

УДК 621.396.669:621.396.965.8

Ю.А. Максименко

Військова академія, вул. Фонтанська дорога, 10, 65009 Одеса, Україна; e-mail: max75-08@mail.ru

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ РАДІОУПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ У ВИПАДКУ ОДНОБІЧНОГО ВІДСЛІДКОВУВАННЯ

Ю.А. Максименко. Визначення оптимальної стратегії радіоуправління технічними засобами у випадку одностороннього відслідковування. На сьогоднішній день актуальною є проблема вибору складної системи радіоуправління технічними засобами в умовах протидії. На новому рівні постає проблема реальності статистичних гарантій забезпечення безперервного керування по радіо. В роботі проведено дослідження можливості оптимізації радіоуправління технічними засобами захисту протидії в час, коли радіосистема, яка управляє технічними засобами, має можливість визначити використані іншою системою засоби протидії, а система, яка створює перешкоди і працює на тій же частоті, такої можливості не має. Це потрібно для подальших робіт з розробки пристроїв управління технічними засобами, більш пристосованих до експлуатації з урахуванням електромагнітної сумісності.

Ключові слова: технічні засоби, система радіоуправління, оптимальні стратегії.

Y.A. Maksymenko. Determination of optimal strategy for radio control of technical facilities in case of unilateral tracking. Today the problem of choosing a complex system of radio control of technical facilities in conditions of counteraction is relevant. There is a new level of the problem of reality of statistical guarantees of uninterrupted radio control. In this paper, the research of opportunities to optimize the radio control of technical facilities of protection of counteraction at the time when radio system which controls the technical facilities can determine the other system's means of countering and the system that creates noise and works on the same frequency cannot. It is needed for further work on the development of devices for the control of technical facilities that are more adapted to be used considering the electromagnetic compatibility.

Keywords: technical facilities, radio control system, the optimal strategy.

Вступ. Специфіка радіоуправління технічними засобами обумовлює необхідність внесення у відомий науково-методичний апарат деяких змін і доповнень, що враховують сучасні умови в ефірі. Це може стосуватися переліку вихідних даних взаємодіючих радіоелектронних засобів, моделей поширення радіосигналів, критеріїв забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС), а також особливостей врахування методів зменшення впливу перешкод.

Ефективність керування багато в чому залежить від вибору й функціонування складної системи радіоуправління технічними засобами в умовах протидії.

На новому рівні формування обліку технічних засобів і технологій повстає проблема реальності статистичних гарантій забезпечення безперервного керування по радіо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із часом кількість електронних засобів неухильно зростає, й до них висувуються усе більш жорсткі вимоги з електромагнітної сумісності. Саме тому ведеться розробка нових методів і засобів боротьби з перешкодами. Надійність і безперебійність управління технічними засобами в Збройних Силах України у цей час у значній мірі визначається здатністю забезпечувати їхню роботу з урахуванням електромагнітної сумісності [1, 2].

Кількість і якість параметрів ЕМС технічних засобів визначається шляхом перевірок на спрацювання виробу, вимірювання параметрів і випробувань на ЕМС. В останні роки вводяться в дію нові вітчизняні стандарти й методи випробувань, що регламентують обсяг сучасних вимог до технічних засобів щодо забезпечення електромагнітної сумісності.

Питання вибору показників, придатних для використання критеріїв ефективності роботи систем, розглянуті в низці робіт [3, 4]. Зі збільшенням радіоперешкод збільшуються вимоги до

DOI 10.15276/opus.2.46.2015.27

© 2015 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

систем з управління технічними засобами. Технічні засоби повинні бути здатними виконувати покладені на них завдання з урахуванням сучасної електромагнітної сумісності, що потребує подальших досліджень.

Метою дослідження є визначення оптимальної стратегії радіоуправління технічними засобами у випадку однобічного відслідковування, тобто коли противник працює на цій же частоті й створює перешкоди, і в цей час повинна спрацювати система з управління технічними засобами. Ці дослідження потрібні для подальших розробок пристроїв з радіоуправління технічними засобами, більш пристосованими до експлуатації з урахуванням електромагнітної сумісності.

Викладення основного матеріалу. У роботі досліджуються можливості оптимізації керування засобами захисту протидії в час, коли радіосистема, яка управляє технічними засобами, S_1 має можливість визначати застосовувані системою S_2 засоби протидії, а система S_2 такої можливості не має. Використовуючи прийняту для ігрової моделі термінологію, 1-й гравець радіозасобом управляє технічними засобами, 2-й гравець працює на цій же частоті й створює перешкоди. У роботі проводиться визначення й аналіз оптимальних стратегій гравців за умови, що тільки 1-й гравець має можливість розпізнавати стратегії, що застосовує 2-й гравець.

Розглянемо визначення оптимальної стратегії керування у випадку однобічного відслідковування.

Дані матриця гри $\|a_{ij}\|_m^n$ множини чистих стратегій 1-го й 2-го гравців $x = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m\}$ і $y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\}$, множини часів однократного застосування чистих стратегій 2-го гравця $T^y = \{T_1^y, T_2^y, \dots, T_j^y, \dots, T_n^y\}$ і множини часу $t^y = \{t_1^y, t_2^y, \dots, t_j^y, \dots, t_n^y\}$, що характеризує можливості 1-го гравця з розпізнавання застосованих 2-м гравцем чистих стратегій зі створення перешкод. 2-й гравець не має можливості пізнавати чисті стратегії 1-го гравця. З розрахунком прийнятої моделі зазначені умови впізнавання гравцями чистих стратегій противника

$$t_j^y > T_j^y \text{ при } j = \overline{1, n} \text{ та } t_i^x > T_i^x \text{ при } i = \overline{1, m}.$$

2-й гравець у загальному випадку реалізує деяку змішану стратегію $H = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_j, \dots, \eta_n\}$.

Після кожної зміни 2-м гравцем чистої стратегії 1-й гравець визначає протягом t_j^y застосовувану стратегію y_j і переходить до такої чистої стратегії x_i , при якій виграш стає так, що дорівнює $\max_i a_{ij}$, тобто максимально створює умови для виконання завдань з радіоуправління технічними засобами. Таку поведінку гравця будемо називати відслідковуванням. Оскільки відслідковування здійснює тільки 1-й гравець, то дану гру будемо називати грою з однобічним відслідковуванням.

Таким чином, ставиться таке завдання. В умовах гри з однобічним відслідковуванням з боку 1-го гравця визначити оптимальну стратегію H^* 2-го гравця, при якій середній за час гри T виграш 1-го гравця буде мінімальним.

Для матриці $\|a_{ij}\|_m^n$ введемо такі обмеження:

- матриця квадратна й $m = n$;
- у кожному стовпці й у кожному рядку є тільки одне значення максимального в стовпці й у рядку виграшу.

Помітимо, що для прямокутних ігор $m \times n$ при $m \neq n$ перше обмеження є наслідком з рішення гри, тому що кількість утворюючих рішень активних стратегій однакова для змішаних стратегій гравців і дорівнює $\min\{m, n\}$.

З урахуванням прийнятих обмежень стратегії гравців можна розташувати так, що максимальні в стовпцях елементи утворюють головну діагональ матриці.

Приклад. Дано матрицю вигляду

	y_1	y_2	y_3
x_1	4	5	6
x_2	8	2	4
x_3	1	7	3

Помінявши місцями 1-й та 2-й рядок, потім 2-й та 3-й стовпці й заново пронумерувавши рядки й стовпці, одержимо матрицю вигляду

	y_1	y_2	y_3
x_1	8	4	2
x_2	4	6	5
x_3	1	3	7

Результати. Введення зазначених обмежень дозволяє спростити надалі запис аналітичних виразів. Для відшукування оптимальної стратегії H^* визначимо середній виграш 1-го гравця, визначимо зміну в ході гри виграшу $a_{ij}(t)$, що є випадковим процесом. В цьому інтервалі виберемо момент t , коли 2-й гравець переходить до стратегії y_j . У цей момент 1-й гравець застосовує одну зі стратегій x_i з імовірністю ξ_i .

Величина t_j^y визначається тільки стратегією y_j і не залежить від того, яку стратегію застосовує 1-й гравець. Оскільки t_j^y при даній стратегії y_j є сталою для всіх стратегій x_i , то середнє значення виграшу 1-го гравця в цьому інтервалі

$$\bar{a}_j = \sum_{i=1}^m \xi_i a_{ij}.$$

За час t_j^y 1-й гравець пізнає стратегію y_j і переходить до стратегії, що забезпечує максимальний у стовпці виграш $\max_i a_{ij}$ в час $(T_j^y - t_j^y)$. За час T_j^y середній виграш

$$\tilde{a}_j = \frac{t_j^y a_j + (T_j^y - t_j^y) \max_i a_{ij}}{T_j^y}.$$

У результаті розподілу на T_j^y середнє значення \tilde{a}_j уже не залежить від часу однократного застосування стратегії y_j , і ймовірність появи такого виграшу дорівнює q_j . У цьому випадку середнє за гру значення виграшу M

$$M = \sum_{j=1}^n q_j \tilde{a}_j.$$

З урахуванням формули переходу від q_j до η_j

$$M = \frac{\sum_{j=1}^m \eta_j T_j^y a_j}{\sum_{j=1}^n \eta_j T_j^y} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \eta_j \xi_i t_j^y a_{ij} + \sum_{j=1}^n (T_j^y - t_j^y) \max_i a_{ij}}{\sum_{j=1}^n \eta_j T_j^y}. \quad (1)$$

Оскільки максимальні в стовпцях виграші розташовані по головній діагоналі матриці й $m=n$, то в результаті відслідкування

$$\max_i a_{ij} = a_{jj}.$$

При переході 2-го гравця до стратегії y_j 1-й гравець через час t_j^y переходить до стратегії $x_{i=j}$ і

$$\xi_{i=j} = \eta_j. \quad (2)$$

Рівність (2) означає, що стратегії з однаковими номерами у 1-го й 2-го гравців мають однакові ймовірності застосування.

Таким чином, при відслідкуванні

$$\eta_j = \xi_i \text{ при } i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

З урахуванням (3) вираз (1) має вигляд

$$M = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \eta_j \eta_i t_j^y a_{ij} + \sum_{j=1}^m \eta_j (T_j^y - t_j^y) a_{jj}}{\sum_{j=1}^m \eta_j T_j^y}. \quad (4)$$

Оптимальною стратегією H^* 2-го гравця є такий набір ненегативних значень η_j , при яких мінімізується значення середнього виграшу M . При цьому

$$\sum_{j=1}^m \eta_j = 1.$$

Задача пошуку H^* відповідно до (4) є завданням нелінійного програмування. При переході до функціонування складної системи вираз (4) дозволяє визначити ефективність системи S_1 в умовах, коли система здійснює аналіз перешкод y_j протягом відрізків часу t_j^y , після аналізу включає оптимальний захист при оптимальних ймовірностях застосування перешкод антисистемою S_2 і при відсутності в системі S_2 інформації про застосування у цей момент системою S_1 захисту.

Рішення й аналіз гри 2×2 з однобічним відслідковуванням. Визначення оптимальної стратегії H^* у грі 2×2 з однобічним відслідковуванням полягає у визначенні таких значень ймовірностей η_1^* і η_2^* застосування 2-м гравцем чистих стратегій y_1 і y_2 , при яких здійснюючий відслідковування 1-й гравець одержує мінімальний середній виграш M .

Оскільки $\eta_2^* = \eta_1^* - 1$, то завдання визначення H^* можна сформулювати у вигляді: необхідно знайти таку ймовірність η_1^* , при якій середній виграш M мінімальний.

Використовуючи (4), вираз для M

$$M = \frac{B\eta_1^2 - (B - T_1 a_{11} + T_2 a_{22})\eta_1 + T_2 a_{22}}{(T_1 - T_2)\eta_1 + T_2}, \quad (5)$$

де $B = B(t_1, t_2) = t_1(a_{11} - a_{21}) + t_2(a_{22} - a_{12})$,

T_1, T_2 — час однократного застосування 2-м гравцем стратегій y_1 і y_2 ;

t_1, t_2 — час визначення 1-м гравцем застосовуваних 2-м гравцем стратегій y_1 і y_2 відповідно.

Різниця $(a_{11} - a_{21})$ і $(a_{22} - a_{12})$ при часі t_1 і t_2 є коефіцієнтами, що враховують ризик 2-го гравця при застосуванні ним стратегій y_1 і y_2 .

Прирівнявши

$$\frac{dM}{d\eta_1} = 0, \quad \#$$

одержимо

$$B(T_1 - T_2)\eta_1^2 + 2BT_2\eta_1 + T_1T_2(a_{11} - a_{21}) - BT_2 = 0.$$

Звідки оптимальна ймовірність застосування стратегії y_1

$$\eta_1^* = \frac{\sqrt{T_1T_2 \left[1 - \frac{(T_1 - T_2)(a_{11} - a_{21})}{B} \right]} - T_2}{T_1 - T_2}.$$

Після підстановки значення η_1^* в (5) і деяких перетворень мінімальний середній виграш 1-го гравця

$$M(\eta_1^*) = M_{\min} = \frac{T_1 a_{11} - T_2 a_{22}}{T_1 - T_2} + 2 \frac{B}{(T_1 - T_2)^2} \sqrt{T_1 T_2 \left(1 - \frac{(T_1 - T_2)(a_{11} - a_{22})}{B} \right) - \frac{T_1 + T_2}{2}} \quad (6)$$

Таким чином, отриманий для η_1^* вираз (6) визначає оптимальну стратегію H^* 2-го гравця, який повинен застосовувати стратегію y_1 з ймовірністю η_1^* і стратегію y_2 з ймовірністю $(1 - \eta_1^*)$. При цьому виграш 1-го гравця радіоуправління технічними засобами є мінімальним і дорівнює M_{\min} .

Висновки:

— Завдання розробки і впровадження нових методів і технічних рішень, які дозволять забезпечити управління по радіо технічними засобами з урахуванням електромагнітної сумісності, є одним з актуальних на сучасному етапі розбудови Збройних Сил України. Можливість визначення рівня шумів і перешкод, які зустрічаються в радіофері, дозволяє ставити завдання побудови моделі технічної системи, оптимальної при експлуатації з урахуванням електромагнітної сумісності.

— Дослідження можливості оптимізації радіоуправління технічними засобами захисту протидії в час, коли радіосистема, яка управляє технічними засобами, має можливість визначати використовувані іншою системою засоби протидії, можуть бути використані в подальших дослідженнях з розробки пристрою для управління технічним засобом, більш пристосованим до експлуатації з урахуванням електромагнітної сумісності.

— Важливим напрямком подальших досліджень роботи систем з управління технічними засобами є здатність виконувати покладені на них завдання з урахуванням сучасної електромагнітної сумісності.

Література

1. Максименко, Ю.А. Вихідні дані методик для визначення структури системи радіоуправління технічними засобами з урахуванням електромагнітної сумісності [Електронний ресурс] / Ю.А. Максименко // Матеріали міжнародної научно-практичної Інтернет-конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві та транспорті 2014», 16-26 грудня 2014 г. — Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/konfer37/575.pdf> (Дата звернення: 10.03.2015).
2. Rybak, T. Automotive electromagnetic compatibility (EMC) / T. Rybak, M. Steffka. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. — 295 p.
3. Макаренко, А.О. Визначення характеристик оптимального прийому в телекомунікаційних радіосистемах / А.О. Макаренко, Г.О. Гринкевич // Системи обробки інформації. — 2014. — Вип. 1(117). — С. 188 — 190.
4. Freeman, R.L. Radio system design for telecommunications / R.L. Freeman. — 3rd Ed. — New York: IEEE, 2007. — 880 p.

References

1. Maksymenko, Y.A. (2014). Initial data of methods for determining the structures of radio control system of technical means considering electromagnetic compatibility. In A.G. Shibaev (Ed.), *Proceedings of International Scientific-Practical Conference "Perspective Innovations in Science, Education, Production and Transport 2014"*. Retrieved from <http://www.sworld.com.ua/konfer37/575.pdf>
2. Rybak, T. and Steffka, M. (2004). *Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC)*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
3. Makarenko, A.A. and Grynkevych, G.A. (2014). Determination of descriptions of providing of optimal reception in telecommunication radios systems. *Information Processing Systems*, 1, 188-190.
4. Freeman, R.L. (2007). *Radio System Design for Telecommunications* (3rd Ed.). New York: IEEE.

Надійшла до редакції 20 березня 2015 р.