

ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 681.784

МЕТОД ВІДТВОРЕННЯ ФУНКЦІЇ ХВИЛЬНОЇ АБЕРАЦІЇ ЗА КАРТИНАМИ ІЗОДІОПТРИЙНИХ ЗОН НА ЗІНИЦІ ОКА

Чиж І.Г., Афончина Н.Б., Якименко Т.М. Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Головною задачею даної роботи є створення математичного алгоритму відновлення функції хвильової аберації за результатами відеозапису картин ізодіоптрійних зон у площині зіниці. Першою процедурою відновлення є цифрова фільтрація відеокадрів з метою виділення ізодіоптрійних зон освітленості фотоприймача. Другою процедурою є виявлення кутових координат променів, що виходять з ока. Третя процедура – відновлення функції хвильової аберації у зіничних координатах. Для цього використовується апроксимація поліномами Церніке. Амплітуди абераційних мод відновлюються за допомогою метода найменших квадратів або сингулярним розкладом.

Ключові слова: модифікований метод Фуко, аберометрія ока, хвильова аберація, ізодіоптрійні зони.

Вступ

Рефрактометрія ока є невід’ємною частиною успішного лікування або корекції вад зору. Від точності попередніх вимірювань параметрів ока істотно залежить ефективність подальшої корекції.

Відомі сучасні офтальмоаберометричні прилади здатні задовольнити сучасні потреби клінічної практики, але, на жаль, вони мають низку недоліків, що перешкоджають їх використанню в будь-якій офтальмологічній клініці або кабінеті. До найбільш суттєвих недоліків можна віднести надмірний обсяг отриманої інформації, достовірність якої на сьогодні не має надійного підтвердження, а також висока ціна. У зв’язку з цим, актуальним є створення портативного абераційного рефрактометра, який дозволяв би простими апаратними засобами визначати первинні аберації ока, такі як аметропія, первинний астигматизм, первинна кома, сферична аберація, і мав би при цьому ціну, набагато нижчу у порівнянні з уже існуючою апаратурою.

Переліченим умовам задовольняє метод просторово роздільної рефрактометрії ока, оснований на використанні просторового фільтру у зоні «повітряного» зображення освітленої мікрозони на сітківці [1]. Цей метод, який отримав назву модифікований метод Фуко, є одним з нових в офтальмологічній аберометрії. Його привабливість обумовлена відносною простотою апаратного забезпечення. У цьому методі поки ще невирішеною залишається задача точного відновлення функції хвильової аберації оптичної системи ока з карти рефракції (контурної карти ізодіоптрійних зон) в площині зіниці, отриманої за допомогою вищезгаданого модифікованого методу Фуко. Пошук ефективного алгоритму розв’язання цієї задачі є головною метою даної роботи.

Отримання картин ізодіоптрійних зон зіниці ока за допомогою модифікованого методу Фуко

На рис. 1 представлена функціональна схема вимірювача абераційної рефракції ока, призначеного для пошуку ізодіоптрійних зон модифікованим методом Фуко.

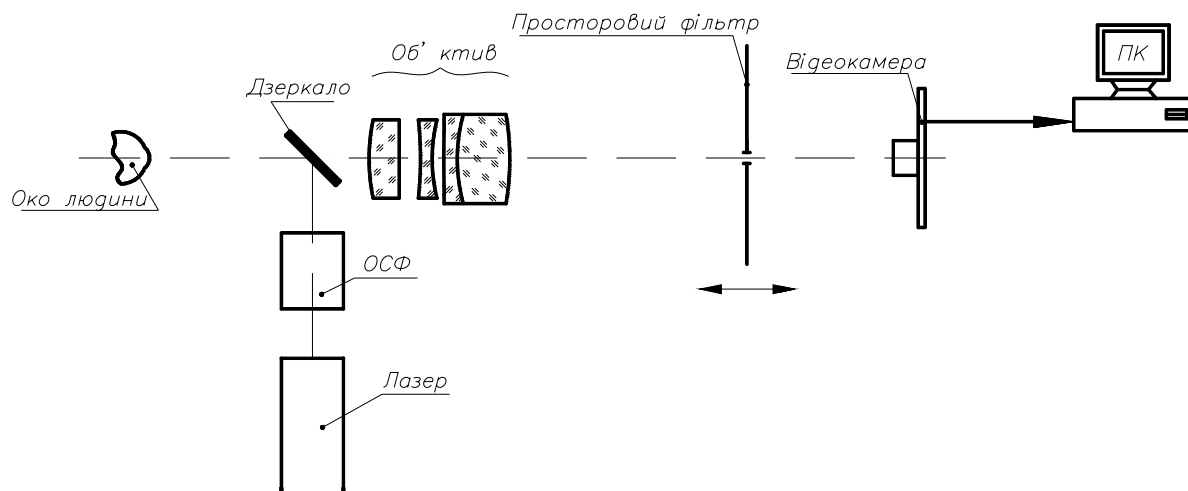


Рис. 1. Функціональна схема вимірювача абераційної рефракції ока з аналізатором ізодіоптрійних зон зіниці, де ОСФ – оптична система формувача лазерного пучка

Вимірювач складається з освітлювальної та вимірювальної систем, оптичні осі яких поєднуються за допомогою світлоділильного елемента. Освітлювальна система містить джерело випромінювання (лазер) та оптичну систему для формування світлової мікроплями від лазерного випромінювання на сітківці ока (ОСФ). До складу вимірювальної системи входять: 1) об'єктив для формування зображення освітленої ділянки сітківки ока в променях, які виходять з ока, 2) просторовий фільтр у вигляді круглої мікродіафрагми та 3) пристрій швидкої телевізійної реєстрації зображення зіниці ока.

Світло, розсіяне на жовтій плямі, повністю заповнює зіницю ока і створює оптичною системою ока в зворотному напрямку “повітряне” зображення освітленої зони сітківки, яке, в свою чергу, вдруге формується об'єктивом в площині просторового фільтру. Внаслідок залежності рефракції променів від їх координат у площині зіниці ока, «повітряне» зображення розтягується вздовж візуальної осі. Тому його вторинне зображення, створене об'єктивом у зоні розташування просторового фільтру, також буде розтягнутим вздовж оптичної осі і сформованим на різних відстанях від заднього фокуса цього об'єктива залежно від абераційного розсіювання променів, що надходять від різних ділянок зіниці.

Промені, які надходять від різних зон зіниці з однаковою рефракцією, фокусуються на однакових відстанях від об'єктива. Тому, при фіксованому положенні просторового фільтру (мікродіафрагми), через отвір проникають промені, які відповідають певній величині рефракції ока. При цьому на світлочутливій

поверхні фотоприймача формуються освітлені ділянки, які у сукупності представляють собою контур на зіниці з однаковою рефракційною силою (ізодіоптрійну зону). При кожному новому положенні просторового фільтру вздовж оптичної осі рефрактометра, в площині фотоприймача будуть формуватися ізодіоптрійні зони, які мають іншу рефракційну силу. Ці зони реєструються в окремих 30-50 кадрах відеозапису за долі секунди та зберігаються в пам'яті комп'ютера для подальшої математичної обробки.

Алгоритм відтворення функції хвильової аберації за картинами ізодіоптрійних зон

Першою процедурою алгоритму є оконтурювання ізодіоптрійних зон з використанням для цього відомих методів цифрової фільтрації.

Другою процедурою є відтворення кутових координат (σ_x, σ_y , або їх тангенсів), необхідних для математичного представлення положення кожного окремого променя в просторі перед оком. Маються на увазі ті промені, що надходять із ока та приймають участь у формуванні конкретних ізодіоптрійних зон в площині зіниці.

Просторове положення кожного окремого променя визначається координатами точки на зіниці, з якої надходить промінь, та координатою положення просторового фільтру. Через ці дані визначаються поперечні аберації променів ($\delta x', \delta y'$, див.рис.2), які потім дозволяють відновити функцію хвильової аберації $W(y, x)$, [2]:

$$\begin{aligned} \delta x' &= \frac{R}{n} \frac{\partial W(x, y)}{\partial x} & \frac{\delta x'}{R/n} &= \operatorname{tg} \sigma_x = \frac{\partial W(x, y)}{\partial x} \\ \delta y' &= \frac{R}{n} \frac{\partial W(x, y)}{\partial y} & \Rightarrow \frac{\delta y'}{R/n} &= \operatorname{tg} \sigma_y = \frac{\partial W(x, y)}{\partial y} \end{aligned} \quad (1)$$

де R – радіус сфери деформованого хвильового фронту, n – показник заломлення скловидного тіла ока.

Розрахунки $\operatorname{tg} \sigma_x$ і $\operatorname{tg} \sigma_y$ (рис.3) виконуються за формулами, наведеними у табл.1.

Таблиця 1. Формули для розрахунків $\operatorname{tg} \sigma_y, \operatorname{tg} \sigma_x$

Зміщення МД в напрямку від фотоприймача	Зміщення МД в напрямку до фотоприймача
$\operatorname{tg} \sigma_x = \frac{3d \cdot l_x}{(z + f')(z' + d)}$	$\operatorname{tg} \sigma_x = \frac{3d \cdot l_x}{(z + f')(z' - d)}$
$\operatorname{tg} \sigma_y = \frac{3d \cdot l_y}{(z + f')(z' + d)}$	$\operatorname{tg} \sigma_y = \frac{3d \cdot l_y}{(z + f')(z' - d)}$

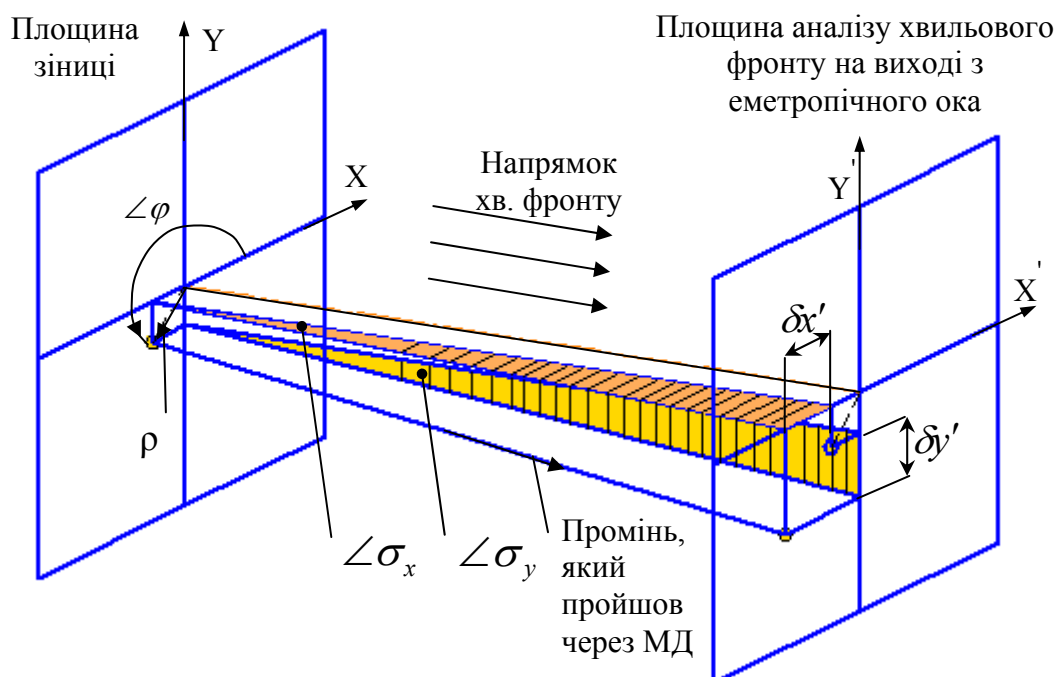


Рис. 2. До визначення кутових поперечних абераций $\delta x'$, $\delta y'$

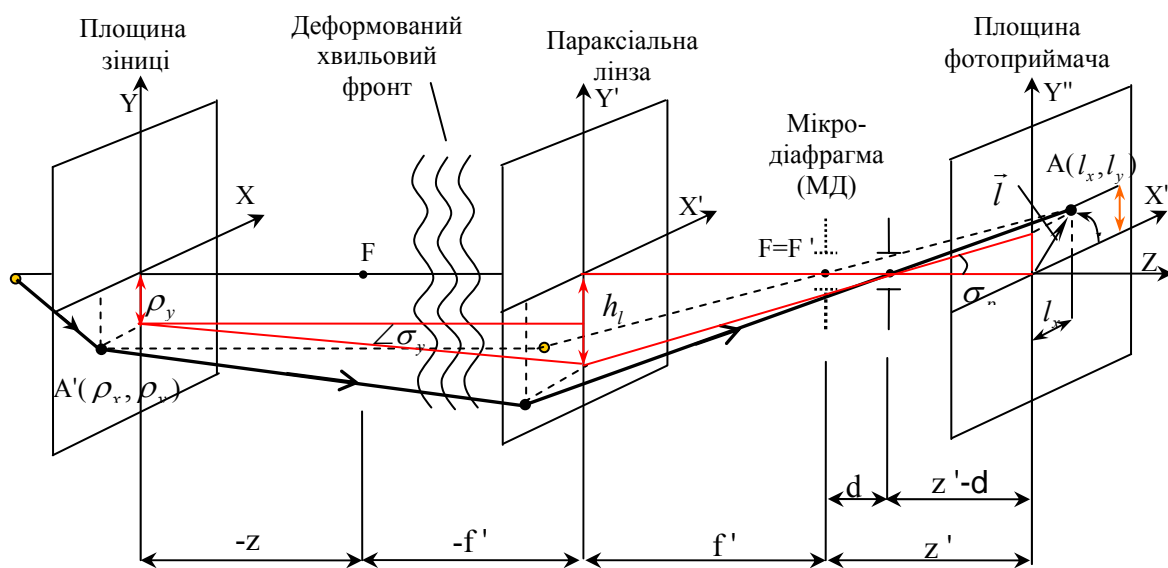


Рис. 3. До виводу формул розрахунків $tg\sigma_y$, $tg\sigma_x$

Третя процедура – відтворення функції хвильової абератії в зіничних координатах методом апроксимації цієї функції поліномами Церніке. Амплітуди абератійних мод церніковського розкладу відтворюються методом найменших квадратів або методом сингулярного розкладу [3] з використанням даних про величини $tg\sigma_y$, $tg\sigma_x$ кожного променя. Кількість променів, для яких в попередній процедурі розраховуються величини $tg\sigma_y$, $tg\sigma_x$, визначається потрібним максимальним степеневим порядком поліномів Церніке, якими апроксимується функція хвильової абератії оптичної системи ока.

Перевірка математичного алгоритму за допомогою комп'ютерного моделювання

Коректність запропонованого математичного алгоритму відновлення функції хвильової аберації була перевірена за допомогою комп'ютерного моделювання роботи аберометра з використанням для цього програми Ophtha, яка дозволяє за відомими полярними координатами променів на зіниці, а також за поперечними аберациями променів на сітківці відновити амплітуди аберацийних мод та карту деформації хвильового фронту. В процесі перевірки відновлювалися «чисті» аберацийні моди C_2^0, C_2^2, C_3^1 , а також попарно змішані C_2^0 і C_2^2, C_2^0 і C_3^1 .

Для розрахунку полярних координат на зіниці були використані координати точок контурів ізодіоптрійних зон, змодельованих в програмі Zemax. Оптична система аберометра, який моделювався, представлена на рис. 4.

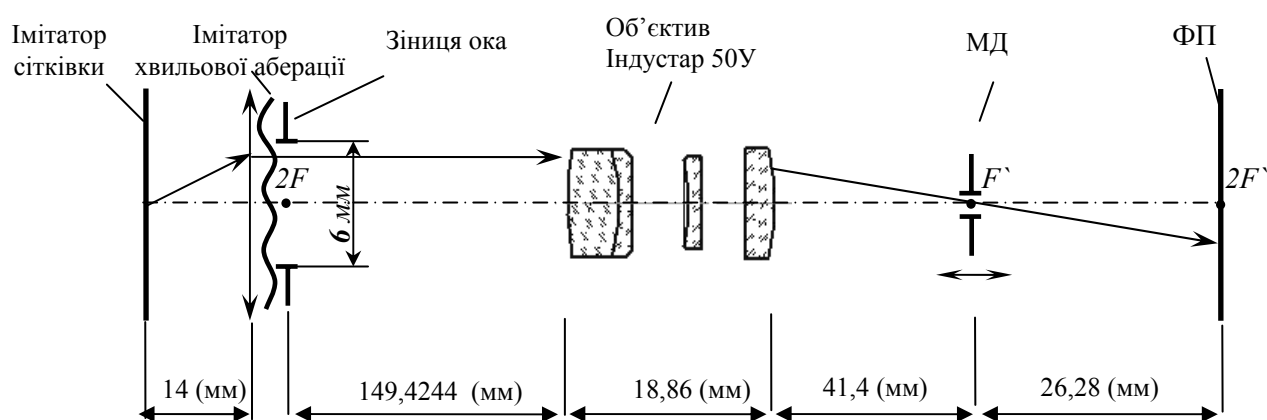


Рис. 4. Оптична система аберометра

Результати відновлення амплітуд церніковських коефіцієнтів представлені у таблицях 2 і 3.

Таблиця 2. Результат відновлення дефокуса, астигматизма та коми

Гіперметропія C_2^0							
[мкм] або (Дптр.)	К-ть використ. променів для аналізу	К-ть відеокадрів	Крок переміщення МД (мм)	Результати відновлення параметрів:			
				Сфера (Дптр.)	Циліндр (Дптр.)	Вісь (градуси)	Відновл. коэф. Церніке [мкм]
2,5981 (2)	128	8	1	1,92	0,1	143	2,563
3,8971 (3)	128	8	1	2,95	0,03	0	3,852
5,1962 (4)	128	8	1	3,99	0,01	0	5,189
6,4952 (5)	112	7	1,5...1	5	0,03	90	6,514

Продовження таблиці 2

Астигматизм C_2^2							
1,8371 (2)	176	11	1	-1,01	2,04	0	1,874
4,5928 (5)	288	18	1	-2,46	4,98	180	4,570
Кома C_3^1							
0,4	142	6	1	-0,04	0,09	45	0,365

Таблиця 3. Результат відновлення двох змішаних абераційних мод

C_2^0 та C_2^2								
Вид аберації	[мкм] або (Дптр)	К-ть використ. променів для аналізу	К-ть відеокадрів	Крок переміщення МД (мм)	Результат відновлення параметрів			
					Сфера (Дптр.)	Циліндр (Дптр.)	Вісь (градуси)	Відновл. коеф. Церніке (мкм)
Дефокус C_2^0	5,1962 (4)	128	8	1	2,9	2,19	180	5,184
Астигматизм C_2^2	2,7557 (3)							2,007
C_2^0 та C_3^1								
Дефокус C_2^0	5,1962 (4)	120	8	1	3,9	0,24	108	5,225
Кома S_3^{-1}	0,4							0,3467

Висновки

1. Запропонований метод відтворення хвильової аберації ока дозволяє через виявлення ізодіоптрийних зон в площині зіниці ока достатньо точно відтворювати абераційні вади оптичної системи ока нижчих степеневих порядків – дефокусу, астигматизма та коми.

2. Комп'ютерне моделювання підтвердило коректність розробленого алгоритму відновлення функції хвильової аберації та параметрів абераційних вад ока за результатами відтворення ізодіоптрийних зон.

3. Наступні кроки в розвитку аберометрії ока модифікованим методом Фуко повинні бути спрямовані на макетування аберометра та проведення експериментальних досліджень похибок його функціонування.

Література

1. Пат. 54570 Україна, МКВ А61В3/00. Рефрактометр з просторовим розділенням / Чиж І.Г., Сокурєнко В.М.; Заявл. 29.06.2000; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
2. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М.: Наука, 1970. – 856 с.
3. Бронштейн И.Н. СССР. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: [Справочник] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - М., 1981. – 720 с.

И.Г. Чиж, Н.Б. Афончина, Т.Н. Якименко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ВОЛНОВОЙ АБЕРРАЦИИ ПО КАРТИНАМ ИЗОДИОПТРИЙНЫХ ЗОН НА ЗРАЧКЕ ГЛАЗА

Главной задачей данной работы является создание математического алгоритма восстановления функции волновой aberrации по результатам видеозаписи картин изодиоптрийных зон в плоскости зрачка. Первой процедурой восстановления является цифровая фильтрация видеокадров с целью выделения изодиоптрийных зон освещенности фотоприемника. Второй процедурой является определение угловых координат исходящих из глаза лучей. Третья процедура – восстановление функции волновой aberrации в зрачковых координатах. Для этого используется аппроксимация полиномами Цернике. Амплитуды aberrационных мод восстанавливаются посредством метода наименьших квадратов или сингулярного разложения.

Ключевые слова: модифицированный метод Фуко, aberрометрия глаза, волновая aberrация, изодиоптрийные зоны.

Igor H. Chizh, Nataliya B. Afonchyna, Tatyana M. Yakimenko

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

THE ALGORITHM OF WAVE ABERRATION FUNCTION RECOVERY BY PICTURES OF PUPIL ISODIOPTR ZONES

The main objective of this paper is to develop a mathematical algorithm for reconstruction of the wave aberration function, based on processing images of isodioter zones, video-recorded at the pupil plane. To extract isodioter zones from a photodetector illuminance picture, the first procedure should be digital filtering of video-images. The second procedure is to determine "in front of the eye" the angular coordinates of rays, emitting from the eye. These rays forms isodioter zones in the pupil plane. The third procedure is to reconstruct the wave aberration function in pupil coordinates. For this purpose, the approximation with Zernike polynomials is applied. Amplitudes of aberration modes are reconstructed using the least-squares method or singular decomposition.

Keywords: modified Foucault method, eye aberrometry, wave aberration, isodioter zones.

*Надійшла до редакції
15 вересня 2010 року*

УДК 616.008.922.1

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ НЕІНВАЗИВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВМІСТУ КИСНЮ В ОРГАНІЗМІ

*Котовський В.Й., Осауленко В.Л., Довженко О.П. Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Наведено схемні та технічні рішення розробленого лабораторного зразка двоканального приладу для дослідження розподілу pO_2 в підшкірних тканинах БО з можливістю автоматичного калібрування датчиків кисню з урахуванням зміни атмосферного тиску. Проведені попередні дослідження приладу з розробленими раніше датчиками кисню показали його високу ефективність і рівень повторюваності, що було забезпечено використанням сучасної елементної бази та схемотехнічних рішень. Прилад забезпечує виконання неінвазивних вимірювань pO_2 в підшкірних тканинах БО по двох каналах в діапазоні від 0 до 200 мм рт.ст. Основна абсолютна похибка вимірювань в газовому середовищі становить ± 2 мм рт.ст. Час