та відповідну йому матрицю виграшів.

Будемо вважати, що гра, яка має кінець з нульовою сумою двох конфліктуючих сторін задана, якщо перелічені всі можливі стратегії кожного стратега (хоча б у вигляді двох рядів чисел) та дана матриця виграшів, що відповідає цим стратегіям.

Дослідити, або вирішити гру – означає знайти для кожного стратега найкращі стратегії такі, що їх застосування забезпечує кожному зі стратегів найкращий виграш з можливих: крім того, необхідно знайти цей найкращий виграш [1].

Нехай потрібно знайти оптимальну стратегію стратега (гравця першої з конфліктуючих сторін) А.

Проаналізуємо послідовно кожну з його стратегій, починаючи з A_1.

Якщо стратег А вибрав зі всіх своїх стратегій стратегію A_j, то він розраховує на те, що стратег В відповість на неї тією зі своїх стратегій, для якої його (стратега А) виграш a_{ij} мінімальний. Виберемо це значення виграшу, тобто мінімальне з чисел a_{ij} в j-ому рядку

$$a_j = \min_i a_{ji}. \qquad (1)$$

Уникаючи будь-якого ризику, стратег А повинен зупинитися на тій зі своїх стратегій A_j, для якої число a_j є максимальним

$$a = \max_j a_j,$$

або, враховуючи (1)

$$a = \max_j \min_i a_{ji}. \quad (2)$$

Вираз (2) визначає нижню ціну гри (максимінний виграш, максимін). Стратегія, що відповідає нижній ціні гри, називається максимінною стратегією. Вираз (2) визначає той гарантований мінімум, який отримає стратег А, дотримуючись найбільш обережної зі своїх стратегій.

Очевидно, стратег В зацікавлений в тому, щоб обернути виграш стратега А в мінімум. Тому, він повинен проаналізувати кожну зі своїх стратегій з точки зору максимального виграшу при цьому стратегії

$$b_i = \max_j a_{ji}, \quad (3)$$

$$b = \min_i b_i,$$

$$b = \min_i \max_j a_{ji}. \quad (4)$$

Вираз (4) визначає верхню ціну гри (мінімакс). Відповідна стратегія називається мінімаксною.

Принцип, по котрому кожний зі стратегів повинен дотримуватися своєї найбільш обережної стратегії в теорії ігор, називається принципом мінімаксу [5].

Враховуючи (1, 3), доповнимо матрицю гри стовпчиком справа, кожний з елементів якого складений у відповідності з (1), та рядком знизу, складеним по формулі (3). Доповнена матриця представлена на рис. 3.

B / A	B_1	B_2	B_3	a_j
A_1	10^{-7}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-12}
A_2	10^{-11}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-11}
A_3	10^{-10}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-12}
b_i	10^{-7}	10^{-9}	10^{-8}	-

Рисунок 3 – Доповнена матриця гри.

Таким чином, нижня ціна гри в даному випадку $a=10^{-11}$; верхня ціна гри $b=10^{-9}$.

Аналізуючи отриману матрицю, можна зробити висновок про нестійкість мінімаксних стратегій. Це означає, що якщо стратег А застосовує свою найбільш обережну стратегію A_2, а стратег В – стратегію B_2 (свою найбільш обережну стратегію), то середній виграш дорівнює 10^{-10}.

Як тільки стратегу В стає відомо, що стратег А застосовує стратегію A_2, він може відповісти на неї стратегією B_1 і зведе виграш до 10^{-11}.

Таким чином, виграш при використанні мінімаксних стратегій є нестійким, так як залежить від відомостей про стратегії протилежної сторони.

Відмітимо, що для системи управління в стаціонарному режимі завжди можна визначити інформацію, яку отримують від параметрів мережі, тому цей метод гри є досить вдалим. Для таких ігор нижня ціна гри дорівнює верхній і це спільне значення називається

чистою ціною гри. Елемент матриці, котрий є одночасно мінімальним в своєму рядку та максимальним в своєму стовпчику, називається сідловою точкою матриці. А гра, платіжна матриця якої має сідлову точку, називається грою з сідловою точкою.

Сідловій точці відповідає пара оптимальних стратегій, сукупність яких називається рішенням гри [1].

Таким чином, для ігор з сідловою точкою існує рішення, що визначає пару оптимальних стратегій обох з конфліктуючих сторін.

Якщо кожна з конфліктуючих сторін дотримується своїх оптимальних стратегій, то середній виграш дорівнює чистій ціні гри.

Якщо одна з конфліктуючих сторін дотримується своєї оптимальної стратегії, а друга відхиляється від своєї, то від цього сторона, що відхиляється може тільки програти і ні в якому разі не збільшити свій виграш.

Висновки

1. Розглянуто основні принципи функціонування ігрових систем автоматичного управління.
2. Показано, що при оптимізації процесів управління мережами, широке застосування знайшли «ігрові» методи СУ.
3. Дано класифікацію ігрових СУ, а також розглянуті алгоритми пошуку оптимальних рішень для двох підкласів ігрових систем автоматичного управління.

Література

1. Нетудыхата Л.И. К вопросу оптимизации системы управления сетью связи методами теории игр / Л.И. Нетудыхата, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман // Зв'язок.-2004. - № 6. – С.59-60.

2. Стеклов В.К. Метод векторного синтеза систем управления разнородными телекоммуникационными сетями / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я. Костик // Радиотехника. 2003. Вып. 133. - С. 174-182.

3. Стеклов В.К. Выбор обобщенного критерия оптимальности систем управления информационными сетями / В.К. Стеклов, Н.М. Стародуб, Л.Н. Беркман // Зв'язок. – 2000. - № 5. – С.48-50.

4. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Кільчицький Є.В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку – К.: Техніка, 2004. - 576с.

5. Лапа В.Г. Математические основы кибернетики.- К.: Вища шк., 1974.- 452 с.

6. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики – М.-Л., 1962