

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМ. ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

На правах рукопису

Бесага Роман Миколайович

Тонка структура статистичних оптичних полів
та відновлення інформації за розподілом
квадрату модуля амплітуди.

01.04.05 - оптика, лазерна фізика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці - 1996

35,37

ДВ 36.043

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Чернівецькому національному університеті ім. Юрія Федьковича

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00760705 (P)

Науковий керівник:

мохунь пор іванович

Офіційні опоненти:

член-кореспондент НАН України
доктор фізико-математичних наук,
професор Соскін Марат Самоїлович

кандидат фізико-математичних наук,
доцент Ушенко Олександр Григорович

Провідна організація:

Одеський державний університет
ім.І.І. Мечникова
Науково-дослідний інститут фізики

Захист дисертації відбудеться "29" січня 1997 р. о "14" годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 07.01.05 при Чернівецькому державному університеті ім. Ю. Федьковича за адресою:
274012, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чернівецького державного університету ім. Ю. Федьковича.

Автореферат розіслано "27" серпня 1996 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,

Полянський П.В.

Загальна характеристика роботи.

Актуальність теми. Дослідження розповсюдження статистичних оптичних полів, їх реєстрація та відновлення характеристик, інформації про об'єкти мають велике значення в фундаментальному та прикладному аспектах.

Важливе місце в дослідженнях поля займає вивчення особливих областей, де амплітуда перетворюється в нуль. Це зумовлено тим, що в цих областях поведінка поля є нетривіальною і його характеристики суттєво відрізняються від характеристик в зонах із ненульовим значенням амплітуди. По аналогії з фізикою твердого тіла при вивченні особливих точок для оптичних полів введено поняття дислокації. Показано існування гвинтових дислокацій хвильового фронту для статистичних (спекл-) полів в околі нуля амплітуди.

Проблема нулів амплітуди має суттєве значення також при відновленні фази поля за розподілом квадрату модуля його амплітуди. Відомо, що для вирішення такої оберненої задачі необхідно мати додаткову апіорну інформацію. Безопорна голограма (БГ) є тим специфічним алгоритмом відновлення інформації, при використанні якого розв'язок оберненої задачі стає коректним.

Отже, проблема дослідження поля в околі точок сингулярностей, пошук нових алгоритмів його відновлення за розподілом квадрату модуля амплітуди, аналіз зображення при використанні методів БГ об'єднуються в єдину задачу.

Проблемі дослідження оптичного когерентного випромінювання в околі нулів амплітуди поля вже давно приділяється значна увага. Можна стверджувати, що в скалярному наближенні ця задача розв'язана практично до кінця. Розглянуто зародження дислокацій в статистичних полях, їх густину в площині аналізу, показано детермінований характер спекл-поля, що визначає знак наявних дислокацій і тих, що утворюються в результаті розповсюдження поля (знаковий принцип). В рамках цього підходу показана стійкість дислокацій хвильового фронту, встановлено, що їх розповсюдження в просторі здійснюється вздовж визначеної лінії - лінії нуля. При цьому стверджується, що при наближенні до точки нуля амплітуд градієнт хвильового вектора необмежено зростає, а в самій точці нуля фаза невизначена.

Зазначимо, що здійснені спроби фізичного та комп'ютерного моделювання дислокацій. Показана можливість голографічної реєстрації та відновлення гвинтової дислокації хвильового фронту.

В аспекті вивчення поля за допомогою БГ також досягнуті значні успіхи. Така голограма представляє собою зафіксований на фотоносії розподіл квадрату модуля амплітуди поля, що розсіяне об'єктом.

Можливість запису та асоціативного відновлення БГ показав Ван Хірден. Сформульовані принципи неасоціативного відновлення інформації з БГ.

Найважливішою властивістю БГ, яка визначає її наукову і практичну значимість, є асоціативний характер запису та відновлення інформації. Важливо те, що для отримання БГ не потрібно формувати опорний пучок. Це дає можливість значно спростити оптичну схему, ефективно використовувати оптичне випромінювання, зменшувати вимоги до його когерентності.

Властивості БГ зумовлюють її широке застосування в різноманітних пристроях оптичної обробки інформації, голографічних запам'ятовуючих пристроях, оптичних нейронних мережах, при відновленні зображень за розподілом інтенсивності і т.і.

За визначенням БГ, зареєстрована на фотоносії інтерференційна картина є спекл-картиною. З цієї точки зору вивчення БГ тісно пов'язане з дослідженнями статистичних оптичних полів і сингулярної оптики.

Проте, до цього часу залишається низка нерозв'язаних питань у дослідженнях спекл-полів та БГ: не врахований векторний характер поля при дослідженнях оптичних сингулярностей, здійснені тільки перші спроби їх моделювання, не до кінця виявлені фізичні механізми неасоціативного відновлення інформації, не достатньо проаналізовано якість зображення, як для асоціативного так і для неасоціативного методів відновлення. Існує необхідність розробки нових алгоритмів запису та відновлення інформації.

В цьому полягає актуальність теми.

Мета дисертаційної роботи.

Дослідження статистичних оптичних полів в областях малих амплітуд при наявності оптичних сингулярностей з врахуванням векторного характеру, дослідження формування відновленого із

безопорної голограми зображення та його властивостей при асоціативному та неасоціативному способах відновлення інформації.

Метод та предмет досліджень. Для досягнення цієї мети вирішувались такі конкретні задачі:

- Дослідження статистичних векторних оптичних полів в областях малих амплітуд.
- Пошук нових шляхів фізичного моделювання оптичних сингулярностей та їх дослідження.
- Дослідження властивостей зображень, що відновлені із БГ при асоціативному та неасоціативному способах відновлення інформації.

В роботі використовувались методи кореляційного аналізу, еліпсометрії та голографії.

Основні положення, що виносяться на захист:

1. У векторних статистичних когерентних оптичних полях незалежно від властивостей розсіюючого об'єкта абсолютний нуль амплітуди, який передбачає одночасну рівність нулю всіх трьох компонентів, не досягається. Швидкість зміни хвильового вектора в околі нуля амплітуди сумірна або така сама як і в будь-якій іншій точці поля.

2. При інтерференції двох елементарних хвиль з фазами, що плавно змінюються, і близькими за величиною амплітудами, що плавно змінюються, (хвильова зона) у сусідніх мінімумах інтерференційної картини на лінії рівності амплітуд, утворюються гвинтові дислокації, фаза яких відрізняється на π .

3. Безопорна голограма дозволяє відновлювати зображення з високою якістю асоціативним і неасоціативним методами: відношення сигнал - шум для тонкої голограми при лінійному записі складає величину порядку 5, при нелінійному записі - менше 5, для тримірної безопорної голограми величина відношення сигнал-шум сумірна із величиною відношення сигнал-шум у голографічному кореляторі Ван-дер-Люгта і визначається кількістю відновлюючих пікселів. Величина відношення сигнал - шум і роздільна здатність не залежить від дисперсії фази відновлюючої виборки при неасоціативному методі відновлення.

Новизна наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі, полягає в тому, що:

- вперше проведено аналіз особливих точок статистичного поля із врахуванням векторного характеру і показано, що для векторних статистичних оптичних полів абсолютний нуль амплітуд не досягається, незалежно від типу граничного поля, що зформоване об'єктом;

- вперше показано, що існують фізичні ситуації в зонах поля, при яких поле поводить ся аналогічно околу абсолютного нуля амплітуди. Визначені умови реалізації таких ситуацій в залежності від характеристик граничного поля, що зформоване об'єктом;

- вперше показано детермінований характер зміни поляризаційних характеристик в околі нуля амплітуди поля, що визначається типом дислокацій в зоні аналізу;

- вперше показано, що при інтерференції двох елементарних хвиль з фазами, що плавно змінюються, і близькими по величині амплітудами, що плавно змінюються, в сусідніх мінімумах інтерференційної картини на лінії рівності амплітуд утворюються гвинтові дислокації, фаза яких відрізняється на π ;

- вперше визначено відношення сигнал - шум у фантомному зображенні полів, що відновлюються з тонкої та об'ємної безопорної голограми для лінійного та нелінійного способу запису;

- вперше показано, що при неасоціативному способі відновлення безопорна голограма дозволяє відновлювати зображення з відношенням сигнал-шум і роздільною здатністю не гірше, ніж при асоціативному способі відновлення.

Теоретична та практична цінність роботи.

Результати роботи по дослідженню полів в областях малих амплітуд можуть бути використанні при розробці пристроїв обернення хвильового фронту та розробці нових методів метрології статистичних когерентних полів. Результати роботи можуть бути використані при конструюванні нового типу одноканальних кореляційних систем оптичної обробки інформації. Результати роботи можуть бути використані при конструюванні асоціативних запам'ятовуючих пристроїв і нейроподібних мереж.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 друкованих праць. Список наведено в кінці автореферату.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: XIV Міжнародній конференції по когерентній та нелінійній оптиці (КиНО'91), м. Ленінград; Міжнародному семінарі "Лазерна мікротехнологія і лазерна діагностика поверхні" (LAmiLAdis-91), м. Чернівці; Міжнародній конференції "From Galileo's "occialino" to optoelectronics", м. Падуя, Італія, 1992 рік; Міжнародній конференції "Фазовий контраст/Диференційний інтерференційний контраст", м. Варшава, Польща, 1992 рік; Міжнародній конференції по голографії, кореляційній оптиці та реєструючим матеріалам, м. Чернівці, 1993 рік; 16-тому конгресі Міжнародної комісії по оптиці "Оптика як ключ до високих технологій", м. Будапешт, Угорщина, 1993 рік; Міжнародній конференції "Diffractionometry&Scatterometry", м. Варшава, Польща, 1993 рік; Міжнародній конференції "Photonics'95", Прага, Чехія, 1995 рік; Міжнародній конференції "Голографія та кореляційна оптика", м. Чернівці, 1995 рік; 17-тому конгресі Міжнародної комісії по оптиці "Оптика для науки і нових технологій", Корея, 1996 рік.

Особистий внесок. Основні результати, що наведені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. Науковий керівник сформулював завдання досліджень, брав участь в теоретичних розрахунках, аналізі та інтерпретації результатів. Співавтори брали участь в розрахунках, що викладені в першому параграфі першого розділу та другому параграфі третього розділу, проведенні експерименту, що викладений в першому параграфі третього розділу.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків і списку цитованої літератури. Робота містить 82 сторінки машинописного тексту, 27 рисунків та список цитованої літератури із 129 найменувань. Загальний об'єм складає 120 сторінок.

Зміст роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність проведених досліджень, сформульовано мету роботи, завдання досліджень, обговорюється новизна, практична цінність роботи, наведені положення, що виносяться на захист.

В першому розділі зроблено короткий огляд існуючих розробок по дислокаціях хвильового фронту, наведені результати досліджень поля в околі малих амплітуд, де хоч один із компо-

нентів перетворюється в нуль. Показано, що незалежно від типу об'єкта, що розсіює (фазовий екран або об'ємно розсіюючий об'єкт), поле в околі малих амплітуд є поляризаційно неоднорідним. Поле компонентів в околі нуля амплітуди визначається співвідношенням:

$$E_l = a_l + b_l X + c_l Y + j(d_l + e_l X + f_l Y),$$

де $l=1,2,3$ відповідає координатам y, x, z , $a_l = \sum_1^N G_{ll}$, $d_l = \sum_1^N D_{ll}$,

$$b_l = -k \sum_1^N \frac{\Delta_{l2}}{s_l} D_{ll}, \quad c_l = -k \sum_1^N \frac{\Delta_{l1}}{s_l} D_{ll}, \quad e_l = k \sum_1^N \frac{\Delta_{l2}}{s_l} G_{ll}, \quad f_l = k \sum_1^N \frac{\Delta_{l1}}{s_l} G_{ll},$$

$$G_{ll} = B_{ll}^x \cos[k s_l + \varphi_{lx}] + B_{ll}^y \cos[k s_l + \varphi_{ly}], \quad \Delta_{l1} = y_0 - y_l, \quad \Delta_{l2} = x_0 - x_l,$$

$$D_{ll} = B_{ll}^x \sin[k s_l + \varphi_{lx}] + B_{ll}^y \sin[k s_l + \varphi_{ly}], \quad k = 2\pi/\lambda, \quad B_{ll}^x = \frac{A_{ly} z}{s_l s_{l1}},$$

$$B_{l2}^y = -\frac{A_{ly} \Delta_{l1} \Delta_{l2}}{s_l s_{l1} s_{l2}}, \quad B_{l3}^z = -\frac{A_{ly} \Delta_{l1}}{s_l s_{l1} s_{l2}}, \quad s_l = \sqrt{z^2 + \Delta_{l1}^2 + \Delta_{l2}^2}, \quad s_{l1} = \sqrt{z^2 + \Delta_{l1}^2},$$

$$s_{l2} = \sqrt{z^2 + \Delta_{l2}^2}, \quad x = x_0, \quad y = y_0.$$

Отже, результуюче поле визначається як сума статистично незалежних величин, тому можна зробити висновок, що ймовірність одночасної рівності нулю всіх трьох компонентів поля прямує до нуля. В спекл-полях можна вводити поняття нуля і лінії нуля тільки для компоненти поля. В цьому випадку справедливі всі співвідношення отримані за допомогою скалярного наближення.

Поле околу, де проявляються фізичні явища, що адекватні абсолютному нулю амплітуди, описуються наступним чином:

а) Для об'єктів, що формують просторово поляризаційно-неоднорідне поле.

Околу абсолютного нуля відповідає область, в якій нулі всіх трьох компонентів поля знаходяться на відстані не більшій від довжини хвилі випромінювання. Окіл нуля амплітуди поля є просторово ізольованою областю, розміри якої визначаються поляризаційними характеристиками об'єкта.

б) Для об'єктів, що не вносять змін в поляризацію опромінюючого поля (фазовий екран).

Околу абсолютного нуля відповідає область, у якій основна компонента поля (визначається поляризаційною модуляцією вхідного випромінювання) досягає нуля. При цьому в околі нуля основної компоненти поля всі три компоненти сумірні між собою, а розміри околу не перевищують довжини хвилі випромінювання. В просторі такий окіл є ізольованою областю, центр якої співпадає з лінією нуля основної компоненти.

Надалі ми будемо розглядати нулі амплітуди у розумінні ситуації, що відповідає моделі абсолютного нуля. У випадку досягнення нуля не всіма компонентами поля ми будемо називати таку ситуацію нулем компоненти або компонентів.

Поляризаційні характеристики в околі нуля амплітуд поля при обході точки нуля змінюються детермінованим чином. Конкретний тип поляризаційної модуляції визначається типом дислокації в ортогональних компонентах у зоні аналізу (рис.1)

Проведені експериментальні дослідження поляризаційно-неоднорідних полів. Показано, що "вилочка" локалізована на деякій відстані між мінімумом та максимумом спекл-картини. Загальна інтенсивність поля в точці "нуля" визначається сумою квадратів модулів амплітуди ненульових компонентів.

У другому розділі проведені теоретичні дослідження можливості формування та фізичне моделювання гвинтової дислокації при суперпозиції простих хвильових фронтів.

Показано, що при інтерференції двох елементарних хвиль із фазами, що плавно змінюються, і близькими за величиною амплітудами, що плавно змінюються, (хвильова зона) у мінімумі інтерференційної картини по лінії рівності амплітуд у полярній системі координат котангенс фази результуючого поля описується виразом:

$$\operatorname{ctg} \varphi = - \frac{\Delta A^X \cos \Phi + \Delta A^Y \sin \Phi}{A \mu_2^Y \sin \Phi} = \frac{\Delta A^X}{A \mu_2^Y} \operatorname{ctg} \Phi - \frac{\Delta A^Y}{A \mu_2^Y}$$

де $\Delta A^X = A_1^X - A_2^X$, $\Delta A^Y = A_1^Y - A_2^Y$, $A_1^X, A_1^Y, A_2^X, A_2^Y$ - похідні амплітуд першого і другого фронтів по координатам локальної системи координат X і Y, A - величина амплітуди фронтів у точці рівності амплітуд, μ_2^X, μ_2^Y - похідні фази другого фронту по координатам X і Y, Φ - кут обходу точки нуля.

Така залежність фази відповідає гвинтовій дислокації хвильового фронту. Ідеальний гелікоїд утворюється при $\Delta A^X / A\mu_2^Y = 1$, $\Delta A^Y / A\mu_2^Y = 0$.

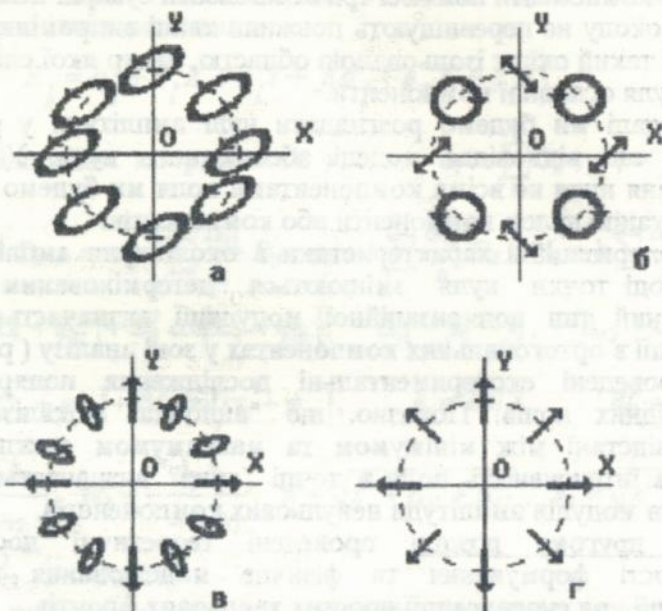


Рис.1

Поведінка поля в околі нуля амплітуд при наявності дислокацій в обох компонентах поля: а) гвинтові дислокації одного знаку; б) гвинтові дислокації різного знаку ($\tilde{\Psi}_1 - \tilde{\Psi}_2 = 0, |E_1| = |E_2|$); в) крайові дислокації

при $\frac{e_1}{b_1} \neq \frac{e_2}{b_2}$; г) крайові дислокації при $\frac{e_1}{b_1} = \frac{e_2}{b_2}$.

При цьому, слід зазначити, що в сусідніх мінімумах утворюються гвинтові дислокації різного знаку.

Проведено комп'ютерне моделювання інтерференції чотирьох сферичних хвильових фронтів. Координати точкових випромінювачів задавались так, що відстані від початку координат до точкових джерел однакові та дорівнюють ρ . Поляризація ви-

промінювання лінійна і азимут поляризації направлений вздовж осі ou . Початкова фаза випромінювачів задавалась $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$.

Вибрані умови забезпечують існування інтерференційного нуля амплітуд хоча б по одному компонентів амплітуди поля вздовж осі z на будь-якій відстані від об'єкта. Це дало можливість проаналізувати поле в області нуля в залежності від відстані до площини аналізу і просторового масштабу поля в зоні аналізу.

Показано, що у цьому випадку в точці нуля амплітуди основного, y -вого, компонента (задається вхідною поляризацією) утворюється гвинтова дислокація. Однак, в x -вому компоненті поля також утворюється гвинтова дислокація, але протилежного знаку. Залежність фази від азимута полярної системи координат показано на рис.2 (крива 1 - фаза y -вого компонента, 2 - фаза x -вого компонента, 3 - фаза z -вого компонента). Така залежність фази зберігається на будь-якій відстані до зони аналізу.

На рис. 3 представлена залежність фази від азимутального кута системи координат при різних величинах радіус-вектора (1 - на відстані $1/2$ періода ґратки, 2 - на відстані рівній $5/8$ періода), а на рис. 4 представлені компоненти амплітуди результуючого поля вздовж радіус-вектора полярної системи координат а) - із азимутом $\pi/4$, б) з азимутом 0 (1 - E_y , 2 - E_x , 3 - E_z , 4 - загальна інтенсивність). На рис. 5 наведені графіки залежності амплітуди загального поля (крива 1) та компонентів y, x, z (криві 2,3,4 відповідно) від відстані до зони аналізу.

Отже, робиться висновок, що при утворенні одиначної дислокації в одній із компонентів поля в ортогональній компоненті в цій же самій точці утворюється гвинтова дислокація протилежного знаку, розмір околу гвинтової дислокації сумірний просторовому масштабу інтерференційної картини. Для збереження топологічного заряду в полі гвинтові дислокації можуть мати різну амплітуду, але повинні мати протилежні знаки.

Проведено експериментальне дослідження впливу фазових неоднорідностей на хвильові фронти із сингулярностями. Показано, що при розповсюдженні поля з гвинтовою дислокацією в середовищі з слабкими фазовими неоднорідностями поле зазнає незначних спотворень (змінюється кутова розбіжність). При високочастотній фільтрації відновлюється ідеальний гелікоїдальний хвильовий фронт. У випадку "сильних" фазових неоднорідностей відновлення ідеального гелікоїдального фронту не можливе.

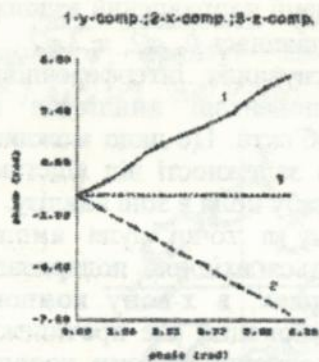
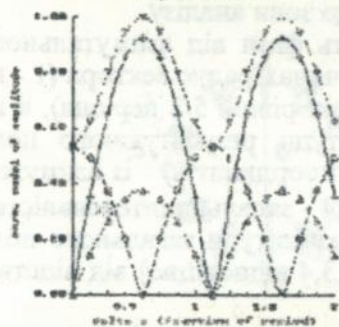


Рис.2

1-Ey, 2-Ez, 3-Ez, 4-E



а)

1-Ey, 2-Ez, 3-Ez, 4-E

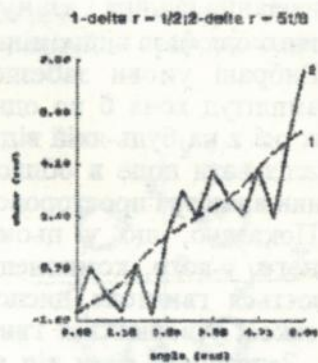
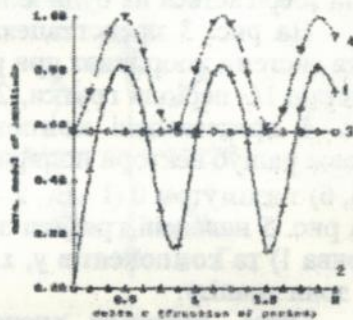


Рис.3

1-Ey, 2-Ez, 3-Ez, 4-E



б)

Рис.4

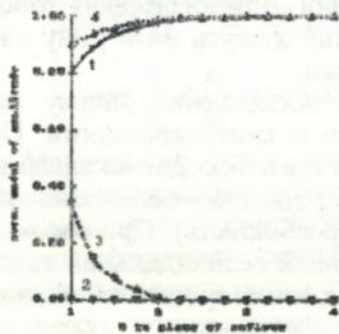


Рис.5

У третьому розділі розглядаються питання якості відновлених зображень із БГ при асоціативному і неасоціативному способах відновлення інформації, зроблено короткий огляд проблем БГ.

Теоретично досліджено відношення сигнал-шум для лінійної та нелінійної тонкої БГ. У цьому випадку відношення сигнал-шум залежить від кількості читаючих пікселів і при достатньо великій кількості складає величину порядку 5. Однак при просторовому розділенні фантомної та читаючої частин об'єктного поля відношення сигнал-шум залежить від співвідношення кількості пікселів у обох частинах поля. У випадку значного перевищення кількості пікселів у читаючій частині відношення сигнал-шум сумірне відношенню сигнал-шум у кореляторі Ван-дер-Люгта, при рівній кількості - складає величину порядку 16.

У випадку об'ємної БГ відношення сигнал-шум визначається, насамперед, кутовою селективністю. У двох граничних випадках величини кутової селективності відношення сигнал-шум у фантомному зображенні таке ж, як для тонкої голограми (кутова селективність прямує до нуля), або прямує до величини відношення сигнал-шум у кореляторі Ван-дер-Люгта у випадку абсолютної кутової селективності.

На рис.6 наведені криві зміни відношення сигнал-шум для різної кількості читаючих точок M в залежності від співвідношення

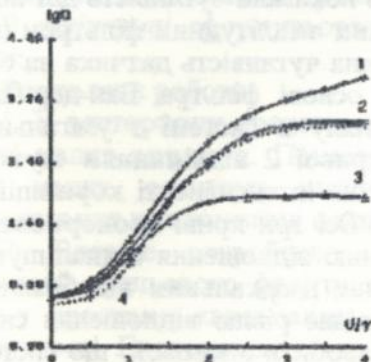


Рис.6.

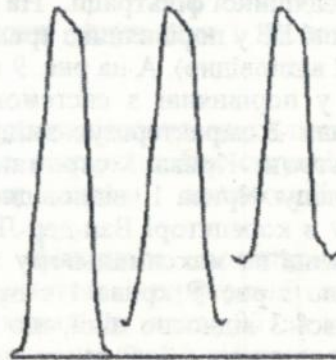


Рис.7.

кутової апертури об'єкту, що голографується U і кутової селективності безопорної голограми γ (криві 1 - $M=10000$, 2 -

$M=1000$, $3 - M = 100$), крива 4 - відповідає випадку нелінійної голограми при $\frac{J_1}{J_2} = 2$, де J_2 і J_1 - усереднені коефіцієнти розкладу в ряд Фур'є, s - номер гармоніки пропускання елементарних гра-

ток. Як видно з рис.6 для випадку, коли $\frac{U}{\gamma}$ менше одиниці,

відношення сигнал - шум не залежить суттєво від числа читаючих пікселів M . Крім цього, величина відношення сигнал - шум досягає граничного значення для незначної кількості вхідних пікселів.

Показано можливість відновлення інформації з БГ різнодисперсними виборками при неасоціативному способі відновлення інформації. Відношення сигнал-шум при відновленні фантомного зображення малими виборками та накопичення по інтенсивності ненабагато нижче, ніж у випадку традиційного відновлення, і при достатньо малих виборках прямує до величини $\pi+1$.

Проведено дослідження роздільної здатності. На рис.7 зображені пронормовані розподіли інтенсивності точок зображення (а - еталонне зображення, б - фантомне зображення відновлене традиційним методом, в - фантомне зображення відновлене неасоціативним методом).

Показано, що при традиційному відновленні БГ сигнал поводить ся аналогічно сигналу в системах традиційної кореляційної фільтрації. На рис. 8 показана чутливість датчика на основі БГ у порівнянні з традиційним амплітудним фільтром (криві 1 і 2 відповідно). А на рис. 9 показана чутливість датчика на основі БГ у порівнянні з системою на основі фільтра Ван-дер-Люгта. Крива 2 характеризує зміну сигналу в системі з узагальненим фільтром. Крива 3 отримана з кривої 2 відніманням шумового сигналу. Крива 1 відповідно - зміна інтенсивності кореляційного піку в кореляторі Ван-дер-Люгта. Всі три криві пронормовані до одиниці по максимальному значенню відношення сигнал-шум. Як видно з рис. 9 крива 1 є практично дзеркальним відображенням кривої 3 відносно лінії, що відповідає рівню відношення сигнал-шум порядку 0.5. З цього можна зробити висновок, що система з узагальненим узгодженим фільтром поводить ся аналогічно до корелятора Ван-дер-Люгта. Таким чином, можна стверджувати,

що при відповідному виборі реєструючого середовища (з достатньою куговою селективністю) система з узагальненим узгодженим фільтром має чутливість не гіршу, ніж система з кореляційним фільтром Ван-дер-Люгта.

Проте, вихідним сигналом у системі з БГ є зображення, тобто можливі локальні дослідження змін, що відбуваються в об'єктному

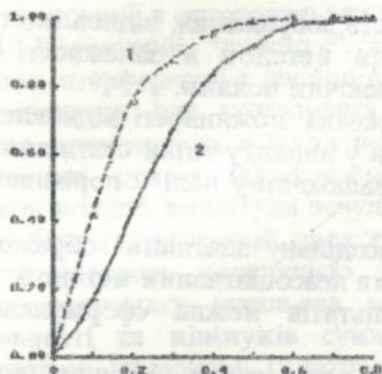


Рис. 8.

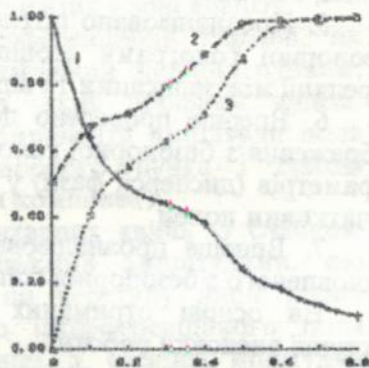


Рис. 9.

полі. Крім цього, відсутність у системі з БГ опорного пучка дозволяє використовувати когерентні джерела з малою довжиною когерентності, зменшує вимоги до віброізоляції системи, підвищує захищеність від перешкод і дає можливість досліджувати сигнали, що пройшли значні оптичні траси.

В закінченні сформульовані основні результати і висновки роботи:

Результати роботи:

1. У векторному представленні проаналізовано спекл-поля в області малих амплітуд. Показано, що поляризаційна ситуація в околі малих амплітуд визначається типом дислокацій в ортогональних компонентах поля.

2. Вперше розроблено метод фізичного моделювання дислокацій хвильового фронту за допомогою інтерференції двох хвиль з простими хвильовими поверхнями та плавною зміною інтенсивності. Експериментально показано, що гвинтові дислокації виникають навіть при інтерференції двох квазіплоских фронтів.

3. Проаналізовано розповсюдження хвильових поверхонь з дислокаціями через ідеальну оптичну систему та систему з фазовими неоднорідностями.

4. Вперше теоретично отримано відношення сигнал шум для фантомного зображення відновленого з безопорної голограми для різних типів запису (лінійний, нелінійний) та різних типів голограм (тонка, об'ємна).

5. Проаналізовано інтенсивність зображення, відновленого з безопорної голограми асоціативним методом в залежності від кореляції між записаним та відновлюючим полями.

6. Вперше проведено дослідження можливості відновлення зображення з безопорної голограми у випадку зміни статистичних параметрів (дисперсії фази) у відновлюючому полі у порівнянні з початковим полем.

7. Вперше проаналізовано роздільну здатність зображення відновленого з безопорної голограми неасоціативним методом.

На основі отриманих результатів можна сформулювати наступні висновки роботи:

1. У векторних статистичних когерентних оптичних полях незалежно від властивостей розсіюючого об'єкта абсолютний нуль амплітуди, який передбачає одночасну рівність нулю всіх трьох компонентів, не досягається. Швидкість зміни хвильового вектора в околі нуля амплітуди сумірна або така сама як і в будь-якій іншій точці поля.

2. В статистичних оптичних когерентних полях в залежності від властивостей розсіюючого об'єкта можна виділити дві ситуації, що відповідають проявленню явищ абсолютного нуля амплітуди поля:

а). Для об'єктів, що формують просторово поляризаційно-неоднорідне поле (об'ємно розсіюючі об'єкти), абсолютному нулю відповідає ситуація, в якій нулі всіх трьох компонентів поля знаходяться на відстані рівній або меншій довжини хвилі випромінювання. Окіл нуля амплітуди поля представляє собою просторово ізольовану область, структура якої визначається поляризаційними характеристиками граничного поля.

б) Для об'єктів, що не вносять змін в поляризацію опромінюючого поля (фазовий екран), відповідає ситуація, при якій в деякому околі основний компонент поля (визначається поляризаційною модуляцією вхідного випромінювання) досягає ну-

ля. При цьому в околі нуля основного компонента поля всі три компоненти сумірні між собою, а розміри околу не перевищують довжини хвилі випромінювання. В просторі такий окіл представляє собою ізольовану область, центр якої співпадає з лінією нуля основної компоненти.

3. Поляризаційні характеристики поля в околі нуля амплітуд при обході точки нуля змінюються детерміновано і визначаються типом дислокації в ортогональних компонентах у зоні аналізу.

4. Характерні "вилочки" в інтерференційній картині, як результат інтерференції з лінійно поляризованим опорним пучком, спостерігаються для компонента поля, який дорівнює нулеві. Загальна інтенсивність в точці нуля компонента амплітуди поля визначається сумою інтенсивності опорного пучка і сумою квадратів модулів амплітуди ненульових компонент.

5. При інтерференції двох елементарних хвиль із слабкою плавною фазовою модуляцією і близькими амплітудами, що плавно змінюються (хвильова зона) на перетині ліній рівної інтенсивності та мінімумів сумарного інтерференційного поля утворюються дислокації гвинтового типу. У сусідніх мінімумах інтерференційної картини на лінії рівних амплітуд утворюються гвинтові дислокації зсунуті по фазі на π .

6. Величина околу гвинтової дислокації сумірна радіусу кореляції амплітуди поля у площині аналізу і визначається геометрією оптичної схеми.

7. Розповсюдження поля з сингулярністю хвильового фронту відбувається аналогічно елементарним хвильовим фронтам (плоска, сферична хвиля) і його можна вважати елементарною хвилею вищого порядку.

8. При розповсюдженні поля з гвинтовою дислокацією в середовищі зі слабкими фазовими неоднорідностями поле зазнає незначних спотворень, що зв'язані зі зміною куткової розбіжності, та які можна компенсувати за допомогою високочастотної фільтрації.

9. Безопорна голограма дозволяє відновлювати зображення з високою якістю асоціативним і неасоціативним методами:

а) при асоціативному відновленні відношення сигнал-шум у фантомному зображенні, що відновлене з лінійної двовірної безопорної голограми, складає величину порядку 5;

б) при нелінійному записі двовірної безопорної голограми відношення сигнал-шум складає величину меншу 5;

в) при відновленні фантомного зображення із тримірної безпорної голограми величина відношення сигнал-шум визначається кутовою селективністю голограми і в граничному випадку сумірна з величиною відношення сигнал-шум у голографічному кореляторі Ван-дер-Люгта і визначається кількістю відновлюючих пікселів;

г) при неасоціативному методі відновлення зображення з безпорної голограми відношення сигнал-шум та роздільна здатність не гірші, ніж при традиційному відновленні фантомного зображення, незалежно від дисперсії фази відновлюючої виборки.

10. При асоціативному відновленні зображення з безпорної голограми інтенсивність в площині зображення визначається взаємною кореляційною функцією записаного та відновлюючого полів.

Список публікацій по темі дисертаційної роботи.

1. O.V.Angelsky, R.N.Besaha, I.I.Mokhun, M.O.Sopin. About thin structure of speckle field. SPIE Proc., 1995, vol. 2647, p.75-79.

2. И.И.Мохунь, Р.Н.Бесага, В.В.Яценко. Восстановление оптических полей из безпорных голограмм. Оптика и спектроскопия. 1994, т.76, №4, с. 660-666.

3. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Visualigation and reconstruction image of phase objects. SPIE Proc., 1994, vol.1846, p.56-61

4. I.I.Mokhun, R.N.Besaha, V.V.Yatsenko. Application of holograms without reference beam in optical data processing, chemistry and biology. "From Galileo's occialino"to opto-electronics". 1993, World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd., p.612-615.

5. O.V.Angelsky, R.N.Besaha, I.I.Mokhun, M.O.Sopin. About thin structure of speckle field. SPIE Proc., 1996, vol. 2778, p.357-358.

6. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Referenceless holograms in cohe rentfiltering and image processing systems. SPIE Proc., 1993, vol. 2108, p.261-266.

7. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Image reconstruction and transformation using systems with referenceless holograms. SPIE Proc., 1993, vol. 2108, p.406-412.

8. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. A new approach to image reconstruction from referenceless holograms. SPIE Proc., 1993, vol. 1983, p.572- 574.

9. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Referenceless holograms as a matched filter. SPIE Proc., 1993, vol. 1983, p.575-576.

10. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Image reconstruction from referenceless holograms. New approach. International conference "Photonics'95", Prague, (Czech Republic), EOS annual meeting digest series: vol.2B, p. 555-557.

11. Р.Н.Бесага, И.И.Мохунь, С.Н.Росляков В.В.Яценко. Некоторые аспекты применения голограммы без опорного пучка в оптической обработке информации, химии и биологии. В кн.: Тез. докл. XIV Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (КиНО'91) 24-27 сентября 1991, Ленинград т.1, с.77-78.

12. Р.Н.Бесага, И.И.Мохунь, В.В.Яценко. Проблемы восстановления информации из голограмм без опорного пучка. В кн.: Тез. докл. XIV Междунар. конференции по когерентной и нелинейной оптике (КиНО'91) 24-27 сентября 1991, Ленинград, т.1, с.86-87.

13. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Image reconstruction and transformation using systems with referenceless holograms. International conference "Diffraction & Scatterometry". May 24-28, 1993, Warsaw, Poland. Abstract Booklet. p.27.

14. R.N.Besaha, I.I.Mokhun, V.V.Yatsenko. Referenceless hologram in coherent filtering and image processing systems. International conference "Diffraction & Scatterometry". May 24-28, 1993, Warsaw, Poland. Abstract Booklet. p.28.

АННОТАЦИЯ

Бесага Р.Н. Тонкая структура статистических оптических полей и восстановление информации по распределению квадрата модуля амплитуды. Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика и лазерная физика, Черновицкий госуниверситет, Черновцы, 1996.

Защищается 14 научных работ. В работе представлены результаты исследований тонкой структуры оптического спекл-поля в областях малых амплитуд, в окрестностях точек нулей амплитуд. Обсуждается связь между поляризационными характеристиками рассеивающего объекта и поляризационной ситуацией в окрестности нуля амплитуды поля.

Проанализировано отношение сигнал-шум (ОСШ) в фантомных изображениях, восстановленных из двумерных и трех-

439348

мерных безпорных голограмм. Проведено сравнение с ОСШ в голографическом корреляторе. Теоретически и экспериментально показана возможность восстановления изображения из безпорной голограммы в отсутствие исходного поля объекта выборками случайных излучателей, независимо от дисперсии фазы.

ANNOTATION

Besaha R.N. Thin structure of statistical optical fields and date retrieving from the squared field's amplitude.

Dissertation for a degree of candidate of mathematical and physical sciences in specialization 01.04.05 - optics and laser physics. Chernivtsy University, Chernivtsy, 1996.

The results of investigation of a thin structure of speckled optical field in the vicinity of small amplitudes, that were represented in 14 scientific publications, are defened. Interconnection among polarization properties of scattering object, on the one hand, and distribution of the polarization parameters in the vicinity of zero-amplitude points, on the other hand, is discussed.

Signal-to-noise ratio (SNR) of ghost images reconstructed from two-dimensional and three-dimensional referenceless holograms is analized in Vander Lught correlator. It is shown both theoretical and experimentally, that image reconstruction from referenceless hologram is possible in the absence of the original object's field on random radiator sampling irrespective of the phase variance.

Ключові слова.

Статистичне оптичне поле, абсолютний нуль амплітуди поля, дислокація, поляризація випромінювання, безпорна голограма.

10 примірників автореферату розіслано за додатковим переліком розсилання.