

Модель пристрою управління та контролю мобільних радіотехнічних систем

Почерняев В. М.¹, Повхліб В. С.², Зайченко В. В.²

¹Одеська національна академія зв'язку імені О. С. Попова

²Державний заклад “Київський коледж зв'язку”

E-mail: povviktoriya@gmail.com

В статті розглянуто формулювання математичної моделі єдиного пристрою управління і контролю (panel for control and monitoring, РСМ) комбінованих мобільних радіотехнічних систем та її фізична інтерпретація. Модель описує управління як розгалужений процес, функції якого покладено на РСМ, власне модель РСМ, що містить різні за мірами важливості об'єкти, та процес моніторингу стану об'єктів. Визначена фізична інтерпретація вище розглянутих компонентів моделі – управління мобільною радіотехнічною системою здійснюється з виносного пульта, який має в своєму складі генератор ортогональних кусково-неперервних функцій. Отримані результати можуть бути застосовані для комбінованих телекомунікаційних платформ, що поєднують різні типи зв'язку, пристроїв моніторингу об'єктів і стану трас передачі інформації, радіолокаційних систем виявлення, розпізнання, супроводу і наведення. Показано приклад комбінованої телекомунікаційної платформи – мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція.

Ключові слова: математична модель; ортогональні кусково-неперервні функції; мобільні радіотехнічні системи; пристрій управління і контролю

Вступ

Однією з тенденцій розвитку сучасних радіотехнічних систем є створення комбінованих систем. Прагнення отримати дані про об'єкти, що лоціруються з усе більш високою роздільною здатністю за дальністю, кутом місця і азимутом, привели до створення комбінованих радіолокаційних систем (РЛС) НВЧ діапазону з методами оптичної локації. Так з'явилася система ЛАДАР, що представляє собою комбінацію РЛС НВЧ діапазону та оптичного локатора ІЧ діапазону хвиль.

Створення багатфункціональних РЛС, здатних виконувати функції виявлення, точного вимірювання координат, супроводу, уточнення траєкторій руху, розпізнання цілей також можна розглядати як комбіновану радіотехнічну систему.

В області телекомунікацій існує комбінована мобільна радіотехнічна система типу Dart-T [1]. Відзначимо, що в Україні проводиться робота по створенню нової мобільної системи зв'язку — комбінованої цифрової тропосферно-радіорелейної станції [2].

Загальним науково-технічним завданням для таких комбінованих мобільних радіотехнічних систем стала необхідність розробки єдиного пристрою управління і контролю (panel for control and monitoring, РСМ).

1 Постановка задачі

Існує необхідність розробки єдиного РСМ для комбінованих мобільних радіотехнічних систем різного спеціального призначення (радіолокація, зв'язок) з виділенням головного елемента такого пристрою і можливості моніторингу різних об'єктів.

2 Аналіз літератури

Аналіз бібліографічних джерел про системи (пристрої) управління та контролю показав, що найбільш близькими за методом вирішення подібних завдань є дослідження, проведені в [3–7]. Огляд систем керування сучасних мобільних радіотехнічних систем різного призначення [8–17] показав, що в такій постановці сформульована науково-технічна задача з одночасним моделюванням процесів управління та контролю не розв'язувалась.

3 Невирішені питання

Невирішеною частиною загальної науково-технічної задачі є перехід від математичного моделювання її основних складових до їх фізичної реалізації.

4 Мета статті

Метою даної статті є формулювання математичної моделі єдиного РСМ комбінованих мобільних радіотехнічних систем та її фізична інтерпретація.

5 Модель пристрою управління та контролю

5.1 Математичне моделювання управління мобільною радіотехнічною системою як розгалуженим процесом з визначенням функцій пристрою управління та контролю

Перш ніж отримати набір конкретних функцій, які виконує РСМ, побудуємо його модель у відповідності до задачі лінійного програмування [4–6]. Моделюванням охоплені наступні алгоритмічні дії:

- управління як розгалужений процес, функції якого покладено на РСМ;
- власне модель РСМ, що містить різні за мірами важливості об'єкти, серед яких виділяється генератор ортогональних кусково-неперервних функцій;
- процес моніторингу стану об'єктів, на якому базується алгоритм функціонування РСМ.

На РСМ покладається завдання управління та контролю, що за своєю суттю відповідає розгалуженому процесу. В основі моделювання управління системою з пульту покладено орієнтоване граф-дерево з вершинами

$$y_0, y_{i_1}, y_{i_1 i_2}, \dots, y_{i_1 i_2 \dots i_j}, \dots, y_{i_1 i_2 \dots i_m},$$

де $1 \leq i \leq k_j, 1 \leq j \leq m$. Позначимо через $x_{i_1 i_2 \dots i_j}$ дугу графа, що входить в вершину $y_{i_1 i_2 \dots i_j}$ як представлено на рис. 1.

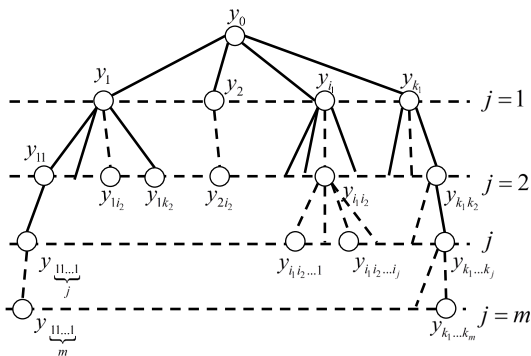


Рис. 1. Граф-дерево управління як розгалуженим процесом

Прийmemo, що кожна з дуг графа Γ є станом деякого динамічного процесу, еволюція якого описується наступним чином

$$x_{i_1 \dots i_j} = f_{i_1 \dots i_j}(x_{i_1 \dots i_j}, v_{i_1 \dots i_j}, t), \quad (1)$$

$$1 \leq i \leq k_j, 1 \leq j \leq m$$

де $\{x_{i_1 \dots i_j}(t)\}, \{f_{i_1 \dots i_j}\}$ — вектор-функції в множині R_n , $\{v_{i_1 \dots i_j}\}$ — вектор-функції в множині R_m , що визначені на інтервалах часу $[t_{i_1 \dots i_{j-1}}, t_{i_1 \dots i_j}]$, $1 \leq i \leq k_j, 1 \leq j \leq m$.

Функції $v_{i_1 \dots i_j}(t), 1 \leq i \leq k_j, 1 \leq j \leq m$ назовемо управліннями.

Сукупність цих динамічних процесів утворює деяку множину, що і є розгалуженим процесом.

Складові множини $x_{i_1 \dots i_j}(t)$ пов'язані між собою обмеженнями типу графа. Моменти закінчення процесу $x_{i_1 \dots i_j}$ позначимо через $t_{i_1 \dots i_j}$. При цьому ці моменти часу $t_{i_1 \dots i_j}$ одночасно є початком процесів $x_{i_1 \dots i_{j+1}}$. Вважаємо, що

$$x_{i_1 \dots i_j}(t_{i_1 \dots i_j}) = \varphi(x_{i_1 \dots i_{j+1}}(t_{i_1 \dots i_j})), \quad (2)$$

для всіх $1 \leq i \leq k_j, 1 \leq j \leq m$, де $\varphi = \varphi(x)$ — задана функція.

Значення векторів $\{x_{i_1 \dots i_j}(t_{i_1 \dots i_j})\}$, а також моменти часу $t_{i_1 \dots i_j}$ вважаються заданими.

Нехай задані початковий і кінцевий стани:

$$x_0(t_0) = a_0, x_{i_1 i_2 \dots i_m}(t_{i_1 \dots i_m}) = a_{i_1 \dots i_m}, a_0, \quad (3)$$

$$a_{i_1 \dots i_m} = const,$$

$$i = 1, 2, \dots, k_m.$$

Вектор-функції $\{x_{i_1 \dots i_j}(t)\}$ визначаються вибором управління $\{v_{i_1 \dots i_j}(t)\}$ так щоб функціонал

$$F(\{x_{i_1 \dots i_j}\} \{u_{i_1 \dots i_j}\} \{t_{i_1 \dots i_j}\}) \quad (4)$$

приймав мінімальне значення.

Управління $\{v_{i_1 \dots i_j}\}$ задовольняють обмеження виду:

$$\Phi(\{v_{i_1 \dots i_j}\} \{t_{i_1 \dots i_j}\}, t) \leq 0, \quad (5)$$

$$t_{i_1 \dots i_{j-1}} \leq t \leq t_{i_1 \dots i_j}.$$

Управління повинні задовольняти наступну умову:

$$v_{i_1 \dots i_j}(t) = \begin{cases} v_{i_1 \dots i_j}(t), & t \in [t_{i_1 \dots i_{j-1}}, t_{i_1 \dots i_j}], \\ 0, & t \notin [t_{i_1 \dots i_{j-1}}, t_{i_1 \dots i_j}]. \end{cases} \quad (6)$$

Завдання про відшукування мінімуму функціоналу (4) при умовах (1) – (3) і (5) є завданням управління розгалуженими процесами, що є основою моделювання роботи РСМ.

До сих пір розглядалося дерево, в якому з кожної вершини $y_{i_1 \dots i_j}$ на рівні j виходить однакова кількість дуг $x_{i_1 \dots i_{j+1}}$. Слід відзначити, що це ніяк не обмежує загальності завдання, оскільки кожне дерево можна доповнити до мінімального описаного вище графа, додаючи нові дуги x_s .

Тобто завдання управління розгалуженими процесами зводиться до завдання управління з параметрами, яке більше використовується на практиці.

Визначимо фізичну інтерпретацію вище розглянутих результатів.

Управління мобільною радіотехнічною системою здійснюється з РСМ у вигляді виносного пульта, який має в своєму складі генератор ортогональних кусково-неперервних функцій.

5.2 Математичне моделювання вибору об'єкта РСМ за мірою важливості з аналізом схем генераторів ортогональних кусково-неперервних функцій

Розглянемо модель побудови міри важливості для об'єктів, які входять до РСМ. Відомо, що різні елементи РСМ несуть різне робоче навантаження. Якщо потрібно впорядкувати елементи за важливістю і приписати число, що визначає важливість таких елементів, то створити таку модель стає вельми важко.

Існує кілька підходів до введення міри важливості. Так, в задачах розпізнавання образів, що задаються набором ознак, важливість ознаки в розпізнаванні може бути задана як монотонна функція від частоти повторів і ступеня виконуваності ознаки на об'єктах системи.

Модель побудови міри важливості ґрунтується на наступних умовах:

- а) міра важливості $P(\Psi_i)$ повинна обчислюватися для складних систем, де Ψ_i — об'єкт системи;
- б) необхідне обґрунтування введення величини $P(\Psi_i)$;
- в) визначення величини $P(\Psi_i)$ має підходити для широкого класу різних систем.

Введення міри важливості при побудові даної моделі засновано на наступному:

1. Задано розподіл РСМ на об'єкти $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n$;
2. Задано множину задач $\{\hat{Z}\}$, яку розв'язує РСМ;
3. Визначена функція $\eta(\hat{z})$, що характеризує важливість задач на множині $\{\hat{Z}\}$;
4. Визначена величина \hat{z} як час рішення задачі \hat{z} системою Ψ ;
5. Для всіх $i, i = 1, 2, \dots, n$ визначена величина $t^i(\hat{z})$ — час розв'язку задачі \hat{z} при видаленні об'єктів Ψ_i з системи Ψ .

Якщо умови (1) – (5) дотримані, то запропонована нами модель дозволяє вводити величини $P(\Psi_i)$ незалежно від виду системи Ψ .

Мірою важливості $P(\Psi_i)$ об'єкту в системі називається величина:

$$P(\Psi_i) = \frac{1}{\{\hat{Z}\}} \int_{\{\hat{z}\}} \eta(\hat{z}) [t^i(\hat{z}) - t(\hat{z})] d\hat{z}. \quad (7)$$

Важливість об'єкту в системі визначається як

$$\min_{i \geq 2} \frac{P(\Psi_i)}{i-1}. \quad (8)$$

Якщо після видалення об'єкту Ψ_i система Ψ стає функціонально неповною, то природно вважати важливість об'єкту Ψ_i нескінченно великою.

Зауважимо, що якщо на об'єкті Ψ_i не реалізується мінімум величини $\frac{P(\Psi_i)}{i-1}$ або цей мінімум реалізується на декількох об'єктах, то важливість елемента Ψ_i дорівнює нулю. Об'єкт Ψ_i має ненульову важливість в тому і тільки тому випадку, коли на ньому і тільки на ньому реалізується мінімум величини $\frac{P(\Psi_i)}{i-1}$. Тут мінімум береться по всім об'єктам Ψ_i , що залежать не менше ніж від двох змінних.

Основною ознакою важливості є неперервність роботи системи управління (величина $t(\hat{z})$ у виразі (7)). Під часом $t(\hat{z})$ розуміється час безпосереднього функціонування всієї системи. Фізично РСМ реалізується виносним пультом, єдиним для всієї мобільної радіотехнічної системи.

З запропонованого математичного опису випливає, що при визначенні найбільш важливого об'єкту, який відповідає умові (8), є генератор ортогональних кусково-неперервних функцій, що формує сигнали відповідно до алгоритму функціонування. Аналіз деяких існуючих рішень проведено в [18].

5.3 Математичне моделювання процесу управління і моніторингу стану об'єктів мобільної радіотехнічної системи

Запропонована модель РСМ передбачає окрім функцій безпосереднього управління об'єктами мобільних радіотехнічних систем наявність моніторингу станів цих об'єктів та стану траси.

В моделі вся множина послідовності дій моніторингу може бути представлена у вигляді кінцевого набору параметричних сімейств аналогічно задачам розпізнавання образів. Для заданої сукупності об'єктів така задача розв'язується одним з чисельних методів.

Нехай задано кінцевий набір об'єктів $Q_i = 1, 2, \dots, m$, що змінюються в часі та описуваних за допомогою набору ознак $\hat{x}_{i1}(t), \dots, \hat{x}_{in}(t), i = 1, 2, \dots, m$, що приймають свої значення з відповідних множин $\hat{X}_1, \dots, \hat{X}_n$ (об'єкти Ψ_i є підмножиною об'єктів Q_i).

Функціонування кожного об'єкта характеризується деякою характеристикою, яка називається ресурсом. Під цим поняттям розуміється степінь відповідності процесу функціонування об'єкта його оптимальному процесу функціонування.

Функціонування об'єктів обмежено деяким часовим відрізком $[t_0, t_k]$.

Зв'яжемо формально з кожним об'єктом Q_i функцію $f_i(t, \tilde{x}_{i1}(t), \dots, \tilde{x}_{in}(t))$, $i = 1, 2, \dots, m$, що характеризує залежність зміни ресурсу об'єкта Q_i від часу.

Запишемо послідовність дій моніторингу у вигляді виконання шести етапів (5 етапів розрахунку оцінок $\Gamma_j^{t_k}(\tilde{L})$ і етап вирішального правила).

Випишемо етапи та можливі способи їх реалізації.

Етап 1. Міра близькості $\tilde{\rho}_{t_k}(L_i, \tilde{L})$ контрольованого стану \tilde{L} до стану L_i в множині ознак $\tilde{X}_1, \dots, \tilde{X}_n$ в момент t_k визначається наступним способом.

Візьмемо $\tilde{\rho}_{t_k}(L_i, \tilde{L})$ як міру близькості вектора ознак $(\tilde{x}_1(t), \dots, \tilde{x}_n(t))$ до вектора ознак $(\tilde{x}_{i1}(t), \dots, \tilde{x}_{in}(t))$.

Етап 2. В якості оцінки стану \tilde{L} за станом L_i в множині, точки якої визначаються значеннями ознак і ресурсу, в момент t_k маємо такі величини:

$$\Gamma_{t_k}(L_i, \tilde{L}) = \tilde{\rho}_{t_k}(L_i, \tilde{L}) + \tilde{\chi}_i |f_i(t_k) - \varphi_i(t_k)|.$$

Параметр $\tilde{\chi}_i$ відображає міру важливості станів і введений для обліку відношень станів один до одного по величинам ресурсу.

Випадок $\Gamma_{t_k}(L_i, \tilde{L}) = \tilde{\rho}_{t_k}(L_i, \tilde{L})$ відповідає відсутності ресурсу.

Етап 3. Оцінка стану \tilde{L} за станом L_i в фіксований момент часу t_s :

$$\Gamma_{t_s}(L_i, \tilde{L}) = \tilde{z}_s \tilde{\Gamma}_{t_s}(L_i, \tilde{L}),$$

де \tilde{z}_s — параметр важливості моменту часу t_s , $0 \leq \tilde{z}_s \leq 1$.

Етап 4. Оцінки стану \tilde{L} за станом L_i на відрізку часу $[t_0, t_k]$ має наступний вигляд:

$$\Gamma_{t_k}(L_i, \tilde{L}) = \sum_{s=0}^k \tilde{\Gamma}_{t_s}(L_i, \tilde{L}).$$

Етап 5. Вирази міри близькості стану \tilde{L} до стану L_i в момент t_k за допомогою оцінки $\Gamma_j^{t_k}(\tilde{L})$ має вигляд:

$$\Gamma_j^{t_k}(\tilde{L}) = \frac{1}{m_j - m_{j-1}} \sum_{i=m_{j-1}}^{m_j} \Gamma_{t_k}(L_i, \tilde{L}).$$

Етап 6. Вирішальне правило задамо наступним виразом:

$$F(\tilde{L}) = \begin{cases} j, & \Gamma_j^{t_k}(\tilde{L}) > \Gamma_i^{t_k}(\tilde{L}), i, j = 1, 2, \dots, m, i \neq j, \\ 0, & i = j. \end{cases}$$

Послідовність дій моделювання моніторингу станів об'єктів, як складової алгоритму функціонування РСМ, закінчено.

Алгоритм функціонування не матиме чітко лінійної структури, оскільки повинні передбачатися варіанти вибору різних об'єктів, їх режимів роботи і паралельно з цим вести моніторинг їх стану та індикацію різних параметрів самої мобільної радіотехнічної системи. Як приклад, такий алгоритм може мати структуру, подібну до представленого в [19].

6 Обговорення та аналіз приведених результатів

Створено математичну модель РСМ мобільної радіотехнічної системи, що містить математичне моделювання: управління як розгалуженим процесом; РСМ з різними за мірами важливості об'єктами; процесу моніторингу стану об'єктів.

Представлено математичну модель управління як розгалуженим процесом, функції якого покладено на виносний пульт мобільної радіотехнічної системи.

Наведено математичну модель РСМ, що містить різні за мірами важливості об'єкти, серед яких найбільшу важливість має генератор ортогональних кусково-неперервних функцій.

Представлено математичну модель процесу моніторингу стану об'єктів, на якій базується алгоритм функціонування РСМ.

Перспективи подальшого розвитку даного дослідження

Актуальність отриманих результатів полягає в можливості їх застосування для перспективних науково-технічних розробок, наприклад:

- комбінованих телекомунікаційних платформ, що поєднують різні типи зв'язку;
- пристроїв моніторингу об'єктів і стану трас передачі інформації;
- радіолокаційних систем виявлення, розпізнання, супроводу і наведення.

Перелік посилань

1. DART-T. Dual-Mode All-Band Relocatable Communications Transport Terminal. NC-BLOS Family of Products [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.raytheon.com>
2. Патент 112217 Україна, С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / В.М. Почерняев, В.С.Повхліб ; заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016. — Бюл. — № 15.

3. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука. – 1975. – 528 с.
4. Моисеев Н.Н. Современное состояние теории исследования операций / Под ред. Н.Н. Моисеева. – М. : Наука, 1979. – 464 с.
5. Данциг Д. Линейное программирование, его обобщения и применения / Д. Данциг. – М. : Прогресс, 1966. – 602 с.
6. Dantzig G. Linear programming. Vol.1. Introduction / G. Dantzig, M. Thapa. – N. Y. : Springer, 1997. – 474 p.
7. Dantzig G. Linear Programming. Vol.2. Theory and extensions / G. Dantzig, M. Thapa. – N. Y. : Springer, 2003. – 448 p.
8. Zou Lin. Development of an automatic test and control system for radar seeker / Lin Zou, Xue-gang Wang // International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012). – 2012. – Xiamen, China. – pp. 894-897.
9. Yuan Lei Error correction method for train speed measurement using Doppler radar in train control system / Lei Yuan, Weihui Zhao, Chenling Li, Datian Zhou // IEEE Eleventh International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS). – 2013. – Mexico City, Mexico. – pp. 1-4.
10. Pölonen K. Control symbol based fluctuating target detection in DVB-T2 passive radar systems / K. Pölonen, V. Koivunen // IEEE Radar Conference (RADAR). – 2013, Ottawa, ON, Canada. – pp. 1-5.
11. Wang Huaiyi. On spectrum sharing between communications and air traffic control radar systems / Huaiyi Wang, Joel Johnson, Chris Baker, Lixin Ye, Chenglin Zhang // IEEE Radar Conference (RadarCon). – 2015, Arlington, VA, USA. – pp. 1545-1550.
12. Madany Yasser M. Investigation and design of smart frequency agility control system using compact CRLH-TL for communication and radar applications / Yasser M. Madany, Hassan M. Elkamchouchi, Bishoy I. Halim // IEEE/ACES International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS) and Applied Computational Electromagnetics (ACES). – 2016, Honolulu, HI, USA. – pp. 1-2.
13. Zhao Jieru. Design on altitude control system of quad rotor based on laser radar / Jieru Zhao, Yang Li, Dada Hu, Zhongcai Pei // IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS). – 2016, Beijing, China. – pp. 105-109.
14. Nalecz Marek. A versatile signal processor and control system for AESA radar / Marek Nalecz, Rafal Rytel-Andrianik, Marek Rupniewski, Krzysztof Kulpa, Jacek Misiurewicz, Zbigniew Czekala, Tadeusz Brenner // IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (PAST). – 2016, Waltham, MA, USA. – pp. 1-7.
15. I. Halim Bishoy. Smart frequency agility control system using compact microstrip CRLH-TL array structure for communication and radar applications / Bishoy I. Halim, Hassan M. Elkamchouchi, Yasser M. Madany // Antennas & Propagation Conference (LAPC). – 2016, Loughborough, UK. – pp. 1-4
16. Zhu Ming. Spatial adaptive integral LOS path following control for an under-actuated stratospheric airship / Ming Zhu, Yangyang Song, Zewei Zheng, Wenjie Lou // 36th Chinese Control Conference (CCC). – 2017, Dalian, China. – pp. 4912-4917
17. Cheng ZengMu. Vehicle Target Recognition System Based on Fuzzy Control for Millimeter Wave Radar / ZengMu Cheng, XinLei Liu, TianYu Qiu // 9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC). – 2017, Hangzhou, China. – pp 175-178.
18. Почерняев В.Н. Управление мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – Т. 34, № 6. – С. 27-32.
19. Повхлеб В.С. Алгоритм функционирования системы управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией / В. С. Повхлеб // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – Т. 53, № 4. – С. 83-91.

References

- [1] HC-BLOS Family of Products (2014) DART-T. Dual-Mode All-Band Relocatable-Communications Transport Terminal. *Raytheon Company*, 4 p.
- [2] Pocherniaiev V.M. and Povkhlil V.S. (2016) *Mobilna tsyfrova troposferno-radioreleina stantsiia* [Mobile digital troposcatter-radiorelay station]. Patent UA112217C2.
- [3] Moiseev N.N. (1975) *Elementy teorii optimal'nykh sistem* [Elements of the theory of optimal systems], Moscow, Nauka, 528 p.
- [4] Moiseev N.N. (1979) *Sovremennoe sostoyanie teorii issledovaniya operatsii* [The current state of the theory of operations research], Moscow, Nauka, 464 p.
- [5] Dantsig D. (1966) *Lineinoe programmirovaniye, ego obobshcheniya i primeneniya* [Linear Programming and Extensions], Moscow, Progress, 602 p.
- [6] Dantzig G. and Thapa N. (2003) *Linear Programming 1: Introduction*, N. Y., Springer, 448 p.
- [7] Dantzig G and Thapa N. (2003) *Linear Programming. Vol.2. Theory and extensions*. N. Y., Springer, 448 p.
- [8] Zou Lin and Wang Xue-gang (2012) Development of an automatic test and control system for radar seeker. *International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence*, IET, pp. 894-897. DOI: 10.1049/cp.2012.1119
- [9] Lei Yuan, Weihui Zhao, Chenling Li and Datian Zhou (2013) Error correction method for train speed measurement using Doppler radar in train control system. *IEEE Eleventh International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS)*, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ISADS.2013.6513429
- [10] Keijo Pölonen and Visa Koivunen. (2013) Control symbol based fluctuating target detection in DVB-T2 passive radar systems. *IEEE Radar Conference (RADAR)*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/RADAR.2013.6586076
- [11] Huaiyi Wang, Joel Johnson, Chris Baker, Lixin Ye and Chenglin Zhang (2015) On spectrum sharing between communications and air traffic control radar systems. *IEEE Radar Conference (RadarCon)*, pp. 1545-1550. DOI: 10.1109/RADAR.2015.7131242

- [12] Madany Y. M., Elkamchouchi H. M. and Halim B. I. (2016) Investigation and design of smart frequency agility control system using compact CRLH-TL for communication and radar applications. *IEEE/ACES International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS) and Applied Computational Electromagnetics (ACES)*, pp. 1-2. DOI: 10.1109/ROPACES.2016.7465335
- [13] Jieru Zhao, Yang Li, Dada Hu and Zhongcai Pei (2016) Design on altitude control system of quad rotor based on laser radar. *IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)*, pp. 105-109. DOI: 10.1109/AUS.2016.7748029
- [14] Nalecz M., Rytel-Andrianik R., Rupniewski M., Kulpa K., Misiurewicz J., Czekala Z. and Brenner T. (2016) A versatile signal processor and control system for AESA radar. *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (PAST)*, pp. 1-7. DOI: 10.1109/ARRAY.2016.7899234
- [15] Halim B. I., Elkamchouchi H. M. and Madany Y. M. (2016) Smart frequency agility control system using compact microstrip CRLH-TL array structure for communication and radar applications. *Antennas & Propagation Conference (LAPC)*, pp. 1-4. DOI: 10.1109/LAPC.2016.7807536
- [16] Ming Zhu, Yangyang Song, Zewei Zheng and Wenjie Lou (2017) Spatial adaptive integral LOS path following control for an under-actuated stratospheric airship. *36th Chinese Control Conference (CCC)*, pp. 4912-4917. DOI: 10.23919/ChiCC.2017.8028130
- [17] ZengMu Cheng, XinLei Liu and TianYu Qiu (2017) Vehicle Target Recognition System Based on Fuzzy Control for Millimeter Wave Radar. *9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, pp. 175-178. DOI: 10.1109/IHMSC.2017.46
- [18] Pochernyaev V.N. and Povhlib V.S. (2014) Upravlenie mobil'noi tsifrovoi troposferno-radioreleinoi stantsiei [Scientific proceeding of Ukrainian research institute of communication], *Naukovi zapysky Ukrainskoho naukovo-doslidnoho instytutu zv'iazku*, Vol. 34, No 6, pp. 27-32.
- [19] Povhlib V.S. (2016) Algoritm funktsionirovaniya sistemy upravleniya mobil'noi tsifrovoi troposferno-radioreleinoi stantsiei [The algorithm of functioning for the control system of mobile digital troposcatter-radiorelay station], *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnologii*, Vol. 53, No 4, pp. 83-91.

Модель устройства управления и контроля мобильных радиотехнических систем

Почерняев В. Н., Повхлеб В. С., Зайченко В. В.

В статье сформулирована математическая модель единого устройства управления и контроля (УУК) комбинированных мобильных радиотехнических систем и

ее физическая интерпретация. Модель описывает управление как разветвленный процесс, функции которого возложены на УУК, собственно модель УУК, содержащего разные по мерам важности объекты, и процесс мониторинга состояния объектов. Определена физическая интерпретация выше рассмотренных компонентов модели – управление мобильной радиотехнической системой осуществляется с выносного пульта, который имеет в своем составе генератор ортогональных кусочно-непрерывных функций. Полученные результаты могут быть использованы для комбинированных телекоммуникационных платформ, объединяющих различные типы связи, устройств мониторинга объектов и состояния трасс передачи информации, радиолокационных систем обнаружения, распознавания, сопровождения и наведения. Показан пример комбинированной телекоммуникационной платформы – мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция.

Ключевые слова: математическая модель; ортогональные кусочно-непрерывные функции; мобильные радиотехнические системы; устройство управления и контроля

Model of the management and control device for mobile radio systems

Pochernyaev V. N., Povhlib V. S., Zaichenko V. V.

The article presents a mathematical model of a common panel for control and monitoring (PCM) of combined mobile radio engineering systems and its physical interpretation. The model describes management as a ramified process, the functions of which are entrusted on the PCM, the actual model of the PCM containing objects of different importance, among which the generator of orthogonal piecewise-continuous functions is distinguished, process of monitoring the state of objects. The physical interpretation of the above components of the model is determined. It involves the management of a mobile radio engineering system carried out from a remote control, which has in its composition a generator of orthogonal piecewise-continuous functions. The obtained results can be used for telecommunication platforms, which combined various types of communication, devices for monitoring objects and the state of data transmission paths, radar systems of detection, recognition, tracking and guidance. An example of a combined telecommunication platform is shown mobile digital troposcatter-radiorelay station.

Key words: mathematical model; orthogonal piecewise-continuous functions; mobile radio engineering systems; panel for control and monitoring