Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ) 4(3): 45-51 ISSN 2587-4667 Scientific Cyber Security Association (SCSA)

THE USE OF GAME THEORY TO STUDY PROCESSES IN THE INFORMATIONAL CONFRONTATION
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ

Volodymyr Khoroshko, National Aviation University, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Kiev, Ukraine
Хорошко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор Национального авиационного университета (г. Киев).
Ruslan Hryshchuk, National Aviation University, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Kiev, Ukraine
Грищюк Руслан Валентинович, доктор технических наук, профессор, профессор Национального авиационного университета (г. Киев).
Nikolay Brailovskyi, Taras Shevchenko National University of Kyiv, PhD in Engineering Science, Associate Professor Kiev, Ukraine
Браиловский Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент Киевского национального университета имени Тараса Шевченко (г. Киев).

Tatyana Shcherbak, National Aviation University, PhD in Engineering Science, Associate Professor Kiev, Ukraine
Щербак Татьяна Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, доцент Национального авиационного университета (г. Киев).

ABSTRACT: This paper is presented the application of the games' theory for the analysis of processes in the informational warfare. The analysis of information warfare in cyberspace is presented. It is shown that today the solution to the problems of information warfare is impossible without the development of new theoretical and methodological provisions for the analysis of the processes of attack and counteraction in the information space. The scheme of finding sustainable strategies that ensure the neutralization of the enemy is investigated.

АННОТАЦИЯ: В данной работе представлено применение теории игор для исследования процессов в информационном противоборстве. Проведен анализ информационного противоборства в киберпространстве. Показано, что на сегодня решение проблем информационного противоборства невозможно без разработки новых теоретико-методологических положений анализа процессов нападения и противодействия в информационном пространстве. Исследована схема нахождения устойчивых стратегий, которые обеспечивают нейтрализацию противника.

KEYWORDS: *cyberspace, cyber war, countering hybrid war, information space, analysis of the processes of attack and counteraction in the information space, game theory.*
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *киберпространство, кибервойна, противодействия гибридной войне, информационное пространство, анализа процессов нападения и противодействия в информационном пространстве, теория игр.*

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие научно-технического процесса в начале XXI века в области информационно-коммуникационных технологий связано с повсеместным внедрением ее во все сферы деятельности общества: военную, политическую, социальную, научную, экономическую, нормативно-правовую, технологическую и другие. В результате этого открываются широкие возможности в несанкционированном доступе к информационным ресурсам неавторизированным пользователям.

Небезопасный характер современных угроз информации, что переходит в разряд стратегических ресурсов как предмет информационной безопасности, определило противодействие им и принципиальным аспектом укрепления стратегической стабильности общества, национальной, региональной и международной безопасности.

Анализ конфликтов конца XX – начала XXI века свидетельствует о появлении новых форм и методов не только вооруженной борьбы между государствами для расширения соответствующих политических целей и разрешения межгосударственных противоречий. На смену классическим формам вооруженной борьбы пришли так называемые «гибридные войны». Они имеют скрытый характер и проводятся преимущественно в политической, экономической, информационной и других сферах. Суть таких войн является смещение центра усилий с физического уничтожения противника в рамках масштабной войны на применение средств так называемой «мягкой силы» против страны-противника в целях дезинтеграции, изменения ее руководства и включения в сферу своего влияния. [1]

В современных условиях глобальной информатизации и гибридных войн, с учетом большого количества подходов и решенных проблем защиты информации и противодействия атакам и операциям информационных воздействий, они остаются актуальными не только для Украины, но и для всего мирового сообщества. [2]

Существующие математические модели процессов нападения на информационное пространство и его защиту, на которых основываются оценки уровня защищённости не учитывают динамику изменения множества возможных несанкционированных воздействий и вариаций их параметров как в реальном масштабе времени, так и в процессе эксплуатации информационно-коммуникационных систем.

Системность исследования поведения сложных динамических процессов требует рассмотрения большого числа особенностей и взаимосвязей, характерных процессу нападения на информацию и информационных воздействий. Исследованные особенности, созданные антагонистической природой, противоречат одна другой, однако пренебрегать каждой из них нельзя так как они дают нам полное представление о процессе, который исследуется или моделируется. Некоторая некорректность решаемых задач, порождаемых антагонистичностью целей субъектов, проявляется в их многокритериальности постановки, где частичными критериями качества выступают ресурсы игроков.

Таким образом, дальнейшее решение проблемы информационного противоборства в киберпространстве включает в себя разработки новых процессов и методик, которые базируются на теоретико-обоснованных и опробованных на практике методов анализа. Отсутствие в области информационного противоборства теоретико-методологических положений анализа процессов нападения и противодействия в информационном пространстве на основании методов теории игр, что сдерживает в какой-то мере дальнейшее развитие высокоэффективных принципов противодействия гибридной войне. [3, 4, 5, 6] Кроме того, широкое применение теории игр при анализе атак и противодействия им может значительно уменьшить ошибки и просчеты, которые имеют место в управлении информационной безопасностью, что в свою очередь минимизирует негативные и нежелательные политические, социальные и финансовые последствия для субъектов информационного противоборства. То есть применение для этих исследований устойчивых стратегий теории игр позволяет обеспечить нейтрализацию нападающей стороны или обеспечивают игроку устойчивое положение в некотором подинтервале единичного интервала.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование возможности применения теории игр для анализа процессов информационного противоборства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основной теоремой теории игр является теорема о равенстве максимина и минимакса, впервые сформулированная и доказанная Дж. фон Нейманом. Эта теорема устанавливает условия существования оптимальных стратегий и цены игры.

Для прямоугольных игр вопрос существования решения игры решается на основании следующей теоремы. [7]

Теорема 1. Пусть

$$A = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{Vmatrix}$$

- платежная матрица, $X = \|x_1, x_2, \dots, x_n\|$ и $Y = \|y_1, y_2, \dots, y_m\|$ - смешанные стратегии игроков $И_1$ и $И_2$ соответственно, математическое ожидание выигрыша игрока $И_1$ определено следующим образом

$E(X,Y) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{ij} x_i x_j$,

тогда величины $\underset{X \in S_n}{max} \underset{Y \in S_m}{min} E(X,Y)$ и $\underset{Y \in S_m}{min} \underset{X \in S_n}{max} E(X,Y)$ существуют и равны между собой.

Для непрерывных игр эта теорема формулируется следующим образом. [8]

Теорема 2. Если $M(x,y)$ есть непрерывная функция двух переменных в замкнутом единичном квадрате, то величины

$$\underset{F \epsilon D}{max} \underset{G \epsilon D}{min} \int_0^1 \int_0^1 M(x,y) dF(x) dG(y) \quad (1)$$

$$\underset{G \epsilon D}{min} \underset{F \epsilon D}{max} \int_0^1 \int_0^1 M(x,y) dF(x) dG(y) \quad (2)$$

В дальнейшем доказательству этой теоремы при различных предположениях относительных функций выигрыша и пространств стратегий игроков были посвящены очень многие работы [7, 8, 9]. Ценность этих теорем существования огромная, так как они устанавливают классы функций выигрыша, для которых решения игр существуют.

В ряде случаев знание возможностей структуры решения игры позволяют находить оптимальные стратегии И цену игры путем "отгадывания". На основе теоремы 2 можно вывести ряд правил, позволяющих в случае непрерывной функции выигрыша определять, являются ли угаданные стратегии оптимальными.

Правило 1. Функции $F_0(x)$ и $G_0(y)$ являются оптимальными стратегиями И1 и И2 соответственно, если выполняется одно из двух условий:

1) $E(F, G_0) \leq E(F_0, G_0) \leq E(F_0, G)$ для любых функций распределения $F(x)$ и $G(y)$:
2) $\int_0^1 M(z,y)dG_0(y) \leq E(F_0, G_0) \leq \int_0^1 M(x,w)dF_0(x)$ для любых $z, w \in [0,1]$.

Правило 2. Пусть цена игры равна V, тогда:

1) Функция распределения $F_0(x)$ будет оптимальной стратегией игрока И1 тогда и только тогда, когда для всякого $y \in [0,1] V \leq \int_0^1 M(x,y)d\,F_0(x)$;

2) Функция распределения $G_0(y)$ будет оптимальной стратегией игрока И2 тогда и только тогда, когда для всякого $x \in [0,1]$ $\int_0^1 M(x,y)d\,G_0(x) \leq V$;

Правило 3. Действительное число V и функции распределения $F_0(x)$ и $G_0(y)$, одновременно удовлетворяющие условию $\int_0^1 M(x,y)d\,G_0(x) \leq V \leq \int_0^1 M(x,y)d\,F_0(x)$, являются соответственно ценой игры и оптимальными стратегиями для первого и второго игроков.

Правило 4. Пусть известна либо оптимальная стратегия $F_0(x)$ игрока И1, либо оптимальная стратегия $G_0(y)$ игрока И2. Тогда цена игры может быть найдена по одной из формул

$$V = \max_{0 \leq x \leq 1} \int_0^1 M(x,y)d\,G_0(x)$$

$$V = \min_{0 \leq y \leq 1} \int_0^1 M(x,y)d\,F_0(x)$$

Справедливость этих правил непосредственно следует из теоремы 2. При этом, первое условие правила 1 является определением седловой точки функционала E(F,G), а второе условие вытекает из первого если в нем взять

$$F(x)=I_z(x)=\begin{cases}1, x \geq z \\ 0, x < z\end{cases}$$

$$G(y)=I\omega\,(y)=\begin{cases}1, y \geq \omega \\ 0, y < \omega\end{cases}$$

Чтобы убедится в том, что из второго условия вытекает первое, предположим, что для всех z и ω в $[0,1]$ имеем:

$$\int_0^1 M(z,y)dG_0(y) \leq E(F_0, G_0) \leq \int_0^1 M(x,\omega)dF_0(x)$$

Тогда для любых функций распределения F(x) и G(y) получим

$$\int_0^1\int_0^1 M(z,y)dG_0(y)dF(z) \leq$$

$$\leq \int_0^1 E(F_0,G_0)dF(z) = E(F_0,G_0) =$$

$$= \int_0^1 E(F_0,G_0)dG(\omega) \leq \iint M(x,\omega)dF_0(z)dG(\omega)$$

Этим и завершается доказательство правила 1. Все остальные правила являются различными модификациями правила 1.

Решением игры И(M,[0,1]) с функцией выигрыша M(x,y) (0≤x,y≤1) называют пару функцией распределения F* G*(стратегии) и вещественное число V (значение игры), удовлетворяющее условию

$$\int_0^1 M(x,y)dG^*(y) \leq V \leq \int_0^1 M(x,y)d\,F^*(x), \ \ 0 \leq x,y \leq 1$$

Отсюда следует, что если игрок И1 использует стратегию F^* то средний выигрыш:

$$F(F^*,G) = \int_0^1\int_0^1 M(x,y)dF^*(x)dG(y)$$

не может быть меньше числа V, т.е. игрок И1 как бы нейтрализует действия противника. И, наоборот, если игрок И2 принимает стратегию G^*, то его средний проигрыш $F(F,G^*)$ будет всегда не больше V, независимо от действий игрока И1. Поэтому естественно, что каждый игрок должен стремится к выбору таких функций распределения F* и G*, которые бы нейтрализовали действия противника. Ведь для игрока И1 лучшей является такая стратегия, которая делает в пределах разумного как можно большим его средний выигрыш вне зависимости от действий противника. Наоборот, игрок И2 должен подобрать себе стратегию, которая обеспечивала бы ему в пределах разумного как можно меньший проигрыш, не зависящий от действий игрока И1. Естественно, что если в игре существует положение равновесия на пространстве функций распределения, то только в этом случае игроки могут выбрать оптимальные стратегии.

Вообще игрок И1 может гарантировать себе выигрыш не менее

$$V_1 = \max_F \ \min_G \int_0^1 E_1(F)dG(y) = \max_F \ \min_y E_1[F(y)], \qquad (3)$$

где $E_1(F) = \int_0^1 M(x,y)dF(x)$

Аналогично игрок И2 соответствующим выбором функции распределения G(y) может гарантировать себе проигрыш не более

$$V_2 = \min_G \ \max_F \int_0^1 E_2(G)dF(x) = \min_G \ \max_x E_2[G(x)], \qquad (4)$$

где $E_2(G) = \int_0^1 M(x,y)dG(y)$

Из (3) и (4) получаем

$$V_1 > \min_y E_1(F), \quad (5)$$

$$V_2 \leq \max_x E_2(G).$$

Пусть теперь игрок И2 выбрал в качестве своей стратегии функцию, распределения $G_0(y)$, и пусть этот выбор стал известен игроку И1. Естественно, предполагая такую возможность, игрок И2 должен стремится найти устойчивую стратегию. Из (5) ясно, что если величина $E_2(G)$ имеет максимум, то игрок И1 всегда будет получать наилучший результат, выбирая такую точку x_0, которая соответствует этому максимуму:

$$V_2 \leq E_2[G(x_0)] = \max_x E_2[G(x)]$$

Для игрока И2 было бы выгоднее довести величину $E_2[G(x)]$ до минимума, но это возможно не всегда, так как он не может влиять на вид функции выигрыша и выбор x_0 игроком И1. Тем не менее игрок И2 может в любом случае попытаться так выбрать стратегию $G_0(y)$, чтобы величина $E_2(G)$ не имела единственного максимума, т.е. чтобы ее «кривая» имела плоскую вершину.

Аналогично, если игрок И2 узнал стратегию игрока И1, то он всегда выберет точку y_0, в которой функция $E_1[F(y)]$ минимальная. В этом случае задачей игрока И1 является выбор такой стратегии $F_0(x)$, чтобы функция$E_1[F(y)]$ не имела единственного минимума.

Обозначим $\theta_1 = \{x: E_2[G(x)] = \gamma_1 = const\}$ и $\theta_2 = \{y: E_1[F(y)] = \gamma_2 = const\}$, где γ_1и γ_2 – произвольные действительные числа, причем $V_1 \leq \gamma_1 \leq \gamma_2 \leq V_2$.

Если существует такая пара действительных чисел (γ_1, γ_2) и пара функций распределения (F, G), что одновременно удовлетворяет условия:

$$E_1[F(y)] \begin{cases} = \gamma_1 \text{ при } y = \theta_2, \\ > \gamma_1 \text{при } y \neq \theta_2, \end{cases} \quad (6)$$

$$E_2[G(x)] \begin{cases} = \gamma_2 \text{ при } x = \theta_1, \\ < \gamma_2 \text{при } x \neq \theta_1, \end{cases} \quad (7)$$

тогда функции Fи G будем называть устой живыми (выравнивающими [8, 9, 10]) стратегиями.

Выводы

Вопрос о существовании устойчивых стратегий для функции выигрыша M(x,y) в большинстве случаев информационного противоборства весьма важно. Сама схема похождения устойчивых стратегий оказывается очень полезной во многих задачах и, в частности, в теории игр с выбором момента времени. Для таких игр не требуется определения стратегий, которые обеспечивают нейтрализацию противника. Вместо них можно использовать частично устойчивые стратегии т.е. стратегии, которые обеспечивают игроку устойчивое положение в некотором подинтервале единичного интервала. Следовательно, она позволяет проанализировать и обеспечить действенное противодействие в информационном противоборстве двух сторон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирцхалава Л.Г., Хорошко В.А., Хохлачёва Ю.Е., Шелест М.Е. Информационное противоборство в современных условиях – К: ЦП «Компринт», 2019. – 226с.
2. Грищук Р.В., Каптін І.О., Охрімчук В.В. Технологічні аспекти інформаційного протиборства на сучасному етапі // Загист інформації, 2015, Т.17, №1. – С. 80-86.
3. Хорошко В.О., Іванченко І.С. Інформаційне протиборство в геополітичному просторі // Сучасна спеціальна техніка, 2019, №3 (58). – С. 26-37.
4. Грищук Р.В., Левченко О.В. Аналіз сучасно стану методичного апарату побудови та функціонування систем забезпечення інформаційної безпеки та оборони // Інформаційна безпека, 2018, №3 (31). – С. 5-15.
5. Браіловський М. М., І. С. Іванченко, І. Р. Опірський, В. О. Хорошко Інформаційно-психологічне протиборство в Україні // Безпека інформації. Том 25, № 3 (2019) С.144-149
6. Бурячок В.Л., Гулак Г.М., Толубко В.Б. Інформаційний та кібер простори: проблеми безпеки, методи та засоби боротьби – К: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. – 449с.
7. Блекуэлл Д., Гиршик М. Теория игр и статистических решений. Изд. 2-е – М.: Изд. Иностранной лит., 2008-260с.
8. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. Изд.2 – М: Изд. «Мир»; 2000.-366с.
9. Воробьев Н.Н. Основы теории игр. – М:Изд. Нация, 1984.-496с.
10. Мулен Э. Теория игр – М:Изд. Мир, 1983 – 199с.