

УДК 004.934:681.391

DOI: 10.18372/2310-5461.37.12372

О. К. Юдін, д-р техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-5098-7796
e-mail: kszi@ukr.net;

О. М. Весельська
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4914-2187
e-mail: olga_veselskaya@ukr.net

ПРОСТОРОВО-ПІКСЕЛЬНИЙ МЕТОД ЦИФРОВОЇ СТЕГANOГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ТАЄМНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ

Вступ

Розвиток науково технічного прогресу в інформаційних технологіях довів до повсюдного поширення інформаційно-комп'ютеризованих засобів, а відповідно і каналів витоку інформації, від якої залежить безпека підприємства держави. Це може бути не тільки державна таємниця, але і промислові, комерційні, фінансові таємні дані, що розширюють можливості несанкціонованих дій над інформацією. Як зазначено в термінології в галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу, інформація, що потребує захисту; будь-яка інформація, втрата або неправильне використання якої (модифікація, ознайомлення) може нанести шкоду власникові інформації або АС, або будь-якій іншій фізичній (юридичній) особі чи групі осіб — називається *критичною інформацією* [1]. До різновиду критичної інформації можна віднести і таємне повідомлення, що скрите в статичному цифровому зображенні (ЦЗ).

Метою статті — розробка *просторово-пиксельного стеганографічного методу* з метою збільшення обсягу вбудованої інформації в контейнері, та спрощення вилучення вбудованої інформації за допомогою просторової фільтрації.

Аналіз

Стеганографічні методи дозволяють таємно передавати інформацію у відкритих каналах зв'язку та комп'ютерних мережах, непомітно для системи людського ока, вбудовуючи її у цифрові зображення і, таким чином, приховуючи сам факт її існування. Така інформація називається *таємним повідомленням* (ТП). Вбудовується ТП в початкове цифрове зображення-контейнер, або одночасно з здійсненням стиснення зображення, або в уже стиснуте будь-яким алгоритмом. На сьогодні існує широкий спектр різних стегано-

рафічних методів. Залежно від основних вимог до передачі інформації визначається тип контейнера та метод вбудовування, що в свою чергу, дає оптимальне співвідношення між розміром контейнера, повідомленням та психовізуальним сприйняттям стегоконтейнера. Для більшості сучасних методів, використовуваних для приховання повідомлення в цифрових контейнерах, має місце експоненційна залежність надійності системи від обсягу вбудованих даних. Дана залежність показує, що при збільшенні обсягу вбудованих даних знижується надійність системи (при незмінності розміру контейнера). Таким чином, використовуваний в стегосистемі контейнер накладає обмеження на розмір вбудованих даних [2]. Існуючі методи стеганографії вбудовують ТП в просторову область ЦЗ, або, після відповідних перетворень, в частотну область ЦЗ. Найчастіше використовують метод найменших значущих бітів (НЗБ). Переваги таких методів є простота реалізації і велика місткість, розмір вбудованого в ЦЗ ТП може досягати 37,5 % від розміру ЦЗ-контейнера. Недоліки таких методів такі: вони є нестійкими до більшості видів атак. ТП легко зруйнувати при стисненні ЦЗ. Також просторові стегоалгоритми не забезпечують таємність вбудованої ТП[3]. Тому проблема вбудовування великих обсягів повідомлення в контейнері зображення зі зберіганням одночасно надійності стегосистеми є актуальною.

Основна частина

Як контейнер для вбудовування ТП беремо ЦЗ формату BMP. Представимо ЦЗ у матричному вигляді RGB моделі. Значення інтенсивностей пікселів змінюються від 0 (чорний колір) до 255 (білий колір). Залежно від того, яка комбінація інтенсивностей пікселів у R, G в кольорних компонентах ЦЗ має різні кольори.

Вбудувати ТП будемо в синю компоненту (В), оскільки візуально зміни, внесені в синю компоненту не так помітні, як у червону (R) і зелену (G) [4].

Таємну інформацію, або таємне повідомлення подаємо у бінарному вигляді.

Розроблений просторово-піксельний стеганографічний метод (ППМ) вбудовування ТП в ЦЗ, полягає в зміні інтенсивностей пікселів цифрового зображення, залежно від координат функцій, за якою обирається конкретний піксель і умови вбудовування ТП. Послідовність процесу реалізації ППМ подано на рис. 1.

С - Початкове оригінальне ЦЗ

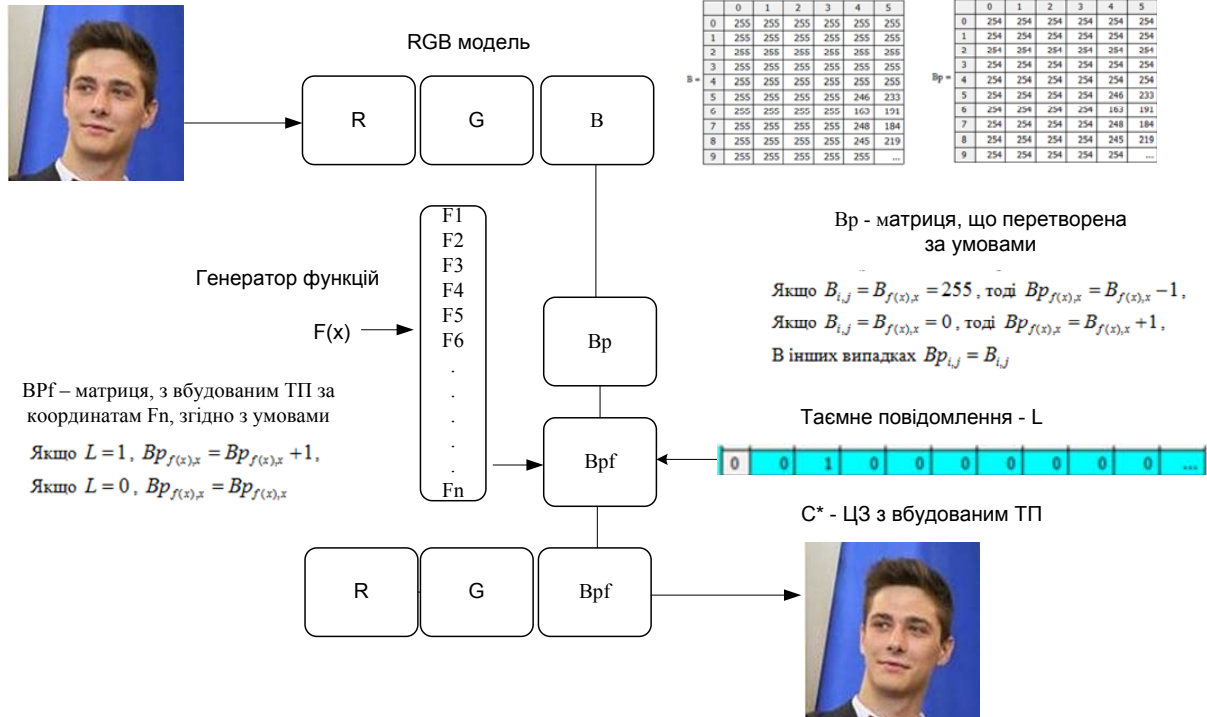


Рис. 1. Процес вбудовування ТП в ЦЗ за просторово-піксельним методом

1. Початкове ЦЗ $C(i, j)$ переводимо в кольірну модель RGB, далі працюємо з В-компонентою $B(i, j)$, а R і G залишаємо без змін.

2. Приховане (таємне) повідомлення ТП переводимо в двійковий код L.

3. Генератор функцій обирає функцію $F(x)$, за якою буде розраховано координати пікселів, які будуть змінені з урахуванням вбудовування ТП.

4. Накладаємо функцію на ЦЗ, представлене у вигляді RGB-моделі. Розраховуємо координати пікселів, які розташовані на кривих функції і запам'ятовуємо її номер, за яким її обрав генератор функцій.

5. Перетворюємо матрицю $B_{i,j}$ в матрицю $B_{p_{i,j}}$ за умовою:

якщо $B_{i,j} = B_{f(x),x} = 255;$
 тоді $B_{p_{f(x),x}} = B_{f(x),x} - 1;$
 якщо $B_{i,j} = B_{f(x),x} = 0;$
 тоді $B_{p_{f(x),x}} = B_{f(x),x} + 1.$

В інших випадках $B_{p_{i,j}} = B_{i,j}.$

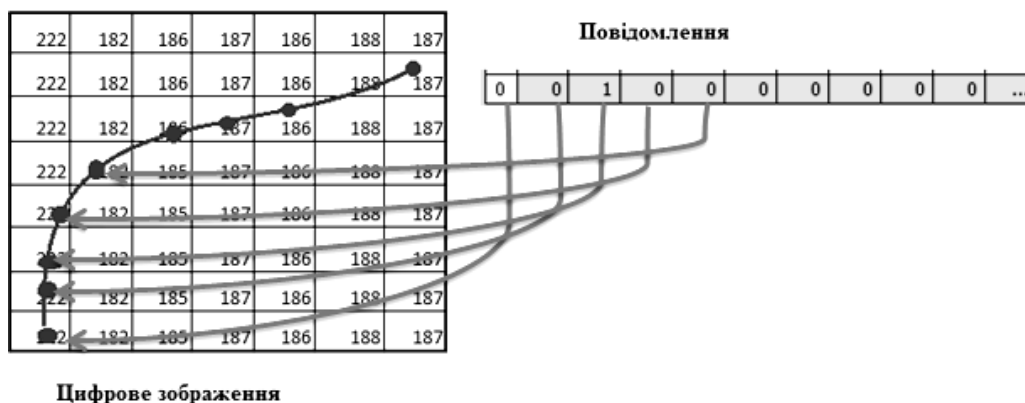
Це перетворення необхідно для того, щоб далі внести ТП в ЦЗ, з урахуванням того, що значення інтенсивностей пікселів після внесення ТП не може бути менше 0 і більше 255.

6. У перетворену матрицю $B_{p_{i,j}}$ вбудовуємо ТП L в пікселі, розташовані на перетині матриці ЦЗ з функцією $F(x)$, яку раніше обрав генератор функцій, за таким правилом:

якщо $L = 1, B_{p_{f(x),x}} = B_{p_{f(x),x}} + 1,$
 якщо $L = 0, B_{p_{f(x),x}} = B_{p_{f(x),x}}.$

7. У процесі вбудовування ТП у яскравість пікселів зображення запам'ятовується інформація про зміну цього пікселя у перевірочні біти повідомлення.





Цифрове зображення

8. Отримувачу відправляємо ЦЗ з прихованим повідомленням, у якому є інформація як саме змінювалися значення яскравості пікселів і номер функції, за якою воно було вбудоване.

9. Для вилучення повідомлення отримувач фільтрує зображення просторовим фільтром.

10. Фільтрація відбувається шляхом накладення матриці, що містить одиниці тільки в координатах пікселів, де накладалася функція. Решта матриці заповнена нулями. Завдяки цьому, після фільтрації залишається лише пікселі, у яких приховано повідомлення. Маючи інформацію, як саме змінювалися пікселі, вилучаємо ТП.

Оцінка якості цифрового зображення з занесеним в нього ТП

У запропонованому методі ТП вбудовується за рахунок змінення яскравості пікселя ЦЗ на

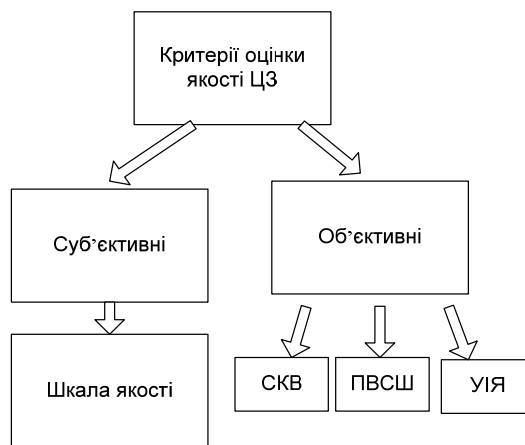
одиницю, або яскравість залишається не змінною.

Виходячи з таких умов, припустимо, що 100 % пікселів змінено на одиницю.

Для експерименту як контейнер візьмемо ЦЗ різних класів [5] та оцінімо якість їх спотворення після 100 % заповнення ТП.

Для оцінки ефективності застосування запропонованого методу приховування ТП, скористаємося суб'єктивними і об'єктивними критеріями оцінки якості спотвореного ЦЗ, тобто наскільки зміни значень яскравості пікселів, які вносяться до початкового зображення, впливають на візуальне сприйняття системою людського зору.

Класифікацію оцінки якості зображення подано на рис. 2.



СКО – середньоквадратичне відхилення
 ПВСШ – пікове відношення сигнал/шум
 УІЯ – універсальний ідентифікатор якості

Рис. 2. Оцінка якості цифрового зображення

Звичайно для об'єктивної оцінки використовують середньоквадратичне відхилення (СКВ) та пікове відношення сигнал шум (ПВСШ).

Менш відомою, але більш об'єктивною в якості оцінки спотворення і візуального сприйняття

ЦЗ є універсальний ідентифікатор якості (УІЯ) [6].

У сучасний час найпопулярнішим об'єктивним критерієм є пікове відношення сигнал шум (ПВСШ), що розраховується за формулою (1).

$$ПВСШ = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{СКВ}}, \quad (1)$$

де

$$СКВ = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M (B_{i,j} - Bp_{i,j})^2,$$

де $B_{i,j}$ — пікселі початкового цифрового зображення; $Bp_{i,j}$ — пікселі спотвореного цифрового зображення; N, M — кількість пікселів у цифровому зображенні (по рядках і стовпчиках).

Універсальний індекс якості цифрового зображення (УІЯ) розраховується за допомогою формули (2).

$$УІЯ = \frac{4\sigma_{B,Bp} B^* Bp^*}{[\sigma_B^2 + \sigma_{Bp}^2] [(B^*)^2 + (Bp^*)^2]}, \quad (2)$$

$$\text{де } B^* = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N B_{i,j}; \quad Bp^* = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N Bp_{i,j};$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (B_{i,j} - B^*)^2;$$

$$\sigma_{Bp}^2 = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (Bp_{i,j} - Bp^*)^2;$$

$$\sigma_{B,Bp} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (B_{i,j} - B^*)(Bp_{i,j} - Bp^*).$$

Поширене використання ПВСШ на практиці зумовлено математично простим підходом. Однак цей критерій не відображає повною мірою вплив на цифрове зображення різних видів завад та спотворень. Тобто за різних впливів на зображення, значення ПВСШ може бути незмінним або незначно змінюватися, хоча якість зображення дуже змінилась.

Тобто ПВСШ не узгоджується з суб'єктивними критеріями оцінки якості зображення, що ґрунтуються на властивостях особливостей системи людського зору. Водночас, такий об'єктивний критерій оцінки якості зображення, як універсальний індекс якості враховує декілька спотворюючих факторів і дає можливість призвести у відповідність значення суб'єктивної і об'єктивної оцінок зображення. Ці такі спотворюючі фактори — ступінь корельованості відліків двох зображень, зміна значень математичного сподівання та середньо-квадратичних відхилень спотвореного цифрового зображення відносно до початкового. Відповідність значень УІЯ до суб'єктивної п'ятибальної шкали якості наведена в табл. 1.

У результаті експерименту, як контейнер було взято зображення різних класів.

Клас 1. Зображення з невеликою кількістю кольорів (4–16) і великими областями, заповненими одним кольором. Плавні переходи кольорів відсутні.

Клас 2. Зображення, з плавними переходами кольорів, побудовані на комп'ютері.

Клас 3. Фотореалістичні зображення.

Клас 4. Фотореалістичні зображення з накладенням ділової графіки. Характерною відмінністю ЦЗ різних класів є закони розподілення значень яскравості сусідніх пікселів. Після вбудовування ТП такого самого розміру, як і розмір цифрового зображення-контейнера, запропонованим просторово-піксельним методом, візуальних змін у спотворених цифрових зображеннях усіх класів не виявлено. За наведеними вище формулами, розраховано об'єктивні показники якості, які подано в табл. 2.

Таблиця 1

Відповідність значень суб'єктивної і об'єктивної оцінки зображення

УІЯ	Експерт оцінка	
1-0,8	«5»	«Відмінно»
0,8-0,6	«4»	«Добре»
0,6-0,4	«3»	«Задовільно»
0,4-0,2	«2»	«Погано»
0,2-0	«1»	«Дуже погано»

Таблиця 2

Оцінка якості ЦЗ різних класів з вбудованим ТП

Методи оцінки якості	Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4
СКВ	0,135	3,803	1	1,238
ПВСШ	56,828	42,33	48,132	47,203
УІЯ	0,999	0,971	1	1
Експертна оцінка	5	5	5	5

За отриманими результатами видно, що за об'єктивними результатами оцінювання, найкращу якість ЦЗ з вбудованим ТП показали клас 3 (реалістичні зображення) і клас 4 (реалістичне з накладанням спеціальних ефектів).

Гірші показники у класу 2 і класу 1 (зображення, побудовані за допомогою комп'ютерних додатків). Але, всі вони попадають до діапазону суб'єктивного оцінювання «Відмінно», тобто вбудовування ТП такого самого розміру, як і

розмір контейнеру не призводить до візуальних змін цифрового зображення.

На рис. 4 показані отримані розраховані об'єктивними критеріями якості: 4а-СКВ, 4б-ПВСШ, 4в-УІЯ, із яких видно, що для розробленого просторово-піксельного методу як контейнери можна використовувати цифрові зображення різних класів, але ефективніші та більш збалансовані дані показали клас 3 та клас 4.



Рис. 4. Об'єктивні критерії якості цифрових зображень різних класів із вбудованим ТП

Висновки

Запропонований просторово-піксельний метод ґрунтується на вбудовуванні таємного повідомлення в просторову область цифрового зображення, шляхом зміни яскравості пікселів синьої компоненти цього зображення. Зміни вносяться за чіткими розробленими правилами, що дає можливість вбудовувати великі обсяги повідомлень. У результаті досліджень запропонованим просторово-піксельним методом було вбудовано повідомлення такого самого розміру, як і цифрове зображення-контейнер. При внесенні змін у всі пікселі, тобто при стовідсотковому заповненні контейнера, виявлено, що для системи людського зору зміни візуально непомітні. За допомогою розробленого методу були вбудовані ТП у цифрові зображення різних класів. За отриманими даними можна дійти до наступних висновків: для третього і четвертого класів цифрових зображень УІЯ дорівнює одиниці, максимальному значенню оцінки якості візуального сприйняття цифрового зображення; для першого та другого класів цифрових зображень показники УІЯ дещо нижчі, та і вони знаходяться в діапазоні суб'єктивного оцінювання якості цифрового зображення як «Відмінно». Отже, запропонований метод дозволяє вбудовувати таємне повідомлення в цифрові зображення

різних класів, забезпечуючи відсутність візуальних змін за великих обсягах передачі інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Юдін О. К. Загальна модель формування системи захисту державних інформаційних ресурсів / О. К. Юдін, С. С. Бучик, О. В. Фролов // Наукоємні технології. — 2015. — № 4 (28). — С. 332–337.
2. Весельська О. В., Зюбіна Р. В., Фролов О. В. Систематизація та класифікація наявних стеганографічних методів приховування інформації // Наукоємні технології. — 2016. — Т. 30. — № 2. — С. 187–194.
3. Ажбаев Т. Г., Ажмухамедов И. М. Анализ стойкости современных стеганографических алгоритмов // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2008. — № 1. — С. 156–163.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М.: Техносфера, 2012. — 1104 с.
5. Yudin O., Veselska O. Methods of digital filtration and their impacts on the quality of images of different classes // Наукоємні технології. — 2017. — Т. 36. — № 4. — С. 302–308.
6. Арляпов С. А., Приоров А. Л., Хрящев В. В. Модифицированный критерий оценки качества восстановленных изображений // Цифровая обработка сигналов. — 2006. — № 2. — С. 27–33.

Юдін О. К., Весельська О. М.

ПРОСТОРОВО-ПІКСЕЛЬНИЙ МЕТОД ЦИФРОВОЇ СТЕГАНОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ТАЄМНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ

Як один з інструментів інформаційних технологій розроблено стеганографічний просторово-пиксельний метод (ППМ) для вбудовування таємної інформації в цифрові зображення, що забезпечує більшу, порівняно з існуючими методами, пропускну спроможність каналу прихованого зв'язку і спрощує систему вилучення даних, завдяки використанню просторової фільтрації. Розроблений метод базується на зміні інтенсивності яскравості пікселів цифрового зображення в кольорній моделі RGB. Зміна інтенсивностей виконується за розробленим набором правил та умов, завдяки яким вбудовується таємне повідомлення (повідомлення) в просторову область цифрового зображення, яке використовується в якості контейнеру. Також, для зменшення ймовірності викриття факту існування повідомлення, запропоновано вбудовувати повідомлення тільки в пікселі, які знаходяться в точках перетину з різноманітними функціями, які накладаються на цифрове зображення. Результати досліджень розробленого методу в програмному середовищі для цифрових зображень різних класів.

Ключові слова: стеганографія, приховування даних, захист інформації, інформаційні технології, просторова область, сетего-контейнер, просторова фільтрація.

Judin O. K., Veselskaya O. M.

SPACE-PIXEL DIGITAL STEGANOGRAPHY METHOD USING SPATIAL FILTERING TO EXTRACT SECRET MESSAGE

As a tool of information technology, a quantum-spatial-pixel-based method (MAP) for embedding secret information in digital images has been developed, which provides more, compared with existing methods, the bandwidth of the latent channel and simplifies the system of data extraction, due to the use of spatial filtration. The developed method is based on the change in the intensity of the brightness of the digital image pixels in the color RGB model. The change of intensity is carried out according to the developed set of rules and conditions through which the secret information (message) is embedded into the spatial area of the digital image used as a container. Also, in order to reduce the probability of uncovering the existence of a message, it is proposed to embed pixel-only messages that are at intersection points with various functions that are superimposed on a digital image. The results of the research of the developed method in the software environment for digital images of different classes.

Keywords: steganography, data concealment, information protection, information technology, spatial area, stego-container, spatial filtration.

Юдин А. К., Весельская О. М.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ПИКСЕЛЬНЫЙ МЕТОД ЦИФРОВОЙ СТЕГАНОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТАЙНОГО СООБЩЕНИЯ

В качестве одного из инструментов информационных технологий разработан стеганографический пространственно-пиксельный метод (ППМ) для встраивания секретной информации в цифровые изображения, обеспечивает большую, по сравнению с существующими методами, пропускную способность скрытого канала связи и упрощает процедуру извлечения данных, благодаря использованию пространственной фильтрации. Разработанный метод основан на изменении интенсивности яркости пикселей цифрового изображения в цветоразностной модели RGB. Изменение интенсивностей выполняется по разработанному набору правил и условий, благодаря которым встраивается информация в пространственную область цифрового изображения, которое используется в качестве контейнера. Также, для уменьшения вероятности разоблачения факта существования сообщения предложено встраивать сообщение только в пиксели, которые находятся в точках пересечения с различными функциями, которые накладываются на цифровое изображение. Результаты исследований разработанного метода в программной среде для цифровых изображений разных классов.

Ключевые слова: стеганография, сокрытие данных, защита информации, информационные технологии, пространственная область, сетего контейнер, пространственная фильтрация.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2018 р.

Прийнято до друку 15.02.2018 р.

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Хаханов В. І.