

THE INTERFERENCE PATTERN TRANSMISSION THROUGH THE OPTICAL TRACT WITH THE NONSTATIONARY PHASE OBSTACLES

N. Medved, P. Bikman

National University of Food Technologies

L. Derzhypolska

Institute of Physics of NAS of Ukraine

Key words:

Holographic

Interferometry

Phase distortion in the optical channel

Multi-mode fiber optics bundles

Article history:

Received 19.09.2013

Received in revised form 03.10.2013

Accepted 27.10.2013

Corresponding author:

N. Medved

Email:

nuht@ukr.net

ABSTRACT

In this paper we study the possibility of using fiber optic harnesses in conducting the interferometric transmission of information from remote and dangerous places. This problem is restricted to the investigation of mismatch in distribution of fields in the individual optical fibers included in the harness when the wiring changes occur during the experiment. For example, the bending of optical fibers in a bundle can significantly change the modal composition of the field in each individual fiber. A method of holographic interferometry has been used during the study. Therefore, the disturbance in the wiring could lead to changes in the distribution of the field in the plane of the recording of the first and second gologramm. Strong perturbations significantly reduce the contrast of interference lines. Therefore, a correlation technique has been developed for comparing the distributions of the field at the output end of the rope in two of its different states. The field images were subtracted one from another pixel by pixel. The average difference is a quantitative measure of admissible perturbations. It is in range of 5 relative units (r.u.) to 18—25 (r.u.) when interferometric stripes disappear. Also an analysis of possibility to eliminate the influence of disturbances in harness was made. A method for the simultaneous transmission of the signal and reference beams through the wiring using the Gabor scheme has been proposed. The resulting picture has been processed to select the desired image of interferometric lines.

ПЕРЕДАЧА ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОЇ КАРТИНИ КРІЗЬ ОПТИЧНИЙ ТРАКТ ІЗ НЕСТАЦІОНАРНИМИ ФАЗОВИМИ ПЕРЕШКОДАМИ

Н.В. Медвідь, П.О. Бікман

Національний університет харчових технологій

Л.А. Держипольська

Інститут фізики НАН України

У статті досліджено можливість використання високоенергетичних багатомодових світловодних джгутів при проведенні інтерферометричних до-

сліджень у важкодоступних місцях. Визначено межі припустимих змін стану джгутів під час експерименту, а також можливість виключення їх впливу за рахунок схемних модифікацій в інтерферометрі.

Ключові слова: голографічна інтерферометрія, фазові переешкоди оптичного тракту, багатомодові світловодні джгути.

Дослідження методами інтерферометрії змін у просторовому розподілі хвильового фронту променя після взаємодії з досліджуваним об'єктом можливе або за умови безпосереднього розміщення об'єкта в оптичній схемі інтерферометра, або ж дистанційно (при його віддаленні від об'єкта). Вочевидь, другий випадок у практичному плані більш імовірний. У цьому випадку досліджується хвильовий фронт не від самого об'єкта, а його зображення, що переноситься в інтерферометр оптичним зондом. Фаза такого зображення може змінюватись оптичним трактом зонда.

Найбільш придатними для дослідження хвильових фронтів тих полів, що були розсіяні в складних умовах віддаленого зразка, є голографічна інтерферометрія [1], в якій порівнюються два голографічних зображення досліджуваного зразка. Такі зображення доцільно передавати крізь світловодні джгути [2], що застосовуються в оптичних зондах для передачі інформації з важкодоступних і небезпечних місць.

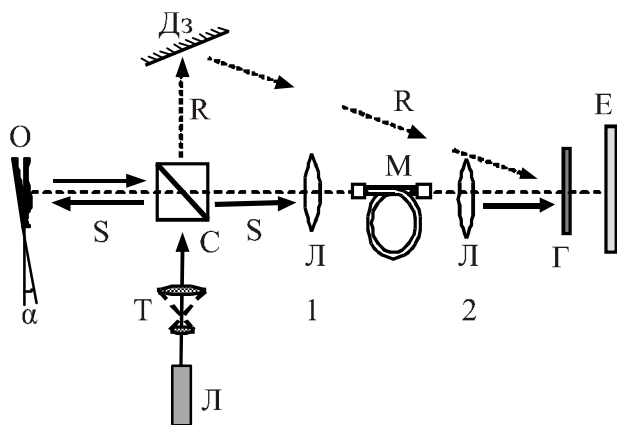


Рис. 1. Схема голографічного інтерферометра на базі світловодного джгута

Голографічний інтерферометр зі світловодним джгутом. В роботі використовувалась узагальнена схема голографічного інтерферометра з джгутом, яка наведена на рис. 1.

Пучок лазера Л розширюється телескопом Т. Частина енергії після світлоподільного кубика С формує опорний пучок R, який дзеркалом Дз спрямовується на голограму Г. Сигнальна частина пучка S потрапляє на об'єкт О (монетка). Відбите ним світло

об'єктивом L_1 проектується на вхідний торць джгута Д. Зображення об'єкта з вихідного торця джгута об'єктивом L_2 проектується на екран Е. Голограма Г розташована між L_2 і екраном Е. Досліджувались регулярні джгути довжиною 20—50 см вхідною та вихідною апертурами в межах 5—10 мм.

Схема застосовувалась у випадку деформацій джгута між моментами запису голограм зображення об'єкта у двох порівняльних станах. При цьому у другому своєму стані об'єкт повертається на невеликий кут α . Роль «генератора» фазових шумів виконували випадкові набіги фази, що виникали в окремих волокнах джгута при його згинанні. При цьому торці джгутів жорстко закріплялись в тримачах і змінювалась стріла прогину джгута. Наприклад, для джгута довжиною 50 см вона досягала 7 см, але при прогинах, більших за 2 см, інтерференційні смуги вже не спостерігались.

Для кількісної оцінки припустимих збурень джгута використовувався кореляційний метод порівняння полів окремих волокон джгута в межах повної вихідної апертури джгута. Для цього реєструвався і потім оцифровувався розподіл енергії на вихідному торці джгута для двох його станів, зокрема і під час запису першої та другої голограми зображення об'єкта. Далі масиви чисел, які відповідали значенням інтенсивності для кожної точки торця джгута в двох різних його станах, поелементно віднімалися один від одного. В такий спосіб одержана по модулю різниця сигналів для двох просторових розподілів енергії інтегрально характеризує зміни модового складу полів на вихідних торцях джгута. Зрозуміло, що коли змін немає, то результуючої картини також немає. За наявності змін виникає різницевий розподіл, що характеризується певним усередненим числом. Приклад одного з таких розподілів наведений на рис. 2, де видно, що поява різницевого сигналу еквівалентна введенню додаткового розсіювального дифузора, який може виключити можливість інтерференції двох голографічних зображень.

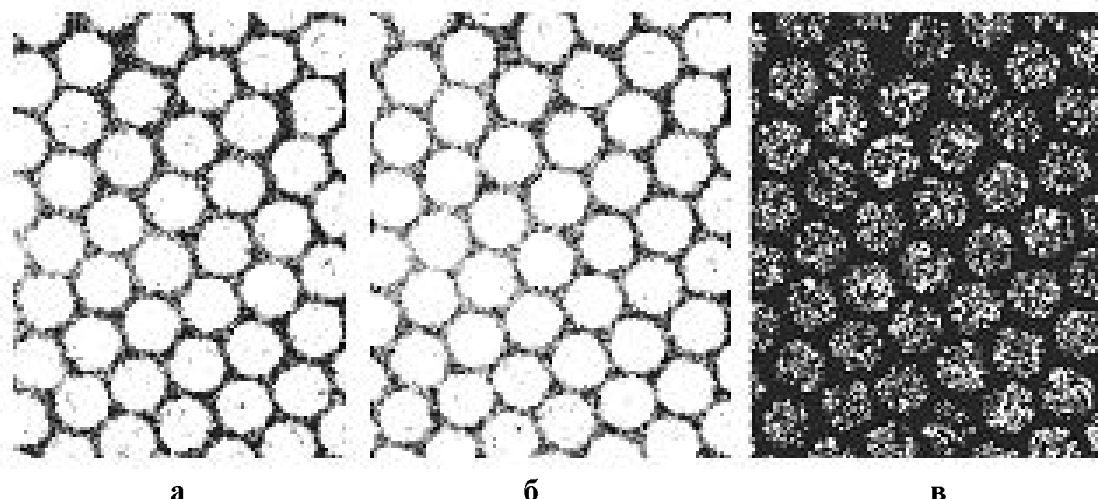


Рис. 2. Розподіли поля на вихідних торцях світловодів у двох станах джгута: а — до, б — після збурення, в — одержана різниця розподілів полів у цих станах

Таке кореляційне зіставлення залежить від точності суміщення розподілів поля в обох станах джгута і має певну початкову похибку. В наших експериментах були отримані такі дані: для випадків незмінного джгута спостерігалось максимальне значення різниці до 44 відносних одиниць (в.о.) при середньому значенні до 5,2 в.о. Для діапазону смуги поки що зберігаються (відповідно 164 в.о. та 18,5 в.о.). Діапазон, за якого смуги зникають, складає відповідно 226 в.о. та 24 в.о.

На рис.3 приведені фотографії інтерферограми об'єкта при його повертанні. Внизу наводиться розподіл нормалізованої інтенсивності інтерференційної картини. Розглянуті випадки: а) коли не було деформації фазового джгута; б) була легка деформація з вигином джгута ~ 2 см. Відповідні кореляційні числа при цьому становили близько 5 та 17 в.о. З рис.3 видно, що інтерференційні смуги при деформації з кореляційним числом до 17 в.о. ще спостерігаються.

Отримані результати визначають межі застосування багатомодових джгутів для передачі інформації про зміни фази оптичного сигналу. Проте це не вирішує проблему передачі повного оптичного сигналу через середовище із випадковою зміною фази. Але, обмежуючись лише передачею певного інформативного

параметра сигналу (в нашому випадку просторового розподілу фази), задачу можна спростити. Для цього, розвиваючи міркування, наведені у [3], пропонується під час запису голограм стану об'єкта і сигнальний, і опорний пучки пропускати в одному й тому ж напрямку через оптично неоднорідний тракт.

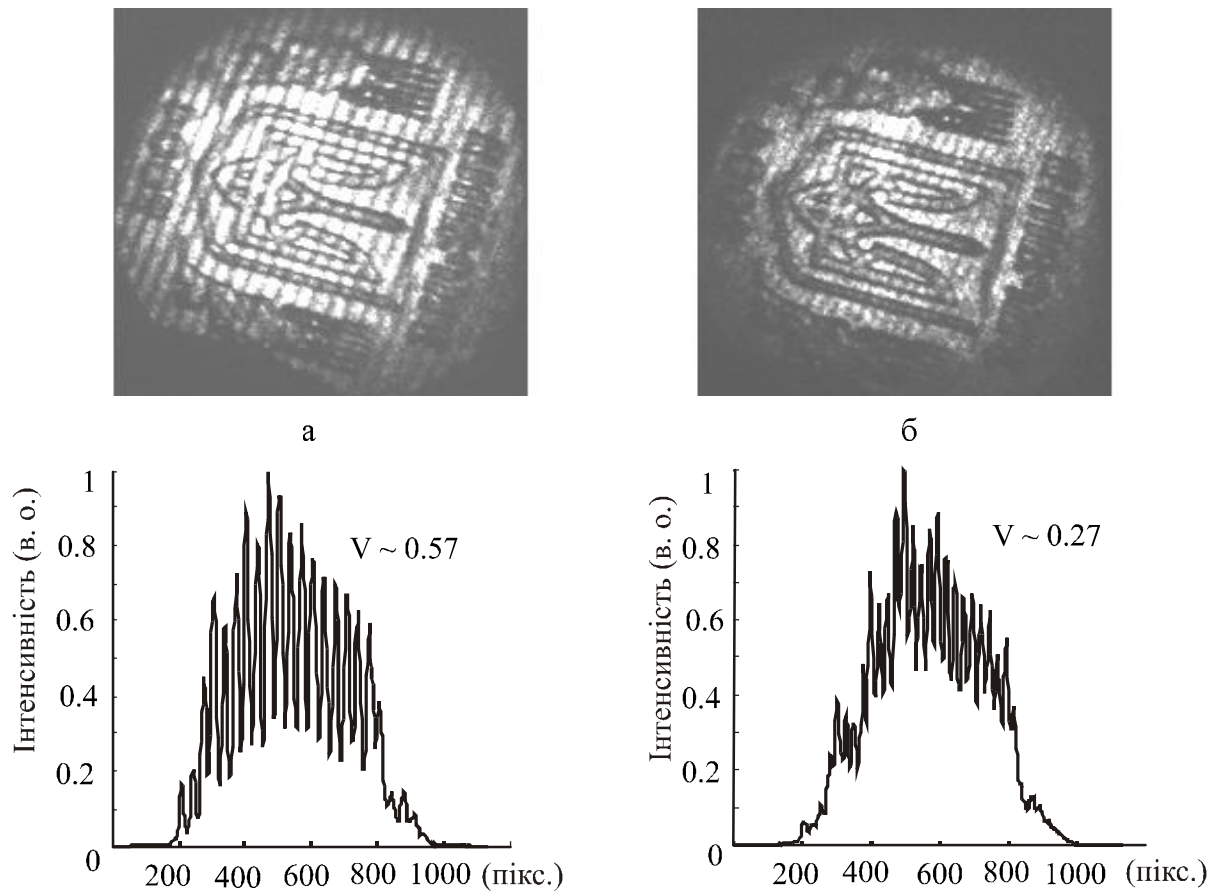


Рис. 3. Метод передачі сигналу через середовище з випадковими змінами фази

У результаті розроблено оптичну схему (рис. 4), на якій зроблені такі ж самі позначення, як і на рис. 1. Головна відмінність між цими схемами полягає в тому, що поворотом дзеркала D_3 опорний пучок R спрямовується на світлоподільник C . Разом із предметним пучком S опорний пучок R потрапляє на фазовий дифузор D з випадковими фазовими зсувами по його перетину. Різні розподіли фази (D_1 та D_2) в оптичному тракті моделюються поперечним переміщенням дифузора. Вплив дифузора $D = \exp(-i\psi(x, y))$ представимо як дію транспаранта, що має однорідний розподіл амплітуди поля по перетину пучка та довільний і складний просторовий розподіл фази [4].

За таких умов при записі рівняння голограми використовуються позначення: SD — поле предмета, RD — поле опорного пучка ($R = b(x, y) = \text{const}$). Амплітудне пропускання голограми, яке вважається пропорційним просторовому розподілу інтенсивності інтерференційного поля сигнального та опорного пучків, визначається виразом:

$$2\omega_3(f, T) \leq \omega_3(f, T + 3t) + \omega_3(f, T - t) + 24 \left(\left[\frac{T}{t} \right] + 1 \right) \omega_3(f, t). \quad (1)$$

Таким чином, за умови утворення інтерференційних смуг рівної товщини, коли випадкові зміни фази дифузора є однаковими для обох пучків, наявність дифузора D проявляється лише як сталий коефіцієнт $|D|^2$, тобто випадкові зміни фази, що виникають на шляху поширення сигналу, не впливають на отриманий вираз. Експериментально даний розподіл поля найкращим чином може бути реалізований при запису голограми за схемою Габора [5], коли і сигнальний, і опорний пучки розповсюджуються в одному напрямку. Тільки тоді можливі умови, коли розподіл випадкових змін фази для кожного з пучків, що пройшли дифузор D , буде однаковим. Проте при використанні схеми Габора у виразі (1) всі доданки описують поля, які поширюються в однаковому напрямку. Ці поля будуть впливати одне на інше, спотворюючи кінцевий результат.

При реєстрації на голограмах двох станів об'єкта S_1 та S_2 ($S_1 = a \exp(-i\phi)$, $S_2 = a \exp(-i[\phi + \Delta])$) за відновлення сумарної голограми утворюється інтерференція двох полів зображень A_1 та A_2 . Відповідно, можна записати:

$$G = A_2 + A_1 = |S_1|^2 + |R|^2 + S_1^* R + S_1 R^* + |S_2|^2 + |R|^2 + S_2^* R + S_2 R^* \quad (2)$$

$$= 2|S|^2 + 2|R|^2 + 2aR \{ \cos(\phi) + \cos(\phi + \Delta) \}$$

Вираз (2) містить три доданки. Головний (третій) описує промодульовану спеклами інтерференційну картина з конфігурацією смуг, яка визначається фазовим набігом Δ . Другий доданок пропорційний просторовому розподілу інтенсивності зображення (яке легко одержати при попередній зйомці). Третій залежить від однорідного засвітлення зображення опорним пучком. Другий і третій доданки спотворюють шуканий розподіл інтерференційних смуг. Оскільки ці доданки є функціями інтенсивності зображення фону і при цьому не містять спеклів (гладкі), то вони легко фільтруються при електронній обробці зображення. До того ж гладкість цих функцій порівняно зі спекл-модуляцією дозволяє їх неповне суміщення при фільтрації.

При застосовуванні описаної теоретичної моделі проводився числовий експеримент, який спирався на схему (рис. 4) і вирази (1) та (2). Створювались масиви чисел (матриці), які відповідають комплексним амплітудам полів R , S_1 , S_2 (відповідно до наведених вище виразів). Потім розраховувались матриці, які чисельно описують інтенсивності зображень A_1 і A_2 , що записуються на голограмі. Далі ці матриці додаються поелементно. Результатом є матриця

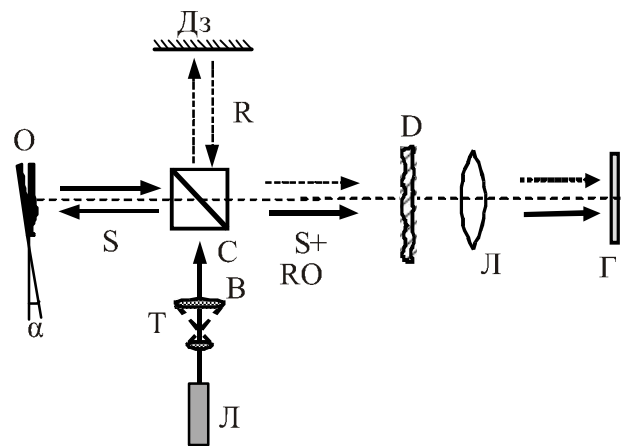


Рис. 4. Схема передачі сигналу крізь середовища з випадковими змінами фази

G — суперпозиція двох голограм станів об'єкта, яка, відповідно до (2), містить як інтерферометричну інформацію, так і неінформативні доданки. Продовженням є фільтрація неінформативних доданків (від матриці G поелементно віднімалися матриці $|R|^2$ і $|S(x, y)|^2$).

Результати експерименту наведені на рис. 5, де згідно з виразом (2) позначені позиції: а) для зареєстрованого повного зображення, тобто G ; б) картина після видалення загального фону $|R|^2$; в) після видалення інтенсивності зображення $|S(x, y)|^2$. Фільтрація отриманого за запропонованою методикою зображення дає змогу зафіксувати зміни в досліджуваному хвильовому фронті незалежно від випадкових фазових змін в оптичному тракті.

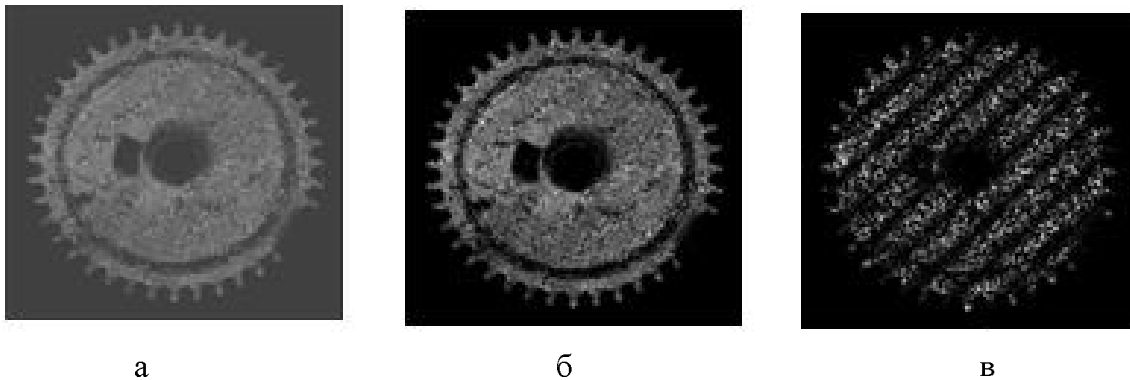


Рис. 5. Результати обробки зображення об'єкта на ПК

Висновки

Досліджено діапазон можливих деформацій багатомодового джгута при використанні в інтерферометричних схемах. Розроблено кількісний метод для визначення такого діапазону. Запропоновано новий голографічний метод передачі інформації про стан хвильового фронту зображення після його проходження крізь оптичне середовище з випадковими змінами фази. Метод виключає наслідки збурень фази в оптичному тракті і є перспективним при використанні світловодних джгутів для інтерферометричних досліджень у важкодоступних місцях.

Література

1. *Вест Ч.* Голографическая интерферометрия: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. 504 с.
2. *Zolochevkaja O.V., Gnatovskij C.O.* A holographic interferometer on the basis of multimode lightguiding bundles // — Proceedings SPIE. — 1995. — V. 2648. — P. 694—697.
3. *Goodman J.W. et all.* Wavefront-Reconstruction Imaging through Random Media // Appl. Phys. Letters. — 1966. — V. 8. — P. 311—315.
4. *Ангельский О.В., Магун И.И., Максимьяк П.П.* Исследование статистики фазово-неоднородных объектов корреляционно-оптическими методами // Опт. и спектр. — 1989. — Т. 67. — В. 5. — С. 1173—1177.
5. *Gabor D.* Microscopy by Reconstructed Wavefronts. Proc. Phys. Soc. — 1951. — Ser. B. — V. 64. — P. 449.

ПЕРЕДАЧА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ СКВОЗЬ ОПТИЧЕСКИЙ ТРАКТ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ФАЗОВЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Н.В. Медвидь, П.О. Бикман

Национальный университет пищевых технологий

Л.А. Держипольська

Институт физики НАН Украины

В статье исследована возможность использования высокоэнергетических многомодовых жгутов при проведении интерферометрических исследований в труднодоступных местах. Определены границы допустимых изменений состояния жгута во время эксперимента, а также возможность исключить их влияние за счёт модификации схемы интерферометра.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, фазовые искажения в оптическом тракте, многомодовые световодные жгуты.