

Recenzja rozprawy doktorskiej

Projekcja holograficzna z wykorzystaniem kolektywnej macierzy fazowych modulatorów światła

mgr. inż. Adama Piotra Kowalczyka

z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej

Celem pracy jest wykorzystanie kolektywnej macierzy fazowych modulatorów światła w projekcji holograficznej celem zwiększenia rozdzielczości uzyskiwanych obrazów. Cel został osiągnięty, a prace nad nim zostały opisane w recenzowanej rozprawie.

Rozprawa składa się z 6 rozdziałów i dość bogatej bibliografii zawierającej 76 pozycji w tym 7 prac z udziałem Doktoranta.

We wstępie opisane zostało zagadnienie użycia fazowych modulatorów optycznych do projekcji holograficznej wraz z ich zaletami – brakiem części mechanicznych, wysoką wydajnością energetyczną oraz brakiem złożonych układów optycznych. Projekcja holograficzna umożliwia również projekcję barwną. Większość projekcji odbywa się poprzez komputerowe algorytmy umożliwiające zaawansowane obrabianie rzutowanego obrazu. Jednak możliwości projekcyjne są ograniczone przez rozmiar i liczbę pikseli przestrzennego modulatora światła. W recenzowanej pracy wykorzystano dwa modulatory SLM zestawione w taki sposób by na ich powierzchni zachodziła spójna modulacja fazy światła. Podstawowym problemem było zsynchronizowanie położeń modulatorów. Wymagana dokładność pozycjonowania była rzędu rozmiaru piksela. Aby uzyskać taką dokładność wykorzystano specjalny układ elektronicznej regulacji pozycji, umożliwiający pozycjonowanie z wysoką dokładnością. Trochę zabrakło mi we wstępie słowa interferencja będącej podstawowym zjawiskiem umożliwiającym zwiększenie zdolności rozdzielczej rzutowanych obrazów.

Rozdział 2. zawiera zagadnienia teoretyczne związane z tematem rozprawy doktorskiej. W rozdziale tym wprowadzone zostały oznaczenia oraz nazwy porządkujące nomenklaturę i zjawiska.

Na wstępie opisano zagadnienia proste - deltę Diraca, splot, transformację Fouriera dyskretną transformację Fouriera. Następnie opisano metody numerycznej propagacji frontu falowego : metodę bezpośrednią, metodę opartą na transformacie Fouriera, metody splotowe. W następnym podrozdziale opisano fazowe elementy optyczne, transmitancje soczewki, siatki dyfrakcyjne binarne i piłokształtne

Następny podrozdział wydaje się bardzo ważny- opisano w nim rozdzielczość i jej kryteria począwszy od najprostszej rozdzielczości dwupunktowej poprzez zaawansowane kryteria rozmycia punktu PSF do funkcji przenoszenia kontrastu MTF. Opisane kryterium Sparrowa zawiera jednak nieścisłość – znikanie drugiej pochodnej nie jest warunkiem rozdzielania pików.

Na zakończenie opisano metody badania rozdzielczości (metody charakteryzacji obrazów)- test rozdzielczości USAF-1951 i analizę statystyczną.

W rozdziale 3. opisano modelowanie numeryczne badanego problemu

Podrozdział zatytułowany „Opis teoretyczny” pokazuje w jaki sposób użycie dwu modulatorów prowadzi do powstawania maksimum natężenia wraz ze strukturą interferencyjną o częstotliwości zależnej od odległości między modulatorami. W rozdziale tym w sposób bardzo dosadny pokazano na czym polega zwiększenie zdolności rozdzielczej poprzez interferencję światła odbijanego przez dwa rozdzielone modulatory.

Następnie opisano wykonane symulacje numeryczne i zastosowane metody m.in. zdefiniowano:

odpowiedź impulsową i algorytm obliczania hologramów dla układu wielu modulatorów.

Następnie oceniono zależność rozdzielczości obrazu od odległości pomiędzy modulatorami. Wyniki subiektywnej oceny rozdzielczości pokazują że pomimo powstawania kilku prążków interferencyjnych rozróżnialność elementu testu USAF 1951 się zwiększa może nawet o 25-50% dla niezbyt dużych szczelin między modulatorami. Również symulacje projekcji obrazów wskazują na wzrost rozdzielczości przy użyciu 2 (w poziomie) czy 4 (2 w pionie i 2 w poziomie) symulowanych modulatorów

Podobnie zachowanie zaobserwowano dla symulacji obrazu płytki drukowanej.

Ta część pracy stanowi najważniejszy etap modelowania pokazując celowość prac analizy numerycznej badanego problemu i możliwość zwiększenia rozdzielczości rzutowanych obrazów.

Podsumowując wyniki symulacji numerycznych pokazały że można zwiększyć rozdzielczości projekcji wykorzystując układ wielu (dwu albo 4) fazowych modulatorów światła choć macierz 2X2 wydaje się być prostym uwzględnieniem interferencji w dwu kierunkach – pionowym i poziomym.

W rozdziale 4. przedstawione zostały wyniki doświadczalne, wraz ze sposobami kompensacji nieidealnych powierzchni modulatorów.

W doświadczeniu użyto dwa identyczne fazowe modulatory światła Holoeye PLUTO-2-VIS-014, o rozdzielczości Full HD (1920 × 1080 px), rozmiarze piksela 8µm i wypełnieniu 93%.

Należy podkreślić, że warunki eksperymentu były podobne do warunków przeprowadzonych symulacji numerycznych co umożliwiło wzajemne porównanie wyników.

Wyznaczono najpierw krzywizny powierzchni fazowych modulatorów światła w celu znalezienia funkcji korygujących używając interferometru Macha-Zehndera.

Umożliwiło to studia doświadczalne rozdzielczości układu dwu modulatorów.

Zastosowane zostały złożone procedury, gwarantujące poprawność doświadczeń.

- zaadresowano modulatory SLM odpowiednimi fragmentami
- zastosowano stosowną procedurę transmitancją soczewki skupiającej złożonymi z maskami korygującymi krzywizny paneli.
- ustawiono („spozycjonowano”) modulatory

Potem zbadano zachowanie plamki światła lasera otrzymując plamkę z przewidzianą strukturą (prążkami), z centralnym prążkiem węższym od otrzymywanej przy użyciu jednego modulatora. Następnie zadbano o izoplanarność układu projekcyjnego.

Następnie przystąpiono do badania holograficznej projekcji obrazów. Wyniki testów USAF – 1951 potwierdziły tezę, że spójne złożenie dwu modulatorów prowadzi do zdecydowanie większej zdolności rozdzielczej, pomimo różnic projekcyjnych obu modulatorów. Podobny wynik otrzymano analizując obraz płytki drukowanej.

W rozdziale 5. Opisano analizę błędów możliwych do wystąpienia w układzie eksperymentalnym.

Przedstawiono wyniki teoretyczne, numeryczne i eksperymentalne dla Układów zawierających odstępstwo od zakładanej konfiguracji.

Rozdział 6. stanowi podsumowanie, propozycje zastosowań opisanej metody projekcji oraz ewentualny kierunek dalszego rozwoju metody, związane z niewątpliwym wzrostem zdolności rozdzielczej kolektywnej macierzy fazowych modulatorów światła

Praca napisana jest w sposób zrozumiały, poszczególne etapy zostały posumowane. Bardzo starannie została zrobiona korekta – w zasadzie nie zauważyłem błędów tak stylistycznych jak i redakcyjnych. Może trochę na wyrost użyte zostało słowa „kolektywna macierz” licząca w większości 2 elementy. Powstaje pytanie co by przyniosło zwielokrotnienie modulatorów – np. do 3 w rzędzie lub kolumnie? Czy struktura prążków interferencyjnych zwęziłaby się jeszcze? Czy centralne maksimum byłoby lepiej czy gorzej wydzielone?

Całość pracy jest jednak bogatym i udanym studium numerycznym i doświadczalnym założonej koncepcji zwiększenia zdolności rozdzielczej poprzez multiplikowanie modulatorów

Podsumowując

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

Biorąc pod uwagę ogrom prac numerycznych jakością prac doświadczalnych i dobrą jakością opisu wnoszę również o wyróżnienie pracy

