

Оценка на дисертацията

Тел. (030) 314-25799

дата: 20.02.25

Заглавие на дисертацията:

Анализ и компресия на динамичен спекъл

Автор:

Михаил Левченко

Представена в:

Българска академия на науките

Институт по оптически материали и технологии „Акад. Йордан Малиновски“

За присъждане на образователната и научна степен „Доктор“

1. Тема и значимост

Тази дисертация разглежда областта на динамичното спекъл визуализиране (ДСВ) – кохерентна оптична техника, използваща светлоразсейващите свойства на различни материали за наблюдение на микромащабни процеси в реално време. Кохерентното лазерно осветяване води до случайни интерференчни картини, или „спекъл“, които се променят във времето, когато в наблюдавания обект настъпват процеси като например изсъхване, растеж на бактерии или деформация на материала. Чрез измерване и анализиране на тези флуктуации с помощта на специализирани алгоритми, динамичното спекъл визуализиране предоставя безразрушителен метод за диагностициране или характеризиране на физични и биологични промени в различни среди.

От индустриална гледна точка, ДСВ предлага надежден, нискобюджетен и чувствителен подход за откриване на едва доловими дефекти в материалите, дълго преди да станат видими на макроскопско ниво. Това може значително да подобри качествения контрол в производството, поддръжката и оценките за надеждност на материали, подложени на механични, термични или други стресови въздействия на околната среда.

Дисертацията предоставя нови знания за фундаменталното поведение на сложни системи, комбинирайки оптична физика, статистика на случайни полета и анализ на данни, за справяне с реални проблеми в тази област. Освен това, големите обеми данни, генерирани от високоскоростното визуализиране, поставят значителни предизвикателства за съхранението и обработката на информацията, което прави компресирането на динамичните спекъл изображения ключова тема. Дисертацията

разглежда както фундаменталните, така и приложните аспекти на ДСВ свързвайки теорията с практически, ориентирани към индустрията, приложения.

Дисертацията има основна част от 130 страници плюс библиография и списък на публикувани статии и участия в конференции на докторанта. Списъкът с цитати включва 110 статии от други автори. Може да се приеме, че съвременното състояние на науката е адекватно отразено.

2. Публикувани и представени статии

Основните аспекти на научната работа на дисертацията вече са публикувани в 8 специализирани рецензирани списания и сборници от конференции. Това е отличен резултат от работата по дисертацията.

3. Организация на дисертацията и нейните приноси

Глава 1 предоставя въведение в областта и преглед на литературата. Общият преглед на динамичното спекъл визуализиране осигурява отлична теоретична основа на явлението и статистическите принципи за описване на флукуациите на интензитета на спекъла.

Представени са ключови трудове като тези на Goodman, Briers и Webster и различни методи, базирани на контраста на спекъл изображенията, Главата описва важни индустриални и биомедицински приложения от мониторинг на кръвния поток до откриване на дефекти в керамика.

Главата подчертава основните предизвикателства в ДСВ и мотивира изследванията в областите на основните приноси на дисертацията: (i) вариации, дължащи се на неравномерно осветяване; (ii) необходимостта от обработка на огромни обеми данни; (iii) устойчиви, бързи и преносими решения за инспекции на място.

Глава 2 се фокусира върху анализа на динамичното спекъл визуализиране. Обширната експериментална постановка на задачата е много подробно разгледана и обсъдена. Основните приноси и резултати на дисертацията са в следните области.

Нормирането при неравномерно осветяване: Много съществуващи алгоритми предполагат равномерни профили на лазерния сноп. Дисертацията представя нови или подобрени методи за нормиране (напр. варианти на нормираната времева корелационна функция), за справяне с гаусови или неправилни форми на снопа. Резултатите са впечатляващи.

Подобрение на времевата разделителна способност: Разглежда се как да се оптимизират честотата на кадрите и интервалите на корелация за по-точно регистриране на динамични процеси.

Въздействие на шума при работа на открито или неблагоприятна среда: Обширни симулации и анализи на реални данни показват как околната светлина и вибрациите

намаляват точността на измерванията, като са предложени техники за намаляване на тези артефакти.

Описаните по-горе изследвания предоставят нови виждания в областта с резултати, които значително надминават съществуващите стратегии. Това е впечатляваща част от работата и ще окаже влияние върху науката в тази област

Глава 3 разглежда компресирането на динамични спекъл изображения. Основната мотивация е огромното количество данни, които се генерират в експериментите. Компресирането на данни предоставя средство за намаляване на количеството данни за съхранение и пренос. Това е важна област на изследване в световен мащаб. Компресирането на спекъл изображения е уникална област на изследване и почти няма предишни изследвания, които да дават насоки за подходящите подходи. Освен това, не е необходимо качеството на спекъл изображенията да е релевантно, а от значение е качеството на получената карта на активността.

JPEG и JPEG2000 в анализа на спекъл: Авторът експериментално оценява класически схеми за компресия на изображения, като определя количествено как артефактите на компресия с JPEG влияят върху картите на активността, базирани на спекъл изображенията. Това изследване илюстрира ползите от използването на JPEG трансформиране и използване на подходи, базирани на разлагане на сигнали чрез елементарни вълни. Компресиране, базирано на SVD: Предлагат се нови алгоритми, базирани на Разлагане по сингулярни стойности (SVD), които демонстрират значителни намаления в размера на данните, като същевременно запазват критичните активности. Компресиране, базирано на комбинирани техники (Анализ на главните компоненти, PCA и изкуствени невронни мрежи): Подходът с Анализ на главните компоненти, разширен с изкуствена невронна мрежа, постига високи съотношения на компресия, без да компрометира диагностичната точност

Обширните сравнения подчертават компромисите при всеки метод по отношение на коефициента на компресия, изчислителните разходи и точността на възстановяването на данните за динамичния спекъл. Работата в тази глава е много добре изложена и изследвана и предоставя отлични нови виждания за въздействието на компресията върху специфични спекъл изображения. Особено интересен е подходът „скорост срещу качество на картата на активността“, а въвеждането на изкуствена невронна мрежа за тази задача е много иновативно.

В **глава 4** се изследва приложението на динамичното спекъл визуализиране в безразрушителното тестване. Представен е преносима установка на основата на смартфон, която позволява приложение в полеви условия. Авторът описва система за ДСВ, включваща смартфон и оборудвана с малък лазерен модул, която улавя в реално време процеси на изсъхване на боя, втвърдяване на полимери и ранно образуване на микрорукнатини на повърхности. Това отговаря на ключова индустриална нужда от мобилни, достъпни решения за безразрушително тестване.

Представени са резултати от тестване на високоскоростно въздействие върху композити. Чрез използване на високоскоростна камера е изследвано въздействието на газов пистолет върху композитни проби. Корелирана е активността на динамичните спекъл изображения с механичното напрежение и прогресията на повредите – сравнявайки за проверка ДСВ с цифрова корелация на изображения (DIC).

За откриване на скрити дефекти е изследвана способността на системата да разкрива едва видими пукнатини или разслояване в пробите. Резултатите подчертават търговската жизнеспособност и научната обоснованост на метода за тестване на съвременни материали.

В горепосочените глави са предоставени достатъчно обобщения и заключения по съответните теми. Допълнителна отделна глава за обобщение и заключения е наистина излишна и ненужна. Авторът приключва тезата с кратко изброяване на приносите на дисертацията.

4. Обобщение и заключение на рецензента

В съвкупността си, тези приноси отговарят на съвременното високо ниво в изследванията на динамичното спекъл визуализиране, както теоретично - чрез задълбочени статистически и алгоритмични изследвания, така и практически - чрез реални демонстрации в безразрушителното тестване. Работата се отличава със своя мултидисциплинарен подход, обединявайки оптична физика, обработка на сигнали, софтуерно инженерство, електроника, механика и механично тестване в последователно изследователско изложение.

С дълбочината на изследването, обширните експериментални валидации и релевантността на разработените решения за индустриални, биомедицински и научни приложения, г-н Левченко е направил значителни и оригинални приноси в областта. Представените методи и резултати формират солидна основа за бъдещи иновации за надеждна спекъл метрология в реално време.

Тази дисертация надхвърля стандартните изисквания за докторска дисертация. Оценявам я като „много добра“ и достатъчна за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ (PhD).

Проф. д-р инж. Томас Сикора,

Преведен текст от становището на проф. Сикора на английски език