

УДК 535

С.А. Нецвертов, студент гр. ПО-92мп, к.ф.-м.н. доцент Богатирьова Г.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИНТЕЗОВАНА БЕЗЛІНЗОВА ФУР'Є ГОЛОГРАМА

Анотація. У цій статті ви дізнаєтесь, що таке Голографія, її застосування і що таке безлінзова голограма Фур'є та як вона працює.

Ключові слова: Голограма Фур'є, Голограма, Безлінзова голограма Фур'є.

ВСТУП:

Голографія (від грецького *holos* – увесь, повний і *grapho* – пишу) – це спосіб точного запису і поновлення хвильових полів, заснований на реєстрації інтерференційної картини, яка утворена хвилею, відбитою від предмета, що освітлюється джерелом світла, і когерентною з нею хвилею, що іде безпосередньо від джерела світла. Зареєстрована інтерференційна картина називається голограмою. Голограма, що освітлена опорною хвилею, створює такий амплітудно-фазовий просторовий розподіл хвильового поля, яке створювала при запису предметна хвиля.

БЕЗЛІНЗОВА ГОЛОГРАМА ФУР'Є

Перетворення Фур'є двовимірної просторової функції $f(x, y)$ записується у вигляді [2]:

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp\{-2\pi i(ux + uy)\} dx dy, \quad (1)$$

де u, v — просторові частоти. введемо вектори $x=(x, y)$ та

$u = (u, v)$. Тоді наведене вище перетворення Фур'є набуде вигляду

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp\{-2\pi i u \cdot x\} d^2x \quad (2)$$

Також будемо використовувати операційний запис поширення оптичної дифракції, в якій дифракція світла від площини P_1 до площині P_2 , віддаленої від першої на відстань d , записується у вигляді згортки комплексної амплітуди $a_1(x)$ в площині P_1 з оператором поширення $\psi(x; d)$, який визначається наступним чином (в наближенні дифракції Френеля) [3]:

$$\psi(x; d) = \exp\{i\pi/\lambda d x^2\} \quad (3)$$

При цьому для комплексної амплітуди в площині P_2 маємо

$$a_2(x) = a_1(x) * (1/i\lambda d)\psi(x; d) \quad (4)$$

Струк та ін. показали, що можна отримати і без застосування лінз голограми, властивості яких аналогічні властивостям голограм Фур'є, записуваним за допомогою лінз [4]. Щоб записати безлінзову голограму Фур'є, опорне джерело розташовують в тій же площині, в якій знаходиться об'єкт. Припустимо, що об'єкт точковий. Тоді записана на голограмі інтерференційна картина буде являти собою серію смуг, віддалених один від одного на однаковій відстані, на противагу випадку, коли опорне джерело знаходиться не на тій же відстані від

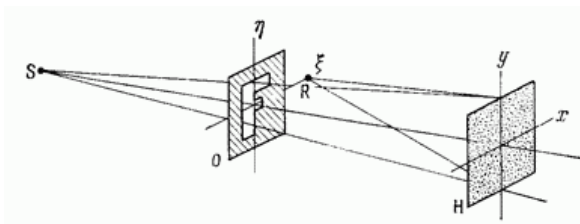


Рис. 1. Схема запису безлінзової голограми Фур'є.

голограми, що і об'єкт. В останньому випадку інтерференційні смуги згущуються в міру того, як вони все більше віддаляються від осі симетрії.

Розглянемо тепер загальний випадок, представлений на рис. 1. Об'єкт з комплексним пропусканням $t(\xi)$ висвітлюється хвилею від

точкового джерела, розташованого на відстані d_1 від об'єкта. На малюнку об'єкт висвітлюється розбіжним пучком, проте з таким же успіхом без втрати спільності його можна висвітлювати і збіжним пучком (дійсно, голограми Фур'є іноді записуються саме таким чином). Припустимо, що об'єкт знаходиться на відстані d_2 від голограми. Опорне джерело R розташоване в тій же самій площині, що і об'єкт $t(\xi)$. Комплексну амплітуду опорного точкового джерела можна записати у вигляді

$$r_0(\xi) = \delta(\xi - \xi_0). \quad (5)$$

З виразів (4) і (5) випливає, що комплексна амплітуда опорної хвилі в площині голограми з точністю до постійного комплексного фазового множника $\psi(\xi_0; d_2)$, модуль якого дорівнює одиниці, дорівнює

$$r(x) = (1/i\lambda d_2)\psi(x - \xi_0; d_2) \quad (6)$$

Або

$$r(x) = \left(\frac{1}{i\lambda d_2}\right)\psi(x; d_2)\exp\left\{-\left(\frac{2\pi}{\lambda d_2}\right)x \cdot \xi_0\right\} \quad (7)$$

Світло, що випромінюється точковим джерелом та потрапляє на голограму, дифрагує на проміжку від джерела до об'єкта, в площині об'єкта множиться на його комплексне пропускання $t(\xi)$ потім дифрагує на проміжку від об'єкта до голограми. Отже, комплексну амплітуду $a(x)$ світла від об'єкта в площині голограми можна записати у вигляді

$$a(x) = [\psi(x; d_1)t(x)] * \left(\frac{1}{i\lambda d_2}\right)\psi(x; d_2) \quad (8)$$

Використовуючи властивості функції ψ , вираз (8) можна записати таким чином:

$$a(x) = \left[\frac{d_1}{(d_1 + d_2)}\right]\psi(x; d_2)[T(u) * \psi^*(\lambda d' u; d')] \quad (9)$$

де $d' = \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}$, $T(u)$ — Фур'є-образ функції пропускання $t(\xi)$, а u - просторова частота, яка визначається виразом $u = x/\lambda d_2$.

Реєстрована в площині голограми інтенсивність інтерференційної картини, утвореної об'єктною та опорною хвилями, дорівнює

$$I(x) = |a(x) + r(x)|^2 \quad (10)$$

$$I(x) = a(x)r^*(x) + a^*(x)r(x) + |a(x)|^2 + |r(x)|^2 \quad (11)$$

Цікавими є перші два члена у виразі (11). Ми досліджуємо тільки перший член. Аналогічним чином можна досліджувати і другий член, який ми обговоримо нижче.

Припустимо, як зазвичай, що платівка проявлена таким чином, щоб її амплітудне пропускання було пропорційно експозиції. При цьому складова функції пропускання голограми, відповідальна за безпосереднє формування зображення, запишеться у вигляді

$$g_d(x) = a(x)r^*(x) \quad (12)$$

$$g_d(x) = [i\lambda d' / (\lambda d_2)^2] [T(u) * \psi^*(\lambda d' u; d')] \exp\{2\pi i u \cdot \xi_0\} \quad (13)$$

Ці вирази описують розподіл комплексних амплітуд хвилі, що дифрагує на голограмі, безпосередньо за голограмою, коли вона опромінюється плоскою хвилею одиничної амплітуди за умови, що параметри голографічного запису обрані належним чином.

Розглянемо тепер, до чого призводить Фур'є-перетворення виразу (15). Члени в квадратних дужках дадуть комплексне пропускання об'єкта, помножене на комплексний фазовий множник. Експонентний член справа призведе до зсуву відновленого зображення на величину, пропорційну ξ_0 — зміщення опорного пучка. При спостереженні зображення оком комплексний фазовий множник зникне і залишиться тільки інтенсивність вихідного об'єкта. Таким чином, вираз (13) описує Фур'є-перетворення об'єкта, за винятком лише того, що при відновленні з'являється фазовий множник. Ось чому голограма, на рис. 1, називається безлінзовою голограмою Фур'є.

Безлінзова голограма Фур'є застосовується для запису та зчитування великої ємності. В голографічній системі пам'яті інформація просторово розподілена і кожному бітові інформації відповідає своя інтерференційна картина. При запису великої кількості інформації одночасно або послідовно формується складна інтерференційна картина, при зчитуванні можна розділити окремі картини інтерференції, якщо їх положення відрізняються, по крайній мірі, на один період решітки. Також існують різноманітні способи кодування просторової інформації з використанням голограм, та її відновлення, просторової фільтрації, розпізнавання образів – що є важливою задачею для сучасної автоматизації процесів та систем [4].

ЛІТЕРАТУРА:

- [1] Ж. Апрель, А. Арсено, Н. Баласубраманьян и др. Оптическая голография: Пер. с англ./Под ред. Г. К. Олфилда. — М.: Мир, 1982 — Т.1 — 376 с.
- [2] Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику : монография / Дж. Гудмен. — М. : Мир, 1970. — 364 с.
- [3] Berger H., Acoust. Holog., 1, 34-36 (1969).
- [4] В.Л. Винецкий, Н.В. Кухтарев. Динамическая голография. Киев, «Наукова Думка», 1983.

Наук. керівник – к.ф.-м.н., доцент Богатирьова Г.В.