

Кратко описание на проект ДН 08/13

„Холографско визуализиране, формиране на светлинни снопове и спекъл метрология с компютърно генерирани холограми”

Общи сведения: В проекта са решени задачи, свързани с фундаментални въпроси в областта на цифровата холография и кохерентната оптичната метрология: 1) преобразуване на холографски данни от оптично записани цифрови холограми за формиране на триизмерен образ от двумерни цифрови масиви с помощта на компютър, холографски дисплей или холографски принтер; 2) ефективен синтез на компютърно генерирани холограми (КГХ) за холографско визуализиране; 3) синтез и анализ на дифракционни оптични елементи за кохерентна оптична метрология и формиране на светлинни снопове; 4) количествена динамична спекъл метрология за оценяване на скоростта на протичане на процеси в дифузно отразяващи обекти; 5) прилагане на динамичен спекъл анализ към нови материали; 6) изучаване на двойствената природа на спекъла, проявяващ се едновременно като сигнал и шум в спекъл метрологията. Проектът обхваща четири изследователски работни пакета, всеки от които съдържа три дейности, както и работен пакет за управление на проекта. Проектът включва два етапа и е изпълнен от три партньорски организации: ИОМТ-БАН (базова организация, 9 изследователи), Технически университет (ТУ) – София (партньор № 1, 4 изследователи) и Химикотехнологичен и металургичен университет (ХТМУ) (партньор № 2, 2 изследователи). Съгласно работната програма на проекта някои от дейностите са изпълнени в сътрудничество с лабораторията по Цифрова холография на Корейския институт по електронни технологии (<https://www.keti.re.kr/eng/main/main.php>) в Сеул, Южна Корея и лабораторията по Цифрова обработка на сигнали към Университета на Тампере (<https://www.tuni.fi/en>), Финландия. Провеждането на съвместни изследвания с тези лаборатории бе продиктувано от наличието на ресурс за пресмятането на КГХ във Финландия и холографски принтер в Южна Корея. В рамките на проекта е установено сътрудничество с Департамента по електрооптика и фотоника на Университета на Дейтън, (https://udayton.edu/engineering/departments/electrooptics_grad/index.php), Дейтън, Охайо, САЩ и са проведени съвместни изследвания. Съвместните изследвания в САЩ, Финландия и Южна Корея са осъществени по време на дългосрочни командировки (1-3 месеца) на членовете на колектива и са финансирани от приемащата страна и други източници.

Научни резултати: Работен пакет 1 е посветен на холографското визуализиране от холограми, кодирани в цифров вид. В рамките на този пакет са решени 11 задачи. Анализирани са методите за синтез на КГХ за триизмерно (3D) визуализиране, като фокусът бе поставен върху използването на некохерентно заснети двумерни (2D) изображения и синтеза на бинарни холограми като входни данни за холографски дисплей за 4D визуализиране. Анализирани са методите с кодиране на вълновия фронт на светлинното поле от 3D обекти при осветяване с кохерентна светлина и методите с представяне на това поле като съвкупност от некохерентни лъчи. При първата група методи е анализирано генериране на вълновия фронт от обекта като: 1) сума от сферични вълни, излъчени от облак от точкови светлинни източници; 2) сума от светлинни полета, излъчени от съвкупност от плоски полигонни участъци; 3) сума от вълнови фронтове, пристигащи от слоеве на обекта на различна дълбочина. При втората група методи са анализирани кодирането на информацията за посоката на лъчите от обекта и цветовото съдържание от

некохерентно записани 2D изображения, както и синтезът на холограми от холографски елементи от проекции на обекта от различни ъгли. Анализът на методите се базира на 1) постигане на добро качество като зрителни ефекти и триизмерност на възстановения образ; 2) ускорено пресмятане на холограмите за 4D визуализиране на обектите. Съвместно с групата от Университета на Тампере бе разработен програмен пакет за цифрово възстановяване на КГХ за сравнителен анализ на проучените методи.

Съвместно с групата по цифрова холография в Корейския институт по електронни технологии е приложен хибриден подход за синтез на КГХ с облак от точки и апроксимиране на сферичните вълни с плоски чрез разделяне на холограмата на сегменти и добавяне на фазата от разстояние за генериране на входните данни за холографски принтер на вълновия фронт. Проведено е бинарно кодиране на холографски данни като входни данни за холографски дисплей с DMD (digital micro-mirror device) модулатор.

Разработен е пакет програми на MatLab за синтез на осев и извъносеви КГХ на чисто фазов обект и за възстановяване на обекта. Изследван е фундаменталният въпрос за условията, при които отхвърлянето на амплитудната информация в комплексната амплитуда не влияе отрицателно върху холографското възстановяване. Предложено е използването на алгоритъма на Gerchberg-Saxton за модифициране на фазовата информация с цел визуализиране на много малки прозрачни обекти. Бе изследвано с числени експерименти формиране на холографска стереограма върху фоторезист, който изисква трансформиране на данните за интензитета във фазови данни. В сътрудничество с Университета на Дейтън е анализирано възстановяването на фазов обект от цифрова холограма чрез прилагане на транспортното уравнение на интензитета ТИЕ (от “transport of intensity equation”), което се прилага към обекти с постоянна амплитуда. Разработен е пакет програми на MatLab за комбиниране на цифров холографски запис с ТИЕ. С разработения пакет програми бе оценено бързодействието на метода с ТИЕ и е доказано, че той превъзхожда конвенционалния метод за извличане на фазата.

Изследван е пренос на данни от записваща система с много камери с неприпокриващи се апертури към произволна конфигурация от дисплеи при различни параметри на записа и визуализирането. Направен е числен анализ на изкривяванията по веригата холографски запис – пренос на данни – холографско визуализиране за случая на цифрова холография с ТИЕ. Анализирани са следните случаи: 1) осева холограма, 2) извъносева холограма, 3) фазово отместени холограми.

Вторият работен пакет е посветен на контролируемото манипулиране на кохерентни светлинни снопове с помощта на дифракционни оптични елементи. Решени са 6 задачи. Предложен е метод за количествен фазов анализ с оптична Хилбертова трансформация, която се осъществява оптично чрез пространствено фазово отместване на ортогоналните компоненти на поляризирана светлина. Фазата се извлича от синуса и косинуса на интерференчни картини, записани едновременно като едно изображение с използване на призма на Уоластън за пространствено фазово отместване в един кадър на камерата. Разработен е оптичен симулатор на динамичен спекъл на базата на пространствено-светлинен модулатор (SLM) за тестване на алгоритми в спекъл метрологията. Проучена е възможността за създаване на симулатора с фазов модулатор с помощта на числено моделиране и експерименти с два фазови SLM. Доказано е, че симулаторът генерира спекъл изображения с контролируеми статистически параметри.

Съвместно с ТУ – София (партньор № 1) е разработен метод за пресмятане на комплексната амплитуда при преминаване на кохерентен светлинен сноп през клин на Физо или структура от два клина на Физо с въздушна и невъздушна междина със специализиран софтуер и експериментална проверка. Методът е валиден за снопове с произволно разпределение на интензитета.

Изпълнението на работен пакет 3 включва търсене на подход за количествено характеризирани на скоростта на протичане на процеси посредством статистическа обработка на корелирани спекъл картини, образуващи се върху повърхността на даден образец при кохерентно осветяване. Резултатът от обработката е карта на активността, представляваща двумерно разпределение на даден статистически параметър. Проведен е статистически анализ на корелационно-базиран алгоритъм за оценяване на влиянието на спекъл-шума. Разработено е количествено характеризирани на активността при неравномерно осветяване и променлива отражателна способност върху повърхността на образца чрез въвеждане на два нови начина за нормиране на оценките. Проверена е ефективността на динамичния спекъл анализ при намален брой спекъл картини, което подобрява времевата разделителна способност. Изследвано е как намаляването на броя на изображенията, участващи в обработката, влияе върху чувствителността на метода за обект с малка площ, заобиколен от фон. За намаляване на флукуациите в картата на активността при интензитетно базирана поточкова обработка на спекъл изображения бе анализирано предварително филтриране на изображенията за намаляване на техния контраст. Това пространствено изглаждане е приложимо за обекти с големи области с една и съща активност, но при обекти с ясно очертани граници между областите с различна активност изглаждането в прозорец с големи размери ще „замаже“ границите. Показано е експериментално, че при осветяване на обект с два лазера, излъчващи в червената и зелената спектрални области и запис с цветна камера се намаляват флукуациите в картата на активността при сумиране на картите, пресметнати от данните в червения и зеления канал на цветната камера. Разработен е нов метод за обработка на базата на бинарни изображения с анализ на избора на оптимален праг за бинаризацията. Всички разработени методи са проверени чрез числено симулиране и създаване на подходящи оптични установки за провеждане на експерименти.

Разработеният подход с бинарни изображения е приложен за експерименти с реални обекти. Подходът доказва своята ефективност за наблюдаване на процеса на съхнене на полимерни слоеве, получени от различни разтвори. Бе проверена ефективността на динамичния спекъл анализ за охарактеризиране на миграцията на козметични продукти от повърхността на човешка кожа към по-долните ѝ слоеве. Основната трудност е спецификата на изучавания обект, характеризираща се с 1) многократно разсейване и в резултат на това с 2) дифузно отражение, образувано от фотони, преминали през по-голямата част от тъканта. Това води до много слаба времева корелация на формираните спекъл изображения и превръща динамичния спекъл анализ за такъв обект в нетривиална задача.

Работният пакет 4 бе насочен към прилагане на методите на кохерентната оптична метрология за наблюдаване на процеса на съхнене на азополимерни тънки слоеве. В този пакет са изпълнени 8 задачи. Процесът на съхнене бе изследван с динамичен спекъл анализ при различна температура с поставяне на стъклена подложка с капка полимер върху термомасичка. Получени са карти на активността, показващи различната скорост на протичане на процеса в капката. Динамичната спекъл метрология бе приложена за

изследване на синтезирани в ИОМТ-БАН азополимери предвид техните добри характеристики като среди за оптичен запис. Процесът на съхнене е описан количествено във времето.

В рамките на сътрудничеството с Департамента по електро-оптика и фотоника в Университета на Дейтън е създадена оптична установка за запис на извън осеви цифрови холограми на фазови обекти, при които обектният сноп се формира от лазерна светлина, отразена от образеца, и е разработен софтуер за извличане на фазата чрез филтриране в областта на пространствените честоти и прилагане на Фурие анализ. Пригодността на системата за запис на холограми на фазови обекти, каквито са полимерните слоеве, е тествана за малки участъци на плоско-изпъкнали лещи в качеството им на тънки фазови обекти. За обработка са приложени алгоритмите на конвенционалната цифрова холография и разработеният алгоритъм с ТПЕ.

Със съдействието на ХТМУ като партньор № 2 в проекта са проведени следните изследвания на разработени в ИОМТ-БАН тънки азополимерни слоеве: 1) инфрачервена Фурие спектроскопия за структурно оценяване на тънките слоеве; 2) атомно силова микроскопия на тънките слоеве; 3) определяне на температурата на остъкляване; 4) измерване на микротвърдостта след съхненето по метода на контролираната индентация.

Представяне на конференции: Получените резултати са представени като 31 доклада на международни конференции, от които 5 поканени лекции на конференции в О.А.Е., Русия, Южна Корея и Япония, 10 устни доклада на конференции в България (3), Канада (2), Португалия (1), Турция (1), Южна Корея (2), Франция (1), 16 постерни доклада на конференции в България (6), Германия (1), Китай (1), Полша (1), Португалия (1), Русия (1), Черна Гора (1), Сърбия (2), САЩ (1), Южна Корея (1). По-голямата част от докладите са на реномирани международни конференции като тези на SPIE The International Society for Optics and Photonics (2 устни доклада и 6 постера) и на Optical Society of America (4 устни доклада и 1 постер). Пълен списък на всички представяния е даден в края на отчета. Списъкът с международни конференции обхваща 21 различни конференции. Има две участия на национални конференции.

Научни публикации: Проектът приключва с 24 публикации както следва:

- 1) глава от книга на международното издателство InTech;
- 2) 14 публикации с импакт-фактор и импакт-ранг (3 публикации Q1 с импакт-фактор 7.99; 3.3882 и 1.961; 1 публикация Q2 с импакт-фактор 2.03, 2 публикации Q3 с импакт-фактор 1.624 всяка и 8 публикации с импакт-ранг, от които 7 публикации в Proceedings of SPIE и 1 публикация в NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, Springer);
- 3) 2 публикации в международни списания без импакт-фактор/импакт-ранг;
- 4) 6 доклада в пълен текст, от които 5 доклада в OSA Technical Digest (Optical Society of America) и 1 доклад в сбоник, издаден в Русия.

