

Recenzja rozprawy doktorskiej

Analiza rozdzielczości obrazów uzyskiwanych w barwnej projekcji opartej na holografii komputerowej

mgr inż. Izabeli Ducin

z Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej

Praca poświęcona jest badaniom o charakterze aplikacyjnym dotyczącym rzutowania obrazów (projekcji) metodą holograficzną w szczególności badaniu i optymalizowaniu zdolności rozdzielczej małych projektorów (piko-projektorów). Badania składały się z modelowania komputerowego i badań doświadczalnych rozdzielczości w obrazach rekonstruowanych z syntetycznych hologramów Fouriera z wykorzystaniem przestrzennych modulatorów światła

Teza pracy została określona w sposób następujący:

„rozdzielczość obrazów odtworzonych z hologramu syntetycznego dla danej długości fali daje się przedstawić w postaci funkcji liczby aktywnych pikseli przestrzennego modulatora światła i odległości odtworzenia”.

Stwierdzenie to rozumiem nieco ogólniej jako

badania numeryczne i doświadczalne prowadzące do znalezienia związku (funkcji) pomiędzy zdolnością rozdzielczą obrazów (odtworzonych z hologramu syntetycznego) a liczbą (aktywnych) pikseli przestrzennego modulatora światła.

Praca składa się z pięciu rozdziałów, streszczenia, podsumowania, załączników i bibliografii. Liczy 104 strony. Zawiera spis literatury liczący 89 pozycji.

Streszczenie poświęcono przedstawieniu i umiejscowieniu pracy oraz jej wyniku. Wydaje się jednak miejscami zbyt skrótowym przedstawieniem zagadnienia, co może prowadzić do niezrozumienia. Np. stwierdzenie:

Otrzymywane rozkłady natężeniowe rejestrowane były bezpośrednio na matrycy światłoczułej CMOS

podobnie jak następne stwierdzenie, dotyczące zawartości pracy, omówione powyżej.

We Wstępie

zarysowano badany problem – badania prowadzące do stworzenia urządzeń o możliwie największej funkcjonalności przy możliwie najmniejszych rozmiarach.

Projektor wykorzystujący dyfrakcję do tworzenia rozkładów natężenia światła w dalekim polu z użyciem przestrzennego modulatora światła.

Rozdział 1- stanowi wprowadzenie do zagadnień niezbędnych (według Autorki) dla całości tezy.

Opisana została więc zasada działania projektorów holograficznych – przestrzenne modulatory światła i projekcja barwna.

Uwaga:

Może by można używać słowa rzutnik zamiast projektor?

W rozdziale 2 „Zagadnienia teoretyczne” opisane zostały:

Funkcja specjalna delta Diraca, Splot i Transformacja Fouriera.

Na tej podstawie opisano Zagadnienie próbkowania, Metoda splotową i Zmodyfikowaną metodę splotową

Następnie opisano Holografię syntetyczną i Kodowanie fazowych frontów falowych

Rozdział Algorytmy iteracyjne holografii jest opisem metody numerycznej.

Ważnym podrozdziałem jest część pracy poświęcona rozdzielczości, gdyż badanie rozdzielczości było podstawowym elementem tezy.

Opisana została rozdzielczość dwupunktowa wraz z kryteriami rozdzielczości oraz sposoby mierzenie rozdzielczości przy pomocy funkcji przenoszenia kontrastu (Modulation Transfer Function- MTF). Należy zauważyć że mierzona przy pomocy MTF rozdzielczość jako częstość przestrzenna rozróżnialnych linii jest tym większa im więcej j linii można rozróżnić. W następnym podrozdziale opisano wpływ zaszumienia na rozdzielczość oraz pozbywanie się szumu poprzez dodawanie coraz większej liczby hologramów.

Uważam że należy używać słowo „dodawanie” hologramów a nie ich integracja oraz liczba a nie ilość. Określenie „integracja” może być inaczej zrozumiane niż była intencja osoby piszącej.

Wydaje się również, że wielomianowe linie trendów na rys 14, 15, 16 poprowadzone są dla wielomianów o zbyt niskim stopniu, dlatego nasycają się zbyt wolno. Niestety nie został podany stopień dopasowanych wielomianów. Może warto by dopasować przebieg typu sigmoidalnego? Mogłoby to doprowadzić do ciekawych wniosków.

Istotnym podrozdziałem jest część dotycząca uwzględnienia w symulacjach komputerowych szumów, bez których są one dalekim przybliżeniem rzeczywistości.

Rozdział **Modelowanie numeryczne** zawiera opis analizy jakościowej oraz ilościowej modelowanych obrazów powstałych w wyniku rzutowania holograficznego.

Uwaga:

Sformułowanie *wyniki analizy jakościowej oraz ilościowej projekcji holograficznych uzyskanych w wyniku procesu modelowania numerycznego* brzmi dość ciężko

Do pomiaru rozdzielczości zastosowane zostały dwie metody użycie obrazu testowego USAF – 1951 oraz modelowanie numeryczne plamki rozmycia punktu.

Wyniki modelowanie numerycznego testu USAF – 1951 przedstawione zostały na wykresach 20, 21 jako liczba kolumn obrazu w funkcji ogniskowej zastosowanej numerycznej soczewki. Wyrażna jest tendencja do nasycania się liczby linii i kolumn obrazu

Niestety wyniki – obrazy uzyskane w wyniku numerycznej rekonstrukcji obrazu testowego USAF – 1951 dla wybranych wartości ogniskowych soczewek skupiających oraz trzech długości fali – powiększenia obszarów grup 7 i 8 są zupełnie niekonkluzywne. Być może zakres zmienności parametrów użyty w modelowaniu był zbyt mały.

Wyniki modelowania numerycznego plamki rozmycia punktu przedstawione zostały na wykresach 23 i 24. Wyraźny jest spadek rozdzielczości z długością fali oraz nasycanie się liczby kolumn wraz z ogniskową soczewki.

Zawarte na wykresach linie przerywane wydają się być jedynie liniami łączącymi punkty choć łatwo można by się pokusić o dopasowanie linii zmian (trendu) choćby wielomianowych lub lepiej sigmoidalnych.

Wykresy 25- 27 unormowanej wartości amplitudy funkcji MTF (sensytogramy) nie zawierają opisu osi poziomej („X”). Należy jedynie przypuszczać, że jest ona taka sama dla wszystkich barw.

Część pracy dotycząca modelowania komputerowego została podsumowana w podrozdziale:

Zestawienie wyników modelowania numerycznego

Podrozdział ten został napisany w sposób przejrzysty umożliwiającą prawidłową ocenę wartości wykonanej pracy.

Podsumowując więc (bezwzględnie wartościowe) wyniki symulacji:

Na wartości rozdzielczości wpływ mają dwa czynniki

- długość fali promieniowania świetlnego oraz
- moc optycznej soczewki nakładanej na hologram

Zmiany wartości ogniskowych soczewek pociągają za sobą szybki wzrost liczby efektywnych kolumn i linii obrazu. Tempo wzrostu wartości rozdzielczości dla obu kierunków ulega nasyceniu zależy od długości fali świetlnej.

Niektóre stwierdzenia choć ogólnie zrozumiałe wydają się być nie najlepiej sformułowane Na przykład

„Stwierdzone zostało że metoda MTF50P daje bardziej satysfakcjonujące wartości” i dalej „Słusznym wydaje się uznanie ich za maksymalne teoretyczne rozdzielczości możliwe do uzyskania przy założeniu idealnego procesu

Stanowczo brak mi w tym miejscu kryterium „satysfakcji” oraz kryterium wydawania się słusznym.

W rozdziale 4 – noszącym tytuł „Eksperyment” opisany został układ doświadczalny oraz wyniki przeprowadzonych doświadczeń.

Układ doświadczalny składał się z modulatora światła umieszczonego w układzie interferometrycznym Macha – Zendera.

Jako źródła światła wykorzystano trzy lasery półprzewodnikowe odpowiednio o długościach fali 671 nm, 532 nm i 473 nm.

Warto podkreślić, że zastosowany został nowoczesny przestrzenny modulator fazy firmy Jasper Display model JD8715 Quad – HD 0,70” starannie przetestowany.

W rozdziale „Aktywne piksele modulatora” wyznaczono jaką część wszystkich pikseli modulatora (APSLM) bierze aktywny udział w formowaniu obrazu dla poszczególnych ogniskowych soczewek i długości fali wykorzystywanych w modelowaniu numerycznym oraz w doświadczeniu. Wyniki przedstawiono na wykresach.

Wyniki testu USAF-1951 przedstawiono na wykresach 36 i 37

Wyniki testów rozmycia plamki przedstawiono na rys 38i 39 oraz 40-45 (znowu brak opisu osi x).

W porównaniu modelowania i doświadczenia:

widoczna jest zależność rozdzielczości rekonstrukcji syntetycznego hologramu Fouriera od długości fali wykorzystanego promieniowania świetlnego oraz od wartości ogniskowej soczewki odpowiedzialnej za odtworzenie obrazu w płaszczyźnie ekranu projekcyjnego. Dopasowana została funkcja sigmoidalna łącząca ogniskową soczewki z liczbą kolumn obrazu definiującą zdolność rozdzielczą. Funkcja taka zawiera wiele informacji na temat badanych zjawisk. Może warto by było je kiedyś w sposób głębszy przeanalizować. Już jednak samo stwierdzenie zgodności zależności numerycznych i doświadczalnych oraz znalezienie stosownej funkcji jest bezsprzecznie znaczącym osiągnięciem pracy.

Praca zakończona jest posumowaniem w sposób zwięzły zdającym sprawę z przeprowadzonych badań i symulacji:

Praca dotyczy ważnego problemu zdolności rozdzielczej nowoczesnej konstrukcji rzutnika obrazu, będącego autorskim i na pewno przyszłościowym rozwiązaniem powstałym w grupie w której doktorat był wykonywany. Przeprowadzono złożone modelowania komputerowe jak również trudne badania doświadczalne. Porównano krytycznie obie metody wyciągając stosowne wnioski. Udało się powiązać zależnością funkcyjną zdolność rozdzielczą z ogniskową wprowadzanej elektronicznie soczewki. Udał się również stwierdzić istnienie zależności funkcyjnej rozdzielczości odtwarzanych obrazów od liczby aktywnych pikseli przestrzennego modulatora światła i odległości odtworzenia.

Trochę nie podoba mi się sama zawartość rozprawy. Zabrakło mi informacji o zdolności rozdzielczej w kontekście modulatora oraz starannego opisu liczonych i mierzonych wielkości. Wiele zdjęć nie przynosi żadnych informacji. W istotnych momentach brak jest cytowania prac np. pracy teoretycznej: *Zmniejszenie długości fali powoduje zmniejszenie rozdzielczości obrazu, co pokrywa się z oczekiwaniami wynikającymi z teorii.*

Używany język jest w wielu miejscach niedopracowany:

Np. *układy oświetlone koherentnie (str 37), niekoherentne układy obrazujące, projektory, Zagadnienia teoretyczne tworzące aparat matematyczno-fizyczny, teoria informacji w rozdzielczości.*

Termin (moim zdaniem niezbyt dobry) „*W oparciu*” użyto 28 razy;

wprowadzenie kontrolowanego opóźnienia fazowego w wiązkę światła;

rozdzielczość rozumiana jako efektywna liczba kolumn i linii obrazu

Pod względem merytorycznym praca jest jednak ważna i interesująca

Podsumowując

uważam, że praca spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego

