

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет**

Білинський Йосип Йосипович

**МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ
В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

**Вінниця
ВНТУ
2010**

УДК 004.93 : 681.78

ББК 32.973.2

Б 61

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 26 листопада 2009 року).

Рецензенти:

І. Л. Муравський, доктор технічних наук, ст. науковий співробітник

А. М. Петух, доктор технічних наук, професор

Білінський, Й. Й.

Б 61 Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах : монографія / Й. Й. Білінський – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 272 с.

ISBN 978-966-641-366-9

В монографії розглядаються питання субпіксельної локалізації простих елементів зображення об'єкта на основі низькочастотної фільтрації, що дало змогу створити новий клас комп'ютеризованих оптико-електронних систем геометричних параметрів об'єктів. Ці системи реалізують принципово нові методи виділення і кількісної оцінки інформативних ознак вказаних зображень. Розроблені методи виділення контуру, автоматичного визначення порогу бінаризації, а також метод субпіксельного визначення координати максимуму інтенсивності світлової плями. Проведено комп'ютерне моделювання, а також експериментальні дослідження запропонованих методів.

УДК 004.93 : 681.78

ББК 32.973.2

ISBN 978-966-641-366-9

© Й. Білінський, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Задачі, що покладені на комп'ютеризовані оптико-електронні системи.....	12
1.2. Оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку..	15
1.3. Огляд моделей простих елементів об'єкта на зображенні	19
1.4. Класифікація методів крайового детектування зображення об'єкта.....	24
1.5. Аналіз детекторів простих елементів зображень	40
1.6. Аналіз методів субпіксельної локалізації краю зображення об'єкта.....	44
1.7. Огляд методів субпіксельної локалізації максимуму інтенсивності світлової плями.....	48
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СУБПІКСЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДИСКРЕТНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	52
2.1. Узагальнена математична модель перепаду інтенсивності на основі властивостей оптичної системи та фотоприймача	54
2.2. Узагальнена математична модель перепаду інтенсивності при дискретному його поданні.....	60
2.3. Математична модель квазіасиметричного перепаду інтенсивності	65
2.4. Субпіксельний метод локалізації краю зображення об'єкта в міжпіксельному просторі.....	70
2.4.1. Аналіз процесу знаходження крайової точки на основі низькочастотної фільтрації.....	71
2.4.2. Математична модель краю зображення об'єкта в міжпіксельному просторі на основі поліноміальної інтерполяції ..	75
2.4.3. Математична модель крайової точки зображення об'єкта на основі кусково-лінійно інтерполяції	81
2.5. Математична модель локалізації максимуму інтенсивності світлової плями	84
2.5.1. Математична модель локалізації максимуму світлової плями на основі нахилу функції розподілу інтенсивності	86
2.5.2. Математична модель локалізації максимуму інтенсивності світлової плями на основі низькочастотної фільтрації.....	88

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА ВИМІРЮВАННЯ	91
3.1. Метод визначення субпіксельної координати краю зображення об'єкта вимірювання	91
3.1.1. Вибір фільтрів приглушення шуму в задачах крайового детектування	93
3.1.2. Розробка детектора крайового детектування на основі низькочастотної фільтрації.....	99
3.2. Відновлення неперервного контуру на основі його дискретного подання.....	102
3.3. Метод визначення субпіксельної координати максимуму інтенсивності світлової плями.....	107
3.4. Метод виділення контуру об'єкта вимірювання.....	109
3.4.1. Узагальнена схема методу виділення контуру.....	111
3.4.2. Градієнтний детектор виділення контуру та простих елементів зображення	116
3.4.3. Ізотропний детектор виділення контуру та простих елементів зображення	118
3.5. Метод порогової обробки на основі низькочастотної фільтрації.....	122
3.5.1. Автоматичне визначення порога бінаризації на основі трипікової гистограми	124
3.5.2. Градієнтний метод автоматичного визначення порога бінаризації на основі однопікової гистограми	126
3.5.3. Метод порогового виділення контуру	129
3.6. Апаратна реалізація методу виділення контуру на основі низькочастотної фільтрації	132
РОЗДІЛ 4 ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБОК МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОБРАЖЕННЯ ТА ЯКОСТІ ВИДІЛЕННЯ КОНТУРУ	139
4.1. Аналіз методичних похибок моделі примежової кривої.....	139
4.2. Оцінювання методичних похибок визначення положення максимуму інтенсивності світлової плями	141
4.3. Аналіз похибок моделювання методу крайового детектування.....	144

4.4. Оцінювання якості роботи комбінованого фільтра приглушення шуму.....	150
4.5. Аналіз похибок моделювання положення максимуму інтенсивності зображення світлової плями.....	153
4.6. Порівняльний аналіз детекторів виділення контуру на основі низькочастотної фільтрації.....	155
4.7. Оцінювання похибок субпіксельного вимірювального перетворення	160
4.7.1. Оцінювання максимальної похибки субпіксельної дискретизації.....	161
4.7.2. Оцінювання субпіксельної похибки квантування.....	164
4.7.3. Оцінювання похибки, викликані шумами КОЕС	165
4.7.4. Оцінювання методичних похибок дискретизації та відновлення зображення.....	166
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПРИКЛАДНИХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ.....	168
5.1. Обґрунтування оптико-електронного методу вимірювання поверхневого натягу рідини в електричному полі.....	170
5.1.1. Удосконалена математична модель поверхневого натягу рідини на основі лежачої краплі в електричному полі.....	173
5.1.2. Обробка зображення краплі та визначення геометричних параметрів меніска.....	179
5.1.3. Комп'ютеризована оптико-електронна система вимірювання поверхневого натягу рідини.....	181
5.1.4. Аналіз статичних метрологічних характеристик оптико-електронного вимірювача поверхневого натягу.....	186
5.2. Комп'ютеризована оптико-електронна система параметрів стопи людини.....	188
5.2.1. Дослідження відбивної здатності біотканини стопи людини.....	189
5.2.2. Математична модель оптико-електронного сенсора параметрів стопи людини.....	192
5.2.3. Структурні особливості оптико-електронної комп'ютеризованої системи параметрів стопи людини.....	195

5.2.4. Аналіз статичних метрологічних характеристик КОЕС параметрів стопи людини	200
5.3. Комп'ютеризована оптико-електронна система постави тіла людини	202
5.3.1. Математична модель знаходження відстані до світлової точки, відбитої від поверхні об'єкта.....	204
5.3.2. Математична модель знаходження координати глибини об'єкта дослідження.....	208
5.3.3. Аналіз статичних метрологічних похибок комп'ютеризованої оптико-електронної системи постави тіла.....	213
РОЗДІЛ 6. АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ.....	215
6.1. Аналіз похибок методу крайового детектування на основі застосування плоскопаралельних мір довжини.....	215
6.2. Експериментальні дослідження методу крайового детектування на основі використання рефрактометричної межі світлотіні	217
6.3. Практична реалізація КОЕС вимірювання поверхневого натягу	221
6.4. Експериментальні дослідження КОЕС вимірювання поверхневого натягу	225
6.5. Практична реалізація КОЕС параметрів стопи людини («PodPro»)	228
6.5.1. Рекомендації користувачу програмного забезпечення КОЕС параметрів стопи.....	230
6.5.2. Експериментальні дослідження КОЕС параметрів стопи людини.....	231
6.6. Практична реалізація КОЕС постави тіла («VertPro») та рекомендації користувачу програмного забезпечення.....	234
6.7. Експериментальні дослідження КОЕС постави тіла.....	236
Висновки	240
Література	243

ВСТУП

Потреба в комп'ютеризованих оптико-електронних системах (КОЕС) стрімко росте в зв'язку з розвитком автоматизованих систем вимірювання і керування, впровадженням нових технологічних процесів, переходом до гнучких автоматизованих виробництв. Особливо великою є роль КОЕС при вимірюванні геометричних параметрів об'єктів, які знайшли широке застосування у медико-біологічних дослідженнях, де вони замінюють не тільки "органи чуттів", але виконують високоточний експрес-аналіз, у гнучких технологічних виробництвах, де вони значною мірою визначають продуктивність праці, рівень браку і точність виготовлення виробів, у робототехнічних системах, де вони забезпечують вимірювальною інформацією маніпуляційних роботів. На сьогодні роль КОЕС зростає в таких областях, як гірничодобувна, будівництво, сільське та лісове господарство, військова та космічна галузь.

Оптико-електронні сенсори (ОЕС) та КОЕС на їх основі мають високу надійність, довговічність, стабільність, малі габарити, масу й енергоспоживання, сумісні з мікроелектронними пристроями обробки інформації при низькій трудомісткості виготовлення і невеликій вартості. Як вхідний потік інформації (або його частини) КОЕС широко використовують дискретну вимірювальну інформацію, отриману за допомогою приладового спостереження (сканування, фотографування, локації й т. п.) відповідних об'єктів, територій, сцен або фізичних полів [3, 4, 11–14, 19, 23, 43, 44, 128, 168, 201, 218, 220, 278].

Дослідження та створення КОЕС в цілому висвітлюється у великій кількості робіт вітчизняних та зарубіжних вчених. Значний внесок в розробку теорії таких засобів внесли вчені В. І. Кононов, Г. Катис, Л. Ф. Порфірьєв, Д. Марр, В. П. Боюн, М. І. Шлезінгер, А. Розенфельд, Г. Ендрюс, Е. Претт, К. А. Яновський, А. Н. Живичін, Р. Дуда, В. С. Соколов, Ю. Г. Якушенков, Р. А. Воробель, Т. Хуанг, Т. Павлідіс, Л. І. Муравський, Я. А. Фурман, Л. П. Ярославський, В. П. Кожем'яко, Д. Даджіон, Ж. Понс, Р. Вудс, І. С. Грузман, Є. А. Бутаков,

М. Бертеро, В.А. Сойфер, Р. Мерсеро, Ю. І. Журавльов, І. Б. Гуревич, Р. Гонсалес, В. Грицик, Д. Форсайт, Д. Лебедев та їхні учні.

Але, не дивлячись на значні успіхи в створенні КОЕС, існує низка проблем, які залишаються на сьогодні не до кінця вирішеними та вимагають подальших досліджень. До них відноситься: велике послаблення оптичного випромінювання; розфокусування зображення об'єкта дослідження; велика кількість завад, які створюються природними та штучними випромінювачами (випромінювання небесних тіл, ландшафту, деталей самого пристрою тощо); наявність шумів фотоприймальних пристроїв; втрата частини інформації внаслідок дискретизації та квантування. Все це означає, що у реальному вимірювальному каналі КОЕС формується зображення об'єкта або фізичного поля, краї якого розмиті, що неминуче веде до неточного визначення його координат, внаслідок чого зростають систематичні похибки вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Крім цього сучасні відеосенсори, що використовуються КОЕС, навіть великої розмірності, наприклад, 1000×1000 елементів мають відносну роздільну здатність усього лиш 10^{-3} . Це досить низька роздільна здатність у порівнянні з іншими вимірюваннями, такими, як вимірювання довжини, електричної напруги, частоти, які можуть бути виконані з відносною роздільною здатністю вищою ніж 10^{-6} [180]. Тому для підвищення точності КОЕС поряд з удосконаленням відеосенсорів, підвищенням їх роздільної здатності, розвивається напрямок попередньої обробки, складовою частиною якого є субпіксельна обробка дискретної вимірювальної інформації. Цей напрямок є набагато ефективнішим, оскільки забезпечує значне підвищення точності КОЕС і не вимагає великих матеріальних затрат.

У довгострокових програмах наукового й технологічного розвитку передових країн світу питання формування й обробки зображень стоять на одному з перших місць, але жоден із відомих оптико-електронних детекторів краю на сьогодні не є досконалим, оскільки кожен із них може не тільки вносити перекручування у форму й положення країв, але й втрачати справжні та виявляти помилкові краї. Крім цього у переважній більшості робіт, в яких досліджуються вимірювання геометричних параметрів об'єктів, не розглядаються питання підвищення точності за рахунок субпіксельної реалізації, тобто з по-

хибкою, меншою за половину ширини піксела [7, 51–54, 75, 84, 100, 101, 131, 139, 150, 180].

Широко розповсюджений підхід, при якому координати країв об'єктів знаходять шляхом згладжування з наступним диференціюванням дискретного зображення, але, внаслідок високої чутливості до шуму, диференціювання є некоректною операцією, оскільки відсутня неперервна залежність від вхідних даних, а згладжування призводить до втрати частини вимірювальної інформації. При цьому необхідно врахувати той факт, що координати країв об'єкта на зображенні можуть попадати як на вузли, так і між вузлами періодичної просторової ґратки матричного фотоприймача, й спроба простого округлення шляхом заміни координат краю на ближні вузли ґратки або використання відомих інтерполяційних методів, які дозволяють знаходити додаткові точки, призведе до зростання похибки вимірювання. Тому відсутність математичних моделей формування примежових кривих зображень об'єктів і методів вимірювань їх субпіксельних координат, які б у достатній мірі враховували вплив передатних властивостей матричного фотоприймача, ускладнює забезпечення необхідної точності вимірювань у цих системах. Крім цього паралельно з розробкою високоєфективних методів та систем виділення і кількісної оцінки інформативних ознак зображень об'єкта, необхідно вирішити низку принципних задач, пов'язаних з просторовою дискретизацією, з оцінкою похибок вимірювання, з аналізом і придушенням шумів системи. Таким чином, проблема підвищення точності обробки дискретної вимірювальної інформації, отриманої КОЕС геометричних параметрів об'єктів і фізичних полів при наявності шумів і завад, залишається актуальною та вимагає розробки якісно нових теоретичних підходів, створення нових оптико-електронних методів, синтезу сучасних структурних схем засобів вимірювання і засобів для їхньої метрологічної атестації та перевірки, впровадження нового класу засобів автоматизованого вимірювання у виробництво.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Задача вимірювання на зображеннях полягає в отриманні відеоданих кількісних значень параметрів, які характеризують зображення в цілому або окремі об'єкти, або деякий розподіл інтенсивності. До таких задач відносяться задачі виявлення об'єктів, визначення координат і оцінка їх геометричних параметрів.

Об'єкти, які нас оточують, можуть бути оцінені різними оптичними параметрами: спектральним або просторовим розподілом інтенсивності, коефіцієнтом відбиття або поглинання і т. д. Відбитий або випромінюваний від об'єктів світловий потік (оптичний сигнал) за допомогою оптичної системи проектується на площину, де відтворюються деталі з деякими змінами масштабу, форми й розподілом освітленості. Тому у будь-якому оптико-електронному вимірювальному каналі КОЕС основна інформація про об'єкт дослідження подається у вигляді зображень – двовимірних проекцій просторових сцен, для обробки та аналізу яких необхідно забезпечити високу візуальну якість і роздільну здатність.

Розрізняють два види параметрів зображення об'єкта, що досліджується: геометричні та фотометричні. Під геометричними параметрами об'єкта на зображенні розуміють його геометричні розміри по горизонталі та вертикалі, довжина, ширина, площа, периметр, центр мас, компактність і т. п., а також координати об'єкта на площині або в просторі [1–4].

На сьогодні широко розвиваються КОЕС, що виконують локалізацію об'єкта та його дослідження, тобто визначення його координати та геометричних параметрів з субпіксельною точністю, оскільки такі методи є найбільш необхідними засобами для програм комп'ютерного зору, частково для on-line просторового вимірювання виробів у процесі виробництва [5–7]. Користь від методів, що підвищують роздільну здатність, може розглядатися з двох аспектів: як засіб одержання вищої точності або як засіб, що одержує таку ж точність за меншу кількість кроків обчислення. Реалізація КОЕС геометричних параметрів об'єкта можлива в результаті розв'язання ряду задач і при створенні комплексу програмно-апаратних засобів, схема яких наведена на рис. 1.1 [8–33].

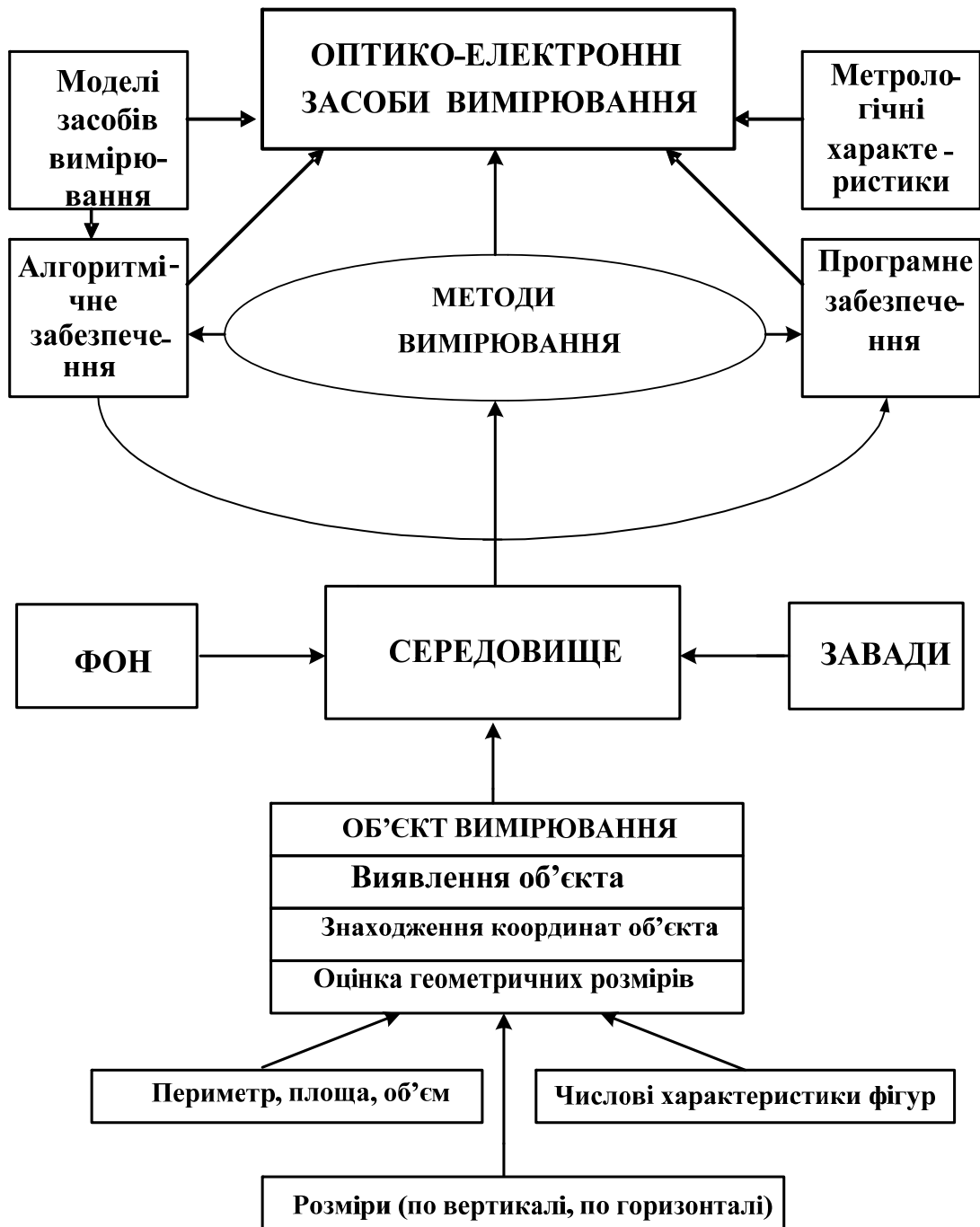


Рис. 1.1. Задачі та апаратно-програмні засоби для реалізації КОЕС геометричних параметрів об'єктів

Існує велика кількість праць, де розглядаються вимірювання геометричних параметрів об'єктів за допомогою КОЕС, елементом реєстрації яких є лінійні та матричні фотоприймачі [8–14, 16–19, 30,

44, 129, 130]. Робота матричних сенсорів, що використовують сучасні КОЕС залежить від різних факторів, таких як зовнішні умови в процесі відеознімання та якість сенсорів, спосіб дискретизації та квантування. Це означає, що основні джерела спотворень на цифровому зображенні – це сам процес його одержання (цифрове подання), а також процес передачі.

Оскільки шум завжди присутній у фізичних вимірюваннях, то незначна похибка у вхідних даних може призвести до великої похибки на результат вимірювання. У зв'язку з цим переважна більшість методів субпіксельного вимірювання нездатні точно локалізувати край об'єкта, оскільки є чутливими до шуму. Тому у переважній більшості робіт не розглядаються питання підвищення точності визначення геометричних параметрів елементів об'єкта за рахунок субпіксельної реалізації, тобто з похибкою, меншою за половину ширини пікселя.

Вирішення проблем субпіксельного вимірювання геометричних параметрів об'єктів, що досліджуються, дозволить створити КОЕС з покращеними метрологічними характеристиками. В основу побудови таких засобів мають бути покладені методи субпіксельної локалізації краю об'єкта, положення максимуму інтенсивності світлової плями, які розглянемо більш детально.

1.1. Задачі, що покладені на комп'ютеризовані оптико-електронні системи

На сьогодні КОЕС застосовуються у всіх сферах життєдіяльності людини та стають основними елементами, що визначають загальну якість вимірювальних оптико-електронних засобів і систем [15–43]. У табл. 1.1 наведені дані про універсальність та найбільш широке застосування принципів роботи для вимірювання фізичних параметрів. На підставі цієї таблиці можна зробити висновок про ефективність оптичних засобів і КОЕС.

Використання декількох каналів прийому і первинної обробки інформації, складних алгоритмів обробки сигналів, що базуються на спеціалізованих логічних і обчислювальних пристроях, дозволяє безупинно розширювати коло використання КОЕС і вирішувати багато складних задач, які ще недавно були недоступні для таких систем.

Таблиця 1.1

Використовувані принципи роботи сенсорів

Принцип дії	Тиск	Зусилля	Положення у просторі	Переміщення	Швидкість (лінійна)	Прискорення	Вібрація	Рельєф	Температура	Фізико-хімічні властивості сер-ш	Оберти	Деформація	Кутова швидкість	Витрати та швидкості газу	Кути	Вологість
Ємнісний	++	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
П'єзоелектричний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Диференційно-трансформаторний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Терморезистивний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тензорезистивний	++	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
Потенціометричний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Струмовихровий	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Термісторний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ефект Холла	+	-	+	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
П'єзорезистивний	++	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
Оптико-електронний	+	+	+	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+	+
Магніторезистивний	-	-	+	+	-	-	+	++	-	-	+	-	-	-	-	-
ПАР	+	+	-	-	-	+	-	++	-	-	+	-	-	-	-	-
П'єзорезонансний	++	+	-	-	-	+	-	++	-	-	+	-	-	-	-	-
Індукційний	-	-	-	-	++	-	-	++	-	-	+	-	+	-	-	-

Примітка. ++ – використовується частіше; ++ – використовується частіше; – – використання недоцільне

На сьогодні розширився ряд КОЕС, в яких використовуються відеосенсори матричного типу, що дозволяють виконувати вимірювання розмірів об'єктів на основі їх зображень шляхом отримання якісних параметрів, що характеризують це зображення, а отже – об'єкт дослідження. Такі системи можуть працювати в двох і більше спектральних діапазонах. Це пов'язано, в першу чергу, зі здешевленням таких пристроїв і удосконаленням засобів обробки зображень. Завдяки використанню більш високих частот і відповідно менших довжин хвиль порівняно з перетворювачами радіочастотного діапазону відеосенсори, мають більшу роздільну здатність, потенційно більшу точність та інформаційну ємність [22, 23].

Оптичний принцип перетворення фізичних величин дає змогу використовувати одночасно подвійну (просторову і часову) модуляцію. При цьому відеосенсор може застосовуватись у режимі сприйняття поля допоміжного джерела опромінювання об'єкта або частини цього поля, що вміщує інформацію про фізичну величину,:

- а) пройшло крізь об'єкт;
- б) відбилося від зовнішньої поверхні об'єкта;
- в) відбилося від внутрішньої поверхні об'єкта;
- г) відбилося від зовнішньої та внутрішньої поверхонь об'єкта;
- д) пройшло крізь об'єкт у прямому і зворотному напрямках завдяки використанню розташованого за об'єктом відбивача яке [24, 25, 29, 30].

Для реєстрації зображення або визначення положення падаючого світла використовують на сьогодні одну з трьох технологій: точкове сканування, рядкове сканування та сканування по площі [11–16, 19, 23, 24].

Використовуючи один одноелементний детектор або піксел (елемент зображення), можна зісканувати зображення послідовно, знімаючи інформацію про об'єкт у дискретних координатах. Більш ефективними технологіями сканування об'єктів є рядкове сканування та сканування по площі. Такі системи працюють із високою точністю і не мають рухомих частин, а процес вимірювання виконується в реальному часі. Всі технології включають використання широкого класу фотодетекторів, до яких відносяться [45–49]:

- позиційно-чутливі фотодетектори (ПЧД від англ. PSD – position sensitive detector);
- матриці й фотолінійки на основі приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ, від англ. CCD charge-copier devised);
- матриці й фотолінійки на основі комплементарних структур метал-оксид-напівпровідник (КМОН від англ. CMOS – complementary metal-oxide semiconductor).

ПЧД є монолітними детекторами без дискретних елементів і забезпечують безперервні дані про положення об'єкта, використовуючи опір поверхні фотодіода. Сигнал на виході ПЧД є функцією центра мас загальної кількості світла на активній ділянці, а вихідні сигнали визначаються миттєвими значеннями оптичних потоків, що не залежать від часу опромінення.

Технологія безпосереднього зчитування даних у сучасних пристроях зображень, у багатьох КОЕС реалізується переважно на основі фотодетекторів типу ПЗЗ і КМОН. Це твердотільні електронні компоненти, що складаються з безлічі маленьких світлочутливих елементів і в залежності від типу пристрою сенсори можуть мати різну конфігурацію, різну геометрію фотоприймальних комірок (пікселів) і різну кількість елементів.

1.2. Оптико-електронні системи, основні тенденції розвитку

КОЕС дозволяють скоротити обсяг оброблюваної інформації при збереженні якості зображення, автоматизувати процес вимірювання, що призводить до підвищення точності та усунення суб'єктивних помилок спостерігачів [22, 45, 46, 50].

До переваг КОЕС у порівнянні з традиційними приладами можна віднести:

- високу чутливість;
- стійкість до електромагнітних завад і радіаційних впливів;
- відсутність електричних кіл, наявність гальванічної розв'язки між чутливим й виконавчими елементами;
- пожежо- та іскробезпеку;

- стійкість до агресивних впливів, термічну стабільність й корозійну стійкість;
- різноманітність геометричних форм і розмірів;
- можливість створення інтегральних оптичних первинних вимірювальних перетворювачів;
- дистанційність вимірювань, можливість сумісної роботи з волоконно-оптичними лініями зв'язку.

До основних тенденцій розвитку КОЕС відносяться:

- подальше вдосконалення параметрів і характеристик окремих елементів і пристроїв (приймачів і джерел випромінювання, оптичних вузлів, електронних елементів);
- підвищення експлуатаційної надійності окремих елементів і пристроїв в цілому;
- мікромініатюризація, зменшення маси, габаритів, енергії, яка споживається окремими ланками інформаційного каналу;
- удосконалення методів попередньої обробки даних.

Дія вимірювального каналу КОЕС основана на прийомі і перетворенні електромагнітного випромінювання в різних діапазонах оптичної області спектра, тобто в ультрафіолетовій, видимій або інфрачервоній частинах.

Одна з можливих узагальнених схем оптико-електронного вимірювального каналу (ВК) оптико-електронної системи наведена на рис. 1.2, основними елементами якої є оптична система та фотоприймач сигналу [9, 15, 29].

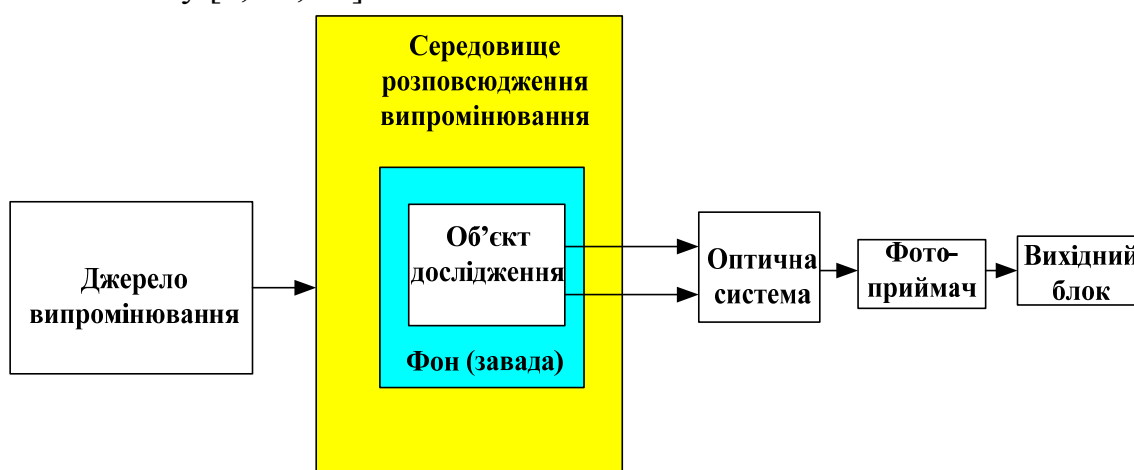


Рис. 1.2. Узагальнена структурна схема ВК оптико-електронної системи

Розробка вимірювального каналу передбачає обізнаність з особливостями об'єкта, умовами і режимами роботи. Важливою умовою успішного створення і ефективного використання таких систем є повнота уявлення про фізико-метрологічні властивості об'єкта.

Різноманітність різних за своєю природою об'єктів і різномасштабність полів фізичних величин зумовили створення і використання різноманітних КОЕС, що дало змогу удосконалити класифікацію за ознаками, наведеними на рис. 1.3 [8–44, 45, 50].

Для розв'язання задач виявлення оптичних сигналів і образів, наприклад, зображення досить складного за формою, спектром й іншими ознаками об'єкта, що знаходиться на складному фоні, у сучасних КОЕС майже повсюдно використовується такий опис об'єктів (сукупність оброблюваних сигналів), що містить лише обмежене число відмінних ознак.

Вибір ознак, які істотніше вирізняють даний клас об'єктів (зображень, сигналів), є найважливішою задачею при розробці КОЕС та удосконаленні існуючих. Тому дуже важливо відібрати таку мінімальну кількість ознак, яка б забезпечувала задані показники якості роботи КОЕС, але не ускладнювала їхню конструкцію і тим самим не знижувала надійність роботи систем і не здорожчувала їхнє виробництво та експлуатацію.

Найбільш часто використовуються такі групи ознак [7, 50, 51]:

- геометричні, виділення й обробка яких залежить насамперед від просторової роздільної здатності вимірювального каналу КОЕС; до цих ознак відносяться розміри і форма зображення; гістограми розподілів кутів, хорд, довжин сторін; площа, центр мас, периметр, компактність, орієнтація головної осі, геометричні моменти; просторово-частотні спектри Фур'є і Мелліна; функції Уолша тощо;

- спектральні – виділення й обробка яких залежить від спектральної роздільної здатності каналу КОЕС; до них відносяться поглинальна, випромінювальна і відбивна здатність, колір, колір/яскравість тощо;

- енергетичні, що характеризуються відношенням сигнал/шум;

- динамічні, що використовують інформацію про зміну координат об'єкта, про швидкість його переміщення тощо.

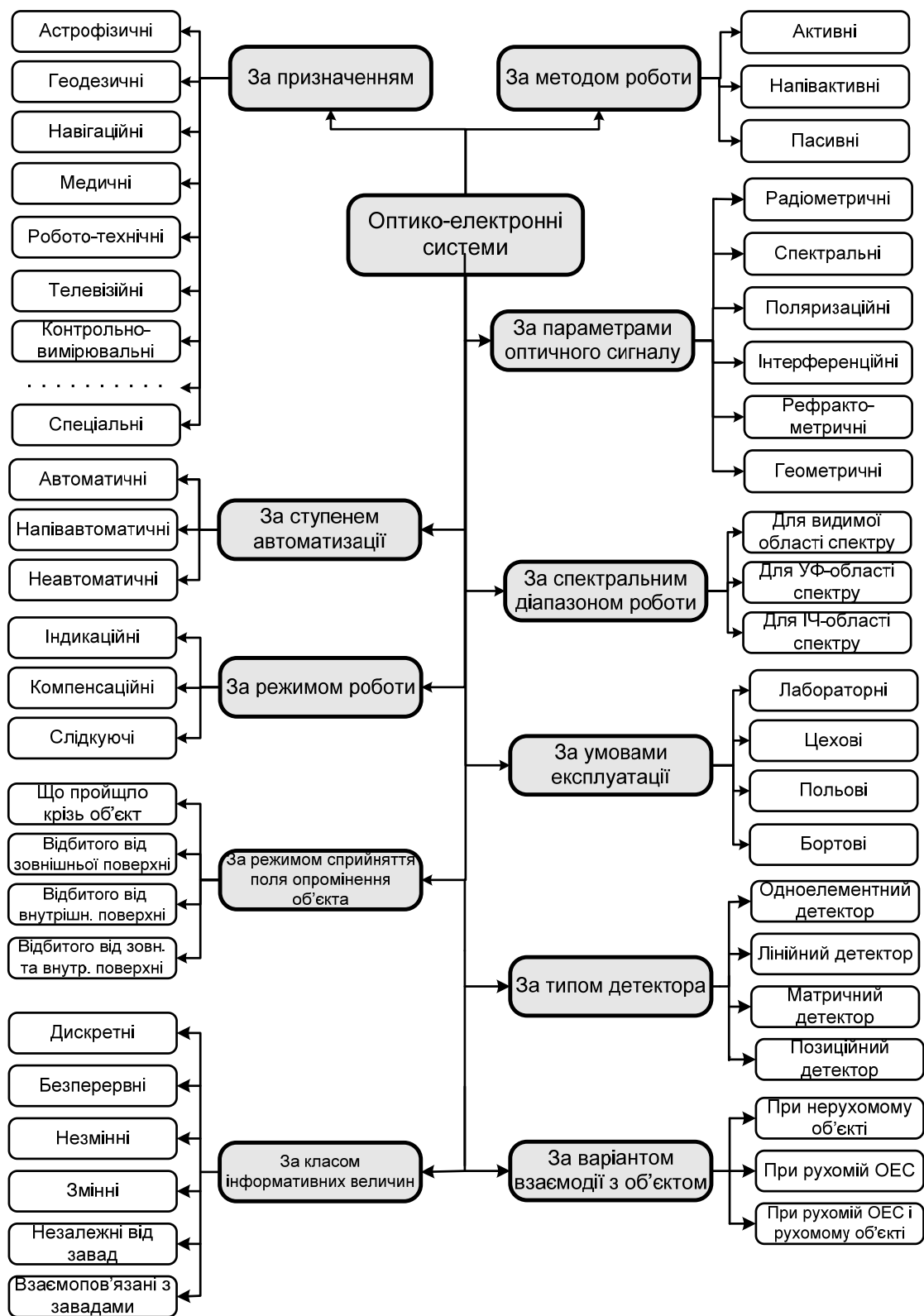


Рис. 1.3. Класифікація КОЕС

КОЕС вимірювання геометричних параметрів об'єктів, які використовують для своїх задач розподіл інтенсивності отриманого зображення об'єкта, як правило, виділяють певним чином ранжовані елементи зображення. До таких елементів відноситься зображення світлової плями, яка може бути самостійним елементом зображення або складовою частиною елементів більш високого рангу. Інформаційним елементом є також світлова пляма, яка також може бути самостійним елементом або частиною більш високого рангу, що вимагає вимірювання її параметрів. Специфічним елементом зображення є лінія, яка може розглядатися або як область, довжина якої значно переважає ширину, або як подвійна межа.

Наступним за рангом і за величиною є перепад інтенсивності, який являє собою елемент більш високого порядку, межа якого розділяє дві сусідні області інтенсивності. Якщо перепад одновимірний, то межа має певну протяжність і форму. В результаті виділення цього перепаду формується контур об'єкта, що має відмінну від фону інтенсивність.

1.3. Огляд моделей простих елементів об'єкта на зображенні

Перепад – це зв'язна множина пікселів, які лежать на примежовій кривій між двома областями рівнів інтенсивності фону та об'єкта, та який спричинений різницею середніх рівнів інтенсивності фону та об'єкта. Такі точки називають примежовими або крайовими точками зображення. Перепади інтенсивності бувають двох типів: скатоподібний перепад, перепад типу сходинка [51–54, 61].

Ідеальний перепад має властивості моделі, наведеної на рисунку 1.4а. Відповідно до цієї моделі, ідеальний контурний перепад – це безліч сполучених пікселів (у даному випадку по вертикалі), кожен з яких розташований поряд із прямокутним перепадом інтенсивності. В одновимірному випадку перепад характеризується висотою, кутом нахилу й координатою центра схилу. Ідеальний детектор перепаду при обробці областей зображення повинен указувати на наявність перепаду в єдиній точці, розташованій у центрі схилу. Перепад існує, якщо його кут нахилу й висота більші деякого заданого порога.

Вибір порога є одним із ключових питань виділення перепадів. При занадто високому рівні порога не будуть виявлені структурні елементи з низьким контрастом. Навпаки, занадто низький рівень порога буде причиною того, що шум буде прийнятий за перепад. Для позначення положення перепадів на зображенні часто формують контурний препарат.

Інший важливий підхід до виявлення перепаду складається в апроксимації фрагмента реального зображення деяким ідеальним одно- або двовимірним перепадом. Якщо апроксимація виявляється досить точною, то вважається, що перепад існує, і йому приписуються параметри ідеального перепаду.

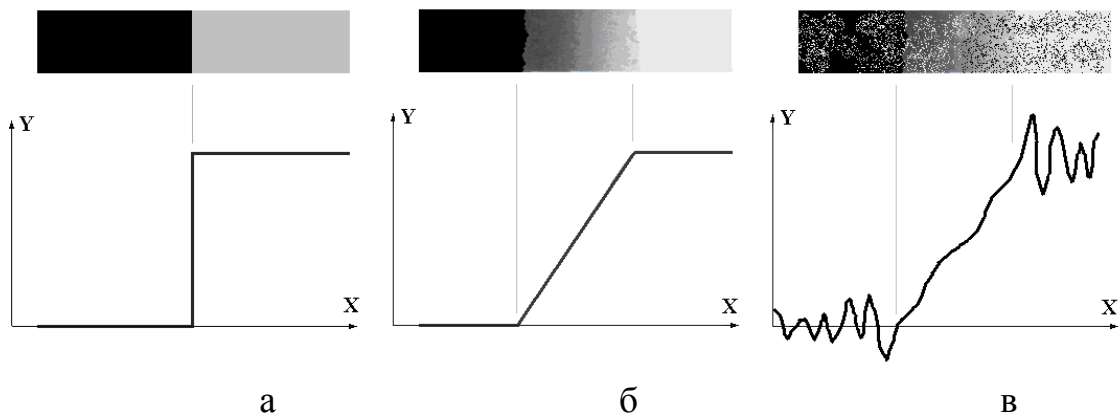


Рис. 1.4. Моделі перепадів інтенсивності:

- а – модель ідеального перепаду інтенсивності та його профіль;
- б – модель похилого перепаду інтенсивності та його профіль;
- в – модель зашумленого похилого перепаду інтенсивності та його профіль

На практиці оптичні обмеження, дискретизація, а також недосконалість інших елементів системи реєстрації зображень призводять до отримання розмитих перепадів інтенсивності. Причому ступінь розфокусування визначається такими чинниками, як якість системи реєстрації, крок дискретизації і умови освітлення, при яких зображення було отримане. В результаті перепади інтенсивності точніше моделюються похилим профілем, подібним, як на рис. 1.4б. Крутизна похилої ділянки обернено пропорційна ступеню розфокусування краю. У такій моделі вже немає тонкої траєкторії (шириною в один піксел). Натомість точкою перепаду інтенсивності тепер є будь-яка точка, що

ЛИТЕРАТУРА

1. Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений / Сойфер В. А. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Пуятин Е. П. Обработка изображений в робототехнике / Пуятин Е.П., Аверин С. И. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / Прэтт У. – М. : Мир, 1982. – 784 с.
4. Ярославский Л. П. Цифровая обработка полей в оптических системах. Цифровая оптика / Новые физические принципы оптической обработки информации / Ярославский Л. П. – М. : Наука, 1990. – С. 360-399.
5. Хорн Б. К. Зрение роботов / Хорн Б. К. – М. : Мир, 1989. – 487 с.
6. М. Бертеро. Некорректные задачи в предварительной обработке визуальной информации / М. Бертеро, Т. А. Поджо // ТИИЭР. – 1988. – Т. 76, № 8. – С. 17–39.
7. Д. Форсайт. Компьютерное зрение. Современный подход. : пер. с англ. / Дэвид Форсайт, Жан Понс. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
8. P. Cheng. Automation of axisymmetric drop shape analysis for measurements of interfacial tensions and contact angles / P. Cheng, D. Li, L. Boruvka // Colloids and Surfaces. – 1990 – Vol. 43. – P. 151–168.
9. Pallas N. R. An automated drop shape apparatus and the surface tension of pure water / Pallas N.R., Harrison Y. // Colloids and Surfaces.– 1990 – Vol. 43. – P. 169–194.
10. Havelock D.I. Geometric precision in noise-free digital images / Havelock D.I. // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1989 – Vol. 11, № 10. – P. 1065 – 1075.
11. Оптико-электронная система для контроля отверстий в ситах / [Бондарь Д. Н., Буданцев А. В., Смелянов Э. Л. и др.] // Автометрия. – 2003. – Т. 39, №5. – С. 53–61.
12. Коротаев В. В. Проблемы разработки оптико-электронных систем для контроля деформаций крупногабаритных объектов / Корота-

ев В. В., Тимофеев А. Н., Иванов А. Г. // Оптический журнал. – 2006. – Т. 67, №4. – С. 43–46.

13. Кухарчук В. В. Оптико-електронні засоби контролю якості роботи електричних машин / Білинська М. Й, Кухарчук В. В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного інституту. – 2006. – №3(38). – С. 101–103.

14. Муравський Л. І. Розробка телевізійної оптико-цифрової системи для визначення капілярних характеристик розплавів / Муравський, Л. І., Кулинич Я. П. // Методи та прилади контролю якості. – 2001. – №7. – С. 36–42.

15. Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов / Мирошников М. М. – Л. : Машиностроение, 1983. – 696 с.

16. Якушенков Ю. Г. Проектирование оптико-электронных приборов / Якушенков Ю. Г. – М. : Логос, 2000. – 488 с.

17. Грязин Г. Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства : системы телевидения. / Грязин Г. Н. – Л. : Машиностроение, 1988. – 224 с.

18. Медицинские приборы: Разработка и применение / [Кларк Д. В., Ньюман М. Р., Редью В. Х., и др.]. – К. : Медторг, 2004. – 620 с.

19. Безыленко В. А. Оптико-электронный прибор для бесконтактного измерения размеров и смещений непрозрачных объектов / Безыленко В. А., Миронченко В. И., Пирогов Ю. А. // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 5. – С. 245–247.

20. Клюев В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справ очник : в 2-х кн. / Клюев В. В. ; кн.1. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.

21. Пронс П. Измерение в промышленности. : справ. изд. ; пер. с нем. / Пронс П. – М. : Металлург, 1980. – 648 с.

22. Храмов А. В. Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювальних приладів і автоматичних систем. / Храмов А. В. – К. : Вища школа, 1998. – 527 с.

23. Білінський Й. Й. Застосування методу просторової модуляції для вимірювання параметрів обертального руху / Білінський Й. Й., Білінська М. Й., Кухарчук В. В. // Автоматика-2006 : 13-а міжнар. конф., 25–28 вер. – 2006 р. : тези доп. – Вінниця, 2006. – С. 157.

24. Самошкин М. А. Автоматизация преобразования и обработки графической информации / Самошкин М. А. – М. : Мир, 1991. – 326 с.

25. Білінський Й. Й. Діагностика дна ока на основі колориметричного методу з використанням інтегруючої сфери / Білінський Й. Й., Бабій А. О, Салдан Й. Р. // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : 2-а міжнар. конф., 16–19 лист. 2006 р. : тези доп. – Вінниця, 2006. – С. 51–52.

26. Яновский К. А. Оптико-структурный машинный анализ изображений / К. А. Яновский. – М. : Машиностроение, 1984. – С. 165–196.

27. Білінський Й. Й. Субпікселне сканування на основі зсуву фотоматриці / Білінський Й. Й., Білінський В. Й. // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування : 3-я міжнар. конф., 31 трав. – 2 черв. 2007 р. : тези доп. – Вінниця, 2007. – С. 62–63.

28. Исаков В. Л. Современные методы автоматизации цитологических исследований. / Исаков В. Л., Пинчук В. Г., Исакова Л. М. – К. : Наукова думка, 1998. – 345 с.

29. Система управления процессом распознавания и определения геометрических размеров объектов для гибких производственных систем / [Шевчук В. П., Мелехов Д. Б., Титов Р. Н., Саньков А. Г.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 5. – С. 54–57.

30. Никулин Е. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Никулин Е. А. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.

31. Техническое зрение роботов / [В. И. Мошкин, А. А. Петров, В.С. Титов, Ю. Г. Якушенков]. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.

32. Патент 42987 України. МПК⁶ G01N21/41. Спосіб вимірювання показника заломлення та поглинання та пристрій для його здійснення / Й. Й. Білінський, М. Й. Білінська. ; заявник і патентовласник

Вінницький національний технічний університет. – № 42987А ;
опубл. 15.11.01, Бюл. №10.

33. R. Gonzalez. Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods :
Addison-Wesley Publishing Company, 1992. – P. 415–416.

34. Davies E. Machine Vision: Theory, Algorithms and Practicalities, /
E. Davies : Academic Press, 1990. P. 42–44.

35. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен. / Дуда Р., Харт
П. – М. : Мир, 1986. – 468 с.

36. Марр Д. Зрение: информационный подход к изучению пред-
ставления и обработке зрительных образов. / Марр Д. – М. : Радио и
связь, 1987. – 512 с.

37. Zheltov S.U. Building Extraction at State Resesarch Institute of
Aviation Systems (GosNIIAS) / Zheltov S.U., Sibiryakov A.V. // Third
International WorkShop on Automatic Man-Made objects Extraction From
Aerial and Space Images, Ascona, Switherland, June 10-16, Bulkema
Publishers, 2001.

38. Оптико-электронные системы экологического мониторинга
природной среды. [Козинцев В. И., Орлов В. М., Белов М. Л. и др.] –
М. : Изд-во МГУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.

39. Мосягин Г. М. Теория оптико-электронных систем. / Мосягин
Г. М., Немтинов В. Б., Лебелев Е. Н. – М. : Машиностроение, 1990. –
432 с

40. Крутик М. И. Многоканальные программно-управляемые эле-
ктронно-оптические комплексы для скоростной регистрации серии
изображений быстропротекающего процесса. / Крутик М. И. // Спе-
циальная техника. – 2002. – № 1. – С. 36–41.

41. Кейсесент Д. Оптическая обработка информации. Применения
/ Кейсесент Д. – М. : Мир, 1980. – 352 с.

42. Очин Е. Ф. Вычислительные системы обработки зображений /
Очин Е. Ф. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.

43. Havelock D.I. Geometric precision in noise-free digital images /
Havelock D.I. // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1989. – Vol.
11, № 10. – P. 1065–1075.

44. Оптическая и цифровая обработка изображений в системах дистанционного зондирования природных ресурсов / [Василенко Г. И., Белинский А. Н., Коган Г. А. и др.] – Л. : Наука, 1988. – С. 19-29.
45. Holst G. C. CCD Arrays, Cameras and Displays // SPIE PRESS. – 1996. – Vol. PM30. – SPIE and JCD Publishing Co., – 332 p.
46. Білінський Й. Й. Аналіз сучасних багатоелементних фотоприймальних пристроїв і оптико-електронних методів і засобів на їх основі / Білінський Й. Й. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №5(62). – С.9–15.
47. Anna Wehlin. Position Sensitiv Detector / A. Wehlin // Laser Focus World. – 2003. – Vol. 39, № 2. – P. 93–105.
48. Hank Hogan. CMOS and CCD Share More Than a Latter / H. Hogan // Photonics Spectra. – 2004. – Vol. 38, № 5. – P. 76–78.
49. Ишанин Г. Г. Источники и приемники излучения. / Ишанин Г. Г., Панков Э. Д., Андреев А. Л. – С-П. : Политехника, 1991. – 240 с.
50. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику / Ярославский Л. П. – М. : Радио и связь, 1987. – 296 с.
51. Р. Гонсалес. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
52. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / [Фурман Я. А., Кревецкий А. К., Передре-ев А. К.] – 2-е изд., испр. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
53. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно-структурованих зображень. / Русин Б. П. – Л. : Вертикаль, 1997. – 264 с.
54. Абду И. Э. Количественный расчет детекторов контуров, основанных на подчеркивании перепадов яркости с последующим пороговым ограничением. / Абду И. Э., Прэтт У. К. // ТИИЭР. – 1979. – Т.67, № 5. – С. 59–70.
55. Родинов С. А. Оптика негомоцентрических световых пучков / Родинов С. А., Вон Дон Чжу, Ми Сук Чжун. // Оптический журнал. – 1997. –Т. 64, № 8. – С. 28–31.

56. Кононов В. И. Оптические системы построения изображений. / Кононов В. И., Федоровский А. Д., Дубинский Г. П. – К. : Техніка, 1981. – 133 с.
57. Джайн. К. А. Успехи в области математических моделей для обработки изображений. / Джайн. К. А. // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69, № 5. – С. 9–35.
58. Розенфельд А. Распознавание изображений. / А. Розенфельд // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69, № 5. – С. 121–133.
59. Краснобаев А. А. Обзор алгоритмов детектирования простых элементов изображения и анализ возможности их аппаратной реализации. / Краснобаев А. А. – М. : 2005. Российский фонд фундаментальных исследований (проекты № 05-01-00885, НШ-1835.2003.1).
60. Білінський Й. Й. Класифікація методів крайового детектування зображень / Білінський Й. Й. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 1. – С. 161–169.
61. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. (2-nd Edition). / Davis S. – Academic Press, 1996.
62. Pavlidis T. Integrating region growing and edge detection / T. Pavlidis, Y.-T. Liow // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 1990. – №12(3). – P. 225–233.
63. Robinson G.S. Edge detection by compass gradient masks, Comput. / Robinson G.S. // Vision Graphics Image Process. – 1977. – № 6(5). – P. 492–501.
64. Henstock P.V. Automatic gradient threshold determination for edge detection / Henstock P.V., Chelberg D.M. // IEEE Trans. Image Process. – 1996. – №5(5). – P. 784–787.
65. Perona P. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion / Perona P., Malik J. // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 1990. – №12(7). – P. 629–639.
66. Meer S. Weiss. High-order differential filters that work. / Meer S., Weiss I. // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1994. – № 16(7). – P. 734–739.

67. Meer S. Smoothed differentiation filters for images. / Meer S, Weiss I. // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 1992. – №3(1). – P. 58–72.
68. Torre O. On edge detection. / Torre O, Poggio T. // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – №8(2). – P. 147–163.
69. Marr D. Theory of edge detection / Marr D., Hildreth E. // Proceedings of the Royal society of London. – 1980. – Vol. 207. – P. 187–217
70. Haralik. R. Digital step edges from zero crossing of second direction. / R. Haralik // IEEE Transaction on Pattern Analysis an Machine Intelligence, 16(7), 1984 – P.679 - 698.
71. Bergholm F. Edge Focusing. / Bergholm F. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1987. – №9(6). – P. 726–741.
72. Williams D.J. Edge Contours Using Multiple Scales. / Williams D.J., Shas M. // Computer Vision, Graphics and Image Processing. – 1990. – №51. – P. 256–274.
73. V. Lacroix. The Primary Raster: A Multiresolution Image Description. / V. Lacroix. // In Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition. 1990 – P. 903–907.
74. Canny J.F. A Computational Approach to Edge Detection. / Canny J. F. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 1986 – №8(6). – P. 679–698.
75. Canny J.F. Finding edges and lines in images. / Canny J.F. // Master's thesis, MIT, Cambridge, USA, 1983.
76. Canny J.F. A computational approach to edge detection. / Canny J.F. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – №8(6). – P. 96–98.
77. Beaudet P. Rationally Invariant Image Operations / Beaudet P. // International Joint Conference on Pattern Recognition. – 1978. – P. 579–583.
78. Trajkovich M. Fast corner detection. / Trajkovich M., Handley M. // Image and Vision Computing. – 1998. – №16 – P. 75–87.

79. Forstner R. A feature based correspondence algorithm for image matching. / Forstner R. // Intl. Arch. Photogramm. Remote Sensing. – 1986. – №26 – P. 150–166.

80. Ali Ajdari Rad. Fast Circle Detection Using Gradient Pair Vectors / Ali Ajdari Rad, Karim Faez and Navid Qaragozlou. // Proc. VIIth Digital Image Computing, 2003 – P. 879–887.

81. Патент 29418 України МПК⁶ G 01 K 09/64. Спосіб виділення контуру зображення / Й. Й. Білинський, С. В. Юкиш ; заявник і патентовласник – Вінницький національний технічний університет – № 29418 ; опубл. 10.01.08, Бюл. №1.

82. Field D.J. Relations between the Statistics and Natural Images and the Responses Properties of Cortical Cells / Field D.J. // J. Optical Soc. – 1987. – Vol. A. – №4. – P. 2379–2394.

83. Konishi, A. L. A Statistical Approach to MultiScale Edge Detection / Konishi, A.L., Yuille J.M., Coughlan // Proc. Workshop Generative-Model-Based Vision: GMBV, 2002.

84. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах / Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П. – Н. : Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.

85. Білинський Й. Й. Субпікселне вимірювання геометричних параметрів сегментних елементів зображення / Білинський Й. Й. // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – Вип. 19. – С. 35–39.

86. Hueckel M.H. An operator which Locates Edges in Digitized Pictures / Hueckel M. // JACM, 18 – 1971 – №1. – P. 113–125.

87. Nayar K. Parametric feature detection, / Nayar K., Baker S., Murase H. // Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Francisco, 1996.

88. Illingworth J. A Survey of the Hough Transform / Illingworth J., Kittler J. // CVGIP. – 1988. – Vol. 44. – P. 87–116.

89. Дегтярева А. Преобразование Хафа. [Электронный ресурс] / Дегтярева А., Вежнев В. // Онлайн журнал "Графика и Мультимедиа". – 2007. – № 1 – Режим доступа до журн.: <http://cgm.graphicon.ru/issue1/hough/index.html>.

90. Teller A. A new learning architecture for object recognition, Symbolic visual learning. / Teller A., Veloso M. Pado // Oxford University Press, 1995.

91. Illingworth J. A survey of the Hough transform. / Illingworth J., Kittler J. // Computer Vision, Graphics, and Image Processing 44, 1988.

92. Risse T. Hough Transform for line Recognition: Complexity of Evidence Accumulation and Cluster Detection. / Risse T. // Computer Vision, Graphics, and Image Processing 46, 1989.

93. Kaas M. Terzopoulos D. Snakes: Active Contour Models. / Kaas M., Witkin A. // Int. Journal of Computer Vision. – 1987. – №1 – P. 312–331.

94. Шлезингер М. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. / Шлезингер М., Главач В. – К. : Наукова думка, 2004. – 538с.

95. Білинський Й. Й. Детектори виділення простих елементів зображення та аналіз їх програмної реалізації / Білинський Й. Й. // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – 2007. – №3(17). – С. 33–43.

96. Пат. 5 081 689, США. Apparatus and Method for Extracting Edges and Line / R.H. Meyer, K.K. Tong.

97. Пат. 5 692 072, США. Edges Detecting Device / Olympus Optical Co., Ltd.

98. Truchetet F. Subpixel Edge Detection for Dimension Control by Artificial Vision / Truchetet F., Nicolier F., Lalignant O. // Journal of Electronics Imaging. – 2001. – № 10(1) – P. 234–239.

99. Shen J. An Optimal Linear for Step edge Detection. / Shen J., Castan S. // Comput. Vis. Graph. Image Process. – 1992, – № 54(2). – P. 112–133.

100. Фурман Я. А. Обработка контуров изображений с протяжёнными прямолинейными границами / Фурман Я. А., Егошина И. Л. // Автометрия. – 1999. – №6. – С. 93–104.

101. Deriche R. Using Canny's criteria to Derive a Recursively implemented optimal edge detection / Deriche R. // Int. J. Comput. Vis. – 1998. – №7(12). – P. 5–12.

102. Users M. B-spline signal processing Part $\lambda\lambda$ -Efficient design and applications / Users M., Aldroubi M., Eden M. // IEEE Trans. Signal Process. – 1993. – № 41(2). – P. 834–848.

103. Šedivý, J. Fischer. Precision Single-line Dimension Measurement Using CMOS Image Sensor and photometric interpolation. [Електронний ресурс] / Digital image processing. – 2005. – №4. – Режим доступу до журналу: <http://www.fischer@fel.cvut.cz>.

104. J. Fischer. DSP Based Measuring Line-scan CCD Camera / J. Fischer, T. Radil. // Proceedings of IDAACS' 2003, – P. 345–348.

105. A. J. Tabatabai. Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery / A.J. Tabatabai. O.R. Mitchell // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1984. – №34(8) – P. 188–201.

106. D. Nair. On comparing the performance of object recognition systems / D. Nair, Mitiche A., Aggarwal J. // International Conference on Image Processing, 1995.

107. Y. T. Zhou. Edge detection and linear feature extraction using a 2d random field model, / Y. T. Zhou, V. Venkateshwar, and R. Chellappa // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 11. – P. 84–95.

108. Пат. 6 690 842 (США). Apparatus and Method for Detection and Sub-pixel Location Edges in a Digital Image / W. Silver, A. Garacani, Aaron Wallack.

109. Измерения параметров и характеристик лазерного излучения : ГОСТ 24453-80 [правомочен от 1981] – М. : И-во стандартов, 1981. – 38 с.

110. B.G. Batchelor, D.A. Hill and D.C. Hogston. Automated Visual Inspection. / B.G. Batchelor, D.A. Hill and D.C. Hogston // IFS (Publications) Ltd, UK, North Holland, 1985.

111. Fisher R. B., Naidu D. K. A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection // Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision. – Heidelberg: Springer-Verlag. – 1996. – №4. – P. 205–229.

112. Мотигін В. В. Визначення координат енергетичного центра плями розсіювання / Білінський В. Й., Мотигін В. В. // Матеріали 3-ї науково-технічної конференції з міжнародною участю «Матеріали

електронної техніки та сучасні інформаційні технології (МЕТІТ-2)». – 31 трав. – 2 черв. 2007 р. : тези доп. – Вінниця, 2007. – С. 145.

113. D. Braggins. Achieving subpixel precision / D. Braggins // *Sensor Review*. – 1996. – Vol. 10. – №4, – P. 174–177.

114. Пат. 4628469 (США). Method and Apparatus for Locating of Reference Pulse in a Measurement System / S.J.White.

115. F. Blais and Rioux. Real-Time Numerical Peak Detector// *Signal Processing*. – 1986. – №11. – P. 145–155.

116. Carsten Steger. An Unbiased Detector of Curvilinear Structuresю / Carsten Steger. // *Technical Report FGBV-96-03, Forschungsgruppe Bildverstehen (FGBV), Informatik IX, Technische Universitet Munchen, 1996.*

117. Якушенко Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. / Якушенко Ю. Г. – М. : Логос, 1999. – 480 с.

118. Писаревский А. И. Системы технического зрения. Принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение // Писаревский А. И., Чернявский А. Ф., Афанасьев Г. К. // – М. : Машиностроение, 1988. – 424 с.

119. Шмидт Д. Оптоэлектронные сенсорные системы. / Шмидт Д., Шварц В. – М. : Мир, 1991. – 96 с.

120. Муравський Л. І. Вплив шумів оптико-цифрової системи на точність вимірювання геометричних параметрів бінарних тінювих зображень / Муравський Л. І. // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні – Львів: Видавництво Національний університет «Львівська політехніка»– 2000. – Вип. 35. – С. 113–118.*

121. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. / Тихонов В. И. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

122. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений. / Ярославский Л. П. – М. : Советское радио, 1979. – 322 с.

123. Сизиков В. С. Анализ методов локальной регуляризации формулировка метода субоптимальной фильтрации решения уравнений 1 рода // *Ж. Вычисл. матем. и матем. Физики*. – 1999. – Т. 39, № 5, – С. 718–733 с.

124. Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений. / Бейтс Р., Мак-Доннелл М. – М. : Мир, 1989. – 318 с.
125. Морозов В. А. Регулярные методы решения некорректно поставленных задач. / Морозов В. А. – М. : Наука, 1987. – 224 с.
126. Стогов Г. В. Устойчивые методы обработки результатов измерений. / Стогов Г. В., Макшанов А. В., Мусаев А. А. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1982. – №1. – С. 3.
127. Апресян Л. А. Физическая энциклопедия / Апресян Л. А. // – М. : Сов. энциклопедия, 1988. – С. 419–420.
128. A. Papoulis. Probability, Random Variables and Stochastic Processes. / A. Papoulis. // New York, NY:Mc-Graw-Hill, 1965.
129. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. / Папулис А. – М. : Мир, 1971. – 496 с.
130. Порфирьев Л. Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. / Порфирьев Л. Ф. – Л. : Машиностроение, 1989. – 387с.
131. Уэзерел У. Оценка качества изображения / Уэзерел У. // Проектирование оптических систем. – М. : Мир, 1983. – С. 178–332.
132. Борн М. Основы оптики. / Борн М., Вольф Э. – М.: Наука, 1973. – 719 с.
133. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. / Гудмен Дж. – М. : Мир, 1970. – 364 с.
134. Залманзон Л. А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и в других областях. / Залманзон Л. А. – М. : Наука, 1989. – 496 с.
135. Ллойд Дж. Системы тепловидения. / Ллойд Дж. – М. : Мир, 1978. – 414 с.
136. Твердотельное телевидение: Телевизионные системы с переменными параметрами на ПЗС и микропроцессорах / [Л. И. Хромов, Н. В. Лебедев, А. К. Цыцулин и др.] – М. : Радио и связь, 1986. – 184 с.
137. Пресс Ф. П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. / Пресс Ф.П. – М. : Радио и связь, 1987. – 264 с.

138. Griffin P. M. Process capability of automated visual inspection systems / Griffin P.M., Villalobos J.R. // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. – 1992. – Vol. 2, №3. – P. 441–448.

139. Yang C. C. Analysis of errors in dimensional inspection based on active vision / Yang C. C., Marefat M. M., Ciarallo F. W. // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2354. – P. 96–104.

140. Сикорский Д. А. Метод оценки турбулентности атмосферы. / Сикорский Д. А. [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Исследование в России». – 2006. – №5. – Режим доступа до журн.: <http://zhurnal.apc.relan.ru/article/2002/075.pdf>.

141. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

142. Білінський Й. Й. Математична модель локалізації краю зображення об'єкта / Білінський Й. Й. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №3(10). – С. 73-79.

143. Bilynskiy J.J. Subpixel and Image Processing / Bilynskiy J.J. // Advanced Computer Systems and Network: Design and Application: Of the 3-rd International Conferens, 20–22 sept. 2007. : proceedings – Lviv, 2007. – P. 155–158.

144. Білінський Й. Й. Субпіксельна оцінка границі дискретних зображень / Білінський Й. Й., Городецька О. С., Ратушний П. М. // Вісник Хмельницького національного університету.–2007.–№4, Т. 2.– С.143–146.

145. Білінський Й. Й. Математична модель примежової кривої зображення об'єкта / Білінський Й. Й., Мельничук А. О. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного інституту. – 2008. – №4(51), частина 2. – С. 149–153.

146. Глушаков С. В. Математическое моделирование. / Глушаков С. В., Жакин И. А. Хачиров Т. С. – Харьков: Фолио; – М. : Издательство АСТ, 2001. – 524 с.

147. Рудаков П. И. Обработка сигналов и изображений в MATLAB 5.x. / Рудаков П. И., Сафонов И. В. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. – 416 с.

148. Мотигін В. В. Обробка інформації засобами комп'ютерної математики. / Мотигін В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 120 с.

149. Билинский И. И. Методика коррекции погрешности светотени на основе многоэлементного фотоприёмного устройства / Билинский И. И. // Наука и предпринимательство: междунар. симпоз., 25–28 февр. 1997 г. : тезисы докл. – Винница-Львов, 1997. – С. 107.

150. Метьюз Джон. Численные методы. / Метьюз Джон, Финк Куртис. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001 – 720 с.

151. Білінський Й. Й. Метод субпіксельного визначення краю об'єкта на зображенні на основі низькочастотної фільтрації / Білінський Й. Й., Мотигін В. В. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №3. – С.5–8.

152. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика. / Дьяконов В. П. – М. : Нолидж, 2001 – 1296 с.

153. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. / Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

154. Корн Г. Справочник по математики для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. – М. : Наука, 1984. – 832 с.

155. Макаров У. Инженерные расчеты в Mathcad. : учебный курс. – СПб. : Питер, 2003. – 448 с.

156. Білінський Й. Й. Оптиелектронний рефрактометр з використанням багатоелементного фотоприймального пристрою / Білінський Й. Й. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №4. – С. 28–31.

157. Пат. 25485А Україна МПК⁷ G06K9/36. Спосіб визначення краю примежової кривої зображень / Білінський Й. Й., Ратушний П. М., Мельничук А. О. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № 200703607 ; заявл. 02.04.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. №12

158. Білінська М. Й. Оптико-механічний дефлектор в системах вимірювання параметрів обертового руху / Білінська М. Й. // Вісник Черкаського Державного технічного університету. – 2006. – С. 92–94.

159. Гришанов В. Н. Математическая модель оптико-электронного прибора с матричным фотоприемником для оценки погрешности координатных измерений / Гришанов В. Н., Мордасов В. И., Гришанов А. В. // СПб., Применение лазеров в науке и технике. – Иркутск : ИФ ИЛФ СО РАН. 1997. – С. 19–33.

160. Ми Сук Чжун. Оптимизация оптических систем лазерных сканеров. / Ми Сук Чжун, Вон Дон Чжу, Радионов С. А. – 1997. – Т.64, №8. – С. 32–36.

161. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. / Даджион Д., Мерсеро Р. – М. : Мир, 1988. – 488 с.

162. Білінський Й. Й. Визначення координат енергетичного центра плями розсіювання / Білінський Й. Й., Білінський В. Й., Мотигін В. В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного інституту. – 2007. – №3(44), частина 1. – С. 153–157.

163. Василенко Б. И. Восстановление изображений. / Василенко Б.И., Тараторин А. М. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.

164. Узерел У. Оценка качества изображения. Проектирование оптических систем / Под ред. Р. Шеннона, Дж. Вайанта. – М. : Мир, 1983. – С. 178–332.

165. Ultra-high-resolution optical monitoring system using a noise cancellation technique / N. S. K.Lee, Y.Cai, A. S. F .Wong, A.Joneja // Opt. Eng. – 1997. – Vol. 36, № 12. – P. 3353–3359.

166. Гуров А. А. Обработка изображений на ЭВМ методами линейной фильтрации / Гуров А. А., Порфирьева Н. Н. // Труды ГОИ им. С.И. Вавилова. – Л., 1982. – Вып. 185. – С. 33–50.

167. Применение цифровой обработки сигналов/ Под ред. Оппенгейма Э. – М. : Мир, 1980. – 324 с.

168. Randy Crane. A simplified approach to image processing: classical and modern in C/ Randy Crane. – New Jersey : Upper Saddle River, 1997. – P. 351.

169. Хуанг Е. С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. пер. с англ. / Е. С. Хуанг, Дж.-О. Эклуд, Г. Дж. Нуссбаумер – М. : Радио и связь, 1984. – 224 с.

170. Введение в цифровую фильтрацию. / Под редакцией Р. Богнера – М.: Мир, 1976. – 214 с.

171. Цифровая обработка изображений. / Под редакцией Б. Яне – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.

172. Ho C. S. Precision of digital vision systems / Ho C.S. // IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. – 1983. – Vol. 5, № 6. – P. 593–601.

173. Білінський Й. Й. Фільтр для придушення імпульсних шумів на зображеннях / Білінський Й. Й., Ратушний П. М. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 1 (13). – С. 30–34.

174. Білінський Й. Й. Приглушення шуму в задачах визначення краю об'єкта на зображенні / Білінський Й. Й. // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2008. – № 3/2(33). – С. 9–13.

175. Белявцев В. Г. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / Белявцев В. Г., Воскобойников Ю. Е. // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 18–25.

176. Я. Астола. Векторные медианные фильтры / Я. Астола, П. Хаависто, Ю. Неуво. // ТИИЭР. – 1978. – Т. 78, № 4. – С. 82–95.

177. Ahmad, M. O. Fast Algorithm for Two-Dimensional Median Filter / Ahmad, M.O., Sundararajan, D.A // IEEE Trans. Circuits Systems Cas. – 1987. – № 34 (11). – P. 1364–1374.

178. Кейти У. Т. Цифровые вычислительные машины с оптическими устройствами / Кейти У. Т., Вагнер К.М., Майсели У. Дж. // ТИИЭР. – 1989. – Т. 77, № 10. – С. 121–137.

179. Патент 28111 України МПК⁶ G 06 K9/46. Пристрій для визначення координат енергетичного центру зображення світлової плями / В. В. Кухарчук, Й. Й. Білінський, В. Й. Зілінський ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 26.11.07, Бюл. № 19.

180. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір Україна. №23631. Комп'ютерна програма «Локалізація краю об'єкта на зображенні»/ Й. Й. Білінський, П. М. Ратушний. Дата реєстрації 1.02.08. – 4 с.

181. Білінський Й. Й. Субпікселна оцінка координат лазерної лінії / Білінський Й. Й., Білінський В. Й., Ратушний П. М. // Вісник Черкаського Державного технічного університету. – 2007. – Спецви-
пуск. – С. 17–20.

182. D. J. Park, K. M. Nam, R.-H. Park, Edge detection in noisy images based on the co-occurrence matrix / D. J. Park, K. M. Nam, R.-H. Park //, Pattern Recognition. – 1994. – № 27 (6). – P. 765–775.

183. Цуккерман И. И. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И. И. Цуккерман, Б. М. Кац, Д. С. Лебедев – М. : Радио и связь, 1981. – 240 с.

184. Фурман Я. А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. / Фурман Я. А., Юрьев А. Н., Яншин В. В. – Красноярск : Из-во ун-та, 1992. – 246 с.

185. Білінський Й. Й. Детектор виділення контуру та простих елементів зображення / Білінський Й. Й. // Відбір і обробка інформації. – 2007. – №27(103). – С. 63–67.

186. Пат. 21561А Україна МПК⁶ G06K9/36. Пристрій для виділення контуру багатоградаційних зображень / Білінський Й. Й., Мельничук А. О. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; № 200610960 ; заявл. 16.10.2006 ; опубл. 15.03.2007, Бюл. №8.

187. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір, Україна. №23610. Комп'ютерна програма «Градiєнтний детектор виділення контуру на основі низькочастотної фільтрації»/ Й. Й. Білінський, С. В. Юкиш. Дата реєстрації 31.01.08. – 4с.

188. Білінський Й. Й. Ізотропний детектор виділення контуру та простих елементів зображення на основі просторової фільтрації / Білінський Й. Й. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т.1, №6. – С. 183–187.

189. Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір, Україна. №23069. Комп'ютерна програма «Ізотропний детектор виділення контуру на основі просторової фільтрації»/ Й. Й. Білінський, С. В. Юкиш. Дата реєстрації 31.01.08 – 4с.

190. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы в химии / Иоффе Б. В. – 3-е изд., перераб.– Л. : Химия, 1983. – 352 с.

191. Білінський Й. Й. Використання явища багаторазового відбиття для підвищення контрастності межі світлотіні рефрактометра / Білінський Й. Й., Барановський І. М. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – №4. – С. 14–17.

192. Білінський Й. Й. Рефрактометричний вимірювач прозорих і поглинаючих середовищ / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – № 12(5–6). – С. 147–153.

193. Патент 18931А МПК⁶ G01N21/41. Оптикоелектронний рефрактометр / Й. Й. Білінський, О. В. Федун. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет; опубл. 25.12.97, Бюл. № 6.

194. Білінський Й. Й. Оптико-електронний вимірювач густини газу в потоці // І-й Всеукраїнський з'їзд екологів : І-а науково-практ. конф., 4–6 жовтня 2006 р. : тези доп. – Вінниця, 2006. – С. 177.

195. Білінський Й. Й. Спосіб визначення границі світлотіні рефрактометричних вимірювачів // Вісник Хмельницького національного університету – 2006. – №2. – С. 62–66.

196. Беликова Т. П. Некоторые методы цифрового препарирования изображений. Цифровая обработка сигналов и ее применение. / Беликова Т. П. – М. : Наука, 1981. – С. 87–98.

197. G. Coleman. Image Segmentation by Clustering / G. Coleman, H. Andrew. // In Proceedings of IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 773–785.

198. Online fast measurement of section sizes of three-dimensional objects using binary image analysis / [W.Ren, Y.Wang, H.Zhu, P.Sun] // Opt. Eng. – 1998. – Vol. 37, N 6. – P. 1740–1745.

199. Gonzalez R.C. Digital Image Processing, / R.C. Gonzalez, R.E. Woods Addison-Wesley, New York, 1992.

200. N. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Systems Man Cybernet. – 1979. – №(1). – P. 62–66.

201. Y. Nakagawa. Some experiments on variable thresholding / Y. Nakagawa, A. Rosenfeld // Pattern Recognition. – 1979. – № 11. – P. 191–204.

202. S.U. Lee. A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation / S. U. Lee, S. Y. Chung, R.-H. Park. // *Comput. Vision Graphics Image Process.* – 1990. – № 52 (2). – P. 171–190.

203. P.K. Sahoo. A survey of thresholding techniques, *Comput. / P. K. Sahoo, S. Soltani, A.K. Wong, Y.C. Chen // Vision Graphics Image Process.* – 1988. – № 41 (2). – P. 233–260.

204. Білінський Й. Й. Адаптивний метод порогової обробки зображення / Білінський Й. Й., Крисак Т. М. // *Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: 3-я міжнар. конф., 31 трав. – 2 черв. 2007 р. : тези доп.* – Вінниця, 2007. – С. 82–83.

205. Білінський Й. Й. Адаптивний метод порогової обробки зображень / Білінський Й. Й., Крисак Т. М., Клименко І. В. // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* – 2007. – №5. – С. 116–118.

206. Білінський Й. Й. Просторовий фільтр підвищення різкості зображення / Білінський Й. Й. // *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.* – 2006. – №2(12). – С. 227–230.

207. Власенко В. В. Ефективний експрес-метод оцінки якості й безпечності м'яса та субпродуктів / Власенко В. В., Гирич С. В., Конопко І. Г. // *Харчова і переробна промисловість.* – 2002. – №1. – С. 18–19.

208. Самойлов А. Н. Фотометрический метод формирования и обработки торцов круглых лесоматериалов / Самойлов А. Н. // *Научный журнал КубГАУ.* – 2007. – №26(2). – С. 1–20.

209. Бобир Н. Я. Фотограмметрия. / Бобир Н. Я., Лобанов А. Н., Федорук Г. Д. – М. : Недра, 1974. – 472 с.

210. Обиралов А. И. Фотограмметрия. / Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. – М. : Колос, 2002. – 240 с.

211. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : Навчальний посібник. / [Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б.] – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.

212. Воловик Г. С. Основы теории инвариантных измерений. / Воловик Г. С. – С.: Севпол, – 1995. – С. 160.

213. Білінський Й. Й. Вплив неінформативних параметрів локалізації краю об'єкта на примежовій кривій / Білінський Й. Й. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного інституту. – 2008. – №1(48). – С. 39–41.
214. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений. / Новицкий П. В., Зограф И. А. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 258 с.
215. Основи метрології та вимірювальної техніки. / [Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б.] – У 2-х томах. – Львів: Видавництво Національний університет «Львівська політехніка» – 2005. – С. 532.
216. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. / Орнатский П. П. – К. : Высшая школа – 1983. – 455 с.
217. Меры длины концевые плоскопаралельные : ГОСТ 9038-90 [правомочен от 1990] – М. : И-во стандартов, 1981. – 28 с.
218. Yang C.C. Analysis of errors in dimensional inspection based on active vision / Yang C.C., Marefat M.M., Ciarallo F.W. // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2354. – P. 96–104.
219. Орнатский П. П. Автоматизированные измерения и приборы. / Орнатский П. П. – К. : Вища шк., 1986. – 504 с.
220. Bracewell R. N. The Fourier transform and its applications. / Bracewell R.N. – N.Y. : Mc Graw-Hill Book Company, 1965. – 381 p.
221. Муравський Л. І. Інструментальна похибка вимірювання геометричних параметрів тіньових зображень в оптико-цифровій системі / Муравський Л. І. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів – Львів: Видавництво Національний університет «Львівська політехніка» – 2001. – Вип. 6. – С. 202-207.
222. Порев В. А. Імовірнісний підхід до визначення роздільної здатності телевізійних засобів контролю / Порев В. А., Порев Г. В., Кісіль Р. І. // Методи та прилади контролю якості. – 2002. – №8. – С. 40–43.
223. Noponen E. Binary high-frequency-carrier diffractive optical elements: electromagnetic theory / Noponen E., Turunen J. // J. Opt. Soc. Amer. – 1995. – Vol. A12. – P. 1068–1076.

224. Image analysis of corrosion pit damage / [S.Journaux, C.Guillaumin, P.Gouton et al.] // Opt. Eng. – 1999. – Vol. 38, N 8. – P. 1312–1318.

225. Evaluation of errors in automatic image analysis determination of sessile drop shapes / [R. S.Bachevsky, Y. V.Naidich, N. F.Grigorenko, et al.] // Proc. Int. Conf. «High Temperature Capillarity» N. Eustathopoulos Ed. – Bratislava, 1995. – P. 254–258.

226. Справочник по вероятностным расчетам / [Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина]. – М. : Воениздат, 1970. – 536 с.

227. Таха Хэнди. Введение в исследование операций. / Таха Хэнди. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.

228. Білінський Й. Й. Субпіксельна оцінка координат лазерної лінії / Білінський Й. Й., Білінський В. Й., Ратушний П. М. // Датчики, прилади та системи: 3-я міжнар. науково-техн. конф., 4–7 вересня 2007 р. : тези доп. – Ялта, 2007. – С. 9.

229. Бутаков Е. А. Обработка изображений на ЭВМ. / Бутаков Е. А., Островский В. И., Фадеев И. Л. – М. : Радио и связь, 1987. – 240 с.

230. Азаров О. Д. Основы теории аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення : монографія. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 236 с.

231. Кісіль І. С. Вибір методу для вимірювання динамічного поверхневого натягу / Кісіль І. С., Горєлов В. О. // Методи і прилади контролю якості. – 2000. – №5. – С. 92–99.

232. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. / Абрамзон А. А. – Л. : Химия, 1975. – 246 с.

233. Кісіль І. С. Процес утворення лежачої краплі та вимірювання поверхневого натягу рідин однойменним методом / Кісіль І. С., Горєлов В. О. // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2002. – № 460. – С. 109–114.

234. Кісіль І. С. Удосконалений прилад для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі / Кісіль І. С., Дранчук М. М. // Методи та прилади контролю якості. – 2003. – №10. – С. 41–45.

235. Білінський Й. Й. Роль поверхневих явищ в різних процесах та оптичні засоби визначення поверхневого натягу / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // PHOTONICS-ODS 2005 : 3-я Міжнар. конф., 24–26 квітня 2005 р.: тези доп. – Вінниця, 2005. – С. 188.

236. Динамическая межфазная тензиометрия – новый метод изучения биологических жидкостей человека : используемая техника / [Казаков В. Н., Миллер Р., Семикоз Н. Г. и др.] // Вестник новых медицинских технологий. – 1997. – Т. 4, № 4. – С. 100–103.

237. Динамическая межфазная тензиометрия сыворотки крови и спинномозговой жидкости при ушибах головного мозга / [Назаренко В. Н., Синяченко О. В., Казаков. В. Н. и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1998. – № 4. – С. 95–97.

238. Динамическое поверхностное натяжение сыворотки крови и синовиальной жидкости при артритах / [Казаков В. Н., Файнерман В. Б., Синяченко О. В. и др.] // Сучасне лікування ревматичних захворювань. – 1996. – № 2 – С. 25–36.

239. Білінський Й. Й. Автоматизований контроль поверхневого натягу рідин методом лежачої краплі : монографія. / Білінський Й. Й., Городецька О. С. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 146 с.

240. Білінський Й. Й. Використання електричного поля для вимірювання поверхневого натягу рідин методом лежачої краплі / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – № 17. – С. 37–41.

241. Білінський Й. Й. Розробка математичної моделі визначення поверхневого натягу і пристроїв на її основі / Білінський Й. Й., Білошкурська О. С. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – Т.2. №3. – С. 107–111.

242. Григорьев А. И. Критическая равновесная сфероидальная деформация капли диэлектрической жидкости в однородном электростатическом поле / Григорьев А. И., Щукин С. И. // Журнал технической физики – 1999. – Т. 69, № 7. – С. 23–28.

243. Григорьев А. И. Локальное увеличение напряженности однородного электростатического поля вблизи вершины сфероидальной капли / Григорьев А. И., Щукин С. И. // Журнал технической физики – 1999. – Т. 69, № 8. – С. 49–54.

244. Білінський Й. Й. Математична модель вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // Контроль і управління в складних системах : Міжнар. конф., 24–27 жовтня 2005 р. : тези доп. – Вінниця, 2005. – С. 255.

245. Григорьев А. И. Капиллярные электрогидродинамические неустойчивости в дисперсных системах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра физ.-мат. наук : спец. 01.04.14 / Григорьев А. И. – Одесса, 1991. – 32 с.

246. Білінський Й. Й. Нові підходи в автоматизації визначення поверхневого натягу рідин / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Т. 3. Ч. 1.– С. 117–120.

247. Патент 7871 Україна МПК⁶ G 01 N 27/26. Пристрій для контролю ступеня чистоти рідин / Городецька О. С., Білінський Й. Й., Пастушенко О. Л.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.07.2005; Бюл. № 7. – 4 с.

248. Турчак Л. И. Основы численных методов : учеб. пособие. / Турчак Л. И. – М. : Наука, 1987. – 320 с.

249. Білінський Й. Й. Дослідження чистоти рідини в електростатичному полі / Білінський Й. Й., Городецька О. С. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №6. – С. 47–50.

250. Патент №71263 А України. МПК⁶ G 01 N 13/02. Оптико-електронний вимірювач поверхневого натягу рідини / Й. Й. Білінський, О. С. Городецька. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.11.04, Бюл. №11.

251. Білінський Й. Й. Експериментальне дослідження чистоти рідини за показником поверхневого натягу / Білінський Й. Й., Городецька О. С., Ратушний П. М. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Т.2, ч.1, №4. – С. 241–244.

252. Венцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. / Венцель Е. С., Овчаров Л. А. – М. : Наука, 1991. – 384 с.

253. Адамсон А. В. Физическая химия поверхностей : пер. с англ. / Под ред. З. М. Зорина, В. М. Муллера. – М. : Мир, 1979. – 568 с.

254. Патент №50444 А Україна МПК⁶ G 01 N 13/02. Пристрій для визначення крайового кута змочування / Й. Й. Білинський, О. С. Білошкурська, В. І. Кашуба ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.10.02, Бюл. № 10.

255. Патент 71576 Україна МПК⁶ G 01 N 13/02. Оптико-електронний вимірювач поверхневого натягу рідини / Й. Й. Білинський, О. С. Білошкурська, С. О. Сіренко ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.14.04, Бюл. № 12.

256. Tadeusz Kasperczyk. Wady postawy ciała: Diagnostyka i leczenie / Tadeusz Kasperczyk. – Kraków, 1994.

257. Аурин А. С. Эргономическая биомеханика ходьбы и бега. / Аурин А. С., Зациорский А. М. – М. : ГЦОЛИФК, 1983. – 52 с.

258. Недригайлова О. В. Развитие свода стопы у детей. / Недригайлова О. В., Яременко Д. А. // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1969. – № 2. – С. 18–23.

259. Янсон Х. А. Биомеханика нижней конечности. / Янсон Х. А. – Рига: Знание, 1975. – 324 с.

260. Очерет А. А. Как жить с плоскостопием. / Очерет А. А. – М. : Советский спорт, 2000. – 96 с.

261. Сергиенко К. Н. Определение информативности и эффективности методов используемых при оценке сводов стопы человека / Сергиенко К. Н. // Физическое воспитание студентов творческих специальностей. – 2001. – № 6. – С. 55–59.

262. Loebner E. E. Optoelectronic devices and networks / Loebner E. // Proc. IEEE. – 1955, – Vol. 43, № 12 – P. 1897–1906.

263. Применение световодов для изучения функциональной анатомии и биомеханики стопы. / [Демирчоглян Г. Г., Бражник В. И., Бушаров В. Е., и др.]. // Теория и практика физической культуры. – 1985. – № 9. – С. 55–56.

264. А. с. 1624490. СССР, МКИ³ G 06 K 9/36. / Устройство для выделения контура изображения / Э. Г.Мартirosов (СССР) // 1982. / М. И. Алекберов // Бюл. Изобр. – опубл. 1990. №4. – 4с.

265. А. с. 1376109 СССР, МКИ³ G 06 K 9/46. Способ распознавания геометрических фигур / В. И. Гордиенко, Б. П. Русын (СССР) // Бюл. Изобр.– опубл. 1988. №7. – 5с.

266. Гираев К.М. Оптические исследования биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния / Гираев К. М., Ашурьёков Н. А., Кобзаев О. В. // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, вып. 21.

267. Система комп'ютерної діагностики стопи людини / [Білинський Й. Й., Коваленко Є. М., Юкиш С. В., та інш.] // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – Т.1, № 1. – С. 151–156.

268. Патент 68903А, Україна. МПК⁶ А 61 В 5/103, Хвилевідний подоскоп/ Й. Й. Білинський, О. Г. Тарасюк, Є. М. Коваленко. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 16.08.2004, Бюл. №8. – 4 с.

269. Білинський Й. Й. Оптико-електронна система дослідження діабетичної стопи / Білинський Й. Й., Тарасюк О. Г. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 1(9). – С. 130–133.

270. Білинський Й. Й. Оптико-електронна система дослідження стопи людини / Білинський Й. Й., Тарасюк О. Г., Коваленко Є. М. // Динаміка наукових досліджень : 3-я Міжнар. науково-практ. конф., 21–30 червня 2004 р. : тези доп. – Дніпропетровськ, 2004. – С. 3–5.

271. Порев В. Компьютерная графика / Порев В. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 432 с.

272. Васильева Л. Ф. Визуальная диагностика нарушений статики и динамики опорно-двигательного аппарата человека. / Васильева Л.Ф. – Иваново : МИК, 1996. – 114 с.

273. Жарков П. Л. Остеохондроз и другие дистрофические изменения позвоночника у взрослых и детей. / Жарков П. Л. – М. : Медицина. 1994. – 240 с.

274. Чаклин В. Д. Сколиоз и кифоз. / Чаклин В. Д., Абальмасова Е. А. – М. : Медицина, 1973. – 256 с.

275. DiGivanna M. J. Pubic somatic dysfunction diagnosis: in an osteopathic Approach to diagnoses and treatment. / DiGivanna M. J. – London. – 1999. – P. 214.

276. Білінський Й. Й. Сучасні технічні методи діагностики опорно-рухового апарату людини / Білінський Й. Й., Коваленко Є. М., Коваленко В. М. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – №3. – С. 140–144.

277. Мусалатов Х. М. Хирургическая реабилитация корешкового синдрома при остеохондрозе поясничного отдела позвоночника. / Мусалатов Х. М., Гаганесов А. Г. – М. : Медицина, 1998. – 88 с.

278. Иваничев Г. Мануальная терапия. / Иваничев Г. – Казань : Медицина, 1997. – 448 с.

279. Kilar J. Z. Leczenie ruhem. / Kilar J. Z., Lizis P. – Krakow : Kasper, 1996. – 310 p.

280. Васильева Л. Ф. Мануальная диагностика и терапия. / Васильева Л. Ф. – СПб : Фолиант, 1999. – 400 с.

281. Фукс-Рабинович Л. Й. Оптико-электронные приборы. / Фукс-Рабинович Л. Й., Елифанов М. В. – Л. : Машиностроение, 1979. – 362 с.

282. Carlsson T. E. Three-dimensional measurement using light-in-flight speckle interferometry / Carlsson T.E., Wei A. // In: Proc. 3rd Int. Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns, W. Jueptner and W. Osten, eds. Akademie Verlag, Berlin, 1997. – P. 164–170.

283. Патент №67494А Україна. МПК⁶ G 01 C 3/00. Лазерний далекомір / Й. Й. Білінський, О. В. Федун. : заявник і патентовласник – Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.06.04, Бюл. № 6.

284. Патент №43209А Україна. МПК⁶ G 01 C 3/00. Світлодалекомір / Й. Й. Білінський, О. В. Федун. : заявник і патентовласник – Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10.

285. Bilynskiy J. J. Optoelektronic rangefinder / Bilynskiy J. J., Fedun O. V. // Photonics-ODS 2000: International Scientific Optoelektronic Information Technologies, SPIE, 2-6 oct. 2000 : abstract – New York–Vinnytsia, 2000. – P. 529–534.

286. Threedimensional optical profilometry for artwork inspection / [Schirripa Spagnolo G., Guattari G., Sapia C. et al.] // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2000. – Vol.2. – P. 353–361.

287. Surrel J. The fringe projection technique for shape acquisition of live biological objects” / Surrel J., Surrel Y. // J. Opt. – 1998. – V.29. – P. 6–13.

288. Notni G. 360-deg shape measurement with fringe projection: calibration and application / Notni G. // In:FRINGE’01, 4th Int. Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns, W. Osten and W. Jueptner, eds. ELSEVIER. – 2001. – P. 311–323.

289. Gurov I. Rough surface shape retrieval in a fringe projection technique by the image enhancement and fringe tracing method / Gurov I., Vozniuk J. // In: Proc. QCAV’2001, Int. Conf. on Quality Control by Artificial Vision (Le Creusot, France, May, 21-23, 2001), Toulouse, CEPADUES-EDITIONS, 2001. – V.1. – P.79-84.

290. Posdamer J. L. Surface measurement by space-encoded projected beam systems / Posdamer J. L., Altschuler M. D. // Computer Graphics and Image Processing. – 1982. – Vol.18, №.1. – P. 1–17.

291. Kujawinska M. Real-time 3D shape measurement based on color structure light projection / Kujawinska M., Wegiel M., Sitnik R. // In: FRINGE’01, 4th Int. Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns, W. Osten and W. Jueptner, eds. ELSEVIER. – 2001. – P. 324–331.

292. Salvi J. Pattern codification strategies in structured light systems / Salvi J., Pagus J., Batlle J. // Pattern Recognition. – 2004. – Vol. 37, №. 4. – P. 827–849.

293. Shtuchkin A. Structured light range sensing using color patterns and two stage dynamic programming / Shtuchkin A., Gurov I. // In: Proc. OSAV’2004, Int. Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision (St. Petersburg, Russia, 19–21 October 2004). Saint Petersburg State University ITMO, 2004. – P. 40–47.

294. Zhang Li Rapid shape acquisition using color structured light and multipass dynamic programming / Zhang Li, Curless B., Seitz S. // Int. Symp. on 3D Data Processing, Visualization and Transmission. Padova, Italy, 2002. – P.24-36.

295. Білінський Й. Базовий оптико-електронний вимірювач лінійних величин / Білінський Й., Білінський В., // PHOTONICS-ODS 2002: 2-а Міжнар. конф., 23–25 квітня 2002 р. : тези доп. – Вінниця, 2002. – С. 88.

296. Білінський Й. Й. Оптико-електронний далекомір / Білінський Й.Й., Юкиш С. В., Юкиш М. Й. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. – Донецьк, 2007. – С. 220–225.

297. Патент 68904А Україна МПК⁶ G 01 Н 9/00. Пристрій вимірювання амплітуди малих лінійних переміщень / Й. Й. Білінський, М.Й. Білінська, В. В. Кухарчук. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 16.08.04, Бюл. № 8.

298. Патент 50240А Україна МПК⁶ G 01 С 3/06. Лазерний пристрій для вимірювання відстані / Гречановський В. О., Білінська М. Й., Білінський В. Й. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; № 2001128241, заявлено 03.12.2001 ; опубл. 15.10.2002, бюл. №10. – 3 с.

299. Билинский В. И. Оптико-электронная система определения формы и размеров объектов / Билинский В. И. // XXXI Гагаринские чтения. Тезисы докладов Международной молодежной конференции. – Т. 8. – М.: МАТИ. – 2005. – С. 94–95.

300. Білінський Й. Й. Пристрій розпізнавання зображень на основі шаблонів і класифікаторів / Білінський Й. Й. Білінський В. Й. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – №1(13) – С. 41–45.

301. Патент 19722А Україна. МПК А 61 F 9/08. Пристрій для визначення перешкод людьми з обмеженим зором / Й. Й. Білінський, В. Й. Білінський, О. В. Федун. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.12.06, Бюл. № 12.

302. Білінський Й. Й. Оптико-електронна система постави тіла людини / Білінський Й. Й. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – Т.1, № 3. – С. 129–133.

303. Distributed Arithmetic FIR Filter [Електронний ресурс], www.xilinx.com.

304. Зотов В. Инструментальный комплекс Spartan-3 Starter Kit / Зотов В. // Компоненты и технологии. – 2005. – №7. – С. 96–100.

305. Патент 33980 Україна. МПК G 01 K 9/64. Спосіб ізотропного виділення контуру зображення/ Й. Й. Білинський, С. В. Юкиш., П. М. Ратушний. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.

306. Патент 32886 Україна. МПК G 06 K 09/64. Спосіб автоматичного визначення порога бінаризації зображення / Й. Й. Білинський, Т. М. Крисак. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 10.06.08, Бюл. №11.

307. Патент України № 7933 . МПК G 01 B 11/25. Пристрій для контролю рельєфності виробу / Й. Й. Білинський, О. С. Городецька, П. М. Ратушний. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет ; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.

308. Білинський Й. Й. Реалізація детектора виділення контуру на ПЛІС фірми Xilinx [Електронний ресурс] / Білинський Й. Й., Білинський В. Й., Мельничук А. О. // Наукові праці ВНТУ – 2008. –№ 2. – Режим доступу до журн. : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/uk.htm>.

Наукове видання

Білінський Йосип Йосипович

**МЕТОДИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ
В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

Редактор С. Малішевська
Оригінал-макет підготовлено Й. Білінським

Підписано до друку 15.06.2010 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 15,71
Наклад 100 прим. Зам № 2010-110

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.