

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський національний політехнічний університет

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ
МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

INFORMATICS AND MATHEMATICAL
METHODS IN SIMULATION

Том 8, № 2

Volume 8, No. 2

Одеса – 2018
Odesa – 2018

Журнал внесений до переліку наукових фахових видань України
(технічні науки)
згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 463 від 25.04.2013 р.

Виходить 4 рази на рік

Заснований Одеським національним
політехнічним університетом у 2011 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 17610 - 6460Р від 04.04.2011р.

Головний редактор: *Г.О. Оборський*

Заступник головного редактора:

А.А. Кобозєва

Відповідальний редактор:

О.Ю. Козлова

Редакційна колегія:

*Г.В. Ахмаметєва, Т.О. Банах, П.І. Бідюк,
Н.Д. Вайсфельд, А.Ф. Верлань, Г.М. Востров,
В.Б. Дудикевич, М.Б. Копитчук,
О.Ю. Лебедєва, С.В. Ленков, І.І. Маракова,
С.А. Нестеренко, М.С. Никитченко,
С.А. Положаєнко, О.В. Рибальський,
Х.М.М. Рубіо, В.Д. Русов,
І.М. Ткаченко-Горський, А.В. Усов,
В.О. Хорошко, М.Є. Шелест, М.С. Яджак*

Published 4 times a year

Founded by Odessa National Polytechnic
University in 2011

Certificate of State Registration

КВ № 17610 - 6460Р of 04.04.2011

Editor-in-chief: *G.A. Oborsky*

Associate editor:

A.A. Kobozeva

Executive editor:

O.Yu. Kozlova

Editorial Board:

*A. Akhmametiyeva, T. Banakh, P. Bidyuk,
V. Dudykevich, V. Khoroshko, N. Kopytchuk,
O. Lebedieva, S. Lenkov, I. Marakova,
S. Nesterenko, N. Nikitchenko, S. Polozhaenko,
J. Rubio, V. Rusov, O. Rybalsky, M. Shelest,
I. Tkachenko Gorski, A. Usov, N. Vaysfeld,
A. Verlan, G. Vostrov, M. Yadzhak*

Друкується за рішенням редакційної колегії та Вченої ради Одеського національного
політехнічного університету

Оригінал-макет виготовлено редакцією журналу

Адреса редакції: просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

Телефон: +38 048 705 8506

Web: <http://immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

Editorial address: 1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine

Tel.: +38 048 705 8506

Web: <http://immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

© Одеський національний політехнічний університет, 2018

ЗМІСТ / CONTENTS

V-МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРИ
ДІАГНОСТУВАННЯ В УМОВАХ
НЕПОВНОЇ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ
О.О. Фомін

103

MODEL-ORIENTED INFORMATION
TECHNOLOGY OF
DIAGNOSTICATION OF VAT IN THE
CONDITIONS OF APRILINE
INFORMATION INFRASTRUCTURE
Fomin O.

РОЗРОБКА СТЕГАНОГРАФІЧНОГО
МЕТОДУ ВБУДОВИ ДОДАТКОВОЇ
ІНФОРМАЦІЇ В ПРОСТОРОВУ
ОБЛАСТЬ КОЛЬОРОВИХ ЦИФРОВИХ
ЗОБРАЖЕНЬ
Г.В. Ахмаметєєва, В.В. Коваленко

110

DEVELOPMENT OF THE
STEGANOGRAPHIC METHOD OF
EMBEDDING OF ADDITIONAL
INFORMATION INTO THE SPATIAL
OF COLOR IMAGES
Akhmametieva A., Kovalenko V.

ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ПЛАГІАТУ
РІЗНОМОВНИХ ТЕКСТІВ
В.Г. Пенко, І.Х. Гафар Абдула

121

APPROACH TO IDENTIFYING
PLAGIARISM IN MULTILINGUAL
TEXTS
Penko V., Gafar Abdula I.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ
ВИДАЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З
ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ
О.Ю. Лебедєва, М.І. Токар

129

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS
FOR REMOVING OBJECTS FROM
DIGITAL IMAGES
Lebedieva O., Tokar M.

ПРО БАЛАНСУВАННЯ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ
РОЗПАРАЛЕЛЮВАННІ РІШЕННЯ
ЗАДАЧІ ЗНАХОДЖЕННЯ ПОКРИТТЯ
О.М. Паулін

138

ABOUT BALANCING THE
COMPUTATIONAL LOAD WHEN THE
PARALLELIZATION OF THE
SOLUTION OF PROBLEM OF FINDING
A COVERAGE
Paulin O.

РОЗПОДІЛЕНИЙ ПРОГРАМНИЙ
КОМПЛЕКС НА БАЗІ ФРЕЙМВОРКА
APACHE SPARK ДЛЯ ОБРОБКИ
ПОТОКОВИХ BIG DATA СКЛАДНИХ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
В.В. Вичужанін

146 DISTRIBUTED SOFTWARE COMPLEX
ON THE BASIC FORMER APACHE
SPARK FOR PROCESSING THE FLOW
BIG DATA FROM COMPLEX
TECHNICAL SYSTEMS
Vychuzhanin V.

МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ
ВИЯВЛЕННЯ ШТУЧНОГО
ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ
ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ
В.В. Зоріло, О.І. Кіосєва, І.В. Зоріло

156 MODIFICATION OF ALGORITHM FOR
DETECTING ARTIFICIAL
IMPROVEMENT OF SHARPNESS OF
THE DIGITAL IMAGE
Zorilo V., Kioseva O., Zorilo I.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ
ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИХОВАНОГО
КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В КАНАЛІ
ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ
К.Р. Шерфедінов

164 MOBILE APPLICATION
DEVELOPMENT FOR ORGANIZING A
HIDDEN COMMUNICATION
CHANNEL IN A PUBLIC CHANNEL
Sherfedinov K.

МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ
СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМ
ОБ'ЄКТОМ
С.О. Бобріков

174 MODEL-ORIENTED SYNTHESIS OF
COMBINED CONTROL SYSTEM OF A
NON-STATIONARY OBJECT
Bobrikov S.

V-МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРИ ДІАГНОСТУВАННЯ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

О.О. Фомін

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

Розглядається клас задач непрямого контролю і діагностики складних неперервних нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи. Ці задачі відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності інформації. Метою роботи є вирішення задачі забезпечення універсальності діагностичної процедури за рахунок розробки узагальненої моделі процедури діагностування на основі організації взаємодії між підсистемами автоматизованих систем діагностування, врахування впливу зовнішнього середовища, вибору оптимальних режимів функціонування для створення ефективних інструментальних засобів діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації. Запропоновано математичну модель процесу діагностування у вигляді кінцевого автомата, що реалізує деяке відображення множини слів вхідного алфавіту в множину слів вихідного алфавіту. З метою побудови універсальної процедури діагностування складних об'єктів діагностування різної фізичної природи визначено ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) та етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Запропоновано V-модель процедури діагностування складних об'єктів діагностування різної фізичної природи в умовах апріорної невизначеності. Для побудови алгоритму функціонування автоматизованих систем діагностування виділено узагальнені сутності діагностичного процесу, на основі яких будується алгоритм діагностування нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи в умовах неповної апріорної інформації

Ключові слова: діагностика безперервних систем, інформаційні моделі, діагностичні моделі, ідентифікація, класифікація, автоматизовані системи діагностування

Вступ

Розвиток науки, безпрецедентний прогрес інформаційних технологій, глобалізація економіки, інтеграційні процеси в громадянському суспільстві викликають потребу в створенні все більш досконалих технічних, енергетичних, економічних та інших систем. У відповідь на вимоги розвитку ці системи постійно ускладнюються: в складі систем з'являється більше взаємодіючих елементів, для опису поведінки використовуються більш складні моделі.

Проблема постійного зростання складності систем, що створюються людьми, істотно загострюється в умовах високої швидкості появи і освоєння нових технологій. Крім загострення проблеми складності, швидкість технологічних змін ставить перед творцями систем і інші завдання, зокрема, змушує суттєво, іноді неодноразово, продовжувати життєвий цикл систем, вже введених в експлуатацію [1].

Великий інтерес представляють задачі непрямого контролю і діагностики складних неперервних нелінійних динамічних об'єктів різної фізичної природи. Ці задачі відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності

інформації.

На сьогоднішній день існує добре розвинута теоретична база побудови систем технічної діагностики [2]. Запропоновано багато методів побудови автоматизованих систем діагностування (АСД), що інтегрують в собі отримання первинного опису об'єкту діагностування (ОД) (ідентифікацію ОД) [3, 4], побудову діагностичних просторів (редукцію діагностичних моделей) [5-6] і побудову визначальних правил оптимальної класифікації (машинне навчання) [7-10]. Але досі не існує ефективної технології побудови систем технічної діагностики, яка б надійно вирішувала задачі діагностування ОД різної фізичної природи в умовах апіорної невизначеності.

Використання існуючих АСД для рішення подібних задач обмежується дією протиріччя: з одного боку, експлуатація у широкому діапазоні зовнішніх умов, в умовах зміни області використання або інших режимах функціонування, що обумовлює вимоги до універсальності діагностичної процедури – адаптованості до нових функціональних вимог, а з іншого боку – відсутність застосування в АСД універсальних інформаційних моделей як первинного джерела діагностичних даних.

Розв'язання цього протиріччя є перспективною і актуальною науково-технічною задачею, яка може бути вирішена шляхом розробки узагальненої моделі процедури діагностування об'єктів різної фізичної природи в умовах неповної апіорної інформації.

Зазначені вище проблеми визначають актуальність роботи, зумовлюють необхідність розробки методологічних принципів побудови АСД в умовах неповної апіорної інформації і створення ефективної ІТ вирішення задач непрямого контролю і діагностики в автоматизованих системах управління якістю ОД різної фізичної природи.

Мета роботи

Метою роботи є вирішення науково-технічної проблеми забезпечення універсальності діагностичної процедури за рахунок розробки узагальненої моделі процедури діагностування на основі організації взаємодії між підсистемами АСД, врахування впливу зовнішнього середовища, вибору оптимальних режимів функціонування для створення ефективних інструментальних засобів діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апіорної інформації.

Під ефективністю інструментальних засобів в даній роботі розуміється комплексний критерій, що враховує показники достовірності рішень і часу їх пошуку.

Основна частина

Розглянемо докладніше модель процедури діагностування як одну з найважливіших складових частин інформаційного забезпечення діяльності. Модель процедури діагностування – особливим образом організована сукупність інформації, що надається операторам на автоматизованих робочих місцях АСД.

Інформація стану зазвичай являє собою сукупність інформаційних моделей взаємодіючих об'єктів, які відтворюються за допомогою засобів відображення інформації [11].

Відповідно до ГОСТ 21033-75 інформаційна модель (ІМ) є організоване відповідно до певної системи правил відображення станів предметів праці, системи «людина–машина», зовнішнього середовища і способів впливу на них, а засіб відображення інформації є елемент робочого місця людини-оператора, призначений для формування інформаційної моделі. Таким чином, ІМ розглядається як сукупність даних про об'єкти (явища, процеси), що надаються людині-оператору. Безпосередньо

інформацію оператор сприймає в візуальній (понад 90%) і акустичній формах за допомогою засобів відображення інформації.

ІМ може бути описана з морфологічної, функціональної та організаційної точок зору. Морфологічний опис дає уявлення про будову досліджуваної системи, інформаційний – організацію, а функціональний – призначення.

Для складання функціонального опису ІМ необхідно провести аналіз основних процесів прийому і переробки інформації людиною в АСУ. При цьому оцінка якості ІМ повинна вестися диференційовано в залежності від поставлених завдань.

У загальному вигляді інформаційну модель процесу діагностування можна уявити як кінцевий автомат у вигляді 5-компонентного кортежу: $M = \langle A, X, Y, d, l \rangle$, де

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – алфавіт станів – множина значень, в яких може перебувати система діагностування, що проектується;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_f\}$ – алфавіт вхідних значень – множина значень, які можуть надходити на вхід системи діагностування;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_g\}$ – алфавіт вихідних значень – множина значень (діагнозів), які можуть бути встановлені на виході системи діагностування;

$d: A \cdot X \rightarrow A$ – функція переходів: $a(t+1) = d(x(t), a(t))$. Функція переходів визначає, в який стан $a(t+1)$ перейде система діагностування під впливом вхідного сигналу $x(t)$, у випадку, якщо в поточний момент часу автомат знаходиться у стані $a(t)$;

$l: A \cdot X \rightarrow Y$ – функція виходів: $y(t) = l(a(t), x(t))$. Функція виходів визначає, яке вихідне значення $y(t)$ буде встановлено на виході системи діагностування, виходячи з вхідного значення $x(t)$ і поточного стану $a(t)$.

Під алфавітом тут слід розуміти непорожню множину попарно різних символів.

Модель працює в дискретному часі, що приймає цілі невід'ємні значення $t = 0, 1, 2, \dots$. У кожен момент t дискретного часу АСД знаходиться в деякому стані $a(t)$ з множини станів системи. У момент t , будучи в стані $a(t)$, автомат здатний сприйняти на вході букву вхідного алфавіту $X(t) \in X$. Відповідно до функції виходів він видасть в той же момент часу t букву вихідного алфавіту $y(t) = l(a(t), x(t))$ і відповідно до функції переходів перейде в наступний стан $a(t+1) = d[a(t), x(t)]$, $a(t) \in A$, $y(t) \in Y$.

Таким чином, система діагностування реалізує деяке відображення множини слів вхідного алфавіту X в множину слів вихідного алфавіту Y . Тобто якщо на вхід автомата, встановленого в початковий стан a_1 , подавати буква за буквою деяку послідовність літер вхідного алфавіту $x(0), x(1), \dots$ – вхідне слово, то на виході автомата будуть послідовно з'являтися літери вихідного алфавіту $y(0), y(1), \dots$ – вихідне слово.

Поняття стану в моделі системи діагностування введено в зв'язку з тим, що часто виникає необхідність в описі поведінки систем, виходи яких залежать не тільки від стану входів в даний момент часу, але і від деякої передісторії, тобто від сигналів, які надходили на входи системи раніше.

З метою побудови універсальної процедури діагностування складних ОД різної фізичної природи визначено ключові етапи перетворення діагностичної інформації (побудови класифікатора) та етапи верифікації отриманих моделей на кожному рівні. Запропоновано V-модель процедури діагностування (рис. 1) складних ОД різної фізичної природи в умовах апіорної невизначеності.

Основний принцип V-подібної моделі полягає в тому, що деталізація класифікатора станів зростає при русі зліва направо, одночасно з плином часу. Ітерації в проєкті виробляються по горизонталі, між лівою і правою сторонами моделі.

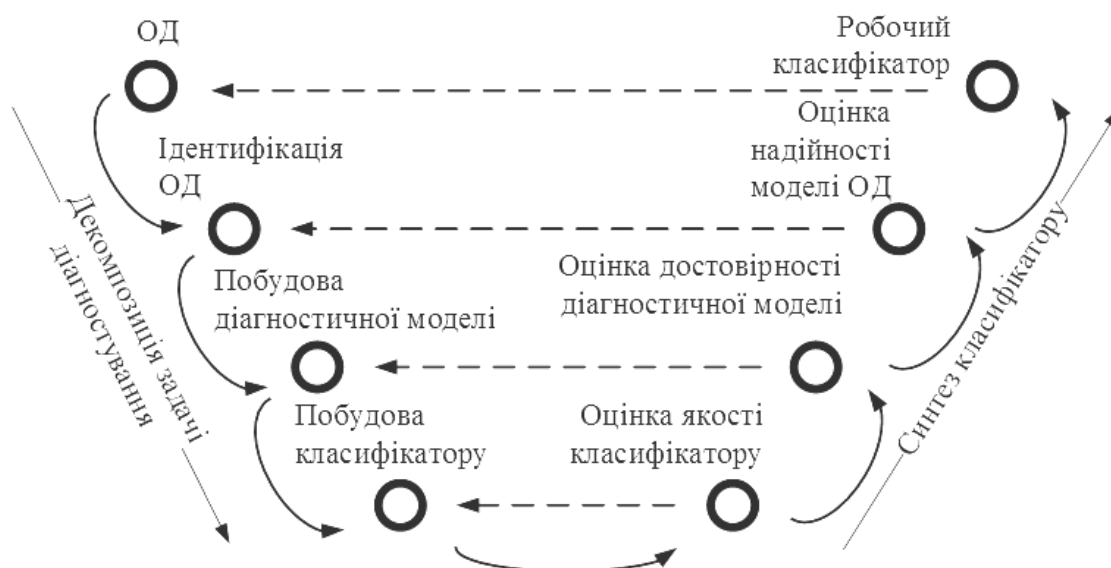


Рис. 1. V-модель процедури діагностування

Стосовно до розробки АСД V-модель – варіація каскадної моделі, в якій завдання розробки системи йдуть зверху вниз по лівій стороні моделі, а завдання оцінки якості – вгору по її правій стороні. Усередині V-моделі виділяються горизонтальні етапи, що показують, як результати кожного етапу розробки впливають на розвиток системи оцінки якості на кожному з етапів. Модель базується на тому, що якість розроблюваної АСД ґрунтується, перш за все, на вимогах до якості класифікатора, достовірності діагностичної моделі ОД, надійності інформаційної моделі ОД в умовах неповної апріорної інформації, розташованих у вигляді вихідного каскаду.

Головні переваги запропонованої V-моделі процесу діагностування:

- V-модель робить процес діагностування прозорим і підвищує якість контролю над розробкою АСД шляхом стандартизації проміжних цілей, опису відповідних їм результатів і відповідальних осіб. Це дозволяє виявляти відхилення в процесі діагностування та ризики на ранніх стадіях і покращує якість управління процесом розробки АСД, зменшуючи ризики;
- V-модель дозволяє досягнути підвищення якості АСД: проміжні результати можуть бути перевірені на ранніх стадіях. Універсальне документування полегшує читаність, зрозумілість і перевірюваність;
- Зменшення загальної вартості проекту: ресурси на розробку, виробництво, управління і підтримку можуть бути заздалегідь прораховані і проконтрольовані. Отримувані результати також універсальні і легко прогнозуються;
- Підвищення якості комунікації між учасниками проекту: універсальний опис всіх елементів і умов полегшує взаєморозуміння всіх учасників проекту. Таким чином, зменшуються неточності в розумінні між користувачем, замовником і розробником.

Для демонстрації побудови діагностичної процедури за V-моделлю обрано клас складних нелінійні динамічних об'єктів. Задачі непрямого контролю і діагностики нелінійні динамічних об'єктів різної фізичної природи відносяться до класу задач індуктивного моделювання, суть яких полягає в переході від емпіричної інформації до математичної моделі з метою здобуття нових знань і прийняття рішень в умовах істотної неповноти і апріорної невизначеності інформації. Для побудови алгоритму функціонування АСД, в даному випадку, виділено наступні сутності діагностичного процесу, які взаємодіють між собою в означеному процесі діагностування:

- первинна (інформаційна) модель ОД;
- вторинна (діагностична) модель ОД;

– вирішальне правило (класифікатор).

На базі запропонованої V-моделі та виділених сутностей діагностичного процесу розроблено алгоритм функціонування АСД, який наведено нижче (табл.1).

Таблиця 1.

Алгоритм функціонування АСД на базі V-моделі та виділених сутностей діагностичного процесу

Етап		Опис
№	Назва	
1.	Ідентифікація	<i>Мета:</i> отримати інформаційну модель ОД <i>Вхід:</i> тестовий сигнал <i>Модель:</i> непараметрична інтегральна модель <i>Вихід:</i> інформаційна модель ОД у вигляді інтегростепеневого ряду
2.	Побудова діагностичної моделі	<i>Мета:</i> отримати діагностичну модель ОД <i>Вхід:</i> інтегростепеневий ряд <i>Модель:</i> дискретне перетворення інтегростепеневого ряду <i>Вихід:</i> діагностична модель у вигляді вектору ознак
3.	Побудова вирішального правила	<i>Мета:</i> побудувати класифікатор станів ОД <i>Вхід:</i> навчальна вибірка на основі вектору ознак <i>Модель:</i> нейронна мережа / статистична <i>Вихід:</i> вирішальне правило у вигляді матриці вагових коефіцієнтів / полінома
4.	Оцінка параметрів класифікатора	<i>Мета:</i> визначення параметрів класифікатора <i>Вхід:</i> навчальна вибірка на основі вектору ознак <i>Модель:</i> експериментальна оцінка швидкодії, обчислювальної складності, точності <i>Вихід:</i> параметри класифікатора: швидкодія, обчислювальна складність, точність
5.	Оцінка параметрів діагностичної моделі ОД	<i>Мета:</i> оцінити якість діагностичної моделі <i>Вхід:</i> екзаменаційна вибірка на основі вектору ознак <i>Модель:</i> вираз для достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності <i>Вихід:</i> значення достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності
6.	Оцінка параметрів інформаційної моделі ОД	<i>Мета:</i> оцінити якість інформаційної моделі <i>Вхід:</i> екзаменаційна вибірка з додаванням шумів різного рівня <i>Модель:</i> вираз для достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності <i>Вихід:</i> значення достовірності, похибок 1,2 роду, чуттєвості, специфічності при дії завад

Висновки

В роботі здійснено спробу подальшого розвитку теорії діагностування складних об'єктів контролю типу «чорний ящик» шляхом розробки V-моделі процедури

діагностування, що дозволяє зробити процес діагностування придатним для використання в умовах апріорної невизначеності.

Запропонована модельно-орієнтована інформаційна технологія модельної діагностики неперервних динамічних об'єктів вирішує актуальну науково-технічну проблему забезпечення універсальності і підвищення надійності діагностики під час створення новітніх автоматизованих систем діагностування об'єктів різної природи в умовах неповної апріорної інформації.

Список літератури

1. Батоврин, В.К. Стандарты системной инженерии: серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации» / В.К. Батоврин; под ред. М.С. Липецкой, К.А. Ивановой. — СПб., 2012. — Вып. 4. — 64 с.
2. Korbicz J. & Koscielny J.M., (eds). Modeling, Diagnostics and Process Control: Implementation in the DiaSter System. Springer: Berlin, 2010.
3. Mmgalski M., Korbicz J. Robust fault diagnosis via parameter identification of dynamical systems. European Control Conference, ECC 2009. 2014.
4. Simani, S. Dynamic system identification and model-based fault diagnosis of an industrial gas turbine prototype / S. Simani, C. Fantuzzi // Mechatronics, July, 2006. — Vol.16. Is.6. — Pp. 341-363.
5. Pazera, M., Korbicz, J. A process fault estimation strategy for non-linear dynamic systems. Journal of Physics: Conf. Series 783, 2017.
6. Tang. H., Liao, Y. H., Cao, J. Y., Xie. H. Fault Diagnosis Approach Based on Volterra Models. Mechanical Systems and Signal Processing, 2010. — Vol. 24., — Pp. 1099-1113.
7. Fomin A., Pavlenko V. Construction of diagnostic features space using Volterra kernels moments. Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). 2015 20th International Conference: Miedzyzdroje, Poland, 24-27 Aug. 2015. — Pp. 1022-1027.
8. Chen, W. Integrated design of observer based fault detection for a class of uncertain nonlinear systems / W. Chen, A. Khan, M. Abid, S. Ding // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. 2011. — 21 (3). — Pp. 423-430.
9. Pavlenko, V. Technology for Data Acquisition in Diagnosis Processes By Means of the Identification Using Models Volterra / V. Pavlenko, O. Fomin, V. Ilyin // Proc. of the 5th IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2009), Rende (Cosenza), Italy, 2009. — Pp. 327-332.
10. Hao Tang, Liao Y.H., Cao J.Y., Hang Xie. Fault diagnosis approach based on Volterra models. Mechanical Systems and Signal Processing, May, 2010. — Vol. 24. Is.4. — Pp. 1099-1113.
11. Козак, Ю.А. Принципы и методы создания информационных моделей в автоматизированных системах управления / Ю.А. Козак, Е.Ю. Орлова, Д.Ю. Кучерявый. — Труды Одесского политехнического университета, 2003. — Вып.1. — С. 135 – 139.

V-МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.А. Фомин

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

Рассматривается класс задач косвенного контроля и диагностики сложных непрерывных нелинейных динамических объектов различной физической природы. Эти задачи относятся к классу задач индуктивного моделирования, суть которых заключается в переходе от эмпирической информации в математической модели с целью получения новых знаний и принятия решений в условиях существенной неполноты и априорной неопределенности информации. Целью работы является решение задачи обеспечения универсальности диагностической процедуры за счет разработки обобщенной модели процедуры диагностирования на основе организации взаимодействия между подсистемами автоматизированных систем

диагностирования, учета влияния внешней среды, выбора оптимальных режимов функционирования для создания эффективных инструментальных средств диагностирования объектов различной природы в условиях неполной априорной информации. Предложена математическая модель процесса диагностирования в виде конечного автомата, реализующего некоторое отображение множества слов входного алфавита в множество слов исходного алфавита. С целью построения универсальной процедуры диагностирования сложных объектов диагностирования различной физической природы определены ключевые этапы преобразования диагностической информации (построения классификатора) и этапы верификации полученных моделей на каждом уровне. Предложено V-модель процедуры диагностирования сложных объектов диагностирования различной физической природы в условиях априорной неопределенности. Для построения алгоритма функционирования автоматизированных систем диагностирования выделено обобщенные сущности диагностического процесса, на основе которых строится алгоритм диагностирования нелинейных динамических объектов различной физической природы в условиях неполной априорной информации.

Ключевые слова: диагностика непрерывных систем, информационные модели, диагностические модели, идентификация, классификация, автоматизированных систем диагностирования

MODEL-ORIENTED INFORMATION TECHNOLOGY OF DIAGNOSTICATION OF VAT IN THE CONDITIONS OF APRILINE INFORMATION INFRASTRUCTURE

O.O. Fomin

Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: aleksandr.fomin@gmail.com

The class of problems of indirect control and diagnostics of complex continuous nonlinear dynamic objects of different physical nature is considered. These tasks relate to the class of problems of inductive modeling, the essence of which is the transition from empirical information to a mathematical model in order to obtain new knowledge and decision making in conditions of material incompleteness and apriline uncertainty of information. The purpose of the work is to solve the problem of ensuring the universality of the diagnostic procedure by developing a generalized model of diagnostic procedure based on the organization of interaction between subsystems of automated diagnostic systems, taking into account the influence of the external environment, the choice of optimal modes of functioning for the creation of effective instrumental means of diagnosing objects of different nature in conditions of incomplete a priori information. The mathematical model of the diagnosing process in the form of a finite automaton, which realizes some mapping of the plural of words of the input alphabet into the set of words of the original alphabet, is proposed. In order to construct a universal diagnostic procedure for complex objects of diagnosing different physical nature, the key stages of the transformation of diagnostic information (constructing a classifier) and the stages of verification of the obtained models at each level have been determined. The V-model of the procedure for diagnosing complex objects of diagnostics of different physical nature under a priori uncertainty conditions is proposed. To construct the algorithm of the functioning of automated diagnostic systems, the generalized essence of the diagnostic process, on the basis of which the algorithm of diagnosing nonlinear dynamic objects of different physical nature under the conditions of incomplete apriline information is allocated.

Keywords: diagnostics of continuous systems, information models, diagnostic models, identification, classification, automated diagnostic systems

РАЗРАБОТКА СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОГРУЖЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ОБЛАСТЬ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.В. Ахматетьева, В.В. Коваленко

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: a.v.akhmametieva@opu.ua

В работе разработан новый стеганографический метод погружения дополнительной информации в пространственную область цветных цифровых изображений, основанный на учете разности между значениями яркости цветового триплета (методе PVD). В ходе разработки метода обоснован выбор таблицы диапазонов квантования, являющейся составной частью классического метода PVD, предложена модификация таблицы диапазонов квантования, используемая в разработанном методе SCMPVD (Selected Color Matrix Pixel Value Differencing). Проведено усовершенствование классической схемы погружения дополнительной информации PVD-методом, связанной с переполнением модифицированных значений яркости за пределы диапазона $[0, 255]$, что ранее приводило к ошибкам при извлечении дополнительной информации. На основе предложенных усовершенствований в классический метод PVD разработан новый стеганографический метод, осуществляющий погружение в цветовой триплет. Для минимизации заметных искажений цветов предлагается проводить встраивание дополнительной информации в те цветовые составляющие триплета, между которыми имеем минимальное значение разности, таким образом при погружении дополнительной информации в разные пиксели могут использоваться разные цветовые составляющие. С целью корректного извлечения встроенного сообщения предусмотрена проверка, направленная на обеспечение некоторого «зазора» между модифицируемыми значениями яркости и неиспользуемым в процессе стеганопреобразования значением яркости, что позволит сохранить минимальную разность в триплете стеганосообщения. Разработанный метод обеспечивает правильное восстановление встроенной информации после ее извлечения из стеганосообщения. Стеганографический метод SCMPVD обеспечивает значения PSNR более 46,5 дБ, что значительно превышает современные аналоги при сопоставимых объемах встроенной дополнительной информации, при этом целостность восприятия стеганосообщения улучшена максимально на 13,8%.

Ключевые слова: стеганография, цифровые изображения, цветовой триплет, метод PVD, Pixel Value Differencing

Введение

В условиях распространения информационных технологий среди широких слоев населения, свободного доступа к сети Internet и возможности обмениваться разного рода информацией (документы, изображения, аудио, видео и др.) между собеседниками из разных стран первоочередной проблемой становится защита передаваемых данных от несанкционированного доступа. Надежной защитой передаваемой по сети информации считается ее криптографическая защита, однако в ряде стран введены ограничения на применение криптографии [1], что повлекло к появлению

значительного числа разработок в области стеганографии, обеспечивающей сохранение в секрете самого факта передачи конфиденциальной информации [1, 2].

Большинство разработок в области стеганографии посвящено встраиванию дополнительной информации (ДИ) в цифровые изображения (ЦИ), которые благодаря наличию в них избыточной информации позволяют обеспечить высокую пропускную способность скрытого канала связи (СПС) при сохранении целостности восприятия изображения. Тем не менее остается актуальной проблема выбора между сохранением надежности восприятия ЦИ и пропускной способностью контейнера, т.к. с увеличением объема встраиваемой информации ухудшается качество изображения.

Среди стеганографических методов, осуществляющих погружение ДИ в пространственную область ЦИ, наиболее распространенным и простым в реализации является метод замены наименьшего значащего бита. Данный метод позволяет сохранить качество стеганосообщения, являющегося результатом внедрения ДИ в контейнер, однако, как правило, применяется при малых значениях СПС (0.5 бит/пиксель и менее).

Еще одной разновидностью стеганографии в пространственной области являются различные вариации метода разности значений пикселя (Pixel Value Differencing – PVD) [3, 4], обеспечивающие высокое качество изображений при относительно высоких значениях СПС для изображений в градациях серого (в [3] для СПС 0.8 бит/пиксель PSNR составляет 50 дБ, в [4] для СПС 1.5 бит/пиксель PSNR составляет 42 дБ). Однако в случае использования в качестве контейнера цветных ЦИ результаты стеганопреобразования оставляют желать лучшего (для СПС ≈ 0.5 бит/пиксель PSNR составляет не более 42 дБ [5]). Тем не менее, несмотря на существующие недостатки метода PVD, его улучшение и повышение эффективности является перспективным направлением ввиду возможности обеспечения данным методом высокой СПС (до 3 бит/пиксель).

Цель и задачи статьи

Целью работы является разработка стеганографического метода встраивания ДИ в пространственную область цветных ЦИ на основе метода PVD, обеспечивающего целостность восприятия стеганосообщения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- обосновать выбор таблицы диапазонов квантования, используемой в процессе погружения ДИ;
- выявить и устранить недостатки классического метода PVD, связанные с переполнением диапазона значений яркости за пределы $[0, 255]$;
- разработать стеганографический метод погружения ДИ в пространственную область цветных ЦИ;
- провести анализ разработанного стеганографического метода и сравнение с существующими аналогами.

Основная часть

Суть классического метода PVD заключается в последовательной модификации значений яркости двух соседних пикселей P_i и P_{i+1} , для которых определяется абсолютная разность $d_i = |P_i - P_{i+1}|$, $d_i \in [0, 255]$. На основании полученного значения d_i в соответствии с таблицей диапазонов квантования (ТДК) определяются нижняя и верхняя границы $[lower_i, upper_i]$ региона R_i и количество встраиваемых бит

$t = \lfloor \log_2 (upper_i - lower_i + 1) \rfloor$. Последовательность бит сообщения длиной t преобразуется в десятичное значение t_d , после чего вычисляется новое значение разности $d'_i = t_d + lower_i$. Значения яркости P_i и P_{i+1} модифицируются в соответствии с формулой [5]:

$$(P'_i, P'_{i+1}) = \begin{cases} \left(P_i + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, P_{i+1} - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{if } P_i \geq P_{i+1} \text{ \& } d'_i > d_i; \\ \left(P_i - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, P_{i+1} + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{if } P_i < P_{i+1} \text{ \& } d'_i > d_i; \\ \left(P_i - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, P_{i+1} + \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{if } P_i \geq P_{i+1} \text{ \& } d'_i \leq d_i; \\ \left(P_i + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, P_{i+1} - \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{if } P_i < P_{i+1} \text{ \& } d'_i \leq d_i; \end{cases} \quad (1)$$

где $m = |d'_i - d_i|$, $\lfloor \bullet \rfloor$ - округление к меньшему целому, $\lceil \bullet \rceil$ - округление к большему целому.

В качестве ТДК возможно использование нескольких вариантов таблиц, отличающихся размерностью регионов и, соответственно, количеством встраиваемых бит, приведенных в табл.1-3.

Таблица 1.

Таблица диапазонов квантования классического метода PVD

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
$[lower, upper]$	[0,7]	[8,15]	[16,31]	[32,63]	[64,127]	[128,255]
t	3	3	4	5	6	7

Таблица 2.

Расширенная таблица диапазонов квантования метода PVD

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}
<i>lower</i>	0	2	4	8	12	16	24	32	48	64	96	128	192
<i>upper</i>	1	3	7	11	15	23	31	47	63	95	127	191	255
t	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

Для выбора ТДК, обеспечивающей наименьшие визуальные искажения контейнера в процессе стеганопреобразования, был проведен вычислительный эксперимент на основе 200 ЦИ в градациях серого, в которые ДИ погружалась классическим PVD при использовании разных ТДК (табл. 1-3). По результатам проведенных экспериментов наблюдалось увеличение значений PSNR для ЦИ с увеличением количества регионов, т.е. худшие результаты достигались при использовании табл. 1 (6 регионов) – для ЦИ в градациях серого «Lena» значение PSNR составило 40,5364 дБ, табл. 2 (13 регионов) – 45,8762 дБ. В случае выбора параметров $[lower, upper]$ из табл. 3 (16 регионов) значения PSNR оказались выше предыдущих (47,2864 дБ). Следует отметить, что при использовании любой ТДК возникли ошибки, связанные с некорректным извлечением встроенной ДИ, причем при использовании табл. 3 их оказалось больше, чем при использовании табл. 1 и 2. Поэтому в целях

обеспечения целостности извлекаемой информации было проведено упрощение табл. 3, а именно не рассматриваются поддиапазоны, значение t принимается минимальным при значениях $upper - lower \leq 13$ и максимальным при $upper - lower > 13$. Вид модифицированной ТДК представлен в табл. 4.

Таблица 3.

Таблица диапазонов квантования из [3]

	R_1	R_2	R_3		R_4	R_5	
$[lower, upper]$	[0,1]	[2,5]	[6,11]		[12,19]	[20,29]	
Поддиапазон	[0,1]	[2,5]	[6,7]	[8,11]	[12,19]	[20,21]	[22,29]
t	1	2	3	2	3	4	3
	R_6		R_7		R_8	R_9	
$[lower, upper]$	[30,41]		[42,55]		[56,71]	[72,89]	
Поддиапазон	[30,33]	[34,41]	[42,47]	[48,55]	[56,71]	[72,73]	[74,89]
t	4	3	4	3	4	5	4
	R_{10}		R_{11}		R_{12}		
$[lower, upper]$	[90,109]		[110,131]		[132,155]		
Поддиапазон	[90,93]	[94,109]	[110,115]	[116,131]	[132,139]		[140,155]
t	5	4	5	4	5		4
	R_{13}		R_{14}		R_{15}		R_{16}
$[lower, upper]$	[156,181]		[182,209]		[210,239]		[240,255]
Поддиапазон	[156,165]	[166,181]	[182,193]	[194,209]	[210,223]	[224,239]	[240,255]
t	5	4	5	4	5	4	4

Таблица 4.

Модифицированная таблица диапазонов квантования

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
$[lower, upper]$	[0,1]	[2,5]	[6,11]	[12,19]	[20,29]	[30,41]
t	1	2	2	3	3	3
	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}
$[lower, upper]$	[42,55]	[56,71]	[72,89]	[90,109]	[110,131]	[132,155]
t	3	4	4	4	4	5
	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}		
$[lower, upper]$	[156,181]	[182,209]	[210,239]	[240,255]		
t	5	5	5	4		

При использовании модифицированной ТДК удалось уменьшить ошибки при извлечении данных, при этом значение PSNR осталось высоким (47,1855 дБ). Таким образом, в разрабатываемом стеганографическом методе будем использовать модифицированную таблицу диапазонов квантования.

Еще одной причиной возникновения ошибок при извлечении ДИ является переполнение диапазона значений яркости за пределы $[0, 255]$. Рассмотрим пример.

Пусть имеется пара пикселей $(P_i, P_{i+1}) = (30, 0)$. Тогда $d_i = |P_i - P_{i+1}| = |30 - 0| = 30$, $30 \in R_6$, следовательно $lower = 30$, $upper = 41$, $t = 3$. Пусть необходимо погрузить бинарную последовательность «101», т.е. 5 в десятичной системе счисления, тогда $d'_i = 5 + 30 = 35$. Т.к. $30 > 0$ ($P_i \geq P_{i+1}$) и $35 > 30$ ($d'_i > d_i$), то значения яркости изменяются в соответствии с формулой $\left(P_i + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, P_{i+1} - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right)$, т.е. $\left(30 + \left\lceil \frac{5}{2} \right\rceil, 0 - \left\lfloor \frac{5}{2} \right\rfloor \right) = (30 + 3, 0 - 2) = (33, -2)$, т.е. получили значение яркости, равное -2, что недопустимо. Поэтому необходимо откорректировать значения яркости таким образом, чтобы не было переполнения за пределы диапазона $[0, 255]$:

$$(P''_i, P''_{i+1}) = \begin{cases} (255, 255 - d - m), & \text{if } P'_i > 255; \\ (0, d + m), & \text{if } P'_i < 0; \\ (255 - d - m, 255), & \text{if } P'_{i+1} > 255; \\ (d + m, 0), & \text{if } P'_{i+1} < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Выполнив коррекцию значений яркости в рассмотренном примере, получим значения $(35, 0)$. Благодаря предложенной коррекции значений яркости удалось полностью избежать ошибок извлечения ДИ из стеганосообщения.

Большинство существующих разработок, основанных на PVD, осуществляют встраивание ДИ либо в соседние пиксели цветовой матрицы [3-5], либо в блоки различного размера, как правило применяют блоки 3×3 [6-7] или 2×2 [8]. Однако для цветных изображений логичнее встраивать ДИ в цветовой триплет (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) , $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$, что позволит модифицировать значения яркости таким образом, чтобы минимизировать заметные искажения цвета. В работе [9] уже был предложен подобный подход, однако за счет изменения значений яркости всех трех цветовых составляющих триплета были получены очень низкие значения PSNR (максимальное значение составило 35,66 дБ для ЦИ «Airplane (Jet)», минимальное – 30,10 дБ для ЦИ «Peppers»), что говорит о заметных искажениях цвета.

С целью минимизации искажений цветов в процессе стеганопреобразования предлагается для встраивания ДИ использовать только два значения яркости триплета (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) , выбор которых осуществляется с учетом минимальной разности между парами (r_{ij}, g_{ij}) , (g_{ij}, b_{ij}) и (r_{ij}, b_{ij}) для каждого конкретного пикселя. Минимальная разность между значениями яркости обусловлена необходимостью модифицировать цветовой триплет таким образом, чтобы исключить заметные визуальные искажения стеганосообщения, т.к. максимальная разность предполагает погружение бинарной строки большей длины, что приведет к большим искажениям значений яркости.

Т.к. в различные элементы контейнера погружаются фрагменты бинарной последовательности разной длины (в зависимости от региона, к которому принадлежит разность), для встраивания будем использовать только те пиксели, для которых выполняется условие

$$|dif1 - d| > upper - lower + 1 \ \& \ |dif2 - d| > upper - lower + 1, \quad (3)$$

где d - минимальная разность между значениями яркости пар (r_{ij}, g_{ij}) , (g_{ij}, b_{ij}) и (r_{ij}, b_{ij}) , $dif1, dif2$ - разности между значениями яркости пар, большие d , $upper, lower$ - соответственно верхняя и нижняя граница региона, к которому принадлежит разность d .

Проверка условия (3) при погружении ДИ позволяет избежать ситуаций, связанных с изменением минимального значения разности между парами триплета (r_{ij}, g_{ij}) , (g_{ij}, b_{ij}) и (r_{ij}, b_{ij}) в результате стеганопреобразования. При извлечении ДИ проверка условия (3) направлена на правильное определение того пикселя, который содержит ДИ. Если же после модификации значений яркости триплета (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) все же нарушается выполнение условия (3), то ДИ в рассматриваемый триплет не встраивается, но при этом в стеганосообщение сохраняются модифицированные значения яркости, а не исходные значения пикселя. Восстановление исходных значений триплета (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) приведет к тому, что при извлечении ДИ пиксель будет рассматриваться как содержащий ДИ. В результате длина извлеченной бинарной последовательности будет больше, чем погруженной ДИ, а следовательно, невозможно будет корректно восстановить переданное сообщение.

Таким образом, с учетом внесенных изменений, связанных с коррекцией значений яркости в случае переполнения за пределы диапазона $[0, 255]$, а также с учетом проверки, необходимой для корректного извлечения ДИ, основные шаги предлагаемого стеганографического метода выглядят следующим образом.

Погружение дополнительной информации.

Для каждого пикселя изображения (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) , $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$:

Шаг 1. Определить разность между значениями яркости для трёх пар значений:

$$(r_{ij}, g_{ij}), (g_{ij}, b_{ij}) \text{ и } (r_{ij}, b_{ij}): d^{rg} = |r_{ij} - g_{ij}|, d^{gb} = |g_{ij} - b_{ij}|, d^{rb} = |r_{ij} - b_{ij}|$$

соответственно.

Шаг 2. Определить пару значений яркости, используемую для погружения ДИ:

$$d = \min(d^{rg}, d^{gb}, d^{rb}).$$

2.1. Если $d = d^{rg}$, то для погружения ДИ используются значения яркости красной и зелёной цветовой составляющей, т.е. $px1 = r_{ij}$, $px2 = g_{ij}$, $px3 = b_{ij}$, $dif1 = d^{gb}$, $dif2 = d^{rb}$.

2.2. Если $d = d^{gb}$, то для погружения ДИ используются значения яркости зелёной и синей цветовой составляющей, т.е. $px1 = g_{ij}$, $px2 = b_{ij}$, $px3 = r_{ij}$, $dif1 = d^{rg}$, $dif2 = d^{rb}$.

2.3. Если $d = d^{rb}$, то для погружения ДИ используются значения яркости красной и синей цветовой составляющей, т.е. $px1 = r_{ij}$, $px2 = b_{ij}$, $px3 = g_{ij}$, $dif1 = d^{rg}$, $dif2 = d^{gb}$.

Шаг 3. В соответствии с табл. 4 определить регион, которому принадлежит минимальная разность и параметры $lower$ – нижняя граница региона, $upper$ – верхняя граница региона, и t – количество встраиваемых бит.

Шаг 4. Из сообщения, представляющего собой бинарную последовательность, взять t бит двоичной информации b_2 , полученное значение преобразовать в десятичную систему счисления (далее b_{10}). Определить $dn = lower + b_{10}$ и $m = |dn - d|$.

Шаг 5. Погружение ДИ.

Если

$$|dif1 - d| > upper - lower + 1 \ \& \ |dif2 - d| > upper - lower + 1,$$

то погружаем ДИ в соответствии с формулой:

$$(px1', px2') = \begin{cases} \left(px1 + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, px2 - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{если } px1 \geq px2 \ \& \ dn > d, \\ \left(px1 - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, px2 + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{если } px1 < px2 \ \& \ dn > d, \\ \left(px1 - \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, px2 + \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{если } px1 \geq px2 \ \& \ dn \leq d, \\ \left(px1 + \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, px2 - \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{если } px1 < px2 \ \& \ dn \leq d, \end{cases}$$

где $\lfloor \bullet \rfloor$ - округление к меньшему целому, $\lceil \bullet \rceil$ - округление к большему целому.

Иначе ДИ не встраивается, переход к шагу 8.

Шаг 6. При необходимости, откорректировать полученные значения $(px1', px2')$:

6.1. Если $px1' > 255$, то $px1' = 255$, $px2' = px1' - d - m$;

6.2. Если $px2' < 0$, то $px2' = 0$, $px1' = px2' + d + m$;

6.3. Если $px2' > 255$, то $px2' = 255$, $px1' = px2' - d - m$;

6.4. Если $px1' < 0$, то $px1' = 0$, $px2' = px1' + d + m$.

Шаг 7. Проверка условий для корректного извлечения ДИ.

Определить: $d' = |px1' - px2'|$, $dif1' = |px3 - px1'|$, $dif2' = |px3 - px2'|$.

Если

$$d' \neq \min(d', dif1', dif2') \parallel |dif1' - d'| \leq upper - lower + 1 \parallel |dif2' - d'| \leq upper - lower + 1$$

то при извлечении ДИ пиксель не рассматривается, как содержащий встроенную информацию, бинарная последовательность b_2 погружается повторно в следующий пиксель. При этом измененные значения яркости не восстанавливаются к исходным!

Шаг 8. Переход к следующему пикселю (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}) , $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$.

Шаг 9. Сохранение стеганосообщения в формате без потерь.

Извлечение дополнительной информации.

Для каждого пикселя стеганосообщения $(r'_{ij}, g'_{ij}, b'_{ij})$, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$:

Шаг 1. Определить разность между значениями яркости для трёх пар значений: (r'_{ij}, g'_{ij}) , (g'_{ij}, b'_{ij}) и (r'_{ij}, b'_{ij}) : $d^{rg'} = |r'_{ij} - g'_{ij}|$, $d^{gb'} = |g'_{ij} - b'_{ij}|$, $d^{rb'} = |r'_{ij} - b'_{ij}|$ соответственно.

Шаг 2. Определить пару значений яркости, используемую для извлечения ДИ:

$$d' = \min(d^{rg'}, d^{gb'}, d^{rb'}).$$

2.1. Если $d' = d^{rg'}$, то для извлечения ДИ используются значения яркости красной и зелёной цветовой составляющей, т.е. $px1' = r'_{ij}$, $px2' = g'_{ij}$, $px3' = b'_{ij}$, $dif1' = d^{gb'}$, $dif2' = d^{rb'}$.

2.2. Если $d' = d^{gb'}$, то для извлечения ДИ используются значения яркости зелёной и синей цветовой составляющей, т.е. $px1' = g'_{ij}$, $px2' = b'_{ij}$, $px3' = r'_{ij}$, $dif1' = d^{rg'}$, $dif2' = d^{rb'}$.

2.3. Если $d' = d^{rb'}$, то для извлечения ДИ используются значения яркости красной и синей цветовой составляющей, т.е. $px1' = r'_{ij}$, $px2' = b'_{ij}$, $px3' = g'_{ij}$, $dif1' = d^{rg'}$,

$dif2' = d^{gb'}$.

Шаг 3. В соответствии с табл. 4 определить регион, которому принадлежит минимальная разность и параметры $lower'$ – нижняя граница региона, $upper'$ – верхняя граница региона, и t' – количество извлекаемых бит.

Шаг 4. Извлечение ДИ.

Если

$$|dif1' - d'| > upper' - lower' + 1 \& |dif2' - d'| > upper' - lower' + 1,$$

то:

4.1. Определить $dn' = d' - lower'$.

4.2. Преобразовать dn' в двоичную систему счисления (результат b').

4.3. При необходимости дополнить b' слева нулевыми битами, если длина b' меньше t' .

4.4. Записать b' к предыдущей извлечённой информации.

Иначе извлечения ДИ не происходит, переход к следующему пикселу.

В результате тестирования алгоритмической реализации предложенного метода все погруженные биты ДИ извлекались верно.

Для сравнения разработанного стеганографического метода, который далее будем называть SCMPVD (Selected Color Matrix Pixel Value Differencing) с современными аналогами используются PSNR и длина погруженного сообщения. Сравнение осуществляется с теми аналогами, которые обеспечивают сокрытие ДИ сравнимой длины с предлагаемым методом. Результаты сравнения приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5.

Длина встроенного сообщения (в байтах) разработанного метода и существующих аналогов

	SCMPVD (2018)	[5] (2003)	[10] (2008)	[11] (2013)	[12] (2015)
Lena	70215	51219	75836	83654	24576
Baboon (Mandrill)	54503	57146	82407	91286	24576
Airplane (Jet)	26394	51224	76352	81851	24576
House	55347	нет	нет	нет	нет
Boat (Sailboat)	57923	нет	нет	нет	24576
Peppers	68144	50907	75579	78612	24576
Pot (Splash)	64106	нет	нет	нет	нет

Таблица 6.

Значения PSNR (дБ) разработанного метода и существующих аналогов

	SCMPVD (2018)	[5] (2003)	[10] (2008)	[11] (2013)	[12] (2015)
Lena	46,8038	41,79	38,89	45,0926	41,58
Baboon (Mandril)	47,0908	37,9	33,93	39,0633	33,29
Airplane (Jet)	52,5019	40,6	38,7	43,9345	43,73
House	48,8819	нет	нет	нет	нет
Boat (Sailboat)	48,6236	нет	нет	нет	38,76
Peppers	46,7401	40,97	38,5	42,05	47,41
Pot (Splash)	46,9678	нет	нет	нет	нет

Как видно из табл. 5 и 6, разработанный метод обеспечивает более высокую целостность восприятия изображения по сравнению с аналогами при сопоставимой длине встроенного сообщения – значения PSNR превышают 46,5 дБ (табл. 6), что не достигалось аналогами (результат улучшен максимально на 13,8%).

Исключение составило изображение «Airplane (Jet)», где длина встроенного сообщения составила всего 26394 байт (табл. 5), что позволяет сделать вывод, что при погружении ДИ методом SCMPVD длина встраиваемого сообщения зависит от характеристик самого контейнера. И действительно, данное изображение содержит большое число пикселей, для которых не выполняется условие (3), которое не позволяет использовать такие пиксели для встраивания ДИ. Однако по сравнению с аналогом [12] при сопоставимой длине сообщения значение PSNR составило 52,5019 дБ по сравнению с 43,73 дБ.

Выводы

В работе проведен анализ и выявлены недостатки существующих стеганографических методов на основе разности пикселей (метода PVD), результатом чего явилось усовершенствование классического метода путем коррекции значений яркости пикселей в случае переполнения за пределы диапазона [0, 255], а также модификация таблицы диапазонов квантования. С учетом предложенных усовершенствований разработан стеганографический метод погружения ДИ в пространственную область цветных ЦИ на основе метода PVD. Предложенный метод SCMPVD для погружения ДИ использует цветовой триплет, что позволяет модифицировать значения яркости таким образом, чтобы сохранить визуальную целостность стеганосообщения. По результатам вычислительного эксперимента удалось получить значения PSNR для цветных ЦИ более 46,5 дБ, что превышает результаты современных аналогов.

Список литературы

1. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография: теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 288 с.
2. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ: [монография] / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. — М.: Вузовская книга, 2009. — 220 с.
3. Hsien-Wen Tseng. A Steganographic Method Based on Pixel-Value Differencing and the Perfect Square Number / Hsien-Wen Tseng, Hui-Shih Leng // Journal of Applied Mathematics. — Volume 2013. — Pp.1-8.

4. Khalid, A. Darabkh. A New Steganographic Algorithm Based on Multi Directional PVD and Modified LSB / Khalid A. Darabkh, Ahlam K. Al-Dhamari, and Iyad F. Jafar // Journal of Information Technology and Control. — 2017. — Vol. 46, No. 1. — Pp. 16-36.
5. D.C. Wu. A Steganographic method for images by pixel-value differencing / D.C. Wu, W.H. Tsai // Pattern Recognition Letters. — 2003. — Vol. 24. — Pp. 1613-1626.
6. Anita Pradhan. Digital Image Steganography based on Seven Way Pixel Value Differencing / Anita Pradhan, K. Raja Sekhar, Gandharba Swain // Indian Journal of Science and Technology. — 2016. — Vol. 9 (37). — Pp. 1-11.
7. Osama Hosam. Adaptive block-based pixel value differencing steganography / Osama Hosam, Nadhir Ben Halima // Security Comm. Networks. — 2016. — No. 9. — Pp. 5036-5050.
8. Gandharba Swain. A steganographic method combining LSB substitution and PVD in a block / Gandharba Swain // International Conference on Computational Modeling and Security (CMS 2016). - Procedia Computer Science. — Pp. 39 – 44.
9. Shiv Prasad. An RGB colour image steganography scheme using overlapping block-based pixel-value differencing / Shiv Prasad, Arup Kumar Pal // Royal Society Open Science. — 2017. — No. 4. — Pp. 1-14.
10. Chang, K.C. A Novel Image Steganographic Method Using Triway Pixel-Value Differencing / K.C. Chang, C.P Chang, P.S. Huang, T.M. Tu // Journal of Multimedia. — 2008. — Vol. 3, No. 2. — Pp.37-44.
11. Nagaraja, V. Color Image Steganography based on Pixel Value Modification Method Using Modulus Function / V. Nagaraja, Dr. V. Vijayalakshmi, Dr. G. Zayaraz // 2013 International Conference on Electronic Engineering and Computer Science, 2013. — IERI Procedia 4. — Pp. 17-24.
12. Yang, C-Y. Block based color image steganography using smart pixel-adjustment / Yang C-Y, Wang W-F // Adv. Intell. Syst. Comput. — 2015. — No. 329. — Pp. 145–154.

РОЗРОБКА СТЕГАНОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ ВБУДОВИ ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОСТОРОВУ ОБЛАСТЬ КОЛЬОРОВИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Г.В. Ахматєєва, В.В. Коваленко

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: a.v.akhmamatieva@onu.ua

В роботі розроблено новий стеганографічний метод вбудови додаткової інформації в просторову область кольорових цифрових зображень, заснований на врахуванні різниці між значеннями яскравості кольорового триплету (методі PVD). В ході розробки методу обґрунтований вибір таблиці діапазонів квантування, яка є складовою частиною класичного методу PVD, що використовується в розробленому методі SCMPVD (Selected Color Matrix Pixel Value Differencing). Проведено удосконалення класичної схеми вбудови додаткової інформації PVD-методом, пов'язане з переповненням модифікованих значень яскравості за межі діапазону [0, 255], що раніше призводило до помилок в процесі вилучення додаткової інформації. На основі запропонованих удосконалень до класичного методу PVD розроблений новий стеганографічний метод, що здійснює вбудову в кольорний триплет. З метою мінімізації помітних спотворень кольорів пропонується проводити вбудову додаткової інформації в ті кольорні складові триплету, між якими маємо мінімальне значення різниці, таким чином в процесі вбудови додаткової інформації в різні пікселі можуть використовуватися різні кольорні складові. Для коректного вилучення вбудованого повідомлення передбачена перевірка, направлена на забезпечення деякого «зазору» між модифікованими значеннями яскравості та значенням яскравості, яке не використовується в процесі стеганоперетворення, що дозволяє зберегти мінімальну різницю в триплеті стеганоповідомлення. Розроблений метод забезпечує правильне відновлення вбудованої інформації після її вилучення з стеганоповідомлення. Стеганографічний метод SCMPVD забезпечує значення PSNR більше 46,5 дБ, що значно перевищує сучасні аналоги при порівнянних об'ємах вбудованої додаткової інформації, при цьому цілісність сприйняття стеганоповідомлення підвищено максимально на 13,8%.

Ключові слова: стеганографія, цифрові зображення, кольорний триплет, метод PVD, Pixel Value Differencing

DEVELOPMENT OF THE STEGANOGRAPHIC METHOD OF EMBEDDING OF ADDITIONAL INFORMATION INTO THE SPATIAL DOMAIN OF COLOR IMAGES

A.V. Akhmametiyeva, V.V. Kovalenko

Odesa National Polytechnic University,

1, Shevchenko Str., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: a.v.akhmametiyeva@opu.ua

A new steganographic method of embedding of additional information into the spatial domain of color digital images based on taking into account the difference between the brightness values of the color triplet (PVD method) is developed. During the development of the method the selection of the quantization range table which is an integral part of the classical PVD method is justified, a modification of the quantization range table used in the developed method SCMPVD (Selected Color Matrix Pixel Value Differencing) is proposed. An improvement in the classical scheme of embedding of additional information by the PVD method was proposed related to the overflow of the modified brightness values outside the range $[0, 255]$ which previously led to errors in the extraction of additional information. On the basis of the proposed improvements to the classical PVD method a new steganography method is developed that embeds additional information into a color triplet. To minimize noticeable color distortions, it is suggested to insert additional information into those color components of the triplet between which we have the minimum value of the difference, thus, when embedding of additional information into different pixels different color components can be used. For correctly extracting of the embedded message the check, which reckon for a "gap" between the modified values of brightness and unused during steganographic transformation brightness value is provided that will save the minimum difference in the triplet stego. The developed method ensures correct restoration of the built-in information after its extraction from the stego. The steganographic method SCMPVD provides PSNR of more than 46.5 dB which is significantly higher than modern analogs with comparable amounts of embedded additional information, at the same time the integrity of perception of a stego is improved by as much as possible for 13,8%.

Keywords: steganography, digital image, color triplet, method PVD, Pixel Value Differencing

APPROACH TO IDENTIFYING PLAGIARISM IN MULTILINGUAL TEXTS**V.G. Penko, I.H. Gafar Abdula**

Odesa I.I. Mechnikov National University,
2, Dvoryanska Str., Odesa, 65082, Ukraine; e-mail: vpenko@onu.edu.ua

The task of identifying plagiarism between texts in different languages is an important variation of the general problem of identifying plagiarism. To solve this problem it is productive to calculate the degree of certain similarity of two texts which is called parallelism. In the article, the method of parallelism estimation based on Zipfian frequency distribution is studied. The key idea of the method is the construction of a linear regression model that compares the areas under the linearized Zipf curve for the corresponding documents. A computational procedure has been implemented to find the optimal classification parameters for such a model. To obtain a model more relevant to specific application conditions, computational experiments were performed to determine the optimal parameters corresponding to two classification metrics: the proportion of correct answers (accuracy) and F1-measure. The determination of the best classification parameters performed on the basis of the training subset of the corpora. To reliably estimate the model, classification metrics are recalculated on a test subset. The performed computational experiments using this approach showed limited applicability to language pairs composed of English, Russian and Ukrainian texts. To improve the filtering performance of parallel texts, a filter based on word frequencies in texts is proposed and implemented. To improve the quality of classification two directions have been formulated: an extension of the text corpora used in the model training, as well as methods for mutual using several classification filters.

Keywords: parallelism of multilingual texts, Zipfian frequency distribution, linear regression model, classification metrics, word frequency based filter, optimal classification parameters

Introduction

With the passage of time, the availability of information increases. This applies to both the volume and variety of information, and to tools that provide an increasingly convenient and easy way to access information of various activities and qualifications. In such circumstances, it becomes possible to create information-relevant documents, composed largely of fragments borrowed from other sources. This method considered unfair. It is customary to call this approach plagiarism. Under the conditions described, the task of identifying plagiarism is becoming more relevant.

The term "plagiarism" has an informal, but fairly stable definition. According to article 50 of the Law of Ukraine "On Copyright and Related Rights", plagiarism is the publication, in whole or in part, of someone else's work under the name of a person who is not the author of this work. Despite the brevity and simplicity of this formulation, in some cases this definition cannot be interpreted unequivocally.

In this situation, more and more sophisticated methods are required. It is important to understand the reason for the complexity of the task of detecting plagiarism. In our opinion, it is determined by the complexity of the objects that form the subject area (texts, language, knowledge). In fact, a full-fledged solution to this problem is an example of an extremely complicated task from the category of natural language processing (NLP). Other such tasks are machine translation, systems with a natural language interface, etc.

There is a large number of available automated systems for detecting plagiarism. Some of them are de facto standard for use within academic institutions. To gain access to the full functionality of such systems, commercial licenses are often required. An analysis of the standard functionality of antiplagiarism systems reveals their typical drawback. If an unscrupulous author gets access to the original material published, for example, in English, and then straightforwardly and qualitatively translates it into his native language, then from a legal point of view it is plagiarism. This phenomenon can be called a multi-lingual plagiarism. At the same time, available anti-plagiarism systems cannot detect it.

The proposed work is devoted to the development of automated means of detecting multilingual plagiarism. Such a task, obviously, will require the involvement of a diverse arsenal of methods offered for a broader range of NLP tasks. In this area, there are many methods. From our point of view, they can be divided into two categories:

- methods that analyze the internal structure of the document;
- methods that use generalized statistical information about texts.

It may seem that the first category of methods has a higher potential for qualitative detection of plagiarism. However, for the problem of multilingual plagiarism, their application is difficult, since it will require the development of non-trivial means of structural analysis of texts and at least partial implementation of machine translation.

The approach proposed in this article is the application of methods of the second category to solve the problem of multilingual plagiarism.

A common feature of all methods of this category is the ability to extract brief information about the text, which essentially characterizes its contents. The simplest example of such feature is the title of the text. Another way of compact representation of the characteristic features of the text arises from the application of the well-known Zipf's law.

Zipf's law is a statistical law, working in a wide range of subject areas. In the context of word processing, it is formulated as follows: the frequency of words in the text is inversely proportional to their rank. Rank - the ordinal number of the word, in the list of all words in descending order of their frequencies.

From now on, we shall call two texts parallel in the case when one of them is obtained as a result of the translation of the other. Obviously, this term is closely related to the identification of multi-lingual plagiarism.

The aim of this paper is to investigate the applicability of the analysis of the Zipf curve to identify multi-lingual plagiarism for "English-Russian", "English-Ukrainian" and "Russian-Ukrainian" language pairs.

The quantitative evaluation of the parallelism is determined in the form of a series of separate computational procedures.

Related works

Zipf's law is quite intensively used in solving NLP tasks. In [1] an attempt is made to justify Zipf's law, reliance on the features of human memory. This rationale is useful for understanding the hidden features that are universally manifested in virtually all large enough texts. These features allow us to apply the Zipf law in NLP problems. An earlier publication [2] investigated different characteristics of texts and text corpora that ensure the abundance of Zipf's law. This allows for a rough classification, relating the texts to one of two categories ("normal" and "abnormal"). An example of the practical application of the Zipf law in [3] is the identification of the functional significance of abbreviations and acronyms in English and German.

In [4] Zipf's law is used to identify the parameters of the Zipf curve characteristic for each language. As a result of computational experiments, the authors developed a filter that provided high performance when identifying parallel texts.

Preparatory stages of filter construction

Before applying to the text specific techniques that determine the degree of parallelism, each text must go through the stages of preliminary processing, presented in Fig. 1

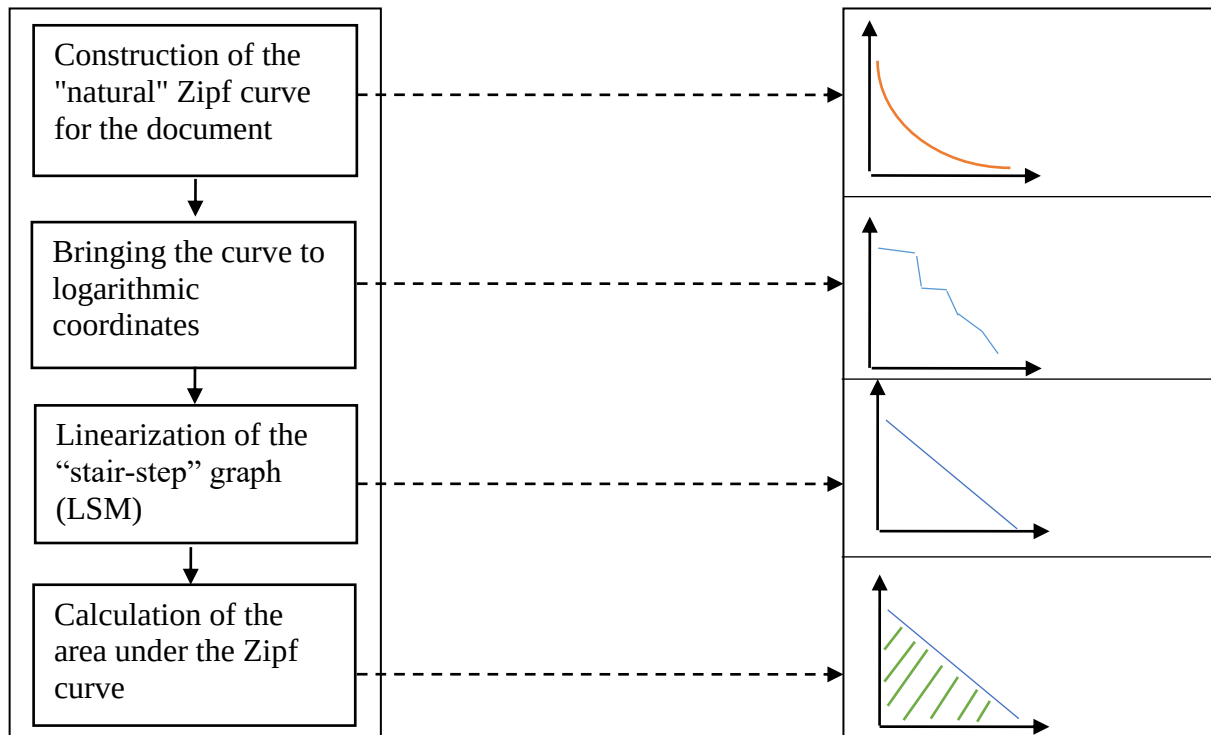


Fig. 1. The preliminary stages of Zipf-filter construction

The first step in the filter operation is the construction of the natural Zipf curve for one text. Further, the graph is reduced to logarithmic coordinates, which gives the natural hyperbolic Zipf curve the appearance of the "stepped" line. The next step is the linearization of the step graph using the least squares method (LSM). At the last stage, the area under the linearized Zipf curve is calculated.

The use of this area is the central idea in the construction of the Zipf filter. The relationship between the slope of the line and the area below it determines typical situations that allow one to conclude that the two texts represented by these lines are parallel. Consider the situations presented in Fig. 2.

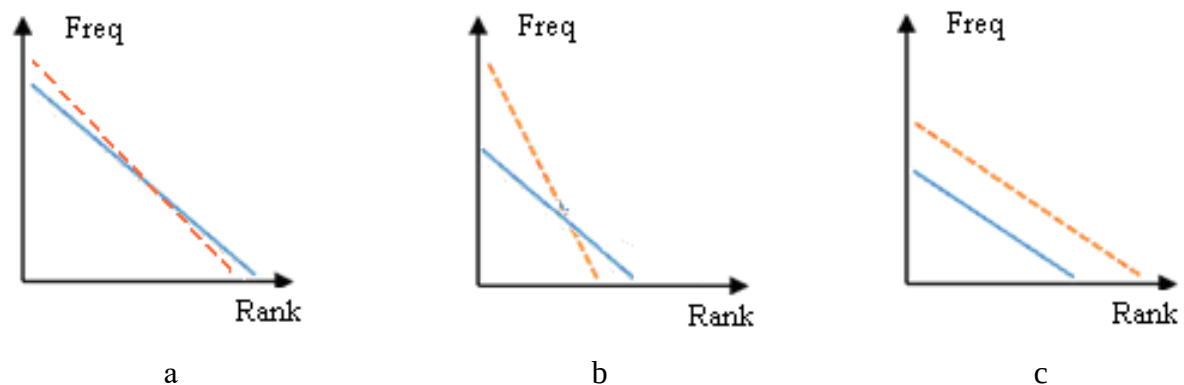


Fig. 2. Various options for the relations between the frequency characteristics of texts in accordance with the Zipf law: a – equality of areas, different slope; b – different areas, different slope; c – different areas, equality of slope

From the point of view in [4], option a) (equality of areas, different slope) is treated as a sign of parallelism, and option c) (different areas, equality of slope) as its absence. The most interesting is option b) (different areas, different slope). At first glance, this situation can be interpreted as the lack of parallelism. However, our conclusion will change to the opposite if statistical analysis of the pairs of parallel texts for a certain language pair will reveal a stable pattern in the ratio between areas. This criterion is, to some extent, hypothetical and requires experimental confirmation. In this article, the authors presented the results of an experiment to confirm this hypothesis, and concluded that this criterion was competitive in comparison with several known ones. For a corpora of some dozen texts of several language pairs ("English-Spanish", "English-Dutch" and "English-Swedish"), a series of classifying models with different tuning parameters was built. The best values of the average harmonic characteristics of F1-measure with respective values of δ (parameter of classification model providing best result) are shown in Table 1. There is another useful classification metrics which is called accuracy. It was not represented in this research paper.

Table 1.

Classification metrics' results for three language pairs

English – Spanish		English - Dutch		English - Swedish	
δ	F1	δ	F1	δ	F1
6	0.57	3	0.58	4	0.74

We consider that obtained results show effectiveness of the described classification approach. It is the subject of interest to test this approach under specific conditions. In particular, it is important to apply this approach to the language pairs that are more relevant in our circumstances (English-Russian, English-Ukrainian, Russian-Ukrainian).

Training Zipfian filter

To build a Zipf filter, you need to pre-process rather large amount of parallel texts pairs, calculating the areas under the Zipf curve for them. Thus, each pair of parallel texts is represented by two values: x_i is the area under the Zipf curve of the i -th text in one language and y_i is the area under the Zipf curve of the i -th text in another language. To obtain a characteristic relation between these values within the bounds of two languages, based on these data, the linear regression model is constructed by using LSM: $y = a_0 + a_1 x$.

Having this model, we can formulate a criterion for determining the parallelism of two texts D_s and D_t .

$$Par_{zipf}(D_s, D_t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |\epsilon| \leq \delta, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where ϵ is the model error for this text pair $\epsilon_i = y_i - (a_0 + a_1 x_i)$.

The best result will be achieved when $\epsilon = 0$, which means that the area obtained as a result of the model's operation coincides with the actual value. However, it is necessary to allow some degree of deviation of the actual area from the area obtained by using the model (threshold δ). The final stage of training the parallel text filter is to find the value of threshold δ which provides best classification results. The magnitude of this threshold can be found through the solution of the problem of optimizing the functioning of the classifier in accordance with one of the generally accepted metrics (accuracy, precision, recall, F1). This

problem can be solved empirically due to the linear nature of the classification model used. In this paper we used the following procedure.

Initially, the range within which the best threshold value is searched is empirically determined. Further, for each value from this range (with some step), the target classification metrics (accuracy or F1) are determined. At each step of this process, a subset of text pairs (the learning set) is used. The threshold value at which the best classification results are obtained is considered optimal. Another subset of text pairs (test set) is used to assess the effectiveness of the model with the calculated threshold. If the results of applying the obtained model to the test set are comparable with respect to the training set, the model can be considered sufficiently reliable.

Description of the computational experiments

To implement the approach described above, a software system was developed. Its object-oriented structure is shown in Fig. 3 as a class diagram.

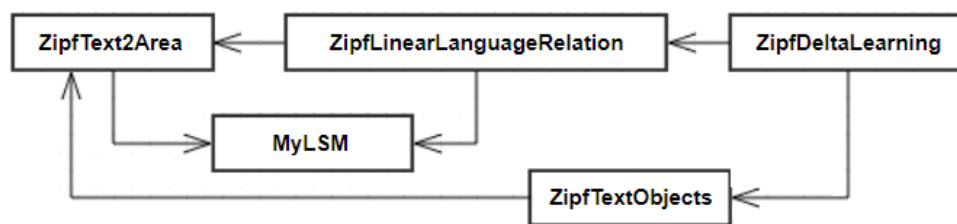


Fig. 3. Zipf filter class diagram

Description of classes in the diagram:

- ZipfText2Area - calculation of the area under the linearized logarithmic Zipf curve.
- ZipfLinearLanguageRelation - defines the relation between the areas of the texts for two languages using the linear regression model and calculates the deviation for two specific texts in terms of this model
- ZipfDeltaLearning - finds the best threshold value in accordance with the formula (1).
- MyLSM - least squares method for linearizing the Zipf curve and determining the parameters of linear regression of two languages.
- ZipfTextObjects - objects that store information about areas under the Zipf curve for a given set of texts.

The experiments in this work used relatively small text corpus consisting of parallel texts in three languages – 20 pairs (English, Russian), 12 pairs (English, Ukrainian) and 12 pairs (Russian, Ukrainian). Preparing this corpus in terms of the proposed research methodology, a significant shortage of lexical resources in the Ukrainian language was revealed. In order to avoid influencing the results with insignificant lexical information, each text has been cleaned from stop words.

The results of the experiments are summarized in Table 2.

Table 2.

Results of experiments with Zipfian filter

	Accuracy (training)	Best δ	Accuracy (testing)	F1 (training)	Best δ	F1 (testing)
EN-RU	0.9	0.03	0.89	0.37	0.43	0.35
EN-UK	0.95	0.32	0.81	0.84	0.32	0.66
RU-UK	0.91	0.16	0.81	0.76	0.21	0.66

The results in Table. 2 in some cases exceed the results from [4] with respect to the F1-measure. In addition, rather high values are obtained. Some instability in F1-measure can be associated with the limited size of the training corpora.

Implementing a filter based on the frequency profile of the text

The above results of applying the proposed Zipf filter do not allow to consider such a filter reliable for classifying parallel texts between language pairs English-Russian. The next step in the progress of this work was the development and implementation of a fairly simple parallel text filter, which in the future will be called a word frequency based filter. In this case, a characteristic feature of the text is the frequency distribution of words in the text. The hypothesis underlying this filter is that the frequency distribution of the most popular words in two parallel texts will show a high coincidence.

Formally, this can be represented as follows.

Let $w_1^1, \dots, w_n^1$ be the words of text 1 ordered from the frequency of occurrence in text1, and $w_1^2, \dots, w_m^2$ are the words of text 2 ordered from the frequency of occurrence in text2.

The sets $FW_1 = (w_1^1, \dots, w_k^1)$ and $FW_2 = (w_1^2, \dots, w_k^2)$ are the sets of k most popular words in texts 1 and 2

$|FW_1 \cap FW_2|$ – the number of matching words in FW_1 and FW_2 (taking into account the translation)

$$Par_{WordFreq}(D_s, D_t) = \begin{cases} 1, & \text{if } |FW_1 \cap FW_2| \leq \delta, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

This filter was implemented using several procedures, among which we note the following:

- Automation of the translation from one language to another (performed using Google online services)
- The method of empirical selection of optimal parameters of the model for achieving the best classification results (similar to the one used to construct the Zipf filter)

The results of the experiments are summarized in Table 3.

Table 3.

Results of experiments with word frequency based filter

	Accuracy (training)	Best δ	Accuracy (testing)	F1 (training)	Best δ	F1 (testing)
EN-RU	0.99	0.2	0.94	0.9	0.2	0.8
EN-UK	0.97	0.21	0.94	0.86	0.21	0.86
RU-UK	0.89	0.03	0.75	0.69	0.02	0.66

Here we can see rather high values both in accuracy and F1-measure.

Conclusions

Two methods for determining parallel texts were developed and tested. The first method is based on the analysis of the frequency distribution of words in accordance with the Zipf law. The second is the overlapping of high-frequency words in documents. The results of experiments do not allow us to state that any of these methods cannot be used as a high

reliable classifier. However, given the different nature of these two methods, several schemes for their cooperative usage can be proposed, taking into account the specific requirements of the problem.

Thus, two directions are promising in the future:

- development of effective schemes for the joint use of several classification models;
- work on the expansion of linguistic resources corpora, applicable within the framework of the proposed approach.

References

1. Steven, T. Piantadosi Zipf's word frequency law in natural language: A critical review and future directions *Psychon Bull Rev.* 2014. — 21 (5). — Pp. 1112–1130. doi:10.3758/s13423-014-0585-6.
2. David, M.W. Powers. Applications and Explanations of Zipf's Law. In D.M.W. Powers (ed.) *NeMLaP3/CoNLL98: New Methods in Language Processing and Computational Natural Language Learning*, ACL, 1998. — Pp. 151-160.
3. Орехова, О.М. Реализация закона Ципфа на материале английского и немецкого языков *Филологические науки. Вопросы теории и практики* Тамбов: Грамота, 2014. — № 4 (34), Ч. I. — С. 161-163. ISSN 1997-2911.
4. Mehdi, M.P. Document Identification using Zipf's Law *Proceedings of the Ninth Workshop on Building and Using Comparable Corpora, LREC 2016, Portorož, Slovenia, May 23, 2016.* — Pp. 21-25

ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ПЛАГІАТУ РІЗНОМОВНИХ ТЕКСТІВ

В.Г.Пенко, І.Х. Гафар Абдула

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна; e-mail: vpenko@onu.edu.ua

Завдання виявлення плагіату між текстами на різних мовах є важливим різновидом загального завдання виявлення плагіату. Для вирішення цього завдання плідним є можливість обчислювати ступінь подібності (паралельності) двох текстів. У статті вивчається метод оцінки паралельності на основі розподілу частот Зіпфа. Ключовою ідеєю методу є побудова лінійної регресійної моделі, що співставляє площі під лінеаризованими кривими Зіпфа для текстів, що співставляються. Реалізована обчислювальна процедура для знаходження оптимальних параметрів класифікації такої моделі. Для отримання моделі, яка більшою мірою відповідає конкретним умовам застосування проведені дві серії обчислювальних експериментів для визначення оптимальних параметрів, що відповідають двом класифікаційним метрикам: Ассурасу і F1-міра. Визначення найкращих класифікаційних параметрів відбувається на основі навчального підмножини корпусу. Для надійної оцінки моделі класифікаційні метрики перераховуються на тестовому підмножині. Виконані обчислювальні експерименти з використанням цього підходу показали обмежену придатність що до мовних пар, складених з англійських, російських та українських текстів. Для поліпшення показників фільтрації паралельних текстів запропонований і реалізований фільтр, що базується на частотах слів в текстах. Сформульовано напрямки, що дозволяють поліпшити показники якості класифікації: розширення корпусу текстів, що використовується при навчанні моделі, а також методи спільного використання декількох класифікаційних фільтрів.

Ключові слова: паралелізм різномовних текстів, розподіл частот по Зіпфа, лінійна регресійна модель, метрики класифікації, фільтр по частотах слів, оптимальні класифікаційні параметри

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ПЛАГИАТА РАЗНОЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ

В.Г.Пенко, И.Х. Гафар Абдула

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина; e-mail: vpenko@onu.edu.ua

Задача выявления плагиата между текстами на разных языках является важной разновидностью общей задачи выявления плагиата. Для решения этой задачи плодотворным является возможность вычислять степень параллельности двух текстов. В статье изучен метод оценки параллельности на основе Zipfian frequency distribution. Ключевой идеей метода является построение линейной регрессионной модели, сопоставляющей площади под линеаризованной кривой Зипфа для соответствующих документов. Реализована вычислительная процедура для нахождения оптимальных параметров классификации такой модели. Для получения модели, в большей степени соответствующей конкретным условиям применения проведены две серии вычислительных экспериментов для получения оптимальных параметров, соответствующих двум классификационным метрикам: доля правильных ответов и F1-мера. Определение наилучших классификационных параметров происходит на основе обучающего подмножества корпуса. Для надежной оценки модели классификационные метрики пересчитываются на тестовом подмножестве. Выполненные вычислительные эксперименты с использованием этого подхода показали ограниченную применимость к языковым парам, составленным из английских, русских и украинских текстов. Для улучшения показателей фильтрации параллельных текстов предложен и реализован фильтр, основанный на частотах слов в текстах. Сформулированы направления, позволяющие улучшить показатели качества классификации: расширение корпуса текстов, используемого при обучении модели, а также методы совместного использования нескольких классификационных фильтров.

Ключевые слова: параллелизм разноязыковых текстов, распределение частот по Зипфу, линейная регрессионная модель, метрики классификации, фильтр по частотам слов, оптимальные классификационные параметры

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИДАЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

О.Ю. Лебедєва, М.І. Токар

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: o.y.lebedieva@onu.ua

Сучасні технології дозволяють створювати цифрові зображення у будь-яких умовах та надають можливість користувачеві відразу побачити результат. При перегляді одержаних зображень може виявитися, що в кадр потрапляє непотрібний об'єкт або кілька таких об'єктів. Виникає потреба видалити ці зайві об'єкти. У роботі розроблено два алгоритми видалення об'єктів з цифрових зображень. Існує декілька напрямів для рішення проблеми, пов'язаної з видаленням небажаних об'єктів з цифрових зображень. Одним з таких напрямків є клонування, що реалізовано у графічному редакторі Adobe Photoshop у вигляді інструменту Штамп. Другим напрямом є заливка з урахуванням вмісту, що реалізовано у графічному редакторі Adobe Photoshop у вигляді інструменту за такою ж назвою. В основі розробок, розглянутих у статті, лежить третій напрямок, а саме використання послідовності цифрових зображень. Розроблена та наведена методика отримання цифрових зображень у вигляді послідовності кадрів з об'єктом або сценою, що цікавить. В основу розроблених алгоритмів видалення об'єктів з цифрових зображень покладена теорія фільтрації, де під шумом розуміють всі об'єкти, що рухаються в обраній сцені. Одним з шляхів для боротьби з шумом є усереднення зображень. Розглядаються лінійний та нелінійний фільтри усереднення зображень. В якості нелінійного фільтра використовується медіанний фільтр. У розроблених алгоритмах використовуються при обробці зображень колірні моделі RGB та YUV. У роботі наведені приклади роботи обох розроблених алгоритмів видалення зайвих об'єктів. Робиться висновок о доцільності використання розроблених алгоритмів для рішення задачі, що розглядається.

Ключові слова: цифрове зображення, послідовність цифрових зображень, зайві об'єкти, фільтрація, лінійні та нелінійні фільтри, фільтр усереднення зображень, медіанна фільтрація.

Вступ

Сьогодні графічні редактори заповнили більшість персональних комп'ютерів, мобільних телефонів, планшетів та інших гаджетів. Вони використовуються як окремі програми на вашому обладнанні, або онлайн сервіс в інтернеті. Особливої уваги заслужили мобільні телефони: тінейджери не можуть уявити своє життя без них. Вони завжди роблять фотографії і, попередньо оброблюючи їх у графічних редакторах, викладають до соціальних мереж або обмінюються ними через інші сервіси.

З кожним днем проблема видалення об'єктів з цифрових зображень стає все актуальнішою. В кожного з нас були такі моменти в житті: зробили фотографію і після її перегляду помітили, що в кадр потрапив сторонній об'єкт або декілька зайвих об'єктів під час зйомки, які заважають загальній композиції. Саме в таких ситуаціях і виникає потреба видалити сторонні об'єкти. Не менш цікавляться цією проблемою професійні фотографи, тому що їм, як нікому, важливо зробити гарний кадр на будь-якому заході. Для редагування своїх знімків вони можуть використовувати графічні редактори або інші програми.

Сьогодні існують наступні напрями видалення об'єктів з цифрових зображень:

- клонування,
- заливка з урахуванням вмісту,
- обробка послідовності кадрів.

Такі графічні редактори як Adobe System, Movavi, CyberLink та інші використовують різні напрямки видалення об'єктів з цифрових зображень, зокрема клонування. На ньому засновані такі інструменти Adobe Photoshop, як Штамп (Clone Stamp), Пензель відновлення (Healing Brush) і Латка (Patch) [1]. Використовуючи їх, користувач може замінити об'єкт, що видаляється, на клоновану частину зображення та обробити її іншими інструментами. Ще один напрям, реалізований у редакторах, наприклад, в Adobe Photoshop, для заповнення області об'єкту, що видаляється, шляхом заливки з урахуванням вмісту. Для цього в Adobe Photoshop використовується інструмент під назвою «Заливка з урахуванням вмісту» (Content-Aware) [2]. На відміну від попередніх інструментів, заливка з урахуванням вмісту реалізована в версії CS6.

Кожний з розглянутих напрямів має як свої переваги, так і недоліки.

Метою даної роботи є розробка алгоритму видалення об'єктів з цифрових зображень шляхом обробки послідовності кадрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні *задачі*:

- розробити алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень;
- розробити алгоритм видалення об'єктів за допомогою медіанного фільтру зображень;
- програмно реалізувати розроблені алгоритми.

Для отримання послідовності зображень необхідно мати спеціальне обладнання, таке як цифровий апарат, або планшет, або мобільний телефон, встановлені на штативі. Обирається об'єкт або сцена зйомки, що планується фотографувати. Також обирається найбільш зручне та найбезпечніше положення цифрового апарату, яке ні в якому разі не змінюється протягом всієї зйомки, щоб не змінити кут зйомки.

Наступним кроком є безпосередня зйомка. Натискати кнопку зйомки на фотоапараті, мобільному телефоні або іншому обладнанні через певний проміжок часу буде незручно, не кажучи вже про те, що ми можемо ненароком змінити кут зйомки при натисканні кнопки, тому рекомендується користуватися вбудованою (в вище перерахованих обладнаннях) функцією «Покадрова зйомка», яка дозволяє робити фото через зазначений вами проміжок часу. Після проведеної зйомки отримаємо послідовність зображень для подальшої обробки.

Під зайвими об'єктами у роботі будемо розуміти всі об'єкти, що рухаються в обраній сцені.

Основна частина

Зазвичай зображення, сформовані різними інформаційними системами, спотворюються впливом шуму. Це ускладнює як їх візуальний аналіз людиною-оператором, так і автоматичну обробку в комп'ютері. При вирішенні деяких завдань обробки зображень в ролі шуму можуть виступати ті чи інші компоненти самого зображення. Для їх усунення використовуються фільтри та процедура фільтрації.

Усереднення зображень – це один із способів обробки зображень з шумом. Фільтри усереднення зображень можна поділити на лінійні та нелінійні. Принцип дії лінійних полягає в підсумовуванні кількості пікселів всередині вибірки з наступним діленням отриманої суми на число пікселів. Нелінійні базуються на сортуванні значень пікселів і виборі одного оптимального.

Нехай маємо зображення з шумом $g(x, y)$, що формується додаванням шуму μ до вихідного зображення $f(x, y)$, тобто [3] $g(x, y) = f(x, y) + \mu$. Тоді метою усереднення

зображень є зменшення рівня шуму шляхом підсумовування серії зашумлених зображень: $\{g_i(x, y)\}$.

У роботі в якості шуму μ розглядаються зайві об'єкти на зображенні $g(x, y)$. Серії зашумлених зображень $\{g_i(x, y)\}$ отримаємо шляхом зйомки об'єкту або сцени, що цікавить, з використанням штативу. Тоді об'єкти, що випадково попадають у зображення, є шумом.

Пропонується наступний алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень.

1. Нехай $P = \{P^1, P^2, \dots, P^s\}$ – послідовність зображень розміру $M \times N$.

Для кожного зображення P^k , $k = 1, \dots, s$:

Якщо

використовується колірна схема RGB

то

виділити матриці R^k , G^k , B^k - колірні складові.

Якщо

використовується колірна схема YUV,

то

обчислити матриці Y^k , U^k , V^k :

$$Y^k = \{y_{11}^k, y_{12}^k, \dots, y_{MN}^k\}, U^k = \{u_{11}^k, u_{12}^k, \dots, u_{MN}^k\}, V^k = \{v_{11}^k, v_{12}^k, \dots, v_{MN}^k\}.$$

2. Побудувати матриці:

$$Y = \{y_{11}, y_{12}, \dots, y_{MN}\}, U = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{MN}\}, V = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{MN}\}$$

розміру $M \times N$ шляхом наступних кроків:

для $\forall i, j$, $i = 1, \dots, M$, $j = 1, \dots, N$:

2.1 Знайти середнє арифметичне значення яскравості пікселів i, j серед всіх

зображень P^k матриці Y^k : $y_{ij} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s y_{ij}^k$.

2.2 Знайти середнє арифметичне значення яскравості пікселів i, j серед всіх

зображень P^k матриці U^k : $u_{ij} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s u_{ij}^k$.

2.3 Знайти середнє арифметичне значення яскравості пікселів i, j серед всіх

зображень P^k матриці V^k : $v_{ij} = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s v_{ij}^k$.

3. Перетворити матриці $\{Y, U, V\} \rightarrow \{R, G, B\}$, де R , G , B – матриці нового зображення без зайвих об'єктів.

Приклад роботи алгоритму для отриманої послідовності зображень (рис. 1), представлений на рисунку 2. Зайвими об'єктами на отриманій послідовності зображень є люди, які рухаються по доріжці.



Рис. 1. Послідовність зображень для обробки



Рис. 2. Результат роботи алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень

Як видно з рисунку 2, було створене нове зображення з необхідною сценою без зайвих об'єктів (людей, що гуляють), але на зображенні можна побачити так звані фантомні об'єкти, у вигляді напівпрозорих об'єктів або їх частин (рис. 3).

Один з видів нелінійного усереднення – це медіанний фільтр. Значення пікселів записуються в ряд, ряд сортується і повертається центральний елемент, тобто медіана ряду.

Медіаною набору чисел є таке число ξ , що половина чисел з набору менше або дорівнюють ξ , а інша половина – більше або дорівнює ξ . Якщо кількість чисел у наборі є непарною, то медіаною буде число, яке стоїть посередині цього набору після його упорядкування. Якщо кількість чисел – парна, то медіаною буде половина суми двох чисел, які стоять посередині упорядкованого набору.



Рис. 3. Збільшені частки зображення після роботи алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень

В теорії фільтрації, щоб виконати медіанну фільтрацію для кожного елемента зображення необхідно спочатку впорядкувати по зростанню значення яскравості пікселів всередині околу елемента, потім знайти значення медіани і, нарешті, привласнити отримане значення оброблюваному елементу [3]. Так, для околу пікселя зображення розміром 3×3 медіаною буде п'яте за величиною значення яскравості. Оскільки в роботі ми використовуємо для обробки не одне зображення, а послідовність зображень, то замість «класичного» околу для медіанного фільтру візьмемо всі пікселі за однієї позиції зі всіх отриманих зображень.

Розглянемо основні кроки розробленого алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою медіанного фільтру.

1. Нехай $P = \{P^1, P^2, \dots, P^s\}$ – послідовність зображень розміру $M \times N$.

Для кожного зображення P^k , $k = 1, \dots, s$:

Якщо

використовується колірна схема RGB

то

виділити матриці R^k , G^k , B^k - колірні складові.

Якщо

використовується колірна схема YUV,

то

обчислити матриці Y^k , U^k , V^k :

$$Y^k = \{y_{11}^k, y_{12}^k, \dots, y_{MN}^k\}, U^k = \{u_{11}^k, u_{12}^k, \dots, u_{MN}^k\}, V^k = \{v_{11}^k, v_{12}^k, \dots, v_{MN}^k\}.$$

2. Побудувати матриці:

$$Y = \{y_{11}, y_{12}, \dots, y_{MN}\}, U = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{MN}\}, V = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{MN}\}$$

розміру $M \times N$ шляхом наступних кроків:

для $\forall i, j, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N$:

2.1 Отримати набір значень яскравості для пікселя з координатами i, j :

$y'_{ij} = \{y_{ij}^1, y_{ij}^2, \dots, y_{ij}^s\}, u'_{ij} = \{u_{ij}^1, u_{ij}^2, \dots, u_{ij}^s\}, v'_{ij} = \{v_{ij}^1, v_{ij}^2, \dots, v_{ij}^s\}$ та впорядкувати їх за зростанням.

2.2 Обчислити медіану.

Якщо

s - непарне,

то

$$pos = \left\lfloor \frac{s}{2} \right\rfloor + 1, y_{ij} = y_{ij}^{pos}, u_{ij} = u_{ij}^{pos}, v_{ij} = v_{ij}^{pos},$$

інакше

$$pos = \frac{s}{2}, y_{ij} = \frac{y_{ij}^{pos} + y_{ij}^{pos+1}}{2}, u_{ij} = \frac{u_{ij}^{pos} + u_{ij}^{pos+1}}{2}, v_{ij} = \frac{v_{ij}^{pos} + v_{ij}^{pos+1}}{2}.$$

3. Перетворити матриці $\{Y, U, V\} \rightarrow \{R, G, B\}$, де R, G, B – матриці нового зображення без зайвих об'єктів.

Приклад роботи алгоритму для отриманої послідовності зображень (рис.1), представлений на рисунку 4.



Рис. 4. Результат роботи алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою медіанного фільтру

Як можна побачити з рисунку 4, фантомні об'єкти зникли з результуючого зображення. Розглянемо, як працюють розроблені алгоритми на інших послідовностях (рис. 5).



Рис. 5. Результати роботи розроблених алгоритмів видалення зайвих об'єктів: а – за допомогою усереднення зображень; б – за допомогою медіанного фільтру

На рисунку 5 представлені зображення, що є результатами роботи алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень (див. рис. 5(а)) та алгоритму видалення зайвих об'єктів за допомогою медіанного фільтру (див. рис. 5(б)). Перший результат отримано при обробці 7 зображень, другий та третій – при обробці 9 зображень. З отриманих результатів можна побачити, що алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою медіанного фільтру значно краще видаляє зайві об'єкти, ніж алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень. На отриманих результатах відсутні фантомні об'єкти, або їх кількість значно менше, чим при усередненні зображень.

Висновки

У роботі були розроблені алгоритми видалення зайвих об'єктів з цифрових зображень. Перший алгоритм видаляє зайві об'єкти за допомогою усереднення зображень, другий – за допомогою медіанного фільтру. У роботі наведено методику створення послідовності зображень, які у подальшому можна використовувати у розроблених алгоритмах.

Експериментальні результати показали, що розроблені алгоритми видаляють зайві об'єкти, але деколи на зображенні можна побачити так звані фантомні об'єкти або їх частки. Алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою медіанного фільтру краще справляється з поставленим завданням ніж алгоритм видалення зайвих об'єктів за допомогою усереднення зображень, що виражається в наявності та кількості фантомних об'єктів. Результат роботи розроблених алгоритмів можна покращити, якщо підвищити кількість отримуваних попередньо зображень.

Список літератури

1. Келби, С. Обработка цифровых фотографий в Adobe Photoshop CS2. — М.: Издательский дом Вильямс, 2008. — 471 с.
2. Келби, С. Adobe Photoshop CS6. Справочник по цифровой фотографии — М.: Диалектика Вильямс, 2013. — 464 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УДАЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Е. Ю. Лебедева, М.И. Токар

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: o.y.lebedieva@onu.ua

Современные технологии позволяют создавать цифровые изображения в любых условиях и предоставляют возможность пользователю сразу увидеть результат. При просмотре полученных изображений может оказаться, что в кадр попадает не нужный объект или несколько таких объектов. Возникает потребность удалить эти лишние объекты. В работе разработаны два алгоритма удаления объектов с цифровых изображений. Существует несколько направлений для решения проблемы, связанной с удалением нежелательных объектов с цифровых изображений. Одним из таких направлений является клонирования, реализованное в графическом редакторе Adobe Photoshop в виде инструмента Штамп. Вторым направлением является заливка с учетом содержимого, реализованное в графическом редакторе Adobe Photoshop в виде инструмента с таким же названием. В основе разработок, рассмотренных в этой статье, берется третье направление, а именно использование последовательности изображений. Разработана и представлена методика получения цифровых изображений в виде последовательности кадров с интересующим объектом или сценой. В основу разработанных алгоритмов удаления объектов с цифровых изображений лежит теория фильтрации, где под шумом понимают все движущиеся объекты в выбранной сцене. Одним из фильтров для борьбы с шумом является усреднение изображений. Рассматриваются линейный и нелинейный фильтр усреднения изображений. В качестве нелинейного фильтра используется медианный фильтр. В разработанных алгоритмах используются при обработке изображений цветовые модели RGB и YUV. В работе приведены примеры работы обоих разработанных алгоритмов удаления ненужных объектов. Делается вывод о целесообразности использования разработанных алгоритмов для удаления лишних объектов.

Ключевые слова: цифровое изображение, последовательность цифровых изображений, лишние объекты, фильтрация, линейные и нелинейные фильтры, фильтр усреднение изображений, медианная фильтрация

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR REMOVING OBJECTS FROM DIGITAL IMAGES

O.Yu. Lebedieva, M.I. Tokar

Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: o.y.lebedieva@opu.ua

Modern technologies allow you to create digital images in any conditions and provide the opportunity for the user to immediately see the result. When viewing received images, it may turn out that an unnecessary object or several such objects fall into the frame. There is a need to remove these extra objects. In work two algorithms of deletion of objects from digital images are developed. There are several ways to solve the problem of removing unwanted objects from digital images. One such area is cloning, implemented in the Adobe Photoshop graphics editor as a tool called Stamp. The second direction is filling with the content, implemented in the Adobe Photoshop graphics editor in the form of a tool with the same name. At the basis of the developments discussed in this article is the third direction, in which using of the images sequence. A technique for obtaining digital images in the form of a sequence of frames with an interesting object or scene was developed and presented. The basis for the developed algorithms for removing objects from digital images is the theory of filtration, where by noise are understood all moving objects in the selected scene. One of the filters to delete noise is the averaging of images. We consider a linear and nonlinear filter for averaging images. As a nonlinear filter, a median filter is used. In the developed algorithms, RGB and YUV color models are used in image processing. In the work examples of work of both developed algorithms for removing objects are given. The conclusion about the expediency of using the developed algorithms for removing needless objects is made.

Keywords: digital image, sequence of digital images, needless objects, filtration, linear and non-linear filters, filter averaging images, median filtering

О БАЛАНСИРОВКЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

О.Н. Паулин

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: paolenic@yandex.ua

Рассматривается известная комбинаторная задача нахождения покрытия методом теорем о свойствах таблицы покрытия. В более ранней работе автора приводится последовательное решение данной задачи, имеющей циклический характер. В новой работе автора предлагается способ распараллеливания решения этой задачи, основанный на свойстве независимости ветвей вычислительного процесса (подпроцессов); таким свойством обладают внешние циклы подпроцессов поиска ядерных/антиядерных строк и поглощающих столбцов/поглощаемых строк. Строится последовательно-параллельный информационный граф такого решения, приводится его описание. Особую важность имеет определение такого распараллеливания вычислительного процесса, при котором вычислительная нагрузка на процессоры является равномерной, то есть сбалансированной. На практике во многих случаях циклов имеет место постепенное снижение объёма вычислений в теле цикла от максимального до единичного, в результате чего нагрузка на процессоры становится существенно неравномерной. Рассматриваемая задача нахождения покрытия является таким случаем. В работе предлагается геометрическое представление вычислительной нагрузки. Описанный выше случай неравномерной нагрузки представляется треугольником вычислительной нагрузки. Показывается способ преобразования треугольника нагрузки в равновеликий прямоугольник, что обеспечивает эффективную балансировку нагрузки на процессоры в параллельной системе. Предлагается оценка недогруженности процессоров.

Ключевые слова: покрытие, таблица покрытия, метод теорем, параллельная система, параллельное решение задачи покрытия, вычислительный процесс, информационный граф, внешние циклы, балансировка вычислительной нагрузки, треугольник нагрузки, прямоугольник нагрузки, геометрическое преобразование фигур, оценка недогруженности процессоров

Введение

Практически важной в классе комбинаторных задач [2] является задача о покрытии, которую можно рассматривать как вариант задачи поиска в некотором конечном множестве определённых подмножеств с заданными свойствами. При этом находятся такие компоненты из множества возможных, которые покрывают заданную их совокупность оптимальным образом. Такая задача возникает, например, при необходимости выбора поставщиков при сборке сложного изделия. Ещё примеры: логические задачи о покрытии множеств, о поиске минимальных разбиений и др., при синтезе и анализе цифровых схем на программируемых логических матрицах [3].

Для описания задачи о покрытии используется таблица покрытия (ТП), представляющая собой матрицу отношений принадлежности элементов подмножеств $A_i, i = 1...m$, множества A элементам опорного множества $B, B = \{b_1, ..., b_n\}$ таких, что

$$A_i \subseteq B, \bigcup_{i=1}^m A_i = B.$$

Ниже рассматривается случай поиска кратчайшего покрытия, когда цены всех подмножеств A_i одинаковы и равны 1 [1].

Для решения практически важных задач о покрытии большой размерности необходима достаточно производительная параллельная система (ПС). В настоящее время имеется довольно большой спектр возможностей для выбора ПС различной архитектуры, начиная от многоядерных компьютеров и кончая кластерами [4, 5]. В данной работе этот аспект не является определяющим и потому он не рассматривается.

Различают два вида параллелизма: объектов/данных и независимых ветвей.

Параллелизм объектов или данных имеет место тогда, когда по одному и тому же алгоритму должна обрабатываться некоторая совокупность данных, поступающих в систему одновременно. Это может быть, например, обработка сигналов от радиолокационной станции или обработка информации от датчиков сигнализации в системе противопожарной безопасности, измеряющих одновременно один и тот же параметр. Это могут быть и чисто математические задачи, например задачи векторной алгебры – операции над векторами и матрицами, которые характеризуются некоторой совокупностью чисел. Решение задачи при этом в основном сводится к выполнению одинаковых операций над парами чисел. Очевидно, все эти операции могут выполняться одновременно и независимо друг от друга несколькими процессорами.

Параллелизм независимых ветвей – один из наиболее распространенных типов параллелизма в обработке информации. Суть его заключается в том, что при решении задачи могут быть выделены отдельные независимые части, которые при наличии нескольких процессоров могут выполняться параллельно [4, 5].

Отметим важный аспект распараллеливания решения задачи – балансировка нагрузки на процессоры, что, в конечном счёте, также ускоряет процесс решения задачи. Этому вопросу в литературе не уделено достаточного внимания.

Цель работы – ускорение процесса решения применительно к задаче нахождения покрытия за счёт распараллеливания её решения и балансировки нагрузки на процессоры.

Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

1. Распараллеливание решения задачи за счёт выделения в решении независимых участков (ветвей) вычислительного процесса (ВП);
2. Разработка наглядного представления вычислительной нагрузки на процессоры;
3. Разработка способа преобразования исходного представления к виду, при котором нагрузка на процессоры была бы как можно ближе к равномерной.

Основная часть

Ниже на примере решения задачи нахождения покрытия с использованием теорем о свойствах ТП [1] рассматривается способ перевода последовательной реализации решения в параллельную реализацию, основанную на свойстве независимости подпроцессов (ветвей) ВП. Такой подход соответствует модели параллельного программирования SPMD (Single Program – Multiple Data, одна программа – множество данных). При этом не ставилась цель оптимального распараллеливания – автор ограничился очевидным способом выделения участков ВП, которые могут быть выполнены одновременно, что свелось к распараллеливанию внешних циклов подпроцессов [4].

В то же время автор сосредоточился на поиске способа статической балансировки нагрузки на процессоры параллельной системы.

Приведём общие соображения об архитектуре параллельной системы. Анализ ВП показал, что он имеет следующие особенности: отсутствие межпроцессорных обменов

данными и интенсивная работа с ТП в параллельной части ВП; отсюда следует необходимость в локальной памяти для каждого процессора. Кроме того, в последовательной части необходимо выделение главного процессора для выполнения дополнительной работы по модификации ТП и координации работы процессоров ПС.

Само распараллеливания возможно при соблюдении условий независимости подпроцессов ВП. Независимыми ветвями (подпроцессами) являются такие части задачи, при выполнении которых реализуются следующие условия:

- ни одна из входных для подпроцесса величин не является выходной величиной другого подпроцесса (отсутствие функциональных связей);
- для любых двух подпроцессов не должна производиться запись в одни и те же ячейки памяти (недопустимость использования одних и тех же полей оперативной памяти);
- возможность выполнения одного подпроцесса не зависит от результатов или признаков, полученных при выполнении другого подпроцесса (независимость по управлению).

Рассмотрим общую идею решения задачи о предварительном покрытии с использованием теорем о свойствах таблицы покрытия (ТП).

На рис. 1 приведена схема алгоритма (СА) [1] решения данной задачи. Видно, что она состоит из блока ввода ТП, предопределённых подпроцессов нахождения ядерных строк (ЯС), антиядерных строк (АЯС), поглощающих столбцов (ПС) и поглощаемых строк (ПС'), блока формирования признака изменений в ТП, а также блока вывода результатов.

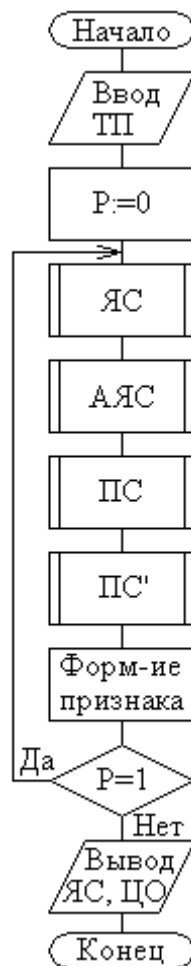


Рис. 1. СА поиска покрытия

Каждый из подпроцессов включают в себя 2 вложенных цикла, внешний и внутренний, перебора элементов ТП.

Процедура поиска решения задачи о покрытии является циклической: итерации (этапы ВП) проходят по предопределённым подпроцессам нахождения ЯС, АЯС, ПС, ПС' повторяются, пока $P=1$, где P – признак изменения (сокращения) ТП за счёт вычеркивания строк/столбцов в соответствии с теоремами о свойствах ТП [1]. Если данная теорема выполнялась, то это приводит к сокращению ТП, при этом частный признак $p_i, i=1...4$, изменений в ТП принимает значение 1.

В блоке формирования общего признака P изменений в ТП вычисляется логическая формула

$$P = p_1 \vee p_2 \vee p_3 \vee p_4. \quad (1)$$

Другими словами, если хотя бы один признак p_i принял значение 1, то процесс обхода подпроцессов повторяется; иначе выводится результат обработки ТП в виде списка ЯС и циклического остатка ТП.

Анализ ВП решения задачи покрытия [1] показывает, что он может быть представлен последовательно-параллельным информационным графом (рис. 2), причём распараллеливание достаточно просто осуществляется для подпроцессов, реализующих теоремы о нахождении ядерных строк (ЯС), антиядерных строк (АЯС), поглощающих столбцов (ПС) и поглощаемых строк (ПС'). Здесь обработка ТП осуществляется по самому внешнему циклу; количество процессоров в подпроцессах соответствует числу строк/столбцов текущей ТП.

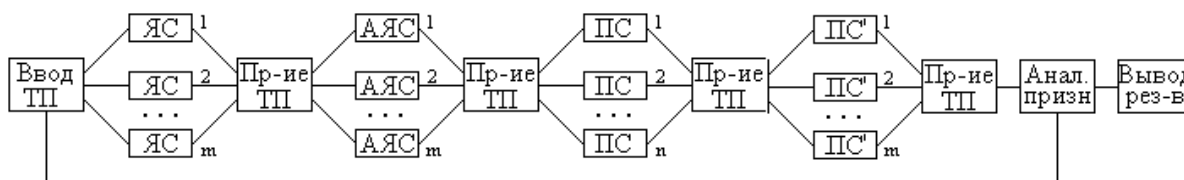


Рис. 2. Последовательно-параллельная организация вычислительного процесса

Последовательная часть графа представлена следующими блоками: ввод ТП, преобразование ТП, анализ признаков, вывод результатов.

В блоке *ввода* осуществляется рассылка всем узлам параллельной системы исходной ТП, имеющей m строк и n столбцов, а также всех текущих (модифицированных) ТП с новыми значениями m и n .

В блоках *преобразования* проводится слияние решений от отдельных процессоров, для чего собирается информация о возможных частных изменениях в ТП для каждого процессора – подпроцессы ЯС, АЯС, ПС, ПС' сообщают блоку преобразований о необходимости вычёркивания строки/столбца и запоминания имени ЯС; формируется признак наличия изменений в ТП. Полученная таблица рассылается всем узлам параллельной системы на следующем этапе ВП.

В блоке *анализа* проводится вычисление по формуле (1) значения общего признака процесса P . Если $P=1$ (изменения в ТП произошли), то процесс запускается сначала для текущей ТП; в случае $P=0$ управление передаётся блоку вывода, в котором на экран монитора выводится список ядерных строк и циклический остаток ТП.

Рассмотрим распараллеливаемые фрагменты (подпроцессы) ВП [1]. Отметим прежде всего, что в каждом подпроцессе перед началом работы происходит обнуление признака p_i . Отметим далее, что узлы параллельной системы для всех подпроцессов могут выполнять свою часть работы в теле внешнего цикла независимо друг от друга.

– Подпроцесс *ЯС*: каждая строка анализируется на предмет наличия в ней особой единицы, т.е. единицы, которая в данном столбце является единственной; если строка

имеет особую единицу, то она является ядерной. При этом имя ЯС запоминается, а сама ЯС и покрываемые ею столбцы подлежат вычёркиванию; признак наличия изменений в ТП p_1 принимает значение 1. Эта информация передаётся в блок преобразования ТП.

– Подпроцесс *АЯС*: строка с нулевыми элементами является антиядерной; она подлежит удалению без запоминания. При этом признак наличия изменений в ТП p_2 принимает значение 1. Эта информация передаётся в блок преобразования ТП.

– Подпроцесс *ПС*: здесь проводится генерация пар (V, V') двоичных векторов и их сравнение на предмет поглощения; возможны 4 варианта: $V > V'$, $V < V'$, $V = V'$, V и V' несравнимы. Формируется сообщение о необходимости удаления поглощающего столбца; признак p_3 принимает значение 1. Эта информация передаётся в блок преобразования ТП.

– Подпроцесс *ПС'*: выполняется аналогично предыдущему, с тем отличием, что сравниваются строки-вектора. Формируется сообщение о необходимости удаления поглощаемой строки, если ищется кратчайшее покрытие; признак p_3 принимает значение 1. Эта информация передаётся в блок преобразования ТП.

Балансировка нагрузки. Более подробное рассмотрение подпроцесса нахождения поглощающего столбца/поглощаемой строки показывает, что при переходе к следующей итерации число сравниваемых пар векторов уменьшается на 1, что может быть представлено геометрическим образом (рис. 3). Назовём его треугольником нагрузки.

Если каждую строку (несколько строк, но одинаковое для всех процессоров число) обрабатывает отдельный процессор, то, очевидно, они находятся в неравных условиях: первый процессор должен проделать $n-1$ сравнение, а последний – лишь одно: обработать пару $(n-1, n)$. Для устранения такой неравномерности нагрузки нами предлагается организовать ВП иначе, представив нагрузку прямоугольником, равновеликим треугольнику, поскольку объём вычислений пропорционален площади фигуры, представляющей нагрузку.

Один из способов преобразования «треугольник – прямоугольник» представлен на рис. 4. В свою очередь, каждый из четырёх прямоугольников может быть разбит на одинаковое число k частей, так что в ВП могут участвовать $4k$ процессоров.

Важно, чтобы при подобных преобразованиях выдерживался принцип равенства общей площади прямоугольников площади исходного треугольника.

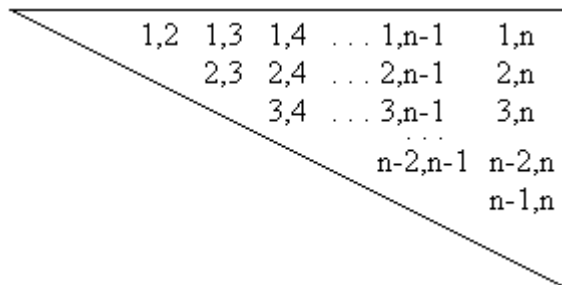


Рис. 3. Геометрическое представление процесса генерации пар векторов

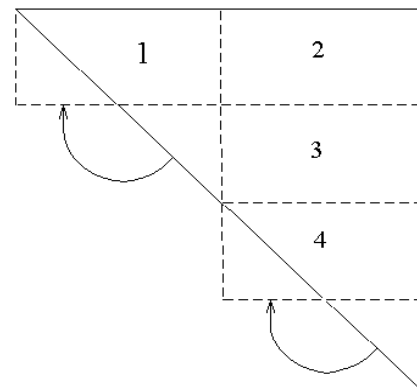


Рис. 4. Преобразование треугольника в прямоугольники

Рассмотрим пример преобразования треугольника нагрузки в прямоугольник нагрузки (рис. 5). Здесь выделенный горизонтальной линией малый треугольник пристраивается к трапеции слева, начиная с 5-й строки исходного массива пар (в общем

случае – с номером $(n+1/2)$, однако в обратном порядке. На рис. 5(б) показано данное перестроение (ступенчатая линия). Получившийся прямоугольник является образом равномерной нагрузки.

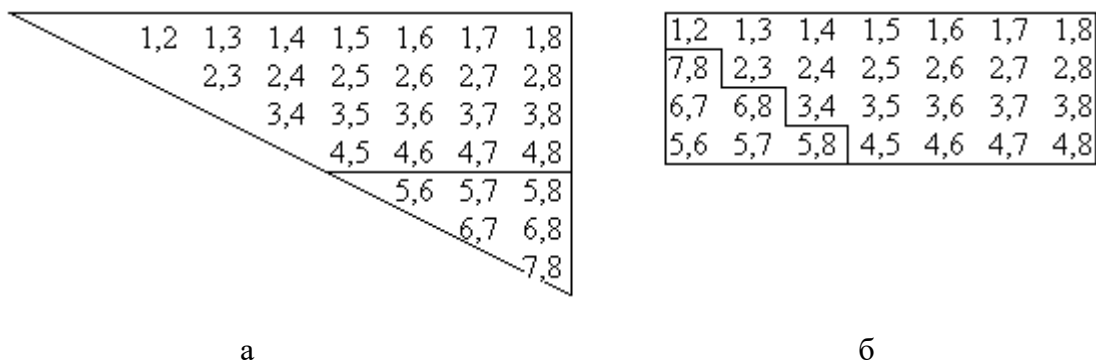


Рис. 5. Преобразование для чётного n : а – треугольник нагрузки; б – прямоугольник нагрузки

Как видно из рис. 5, число обрабатываемых пар равно 28, необходимое число процессоров равно 4, на каждый процессор приходится по 7 пар.

Обобщим этот пример на случай произвольного чётного числа n . Имеем: число процессоров, необходимое для построчной обработки, равно $p = n/2$; на каждый процессор приходится по $k = (n-1)$ паре; всего количество обрабатываемых пар равно $N = n(n-1)/2$.

Анализ показал, что преобразование треугольника нагрузки в прямоугольник имеет особенность при нечётном n . Рассмотрим её на примере $n = 9$ (рис. 6).

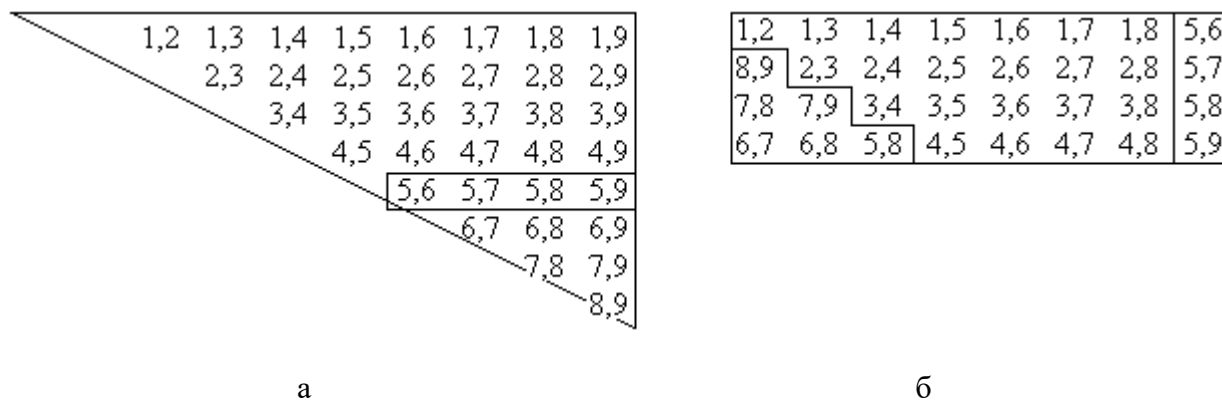


Рис. 6. Преобразование для нечётного n : а – треугольник нагрузки; б – прямоугольник нагрузки

В данном случае имеется особая строка с номером 5, которая выделена прямоугольником на рис. 6(а); она не вписывается в процедуру преобразования. Однако она может быть пристроена к прямоугольнику нагрузки справа в виде нового столбца – см. рис. 6(б). Остальные преобразования выполняются так же, как и в предыдущем случае. Параметры полученного прямоугольника таковы: число обрабатываемых пар равно 32, необходимое число процессоров равно 4, на каждый процессор приходится по 8 пар.

Обобщим этот пример на случай произвольного нечётного числа n . Имеем: число процессоров, необходимое для построчной обработки, равно $p = (n-1)/2$; на каждый

процессор приходится по $k = (n - 1)$ паре; всего количество обрабатываемых пар равно $(n - 1)^2 / 2$. Особая строка имеет номер $(n + 1) / 2$.

Обобщения для двух этих случаев отличаются формулами для определения числа p процессоров и общего количества обрабатываемых пар; однако эти формулы могут быть приведены к одному виду: $p = n \text{ div } 2$; $N = kp = k(n - 1)$.

Отметим, что в реальности имеет место проблема недогруженности отдельных процессоров, например, из-за того, что число процессоров больше числа обрабатываемых объектов. Проиллюстрируем примером проблему некрatности числа обрабатываемых объектов числу имеющихся процессоров. Пусть ТП содержит 82 строки и обрабатывается 12-ю параллельно работающими процессорами. Тогда вычислительный процесс будет протекать в шесть последовательных стадий ($82 \text{ div } 12 = 6$), причём на 7-й стадии 2 процессора будут простаивать ($12 - 82 \text{ mod } 12 = 2$).

Оценим разбаланс нагрузки следующей формулой $(N_{\text{и}} - N_{\text{р}}) / N_{\text{и}}$, где $N_{\text{и}}$ – объём работы в идеальном случае (без простоев процессоров), т.е. 84 единицы; $N_{\text{р}}$ – объём работы в реальном случае, т.е. 82 единицы. При этом конкретное время работы процессора принято равным 1. Для рассмотренного примера имеем 2,4 %. Этот результат можно считать вполне приемлемым.

Нагрузка сбалансирована, если $N_{\text{р}} = N_{\text{и}}$, т.е. в случае кратности объёма работы числу процессоров; некрatность приводит к недогруженности вычислительной системы.

Выводы

Для параллельного решения задачи о покрытии использован известный способ [4] распараллеливания внешнего цикла для подпроцессов нахождения ядерных/антиядерных строк, а также поглощающих столбцов/поглощаемых строк. Разработано геометрическое представление нагрузки на процессоры параллельной системы в виде треугольника для неравномерной нагрузки и прямоугольника – для равномерной нагрузки. Предложен способ преобразования треугольника нагрузки в равновеликий прямоугольник нагрузки. Предложена оценка недогруженности системы для случая некрatного соотношения количества ветвей ВП и процессоров.

Список литературы

1. Паулин, О.Н. Методы и алгоритмы покрытия (часть 2) / О.Н. Паулин // Информатика та математичні методи в моделюванні. — Одеса, ОНПУ, 2017. — Том 4. — С. 333-338.
2. Рейнгольд, Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. — М.: Мир, 1980. — 480 с.
3. Закревский, А.Д. Логический синтез каскадных схем / А.Д. Закревский. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
4. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. — СПб: БХВ-Петербург, 2004. — 608 с.
5. Гергель, В.П. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных машин: Учебное пособие / В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин. — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. — 184 с.

ПРО БАЛАНСУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗПАРАЛЕЛЮВАННІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЗНАХОДЖЕННЯ ПОКРИТТЯ

О.М. Паулін

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: paolenic@yandex.ua

Розглядається відома комбінаторна задача знаходження покриття методом теорем про властивості таблиці покриття. У роботі автора «Методи та алгоритми покриття (частина 2)» [1] наводиться послідовне вирішення даної задачі, що має циклічний характер. У новій роботі автора пропонується спосіб розпаралелювання рішення цієї задачі, заснований на властивості незалежності гілок обчислювального процесу (підпроцесів); таку властивість мають зовнішні цикли підпроцесів пошуку ядерних/антиядерних рядків і поглинаючих стовпців або рядків, що поглинаються. Будується послідовно-паралельний інформаційний граф такого рішення, наводиться його опис. Особливу важливість має визначення такого розпаралелювання обчислювального процесу, при якому обчислювальне навантаження на процесори є рівномірним, тобто збалансованим. На практиці в багатьох випадках циклів має місце поступове зниження обсягу обчислень в тілі циклу від максимального до одиничного, в результаті чого навантаження на процесори стає суттєво нерівномірним. Розглянута задача знаходження покриття як раз і є таким випадком. В роботі запропоновано геометричне представлення обчислювального навантаження. Описаний вище випадок нерівномірного навантаження представляється трикутником обчислювального навантаження. Показується спосіб перетворення трикутника навантаження в рівновеликий прямокутник, що забезпечує ефективне балансування навантаження на процесори в паралельній системі. Пропонується оцінка недовантаження процесорів.

Ключові слова: покриття, таблиця покриття, метод теорем, паралельна система, паралельне рішення задачі покриття, обчислювальний процес, інформаційний граф, зовнішні цикли, балансування обчислювального навантаження, трикутник навантаження, прямокутник навантаження, геометричне перетворення фігур, оцінка недовантаження процесорів

ABOUT BALANCING THE COMPUTATIONAL LOAD WHEN THE PARALLELIZATION OF THE SOLUTION OF PROBLEM OF FINDING A COVERAGE

O.N. Paulin

Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Str., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: paolenic@yandex.ua

The well-known combinatorial problem of finding a coverage by the theorems method on the properties of the cover table is considered. The author's work "Methods and algorithms of coverage (part 2)" [1] provides a consistent solution to this problem, which has a cyclic character. In the new author's work the method of parallelization of the solution of this problem based on the property of independence of branches of computational process (subprocesses) is offered; external cycles of subprocesses possess such property search nuclear/antinuclear rows and columns of absorbing/absorption lines. A series-parallel information graph of such a solution is constructed and its description is given. Of particular importance is the definition of such parallelization of the computational process, in which the computational load on the processors is uniform, that is, balanced. In practice, in many cases of cycles, there is a gradual decrease in the volume of calculations in the body of the cycle from maximum to single, resulting in a load on the processors becomes significantly uneven. The considered problem of finding a covering is just such a case. The paper proposes a geometric representation of the computational load. The case of non-uniform load described above is represented by the triangle of the computational load. The method of converting the load triangle into an equal-sized rectangle is shown, which provides effective load balancing for processors in a parallel system. Assessment of underloaded processors is proposed.

Keywords: coverage, coverage table, the method of theorems, parallel system, parallel solution of problem of the covering, the computing process, information graph, the external cycle, balancing the computational load, triangle of load, rectangle of load, the geometric transformation of figures, assessment of underloaded processors

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ФРЕЙМВОРКА APACHE SPARK ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОТОКОВЫХ BIG DATA ОТ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.В. Вычужанин

Одесский национальный морской университет,
ул. Мечникова, 34, Одесса, 65029, Украина; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

Проведенный анализ систем, предназначенных для обработки данных, поступающих с информационно-измерительных систем сложных технических систем показал, что используемые в этих целях, например SCADA-системы, применяются главным образом для обеспечения обзора контролируемых процессов в сложных технических системах с возможностью выполнять способы Process Analyzer для анализа состояния систем и в основном для статистической обработки данных. В этой связи новые технологии обработки и методы анализа Big Data для этой сферы становятся более востребованными. Для решения поставленной задачи, связанной с обработкой данных, поступающих с информационно-измерительных систем сложных технических систем, в статье проведен анализ характеристик фреймворков Hadoop MapReduce и Apache Spark для обработки Big Data и их аналитики, обладающих внутри-гетерогенной памятью. Рассмотрено влияние на производительность и отказоустойчивость приложений Hadoop MapReduce и Apache Spark. Рассматриваются способы создания Resilient Distributed Data: распараллеливания переданной коллекции в программе; использование ссылок на внешнюю файловую систему в Hadoop. Описан распределенный программный комплекс на базе массово-параллельной технологии для обработки потоковых Big Data, поступающих с информационно-измерительных систем сложных технических систем. Отличительными особенностями системы являются ее способность работы в режиме реального времени с потоковыми Big Data, а также применение существующих алгоритмов, не предназначенных для распределенной обработки, на множестве узлов без изменения реализации последних. Предложено обработку потоковых Big Data в Apache Spark, поступающих с информационно-измерительных систем сложных технических систем, осуществлять на языке Scala с использованием библиотек SparkContext и RDD. Предлагаемый распределенный программный комплекс на базе массово-параллельной технологии с облачными вычислениями для обработки потоковых Big Data, поступающих с информационно-измерительных систем сложных технических систем, обладает способностью работы в режиме реального времени с большими объемами потоковых данных для управления технологическими процессами в сложных технических системах.

Ключевые слова: система, технология, большие данные, информация, база данных, обработка, анализ

Введение

С расширением функциональных возможностей развивающихся сложных технических систем (СТС) повышаются требования к надежности их работы [1,2]. Это оказывает существенное влияние на количество информационных источников в СТС, а также объем вычислительных действий по обработке Big Data, поступающих с информационно-измерительных систем (ИИС), выполнение которых необходимо для эффективного функционирования СТС [3], снижения риска их отказов [4].

Для сбора, обработки данных с ИИС СТС, а также для управления технологическими процессами в них используются SCADA-системы, работающие в

реальном времени [5]. Однако топологическая сложность подобных систем связана с существенными затратами, связанными с масштабированием и адаптацией к большому количеству информационно-измерительных сигналов, собранных для реконфигурации структуры управления СТС. Следует также отметить, что большинство SCADA-систем используется главным образом для обеспечения обзора контролируемых процессов в СТС с возможностью выполнять способы Process Analyzer в целях анализа состояния систем в основном для статистической обработки данных. В этой связи новые технологии обработки и методы анализа Big Data для этой сферы становятся более востребованными. Методы обработки Big Data [6,7] предусматривают анализ больших массивов данных с терабайтным или петабайтным масштабами в реальном времени. Сложной задачей является быстрая (с низкой задержкой) аналитика полного объема Big Data. Это означает необходимость сканирования терабайтов данных за секунды, что возможно только при обработке данных с большим параллелизмом.

Основные направления для анализа Big Data: Data Mining; краудсорсинг; машинное обучение; имитационное моделирование; визуализация данных; искусственные нейронные сети. Часто базовым принципом обработки Big Data является SN-архитектура, обеспечивающая параллельную, масштабируемую обработку без деградации на сотни и тысячи узлов кластера. Основные технологии обработки Big Data: NoSQL; MapReduce (MR); Apache Hadoop; Apache Spark.

На основе проведенного анализа интерпретации информационных потоков в распределенных информационных системах Big Data установлено, что при создании таких систем не существует единых методов и технологий, объединяющих все этапы построения соответствующих кластерных систем. Проведение анализа характеристик двух перспективных файловых систем Hadoop MR и Spark, а также создание системы обработки Big Data в распределенных ИИС СТС является актуальным.

Целью работы является создание системы обработки Big Data в режиме реального времени на базе массово-параллельной технологии в распределенных ИИС СТС.

Основная часть

Анализ характеристик файловых систем Hadoop MR и Spark. Одной из архитектур по обработке Big Data, использующей поисковые алгоритмы, является реляционная система управления базами данных (СУБД). Недостатки использования таких СУБД привели к разработке адаптивно-подстраиваемой архитектуре, способной расширяться и масштабироваться при необходимости и постоянном увеличении данных. К такой технологии относится NoSQL [8]. Использование NoSQL архитектур, как систем хранения и обработки данных, не всегда является оптимальным, что связано со скоростью и производительностью жестких дисков. Решение части проблем найдено в поисковой архитектуре – экосистеме Hadoop. Фреймворк Apache Hadoop [9,10] – среда с открытым исходным кодом на Java для разработки и выполнения распределённых программ, работающих на вычислительных кластерах из сотен и тысяч узлов. Базовыми модулями Apache Hadoop [11] являются: Hadoop Common (набор инфраструктурных программных библиотек и утилит, используемых для других модулей и родственных проектов); HDFS (Hadoop Distributed File System) – распределенная файловая система; Hadoop YARN – модуль управления ресурсами кластера для выполнения приложений пользователя; Hadoop MR – модель программирования для обработки Big Data. Примерами проектов, входящих в экосистему Hadoop, являются Apache Hive, Apache Pig, Apache HBase, Apache Spark и др. HDFS построена на основной подчиненной архитектуре, где «Name Node» – мастер, а «Data Nodes» – подчиненные узлы, в которых находятся фактические данные (рис.1). Для упрощения доступа к данным в хранилище Hadoop используется SQL-подобный язык Hive, являющийся своего рода SQL для MR [12]. Масштабируемость достигается

параллельной обработкой фрагментов на узлах с использованием программной модели параллельных распределенных вычислений MR парадигмы, согласно которой приложение разделяется на большое количество одинаковых элементарных заданий, выполнимых на узлах кластера и естественным образом сводимых в конечный результат. Стандартным использованием в Hadoop архитектуре является применение MR задач (рис. 2). MR соответствует модели функционального программирования [13] и выполняет явную синхронизацию на этапах вычислений. MR предоставляет простой API программирования с точки зрения функций `map ()` и `reduce ()` [14]. Apache Hadoop MR - свободная платформа для организации обработки Big Data в петабайтах с использованием легко масштабируемой парадигмы MR, являющейся отказоустойчивым решением.

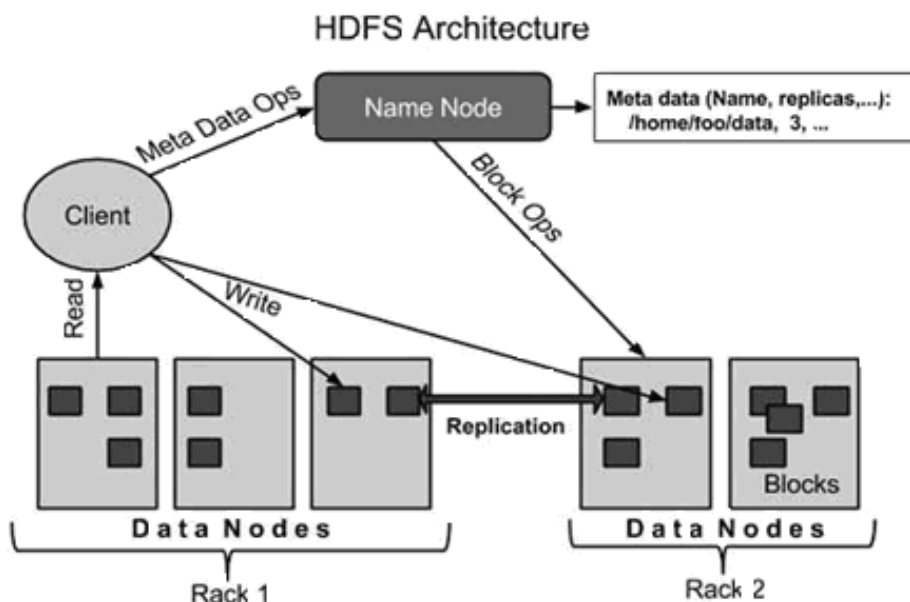


Рис. 1. Архитектура файловой системы Hadoop

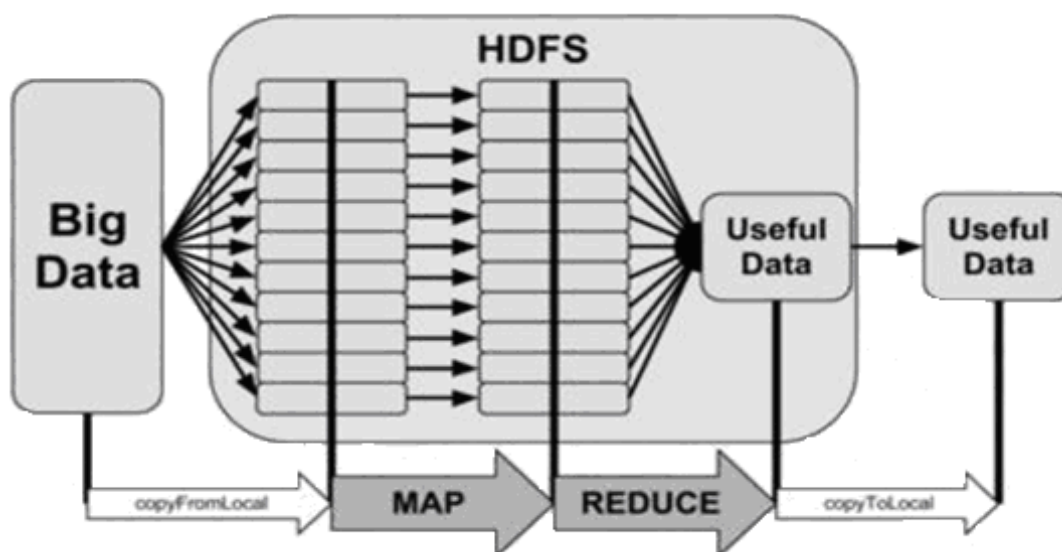


Рис. 2. Операции MapReduce

MR функционирует в режиме реального времени с потоковыми Big Data, применяя алгоритмы, не предназначенные для распределенной обработки на множестве узлов без изменения реализации последних. Hadoop MR позволяет создавать задания,

как с базовыми обработчиками, так и со свертками, написанными без использования Java. Утилиты Hadoop streaming используют в качестве базовых обработчиков и свертки любой исполняемый файл, работающий со стандартным вводом-выводом операционной системы (например, утилиты командной оболочки UNIX). Есть также SWIG-совместимый прикладной интерфейс программирования Hadoop pipes на C++. В состав дистрибутивов Hadoop входят реализации различных базовых обработчиков и свёрток, наиболее типично используемых в распределённой обработке. Ограничение MR состоит в том, что она предполагает пакетное выполнение, при котором значительные объёмы данных целиком проходят цепочку трансформаций, занимающих много времени, что не пригодно для интерактивных ответов пользователям.

Для быстрого анализа потоковых данных в режиме реального времени также используется Apache Spark [14,15] - универсальное средство анализа информации Big Data, позволяющее обрабатывать данные, размещенные на платформах хранения данных Hadoop, Cassandra, Mesos, S3 и т.д. Apache Spark предоставляет стек библиотек, включая SQL и DataFrames, MLlib для машинного обучения, GraphX и Spark Streaming. По сравнению с Hadoop MR, Apache Spark обеспечивает в 100 раз большую производительность при обработке данных в памяти и в 10 раз больше - при размещении данных на дисках. Apache Spark предоставляет пользователю дружелюбный интерфейс программирования для уменьшения усилий по кодированию, используя концепцию распределенных коллекций данных Resilient Distributed Data (RDD). В RDD хранятся данные в памяти между запросами без репликации, увеличивая производительность пакетной обработки, восстанавливая утраченные данные. Apache Spark можно использовать в интерактивном режиме из оболочек Scala, Python, Java, R и SQL. RDD поддерживают множество итерационных алгоритмов, а также интерактивный интеллектуальный анализ данных и высокоэффективный механизм SQL Shark. На рис.3, 4 показаны итерационные операции на Spark RDD с промежуточными результатами в распределенной памяти вместо стабильного хранилища (диск). Если распределенной памяти достаточно для хранения промежуточных результатов, то она сохранит эти результаты на диске.

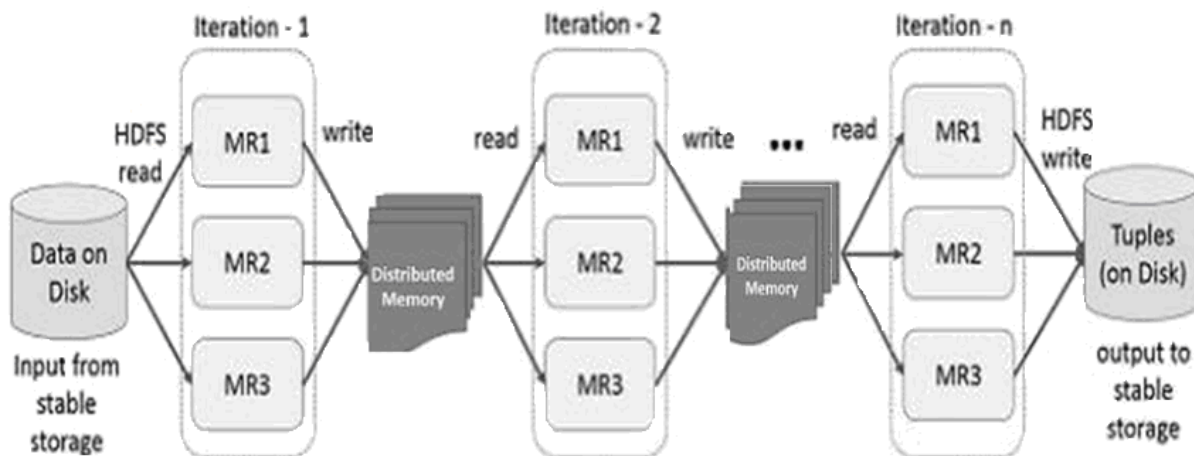


Рис. 3. Итеративные операции с Apache Spark RDD

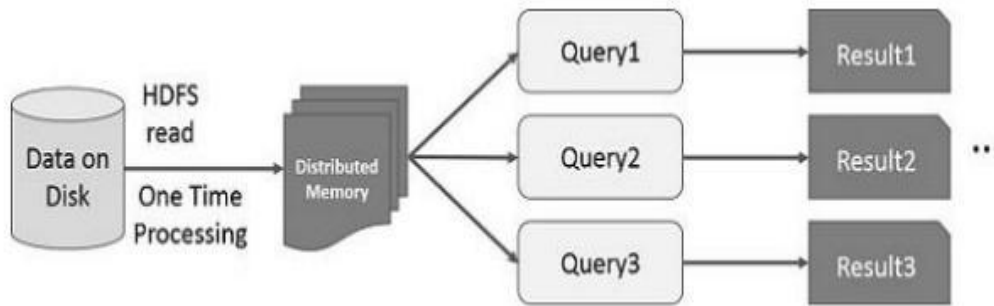


Рис. 4. Интерактивные операции с Apache Spark RDD

Преимуществами Apache Spark по сравнению с Hadoop MR являются: высокая масштабируемость добавлением новых узлов в вычислительный кластер без необходимости внесения изменений в применяемые алгоритмы; встроенная возможность работы в режиме реального времени, позволяющая построить алгоритмы потоковой обработки данных; большое количество вспомогательных программных решений, необходимых для организации системы, поддерживающей полный цикл предметных задач. Сравнение технологий распределенных вычислений позволяет сделать выбор в пользу технологии Apache Spark.

Традиционная локальная реализация управления СТС требует значительных инвестиций в соответствующее оборудование и программное обеспечение. В целях аналитики Big Data, поступающих непрерывно с ИИС СТС, а также управления технологическими процессами в них возможно использование инфраструктуры облачных вычислений. В этих целях могут применяться методы Process Analyzer (PA), создающих среду, в которой почти все этапы функционирования СТС могут быть записаны и использованы не только для безопасности систем, но и для оптимизации процесса анализа Big Data в реальном времени. Применение облачных вычислений для обработки Big Data открывает возможности для значительного снижения издержек аналитики Big Data, поступающих с измерительных устройств СТС. Необходимо учитывать, как обрабатываются и управляются данные на различных кластерах, оказывающих существенное влияние при проектировании и эксплуатации систем управления и обработки данных на нескольких уровнях. Самым сложным является быстрое рассмотрение в полном большом наборе данных, что возможно при их подготовке с высоким параллелизмом.

На рис.5 показано, как доступные и обслуживаемые данные через интернет, где в Front – end tier обрабатываются данные через веб-сервер в виде запросов MySQL или NoSql и далее аналитика данных Back-end уровня, выполняемая на Apache Spark по HDFS. В общей архитектуре предлагаемой облачной архитектуры используется распределённый программный *брокер сообщений* Apache Kafka - проект с *открытым исходным кодом*, написанный на языке программирования *Scala* и позволяющим отправлять и получать потоковую информацию через облако. Одной из особенностей реализации инструмента является применение техники, сходной с *журналами транзакций*, используемыми в *системах управления базами данных*. Apache Kafka это распределённая система легко масштабируемая, поддерживающая высокую пропускную способность, как со стороны источников, так и систем-подписчиков с возможностью временного хранения данных для последующей пакетной обработки. На рис.6 представлено взаимодействие Apache Kafka, Spark-кластера при передачах потоков данных в реальном времени о состоянии СТС с задействованным сервисом Kafka в облаке. В кластере данные проверяются, очищаются, агрегируются, организовываются и направляются в систему оптимального управления СТС с определением соответствующих рекомендаций по ее эксплуатации.

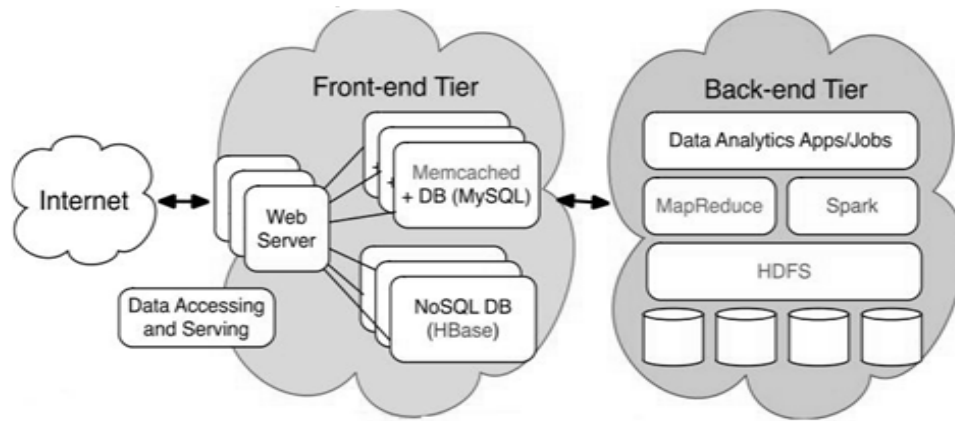


Рис. 5. Доступ к данным и обслуживание через интернет

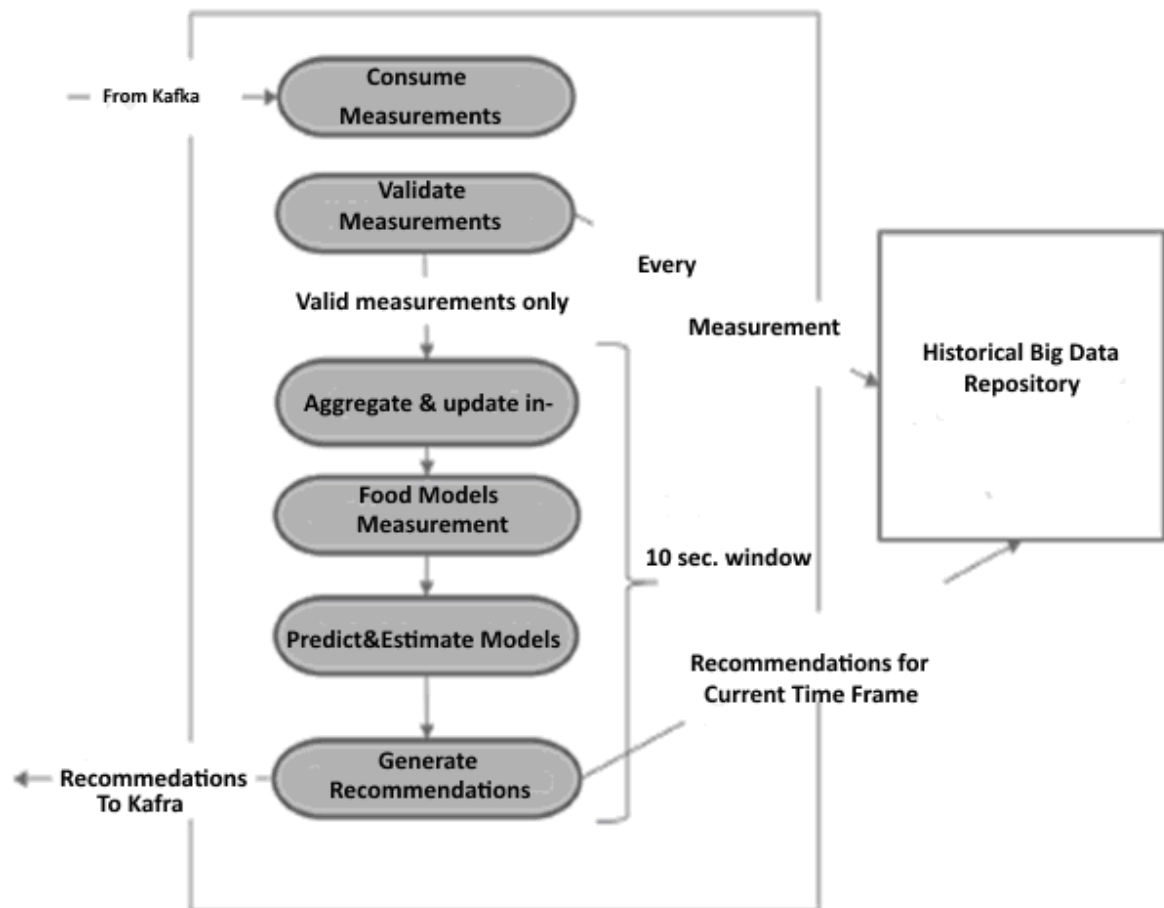


Рис. 6. Обзор потокового процесса

При переносе данных на облако, используется ПЭВМ, подключенная к технологическому процессу СТС, на основе применения MefosService, позволяющего выполнять синхронизацию данных с элементов СТС, а также создавать файл в json-структуре с полями, количество которых соответствует числу элементов СТС. Входные данные обрабатываются в Kafka сервере. Spark получает данные измерений с сервера Kafka, хранит их в памяти и передает имеющиеся модели технологических процессов в элементах СТС через установленный интервал времени. Процесс передачи данных отражен на рис. 6. В процессе Spark-Streaming метаданные синхронизируются и предварительно обрабатываются и выводятся с ПЭВМ Mefos-Service в Kafka, оттуда в Spark-кластер. В Spark-Streaming исходные данные накапливаются в памяти и сохраняются в репозитории данных. Данные рекомендаций по управлению также

накапливаются в памяти и сохраняются в репозитории Big Data. Большой репозиторий данных при необходимости позволяет провести углубленное их исследование в случае необходимости для разработки новых моделей технологических процессов в элементах СТС. Рекомендуется использовать Apache Spark с поддержкой кластера Kubernetes (рис.7). Учитывая, что Kubernetes является стандартом де-факто для управления контейнерными средами, вполне естественно поддерживать API-интерфейс Kubernetes в Spark. Приложение Spark в Kubernetes действует как пользовательский контроллер, создающий ресурсы Kubernetes в ответ на запросы, сделанные планировщиком Spark.

Чтобы просмотреть ресурсы Apache Spark, созданные в кластере, можно использовать команду `kubectl` в отдельном окне терминала.

```
$ kubectl get pods -l 'spark-role in (driver, executor)' -w
```

```
NAME      READY STATUS RESTARTS AGE
```

```
sparkpi-driver  1/1 Running 0 14s
```

```
spark-pi-da1968a859653d6bab93f8e6503935f2-exec-1  0/1 Pending 0 0s
```

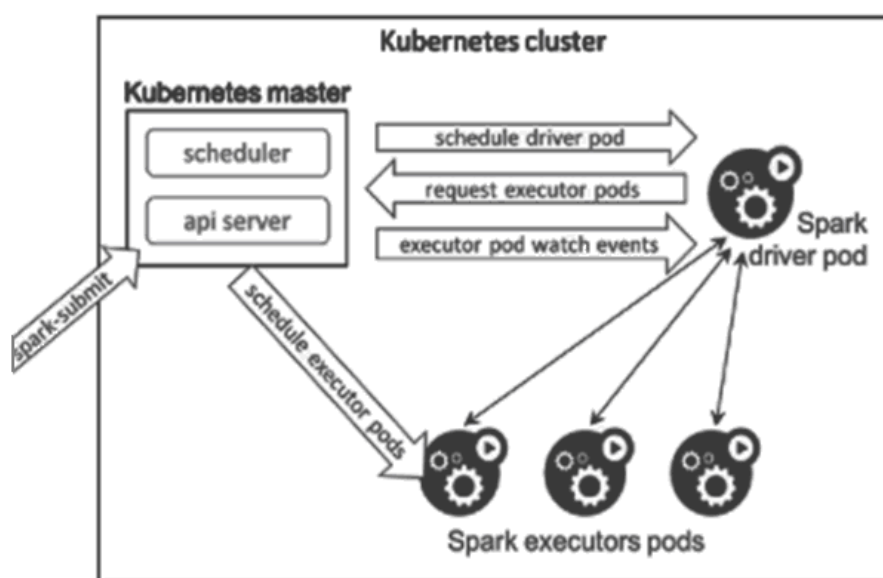


Рис. 7. Apache Spark 2.3 с поддержкой кластера Kubernetes

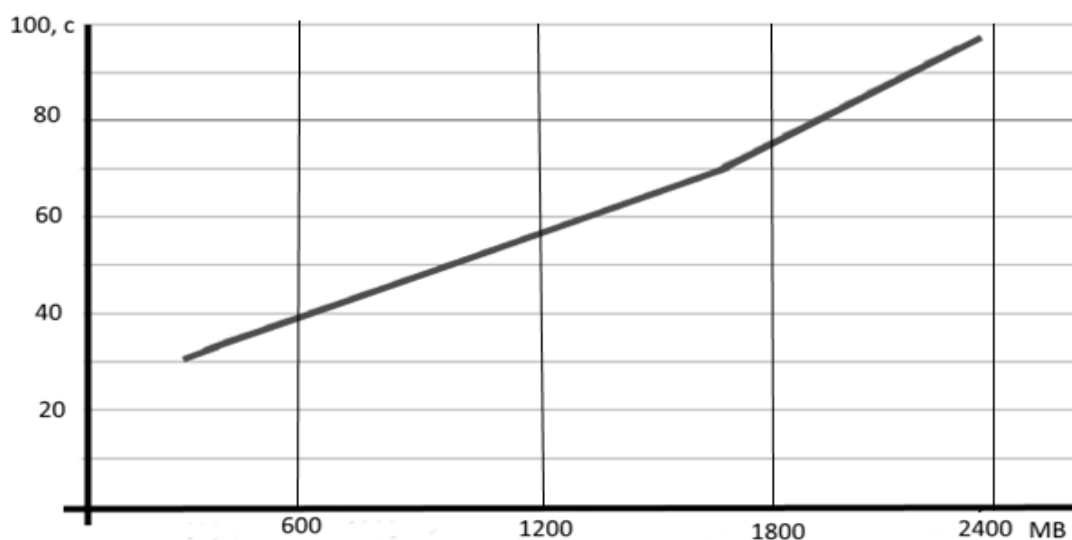


Рис. 8. График зависимости времени обработки Big Data от объема информации

Обработка потоковых Big Data в Apache Spark, поступающих с ИИС СТС, осуществлялось на языке Scala с использованием библиотек SparkContext и RDD. График зависимости времени обработки данных технологии Apache Spark в зависимости от объема анализируемой информации представлен на рис.8.

Выводы

Проведенный сравнительный анализ характеристик двух файловых систем Hadoop MapReduce и Apache Spark MapReduce и Spark позволил сделать выбор в пользу системы Apache Spark.

Предлагаемый распределенный программный комплекс на базе массово-параллельной технологии с облачными вычислениями для обработки потоковых Big Data, поступающих с информационно-измерительных систем СТС, обладает способностью работы в режиме реального времени с большими объемами потоковых данных для управления технологическими процессами в СТС

Список литературы

1. Vychuzhanin, V. Devising a method for the estimation and prediction of technical condition of ship complex systems / V. Vychuzhanin, N. Rudnichenko, V. Boyko, N. Shibaeva, S. Kononov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. — V. 84, № 6/9. — Pp. 4 -11.
2. Vychuzhanin, V.V., Assessment of risks structurally and functionally complex technical systems/ V.V. Vychuzhanin, N.D. Rudnichenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2014. — V. 1, № 2. — Pp. 18-22.
3. Рудниченко, Н.Д. Информационная когнитивная модель технологической взаимозависимости сложных технических систем / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Информатика и математические методы в моделировании. — 2013. — №3. — С. 240-247.
4. Бойко, В.Д. Модель оценки живучести судовых технических систем / Бойко В.Д. Вычужанин В.В // Вестник Миколаївського кораблебудівного університету, 2012. — № 3. — С. 62-67.
5. D. Bailey and E. Wright, Practical SCADA for industry. Newnes, 2003.
6. P. Zadrozny and R. Kodali, Big Data Analytics using Splunk, Berkeley, CA, USA: Apress, 2013.
7. F. Ohlhorst, Big Data Analytics: Turning Big Data into Big Money, Hoboken, N.J, USA: Wiley, 2013.
8. Jaroslav Pokorny. NoSQL databases: a step to database scalability in web environment. Proceedings of the 13th International Conference on Information Integration and Web-based Application and Services, ACM New York, NY, USA, 2011. — Pp. 278-283.
9. Apache Hadoop Documentation 2014. Mode of access: <http://hadoop.apache.org/>.
10. White, T. Hadoop: The Definitive Guide. O'Reilly, 2012. Mode of access: http://cdn.oreilystatic.com/oreilly/booksamplers/9781449311520_sampler.pdf.
11. Shvachko, K., Hairong Kuang, Radia S, Chansler, R The Hadoop Distributed File System Mass Storage Systems and Technologies (MSST), 2010 IEEE 26th Symposium
12. Вычужанин, В.В. Оптимізація відбору та аналізу інформації в різноструктурних сховищах даних / В.В. Вычужанин, Д.С. Шибаев, Н.О. Шибаева, Н.Д. Рудниченко // Информатика та математичні методи в моделюванні, 2017. — Том 7, №4. — С.318-325.
13. P. Bhatotia, A. Wieder, R. Rodrigues, U. A. Acar and R. Pasquin, "Incoop: MapReduce for incremental computations," Proc. of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing, 2011.
14. Apache Spark documentation 2014. Mode of access: <https://spark.apache.org/documentation.html>.
15. Apache Spark Research 2014. Mode of access: <https://spark.apache.org/research.html>.

РОЗПОДІЛЕНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗІ ФРЕЙМВОРКА APACHE SPARK ДЛЯ ОБРОБКИ ПОТОКОВИХ BIG DATA ВІД СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В.В. Вичужанін

Одеський національний морський університет,
вул. Мечникова, 34, Одеса, 65029, Україна; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

Проведений аналіз систем, призначених для обробки даних, що надходять з інформаційно-вимірювальних систем складних технічних систем показав, що використовувані в цих цілях, наприклад SCADA-системи, застосовуються головним чином для забезпечення огляду контрольованих процесів в складних технічних системах з можливістю виконувати способи Process Analyzer для аналізу стану систем і в основному для статистичної обробки даних. У зв'язку з цим нові технології обробки та методи аналізу Big Data для цієї сфери стають більш затребуваними. Для вирішення поставленого завдання, пов'язаної з обробкою даних, що надходять з інформаційно-вимірювальних систем складних технічних систем, в статті проведено аналіз характеристик фреймворків Hadoop MapReduce і Apache Spark для обробки Big Data і їх аналітики, що володіють внутрішньо-гетерогенною пам'яттю. Розглянуто вплив на продуктивність і відмовостійкість додатків Hadoop MapReduce і Apache Spark. Розглядаються способи створення Resilient Distributed Data: розпаралелювання переданої колекції в програмі; використання посилань на зовнішню файлову систему в Hadoop. Описано розподілений програмний комплекс на базі масово-паралельної технології для обробки поточкових Big Data, що надходять з інформаційно-вимірювальних систем складних технічних систем. Відмінними рисами системи є її здатність роботи в режимі реального часу з поточковими Big Data, а також застосування існуючих алгоритмів, не призначених для розподіленої обробки, на безлічі вузлів без зміни реалізації останніх. Запропоновано обробку поточкових Big Data в Apache Spark, що надходять з інформаційно-вимірювальних систем складних технічних систем, здійснювати на мові Scala з використанням бібліотек SparkContext і RDD. Пропонований розподілений програмний комплекс на базі масово-паралельної технології з хмарними обчисленнями для обробки поточкових Big Data, що надходять з інформаційно-вимірювальних систем складних технічних систем, має здатність роботи в режимі реального часу з великими обсягами поточкових даних для управління технологічними процесами в складних технічних системах.

Ключові слова: система, технологія, великі дані, інформація, база даних, обробка, аналіз

DISTRIBUTED SOFTWARE COMPLEX ON THE BASIC FORMER APACHE SPARK FOR PROCESSING THE FLOW BIG DATA FROM COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

V.V. Vychuzhanin

Odesa National Maritime University,
34, Mechnikova Str., Odesa, 65029, Ukraine; e-mail: 126.ist.onpu@gmail.com

The analysis of systems designed to process data from information systems of complex technical systems has shown that the SCADA systems used for this purpose are used mainly to provide an overview of the controlled processes in complex technical systems with the ability to perform the Process Analyzer methods for analysis of the state of systems and mainly for statistical data processing. In this regard, new processing technologies and Big Data analysis methods for this sphere are becoming more in demand. To solve the task of processing data from information and measuring systems of complex technical systems, the article analyzes the characteristics of the Hadoop MapReduce and Apache Spark frameworks for processing Big Data and their analytics with intra-heterogeneous memory. The impact on performance and fault tolerance of Hadoop MapReduce and Apache Spark applications is considered. The ways of creating Resilient Distributed Data are considered: the parallelization of the transferred collection in the program; the use of links to an external file system in Hadoop. The distributed program complex on the basis of mass-parallel technology for processing streams Big Data, coming from information-measuring systems of complex technical systems is described. Distinctive features of the system are its ability to work in real time with streaming Big Data, as well as the application of existing algorithms that are not designed for distributed processing on multiple nodes without changing the implementation of the latter. It is proposed to process streaming Big Data in Apache Spark, coming from information and measuring systems of complex technical systems, to implement in Scala language using the SparkContext and RDD libraries. The proposed distributed software package on the basis of mass-parallel technology with cloud computing for processing streaming Big Data, coming from information and measurement systems of complex technical systems, has the ability to work in real time with large volumes of streaming data for managing technological processes in complex technical systems.

Keywords: system, technology, large data, information, database, processing, analysis

МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ ВІЯВЛЕННЯ ШТУЧНОГО ПІДВИЩЕННЯ РІЗКОСТІ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

В.В. Зоріло, О.І. Кіосєва, І.В. Зоріло

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: jyzel@rambler.ru

Сучасні проблеми захисту інформації змінюються разом з розвитком інформаційних технологій. Рівень кіберзлочинності з кожним роком стає все вищим у всьому світі. Часто атакам кіберзлочинців піддаються цифрові файли різних форматів. Одна з основних задач сучасного захисту інформації – виявлення порушень цілісності цифрових сигналів, зокрема, цифрових зображень. Виявлення обробки цифрового зображення наразі є актуальною задачею через збільшення випадків порушення цілісності важливих документів. Цифрові зображення майже завжди оброблюють фільтрами графічних редакторів. Один з популярних фільтрів – підвищення різкості. У відкритому друці знайдено єдиний алгоритм виявлення штучного підвищення різкості. Існуючий алгоритм засновано на аналізі близьких пар кольорів цифрового зображення у відношенні до загальної кількості пар кольорів матриці цифрового зображення. Виявлено порогове значення, зважаючи на яке певне відношення цих показників свідчить про наявність чи відсутність підвищення різкості. Проте його основний недолік – велика кількість помилок першого та другого роду. У даній роботі досліджено вплив розбиття матриці зображення на квадратні блоки різного розміру на ефективність виявлення підвищення різкості. В якості фільтру різкості обрано інструмент графічного редактора Adobe Photoshop «Інтелектуальна різкість» через його широку популярність. На основі проведеного дослідження виконано модифікацію існуючого алгоритму. Дана модифікація дозволила зменшити кількість помилок 1 роду на 12 %, та 2 роду на 4 %, що в результаті складає 40 % помилок 2 роду та 14 % помилок 1 роду. Також в роботі запропоновано можливі подальші варіанти розвитку та вдосконалення процесу виявлення зазначеної обробки, а саме дослідження впливу модифікації формули близьких пар кольорів на ефективність алгоритму.

Ключові слова: виявлення підвищення різкості, цифрове зображення, порушення цілісності, захист інформації, близькі пари кольорів

Вступ

Для приховання фальсифікації зображення нерідко використовують такі фільтри графічних редакторів, як різкість (чіткість) чи розмиття, тому якщо виявити їх наявність на зображенні, то можна зробити висновок, що фотографія не є оригінальною. На сьогоднішній день методів для виявлення штучного підвищення різкості зображення не так багато. Наразі розроблено метод виявлення підвищення різкості [1], який має свої переваги та недоліки. Оскільки метод, про який зазначено в роботі, не має аналогів за направленням дії, він є важливим кроком до вирішення проблеми виявлення даного виду обробки зображень. Проте його безперечним недоліком є велика кількість помилок першого та другого роду. Очевидною є необхідність проведення додаткових досліджень стосовно даного метода для підвищення його ефективності. Метод засновано на аналізі близьких пар кольорів у відношенні до загальної кількості пар кольорів матриць цифрового зображення (ЦЗ). Різниця між даними величинами наразі досить велика для виділення порогового значення, яке дозволяє розрізняти оброблене зображення від необробленого, проте

необхідно знайти шляхи збільшення різниці між цими величинами для зменшення кількості помилок в роботі метода.

Мета даної роботи: удосконалення метода виявлення штучного підвищення різкості - постобробки цифрового зображення, як результату порушення його цілісності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Визначення напрямку вдосконалення метода виявлення штучного підвищення різкості;
2. Аналіз отриманих результатів та модифікація методу.

Матеріали та методи

Основні кроки метода виявлення штучного підвищення різкості в цифровому зображенні полягають в наступному. Червону, зелену і синю компоненти зображення (R , G , B відповідно в колірній схемі RGB) аналізували на предмет кількості близьких пар (БП) кольорів, де близькою вважають пару (R_1, G_1, B_1) і (R_2, G_2, B_2) , для якої виконується умова (1) [1, 2]:

$$\begin{cases} |R_1 - R_2| \leq 1 \\ |G_1 - G_2| \leq 1 \\ |B_1 - B_2| \leq 1 \end{cases} \Leftrightarrow (R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2 \leq 3. \quad (1)$$

Згідно [3] різниця між значенням яскравості пікселів має бути рівною двом для кожної колірної компоненти, проте вплив модифікації формули на ефективність алгоритму на даний момент не досліджено. Після отримання кількості близьких пар P для зображення знаходили коефіцієнт відношення кількості близьких пар кольорів до загальної кількості пар кольорів S за виразом:

$$K = \frac{P}{S}. \quad (2)$$

Якщо $K \leq 0,21$, то зображення вважають обробленим фільтром «Інтелектуальна різкість» (зображення у експерименті оброблювали засобами графічного редактору Adobe Photoshop з використанням фільтру «Інтелектуальна різкість»). Інакше різкість зображення не підвищено штучно даним фільтром.

Оцінка ефективності розробленого алгоритму робилася в термінах помилок першого і другого роду. Помилки першого роду – невірно відхилене застосування фільтру, помилками другого роду – помилково прийняте за оброблене цифрове зображення. Результати наведені в табл.1.

Таблиця 1.

Аналіз ефективності методу

	Помилки 1 роду	Помилки 2 роду
Оригінальне зображення, %	-	44
Обробка з радіусом 1 піксель, %	26,1	-
Обробка з радіусом 2 пікселі, %	18,3	-
Обробка з радіусом 3 пікселі, %	14,8	-

Як бачимо з табл.1, кількість помилок 1 і 2 роду велика для того, щоб вважати розроблений метод ефективним, проте з приводу підвищення ефективності даного метода пропонується надалі перед визначенням кількості близьких пар кольорів провести розбиття матриці зображення на непересічні блоки: при такому підході пікселі близької пари кольорів можуть знаходитися у різних блоках, що, можливо, призведе до зменшення чисельника формули (2).

Проведемо експеримент, в ході якого встановимо вплив розбиття зображення на блоки на ефективність зазначеного алгоритму. Візьмемо блоки розміром 16×16 та 8×8 пікселів. Блоки більших розмірів брати немає сенсу. Адже очікуваний ефект, очевидно, буде тим виразніший, чим більша кількість блоків у зображенні. Нехай P_1 – число близьких пар кольорів в зображенні, розбитому на блоки 16×16 , а P_2 – число близьких пар кольорів в зображенні, розбитому на блоки 8×8 . Для експерименту використовували 400 цифрових зображень у форматі jpg (формат зображення не є принциповим, як показано в роботі [4]) з власного архіву. Кожне зображення засобами графічного редактора Adobe Photoshop обробляли фільтром «Інтелектуальна різкість» з радіусом 1 піксель (найважча для виявлення ситуація) та зберігали у форматі jpg з мінімальними втратами. Результати експерименту подано в таблиці 2.

Таблиця 2.

Результати експерименту

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість близьких пар кольорів до обробки Блок 16×16	Кількість близьких пар кольорів після обробки Блок 16×16	Кількість близьких пар кольорів до обробки Блок 8×8	Кількість близьких пар кольорів після обробки Блок 8×8
1	1632	2449	3996768	859647	322250	801882	308447
2	2848	4272	12166656	6591427	557937	6267869	538424
3	2848	4272	12166656	4325440	2031810	4127697	1962667
4	2848	4272	12166656	3887245	2167398	3703211	2093525
5	2848	4272	12166656	4545607	2361522	4324080	2277800

Результати та обговорення

Визначення близьких пар кольорів: близькою парою кольорів будемо вважати такі два кольори (R_1, G_1, B_1) і (R_2, G_2, B_2) , які належать послідовно розміщеним вертикально чи горизонтально пікселям і для яких виконується умова (1).

Розглянемо отримані під час експерименту показники близьких пар кольорів відносно загальної кількості пар кольорів, яку визначимо наступним чином. Нехай F – $n \times m$ – матриця ЦЗ, та F' – $l \times l$ – блок матриці ЦЗ. Кількість таких непересічних блоків ЦЗ дорівнює наступному добутку: $\left\lfloor \frac{n}{l} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{m}{l} \right\rfloor$, де $\lfloor \bullet \rfloor$ – ціла частина аргументу.

Кількість пар кольорів в одному блоці за вертикальним напрямком дорівнює добутку

$(l-1) \times l$. Аналогічно знайдемо кількість пар кольорів і за горизонтальними напрямком. Тож загальна кількість пар кольорів у $l \times l$ -блоці дорівнює $2(l-1) \times l$. Для визначення загальної кількості пар кольорів у зображенні помножимо загальну кількість пар кольорів у блоці на кількість блоків. Отримаємо вираз:

$$S = \frac{2 \cdot (l-1) \cdot l \cdot m \cdot n}{l^2}.$$

Тож якщо блок має розміри 16×16 , то формула визначення загальної кількості пар кольорів S_1 ЦЗ з даним розбиттям на блоки матиме вигляд:

$$S_1 = \frac{15 \cdot m \cdot n}{8}.$$

Аналогічно при розбитті на блоки розміром 8×8 формула загальної кількості пар кольорів S_2 ЦЗ матиме вигляд:

$$S_2 = \frac{7 \cdot m \cdot n}{4}. \quad (3)$$

Введемо також коефіцієнти відношення (K_1, K_2) кількості близьких пар кольорів (P_1, P_2) до загальної кількості пар кольорів (S_1, S_2) :

$$K_1 = \frac{P_1}{S_1},$$

$$K_2 = \frac{P_2}{S_2}. \quad (4)$$

Частину результатів розрахунків наведено в таблиці 3 та таблиці 4 для оригіналів та оброблених зображень.

Таблиця 3.

Результати експерименту при розбитті на блоки 16×16

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість близьких пар кольорів до обробки	Відношення БП кольорів до S до обробки (K_b)	Кількість близьких пар кольорів після обробки	Відношення БП кольорів до S після обробки (K_c)
1	2848	4272	12166656	4725521	0,2071	2731947	0,1198
2	2848	4272	12166656	3294932	0,1444	1389265	0,0609
3	2848	4272	12166656	4638895	0,2033	2375561	0,1041
4	2848	4272	12166656	4065284	0,1782	2146094	0,0941
5	2848	4272	12166656	4356108	0,1910	2235323	0,0980

Таблиця 4.

Результати експерименту при розбитті на блоки 8×8

№ ЦЗ	Ширина в пікс.	Висота в пікс.	Всього пар кольорів	Кількість БП кольорів до обробки	Відношення БП кольорів до S до обробки (K_b)	Кількість БП кольорів після обробки	Відношення БП кольорів до S після обробки (K_a)
1	2848	4272	12166656	4493249	0,21103	2635619	0,12379
2	2848	4272	12166656	3135880	0,14728	1333090	0,06261
3	2848	4272	12166656	4391346	0,20625	2265831	0,10642
4	2848	4272	12166656	3838588	0,18029	2047932	0,09618
5	2848	4272	12166656	4120977	0,19355	2137137	0,10037

Знайдемо середній коефіцієнт відношення близьких пар кольорів до загальної кількості пар до обробки з розбиттям на блоки 16×16 , після обробки з розбиттям на блоки 16×16 , до обробки з розбиттям на блоки 8×8 , після обробки з розбиттям на блоки 8×8 . Результати наведено у таблиці 5.

Таблиця 5.

Середні коефіцієнти K відповідно до розміру блоку

Відношення БП кольорів до S до обробки (K_b) з розбиттям 16×16	Відношення БП кольорів до S_1 після обробки (K_a) з розбиттям 16×16	Відношення БП кольорів до S до обробки (K_b) з розбиттям 8×8	Відношення БП кольорів до S_2 після обробки (K_a) з розбиттям 8×8
0,173198	0,093327	0,176133	0,095844

В результаті експерименту встановлено, що при значенні коефіцієнту 0,157 досягаємо найкращий баланс між помилками 1 та 2 роду при розбитті на блоки 16×16 та при значенні 0,16 при розбитті на блоки 8×8 . Проведемо аналіз ефективності даної модифікації, результати якого наведемо в таблиці 6.

Таблиця 6.

Аналіз ефективності модифікованого алгоритму

	Оригінальне зображення з розбиттям на блоки 16×16 , %	Оброблене зображення з розбиттям на блоки 16×16 , %	Оригінальне зображення з розбиттям на блоки 8×8 , %	Оброблене зображення з розбиттям на блоки 8×8 , %
Помилки 1 роду	—	14,55	—	14,55
Помилки 2 роду	40,45	—	40,45	—

Як бачимо з даної таблиці, кількість помилок 1 і 2 роду однакова незалежно від розміру блоку при зазначених порогових значеннях. Отже розмір блоку не впливає суттєво на ефективність алгоритму. Оскільки розбиття на блоки 8×8 є стандартним для різних алгоритмів, наприклад, для алгоритму JPEG, тому в нашому алгоритмі теж

будемо використовувати таке розбиття (що не є принциповим для вирішення поставлених в роботі задач). В порівнянні з оригінальним алгоритмом кількість помилок 1 роду зменшилось на 12 %, 2 роду – 4 %.

На основі даного аналізу пропонуємо наступний алгоритм виявлення штучного підвищення різкості як постобробки цифрового зображення.

Нехай A – аналізоване кольорове цифрове зображення, де R , G , B – $m \times n$ – матриці червоної, зеленої і синьої компонент зображення відповідно.

Крок 1. Розбити матриці R , G , B зображення стандартним чином на непересічні блоки розміром 8×8 .

Крок 2. Для зображення поблоково знайти кількість близьких пар кольорів P за виразом (1) та загальну кількість пар кольорів за виразом (3).

Крок 3. Знайти коефіцієнт відношення кількості близьких пар кольорів до загальної кількості пар кольорів K за виразом (4).

Крок 4. Висновки.

Якщо

$$K \leq 0,16,$$

то

зображення вважаємо обробленим фільтром «Інтелектуальна різкість»,

інакше

зображення не оброблено фільтром «Інтелектуальна різкість».

Висновки

У даній статті розглянуто питання поведінки близьких пар кольорів зображення в ситуації, коли зображення оброблено засобами графічного редактора Adobe Photoshop, а саме фільтром «Інтелектуальна різкість». В ході досліджень проведено аналіз ефективності модифікованого алгоритму виявлення підвищення різкості, що дозволило в порівнянні з оригінальним алгоритмом зменшити кількість помилок 1 роду на 12 %, 2 роду на 4 %.

Предметом наступного дослідження є вплив модифікації формули близьких пар кольорів на ефективність алгоритму виявлення штучного підвищення різкості цифрового зображення.

Список літератури

1. Узун, И.А. Стеганоанализ цифровых изображений, хранящихся в произвольных форматах / И.А. Узун // Информатика и математические методы в моделировании. — 2013. — Т. 3, (№ 2). — С.179-189.
2. Johnson, N.F. Exploring Steganography: Seeing the Unseen / N.F. Johnson, S.Jajodia // IEEE Computer. — 1998. — Vol. 31, No. 2. — Pp. 26-34.
3. Рудницкий, В.Н. Стеганоаналитический алгоритм для изображений, подвергавшихся операции сжатия с потерями / В.Н. Рудницкий, И.А. Узун // Захист інформації. — 2013. — Т. 15, № 2. — С. 122-127.
4. Зорило, В.В. Влияние повышения резкости на математические параметры цифрового изображения / В.В. Зорило, Е.Ю. Лебедева, А.И. Матвеева, А.А. Ефименко, В.А. Мокрицкий // Сучасна спеціальна техніка. — 2017. — № 2. — С. 67-73.

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЯВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ РЕЗКОСТИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.В. Зоріло, О.І. Кіосева, І.В. Зоріло

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: jyzel@rambler.ru

Современные проблемы защиты информации меняются вместе с развитием информационных технологий. Уровень киберпреступности с каждым годом становится все выше во всем мире. Часто атакам киберпреступников подвергаются цифровые файлы различных форматов. Одна из основных задач современной защиты информации – выявление нарушений целостности цифровых сигналов, в частности, цифровых изображений. Выявление обработки цифрового изображения в настоящее время является актуальной задачей из-за увеличения случаев нарушения целостности важных документов. Цифровые изображения почти всегда обрабатывают фильтрами графических редакторов. Один из популярных фильтров – повышение резкости. В открытой печати найден единственный алгоритм выявления искусственного повышения резкости. Существующий алгоритм основан на анализе близких пар цветов цифрового изображения в отношении к общему количеству пар цветов матрицы цифрового изображения. Выявлено пороговое значение, учитывая которое определенное отношение этих показателей свидетельствует о наличии или отсутствии повышения резкости. Однако его основной недостаток – большое количество ошибок первого и второго рода. В данной работе исследовано влияние разбиения матрицы изображения на квадратные блоки разного размера на эффективность обнаружения повышения резкости. В качестве фильтра резкости выбран инструмент графического редактора Adobe Photoshop «Интеллектуальная резкость» из-за его широкой популярности. На основе проведенного исследования выполнена модификация алгоритма. Данная модификация позволила уменьшить количество ошибок 1 рода на 12 % и 2 рода на 4 %, что в результате составляет 40% ошибок 2 рода и 14 % ошибок 1 рода. Также в работе предложены возможные дальнейшие варианты развития и совершенствования процесса выявления указанной обработки, а именно исследование влияния модификации формулы близких пар цветов на эффективность алгоритма.

Ключевые слова: выявление резкости, цифровое изображение, нарушения целостности, защита информации, близкие пары цветов

**MODIFICATION OF ALGORITHM FOR DETECTING ARTIFICIAL
IMPROVEMENT OF SHARPNESS OF THE DIGITAL IMAGE**

V.V. Zorilo, O.I. Kioseva, I.V. Zorilo

Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Str., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: jyzel@rambler.ru

Modern information protection issues are changing with the development of information technology. Every year, the level of cybercrime is getting higher everywhere. Often cybercriminals are exposed to digital files of various formats. One of the main tasks of modern information security is the detection of violations of the integrity of digital signals, in particular, digital imaging. Detection of digital image processing is currently a topical task due to the increased incidence of integrity of important documents. Digital images are almost always processed by the filters of graphic editors. One of the popular filters is the sharpening. In the open edition, a single algorithm for detecting artificial sharpening was found. The existing algorithm is based on the analysis of close pairs of colors of a digital image in relation to the total number of pairs of colors of the matrix of a digital image. Threshold value is detected, considering what certain ratio of these indicators indicates presence or absence of sharpening. However, his main disadvantage is a large number of errors of the first and second kind. In this paper, the influence of the partition of the image matrix on square blocks of different sizes on the effectiveness of detecting sharpening is investigated. As a sharpening filter, Adobe Photoshop's Intelligent Sharpness tool is chosen because of its wide-ranging popularity. On the basis of the conducted research modification of the algorithm was performed. This modification made it possible to reduce the number of errors of the 1st kind by 12 %, and the 2 genera by 4%, which results in 40 % of errors of the second kind and 14 % of errors of the 1st genus. Also, possible further variants of development and improvement of the process of detection of the indicated processing, namely, the study of the influence of the modification of the formula of close pairs of colors on the efficiency of the algorithm, are proposed in the work.

Keywords: sharpening, digital image, integrity violation, information protection, close pairs of colors

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИХОВАНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В КАНАЛІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

К.Р. Шерфедінов

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

На основі стеганометоду Коха та Жао було побудовано стеганосистему для створення прихованого каналу зв'язку в мобільному каналі загального користування. Результатом роботи є android-додаток, який являє собою месенджер. В якості контейнера використовується цифрове зображення. Конфіденційною інформацією є текстові повідомлення користувачів. За допомогою android-додатку створюється прихований канал мобільного зв'язку в каналі загального користування. Клієнти обмінюються стеганоповідомленнями, які зберігаються на сервері. При цьому, власник серверу може мати повний доступ до файлів користувачів. Кожна клієнтська програма може вбудовувати конфіденційну інформацію у цифрове зображення та декодувати символну послідовність із стеганоповідомлень. Ключем стеганосистеми є послідовність вбудови чергового біту додаткової інформації у контейнер. Кінцевий текст повідомлень буде правильно відображатися лише автентифікованим користувачам. Розроблений додаток підтримує обмін повідомленнями, які містять символи англійського алфавіту, числа та деякі розділові знаки. Максимальна довжина одного текстового повідомлення обмежена та складає 350 символів. Це обмеження було включено у додаток для того, щоб розроблену стеганосистему можна було використовувати на мобільних пристроях з невеликим обсягом оперативної пам'яті. Обчислювальна складність запропонованого алгоритму вбудови, декодування прихованої інформації становить $O(n^2)$ операцій для $n \times n$ -зображення, що робить його придатним для застосування в мобільних пристроях. Декодування прихованої інформації не потребує наявності незаповненого контейнеру. Запропонована система на сьогоднішній день не має аналогів. У майбутньому таку програму можна поєднати з клієнтами MySpace, Facebook, Twitter тощо.

Ключові слова: стегаграфічний метод, цифрове зображення, канал зв'язку, дискретне косинусне перетворення, метод Коха та Жао, мобільна стеганосистема, android-додаток, безпека, чат

Вступ

В умовах активного розвитку мережевих технологій отримання доступу до інформації стало надзвичайно простим, все більша кількість інформації передається по мережі, та зростає кількість атак зловмисників з метою несанкціонованого доступу до неї. У зв'язку з цим виникає питання захищеної передачі даних в мережі.

З розвитком операційних систем iOS та Android мобільні додатки стали найпопулярнішим інструментом для обміну повідомленнями в Internet. Сучасна людина має в середньому 3-4 месенджера в своєму телефоні. Зазвичай це клієнтські програми таких соціальних мереж, як Facebook, Instagram, Telegram. Всі вони використовують шифрування та є добре захищеними від перехоплення повідомлень і атак ззовні. Але ці програми використовують сервери для зберігання даних користувачів, і тому якщо хтось отримає доступ до сервера, то він зможе отримати доступ і до повідомлень. Криптографічний захист інформації, де захищається лише сам зміст повідомлення, не усуває означену проблему повністю. Наявність шифрованого повідомлення сама по собі привертає увагу до нього, викликає підозру. До того ж в ряді країн, зокрема в

Україні, діють заборони чи обмеження на використання криптографічних засобів. З врахуванням цього, для захисту інформації, що передається за допомогою мобільного каналу зв'язку, від неавторизованого доступу *актуальним* є створення прихованого (стеганографічного) каналу всередині каналу загального користування, але на сьогодні не існує месенджерів, які використовують стеганографію для обміну конфіденційною інформацією.

На відміну від криптографії, яка приховує зміст таємного повідомлення, стеганографія приховує сам факт його існування [1,2]. У процесі стеганографування конфіденційна інформація (КІ) після попереднього кодування, результатом якого є додаткова інформація (ДІ), що, як правило, представляє бінарну послідовність, вбудовується в контейнер, чи основне повідомлення, яке не привертає уваги, результатом чого є стеганоповідомлення, яке відкрито пересилається по каналу зв'язку. Найбільш підходящими об'єктами-контейнерами, враховуючи специфіку сучасної стеганографії, що має «комп'ютерний» характер [1-3], є цифрові зображення (які використовуються далі в роботі), файли аудіо й відеоданих.

Стеганографічні методи для захисту інформації зазвичай використовують разом з методами криптографії, таким чином доповнюючи її. Сьогодні стеганографія переживає етап свого бурхливого розвитку, пов'язаний з багатьма об'єктивними і суб'єктивними причинами. Цей розвиток є важливим для вдосконалення системи захисту інформації, яка сьогодні носить комплексний характер [4], в цілому.

З урахуванням особливостей сучасної комунікації, невід'ємною частиною якої є передача інформації у форматах з втратами, одною з найважливіших вимог до стеганоалгоритмів, які використовуються при організації будь-якого прихованого каналу зв'язку, є вимога стійкості до атак проти вбудованого повідомлення – збурних дій, найпоширенішими з яких є стиск з втратами (з різними коефіцієнтами якості), накладання на зображення різноманітних шумів, фільтрів, афінні перетворення.

Стеганосистема, що будується в мобільному каналі загального користування, має свої особливості:

- Вона повинна мати малу обчислювальну складність (не тільки у випадку потокового, а й фіксованого контейнеру). Як правило, мобільні пристрої мають менший об'єм оперативної пам'яті, ніж персональні комп'ютери, і тому працюють значно повільніше, виконуючи меншу кількість операцій в одиницю часу. Стеганоалгоритми, розроблені для комп'ютерів, можуть бути непридатними для застосування на смартфонах внаслідок великої обчислювальної складності, що, в свою чергу, трансформується у значні вимоги до оперативної пам'яті.

- Операційна система Android оперує структурами даних для обробки зображень та їх збереження, схожими до своїх аналогів у MATLAB та Java (класична версія), але такими, що мають деякі відмінності [5]. Це обумовлено вбудованим у мобільні пристрої, працюючі на даній операційній системі, середовищем Android SDK. Якщо знехтувати цими умовами, то стеганоалгоритм може втратити свою ефективність або зовсім стати неієднатним.

- Стеганоалгоритм, який є основою відповідної стеганосистеми, обов'язково повинен бути стійким проти повторного стиску: переважна кількість серверів стискають зображення для більшої економії вільного місця на жорсткому диску; зазвичай стиск відбувається з коефіцієнтом якості QF 75-80.

При розробці стеганосистеми в мобільному каналі загального користування всі ці особливості повинні бути врахованими.

Метою роботи є забезпечення можливості прихованої передачі конфіденційної інформації загально використовуваним каналом мобільного зв'язку шляхом розробки відповідного android-додатку.

Створення прихованого каналу зв'язку відбувається за допомогою побудови стеганографічної системи, де в якості контейнерів використовуються цифрові зображення.

Для досягнення мети в роботі вирішуються такі *задачі*:

1. Обґрунтувати та здійснити вибір клієнтської програми з відкритим кодом для подальшої модифікації з врахуванням мети роботи.
2. Обґрунтувати та здійснити вибір стеганометоду, придатного для створення прихованого каналу зв'язку в мобільному каналі загального користування.
3. Для обраного стеганографічного методу вибрати значення параметрів, що визначають його алгоритмічну реалізацію, з урахуванням умов, в яких передбачається функціонування створюваного android-додатку.
4. Реалізувати обраний стеганографічний алгоритм в середовищі виконання для Android.
5. Інтегрувати розроблений алгоритм в клієнтську програму для обміну повідомленнями.

Основна частина

Математичні базиси при розробці сучасних стійких до збурних дій стеганоперетворень різні: лінійна алгебра, теорія ймовірності, математична статистика, теорія збурень [6]. Останнім часом почала розвиватися стеганографічна техніка, заснована на встановлених особливостях головного мозку людини, зокрема, нейромережевий підхід [7]. Для вбудовування ДІ в контейнер-зображення можуть використовуватися як просторова [1,2], так і область перетворення ЦЗ. В якості області перетворення може, зокрема, виступати частотна область ЦЗ, області різних розкладів матриці: сингулярного, спектрального [8-10].

Традиційно вважається, що для забезпечення стійкості стеганографічних методів і алгоритмів до збурних дій кращою для вбудови ДІ є область перетворення зображення, зокрема, частотна область. Це обумовлено тим, що в частотній області найпростіше задовольнити умовам забезпечення стійкості: достатньо виконувати вбудову додаткової інформації шляхом збурення низькочастотних коефіцієнтів цифрового зображення (блоків ЦЗ), виділення яких з усієї множини частотних коефіцієнтів є простою операцією. Враховуючи це, велика кількість розробок стійких стеганометодів і алгоритмів відповідає частотній області для проведення стеганоперетворення. Враховуючи те, що сучасні смартфони зберігають більшість файлів, зокрема зображення, у форматі з втратами, саме такі стеганографічні алгоритми доцільно використовувати при організації прихованого каналу мобільного зв'язку.

Розглянемо один з найпоширеніших на сьогодні методів приховування додаткової інформації в частотній області (області дискретного косінусного перетворення (ДКП)), який позиціонується як стійкий до стиску (з коефіцієнтами якості, що розглядаються в роботі), має низьку обчислювальну складність та просту реалізацію, - метод відносної заміни величин коефіцієнтів ДКП - Коха і Жао [3]. Для стеганоперетворення, з урахуванням необхідності збереження надійності сприйняття стеганоповідомлення, як правило, вибираються два ДКП-коефіцієнта K_1 , K_2 середньої частини спектра блоку матриці ЦЗ-контейнера, отриманого після її попереднього стандартного розбиття [11]. Вбудовування ДІ відбувається за рахунок певної корекції їх значень з урахуванням значення сталої T , яка обирається за умов забезпечення надійності сприйняття формованого стеганоповідомлення і стійкості відповідного стеганоалгоритму.

При організації прихованого каналу зв'язку часто використовується одна складова (з урахуванням особливостей людського зору - синя) кольорового ЦЗ. Тому,

не обмежуючи спільності міркувань, як формального представлення контейнера в роботі використовується одна $m \times n$ матриця F .

Як додаткова інформація розглядається випадково сформована бінарна послідовність $p_1, \dots, p_t$, $p_i \in \{0,1\}$, $i = \overline{1, t}$.

Для емпіричного вибору коефіцієнтів K_1 , K_2 ДКП блоку та сталої T , що фігурують у методі Коха і Жао, які доцільно задіювати в процесі стеганоперетворення (для забезпечення надійності сприйняття стеганоповідомлення та стійкості відповідного стеганоалгоритму до стиску), було проведено обчислювальний експеримент, в якому брали участь 100 ЦЗ розміром 3100×4200 пікселів. В ході експерименту сформована випадковим чином бітова послідовність, яка представляла з себе ДІ, вбудовувалась у ЦЗ-контейнер методом Коха і Жао з використанням різних K_1 , K_2 , T . Отримані стеганоповідомлення зберігалися в форматі Лрег з коефіцієнтом якості $QF=75$, після чого вбудована послідовність вилучалась із цифрових зображень-стеганоповідомлень.

За результатами експерименту найпридатнішими для використання при вбудові ДІ були визнані коефіцієнти ДКП (4,5) та (5,4), оскільки саме вони забезпечували найбільшу кількість правильно відновленої інформації X (95.12%), яка обчислювалася за допомогою формули:

$$X = \frac{C_p}{C_o} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де C_p – кількість правильно декодованих бітів, C_o – кількість вбудованих бітів ДІ, X – кількість правильно відновленої ДІ.

Використання кожної з розглянутих пар коефіцієнтів ДКП ((4,5) та (5,4), (2,7) та (7,2), (1,7) та (2,8)) разом з емпірично встановленим значенням сталої $T = 25$ забезпечувало надійність сприйняття формованих стеганоповідомлень, яка встановлювалася за допомогою суб'єктивного ранжирування.

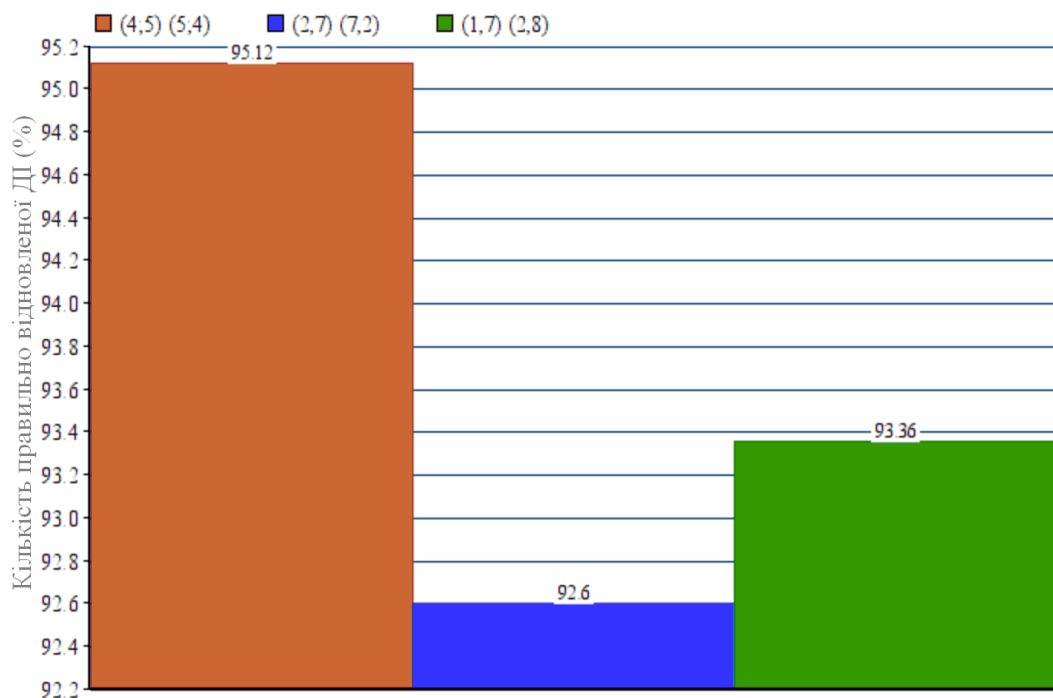


Рис. 1. Кількість правильно відновленої ДІ для різних пар коефіцієнтів ДКП блоків ЦЗ-контейнера, задіяних при стеганоперетворенні в методі Коха та Жао

Таким чином, в роботі використовується алгоритмічна реалізація методу Коха та Жао з наступними значеннями параметрів: $K_1 = (4,5)$, $K_2 = (5,4)$, $T = 25$ для процесу створення прихованого каналу мобільного зв'язку, основні кроки якого наступні.

Крок 1. Визначити кількість l символів повідомлення, що пересилається прихованим каналом мобільного зв'язку.

Крок 2. Матрицю F зображення-контейнера розбити стандартним чином на непересічні блоки розміром 8×8 пікселів. Визначити m - кількість отриманих блоків.

Крок 3. Визначити S - кількість блоків, що треба задіяти при стеганоперетворенні:

$$S = 3 + 3 \cdot 9 + 3 \cdot l \cdot 8.$$

Якщо $m < S$,

то попередження про неможливість відправлення повідомлення в запропонованому ЦЗ-контейнері. Перехід на крок 8.

Крок 4. Текстове повідомлення кодується в бінарну послідовність, результатом чого є ДІ: $p_1, \dots, p_t$, $p_i \in \{0,1\}$, $i = \overline{1, t}$. При перетворенні тексту (англійською мовою) до UTF-8 кожному символу ставиться у відповідність 8 бітів. Таким чином: $t = 8l$. Максимальна кількість символів у повідомленні, що приховано передається, незалежно від розміру ЦЗ-контейнера складає 350 символів. Ця величина є присмисловою для більшості текстових повідомлень. Таке обмеження вводиться у зв'язку з тим, що оперативна пам'ять більшості смартфонів складає в середньому 1Гб.

Крок 5. В 3 блоки ЦЗ, місця розташування яких визначаються секретним ключом, за допомогою алгоритмічної реалізації методу Коха та Жао для визначення зображення як стеганоповідомлення вбудовуються значення: $k_1 = k_2 = k_3 = 1$

Крок 6. Кількість символів l повідомлення, що пересилається, переводиться в двійкову систему числення. Результат - l_B . Враховуючи те, що $l \leq 350$, а двійкове представлення числа 350 має 9 розрядів, l_B представляється в дев'ятирозрядному вигляді: $l_B^{(1)} l_B^{(2)} \dots l_B^{(9)}$.

Крок 7. У 27 блоків матриці зображення-контейнера, що використовуються в процесі стеганоперетворення, місця розташування та порядок яких визначається секретним ключом, за допомогою алгоритмічної реалізації методу Коха і Жао тричі вбудовується отримане двійкове представлення l_B (це необхідно для того, щоб при декодуванні була відома точна кількість блоків, які слід обробити для декодування інформації). В наступні блоки ЦЗ-контейнера, що задіюються в процесі стеганоперетворення (місця розташування та порядок яких визначається секретним ключом), вбудовуються послідовно біти $p_1, \dots, p_{8l}$ ДІ за допомогою алгоритмічної реалізації методу Коха та Жао. Цей процес повторюється тричі. Результат – матриця ЦЗ-стеганоповідомлення F_S . Після стеганоперетворення ЦЗ зберігається в форматі Jpeg з коефіцієнтом якості QF, який дорівнює 75.

Крок 8. Закінчення обробки зображення.

Отримане стеганоповідомлення відправляється до серверу. Адресат, якому це повідомлення призначене, відкриває свій android-додаток та завантажує зображення з серверу до себе на смартфон. Після цього стартує процес декодування переданої інформації (рис.2).

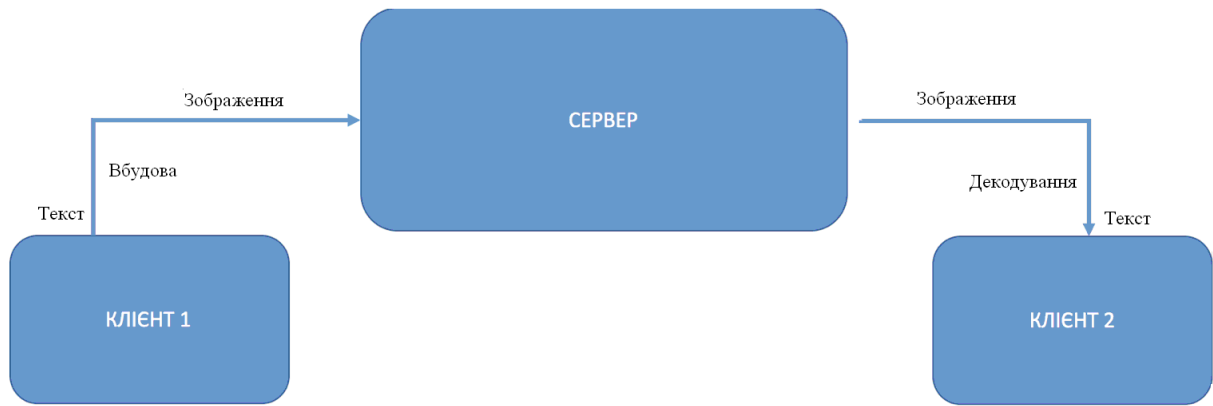


Рис.2. Схема роботи стеганомесенджера

Для кожного зображення алгоритм декодування ДІ має наступні кроки.

Крок 1. Отримане зображення з матрицею $\bar{F}_s$ розбивається стандартним чином на непересічні блоки розміром 8×8 пікселів.

Крок 2. За допомогою алгоритму Коха та Жао декодується інформація з 3 блоків ЦЗ, місця розташування яких визначаються секретним ключом (відповідно до кроку 5 при стеганоперетворенні ЦЗ): $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{k}_3$.

Якщо $\bar{k}_1 + \bar{k}_2 + \bar{k}_3 > 1$,

то перехід на крок 3,

інакше перехід на крок 6.

Крок 3. За допомогою алгоритму Коха та Жао декодуються наступні 27 бітів інформації з 27 чергових блоків ЦЗ-стеганоповідомлення (місця розташування та порядок яких визначається секретним ключом), задіяних в стеганоперетворенні, які розбиваються на 3 послідовні групи по 9 бітів: $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_9$, $\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_9$, $\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_9$.

Біти l_b відновлюються відповідно:

$$l_b^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \bar{a}_i + \bar{b}_i + \bar{c}_i > 1 \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}, \quad i = \overline{1, 9}.$$

Отримане значення l_b переводиться в десятичну систему числення. Результат - l (кількість символів повідомлення, що пересилається).

Крок 4. З блоків матриці $\bar{F}_s$, що були задіяні в процесі стеганоперетворення (місця розташування та порядок яких визначається секретним ключом), кількість яких становить $8 \cdot l \cdot 3$, за допомогою алгоритмічної реалізації методу Коха і Жао декодувати (можливо змінені) біти тричі вбудованої під час стеганоперетворення ДІ

$$p_1^{(1)}, \dots, p_{8l}^{(1)}, p_1^{(2)}, \dots, p_{8l}^{(2)}, p_1^{(3)}, \dots, p_{8l}^{(3)}.$$

Остаточні біти $\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_{8l}$ ДІ відновлюються за формулою:

$$\bar{p}_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_i^{(1)} + p_i^{(2)} + p_i^{(3)} > 1 \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}, \quad i = \overline{1, 8l}.$$

Крок 5. Отримана бітова послідовність ДІ $\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_{8l}$ переводиться до ASCII вигляду. Результат записується у пам'ять смартфона.

Крок 6. Закінчення аналізу зображення.

Тестування розробленого стеганомесенджеру на 100 ЦЗ розміру 3100×4200 пікселів дали наступні результати. Порушення надійності сприйняття формованих стеганоповідомлень, яка встановлювалася за допомогою суб'єктивного ранжирування, зафіксовано не було. Як ілюстрація цього на рисунку 3 наведений типовий приклад застосування розробленого стеганододатку до одного з використаних в якості контейнера зображень.



Рис. 3. Збереження надійності сприйняття стеганоповідомлення після вбудови в ЦЗ конфіденційної інформації розробленим android-додатком: а – ЦЗ-контейнер; б – стеганоповідомлення

Кількість правильно відновленої ДІ в середньому по експерименту становить 95.12%.

Кількість S правильно відновленої КІ (символів тексту) визначалася за формулою:

$$S = \frac{S_p \cdot 100}{S_o}, \quad (2)$$

де S_p – кількість правильно декодованих символів, S_o – кількість вбудованих символів.

Треба зазначити, що величина (2) відрізняється (в бік зменшення) від (1). Це відбувається завдяки тому, що кожному символу ставилися у відповідність 8 бітів. Якщо серед цих бітів буде хоча б один, відновлений неправильно, то, теоретично, цей символ не буде знайдений у алфавіті та його буде замінено на спецсимвол “~” після декодування.

При проведенні обчислювального експерименту кількість правильно відновленої КІ склала в середньому 87.5%.

Як було зазначено, сьогодні не існує месенджерів, які використовують стеганографію для обміну конфіденційною інформацією. Тому розроблена

стеганосистема не має собі аналогів і поки що неможливо якісно оцінити її рівень ефективності порівняно з подібними стеганосистемами.

Обчислювальна складність запропонованого в роботі алгоритму визначається кількістю 8×8 -блоків, на які розбивається матриця ЦЗ, а тому для зображення, матриця якого має розмір $n \times n$, становить $\left\lceil \frac{n}{8} \right\rceil \times \left\lceil \frac{n}{8} \right\rceil = O(n^2)$ операцій, де $\lceil \bullet \rceil$ - ціла частина аргументу.

Висновки

В роботі вирішена важлива науково-практична задача забезпечення можливості прихованої передачі конфіденційної інформації загально використовуваним каналом мобільного зв'язку шляхом розробки android-додатку, результатом роботи якого є створювана стеганографічна система, побудована на основі алгоритмічної реалізації методу Коха і Жао, параметри якої обиралися емпірично. В якості контейнера використовується цифрове зображення.

Обчислювальна складність запропонованого алгоритму вбудови, декодування прихованої інформації становить $O(n^2)$ операцій для $n \times n$ -зображення, що робить його придатним для застосування в мобільних пристроях. Декодування прихованої інформації не потребує наявності незаповненого контейнера.

Тестування розробленого android-додатку показало його ефективність в умовах атаки проти вбудованого повідомлення (стиску стеганоповідомлення з втратами):

- суб'єктивним ранжируванням не було зафіксовано порушення надійності сприйняття стеганоповідомлень;
- при відновленні інформації, що пересилалася, кількість правильно відновленої бітової послідовності перевищив 95%, а правильно відновлених текстових символів повідомлення – 87.5%.

Запропонована система на сьогоднішній день не має аналогів. В майбутньому можуть бути розроблені аналогічні стеганомесенджері для соціальних мереж Facebook, WhatsApp тощо.

Список літератури

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. — М.: Солон-Пресс, 2002. — 272 с.
2. Аграновский, А.В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ: [монография] / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. — М.: Вузовская книга, 2009. — 220 с.
3. Конахович, Г.Ф. Компьютерная стеганография [Текст]: теория и практика / Г.Ф. Конахович, А.Ю. Пузыренко. — Киев : МК-Пресс, 2006. — 288 с.
4. Ленков, С.В. Методы и средства защиты информации: в 2 т. / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко. — К.: Арий, 2008. — Т.2: Информационная безопасность. — 2008. — 344 с.
5. Android Programming: The Big Nerd Ranch Guide / Bill Phillips, Chris Stewart, and Kristin Marsicano // Indianapolis, IN 46240 USA.
6. Кобозева, А.А. Анализ информационной безопасности: монография / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко. — К.: ГУИКТ, 2009. — 251 с.
7. Vafaei, M. A Novel Digital Watermarking Scheme Using Neural Networks with Tamper Detection Capability/ M. Vafaei, H. Mahdavi-Nasab // J. Basic. Appl. Sci. Res. — 2013. — 3 (4). — Pp. 577-587.
8. Bergman, C. Unitary Embedding for Data Hiding with the SVD / C. Bergman, J. Davidson // Proceedings of Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VII, San Jose, CA, January 17, 2005. — Vol. 5681. — Pp. 619-630.

9. Fridrich, J. Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms and Applications / J. Fridrich. — 2010. — 441 p.
10. Patra, J.C. Improved CRT-based DCT domain watermarking technique with robustness against JPEG compression for digital media authentication / J.C. Patra, A.K. Kishore, C. Bornand // In Proc. of 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. — 2011. — Pp. 2940 – 2945.
11. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. П.А. Чочиа. — М. : Техносфера, 2006. — 1070 с.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СКРЫТОГО КАНАЛА СВЯЗИ В КАНАЛЕ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

К.Р. Шерфедінов

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

На основе стеганометода Коха и Жао была построена стеганосистема для создания скрытого канала связи в мобильном канале общего пользования. Результатом работы является android-приложение, которое представляет собой мессенджер. В качестве контейнера используется цифровое изображение. Конфиденциальной информацией являются текстовые сообщения. С помощью android-приложения создается скрытый канал мобильной связи в канале общего пользования. Клиенты обмениваются стеганосообщениями, которые хранятся на сервере. При этом владелец сервера может иметь полный доступ к файлам пользователей. Каждая клиентская программа может встраивать конфиденциальную информацию в цифровое изображение и декодировать символьную последовательность из стеганосообщений. Ключом стеганосистемы является последовательность встраивания очередного бита дополнительной информации в контейнер. Конечный текст сообщений будет правильно отображаться лишь для аутентифицированных пользователей. Разработанное приложение поддерживает обмен сообщениями, которые содержат символы английского алфавита, числа и некоторые знаки препинания. Максимальная длина текстового сообщения ограничена и составляет 350 символов. Это ограничение было встроено в приложение для того, чтобы разработанную стеганосистему можно было использовать на мобильном устройстве с небольшим объемом оперативной памяти.

Вычислительная сложность предложенного алгоритма составляет $O(n^2)$, что делает его пригодным для применения на мобильных устройствах. Декодирование скрытой информации не требует наличия незаполненного контейнера. Предложенная система на сегодняшний день не имеет аналогов. В будущего такую программу можно совместить с клиентами MySpace, Facebook, Twitter и т.п.

Ключевые слова: стеганографический метод, цифровое изображение, канал связи, дискретное косинусное преобразование, метод Коха и Жао, мобильная стеганосистема, android-приложение, безопасность, чат

MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT FOR ORGANIZING A HIDDEN COMMUNICATION CHANNEL IN A PUBLIC CHANNEL

K.R. Sherfedinov

Odesa National Polytechnic University,
1, Shevchenko Str., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: k.sherfedinov@gmail.com

Based on the steganomethod Koch and Zhao, a steganosystem was constructed to create a hidden communication channel in a mobile public channel. The result of the work is the android-application, which is an instant messenger. The container is a digital image. Confidential information is text messages. With the help of the android application, a hidden mobile channel is created in the public channel. Clients exchange stegan messages, which are stored on the server. In this case, the server owner can have full access to user files. Each client program can embed confidential information into a digital image and decode the character sequence from steganesses. The key of the steganosystem is the sequence of embedding the next bit of additional information into the container. The final message text will be displayed correctly only for authenticated users. The developed application supports the exchange of messages, which contain the symbols of the English alphabet, numbers and some punctuation marks. The maximum length of a text message is limited to 350 characters. This restriction was built into the application so that the developed steganosystem could be used on a mobile device with a small amount of RAM. The computational complexity of the proposed algorithm is, which makes it suitable for use on mobile devices. Decoding of hidden information does not require the presence of an empty container. The proposed system to date has no analogues. In the future, such a program can be combined with clients MySpace, Facebook, Twitter, etc.

Keywords: steganographic method, digital image, communication channel, discrete cosine transformation, Koch and Zhao method, mobile steganosystem, android-application, security, chat

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ОБЪЕКТОМ

С.А. Бобриков

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

Проведен синтез системы управления с использованием двух принципов управления: по отклонению и по возмущающему воздействию. Измерение возмущающего воздействия осуществляется косвенно по модели, в которую входит усилитель мощности – звено первого порядка, и объект управления – звено второго порядка с изменяющимися параметрами. Разработано управляющее устройство, обеспечивающее постоянство показателей качества системы при любых возможных значениях параметров объекта. В качестве изменяющихся параметров в объекте приняты постоянная времени и коэффициент усиления. Динамические свойства процесса управления оцениваются максимальным перерегулированием в переходной характеристике и временем переходного процесса. Регулирование по возмущающему воздействию осуществляется путем сравнения сигналов на выходе объекта управления и на выходе модели. Разность этих сигналов подается на вход усилителя мощности совместно с сигналом ошибки от управляющего устройства. Разработана структурная схема системы управления; устройство управления, обеспечивающее стабильность показателей качества, и компенсирующее устройство, обеспечивающее компенсацию возмущений, приложенных к объекту управления. Разработан метод расчета параметров управляющего устройства и компенсирующего устройства. Рассмотрен пример расчета системы предлагаемым методом. В качестве нестационарного объекта управления принято морское судно, испытующее возмущающие воздействия со стороны волн. Проведено моделирование рассмотренной системы управления, подтвердившее правильность разработанного метода расчета.

Ключевые слова: регулятор, система управления, управление по отклонению, управление по возмущающему воздействию, передаточные функции, моделирование, переходная характеристика, показатели качества управления, объект управления, исполнительный механизм, усилитель, обратная связь

Введение

Известны системы управления объектами, в которых параметры могут изменяться в широких пределах (нестационарные объекты), например, крупнотоннажные морские суда (с грузом и без груза), управляемая ракета и др. Для обеспечения высоких показателей качества процесса управления при построении подобных систем используют методы адаптивного управления, что приводит, как правило, к существенному усложнению управляющего устройства [1-6]. В данной работе рассматривается система управления нестационарным объектом, построенная без использования методов, свойственных адаптивным системам и, вместе с тем, позволяющая получить требуемые показатели качества управления при условии, что параметры объекта управления изменяются в широких пределах ($1 \div 10$).

Для повышения качества управления в данной работе применён принцип комбинированного управления. Комбинированные системы управления, в которых используются одновременно два принципа построения системы: по отклонению и по возмущающему воздействию, позволяют существенно снизить зависимость ошибки управления от того возмущающего воздействия, по которому выполнен канал

воздействия на управляющее устройство. Для реализации такого канала необходимо измерить возмущающее воздействие, что во многих случаях выполнить невозможно. В работе [7] рассмотрен метод оценки величины возмущающего воздействия со стороны внешней среды путем сравнения сигналов на выходе системы управления с сигналом, полученным на выходе модели системы. Следует также отметить, что для систем с комбинированным принципом управления предпринята попытка синтеза, отличительной особенностью которой является использование измерения возмущения по модели объекта [8]. Это позволяет упростить процедуру синтеза, поскольку в модель не включается управляющее устройство. Учитывая подход, предложенный в [8], ниже рассмотрен метод построения комбинированной САУ для объекта, параметры которого могут изменяться в широких пределах, однако, при этом, показатели качества управления остаются в пределах заданных значений. Для выполнения канала воздействия на управляющее устройство возмущений, приложенных к объекту, используется модель, в которую включены усилитель мощности и объект с изменяющимися параметрами.

Цель работы

Целью работы является синтез и моделирование системы управления, с использованием двух принципов управления: по отклонению и по возмущающему воздействию. Принято условие, что параметры объекта могут изменяться в процессе работы системы управления в широких пределах. Система управления должна обеспечить постоянство принятых показателей качества при любых возможных значениях параметров объекта, а также при воздействии на объект возмущений со стороны внешней среды. Для измерения величины воздействия на объект со стороны внешней среды используется модель, в которую включены усилитель мощности и объект управления. Оценка величины воздействия возмущений на объект управления осуществляется путем сравнения сигналов на выходе объекта и на выходе модели. Система управления обеспечивает заданные показатели качества в пределах заданного диапазона изменения параметров объекта. Показателями качества системы управления выбраны максимальное перерегулирование в переходной характеристике и время переходного процесса.

Разработана структурная схема системы управления, устройство управления, обеспечивающее стабильность показателей качества, и компенсирующее устройство, обеспечивающее компенсацию возмущений, приложенных к объекту управления.

Основная часть

Управляющее устройство выполнено по схеме, представленной в работах [9, 10]. Реализация управляющего устройства по указанной схеме обеспечивает работу системы управления нестационарным объектом при сохранении динамических свойств системы для любых значений переменных параметров объекта, изменяющихся в заданных интервалах.

Структурная схема разрабатываемой системы показана на рис.1, где приняты следующие обозначения: $K_{yy}(p)$ – передаточная функция управляющего устройства; $K_{ym}(p)$ – передаточная функция усилителя мощности; $K_{oy}(p)$ – передаточная функция объекта управления; $K_{ym}^1(p)$ – передаточная функция модели усилителя мощности; $K_{oy}^1(p)$ – передаточная функция модели объекта управления; $K_{ky}(p)$ – передаточная

функция компенсирующего звена; $G(p)$ – задающее воздействие; $F(p)$ – возмущающее воздействие, приложенное к объекту управления со стороны внешней среды.

Полагаем, что заданная часть системы (усилитель мощности и объект управления) описываются следующими передаточными функциями: $Y(p)$

$$K_{ym}(p) = K_{ym}^1(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, \quad K_{oy}(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1)p}, \quad K_{oy}^1(p) = \frac{K_{2max}}{(T_{2max} p + 1)p}.$$

Принимаем следующие условия: параметры передаточной функции усилителя мощности заданы и не меняются в процессе работы системы. Параметры объекта управления в процессе работы системы могут принимать значения в заданных интервалах: $K_{2min} \leq K_2 \leq K_{2max} = 10K_{2min}$; $T_{2min} \leq T_2 \leq T_{2max} = 10T_{2min}$.

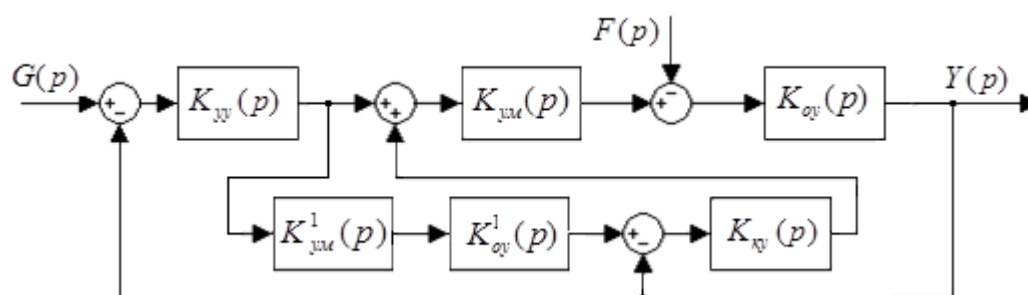


Рис. 1. Структурная схема комбинированной системы управления

Как показано в [9] для системы, заданная часть которой состоит из усилителя (звено первого порядка) с не изменяющимися параметрами и объекта управления (звено второго порядка), параметры которого могут изменяться в пределах $(1 \div 10)$, управляющее устройство может быть выполнено по схеме, представленной на рис.2.

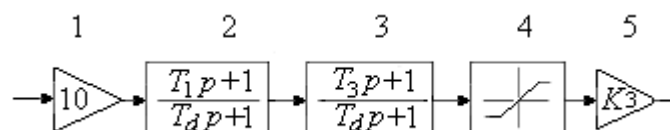


Рис. 2. Структурная схема аналогового управляющего устройства: 1, 5 – усилители; 2, 3 – линейные дифференцирующие звенья; 4 – нелинейность типа «насыщение»

В структурной схеме управляющего устройства (рис. 2) принимаем, что постоянная времени T_1 равна постоянной времени усилителя мощности в заданной части системы. Полагаем, что этот параметр в процессе работы системы не меняется. Постоянная времени T_3 и коэффициент K_3 определяются по заданным параметрам объекта управления (см. далее). Постоянные времени T_d введены для обеспечения физической реализуемости управляющего устройства. Их величина должна быть на порядок меньше наименьшей постоянной времени в заданной части системы, при этом наличие в звене этих постоянных времени практически не сказывается на динамических свойствах системы. В нелинейном звене 4 (реализующее нелинейность типа «насыщение») линейная часть имеет коэффициент 1, а насыщение наступает при входной величине, равной ± 1 .

Рассмотрим замкнутый контур (рис. 1), образованный главной обратной связью, включающий устройство управления и заданную часть системы. Структурная схема этого контура с аналоговым регулятором приведена на рис. 3.

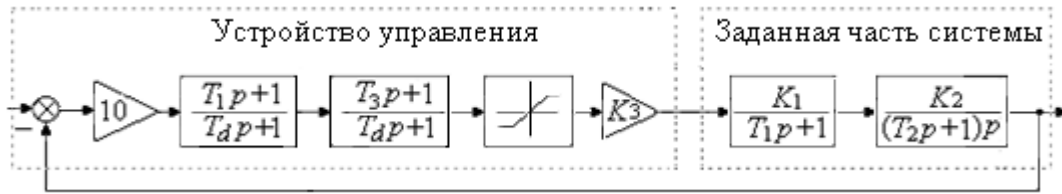


Рис. 3. Структурная схема замкнутого контура с аналоговым регулятором

Передаточная функция разомкнутого контура (без учета нелинейного звена) равна:

$$K_{\text{разл}}(p) = \frac{10(T_1 p + 1)(T_3 p + 1)K_3 K_1 K_2}{(T_d p + 1)^2 (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)p} = \frac{(T_3 p + 1)K_c}{(T_d p + 1)^2 (T_2 p + 1)p}, \quad (1)$$

где $K_c = 10K_1 K_2 K_3$.

Данная система является существенно нелинейной с нелинейностью типа «насыщение». Устойчивые автоколебания в такой системе возникают, если линейная часть (с учетом коэффициента в линейной части характеристики нелинейного звена) неустойчива. Условие устойчивости линейной части системы (а, значит, и условие отсутствия автоколебаний в нелинейной системе) определим, используя алгебраический критерий устойчивости линейных систем (критерий Гурвица). Для этого определим передаточную функцию замкнутого контура (без учёта насыщения), а затем характеристическое уравнение замкнутого контура.

Передаточная функция замкнутого контура равна:

$$K_{\text{замл}}(p) = \frac{K_{\text{разл}}(p)}{1 + K_{\text{разл}}(p)} = \frac{(T_3 p + 1)K_c}{(T_d p + 1)^2 (T_2 p + 1)p + (T_3 p + 1)K_c}.$$

Характеристическое уравнение замкнутого контура имеет вид:

$$(T_d p + 1)^2 (T_2 p + 1)p + (T_3 p + 1)K_c = 0.$$

Сделав соответствующие преобразования, приведём характеристическое уравнение замкнутой системы к виду:

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0,$$

где $a_0 = T_d^2 T_2$; $a_1 = 2T_d T_2 + T_d^2$; $a_2 = T_2 + 2T_d$; $a_3 = 1 + T_3 K_c$; $a_4 = K_c$.

В соответствии с критерием Гурвица условие устойчивости определяется следующими неравенствами:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0. \quad (2)$$

Подставив значения коэффициентов характеристического уравнения в неравенства (2), а также выполнив ряд преобразований и упрощений, находим условие устойчивости для коэффициента усиления K_c :

$$K_c < \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} + \frac{4}{T_3} \approx \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} = K_{\text{скр}}. \quad (3)$$

В управляющем устройстве неизвестными параметрами являются постоянная времени T_3 и коэффициент усиления K_3 . Величины этих параметров определяются из условия, что регулятор должен обеспечить заданные динамические свойства системы при изменении параметров объекта в процессе нормальной работы системы в заданных интервалах: $K_{2\min} \leq K_2 \leq K_{2\max}$, $T_{2\min} \leq T_2 \leq T_{2\max}$.

В качестве заданных динамических свойств принимаем минимальное перерегулирование в переходной характеристике ($\sigma_{\max} \leq 5\%$), и время регулирования $t_p \leq T_{2\max}$. Время регулирования определим, как интервал времени от начала подачи на вход системы единичного ступенчатого сигнала до момента, после которого ошибка управления не превышает 5%.

Величина постоянной времени T_3 определяется по заданной величине $T_{2\min}$ с использованием графиков, приведенных на рис.4 [10]. Графики на рис.4 построены при условии, что $K_c = 100$. В рассматриваемом случае максимальное перерегулирование не превышает 5%, а время регулирования $t_p \leq T_{2\max}$. Экспериментально установлено, что уменьшение коэффициента усиления в 10 раз и увеличение постоянной времени объекта в 10 раз практически не влияет на показатели качества системы.

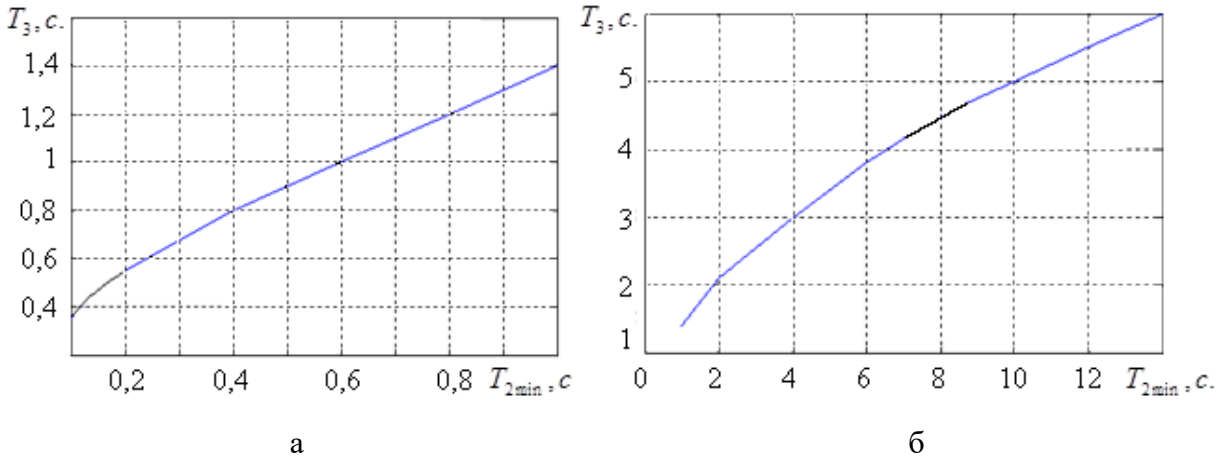


Рис. 4. Зависимость T_3 от минимального значения постоянной времени объекта управления $T_{2\min}$: а – $0,1 \leq T_{2\min} \leq 1$; б – $1 \leq T_{2\min} \leq 14$

Коэффициент усиления регулятора K_3 определяем из (1), принимая условие, при котором построены графики на рис.4: $K_c = 10K_3K_1K_{2\max} = 100$. Отсюда следует:

$$K_3 = \frac{10}{K_1 K_{2\max}}. \quad (4)$$

После определения коэффициента K_3 необходимо проверить выполнение условия устойчивости (3): $K_{кр} > 10K_3K_1K_{2\max} = 100$.

Экспериментальным путем определено, что передаточные функции модели заданной части системы должны быть следующими:

$$K_{ym}^1(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}; \quad K_{oy}^1(p) = \frac{K_{2\max}}{(T_{2\max} p + 1)P}.$$

Для определения передаточной функции компенсирующего устройства рассмотрим замкнутый контур, включающий компенсирующее устройство и заданную часть системы (рис.1). Передаточная функция этого контура в разомкнутом состоянии равна $K_{раз2}(p) = K_{ky}(p)K_{ym}(p)K_{oy}(p) = K_{ky}(p) \frac{K_1 K_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)p}$.

Принимаем передаточную функцию компенсирующего устройства следующего вида:

$$K_{ky}(p) = \frac{K_{ky}(T_1 p + 1)(T_{2\max} p + 1)}{(T_d p + 1)(T_d p + 1)}. \quad (5)$$

Постоянные времени T_d в знаменателе (5) необходимы для обеспечения физической реализуемости звена. Передаточная функция разомкнутого контура, в который входит компенсирующее устройство, при этом принимает вид:

$$K_{раз2}(p) = K_{ky}(p)K_{ym}(p)K_{oy}(p) = \frac{K_{ky}(T_1 p + 1)(T_{2\max} p + 1)K_1 K_2}{(T_d p + 1)^2 (T_1 p + 1)(T_2 p + 1)p} = \frac{K_{ky} K_1 K_2 (T_{2\max} p + 1)}{(T_d p + 1)^2 (T_2 p + 1)p}.$$

Характеристическое уравнение этого контура в замкнутом состоянии равно:

$$(T_d p + 1)^2 (T_2 p + 1)p + K_{ky} K_1 K_2 (T_{2\max} p + 1) = 0.$$

После соответствующих преобразований характеристическое уравнение замкнутого контура получает вид: $b_0 p^4 + b_1 p^3 + b_2 p^2 + b_3 p + b_4 = 0$, где $b_0 = T_d^2 T_2$; $b_1 = 2T_d T_2 + T_d^2$; $b_2 = T_2 + 2T_d$; $b_3 = 1 + K_{ky} K_1 K_2 T_{2\max}$; $b_4 = K_{ky} K_1 K_2$.

Используя условия устойчивости для системы четвертого порядка (2), проделав ряд вычислений и упрощений, получаем оценку критического значения коэффициента усиления компенсирующего устройства:

$$K_{ky} < \frac{0,2}{T_d K_1 K_{2\max}} = K_{kykp} \quad (6)$$

Пример. В качестве объекта управления рассмотрим морское судно водоизмещением 62000 т. Передаточные функции линейной части исполнительного устройства (рулевая машина) и объекта управления имеют вид [6]:

$$K_{ym}(P) = \frac{1}{3P + 1}; \quad K_{oy}(P) = \frac{K_0}{(T_0 P + 1)P}.$$

Как показано в [6], судно в системе управления является нестационарным объектом. Нестационарные параметры – коэффициент усиления и постоянная времени объекта, значения которых изменяются в диапазоне $14 \leq T_0 \leq 140(\text{с.})$, $1,2 \times 10^{-2} \leq K_0 \leq 12 \times 10^{-2}$. Параметры зависят от скорости судна, степени его загрузки, а также от угла поворота пера руля.

Определим параметры управляющих элементов системы управления.

Управляющее устройство. По графику на рис.4 для $T_{2\min} = 14$ определяем – $T_3 = 6$.

Критическое значение общего коэффициента усиления (3) равно:

$$K_{\text{кр}} = \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} = \frac{2 \times 14}{0,01 \times 6} = 467.$$

Условие устойчивости выполнено.

Коэффициент усиления K_3 в управляющем устройстве равен (4):

$$K_3 = \frac{10}{1 \times 0,12} = 83.$$

Передаточные функции модели заданной части системы:

$$K_{\text{ум}}^1(p) = \frac{1}{3p+1}; \quad K_{\text{oy}}^1(p) = \frac{0,12}{(140p+1)P}.$$

Схема модели в системе Simulink приведена на рис. 5.

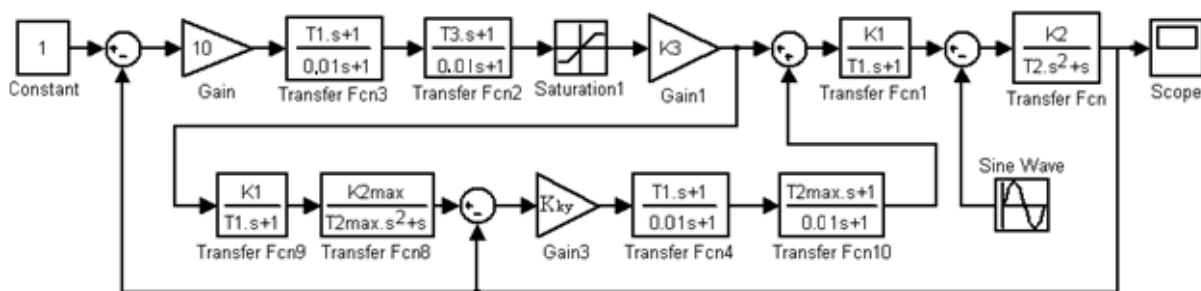


Рис.5. Схема модели системы в пакете Simulink

Компенсирующее устройство. Коэффициент усиления компенсирующего устройства принимаем $K_{ky} = 100$.

Определим критическое значение коэффициента усиления компенсирующего устройства (6):

$$K_{ky\text{кр}} = \frac{0,2}{T_d K_1 K_{2\max}} = \frac{0,2}{0,01 \times 1 \times 0,12} = 167.$$

Очевидно, что условие устойчивости выполнено.

При моделировании рассмотрены два режима работы системы:

– определение переходных характеристик при различных комбинациях предельных значений параметров объекта управления;

– работа комбинированной системы управления при наличии возмущающего воздействия на объект управления в виде синусоидальных колебаний.

Результаты моделирования приведены на рис. 6 и рис. 7. На графиках рис. 6 видно, что изменение параметров объекта в принятых диапазонах их значений практически не влияет на вид переходной характеристики. Заданные условия по показателям качества выполнены: перерегулирование меньше 5% (практически отсутствует), время переходного процесса не превышает $T_{2\max}$.

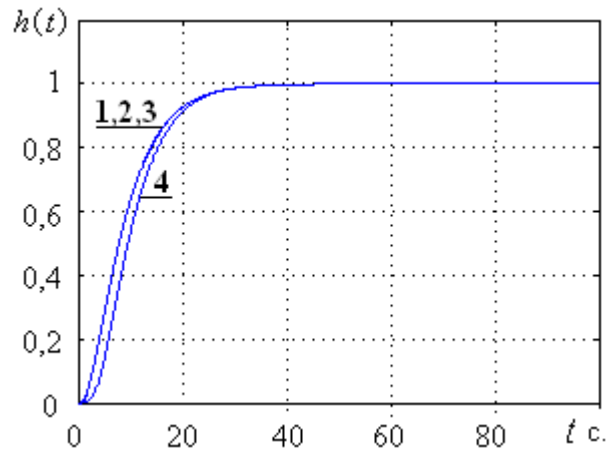


Рис. 6. Переходные характеристики при различных значениях параметров объекта: 1 – $K_2 = 0,12$; $T_2 = 140$ с.; 2 – $K_2 = 0,12$; $T_2 = 14$ с.; 3 – $K_2 = 0,012$; $T_2 = 14$ с.; 4 – $K_2 = 0,012$; $T_2 = 140$ с.

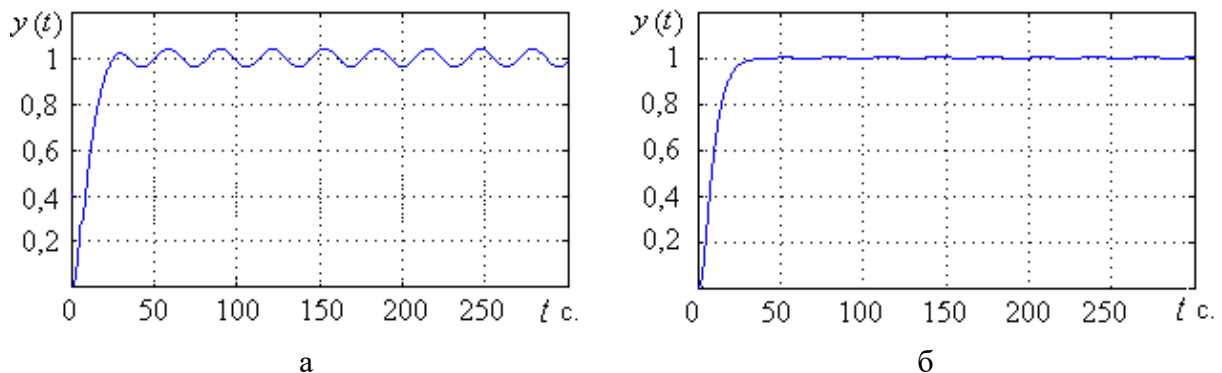


Рис.7. Результат моделирования: а – компенсирующее устройство отключено; б – компенсирующее устройство включено

На рис. 7 приведены результаты моделирования системы при условии, что к объекту приложено синусоидальное возмущающее воздействие. Рассмотрено два случая: а – компенсирующее устройство отключено, б – компенсирующее устройство включено. Приведенные графики подтверждают высокую эффективность рассмотренного метода компенсации возмущающих воздействий, приложенных к объекту управления со стороны внешней среды.

Выводы

Разработано управляющее устройство для нестационарного объекта с использованием комбинированного принципа построения систем автоматического управления: управление по ошибке и управление по возмущающему воздействию. Для

измерения возмущающего воздействия использована модель заданной части системы, включающая усилитель мощности с не изменяющимися параметрами и объект управления, параметры которого могут изменяться при работе системы в пределах $(1 \div 10)$. Разработан метод расчета управляющего устройства для нестационарного объекта, обеспечивающий заданные показатели качества управления при любых возможных значениях параметров объекта. В качестве показателей принято максимальное перерегулирование в переходной характеристике и время переходного процесса.

Для измерения возмущающих воздействий, приложенных к объекту, использована модель заданной части системы. Разработана структурная схема компенсирующего устройства и метод расчета его параметров.

Проведены экспериментальные исследования разработанной системы управления путем моделирования в системе MATLAB-Simulink. Результаты моделирования подтвердили корректность разработанного метода расчета элементов системы управления.

Список литературы

1. Ядыкин, И.Б. Оптимальное адаптивное управление на основе беспойсковой самонастраивающейся системы с обучаемой эталонной моделью / И.Б. Ядыкин // Автоматика и телемеханика. — 1979. — № 2. — С. 65- 79.
2. Уткин, В.А. Задача слежения в линейных системах с параметрическими неопределенностями при неустойчивой нулевой динамике / В.А. Уткин, А.В. Уткин // Автоматика и телемеханика. — 2014. — № 9. — С. 45- 64.
3. Рутковский, В.Ю. Стабилизация упругих колебаний конструкции крупногабаритных спутников с переменными параметрами методами адаптации / В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов, В.М. Глумов // Автоматика и телемеханика. — 2011. — № 12. — С. 91 -103.
4. Земляков, С.Д. Алгоритм функционирования адаптивной системы с эталонной моделью, гарантирующий заданную динамическую точность управления нестационарным динамическим объектом в условиях неопределенности / С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 10. — С. 35- 44.
5. Глумов, В.М. Адаптивное управление ориентацией деформируемых космических аппаратов с изменяющимися параметрами / В.М. Глумов, В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 4. — С. 90-102.
6. Кринецкий, И.И. Исследование автоматического управления курсом судна с учетом нелинейных характеристик системы / И.И. Кринецкий, Е.Д. Пичугин // Судовождение и связь. Труды ЦНИИ морского флота. — Л.: Транспорт. — 1967. — №83. — С. 13-16.
7. Бобриков, С.А. Компенсация возмущений с использованием модели системы автоматического управления для измерения возмущений / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин // Электротехнические и компьютерные системы. — К.: Техніка. — 2011. — № 04 (80). — С. 15-18.
8. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование комбинированной системы управления с измерением возмущения по модели объекта / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, А.Г. Кисель // Информатика и математические методы в моделировании. — 2018. — Т. 8, №1. — С. 48-55.
9. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование регулятора для объекта с изменяющимися параметрами / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, С.И. Кысса // Информатика и математические методы в моделировании. — 2017. — Т. 7, №1-2. — С. 54- 61.
10. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование цифрового управляющего устройства для нестационарного объекта / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, Н.Н. Дикий // Информатика и математические методы в моделировании. — 2017. — Т. 7, №3. — С. 220- 227.
11. Батоврин, А.А. Цифровые следящие системы судовой автоматики / А.А. Батоврин, П.Г. Дашевский, В.Д. Лебедев и др. — Л.: Судостроение, 1972. — 445 с.

МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМ ОБ'ЄКТОМ

С.О. Бобріков

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

Проведено синтез системи управління з використанням двох принципів управління: по відхиленню і по впливі, що обурює. Вимірювання впливу, що обурює, здійснюється побічно по моделі, в яку входить підсилювач потужності - ланка першого порядку і об'єкт управління - ланка другого порядку зі змінними параметрами. Розроблено пристрій, що управляє, забезпечує сталість показників змінюються якості системи при будь-яких можливих значеннях параметрів об'єкта. Як параметрів в об'єкті прийняті постійна часу і коефіцієнт посилення. Динамічні характеристики процесу управління оцінюються максимальним перерегулюванням в перехідній характеристиці і часом перехідного процесу. Регулювання по впливі, що обурює, здійснюється шляхом порівняння сигналів на виході об'єкта управління і на виході моделі. Різниця цих сигналів подається на вхід підсилювача потужності спільно з сигналом помилки від керуючого пристрою. Розроблено структурну схему системи управління, пристрій управління, що забезпечує стабільність показників якості, і компенсуючий пристрій, що забезпечує компенсацію збурень, прикладених до об'єкта управління. Розроблено метод розрахунку параметрів керуючого пристрою і компенсуючого пристрою. Розглянуто приклад розрахунку системи пропонуваним методом. Як нестационарного об'єкта управління прийнято морське судно, допитливим впливи з боку хвиль. Проведено моделювання розглянутої системи управління, яке підтвердило правильність розробленого методу розрахунку.

Ключові слова: регулятор, система управління, управління по відхиленню, управління по впливі, що обурює, передавальні функції, моделювання, перехідна характеристика, показники якості управління, об'єкт управління, виконавчий механізм, підсилювач, зворотний зв'язок

MODEL-ORIENTED SYNTHESIS OF COMBINED CONTROL SYSTEM OF A NON-STATIONARY OBJECT

S.A. Bobrikov

Odesa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

The control system is synthesized using two control principles: deviation and perturbation. Measurement of the disturbing effect is indirectly done by the model, which includes the power amplifier - a first-order link and the control object - a second-order link with varying parameters. A control device has been developed that ensures the consistency of the system quality indicators for any possible values of the object parameters. As the changing parameters in the object, a time constant and a gain factor are adopted. The dynamic properties of the control process are estimated by the maximum overshoot in the transient response and the transient time. Regulation on the disturbing effect is carried out by comparing the signals at the output of the control object and at the output of the model. The difference of these signals is fed to the input of the power amplifier together with the error signal from the control device. A structural diagram of the control system, a control device providing the stability of quality indicators, and a compensating device providing compensation of the disturbances applied to the control object are developed. A method for calculating the parameters of a control device and a compensating device has been developed. An example of calculation of the system by the proposed method is considered. As a non-stationary control object, a sea vessel is tested, which tests perturbing influences from the waves. A simulation of the control system examined, which confirmed the correctness of the developed calculation method, was carried out.

Keywords: regulator, control system, deviation control, perturbation control, transfer functions, simulation, transient response, control quality indicators, control object, actuator, amplifier, feedback

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

Том 8, номер 2, 2018. Одеса – 86 с., іл.

ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ

Том 8, номер 2, 2018. Одесса – 86 с., ил.

INFORMATICS AND MATHEMATICAL METHODS IN SIMULATION

Volume 8, No. 2, 2018. Odesa – 86 p.

Засновник: Одеський національний політехнічний університет

Зареєстровано Міністерством юстиції України 04.04.2011р.

Свідоцтво: серія КВ № 17610 - 6460Р

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського національного політехнічного університету (протокол №6 від 27.02.2018)

Адреса редакції: Одеський національний політехнічний університет,
проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044 Україна

Web: <http://www.immm.opu.ua>

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали

© Одеський національний політехнічний університет, 2018