

TÉRBELI FÉNYELOSZLÁSOK LÉTREHOZÁSA

PhD tézisek

DOMJÁN LÁSZLÓ

KONZULENS: DR. KOCSÁNYI LÁSZLÓ, DOCENS

Atomfizika Tanszék

Természettudományi Kar

BME

2004

1 Bevezetés

Egy térbeli fényeloszlást a koherenciájától függően az alábbi fizikai paraméterek térbeli eloszlásával lehet legfőképpen jellemezni: térerősség, intenzitás, kölcsönös intenzitás, polarizáció, spektrális teljesítményeloszlás, sugárerősség. Mivel téziseim főképpen gyakorlati alkalmazásokkal foglalkoznak így nem tárgyalom mélyebben a térbeli fényeloszlások matematikai leírhatóságát.

Különböző optikai alkalmazások különböző típusú térbeli fényeloszlások létrehozását kívánják meg. Például egy igen általános műszaki feladat a minél kisebb geometriai méretű fényfolt létrehozása, melyet egyebek mellett optikai adattárolásban, lézeres sebészetben és lézeres anyagmegmunkálásban használnak. Filmvetítés területén a fény spektrális intenzitásának síkbeli eloszlását kell a vetítendő képeknek megfelelően modulálni. Mivel a primer fénysugárzók által kisugárzott fény az esetek többségében nem felel meg az alkalmazás kívánalmainak, egyéb optikai elemek szükségesek a fénysugárzás megfelelő módosítására. Egy ilyen primer fényforrásból és a fény sugárzási paramétereit megfelelően megváltoztató optikai elemekből álló berendezést nevezhetünk *fényforrásnak* vagy *fénymodulátornak*. Nyilvánvalóan egy bizonyos alkalmazás kívánalmainak megfelelő fényeloszlás többféle műszaki megoldással is létrehozható, így igen fontos kérdés a műszaki és gazdasági szempontokból optimális megoldások kiválasztása. Továbbá a folyamatos technológiai fejlődés időről időre lehetővé teszi, hogy bizonyos feladatokra egyre újabb és optimálisabb megoldásokat találjunk.

Az első és második tézispontok a tér egy sávját megvilágító fényforrásokra vonatkoznak robotikai alkalmazások területén. Amint ez a későbbiekben kiderül az első és második tézispontokban inkoherens fény intenzitásának és spektrális intenzitásának térbeli modulációjáról lesz szó. A harmadik tézispont speciális térbeli fény modulációval foglalkozik holografikus adattárolás számára, ahol polarizált koherens hullám komplex amplitúdójának térbeli modulációja szükséges.

2 Sávjat megvilágító fényforrás hengeres parabolatükörből és a fókuszvonalra helyezett lineáris LED tömbből belső térbeli robotikai alkalmazásra

Szorosan kapcsolódó publikációk: 1. és 2.

Problémafelvetés

Sávfényforrásoknak azon fényforrásokat nevezzük, amelyek a tér egy sávját világítják meg. A fénysáv egy olyan térbeli fényeloszlásnak felel meg, amelyben ideális esetben a fényintenzitás a tér egy bizonyos sávjában konstans értékű, a sávon kívül pedig nulla. Ezen források egyik legfontosabb alkalmazási területe a strukturált megvilágítással működő aktív háromszögeltő szenzorok, melyeket többek között önálló mozgási feladatokat végrehajtó robotok (Autonomous Mobile Robots)

akadályérzékelőjeként használnak. Az általam kifejlesztett sávfényforrásra vonatkozó célkitűzéseimet egy Siemens kísérleti robothoz kifejlesztett akadályérzékelő szenzor igényeit alapul véve az alábbiak szerint fogalmaztam meg: 2m hatótávolság; 6-8 cm sávvastagság; lehető legmagasabb fényintenzitás az alacsony reflexiójú tárgyak detektálhatósága érdekében; magas spektrális fényintenzitás és egyszerű időbeli modulálhatóság, amelyek a belsőtérbeli háttérfénnyel szemben megfelelően magas jel-zaj viszonyt biztosítják; emberi szemet nem károsító és olcsón gyártható konstrukció.

A sávfényforrás felépítésének és jellemzőinek ismertetése

A fenti elvárásokat egy olyan fényforrás konstrukcióval találtam megvalósíthatónak, amely egy nagyteljesítményű LED-ekből álló lineáris LED sorból és egy hengeres parabola tükörből épül fel. A LED sor a hengeres parabola tükör fókuszvonalára van helyezve úgy, hogy a LED-ek parabola tükör középvonala felé világítanak. A tükörről visszaverődött, egy irányban párhuzamosított fénysávot egy a LED sor síkjában lévő sáv apertúra szűri. Ez a konstrukció a nagyszámú LED alkalmazása miatt magas fényteljesítményt és intenzitást szolgáltat. A LED-ek által kisugárzott fény keskeny spektrális sávzélessége lehetővé teszi a háttérfényből származó zaj hatékony csökkentését optikai sáváteresztő szűrőnek a detektáló optikába való beépítésével. Az olcsó elemekből való felépülés gazdaságilag is előnyös megoldássá teszi a rendszert.

Számítógépes CAD rendszerben felépítettem a kiválasztott nagyteljesítményű, 880nm centrális hullámhosszon sugárzó LED típusról egy sugároptikai modellt és megterveztem hozzá egy a felsorolt kritériumokat optimálisan megvalósító konfigurációt (parabola görbületi sugara, LED sor-tükör távolság, apertúra átmérő). Elvégeztem a LED-ek szerelésének tűrésanalízisét, amely szerint a LED-ek vonal menti pozicionálását 0.2mm-es tűréssel, orientálását pedig 0.3° tűréssel kell elvégezni.

A fényforrás fenti követelményeknek megfelelő, egyszerű és gazdaságos megvalósítására az alábbi megoldást találtam. Precíziós lézermegmunkáló berendezés segítségével a kiszámolt parabola alakkal rendelkező fémbordákat készítettem. Több ilyen fémbordát befogtam egymás mellé egy speciálisan erre a célra tervezett és gyártott alumínium házba, majd a bordák parabola alakú felületére rugók segítségével hajlékony fóliatükört feszítettem. A LED sor elemeinek megfelelően pontos pozicionálását és orientálását szerelő és tartó keret segítségével értem el.

A megvalósított sávfényforrás műszaki paraméterei az alábbiak. A sáv vastagsága a forrástól 2m távolságban 75mm (FWHM). A sávbeli fényintenzitás 0.1m távol a forrástól $5.5\text{mW}/\text{cm}^2$, 1m távolságban $1.1\text{mW}/\text{cm}^2$ és 2m távolságban $0.6\text{mW}/\text{cm}^2$. A forrás által biztosított spektrális fényintenzitásra 69, 14 és $7.5\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ értékeket mértem 0.1, 1 és 2m távolságokban. Összehasonlítva ezen értékeket az általam mért belső térbeli háttérfény spektrális intenzitásával 1m távolságban a jel-zaj viszony a belsőtérbeli megvilágítás erősségétől függően 140 (műfényben) és 7 (napsütéstől erősen megvilágított szobában) között változik. Egy speciális szenzorrendszerbe beépítve kipróbáltam a sávfényforrás működését. Belső térben a fényforrás megvilágítása megfelelő nagyságú jelet szolgáltatott még nagyon alacsony reflexióval rendelkező tárgyakra is, mint pl. a fekete vagy

átlátszó üveg tárgyak. A mérések szerint belső térben kizárólag a csiszolt, optikai felületminőséggel rendelkező átlátszó és/vagy reflektáló tárgyak detektálására nem volt megfelelő a fényforrás. A detektáló optika apertúra méretének és az integrációs időnek a növelésével esetlegesen még ilyen nagyon alacsony reflexiójú tárgyak érzékelése is lehetségessé válik. A fényforrás működését szenzorrendszerbe építve önállóan mozgó roboton is megvizsgáltam, amely eredmények szerint belső térben a robot teljesíteni tudta az összes navigációs feladatát úgy, hogy a környezeti akadályokról kizárólag ennek az optikai szenzornak jelei által értesült. Elvégeztem a fényforrás szemkárosító hatásának fizikai és szabvány szerinti analízisét. Mindkét analízis szerint a fényforrás az emberi szemet nem károsítja.

Új műszaki tudományos eredmények összegzése

- I. Felismertem és numerikus számításokkal alátámasztottam, hogy hengeres parabolikus tükörből, annak fókuszvonalra helyezett lineáris LED sorból és egy a fókuszvonal síkjában elhelyezett téglalap alakú apertúrából olyan nagyteljesítményű, emberi szemet nem károsító sávfényforrás valósítható meg, amelyik 2m távolságon belül egy 9 cm-nél kisebb vastagságú sávot világít meg. Kísérletileg megmutattam, hogy a kivilágított fényintenzitás és a spektrális fényintenzitás kellően magas akár alacsony reflexiójú tárgyak belső térben való detektálásához is és így a fényforrás előnyösen alkalmazható belső térben működő aktív háromszögelt használó akadályérzékelőkben. A 9 cm-es sávvastagsághoz a LED-ek fókuszvonal menti elhelyezésére ± 0.2 mm-es pozicionálási és $\pm 0.3^\circ$ irányítottsági tűréseket számoltam ki egy optikai CAD rendszerben felépített geometriai optikai modell alapján, amely tűrések műszakilag megvalósíthatók. A fényforrás tervezését és tűrésezését egy optikai CAD rendszerben számoltam ki, melyben felépítettem a LED geometriai optikai modelljét.
- II. Felismertem, hogy ezen konstrukció mind műszaki mind pedig gazdaságossági szempontokból nagyon előnyösen elkészíthető parabolikus alakkal rendelkező fémbordákra ráfeszített hajlékony fóliatükörből és a LED-ek pozicionálását és irányítását biztosító tartókeretből.

Tesztmérésekkel bizonyítottam, hogy a fentieknek megfelelően megvalósított fényforrás a 0-2 m távolságtartományban 75 mm (FWHM) alatti sávvastagságot biztosított. Beépítve egy optikai háromszögelő érzékelőbe a sávfényforrás belső térben kellően magas jelszintet biztosított még nagyon alacsony reflexiójú tárgyra (pl. fekete tárgyak, üveg tárgyak) is. A belső térbeli háttérfénytel szemben mért jel-zaj viszony 7 és 140 között volt a háttérfény erősségétől függően. Radiometriai számítások és szabvány szerinti mérések segítségével kimutattam, hogy a fényforrás az emberi szemet nem károsítja.

3 Hengerlencse fókuszonálára helyezett lineáris forrással megvalósított sávfényforrások elméleti és numerikus vizsgálata külső térben való működés optimalizálása céljából

Szorosan kapcsolódó publikációk: 3.

Problémafelvetés

Ezen tézispont olyan speciális térbeli fényeloszlások létrehozásával foglalkozik amelyek lehetővé teszik aktív háromszögelést használó pozíciómérő műszerek számára a külső térbeli működést. Külső térbeli használatakor ezen szenzorok számára a legfontosabb zajforrás az erős napsugárzás okozta háttérfény. A külső térbeli sávfényforrásokkal szembeni legfontosabb követelmény, hogy a sávban mérhető spektrális fényintenzitás a földön mérhető direkt napsugárzás spektrális fényintenzitásával összemérve megfelelően nagy jel-zaj viszonyt szolgáltatson, vagyis a fény spektrális intenzitásának térbeli modulációja szükséges.

Hengerlencséből és a fókuszonálára helyezett lineáris forrásból felépített sávsugárzók vizsgálata külső térbeli működés szempontjából

Megvizsgáltam, hogy hengerlencséből és a fókuszonálára helyezett lineáris (valójában téglalap alakú, amelynek egyik oldalhossza sokkal kisebb mint a másik) forrásból felépített sávsugárzóval miként valósítható meg egy napfényvel szemben kellően magas jel-zaj viszonyt biztosító fényforrás. A felhasznált téglalap sugárzó nagy felülete lehetővé teszi nagy teljesítményű fénysávok létrehozását ezen típusú sávsugárzóval. A vizsgát sávsugárzó megépíthető különböző téglalap fényforrások mint pl. LED tömb, lézer dióda tömb vagy izzószál felhasználásával, amelyek természetesen különböző fizikai mérettel és sugárzási iránykarakteristikával rendelkeznek. Fő célom egy olyan általános elméleti modell felállítása volt, mely lehetővé teszi a különböző gyakorlati sávsugárzó konfigurációk fénysugárzásának matematikai leírását, továbbá a külső térbeli működés optimalizálását és a különböző konfigurációk összehasonlítását. Elsőként felépítettem egy radiometriai modellt a rendszerről tetszőleges sugárzási iránykarakteristikájú, térben homogén, inkoherens sugárzót és ideális hengerlencsét feltételezve. A modell egy integrált eredményezett, melynek segítségével a besugárzott sávbeli (spektrális) fényintenzitás a sáv tetszőleges pontjában kiszámítható volt. Meghatároztam, hogy a téglalap sugárzó magassága függvényében milyen fókusztávolsággal és numerikus apertúrával rendelkező hengerlencsével lehet egy megadott vastagságú fénysávba a sugárzóból a maximális fénytelteljesítményt bevilágítani. A radiometriai integrál numerikus

kiszámításával megvizsgáltam különböző geometriával rendelkező sávfényforrások jel-zaj viszonyát direkt napsugárással szemben LED chip tömb, tokozott LED tömb, laser dióda tömb és wolfram izzószál lineáris forrásokat használva. A vizsgált négy féle geometriai paraméterekkel rendelkező sávfényforrás adatai az alábbi táblázatban vannak összefoglalva.

Konfiguráció	Hatótávolság	Sáv vastagsága
1	1 m	0.01 m
2	1 m	0.05 m
3	2 m	0.01 m
4	2 m	0.05 m

A jel-zaj viszonyt (továbbiakban SNR) a forrás maximális hatótávolságban számolt spektrális intenzitásának és a direkt napsugárzás spektrális intenzitásértékeinek arányaként definiáltam. A számítások során a direkt napsugárzás spektrális eloszlására az American Society for Testing and Materials által publikált értékeket használtam.

LED chip tömb lineáris forrást használva 450nm, 660nm és 950nm hullámhosszú chipek használatával a táblázat összes konfigurációjára 1-nél nagyobb jel-zaj viszony jött ki. 880nm hullámhosszú chipek használatával a 3-as konfiguráció kivételével az összes esetben 1 fölötti SNR-t kaptam. Tokozott LED-ek tömbjéből megvalósított sugárzóval 950nm hullámhosszú LED tömbbel a 3-as konfigurációt leszámítva az SNR mindig 1 fölötti volt. 1 fölötti SNR-t kaptam még 660nm-es tokozott LED-ekkel a 2-es konfigurációra. 5mW teljesítményű tokozott lézervedióda sorból álló lineáris forrásra 0.7-nél magasabb SNR-t kaptam az összes vizsgált hullámhosszon (405, 635, 785, 840, 950 és 1550nm). A 405 és 950 nm hullámhosszú lézervediódák az összes konfigurációra 1 fölötti SNR-t szolgáltatottak. Természetesen nagyobb teljesítményű lézervediódával az SNR tovább növelhető. 2500 és 3000K hőmérsékletű wolfram izzószálakra is kiszámítottam az elérhető SNR-t. A táblázat 2-es konfigurációja esetében 2500 K hőmérsékletű izzószálat használva a 800nm-nél hosszabb hullámhosszakon, míg 3000K hőmérsékleten 540 nm-nél hosszabb hullámhosszakon az SNR mindig 1 fölött van. Ezen sugárzók hatékonyan használhatók, ha nagy összteljesítményű és széles spektrumú fényforrásra van szükség. Az 1,3,4 konfigurációknál az SNR csak keskeny spektrális sávokban (a naplúvakban) ment 1 fölé, így ezen sugárzók használata az alacsony teljesítményhasznosítás miatt nem előnyös.

Új műszaki tudományos eredmények összegzése

- I. Modelleztem az ideális hengerlencséből és a fókuszvonalára helyezett térben homogén téglalap alakú sugárzóból álló sávfényforrást, hogy megvizsgáljam hatékonyságát külső térben végzett mérésekben. Felállítottam egy radiometriai integrált, amelynek segítségével tetszőleges sugárzási iránykarakterisztikával rendelkező téglalapsugárzó és tetszőleges fókusz-távolságú és apertúra méretű ideális hengerlencse alkalmazása esetén kiszámítható a

besugárzott (spektrális) fényintenzitás a sáv tetszőleges pontjában. Ezen modell képes matematikailag leírni a különböző téglalapforrásokkal (pl. LED tömb, lézer dióda tömb és izzószál) létrehozott gyakorlati sávugárzók működését.

- II. Definiáltam a jel-zaj viszonyt mint a fényforrás által besugárzott spektrális intenzitás és a nap spektrális intenzitásának arányát. A radiometriai integrál numerikus kiértékelésével kiszámítottam az elérhető jel-zaj viszonyt különféle hullámhosszokon működő LED sorok, LED chip sorok, 5 mW-os lézer dióda sorok, illetve 2500K és 3000K hőmérsékletű wolfram izzószálakat használva téglalap sugárzóként különféle kísérleti fényforrás konstrukciókra. A kiszámított jel-zaj viszonyok alapján kiválasztottam azokat sugárzó típusokat melyekkel egy fölötti jel-zaj viszony kapható és ezek a következők: 470, 525, 660, 880, 940 és 950nm hullámhosszon világító LED chip tömbök; tokozott LED sorok 660 és 950nm hullámhosszokon (egyszerű és gazdaságos megoldások!); 405, 635, 785, 840, 950, 1050nm hullámhosszon sugárzó 5mW teljesítményű lézerdióda sorok; 2500K és 3000K izzószálak a fénysáv geometriája által meghatározott hullámhossz tartományokban. Az eredményül kapott SNR-ek segítségével bebizonyítottam, hogy a vizsgált fényforrás konstrukció hatékonyan alkalmazható külső térben történő mérésekre.

4 Háromállapotú fázis-amplitúdó (+1,-1,0) moduláció megvalósítása transzmissziós twisted nematic folyadékkristály kijelzőkkel Fourier hologram intenzitás eloszlásának simítására

Szorosan kapcsolódó publikációk: 4 és 5.

További kapcsolódó publikációk: 6.-12.

Problémafelvetés

Ezen tézispont elliptikusan poláros koherens fény komplex amplitudójának térbeli modulációjával foglalkozik a holografikus adattárolás területén. Fourier holografikus adattároló rendszerekben az egyes hologramokban sok byteot tartalmazó adatképek kerülnek tárolásra. Az adatképeket általában térbeli fény amplitúdó modulátorokkal (Spatial Light Modulator, továbbiakban SLM) állítják elő, a Fourier transzformációt egy objektív végzi el. A Fourier holografikus adattárolás egyik alapvető problémája, hogy a Fourier síkban a nulla térfrekvenciájú komponens intenzitása több nagyságrenddel meghaladhatja a többi térfrekvencia átlagos intenzitását. Egy ilyen hologram tárolása rosszul használja ki az anyag dinamikáját. Jól ismert megoldás a nulla térfrekvenciájú csúcs kioltására, hogy az adatképet előállító SLM pixelek véletlen fázis modulációt kapnak. A megoldást általában úgy

valósítják meg, hogy egy az SLM-el azonos pixelszámú és geometriájú statikus fázismaszkra leképezik az SLM képét egy szubpixel torzítású objektívvel. Mind a szubpixel torzítású objektív elkészítése, mind pedig az SLM és a fázismaszk szubpixel pontosságú illesztéséhez szükséges 6 tengelyes beállítás igen nehéz műszaki feladat, így e megoldás gazdaságossági szempontokból előnytelen. Ezenfelül még azon kódkombinációk, amelyeknél az SLM világos pixeljei jól korrelálnak a statikus fázismaszk hasonló fázistolású pixeljeivel, továbbra is erős 0 térfrekvenciájú csúcsot okoznak, így ezen kombinációkat kódolási technikákkal ki kell tiltani, ami adatkapacitás veszteséghez vezet. A fentebb ismertetett okok miatt nagyon előnyös lenne, ha a simított hologram generálásához szükséges amplitúdó és fázis moduláció megoldható lenne egyetlen SLM pixel modulációs képességének felhasználásával.

Háromállapotú fázis-amplitúdó (+1,-1,0) moduláció megvalósítása transzmissziós twisted nematic folyadékkristály kijelzőkkel

Kutatási munkám arra irányult, hogy a kereskedelmi forgalomban olcsón elérhető transzmissziós twisted nematic kijelzők egyetlen pixelével miként lehet a szükséges amplitúdó és fázis modulációt előállítani. A lehető legegyszerűbb modulációs lehetőség a háromállapotú fázis-amplitúdó (szakirodalomban ismert név: Ternary Phase Amplitude, rövidítve TPA) moduláció, amelyben a három állapot ideális esetben a +1,-1,0 amplitúdó modulációkat jelenti. E modulációs séma ismert a korrelációs szűrők területén.

A transzmissziós twisted nematic kijelző pixel polarizáció és fázis modulációja leírható egy Jones mátrix segítségével feltételezve, hogy a folyadékkristály molekulák a pixelen belül folyamatosan és egyenletesen csavarodnak. A modell szerint a kijelző pixelnek két fontos fizikai paramétere van: a fáziskésleltetés (phase retardation), ami pixelre adott feszültség hatására 0 és egy maximális érték között változtatható, a maximális értéket 0 feszültségen veszi fel; illetve a folyadékkristály molekulák pixelbeli elfordulási szöge, ami a kereskedelmi forgalomban kapható kijelzőkre közelítőleg $\pm 90^\circ$ és a pixelre adott feszültség hatására nem változik. A Jones mátrix elemei nemlineáris függvényei a fáziskésleltetésnek és az elfordulási szögnek. A TPA moduláció elérése érdekében elliptikus polarizációjú megvilágítást és elliptikus polarizáció detektálását alkalmaztam. A Jones mátrix alkalmazásával felépítettem egy számítógépes modellt, amely lehetővé tette a kijelző komplex amplitúdó modulációjának numerikus kiértékelését elliptikus polarizációjú megvilágításra és detektálásra. Egy elliptikus polarizációt két független paraméterrel lehet leírni (pl. tengelyarány, elfordulási szög), így a bemeneti és kimeneti elliptikus polarizációk leírása négy paraméter segítségével tehető meg. Egy számítógépes modell segítségével a polarizációs állapotokat leíró négydimenziós teret kellő sűrűséggel lefedő pontokban kiszámítottam a folyadékkristály komplex amplitúdó modulációjának függését a fáziskésleltetés változtatása függvényében. A kapott komplex amplitúdó moduláció függvényekből számítógépes kereső algoritmussal kiválasztottam azokat,

amelyek TPA modulációt valósítanak meg. Keresési feltételem az volt, hogy legyen a komplex amplitúdó moduláció függvényén három (A_1, A_2, ε) pont, melyekre fenn álnak az alábbi feltételek: $0.95 < |A_1/A_2| < 1.05$; $0.95\pi < \text{Fázis}(A_1/A_2) < 1.05\pi$; $|A_1^2/\varepsilon^2| > 15$. Mivel a különböző kijelző típusokban a maximális fáziskésleltetés változik, illetve egy kijelző típus esetén is növekszik a fáziskésleltetés a hullámhossz csökkenésével, így a szimulációt és keresést több különböző maximális fáziskésleltetésre végeztem el. Mivel a növekvő fáziskésleltetéssel a kijelző működését leíró Jones mátrixok „mennyisége” is növekszik, így a maximális fáziskésleltetés növelésével egyre optimálisabb működések várhatók. A számítások szerint 5.2-es fáziskésleltetésű kijelzővel a fenti feltételeknek megfelelő TPA moduláció $A_1 \approx -A_2 = 0.5$ -ös amplitúdó átvitelrel érhető el, ami ezt jelenti, hogy a bevilágított fényenergia 25%-át lehet hasznosítani. 6-os fáziskésleltetés és esetén a feltételeknek megfelelő moduláció $A_1 \approx -A_2 = 0.6$ -os amplitúdó átvitelrel volt elérhető, ami a fényenergia 36%-ának hasznosítását jelenti. 6.6-os fáziskésleltetéssel rendelkező kijelzőt használva $A_1 \approx -A_2 = 0.9$ -es amplitúdójú TPA moduláció érhető el 81%-os fényenergia hasznosítással. Megjegyzendő, hogy ez utóbbi esetben $|\varepsilon| = 0.16$ volt, vagyis az intenzitáskontraszt a fehér és fekete állapotok között $0.81/0.16^2 = 32$ volt. Az előző két esetben az intenzitáskontraszt 15 illetve 16 volt. Sony LCX017DLT twisted nematic folyadékkristályos kijelzőt használva meg is mértem a kiszámolt állapotokat. A 5.2-es fáziskésleltetésű rendszert sikerült megmérnem 532nm, a 6-as fáziskésleltetésű rendszert pedig 473nm hullámhosszon. A mért görbék jól egyeztek a számításokkal, mind a két esetben realizálható volt a TPA moduláció a számítással jól egyező paraméterekkel. Tesztképeket használva összehasonlítottam a Fourier sík intenzitás eloszlását TPA és normál kétállapotú amplitúdó modulációt használva. A kétállapotú moduláció esetén a csúcs per átlag intenzitás arány 200:1 körüli volt, míg TPA modulációt használva 8:1.

Új műszaki tudományos eredmények összegzése

- I. Felismertem, hogy TPA moduláció megvalósítható transzmissziós, közelítőleg ± 90 fok csavarodási szöggel rendelkező twisted nematic folyadékkristály kijelzővel, amennyiben a kijelző fáziskésleltetéséhez optimalizált elliptikusan polarizált megvilágítást és szintén optimalizált elliptikusan polarizált fénydetektálást alkalmazom.
- II. Felismertem, hogy nagyobb fáziskésleltetéssel rendelkező folyadékkristály réteg alkalmazásával és a fáziskésleltetéshez optimalizált elliptikusan polarizált megvilágítás és detektálás felhasználásával egyre optimálisabb paraméterekkel (maximális amplitúdó transzmisszió, világos és sötét állapotok közötti intenzitáskontraszt) rendelkező TPA moduláció érhető el. Numerikus optimalizálással és mérésekkel megmutattam, hogy 5.2, 6 és 6.6 fáziskésleltetéssel az elérhető amplitúdó transzmisszió sorrendben 0.5, 0.6 és 0.9-es értékeket vesz fel. A fáziskésleltetés fenti értékeire a világos (+1,-1) és a sötét (0) állapotok intenzitásai közötti hányados sorrendben 15, 16 és 32.

5 Publikációk

Tézisekhez kapcsolódó publikációk

1. Domján L, Kocsányi L, Richter P, Várkonyi S, Feiten W. Stripe illuminator based on LED array and parabolic mirror for active triangulation sensors used on mobile robots. *Optical Engineering*; 2000, 39(11): 2867-2875
2. Domján L, Kocsányi L, Richter P, Szarvas G, Várkonyi S, Feiten W. Optisches Sensorsystem zur Detektion eines Objektes. German Patent; 1999, 19810366.9, International patent pending
3. Domján L, Kocsányi L, Richter P, Jeszenszky É.: SNR analysis of the stripe illuminator based on linear emitter and cylindrical lens against solar irradiance. *Optics and Lasers in Engineering*, 2003, 40(3), p. 201
4. Domján L, Koppa P, Szarvas G, Reményi J. Ternary phase-amplitude modulation with twisted nematic liquid crystal displays for Fourier-plane light homogenization in holographic data storage. *Optik*, 2002, 113(9), p. 382
5. Reményi J, Várhegyi P, Domján L, Koppa P, E Lőrincz: Amplitude, phase and hybrid ternary modulation modes of a twisted-nematic liquid crystal display at 400 nm. *Applied Optics*, 2003, 42(17), p. 3428
6. Reményi J, Koppa P, Domján L, Lőrincz E.: Phase modulation configuration of a liquid crystal display, presented at the 19th Congress of the International Commission of Optics, Florence, Italy, 25-31 August 2002
7. Szarvas G, Domján L, Koppa P, Erdei G, Sütő A: Capacity estimation for thin film multilayer holographic storage with confocal filtering, *Proceedings of the EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques*, 20-23 October 2003, Delft, The Netherlands
8. Szarvas G, Koppa P, Erdei G, Domján L, Sütő A: Többbrétegű, nagy adatsűrűségű, térfogati mikro-holografikus adattárolási eljárás és rendszer, Hungarian patent application, 15 May 2003, P0301354 / 4, International patent pending
9. Domján L, Erdei G, Koppa P, Szarvas G, Ujvári T, Method and apparatus for encrypting and authenticating of data using phase-coded holographic storage, Hungarian patent application, P0104147, 2001, International patent pending

10. Domján L, Erdei G, Koppa P, Szarvas G, Ujvári T, Method and apparatus for the encryption of data Hungarian patent application, P0104183, 2001, International patent pending

11. Koppa, Várhegyi, Újvári, Lovász, Szarvas, Ujhelyi, Erdei, Reményi, Domján, Sütő, Lőrincz: Holographic data storage in thin polymer films, Proceedings of SPIE -- Volume 5216, p. 165

12. Szarvas G, Lőrincz E, Richter P, Koppa P, Erdei G, Fodor J, Kalló P, Sütő A, Domján L, Ujhelyi F: Method and apparatus for the distribution of data marks on a medium, and method and apparatus for the holographic recording and readout of data, Hungarian patent, February 4 2000, P 0000518, International patent pending

További publikációk mérnöki és tudományos optikai témákban

13. Domján L, Szarvas G, Mike Sz: Binokuláris videó szemüveg optikai rendszere, Hungarian patent application, 21 November 2002, P0203993

14. Domján L, Szarvas G, Mike Sz: Optical arrangements for head-mounted displays, US patent application, 18 November 2003,

15. Domján L, Szarvas G, Mike Sz: Multiple imaging arrangements for head-mounted displays, US patent application, 18 November 2003,