

HENRYK Z. KOWALSKI
ADAM DUBIK

[535.317.1:535.41/42]:528

Kierunki zastosowań optyki światła spójnego i holografii w geodezji i kartografii

1. Wstęp

Ostatnie lata charakteryzują się szczególnie szybkim rozwojem nowych technik i metod pomiarowych, mających decydujący wpływ na zdynamizowanie prac badawczych oraz na znaczne zwiększenie i usprawnienie procesów produkcyjnych, rozszerzenie możliwości badań mikro- i makrośrodków itd.

To nowe podejście do szeregu procesów badawczych i działalności bezpośrednio użytkowej zapewnione może być przez dostarczenie nowych jakościowo i liczniejszych informacji o stanie materii i przebiegu badanych procesów, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej do wymagań odbiorcy automatyzacji tych procesów, formy przetworzenia, opracowania i zobrazowania wyników.

Spośród najnowszych technik pomiarowych szczególnie szerokie możliwości i wysoką celowość zastosowań wykazują: optyka światła spójnego i holografia. Jednocześnie z rozwojem tych technik konieczne jest dalsze rozwinięcie elektroniki pomiarowej będącej ich niezbędnym uzupełnieniem i pomostem między nimi a elektroniczną techniką obliczeniową, której niesposób pominąć w nowoczesnym kompleksowym systemie pomiarowym dla potrzeb naukowych i profesjonalnych.

W świetle powyższego zespół techniki holograficznej, elektroniki pomiarowej, oraz elektronicznej techniki obliczeniowej stanowi logiczny ciąg w procesach badawczych i pomiarowych i pozwala w sposób nowy spojrzeć na miejsce i rolę geodezji i kartografii w obecnym czasie.

Aktualnie optyka światła spójnego i holografia znajduje ograniczone możliwości praktycznego zastosowania w geodezji i kartografii, pomimo tego znaczny postęp w badaniach spowodował, że coraz większa liczba pracowników i zespołów badawczych, zajmujących się optyką oraz geodezją i kartografią rozpoczęło badania nad zastosowaniami praktycznymi w tej dziedzinie. Celem tego artykułu będzie zaprezentowanie pewnych ogólnych metod i koncepcji, znajdujących się obecnie w stadium badań w wiodących ośrodkach naukowych oraz omówienie zastosowań optyki światła spójnego i holografii w geodezji i kartografii.

Podstawowe zasady, opisujące zjawiska dotyczące światła spójnego i holografii zostały dokładnie naświetlone w wielu publikacjach i wydawnictwach książkowych w kraju i za granicą [1÷10].

Duża szybkość przetwarzania danych, olbrzymia pojemność informacyjna, możliwość wielowymiarowego i wielokanałowego przetwarzania informacji, to tylko niektóre z zalet wynikających z zastosowań optycznych układów wykorzystujących światło lasera i holografię w geodezji i kartografii.

Historycznie rzecz biorąc w geodezji i kartografii wiodącą rolę w adaptacji nowych zjawisk fizycznych do opracowywania metod i narzędzi pomiarowych odegrała fotogrametria. Na obecnym etapie rozwoju optyki światła spójnego i holografii wzrasta jej użyteczność dla tradycyjnych zadań przed jakimi stoi geodezja, a do której możemy zaliczyć np. pomiary odległości i kąta. Innym przykładem możliwości jakie stwarza optyka światła spójnego i holografia są uzyskane wyniki w pracach nad automatyzacją procesów pozyskiwania zdjęć lotniczych i satelitarnych, oraz fotointerpretacją, przy czym ilość pozyskiwanych informacji związana w szczególności z rozwojem technologii satelitarnych gwałtownie wzrasta.

2. Zastosowanie optyki światła spójnego i holografii w pomiarach odległości i kąta

2.1. Pomiar odległości

Podstawowymi zaletami źródeł światła spójnego, które wykorzystuje się w pomiarach odległości, są małe rozbieżności promienia monochromatycznego o wysokiej energii. Robertson [11] podaje, że możliwe jest wykonanie pomiaru odległości z błędem względnym 1/500 000 bez uwzględnienia błędów spowodowanych wpływem środowiska.

2.2. Pomiar przemieszczeń liniowych i kątowych

W znanych dotychczas urządzeniach do pomiaru przemieszczeń istota pomiaru sprowadza się najczęściej do odczytu przesunięcia na podziałkach naniesionych na drodze mechanicznej, chemicznej, optycznej lub magnetycznej, przy czym w celu zwiększenia dokładności odczytu stosuje się urządzenia z podziałkami pomocniczymi, jak noniusze, śruby mikrometryczne albo też urządzenia optyczne w postaci rzutników i mikroskopów, które powiększają podziałkę.

Zasadniczą niedogodnością tego rodzaju urządzeń jest uwarunkowanie dokładności pomiaru ograniczoną rozdzielczością podziałki oraz znacznym wpływem błędów osobowych obserwatora.

Znane są przyrządy, na przykład z patentu polskiego Nr 54755, umożliwiające bezpośredni odczyt cyfrowy przesunięć liniowych lub kątowych. Dokładność pomiaru za pomocą tych przyrządów jest jednak ograniczona dokładnością zapisu i odczytu, która przy najdokładniejszych, znanych urządzeniach tego typu nie przekracza 300 bitów na mm. Dalsze zwiększenie dokładności urządzeń pomiarowych wymaga stosowania specjalnych technologii oraz dodatkowych zespołów odczytujących, na przykład noniuszy elektronicznych itp., które poza wzrostem kosztów komplikują budowę urządzenia zmniejszając niezawodność jego działania.

W IGiK opracowano urządzenie, którego celem jest bezpośredni pomiar cyfrowy przemieszczeń liniowych i kątowych przy równoczesnym znacznym zwiększeniu dokładności tego pomiaru w porównaniu do uzyskiwanych wyników za pomocą znanych dotychczas urządzeń [12].

Zadanie to zrealizowano przez budowę urządzenia pomiarowego wyposażonego w podziałkę o bardzo dużej gęstości prążków, naniesionych z wysoką dokładnością oraz w generator impulsów, który umożliwia bezpośrednie przekształcenie przesunięcia liniowego lub kąтового tej podziałki w impulsy elektryczne. Badania wykazały, że tego rodzaju podziałkę najkorzystniej jest zrealizować w postaci hologramu, to jest na drodze rejestracji fotograficznej zjawiska interferencji fal spójnych uzyskanych za pomocą lasera. Zapewnia to uzyskanie gęstości podziałki rzędu kilku tysięcy znaków na długości 1 mm, tj. tak wysokiej jej rozdzielczości, jakiej uzyskanie dotychczas nie było możliwe.

3. Możliwości wykorzystania światła spójnego i holografii w fotogrametrii

3.1. Cechy modelu holograficznego

Otrzymany obraz obiektu z hologramu charakteryzuje się trzema wymiarami w przyjętym układzie XYZ, podobnie jak przy obserwacji stereogramu. Dla otrzymania zdjęć stereoskopowych wykonuje się fotografowanie z bazy jednym niespójnym źródłem światła. W przypadku hologramu użyte są dwie spójne wiązki świetlne: jedna — tzw. wiązka przedmiotowa i druga — wiązka odniesienia. Wynik interferencji tych dwóch wiązek zostaje zarejestrowany na materiale światłoczułym o wysokiej rozdzielczości. Rekonstrukcję obrazu obiektu otrzymuje się po oświetleniu hologramu światłem spójnym. Otrzymany obraz obiektu jest identyczny z obiektem rzeczywistym pod warunkiem, że przy rekonstrukcji i rejestracji używa się światła o jednakowej długości fali i jednakowym kształcie jej czoła. Powstały „model holograficzny” posiada dobrą zdolność rozdzielczą, a także większą plastykę w porównaniu z modelem stereoskopowym, co stwarza nowe możliwości dla powiększeń tego modelu. Dla przykładu, może to pozwolić na zbudowanie nowej generacji przyrządów (holoautografów) które umożliwią korzystanie ze zdjęć lotniczych małoskalowych dla opracowań map wielkoskalowych, co wpłynie w sposób zasadniczy na ich potanie.

Przyrządy specjalnie skonstruowane do obserwacji i pomiaru hologramu będą dużo prostsze w porównaniu z obecnymi autografami do opracowań stereogramów. Wystarczy stanowisko do rekonstrukcji hologramu i koordynatograf połączony z ruchem znacznika pomiarowego.

Przygotowanie i zapis stereomodeli holograficznych pozwoli efektywniej wykorzystać układ pomiarowy, co wynika z możliwości rejestracji wielu stereomodeli na jednej płytce materiału światłoczułego. Pozwala to na nowe podejście do problemu orientacji zdjęć.

Baza obserwacyjna w stosunku do obserwowanego modelu holograficznego może zmienić położenie, co w rezultacie pozwala obserwować go z różnych stron. Jeżeli np. pewien szczegół obiektu jest zasłonięty przez inny, wystarczy zmienić punkt obserwacji, aby szczegół ten stał się widoczny. Jest to jedna z głównych różnic istniejąca między modelem stereoskopowym a obiektem odtworzonym z hologramu. Wszelkie zmiany wiązki rekonstruującej w stosunku do wiązki użytej przy rejestracji hologramu, powodują odpowiednie zmiany jasności modelu, wprowadzając jednocześnie zmiany geometryczne. W przypadku małych zmian długości

fali, błędy stąd wynikłe mają charakter liniowy i wierność geometryczna zostaje zachowana.

Hologram i fotografia zawierają określoną informację o holograflowanym obiekcie i w wielu aspektach są do siebie podobne, a w innych różnią się od siebie. Wydaje się pożyteczne podać porównanie właściwości hologramu i fotogramu ze szczególnym podkreśleniem aspektów fotogrametrycznych.

Cechy wspólne i różnice pomiędzy zdjęciem fotograficznym a hologramem przedstawiono w tablicy 1 [13].

Tablica 1

Hologram	Fotogram
1. Do otrzymania hologramu konieczny jest obiekt	1. Wszystkie promienie biegnące od przedmiotu przechodzą przez obiekt
2. Nie występuje pojęcie ogniskowej	2. Ogniskowa spełnia ważną rolę. Zależy od niej skala i powierzchnia obiektu
3. Może być rejestrowana amplituda, faza, częstotliwość czy stan polaryzacji czoła fali rozproszonej przez obiekt	3. Rejestrowana jest intensywność światła, wyrażająca się w postaci zmiany zaczernienia emulsji fotograficznej oraz częstotliwości, która w przypadku fotografii kolorowej zawiera informacje o barwie
4. Odległość od obiektu nie ma wpływu na tworzenie się hologramu	4. Odległość ma wpływ na obraz fotograficzny
5. Hologram rejestruje obiekt jednako ostro na całej jego głębokości	5. Zdjęcie jest ostre jedynie w granicach głębi ostrości obiektu
6. Obraz przedmiotu rejestrowany jest w postaci „zaszyfrowanej” (prążki interferencyjne)	6. Obraz przedmiotu zarejestrowany na kliszy odpowiada rzeczywistemu przedmiotowi
7. Do rejestracji obrazu konieczne jest źródło światła spójnego	7. Do fotografowania nie jest potrzebne spójne źródło światła
8. Rozdzielczość jest jednakowa dla całego hologramu	8. Rozdzielczość nie jest jednakowa na całej powierzchni zdjęcia
9. Niezbędna jest wysoka stabilność układu aparatury służącej do wykonywania hologramów	9. Wymagania odnośnie stabilności obiektu i kamery są mniejsze
10. Dla otrzymania hologramu wysokiej jakości wymagane jest użycie	10. Uzyskanie dobrego zdjęcia wymaga użycia materiałów fotograficznych

Hologram	Fotogram
materiałów holograficznych o dużej zdolności rozdzielczej	o zdolności rozdzielczej rzędu ponad 50 l/mm
11. Istnieje możliwość otrzymania obrazów za pomocą holografii mikrofalowej czy ultradźwiękowej, co pozwala m. in. na penetrację wnętrza organizmów żywych itp.	11. Istnieje możliwość otrzymania obrazów na innych długościach fal za pomocą technik specjalnych
12. Przestrzenny model przedmiotu uzyskuje się na podstawie jednego hologramu	12. Jedno zdjęcie nie daje przestrzennego modelu. Konieczne są dwa zdjęcia stereoskopowe
13. Rekonstruowany model może być wysokiej klasy pod warunkiem, że hologram jest obserwowany w takich samych warunkach, jak w momencie ekspozycji	13. Powstały model stereoskopowy zestawiony z dwóch zdjęć wykonanych z bazy obarczony jest wpływem aberracji
14. Każdy punkt hologramu uczestniczy w rejestracji całego obiektu, każdy punkt obiektu jest zarejestrowany na całej powierzchni hologramu	14. Jednemu punktowi obiektu odpowiada jeden punkt zdjęcia. Stąd fragment zdjęcia zawiera informacje tylko o fragmencie obiektu
15. Rekonstruowany hologram daje dwa obrazy: pozorny — dający się obserwować nie uzbrojonym okiem i rzeczywisty, który można bezpośrednio utrwalić na kliszy fotograficznej	15. Ze zdjęć stereoskopowych można uzyskać model ortoskopowy, pseudoskopowy i zerowy
16. Obserwator widzi obraz obiektu przez hologram. Obiekt rekonstruuje się poza płaszczyznę hologramu (dla hologramu obiektu skupionego — w płaszczyźnie hologramu)	16. W przypadku obserwacji: a) pojedynczego zdjęcia obserwator widzi model w płaszczyźnie zdjęcia, b) stereogramu w dowolnym miejscu w stosunku do płaszczyzny odniesienia
17. Istnieje możliwość obserwacji modelu holograficznego z różnych punktów przestrzeni (oglądanie przedmiotów zasłoniętych przednim planem)	17. Na zdjęciu występuje efekt maskujący w zależności od topografii
18. Możliwe jest powiększenie rzędu $10^5 : 1$	18. Powiększenie zdjęcia fotograficznego jest ograniczone ziarnistością emulsji
19. Przy holografowaniu uzyskuje się obraz pozytywow	19. Przeważnie negatywow
20. Kopiowanie hologramu daje przeważnie obraz pozytywow	20. Kopiowanie negatywu daje pozytyw

3.2. Pomiary modelu przestrzennego otrzymane z hologramu

Kiedy po raz pierwszy zaproponowano zastosowanie holografii w fotogrametrii uwaga badaczy skupiła się na wykorzystaniu stereomodeli holograficznych do celów kartograficznych. Prace przeprowadzone w Uniwersytecie Purdue przez E. M. Mikhaila [14] oraz M. K. Kurtza [15] zaprezentowały pierwsze wyniki wykorzystania stereomodeli holograficznych.

Glaser i Mikhail [16] oraz Gifford i Mikhail [17] wykonali badania dotyczące określenia dokładności pomiarów, wykorzystując stereomodele holograficzne. Balasubramanian oraz Stevenson [18] przedstawili możliwości zastosowania stereomodeli holograficznych w kartografii topograficznej.

Otrzymane przez Gifforda [19] wyniki są bardzo obiecujące. Określił on dokładność pomiarów ze stereomodeli holograficznych. Dokładność ta jest tego samego rzędu, jak dokładność osiągnięta za pomocą metod tradycyjnych. Badania te wymagają operatora nakierowującego znaczek pomiarowy na obraz holograficzny. Nie określono jeszcze możliwości osiągnięcia podobnych dokładności w przypadku w pełni automatycznego układu pomiarowego stereomodelu holograficznego, niemniej jednak przypuszcza się, że dokładność zostanie podwyższona. Prace w tym kierunku trwają.

Główny problem techniczny w tym stadium rozwoju technik holograficznych odnosi się do rejestrowania stereomodeli holograficznych oraz możliwości zapisu i odtwarzania stereomodeli mikroholograficznych.

Z wykorzystaniem optyki światła spójnego i holografii wiąże się też problem automatyzacji pomiarów. Prace w tym kierunku zapoczątkował S. I. Królikowski i D. C. Kowalski [20].

Sprowadzają się one do określenia paralaksy, występującej na stereogramie, za pomocą korelometru optycznego, w którym jako nośnika informacji używa się światła laserowego.

Metoda korelacji określenia paralaksy fotogrametrycznej polega na wykonaniu filtru dopasowanego (holograficzna rejestracja widma Fouriera) dla jednego ze zdjęć stereoskopowych i wprowadzenie na wejście układu optycznego drugiego zdjęcia z pary. W płaszczyźnie wyjściowej układu tworzy się tzw. funkcja korelacji tych dwóch zdjęć, której pomiar współrzędnych daje odpowiedź na pytanie o wartości paralaksy.

Powyższe określenie odnosi się do dowolnego punktu zdjęć.

Podstawową zaletą metody opartej na tej koncepcji jest jej prostota realizacji i znaczne przyspieszenie otrzymania i zapisu danych, związanych z rzeźbą terenu, wadą natomiast — trudność w precyzyjnym określe-

niu współrzędnych podstawowego maksimum funkcji korelacji, co decydująco wpływa na dokładność pomiaru. W celu podniesienia dokładności pomiaru paralaksy, w pracy [21] proponuje się nowy sposób jej otrzymania i pomiaru, wykorzystujący holograficzny filtr odwrotny, dzięki któremu w płaszczyźnie wyjściowej koherentnego układu optycznego (KUO) uzyskuje się nie funkcję korelacji zdjęć stereoskopowych jak w metodzie korelatora, lecz tak zwaną funkcję (impuls) Diraca. Umożliwia to bardziej precyzyjne określenie i pomiar jej współrzędnych, a tym samym kilkukrotne zwiększenie dokładności.

Dodatkową zaletą zaproponowanego rozwiązania, będącego przedmiotem tego opracowania jest uproszczenie układu optycznego realizującego tę metodę, dzięki zarejestrowaniu wraz z holograficznym filtrem odwrotnym, operatora soczewki.

Filtr odwrotny wykonany w podany w cytowanej pracy sposób może także służyć do poprawy jakości zdjęć zniekształconych, np. na skutek rozogniskowania kamery czy ruchu obiektu w czasie trwania ekspozycji.

Proste koherentne układy optyczne, wykorzystujące filtry holograficzne, zwiększają możliwość szybkiej obróbki danych kartograficznych. Interesujące nas punkty sprzężenia stereogramów i pomiary paralaksy obrazu otrzymuje się w wyniku przemieszczania spójnej wiązki w płaszczyźnie pierwszego zdjęcia. Zaproponowana metoda określenia paralaksy różni się w zasadniczy sposób od istniejących metod holograficznych. Filtr dopasowany zastąpiony został filtrem odwrotnym, dzięki czemu w formowaniu sygnału wyjściowego bierze udział jedynie część fazowa obrazu Fouriera jednego ze stereogramów.

W tym przypadku sygnałem wyjściowym jest funkcja Diraca δ . Współrzędne jej łatwiej jest określić i zmierzyć niż współrzędne funkcji korelacji w metodzie filtru dopasowanego, która może wykazywać maksima poboczne. Zwiększa to dokładność metody. Wykorzystanie optyki cylindrycznej do zaproponowanej metody umożliwi określenie paralaksy jednocześnie na pewnym wybranym odcinku stereogramów rzeźby terenu.

Wydaje się celowe przypomnieć metodę filtrów quasi Fouriera opracowaną w Polsce, stosowaną do otrzymania modelu stereoskopowego na podstawie stereogramów [22]. Wiadomo, że aby otrzymać efekt głębi na podstawie obserwacji zdjęć stereoskopowych należy dysponować układem optycznym np. stereoskopem, który musi być odpowiednio skorelowany z położeniem zdjęć. Aby móc przeprowadzić opracowanie stereogramu należy dysponować fotogramami, które w większości przypadków mają dużą powierzchnię, a tym samym małą gęstość informacji. Wynika to między innymi z ograniczonych możliwości zapisu dużej liczby zdjęć na małej

powierzchni. Przy otrzymywaniu stereogramów nie można też ekspozować kilku projekcji na to samo miejsce materiału światłoczułego z oczywistego względu otrzymania nieczytelnej fotografii czy inaczej — straty informacji.

W związku z przytoczonymi powyżej uwagami nasuwają się następujące pytania: czy nie można byłoby z procesu przetwarzania stereogramów wyeliminować układu optycznego, który powoduje szereg zniekształceń, takich jak aberracja, absorbcja itp., wpływających m. in. na rząd błędów pomiarowych, a jednocześnie umożliwić zebranie (rejestrację) większej liczby informacji niż przy stosowaniu metody klasycznej. Czy (co może się wydać absurdalne) można na jednym i tym samym miejscu materiału ekspozować większą liczbę zdjęć bez obawy straty informacji? I wreszcie pytanie ogólne: czy można znaleźć (albo czy istnieje) metoda bardziej nowoczesna, dokładniejsza i ekonomiczniejsza?

Na te wszystkie pytania i wątpliwości holografia pozwala nam udzielić odpowiedzi pozytywnej.

Jeżeli na soczewki oddalone od siebie w odległości równej bazie ocznej pada sferyczna wiązka światła spójnego, to w płaszczyźnie oddalonej od soczewek na odpowiednią odległość sformowane zostaną widma Fouriera od stereogramów π_1 oraz π_2 .

Widma te w przypadkach obu zdjęć π_1 i π_2 zostają poddane interferencji z bocznymi falami zwanymi w holografii falami (wiązkami) odniesienia. Po ekspozycji i obróbce fotochemicznej materiału światłoczułego w płaszczyźnie widmowej zostają zarejestrowane hologramy stereogramów Fouriera w dwóch miejscach materiału światłoczułego. Zmieniając pary zdjęć stereoskopowych i przemieszczając o niewielką wartość hologram, można zarejestrować na nim większą liczbę stereogramów. Średnica plamki hologramu przy tym może nie przekraczać 0,5 mm. Wypada zauważyć, że średnica plamek jest odwrotnie proporcjonalna do skali zdjęć stereoskopowych i zależy od liczby i rodzaju szczegółów zawartych na zdjęciach.

Dla rejestracji wyższych składowych częstości widma Fouriera należy wykonać hologramy w pewnej odległości od „idealnego” punktu skupienia soczewek. Taka ekspozycja powoduje zwiększoną rozdzielczość rekonstruowanych obrazów. Aby jeszcze bardziej zwiększyć pojemność holograficznego „banku” zdjęć stereoskopowych można, nie zmieniając położenia hologramu, w jednym miejscu dokonać wielokrotnej ekspozycji różnych stereogramów, zmieniając jedynie kąt padania fali odniesienia. Warunkiem dokonania prawidłowej rejestracji jest stałość krzywizny powierzchni czoła fal odniesienia dla stereogramów widm Fouriera. Tak ekspozowany materiał światłoczuły, następnie odpowiednio wywołany i utrwalony, na-

leży oświetlić parą wiązek najlepiej padających pod takim samym kątem, pod jakim padały wiązki odniesienia przy rejestracji.

Dokonując obserwacji (lewe oko lewy holostereogram prawe oko prawy holostereogram) zauważymy, że w miejscach, gdzie przy rejestracji hologramów były stereogramy rekonstruuja się obrazy tych stereogramów, przy czym do prawego oka dociera obraz π_1 , a do lewego obraz lewego stereogramu π_2 . Tą drogą można obserwować model przestrzenny, a także dokonać niezbędnych pomiarów za pomocą świetlnych znaczków pomiarowych. Z wyżej przytoczonego opisu do rekonstrukcji stereogramów nie są potrzebne żadne dodatkowe układy optyczne.

Zmianę skali zdjęć rekonstruowanych można dokonywać za pośrednictwem albo zmian długości fali światła odtwarzającego hologramy lub też zmiany krzywizny czoła fali.

Obecnie można już śmiało twierdzić, że uformował się nowy kierunek, reprezentujący jedną z wielu powstałych ostatnio technik pomiarowych, pod nazwą hologrametrii, zaproponowany w opracowaniu zbiorowym [15]. Hologrametria obejmuje więc:

- a) opracowanie hologramów małych przedmiotów,
- b) opracowanie stereomodeli holograficznych.

Należy się więc spodziewać, że tak jak obecnie opracowuje się kartometrycznie stereogram, tak wkrótce będziemy opracowywać hologram. Oczywiście technika holograficzna całkowicie nie wyprze ani też nie zastąpi tradycyjnych metod fotogrametrycznych ale niewątpliwie uzupełni je o nowe możliwości [24÷34].

4. Holograficzne gromadzenie informacji — pamięć optyczna

Pamięci optyczne można porównać do pamięci w komputerowych układach cyfrowych, lub w ich najprostszym pojęciu, pamięci optyczne mogą odnosić się do tych materiałów, które rejestrują sygnały optyczne. Możliwości wykorzystania pamięci optycznych oraz holograficznych materiałów rejestrujących stają się coraz bardziej realne w geodezji i kartografii. Informacja w postaci danych cyfrowych i analogowych ze źródeł graficznych oraz obrazów przestrzennych może być zmagazynowana w ekonomicznych układach pamięci archiwalnej, umożliwiając jej uaktualnienie, jak również szybszy dostęp w porównaniu do układów konwencjonalnego magazynowania danych.

Duże zainteresowanie pamięciami optycznymi znajduje uzasadnienie w fakcie, że gęstość gromadzenia informacji jest teoretycznie ograniczona

tylko długością fali światła wykorzystywanego w procesie rejestrowania. Dla zapisu objętościowego wartość ta wynosi 10^{12} bitów/cm³, podczas gdy przy zapisie dwuwymiarowym 10^8 bitów/cm² [35]. W rzeczywistości możliwości gromadzenia informacji są mniejsze o kilka rzędów wielkości z powodu praktycznie występujących ograniczeń, takich jak rozkłady dyfrakcyjne, zakłócenia układów optycznych, odchylenia powierzchni zapisującej od płaszczyzny ogniskowej, kurz, rysy, oraz wady materiału. Wiele z tych ograniczeń można pokonać dzięki zastosowaniu holograficznych metod zapisu.

Istnieją interesujące przykłady optycznego magazynowania informacji. Na przykład Bardes [36] omawia możliwości holograficznego magazynowania mapy kolorowej oraz układ odnawiający, Amodei [37] zmagazynował kolorowe obrazy w hologramach objętościowych w żelazie nasyconym niobatem-litu. Staebler [38] opisał zmagazynowanie 100 hologramów z możliwością ich czytania, rejestracji i zmazywania w takich materiałach jak podane wyżej. Wydaje nam się, że istnieje odpowiedni moment do rozpoczęcia poważnych badań pamięci optycznych i możliwości ich zastosowania w kartografii. Obecne możliwości rejestrujących materiałów, opisane przez Mc Mahona [39] pozwalają na zmagazynowanie informacji do 60 stron/cm² na hologramach cienkich, a Palermo i Vander Lugt [40] omawiają, magazynujący układ holograficzny człowiek odczytujący — maszyna odczytująca, gdzie wykorzystano powierzchnię o 10×15 cm do zmagazynowania 2×10^7 bitów informacji.

Odtworzone części mapy muszą mieć dokładność w granicach 0,1 mm oraz prawie doskonałą jednolitość stonowania w stosunku do formatu zawierającego całą informację źródłową, dlatego też występuje potrzeba badań naukowych w celu określenia możliwości magazynowania informacji kartograficznych.

W obecnej dobie każde dziesięciolecie podwaja liczbę informacji naukowej i technicznej [13]. Podobna sytuacja ma miejsce w geodezji i kartografii, gdzie w związku z intensywnym rozwojem tych dziedzin pomnaża się w sposób lawinowy liczba różnego rodzaju dokumentów. Stan ten rodzi poważny kryzys możliwości magazynowania informacji tego typu. Próba rozwiązania tego kryzysu stanowiło opracowanie urządzeń do zapisu i odczytu informacji przy zastosowaniu mikrofilmów. Stworzyło to jednak duże trudności technologiczne w zakresie optyki, rzutujące na duże koszty tych urządzeń, co oczywiście ogranicza ich powszechność. W tej sytuacji pojawienie się holograficznych metod gromadzenia informacji otwiera nowe możliwości w tym zakresie.

Wierność informacji w odtwarzanym obrazie w dużym stopniu zależy od powierzchni hologramu zawierającej obraz. Zasadniczy wpływ na jakość obrazu ma tzw. szum koherentny (struktura plamkowa), wynikający z własności światła spójnego.

W praktycznych zastosowaniach nie zawsze zachodzi potrzeba zapisu pełnej informacji o obiekcie. Dla przykładu, jeżeli obiektem jest „przezroczyste mapy” (tego rodzaju obiekty są typowym przykładem materiałów informacyjnych wymagających gromadzenia), to mniej istotna jest gradacja (wielotonowość szarości) poszczególnych linii czy tła. Konwencjonalna holografia umożliwia eliminację zbędnej informacji w zapisie. Istnieje jednak sposób odwzorowania informacji na powierzchnię rejestracji, umożliwiający przestrzenną filtrację pewnych cech informacji, znany jako transformacja Fouriera, a realizowany w układach optycznych za pomocą soczewki powiększającej. Stosowanie tej transformacji w holograficznym zapisie informacji optycznej określonej na płaszczyźnie, zwanej płaszczyzną przedmiotową, polega na rejestracji holograficznej dokonywanej w płaszczyźnie ogniskowej układu optycznego. W płaszczyźnie tej rząd zerowy ugiętego na strukturze obiektu światła związany jest ze stałą gęstością optyczną odtworzonego obrazu, natomiast dalsze rzędy dyfrakcyjne są funkcją kontrastu obrazu. Ponadto, im mniejszy jest szczegół przedmiotu, np. grubość linii, tym większe są odstęp między poszczególnymi rzędami dyfrakcyjnymi w płaszczyźnie widmowej. Dlatego też mała powierzchnia rejestracji holograficznej w płaszczyźnie Fouriera, stanowiąca otoczenie środka obrazu dyfrakcyjnego niejako automatycznie eliminuje niepożądane szczegóły i drobne zanieczyszczenia obiektu, ale równocześnie obniża kontrast rekonstruowanego obrazu. Możliwa jest odpowiednia optymalizacja powierzchni zapisu [1], prowadząca do wyeksponowania tylko istotnej treści informacyjnej obiektu, a zależna m. in. od sposobu jego zobrazowania w procesie reprodukcji. Istotną rolę w procesie minimalizacji powierzchni mikrohologramu odgrywają również parametry układu optycznego, realizującego transformację Fouriera. Im mniejszy jest stosunek ogniskowej do źrenicy wejściowej tego układu, tym mniejszej powierzchni można użyć do zapisu przy zachowaniu tej samej jakości reproduktowanego obrazu. Ponadto holograficzna rejestracja w płaszczyźnie rozdzielonych rzędów dyfrakcyjnych wpływa oczywiście w zasadniczy sposób na minimalizację struktury plamkowej. W celu zmniejszania wpływu nieliniowości charakterystyki materiału światłoczułego, na którym dokonuje się zapisu mikroholograficznego, płytę fotograficzną w praktyce umieszcza się w płaszczyźnie nieco przesuniętej względem płaszczyzny Fouriera. Zapewnia to bardziej równomierny rozkład natężenia światła na emulsji, nie dopusz-

czając do prześwietlenia w obszarze zerowego rzędu dyfrakcyjnego, a nieoświetlenia w obszarze wyższych rzędów dyfrakcyjnych. Takie hologramy noszą nazwę hologramów quasi Fauriera.

Zaletą tego sposobu rejestracji jest możliwość odtwarzania informacji z możliwością zmian skali rekonstruowanych obrazów, na drodze użycia przy rekonstrukcji wiązek o różnej rozbieżności (lub zbieżności).

Inny sposób zapisu i odtwarzania mikrohologramu polega na rejestracji holograficznej w płaszczyźnie ogniskowej układu optycznego, wytwarzającego powiększony obraz rzeczywisty, oraz odtworzeniu już powiększonego obrazu przez oświetlenie hologramu wiązką identyczną z zapisującą wiązką odniesienia. Ten sposób holograficznego gromadzenia informacji wydaje się mieć zasadniczą przewagę praktyczną nad metodą omówioną poprzednio. Wprawdzie w układzie tym, ze względu na duże powiększenie, wymagane jest zastosowanie elementów optycznych o wysokiej jakości, jednak, w odróżnieniu od poprzedniej metody, nie ma potrzeby stosowania elementów optycznych kompensujących aberrację w układzie odtwarzającym.

W upowszechnianiu mikroholograficznego systemu gromadzenia informacji dużą rolę odgrywa możliwość znacznego zmniejszenia kosztów urządzenia do odtworzenia informacji poprzez wyeliminowanie z niego lasera. Możliwość taką daje inny sposób zapisu informacji. Różnica w odniesieniu do układu omówionego wyżej polega jedynie na tym, że wiązka odniesienia pada dokładnie z przeciwnego kierunku, a emulsja jest na tyle gruba, że wytwarza się w niej duża liczba interferencyjnych warstw ekwifazowych.

Jak wiadomo, po wywołaniu płyta fotograficzna jest szczególnym rodzajem selektywnego filtra interferencyjnego i przy jej oświetleniu wiązką światła białego, skonfigurowaną identycznie do zapisującej wiązki odniesienia, daje w płaszczyźnie optycznie sprzężonej do płaszczyzny przedmiotowej powiększony obraz rzeczywisty o barwie takiej, jaką posiadało światło użyte do rejestracji. Przeciwwstawiając mikrofilmowemu sposobowi gromadzenia informacji metodę mikroholograficzną można wymienić następujące cechy tej ostatniej:

1. Na hologramie rejestruje się obraz w postaci zakodowanej.
2. Mniejsza czułość hologramów na kurz i rysy.
3. Brak układów optycznych przy rekonstrukcji obrazów z mikrohologramów.
4. Duże tolerancje odnośnie dokładności ustawienia kliszy względem wiązki światła lasera.

5. Nieskomplikowany proces powielania hologramów.
6. Możliwość rejestracji w jednym i tym samym miejscu hologramu wielu obrazów z możliwością ich rozdzielnej rekonstrukcji.
7. Możliwość stosowania materiałów umożliwiających wielokrotną rejestrację i kasowanie danych.
8. Niskie koszty urządzeń do zapisu i odczytu informacji.
9. Rejestracja dużej gęstości informacji w odniesieniu do powierzchni czy objętości materiału światłoczułego.

5. Holograficzne metody rozpoznawania obrazu w zastosowaniu do fotointerpretacji

5.1. Filtracja holograficzna

Czarno-białe fotografie lotnicze o powierzchni ok. 58 cm² mogą zawierać do 10¹² bitów informacji przy dokładnościach i rozdzielczości niezbędnej do kartografowania. W przypadku kiedy do pokrycia badanego obszaru wymagane jest uzyskanie tysięcy oddzielnych fotografii, to przetwarzanie informacji zawartej w takiej liczbie fotografii za pomocą metod cyfrowych staje się problemem. W takich przypadkach wydaje się celowe wykonywać obróbkę informacji, stosując optyczne koherentne analizatory [49, 50].

Istnieje więc potrzeba rozwinięcia prac, prowadzących do zbudowania układów, które dla przykładu rozpoznają i sklasyfikują w sposób automatyczny pozyskane materiały źródłowe ze względu na treść i formę przedstawienia ich na mapie. Zadaniem tych układów jest też rozpoznanie i sklasyfikowanie zmian zachodzących w czasie i sprowadzających się do aktualizacji map. Układy pozwolą też wyeliminować niepożądane skutki wpływów atmosferycznych np. zachmurzenia lub niedoskonałości aparatury, dające w efekcie np. obraz prześwietlony lub prowadzący do błędów w skali obrazów fotograficznych o wysokiej gęstości informacji. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych prac w celu uzyskania takiej elastyczności optyki, jaką mają korelatory elektroniczne.

Korelatory obraz—obraz wygodnie jest stosować do oznaczenia punktów sprzężenia obrazów stereo, podczas gdy korelatory obraz—filtr dopasowany nadają się bardziej do problemów związanych z wykrywaniem obrazów. Feinlieb [23] proponuje płaszczyznowy modulator częstotliwości przestrzennej do tworzenia filtrów dopasowanych czasu rzeczywistego. Zróżnicowanie naturalnych danych o terenie w obrazach przestrzen-

nych powoduje olbrzymie trudności w przygotowaniu wzorcowych filtrów dopasowanych do rozpoznawania obrazów terenu. Dokładne badania z korelatorem obraz—filtr dopasowany do automatycznego kartowania zdjęcia przeprowadził Rotz [41, 42].

Wiadomo, że proces identyfikacji zdjęć lotniczych wykonanych z niskich wysokości fotografowania jest bardzo pracochłonny i wymaga od fotointerpretatora głębokiej znajomości przedmiotu, a także dużej spostrzegawczości. Dlatego prace te należy automatyzować. Automatyzacja procesu identyfikacji polega na wykrywaniu za pomocą specjalnych urządzeń różnego rodzaju obiektów na zdjęciach, określeniu ich współrzędnych, liczby i innych danych. Celem automatyzacji fotointerpretacji jest więc uzyskanie optymalnej liczby informacji o interesujących nas obiektach i sytuacjach jakie one tworzą z wykorzystaniem holografii i koherentnych układów przetwarzania informacji.

Obiekty podlegające rozpoznaniu na zdjęciach można podzielić na przypadkowe i determinowane. W zależności od typu obiektów stosuje się odpowiednie metody ich identyfikacji. Stosowane metody oparte są na zasadach filtracji częstości przestrzennych. Ponieważ szeroki przegląd metod rozpoznawania został podany w artykule ograniczymy się jedynie do pokazania w jaki sposób koherentny układ optyczny może dowiązać zdjęcie do mapy.

Jedną z najbardziej znanych metod jest metoda korelacji [43—47].

Jeżeli przez pojęcie „sygnał” rozumieć będziemy interesujące nas zdjęcie (dowiązania, którego mamy dokonać), znajdujące się wśród innych, znanych — to miarą podobieństwa interesującego nas zdjęcia i zdjęć znanych (których współrzędne na mapie są określone) będzie funkcja korelacji maksymalizująca stosunek sygnał — zakłócenie. Funkcję tę otrzymuje się stosując filtry optymalne i dopasowane, wykonane metodami holografii. Funkcja korelacji przyjmuje wartość maksymalną w przypadku, kiedy porównywane są dwa identyczne obrazy (zdjęcia), mniejszą natomiast dla procesu porównywania identycznych obrazów. Na tej właśnie zasadzie zdjęciu nieznanemu można przyporządkować zdjęcie znane, zdjęciu o nie określonych współrzędnych na mapie zdjęcie o współrzędnych nam znanych.

Z powyższego wynika, że aby móc efektywnie rozpoznawać obiekty na zdjęciu należy dysponować macierzą pamięciową holograficznych filtrów dopasowanych.

Układy zautomatyzowane, służące do rozpoznawania zdjęć terenu, które mogą być wykorzystywane do innych zastosowań, zostaną zbudowane zapewne w najbliższych latach. Jednak koherentne układy optyczne o spe-

cialnym przeznaczeniu, które realizują proste zadanie, już istnieją. Wzajemnie przenikające się koherentne metody optyczne posłużą dla rozpoznawania bardziej skomplikowanych obrazów, lecz w końcu będą one zastąpione układami automatycznymi zbudowanymi z połączonych układów komputerowych optyczno-cyfrowych, hybrydowych.

5.2. Filtracja kierunkowa i jej zastosowania

5.2.1. Opis metody

Jeżeli informację w postaci zdjęcia wprowadzimy w równoległą wiązkę światła koherentnego emitowanego przez laser, to w nieskończoności przebiegu tej wiązki rozkład amplitudowo-fazowy przebiegu (wzór dyfrakcyjny) będzie odpowiadał transformacji Fouriera funkcji zdjęcia, tzw. widmu Fouriera o dwu współrzędnych przestrzennych. Informację zapisaną na zdjęciu przyjęto nazywać funkcją przedmiotową, a płaszczyznę wprowadzenia zdjęcia w wiązkę laserową — płaszczyzną przedmiotową. Widmo Fouriera tworzy się w płaszczyźnie widmowej. Płaszczyzna widma charakteryzuje się współrzędnymi częstości przestrzennych. Wprowadzenie zwykłej soczewki skupiającej w bieg wiązki laserowej powoduje, że widmo Fouriera funkcji przedmiotowej zostanie przeniesione z nieskończoności w płaszczyznę ogniskową, która staje się płaszczyzną widmową.

Widmo to może być z łatwością obserwowane na ekranie, np. na płycie matowej, a także sfotografowane lub pomierzone za pomocą fotodetektorów. W płaszczyźnie widmowej można także umieścić różnego rodzaju filtry amplitudowe, które wpływają na filtrację odpowiednich częstości funkcji przedmiotowej, to znaczy na osłabienie lub wzmocnienie interesujących nas sygnałów na zdjęciu wejściowym. Można umieszczać filtry czysto fazowe, które powodują, że w obrazie wyjściowym otrzymuje się informacje z określonymi przesunięciami także lokalnymi w porównaniu ze zdjęciem wejściowym, można również umieszczać filtry amplitudowo-fazowe np.: filtry optymalne i dopasowane, wykonane metodą holograficzną, które służą do rozpoznawania obiektów na zdjęciach, czy poprawy jakości zdjęcia. Nie uciekając się na wstępie do analizy problemów filtracji częstości przestrzennych, rozpatrzmy niektóre podstawowe właściwości samych widm Fouriera.

Wyobraźmy sobie zdjęcie szeregu linii prostych i równoległych do pewnego kierunku. Wprowadzając takie zdjęcie (funkcją przedmiotową) w płaszczyznę przedmiotową koherentnego układu optycznego składa-

jącego się z soczewki skupiającej, oświetlonej równoległą wiązką światła laserowego otrzymujemy w płaszczyźnie widmowej przekształcenie Fouriera tych linii. Obserwacja widma doprowadza do wniosku, że te wszystkie linie są całkowicie skoncentrowane na pojedynczej linii prostej prostopadłej do kierunku linii na zdjęciu wejściowym. W początku układu współrzędnych płaszczyzny widmowej występuje punkt świetlny o zazwyczaj dużej koncentracji energii. Punkt ten przedstawia zogniskowane promienie, które nie uległy dyfrakcji na funkcji przedmiotowej zdjęcia.

Oprócz tego w zależności od kształtu zdjęcia (prostokąt, okrąg) w widmie Fouriera funkcji przedmiotowej mogą występować krzyże lub koncentryczne okręgi, które jednak nie przeszkadzają w interpretacji widma ze względu na swoje niewielkie rozmiary w porównaniu z innymi elementami. Przy bliższym przyjrzeniu się widmu stwierdzimy, że jest ono symetryczne względem początku układu współrzędnych lub centrum wzoru dyfrakcyjnego.

Jeżeli wspomniane linie są równoległe, regularnie rozmieszczone na zdjęciu, widmo Fouriera jest także okresowe i regularne, skoncentrowane w postaci równoległych punktów na prostej prostopadłej do linii na zdjęciu wejściowym. Odległość między tymi punktami jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między liniami prostymi. Wynika z tego, że większemu zdjęciu odpowiada mniejsze widmo, a zdjęciu mniejszemu widmo większe. Oświetlając zdjęcie zawierające linie, uzyskuje się tego rodzaju efekt, że w widmie Fouriera zanika jasny punkt centralny (tzw. rząd zerowy widma), a także informacja o rodzaju kształtu zdjęcia. W przypadku, jeżeli linie równoległe nie posiadają regularnych odstępów, widmo także jest ześrodkowane na prostej, jednak nie jest ono okresowe jak w przypadku poprzednim. Jest ono nieco gorzej określone, zachowując oczywiście symetrię względem swego środka. Przy większej nieregularności linii na zdjęciu wyrażającej się także utratą miejscowej równoległości, widmo Fouriera „pęcznieje” wokół tej linii prostej. Wraz ze wzrostem nieregularności powiększa się rozszerzenie widma. Analiza wzoru widma po falowanej powierzchni wody doprowadziła między innymi do szczegółowej interpretacji charakteru działania fal na brzeg morski, a nawet rzeźby dna.

Pozwala to w pewnych przypadkach na wykonanie map dna morskiego na podstawie zmian obrazu fali morskiej.

Stosowanie analizy zdjęć widma Fouriera zamiast analizy samych zdjęć ma zastosowanie np. przy ocenie właściwej gęstości zaludnienia przestrzeni mieszkalnych, przeciętnych wymiarów budowli, ustaleniu licz-

by dostępnych dróg komunikacyjnych czy dominujących kierunków tych dróg [48].

Zdjęcia podlegające interpretacji można oczywiście poddać wstępnej obróbce, takiej jak np. odfiltrowanie zbędnej informacji, czy zróżniczkowanie funkcji przedmiotowej, co odpowiada przedstawieniu obiektów na zdjęciach w formie ich konturów. Operacje tego rodzaju w wielu przypadkach ułatwiają proces fotointerpretacji, a niekiedy są wręcz niezbędne do prawidłowej oceny interesującej nas sytuacji na zdjęciach. Występuje to na przykład przy dokonywaniu pomiarów w sposób automatyczny wymiarów konstrukcji budowlanych czy też gęstości zaludnienia, gdzie granice dyfrakcji świetlnej obejmują ściany, parkany ogrodów, ulice, place itp. Występuje to również przy określaniu dominujących kierunków szlaków komunikacyjnych, gdzie informacja o drogach wodnych może zakłócać informację o szlakach kolejowych.

6. Poprawa jakości zdjęć

W wielu przypadkach zachodzi potrzeba poprawienia jakości zdjęć, które w różny sposób zostały zniekształcone. W tych zagadnieniach światło lasera odgrywa poważną rolę. Jest ono nośnikiem informacji (po przejściu przez modulator), która może być poddana działaniu np. operatora Fouriera, a następnie, odpowiednio do rodzaju zniekształceń odfiltrowana.

I. Rozpatrzmy przypadek, w którym zdjęcie zostało zniekształcone na skutek prześwieślenia. Takie zdjęcie można opisać jako sumę funkcji zdjęcia nie zniekształconego i pewnej stałej. Dokonując przekształcenia Fouriera w płaszczyźnie widmowej otrzymuje się sumę widm funkcji zdjęcia nie zniekształconego i widma stałej, która występuje w postaci funkcji delta Diraca w punkcie o współrzędnych $(0,0)$. Umieszczając nieprzezroczystą plamkę w tym punkcie, stałą składową można zatrzymać przepuszczając dalej widmo obrazu nie zniekształconego. Obraz nie zniekształcony uzyskuje się po przejściu sygnału przez następny analizator Fouriera.

II. Jeśli zdjęcie zniekształcone jest składową okresową, np. siatką rastrową, można ją usunąć przeprowadzając podobną operację filtracji. W zależności od tego czy zdjęcie i zakłócenie są sumą czy iloczynem, blokuje się w płaszczyźnie widmowej dwie funkcje delta Diraca lub przepuszcza obraz zawarty w rzędach ± 1 .

III. Filtrację częstości przestrzennych można stosować też do rekonstrukcji obiektu ze zdjęcia zniekształconego dowolnym krzywo- lub prostoliniowym ruchem fotografowanego obiektu lub aparatu fotograficznego.

Ruch lub przemieszczenie obiektu fotografowanego nie musi być przy tym jednostajny. Może to być ruch z dowolnym przyspieszeniem. Można wykazać, że nieostrość zdjęcia spowodowaną ruchem obiektu opisuje się funkcją splotu obiektu nie zniekształconego i funkcji opisującej tor przemieszczenia. Splot poddany operatorowi Fouriera daje w płaszczyźnie widmowej iloczyn widm funkcji splotowych. W iloczynie tym zawarte jest widmo sygnału zniekształcającego zdjęcie. Można go usunąć stosując w płaszczyźnie widmowej filtr opisujący się funkcją odwrotną w stosunku do sygnału zniekształcającego.

Znane są prace nad zastosowaniem metody holograficznej filtracji do poprawy zdjęć zniekształconych np. na skutek rozogniskowania aparatu.

L I T E R A T U R A

- [1] Gabor D.: Holography, 1948—1971 Proc. IEEE, 1972 60, no 6, p. 655—668.
- [2] Stroke G.W.: An introduction to coherent optics and holography, Academic Press, New York and London, 1966.
- [3] Smith H.M.: Principles of holography, Wiley — Interscience, New York, 1969.
- [4] Francon M.: Holographie, Masson et Cie, Paris, 1969.
- [5] Kiemle H. Röss D.: Einführung in die Technik der Holographie, Akad. Verlagsgesellschaft, Frankfurt, 1969.
- [6] Soroko Ł.M.: Osnovy golografii i kogerentnoj optiki, Nauka, Moskwa, 1971.
- [7] Ostrowskij Ju.I.: Golografia, Nauka, Leningrad, 1970.
- [8] Collier R.J., Burckhardt C.B., Lin L.H.: Optical holography, Academic Press, New York and London, 1971.
- [9] Goodman J.W.: An introduction to the principles and applications of holography, Proc. IEEE, 1971, 59, no 9, p. 292—1304.
- [10] Piekara A.: Nowe oblicze optyki, PWN, Warszawa 1971.
- [11] Robertson K.D.: The Use of Line Paris in Trilateration and Traverse, Survey Review, Vol. 20, No. 165, pp 290—306, Jul 1972.
- [12] Dubik A., Kowalski H. Z., Osiennik P., Król F.: Zgłoszenie patentowe IGiK z dnia 30.XII.1974 r. nr P-176 959.
- [13] Konferencja naukowa. Holografia i jej zastosowania w nauce i technice. Warszawa 27—28. XI. 1973 r. Zeszyt nr 16, 10, 22.
- [14] Mikhail E.M.: Holographic Stereomodels, Proceedings ASP-SPIE Seminar on Coherent Optics in Mapping, 27—29 Mar 1974.
- [15] Kurtz M.K. et. al.: Study of Potential Applications of Holographic Techniques to Mapping, ETL-CR-71-17, Oct 1971 (AD 734327).
- [16] Glaser G.H., and Mikhail E.M.: Study of Potential Applications of Holographic Techniques to Mapping, ETL-CR-70-8, Dec 1970 (AD 718084).
- [17] Gifford D.L., and Mikhail E.M.: Study of the Characteristics of the Holographic Stereomodel for Application in Mensuration and Mapping, ETL-CR-73-14, Jul 1973.
- [18] Balasubramanian N. and Stevenson W.H.: Optical Considerations in the Application of Holographic Stereomodels to Topographic Mapping, Optical Engineering, Vol. 11, No. 2, pp 44—47, Mar-Apr 1972.
- [19] Gifford D.L.: Perceived Holographic Image Distortions, Proceedings ASP-SPIE Seminar on Coherent Optics in Mapping, 27—29 Mar 1974.
- [20] Krulikowski S.L. and Kowalski D.C.: Automatic Optical Profiling, Photogrammetric Engineering, Vol. 37, No. 1, pp 76-84, 1971.
- [21] Dubik A., Butowtt J.: Holograficzny sposób określenia paralaksy fotogrametrycznej. Biuletyn WAT październik 1974, Warszawa.
- [22] Butowtt J., Dubik A.: O niektórych nowych aspektach zastosowania holografii do fotogrametrii i fotointerpretacji. II Sesja Naukowa w Nowym Sączu nt. Aktualne zagadnienia geodezji, 4—6 maja 1973 r.
- [23] Feinleib J.: Optical Processing in Real Time, Proceedings ASP-SPIE Seminar on Coherent Optics in Mapping, 27—29 Mar 1974.
- [24] Butowtt J., Dubik A., Kaczyński R., Chabros W.: Holografia i koherentna optyka w fotogrametrii i fotointerpretacji. Przegląd Geodezyjny 1972.

- [25] *Mikhail E. M. et al.*: Holograms for mensuration of close-range objects. Symposium on close-range photogrammetry, Urbana (Jan 1971).
- [26] *Agnard J. P.*: High Speed Objects Holography. Quebec 1970.
- [27] *Mikhail E. M., Glaser G. H.*: Mensuration Aspects of Holograms. Ph. Eng. nr 3, 1971, s. 267—276.
- [28] *Sztykow D.*: O toczności wosproizwiedienija gołograficzskoj modeli. Geod. i Aerofot. nr 3, 1970.
- [29] *Sztykow D.*: Wzaimoswiaz koodiant toczek obiektu i jewo gołograficzskogo izobrażenija. Geod. i Aerofot. nr 3, 1970 s. 113—116.
- [30] *Mikhail M. E.*: Hologrametric Measurement and Mapping System Ph. Eng. nr 5, 1971, s. 447—449.
- [31] *Silverman D.*: Mapping the Earth with Elastic wave Holography. I. IEEE Trans. Geosci. Electr 1969, nr 4, s. 190—199.
- [32] *Chabros W., Butowtt J., Dubik A., Kaczyński R.*: Możliwości zastosowania holografii w fotogrametrii i fotointerpretacji. Przegląd Geod. 1972 r. nr 10.
- [33] *Donnel M. M.*: The Effect of „speckle” on Accuracy of Measurement of Holograms. 37 Annual Meeting of American Society of Photogrammetry 1971.
- [34] *Sztykow D.*: Analiz stierieoskopiczeskowo wospriniatija stierieomodieli wosstanowlennoj iz gołogramy. Geod. i Aerofot. nr 2, 1969 s. 75—80.
- [35] *Leighty R. D.*: Coherent optics potenbials in mapping. ISP Comicion I Symposium Stocholm, Sweden 27—29 August 1974.
- [36] *Bardes A., et al.*: Holographic Color Map Storage, Carson Laboratories, Final report for Naval Air Systems Command, Jan 1969 (AD 857293).
- [37] *Amodei J. J., et al.*: Volume Holographic Materials Characterization and Device Feasibility for Map Display Applications, RCA Laboratories, Final report for Naval Air Development Center, Jul 1972 (AD 748002).
- [38] *Staebler D. L., et al.*: Storage of 100 Fixed Holograms in Fe-Doped LiNbO₃, Paper presented at Conference on Laser Engineering and Applications, Washington, D. C., Jun 1973.
- [39] *McMahon D. H.*: Holographic Ultrafiche, Applied Optics, Vol. 11, No. 4, pp 798—806, Apr 1972.
- [40] *Palermo C. J. and Vander Lugt A.*: Holographic Imagery on Microfilm Proceedings of the technical program, Electro-Optical Systems Design Conference, N. Y.
- [41] *Rotz F. B., et al.*: Mission Review Sereener, Radiation Incorporated, RADC-TR-72-129, Jun 1972.
- [42] *Rotz F. B.*: Photogrammetric and Reconnaissance Applications of Coherent Optics, Proceedings ASP-SPIE Seminar on Coherent Optics in Mapping, 27—29 Mar 1974.
- [43] *Dubik A.*: Holograficzne rozpoznawanie obrazów dowolnie zorientowanych w płaszczyźnie przedmiotowej. Biuletyn WAT 1973 nr 3.
- [44] *Dubik A.*: Holograficzny sposób identyfikacji obrazów na podstawie kąta ich orientacji w płaszczyźnie przedmiotowej. Biuletyn WAT 1973, nr 6.
- [45] *Van der Lugt A.*: Inst. Electr. Electronics Engnrs Trans. Inf. Th. 4, 1964.
- [46] *Van der Lugt A.*: Applied Optics 9, 215, 1970.
- [47] *Van der Lugt A.*: Applied Optics 6, 1221, 1967.
- [48] *Chevallier R., Fontanel A., Grau G., Guy M.*: Application of Optical Filtering to the study of Aerial Photographs. Photogrammetrie 26, 1970, s. 17—35.

- [49] Dubik A.: O operatorowej metodzie analizy koherentnych układów optycznych, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej 9 (241), 1972.
- [50] Weinberger H., Almi U.: Interference method for pattern comparison, Applied Optics 11, 1971.
- [51] Łoś W.F. i inni: Ob ispolzowanii modulacjonno spiektralno analiza kartin interferencji w Furie płoskosti dla raspoznawanija obrazow. Awtometria 6, 1972.

Recenzował: doc. dr hab. inż. Jerzy Rogowski

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1975 r.

ХЕНРЫК З. КОВАЛЬСКИ
АДАМ ДУБИК

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИКИ КОГЕРЕНТНОГО СВЕТА И ГОЛОГРАФИИ В ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

Резюме

В настоящее время оптика когерентного света и голография находят ограниченные возможности применения в геодезии и картографии; несмотря на это прогресс в исследованиях в течение последнего времени привёл к тому, что всё большее количество сотрудников и исследовательских коллективов, занимающихся оптикой, а также геодезией и картографией, начали исследования в области их практического применения. Целью статьи является представление общих методов и концепций, находящихся сейчас в стадии исследований в головных научных центрах, а также обсуждение применения оптики когерентного света и голографии в геодезии и картографии. Это было сделано, представляя статью, состоящую из 5 частей:

— Применение оптики когерентного света и голографии при измерениях расстояния и угла.

— Возможности использования когерентного света и голографии в фотограмметрии.

— Голографичный сбор информации.

Голографические методы опознавания изображения по отношению к фотоинтерпретации.

— Улучшения качества снимков.

HENRYK Z. KOWALSKI
ADAM DUBIK

APPLICATION OF COHERENT LIGHT OPTICS AND HOLOGRAPHY IN GEODESY AND CARTOGRAPHY

Abstract

At present the optics of coherent light and holography have rather limited possibilities of practical application in the field of geodesy and cartography. Nevertheless, analyses that have been lately carried make a great number of research workers and research groups concerned with optics, geodesy and cartography investigate the possibilities of practical application in this area.

This paper is to present general technologies and concepts being presently investigated in the most prominent scientific centers, and to discuss the application of the optics of coherent light and holography in geodesy and cartography. This was achieved due to presentation of this paper in five sections:

Application of the optics of coherent light and holography in distance and angle measurements.

Possibilities of application of the coherent light optics and holography in photogrammetry.

Holographical data storage.

Holographical methods of image recognition used in photointerpretation.

Improvement of photos quality.