УДК 004.056.5:519.2(045)

Гузій .М.

НАПІВМАРКІВСЬКІ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Інститут комп’ютерних технологій
Національного авіаційного університету

Розроблені напівмарківські моделі для оптимального управління інформаційними конфліктами в комп’ютерних мережах. Обґрунтовані типові постановки задач оптимального управління динамікою інформаційних конфліктів, розглянуті особливості задач ієрархічного управління інформаційною взаємодією в комп’ютерних системах. Інформаційні конфлікти, динаміка конфліктів, оптимальне управління, комп’ютерні мережі

Вступ

Із розвитком сучасних методів атакування і захисту інформаційних ресурсів і інформаційних інфраструктур в комп’ютерних мережах все актуальнішими стають проблеми пошуку оптимальних рішень оперуючими сторонами-учасниками інформаційних конфліктів.

В роботі [1] розглянуті принципи підготовки і прийняття оптимальних рішень в конфліктних системах з позиції теорії ігор і дослідження операцій, побудовано концептуальну систему адаптованого управління діями сторін конфлікту, визначені критерії оптимальності та отримані періодичності моніторингу дій конфліктуючих сторін.

В роботі [2] побудовані логічні моделі динаміки інформаційних конфліктів, розроблені системи диференційних рішень динаміки конфлікту, отримані розв’язки відносно ймовірностей станів конфліктуючих систем. Ці рішення дозволяють досліджувати стохастичну динаміку інформаційних конфліктів в залежності від вибору керованих і некерованих змінних, а також обмежень, що реально існують на практиці.

В роботі [3] визначені інформаційні характеристики конфліктних систем, які необхідні для розв’язання задач пошуку, обґрунтування і прийняття оптимальних рішень для управління станом оперуючих систем у ієрархічних системах управління за замкнутими контурами. Результати роботи [3] мають важливе значення для побудови систем віддаленого управління комп’ютерними системами за сучасними стандартами *ISO/OSI* за допомогою інтелектуальних агентів, що розташовані на об’єктах управління.

Дана робота є логічним продовженням робіт[1–3] і спрямована на вибір критеріїв оптимальності, створення певної класифікації задач оптимального управління інформаційними конфліктами в комп’ютерних системах, обґрунтування типових постановок цих задач, побудову типових математичних моделей оптимального управління з урахуванням обмежень реального характеру.

Мета роботи полягає в тому, щоб обґрунтувати критерії оптимальності та обмеження в задачах оптимально управління динамікою інформаційних конфліктів, вибрати ознаки і розробити певну класифікацію цих задач, обґрунтувати типові постановки задач різних класів, запропонувати напівмарківські моделі оптимального управління.

Для досягнення цієї мети ставляться та розв’язуються наступні задачі:

– обґрунтовується можливість застосування теорії марківських процесів для розв’язання задач оптимального управління інформаційними конфліктами;

– розроблення графологічної моделі інформаційних конфліктів;

– складання диференційних рівнянь, що опишуть динаміку інформаційних конфліктів з урахуванням достовірності моніторингу стану конфлікту;

– розв’язання задачі Коші методом перетворень ;

– використання отриманих рішень диференційних рівнянь для дослідження закономірного розвитку властивостей інформаційних конфліктів і процесів оптимального управління конфліктами.

Постановка задач

В якості вихідних даних оберемо результати розв'язання задач в роботах [1–3]. Методами теорії марківських процесів і теорії оптимального управління по замкнутому контуру будемо шукати оптимальні рішення – оптимальні значення керованих змінних – в задачах оптимального управління динамікою конфліктуючих інформаційних систем різних класів в комп'ютерних системах. В якості очікуваних результатів будемо розглядати нові закономірності поведінки конфліктуючих систем, стратегії оптимального управління оперуючими сторонами інформаційної взаємодії.

Проведемо аналіз узагальненої характеристики можливостей теорії марківських процесів для опису взаємодії систем [4]. Динаміку взаємодії звичайно описують диференційними рівняннями А.М. Колмогорова у вигляді:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^{m} P_{ij} f_i(t) + \sum_{j=1}^{m} P_{ij} f_j(t),\ i = \overline{1,m}\,, \quad (1)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність перебування системи в i-му стані,

P_{ij} – умовна ймовірність переходу системи із i-го в j-ий стан,

$f_i(t)$ – щільність експоненціального розподілу часу перебування системи в i-му стані,

m – загальне число станів системи.

За логічним змістом перша сума в диференційному рівнянні (1) позначає щільність розподілу часу до виходу системи із i-го стану, якщо вона в ньому перебуває. Друга сума – позначає щільність розподілу часу до приходу системи з будь-якого j-го стану в i-ий стан. Таким чином, ймовірність i-го стану змінюється в результаті виходу системи із цього стану або приходу системи в цей стан із інших станів.

Для математичного моделювання інформаційних конфліктів зручно представити щільність експоненціальних розподілів часу у вигляді

$$f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}, \quad f_j(t) = \mu_j e^{\mu_j t}\,, \quad (2)$$

тоді система (1) приймає вид:

$$P_i^{'}(t) = -\sum_{i=1}^{m} P_{ij}\lambda_i P_i(t) + \sum_{\substack{i=1 \\ j\neq 1}}^{m} P_{ij}\mu_j P_j(t),\ i = \overline{1,m}\,, \quad (3)$$

де умовні ймовірності P_{ij} підпорядковані умові нормування

$$\sum_i \sum_j P_{ij} = 1\,, \quad (4)$$

що відображає ту обставину, що стани системи створюють повну групу подій.

Із системи рівнянь (3) шляхом конкретизації значень P_{ij}, λ_i та μ_j отримують рівняння для марківських і напівмарківських процесів і ланцюгів.

Конкретизуємо вигляд системи диференційних рівнянь (3) для випадку існування всього трьох станів системи [3]: стану S_0 динамічної рівноваги числа методів нападу і захисту, стану S_a, у якому число методів нападу (атакування) перевищує число методів захисту, і стану S_d, у якому число методів захисту перевищує число методів нападу. Графологічна модель інформаційного конфлікту для цього випадку представлена на рис. 1.

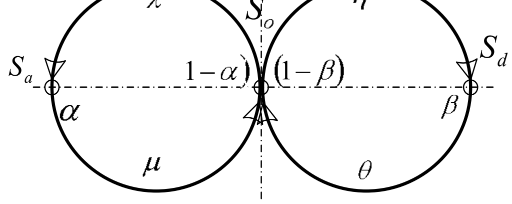

Рис. 1. Графологічна модель інформаційного конфлікту

Використаємо цю модель для складання системи диференційних рівнянь за відомим правилом Васильєва і

$$
\begin{aligned}
&P_0^{'}(t) = -[(1-\alpha)\lambda + (1-\beta)\eta]P_0(t) + \alpha\mu P_a(t) + \\
&+\beta\theta P_d(t), \\
&P_a^{'}(t) = -\alpha\mu P_a(t) + (1-\alpha)\lambda P_0(t), \\
&P_d^{'}(t) = -\beta\theta P_d(t) + (1-\beta)\eta P_0(t).
\end{aligned} \tag{5}
$$

Для розв’язання системи (5) використаємо початкові умови загального виду:

$$P_0(0) = P_0,\;\; P_a(0) = P_{a0},\;\; P_d(0)\;\; P_{d0}\;. \tag{6}$$

В співвідношеннях (5), (6) використані такі позначення:

$P_0(t),\ P_a(t),\ P_d(t)$ – відповідно, ймовірності станів S_0, S_a, S_d в момент часу t,

α – показник достовірності моніторингу стороною захисту дій сторони нападу,

β – показник достовірності моніторингу стороною нападу дій сторони захисту,

λ – інтенсивність розробки і впровадження нових методів нападу,

η – інтенсивність розробки і впровадження нових методів захисту,

μ – інтенсивність розробки і впровадження нових методів захисту для ліквідації дисбалансу методів на користь сторони нападу,

θ – інтенсивність розробки і впровадження нових методів нападу для ліквідації дисбалансу методів на користь сторони захисту,

$P_0,\ P_{a0},\ P_{d0}$ – відповідно, початкові значення ймовірностей $P_0(t),\ P_a(t),\ P_d(t)$ для розв’язання задачі Коші.

Розв’язуючи задачу Коші стандартним методом перетворень Лапласу, отримаємо:

$$P_0(t) = C_0 + C_1 e^{S_1 t} + C_2 e^{S_2 t},\;\; P_{0\infty} = \frac{\alpha\mu\beta\theta}{S_1 S_2}. \tag{7}$$

$$
\begin{aligned}
&P_a(t) = [P_{a0} - (1-\alpha)\lambda\sum_{l=D}^{2} D_{ai}]e^{-\alpha\mu t} + \\
&+(1-\alpha)\lambda[D_{a0} + D_{a1}e^{S_1 t} + D_{a2}e^{S_2 t}]
\end{aligned}\;, \tag{8}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_d(t) = [P_{d0} - (1-\beta\,\eta\sum_{l=D}^{2} D_{di}]e^{-\beta\theta t} + \\
&+(1-\quad)\;[D_{d0} + D_{d1}e^{S_1 t} + D_{d2}e^{S_2 t}]
\end{aligned}\;, \tag{9}
$$

$$D_{a0} = \frac{C_0}{\alpha\mu},\;\; D_{a1} = \frac{C_1}{\alpha\mu + S_1},\;\; D_{a2} = \frac{C_2}{+S_2};$$

$$D_{d0} = \frac{C_0}{\beta\theta},\;\; D_{d1}\;\; \frac{C_1}{+S_1},\;\; D_{d2} = \frac{C_2}{\beta\theta + S_2};$$

$$C_0 = \frac{B_0}{S_1 S_2},$$

$$C_1 = \frac{B_0 + B_1 S_1 + B_2 S_1^2}{S_1(S_1 - S_2)},$$

$$C_2 = \frac{B_0 + B_1 S_2 + B_2 S_2^2}{S_1(S_2 - S_1)};$$

$$
\begin{aligned}
&B_0 = \alpha\mu\beta\theta, \\
&B_1 = \alpha\mu + \beta\theta - P_{a0}\beta\theta - P_{d0}\alpha\mu, \\
&B_2 = 1 - P_{a0} - P_{d0};
\end{aligned}
$$

$$S_1 = \frac{-A_1}{2} + \sqrt{\left(\frac{A_1}{2}\right)^2 - A_0},$$

$$S_1 = \frac{-A_1}{2}\;\; \sqrt{\left(\frac{A_1}{2}\right)^2 - A_0}\;;$$

$$
\begin{aligned}
&A_0 = (1-\alpha)\lambda\beta\theta + (1-\beta)\eta\alpha\mu + \alpha\mu\beta\theta, \\
&A_1 = (1-\alpha)\lambda + (1-\beta)\eta + \alpha\mu + \beta\theta.
\end{aligned}
$$

Перевірка граничних умов і умови нормування показує, що рівняння (7) – (9) отримано вірно. В режимі статистичної рівноваги, при $t \to \infty$, фінальні ймовірності мають значення

$$
\begin{aligned}
&P_{0\infty} = \frac{\alpha\mu\beta\theta}{S_1 S_2}, \\
&P_{a\infty}\;\; \frac{(1-\alpha)\lambda\beta\theta}{S_1 S_2}, \\
&P_{d\infty} = \frac{(1-\beta)\eta\alpha\mu}{S_1 \cdot S_2},
\end{aligned} \tag{10}
$$

де $S_1 S_2 = A_0$.

Отримані рівняння (7) – (9) є основою для побудови критеріїв оптимальності. Виберемо критерій оптимальності у вигляді, зручному для пошуку оптимальних рішень

$$
\begin{aligned}
&F(\qquad) = \frac{1}{T}\int_0^T \{q_0[P_0(t) - P_{00}]^2 + \\
&+q_a[P_a(t) - P_{aa}]^2 + q_d[P_d(t) - P_{dd}]^2
\end{aligned}\;, \tag{11}
$$

де q_0, q_a, q_d – вагові коефіцієнти для врахування відхилення поточних значень ймовірності $P_0(t)$, $P_a(t)$ і $P_d(t)$ від заданих значень P_{00}, P_{aa}, P_{dd},

T – інтервал часу перехідного періоду, який враховується у пошуку оптимальних рішень.

В критерії оптимальності (11) враховуються метрики евклідового та гільбертово просторів, він дозволяє досить гнучко підходити до постановки і розв'язання задач оптимального управління динамікою інформаційних конфліктів. Очевидними узагальненнями цього критерію можуть бути критерій середніх витрат, в якому враховуються втрати від недотримання оптимального рішення, та критерій оптимальності, в якому задані бажані траєкторії перехідного процесу $P_{00}(t)$, $P_{aa}(t)$, $P_{dd}(t)$.

Розроблені моделі застосовані для моделювання інформаційної взаємодії комп'ютерних систем при визначенні оптимальних значень параметрів моніторингу μ і α з боку захисту. Аналогічно визначаються параметри моніторингу θ і β інформаційного конфлікту з боку нападу. Результати моделювання практичних задач приведені на рис. 2, 3.

Критерій (11) дозволяє вирішувати «мінімаксні» ігрові задачі оптимального управління. Наприклад, оперуючи сторони можуть розглядати інтенсивності λ і η як керовані змінні для забезпечення максимального значення мінімальних втрат, або мінімального значення максимальних втрат.

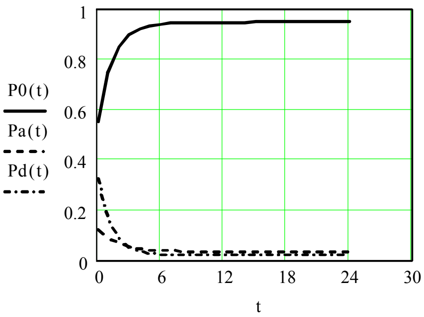

Рис. 2. Вплив початкових умов на імовірності станів системи

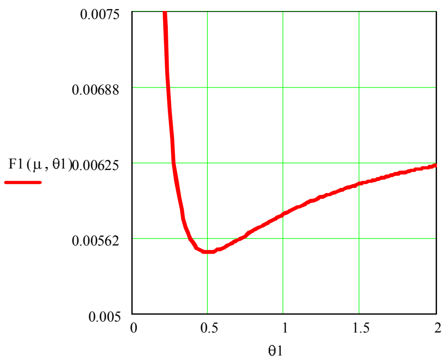

Рис. 3. Пошук оптимального значення інтенсивності $\theta 1$

Висновки

В роботі обґрунтована постановка задачі оптимального управління інформаційною взаємодією комп'ютерних систем на основі напівмарківських моделей. Наведені результати моделювання оптимальних параметрів моніторингу дій оперуючих сторін інформаційного конфлікту. Оптимальні рішення цих задач дозволяють отримати характеристики інформаційних конфліктів, виконати їх класифікацію.

Список літератури

1. *Гузий Н.Н., Игнатов .А.* Оптимальное адаптивное управление защитой информации в конфликтующих системах // Електроніка та системи управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 1(7). – С. 137–143.

2. *Ігнатов В.*О., *Гузій .М.* Динаміка інформаційних конфліктів в інтелектуальних конфліктів // Проблеми інформатизації та управління // Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 15. – С. 88–92.

3. *Ігнатов В.*О., *Гузій М.М.* Моделювання балансу засобів нападу і захисту в конфліктуючих системах. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля: журнал. – Луганськ: СНУ, 2007. – Вип. 5 (111). – С. 97–104.

4. *Шматок С.А., Лукьянов В.Ф.* Вопросы теории взаимодействующих марковских систем. – Минск: Вышейша Школа, 1979. – 144 .