

Ідентифікація джерел радіовипромінювання на основі аналізу параметрів сигналів

Пантєєв Р. Л.^{а1}

^а Київський інститут бізнесу та технологій, Україна

Анотація

Стаття присвячена створенню єдиного портрета джерела радіовипромінювання та способів його ідентифікації. Відомо, що для виявлення, ідентифікації та визначення місця розташування джерел радіовипромінювання застосовуються засоби радіомоніторингу. При цьому одним із важливих питань, що вирішується системою радіомоніторингу, є прийом та ідентифікація сигналу в радіоефірі. З метою ідентифікації розглянуті питання класифікації основних параметрів джерел радіовипромінювання, наведено класифікацію видів модуляції і основні параметри їх типів. У свою чергу, структуру сигналу дозволяють визначити автокореляційний та кореляційний методи. Автокореляція використовується для визначення таких параметрів сигналу, як тривалість повідомлення, тривалість блоку даних. Кореляція дозволяє ідентифікувати конкретний сигнал з наявного набору. Для виявлення джерела радіовипромінювання розроблено два узагальнених алгоритми: алгоритм розпізнавання виду джерела радіовипромінювання з невідомими параметрами та алгоритм ідентифікації джерела випромінювання за заданими параметрами. Наведені результати моделювання алгоритму розпізнавання джерела радіовипромінювання з заданими параметрами. Як заданий сигнал використовувалася сигнатура з лінійно-частотною модуляцією. Результатом роботи алгоритму моделювання є єдиний екстремум при повній відповідності сигналів; при розбіжності сигналів ширина екстремуму збільшується, що свідчить про розбіжності у параметрах сигналів. Алгоритм такого виду можна застосовувати для пошуку заданого виду сигналу, що дозволяє збільшити швидкість аналізу смуги і точність виявлення. Доведено, що для збільшення точності виявлення необхідно використовувати комбінацію вищезазначених двох алгоритмів з додатковою цифровою обробкою сигналів, що має привести до збільшення точності визначення виду сигналу і більш швидкому знаходженню параметрів джерела радіовипромінювання.

Ключові слова: алгоритм розпізнавання; обробка сигналів; виявлення; кореляційні методи; модуляція сигналів.

Radio sources identification based on signal parameter analysis

Panteyev R.^a

^a Kiev Institute of Business and Technology, Ukraine

Abstract

The article is devoted to the creation of a single portrait of a radio source and methods of its identification. It is known that radio monitoring means are used to detect, identify and locate radio sources. One of the important issues addressed by the radio monitoring system is the reception and identification of the signal. For the identification purpose the classification questions of the radio sources basic parameters are considered, the modulation types classification and the basic parameters of their types are given. The signal structure allows to determine the autocorrelation and correlation methods. Autocorrelation is used to determine such signal parameters as message duration, data block duration. Correlation allows to identify a specific signal from an existing set. To generate a radio source, two generalized algorithms have been developed: an algorithm for recognizing the type of radio source with unknown parameters and an algorithm for identifying a radiation source according to given parameters. The results of modeling the algorithm for recognizing a radio source with the given parameters are presented. A signature with linear-frequency modulation was used as a given signal. The result of the simulation algorithm is a single extremum with full signal matching; when the signals differ, the extremum width increases, which indicates differences in the signal parameters. An algorithm of this type can be used to search for a given type of signal, which increases the band analysis speed and detection accuracy. It is proved that to increase the detection accuracy it is necessary to use a combination of the above two algorithms with additional digital signal processing, which should increase the accuracy of determining the type of signal and faster finding the parameters of the radio source.

Keywords: recognition algorithm; signal processing; detection; correlation methods; signal modulation.

¹ Corresponding author.
E-mail address: romanpanteevmail@gmail.com

Вступ

Сучасний радіоєфір насичений найрізноманітнішим випромінюванням: від ручного телеграфу до складних, мінливих в часі радіосигналів з цифровою модуляцією і кодуванням, виявити параметри яких не завжди можливо. Для виявлення, ідентифікації та визначення місця розташування джерела радіовипромінювання (ДРВ) в зоні покриття використовуються засоби радіомоніторингу. Одним з важливих завдань, що вирішуються системою радіомоніторингу, є прийом (перехоплення) переданих повідомлень в радіоєфірі.

На рис. 1 показана структурна модель системи сигнатурного детектування ДРВ (Kokotovic та ін., 1968).

В даний час найбільше застосування радіомоніторингу знаходять панорамні ЦРПП (цифрові радіоприймальні пристрої), що представляють поєднання перетворювачів радіосигналів з фіксованою проміжною частотою і блоку аналого-цифрової обробки, що забезпечує паралельну обробку сигналів в смузі одночасного аналізу з необхідним частотним дозволом (Pearson, 1969). У зв'язку з цим існує необхідність в створенні одиничного портрета ДРВ і способів ідентифікації даного випромінювання.

Метою дослідження є створення одиничного портрета джерела радіовипромінювання та способів ідентифікації. Для виявлення, ідентифікації та визначення місця розташування ДРВ в зоні покриття використовуються засоби радіомоніторингу (Holsapple, 2008). Одним з важливих завдань, що вирішуються системою радіомоніторингу, є прийом (перехоплення) переданих повідомлень в радіоєфірі і ідентифікація сигналу.

Матеріали і методи

У загальному вигляді будь-який радіосигнал, що приймається пристроєм радіомоніторингу, можна представити у часовій області як (Ciric, 1969)

$$u(\tau) = U(\tau) \cos(\omega(\tau)\tau + \varphi(\tau)) + \eta(\tau)$$

де $U(\tau)$, $\omega(\tau)$, $\varphi(\tau)$ – функції, що визначають закон зміни сигналу за амплітудою, частотою та фазою відповідно; $\eta(\tau)$ – шумова складова.

У залежності від виду модулюючого сигналу, сигналу, який модулюють, па Рішення задачі визначення модуляційної структури сигналу є використання методів статистичної теорії розпізнавання образів. Постановка завдання розпізнавання передбачає вибір ознак розпізнавання, визначення їх статистичних характеристик, формування еталонних описів класів, що розпізнаються, вибір вирішального правила віднесення контрольної вибірки та способів оцінювання помилок розпізнавання (Гамма та ін., 1995/2001).

У класичній постановці завдання розпізнавання (Буч, 1999) формулюється як задача віднесення деякої контрольної вибірки ознак розпізнавання $\{x_i\}$, $i=1, \dots, N$ до одного з описуваних класів $S_1, \dots, S_n$. При цьому відомі методи розпізнавання відрізняються в основному способами опису $S_1, \dots, S_n$.

В даний час досить добре вивчена задача розпізнавання для повністю описаних класів, коли вони однозначно визначаються функціями розподілу $Z(x)=Z(x|S_i)$, або функціями щільності ймовірності $v(x|S_i)=dZ(x|S_i)/dx$ і апіорними ймовірностями їх появи p_i (Tanenbaum, 2009). Однак для проведення технічного аналізу модуляційної структури сигналів систем радіозв'язку використання класичних методів оптимальної оцінки параметрів і статистичної теорії розпізнавання образів малоефективно. Вимога оперативності настройки обробної апаратури обумовлює необхідність розробки спеціальних методів визначення модуляційних параметрів по неклаसифікованій вибірці фіксованого обсягу (Truong et al., 2020), тому практичний інтерес представляє розробка більш простого та ефективного методу визначення модуляції (Ашихмин та ін., 2002; Онишук, 2006; Алешин та ін., 2006).

Структуру сигналу дозволяють визначити автокореляційний та кореляційний методи. У першому методі досліджуваний сигнал множить на зсунути за часом його копії, у дру-



Рис. 1. Структурна модель системи сигнатурного детектування ДРВ.

Таблиця 1.

Класифікація видів модуляцій.

!	Тип!модуляції!		
	Аналогова!	Імпульсна!	Цифрова!
За модулюючим сигналом	Аналоговий	Аналоговий або дискретний	Дискретний
За несучою частотою	Аналогова	Дискретна	Аналогова
За видом модуляції	АМ (амплітудна) ЧМ (частотна) ФМ (фазова) ЛЧМ (лінійно-частотна)	АІМ (амплітудо-імпульсна) ШІМ (широтно-імпульсна) ФІМ (фазо-імпульсна)	АМн (амплітудна маніпуляція) ЧМн (частотна маніпуляція) ФМн (фазова маніпуляція)

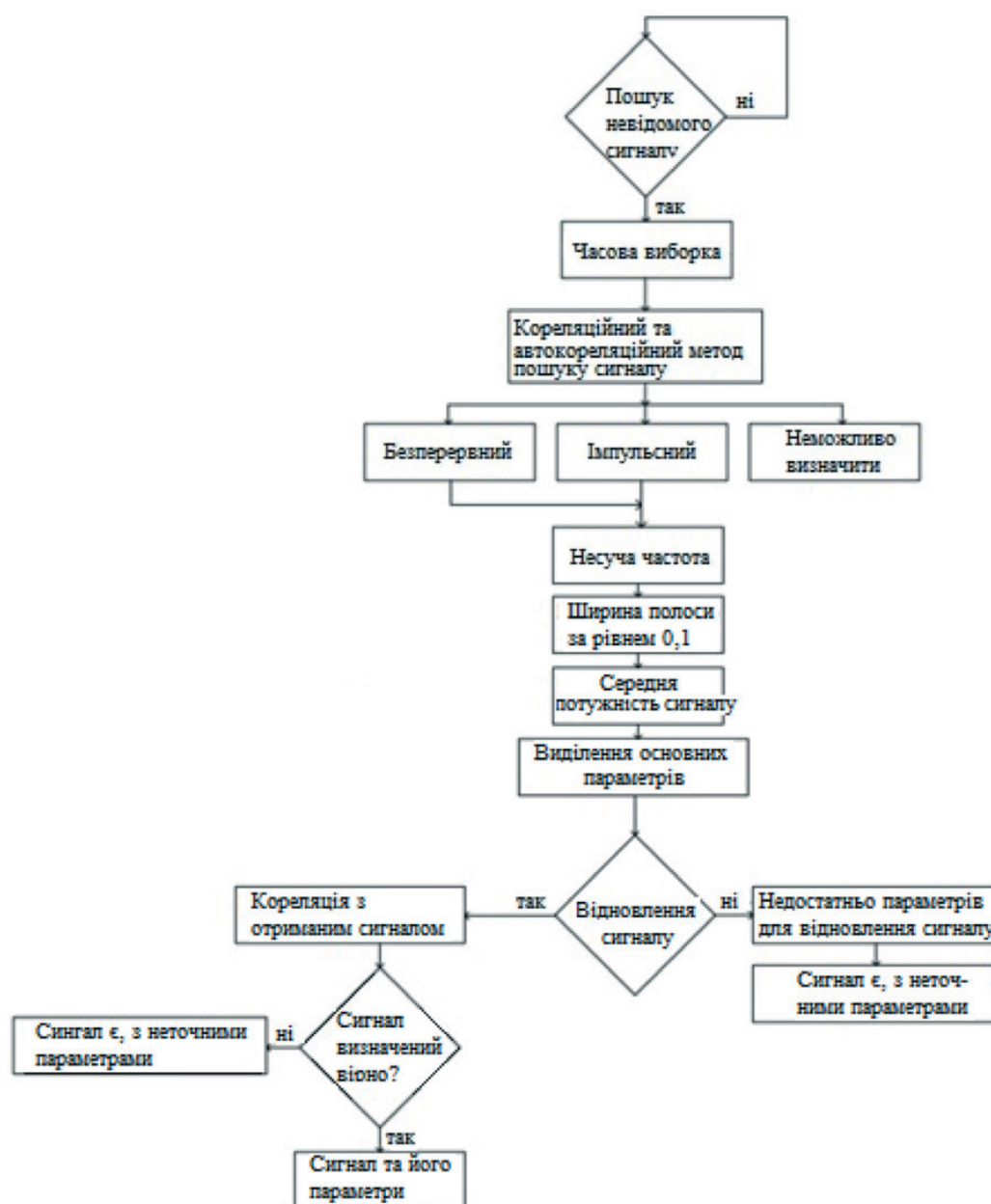


Рис. 2. Алгоритм ідентифікації ДРВ при невідомих параметрах сигналу.

гому – реалізується перемноження сигналу з рядом опорних коливань з тим чи іншим видом модуляції при різних параметрах модуляції. Автокореляція використовується для визначення таких параметрів сигналу, як тривалість посилки, тривалість блоку даних (Hasiija et al., 2020). Кореляція дозволяє ідентифікувати конкретний сигнал з наявного набору і, зокрема, визначити наявність синхро- або пілот-послідовностей (Акимов, 1994).

Найбільш наочно виявлення типу модуляції на основі векторного представлення сигналів. Під векторним представленням розуміють відображення миттєвої амплітуди і фази сигналу на комплексній площині (Федоров, 2003/2020). Для кожного типу модуляції (аналогової, імпульсної, цифрової) можна виділити основний ряд параметрів, які характеризують сигнали у даному типі модуляції.

Алгоритм ідентифікації ДРВ за невідомими параметрами. При ідентифікації сигналу з ефі-

ру можна виділити два узагальнених алгоритму розпізнавання невідомого сигналу: ідентифікація ДРВ з невідомими параметрами і з заданим(и) параметром(ами). На рис. 2 наведено алгоритм ідентифікації ДРВ при невідомих параметрах сигналу (Рембовский та ін., 2006/2017; Бабиченко, 2009).

Відповідно до наведеного на рис. 2 алгоритму відбувається сканування радіоефіру у всій частотній області радіоприймального пристрою та проводиться аналіз часової вибірки на заданій частоті. Первинним завданням алгоритму є визначення частоти сигналу, займаної смуги і виду модуляції. Імовірну структуру сигналу дозволяє визначити кореляційний і автокореляційний методи. Якщо сигнал присутній, то проводиться аналіз тимчасової вибірки на основі швидкого перетворення Фур'є. На основі отриманих даних визначаються ширина смуги за рівнем $0,1P_{\text{норм}}$ та середня потужність сигналу (Васин та ін., 2005/2017). Далі алгоритм шляхом



Рис. 3. Алгоритм ідентифікації ДРВ за заданими параметрами.

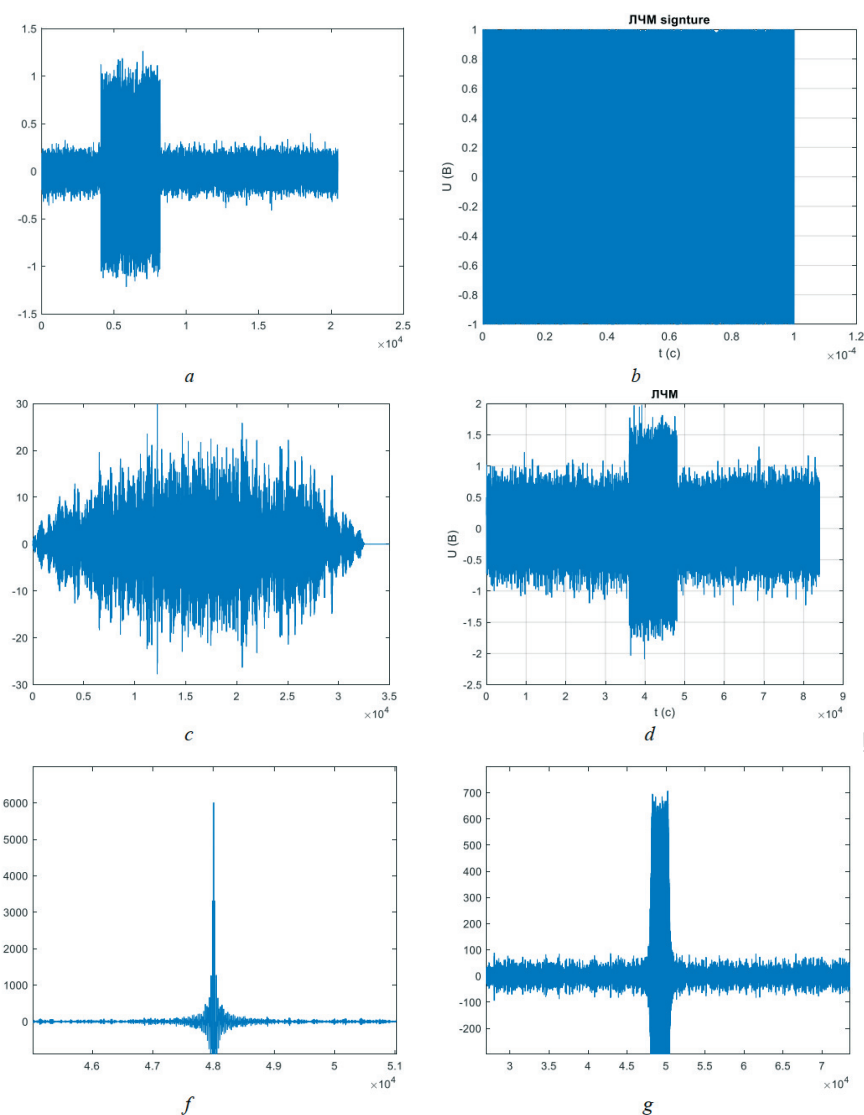


Рис. 4. Принцип роботи алгоритму ідентифікації ДРВ ха заданими параметрами: *a* – зашумлений АМ сигнал; *b* – сигнатура ЛЧМ сигналу; *c* – результат блоку порівняння прийнятого АМ сигналу з сигнатурою ЛЧМ; *d* – зашумлений ЛЧМ сигнал з такими ж параметрами як ЛЧМ сигнатура; *e* – результат блоку порівняння ЛЧМ прийнятого сигналу з сигнатурою ЛЧМ (при однакових параметрах сигналу); *f* – результат блоку порівняння ЛЧМ прийнятого сигналу з сигнатурою ЛЧМ (при збільшенні девіації частоти).

перебору визначає вид модуляції і основні параметри, після чого на основі отриманих даних формується структура з найбільш імовірним видом модуляції і параметри сигналу. На основі даної структури алгоритм формує сигнал, який порівнюється з отриманим сигналом, в результаті чого здійснюється вивід інформації про наявність сигналу та його вигляд.

Алгоритм ідентифікації джерела випромінювання за заданими параметрами. Наведений на рис. 2 алгоритм має досить багато недоліків внаслідок того, що використовує метод перебору всіх видів модуляції, що, у свою чергу,

може привести до помилкового спрацювання. При відсутності знань про параметри сигналу, який шукається, даний метод не здатний точно визначити сигнал (Фомин и Тарловский, 1986). Тому пропонується алгоритм, заснований на використанні сигнатурного детектування сигналу (рис. 3). Ідея даного алгоритму полягає в тому, що сигнал, що приймається, порівнюється в блоці порівняння з сигнатурами, занесеними в пам'ять пристрою, або з сигналом із заданими параметрами, який формується за допомогою цього пристрою за допомогою оператора. Далі обчислювальний пристрій визначає, чи відпо-

відає сигнал сигнатурі або сигналу з заданими властивостями, або ні.

Результати

Якщо в якості сигнатури використовувати сигнал з лінійно-частотною модуляцією (ЛЧМ сигнал) з певними параметрами і приймати такий же ЛЧМ сигнал, але з шумом, то в блоці порівняння сигналів буде отримано один вузький екстремум. При зміні параметра(ів) сигналу екстремум буде розширюватися, що свідчить про відхилення параметрів прийнятого ЛЧМ сигналу від параметрів сигнатури. При прийомі іншого виду сигналу на виході порівняльного блоку буде шум, що свідчить про несхожість сигналів (рис. 4).

Головним недоліком даного алгоритму є необхідність вдосконалення бази сигналів та складність їх кодування, що призводить до постійного оновлення бази даних пристрою пошуку сигналів.

Обговорення та висновок

У статті розглянуті питання, пов'язані з визначенням видів і параметрів модуляції. Розроблено два алгоритми розпізнавання сигналів. Метод з використанням сигнатур збільшує швидкість аналізу смуги радіочастот, що сканується, має високу точність виявлення сигналу та малу ймовірність спрацювання на помилковий сигнал. Даний метод можна застосовувати в комплексі з розвідувальними пристроями для виявлення ДРВ із заданими параметрами. Для ефективної ідентифікації ДРВ рекомендовано використовувати комбінацію наведених алгоритмів разом із додатковою цифровою обробкою сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Акимов П.С., Сенин А.И., Соленин В.И. (1994) Сигналы и их обработка в информационных системах : Учеб. пособие для вузов по направлению и спец. «Радиотехника». Москва. Радио и связь. 256 с. ISBN 5-256-00414-X
- Алешин Б.С., Афонин А.А., Веремеенко К.К. и др. (2006) Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. М.: Физматлит. 424 с.
- Ашихмин А. В., Виноградов А.В., Рембовский А.М. (2002) Принципы построения современных радиопеленгаторов. Вedomственные корпоративные сети и системы. 2. С. 80-85.
- Бабиченко А. В. (2009) Прикладные методы обработки информации и моделирования при проектировании информационно-управляющих комплексов высокоманевренных летательных аппаратов. Текст диссерт. М.: МДТУ им. Баумана.
- Буч Г. (1999) Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ - М.: «Бином», СПб: «Невский диалект». 560 с.
- Васин В. А., Калмыков В.В., Себекин Ю.Н. и др. (2005/ 2017) Радиосистемы передачи информации: Учеб пособие для вузов. Под ред. И.Б. Федорова и В.В. Калмыкова. М.: «Горячая линия-Телеком».
- Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влассидес Дж. (1995/2001) Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб: Питер. 368 с.
- Онищук А.Г., Хабеньков И.И., Амелин А.М. (2006) Радиоприемные устройства. Минск: Новое знание. 240 с.
- Рембовский А. М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. (2006/2017) Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М.: «Горячая линия-Телеком».
- Федоров, И. Б. (2003/2020) Информационные технологии в радиотехнических системах : учеб. пособие / под ред. И. Б. Федорова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
- Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. (1986) Статистическая теория распознавания образов. М. Радио и связь. 264 с.
- Booch, G. & Rumbaugh, J. & Jacobson, I. (1999). Unified Modeling Language User Guide, The (2nd Edition) (Addison-Wesley Object Technology Series). J. Database Manag.. 10.
- Ciric V. (1969) Design of Minimum Sensitivity Control Systems. Diss., Rice University. <https://hdl.handle.net/1911/14501>
- Hasija T., Marrinan T., Lameiro C., Schreier P.J. (2020) Determining the dimension and structure of the subspace correlated across multiple data sets, Signal Processing, Volume 176, 107613, ISSN 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107613>
- Holsapple C. (2008) Decisions and Knowledge. In: Handbook on Decision Support Systems 1. International Handbooks Information System. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5_2
- Kokotovic P., Cruz J. B. Jr., Heller J. E. and Sannuti P. (1968) Synthesis of Optimally Sensitive Systems. Proc. IEEE, vol. 56, № 8. 1318-1324
- Pearson J. B. (1969) Compensator Design for Dynamic Optimization. International Journal of Control, vol. 9, № 4. 473-482. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207176908905769>
- Tanenbaum A. S. (2009) Modern operating systems, 3rd Edition. Pearson Prentice-Hall, ISBN 0138134596
- Truong C., Oudre L., Vayatis N. (2020) Selective review of offline change point detection methods, Signal Processing, Volume 167, 107299, ISSN 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2019.107299>

REFERENCES

- Akimov P.S., Senin A.I., Solenov V.I. (1994) Signals and their processing in information systems: Textbook. manual for universities in the direction and special. «Radio engineering». Moscow. Radio and communication. 256 p. ISBN 5-256-00414-X
- Alyoshin B.S., Aфонin A.A., Veremeenko K.K. et al. (2006) Orientation and navigation of mobile objects: modern information technology. Moscow: Fizmatlit
- Ashikhmin A.V., Vinogradov A.V., Rembovsky A.M. (2002) Principles of construction of modern radio direction finders. Departmental corporate networks and systems. 2. 80-85.
- Babichenko A.V. (2009) Applied methods of information processing and modeling in the design of information and control complexes of highly maneuverable aircraft. Dissertation text. М.: МДТУ им. Бауман.
- Booch G. (1999) Object-oriented analysis and design with examples of applications in C ++ - М.: «Binom», St. Petersburg: «Nevsky dialect». 560

- Booch, G. & Rumbaugh, J. & Jacobson, I. (1999). Unified Modeling Language User Guide, The (2nd Edition) (Addison-Wesley Object Technology Series). J. Database Manag., 10.
- Ciric V. (1969) Design of Minimum Sensitivity Control Systems. Diss., Rice University. <https://hdl.handle.net/1911/14501>
- Fedorov, I.B. (2003/2020) Information technologies in radio engineering systems: textbook. manual / ed. I. B. Fedorova. Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E.Bauman.
- Fomin Ya. A. (2019) Statistical theory of pattern recognition. M.: MSTU im. Bauman.
- Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J., Booch G. (1995/2001) Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software. SPb: Piter.
- Hasija T., Marrinan T., Lameiro C., Schreier P.J. (2020) Determining the dimension and structure of the subspace correlated across multiple data sets, Signal Processing, Volume 176, 107613, ISSN 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107613>
- Holsapple C. (2008) Decisions and Knowledge. In: Handbook on Decision Support Systems 1. International Handbooks Information System. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5_2
- Kokotovic P., Cruz J. B. Jr., Heller J. E. and Sannuti P. (1968) Synthesis of Optimally Sensitive Systems. Proc. IEEE, vol. 56, № 8. 1318-1324
- Onischuk A.G., Khabenkov I.I., Amelin A.M. (2006) Radio receivers. Minsk: New knowledge.
- Pearson J. B. (1969) Compensator Design for Dynamic Optimization. International Journal of Control, vol. 9, № 4. 473-482. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207176908905769>
- Rembovsky A.M., Ashikhmin A.V., Kozmin V.A. (2006/2017) Radiomonitoring: tasks, methods, means. M.: «Hot line-Telecom».
- Tanenbaum A. S. (2009) Modern operating systems, 3rd Edition. Pearson Prentice-Hall, ISBN 0138134596
- Truong C., Oudre L., Vayatis N. (2020) Selective review of offline change point detection methods, Signal Processing, Volume 167, 107299, ISSN 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2019.107299>
- Vasin V.A., Kalmykov V.V., Sebekin Yu.N. et al. (2005/2017) Radio systems for transmitting information: Textbook for universities. Ed. I.B. Fedorov and V.V. Kalmykov. M.: «Hot line-Telecom».