

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a.s., Přerov

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KRĚSÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

Ředitel FZÚ AV ČR: Ing. Karel JUNGWIRTH, DrSc.

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc,
tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: pelcova@optnw.upol.cz

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,
tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Nevyžádané materiály se nevrací. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Předplatné: Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zaslání poštou 300,- Kč/rok.

Rozšiřuje vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

V Slovenské republice je kontaktní místo: prof. RNDr. Anton Štrba, CSc., katedra experimentální fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 7 65 426 706, e-mail: Strba@fmph.uniba.sk

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.uts.sk

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 573 398 746, e-mail: typoservis@iol.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2005

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 50 10/2005

OBSAH

Vývojové a konstrukční práce v Meoptě - optika, a. s. (J. Sázelová)	279
V Košiciach rokovali slovenskí a českí fyzici (R. Mlýnek)	281
Hĺoubka ostrosti digitální fotografie ve srovnání s klasickou chemickou fotografií (J. Ponec)	282
SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informuje	284
Holografická paměť - systémy pro záznam a čtení informace ve fotorefraktivních materiálech pomocí holografie (J. Květoň)	285
Mikrokanálové plátky - MCP (T. Medřík)	291
Pravidelné a náhodné Kochovy fraktály ve fyzikální optice (P. Neumannová, P. Horváth, P. Šmíd, M. Hrabovský)	294
XX. kongres Mezinárodní optické komise ICO (Changchun, Čína, 21. - 26. srpna 2005) (P. Horváth)	300
Matematické metody vizualizace sluneční koróny (M. Druckmüller, M. Antoň, H. Druckmüllerová)	302
Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. jubilující (V. Malíšek)	305
Výjezdní zasedání rozšířeného výboru Odborné sekce JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA při České strojnické společnosti (J. Kršek)	306
Veletrh AQUA-THERM již podvanácté (jpe)	307
Z technické knihovny (J. Novák)	307

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden na internetu: <http://jmo.fzu.cz>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

Chairman: Miloslav VYCHODIL - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric., Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic under participation of The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) in the Publishing House of the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: Karel JUNGWIRTH

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz

Address of the Editor's office in Přerov (Managing Editor):

Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Reproduction only with permission of the Editor and under observing the copyright. Unasked manuscripts are not sent back. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.

Subscription fee: Annual fee is 420,- CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovak Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120,- CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120,- CZK per year, annual subscription including postage is 300,- CZK.

Distribution: by the Publisher, Company Sales shop of Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Contact place for the Slovak Republic: Anton Štrba, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava, phone: 00421 7 65 426 706, e-mail: strba@fmph.uniba.sk

Printing: TYPOServis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, phone: 573 398 746 (from abroad: ++420 573 398 746). e-mail: typoservis@iol.cz

Advertising: editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2005

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 50 10/2005

CONTENTS

- Development and design work in Meopta-optika, a. s.**
(J. Sázelová)279
- Slovak and Czech physicists debated in Košice**
(R. Mlýnek).....281
- Depth of field in the digital photography in comparison to classic chemical photography** (J. Ponec).....282
- SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informs**.....284
- Holographic memory - system for recording and reading of information in photorefractive materials by means of holography** (J. Květoň)285
- Microchannel Plates - MCP** (T. Medřík).....291
- Regular and random Koch fractals in physical optics**
(P. Neumannová, P. Horváth, P. Šmíd, M. Hrabovský)294
- 20th Congress of the International Commission for Optics (Changchun, China, 21 - 26 August 2005)** (P. Horváth)300
- Mathematical methods of solar corona visualisation**
(M. Druckmüller, M. Antoš, H. Druckmüllerová).....302
- Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. jubilee** (V. Malíšek)305
- An outdoor meeting of the extended board of the Professional Section FINE MECHANICS AND OPTICS at the Czech Engineering Society** (J. Kršek)306
- Already twelfth fair AQUA-THERM** (jpe).....307

You can also find the contents of the Journal on Internet:
<http://jmo.fzu.cz>

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Vývojové a konstrukční práce v Meoptě – optika, a. s.

Tento článek informuje o vývojových a konstrukčních pracích v Meoptě – optika, a. s. a zmiňuje se o aplikacích softwaru, který je využíván při vývoji přístrojů konstruktéry optiky, elektriky a mechaniky.

V Meoptě – optika, a. s. se sídlem v Přerově, probíhají vývojové a konstrukční práce v oblasti optiky, elektriky a mechaniky takřka nepřetržitě od roku 1933, kdy byla společnost založena pod názvem Optikotechna.

Od založení společnosti po současnost dochází k rozvoji výrobní základny a inovaci výrobků na základě vlastního vývoje. Při výčtu nemůžeme zapomenout na fotografické přístroje, jejichž reprezentanty jsou dvouoké zrcadlovky FLEXARET, oblíbená MIKROMA a STEREOMIKROMA, jednoduchá ETARETA, velkoformátová MAGNOLA. Důležité místo ve vývoji a výrobě Meopty zaujaly promítací přístroje. Pro 8 mm film musíme vzpomenout OPTILUX, MEO 8, AM 8, MEOLUX, MEOS DUO. Projektoři 16 mm jsou známé pod názvy OP 16, OPEFON, MEOPTON, MEOCLUB 16, který byl vyvinut a vyráběn v řadě provedení: Automatic, Standard, Electronic. Profesionální promítací projektoři pro film 35 mm nesou ve své řadě názvy ETA, MEOPTON, MEO 5X. Snímací kamery pro film 8 mm byly v Meoptě dalším předmětem jejího zájmu. Řada ADMIRA a ADASTRA zaujímá čestné místo ve výčtu vyvinutých a vyráběných přístrojů.

Oblastí, kterou Meopta rozvíjela od svého založení, je zvětšovací technika. Jedná se celkem o cca 50 typů zvětšovacích přístrojů, které umožňují zvětšování pro různé formáty. Nejrozšířenější je formát kinofilmu 24 x 36 mm, dále formát 6 x 6 cm, 6 x 9 cm, z větších formátů se jedná o rozměry 9 x 12 cm, 13 x 18 cm a 18 x 24 cm. Připomeňme si také názvy některých zvětšovacích přístrojů: Laborant, Opematus, Herkules, Magnitaurus, Proximus, Agrand, Meogrand a řady zvětšovacích přístrojů Axomat, Opemus a Magnifax. Z bohatého příslušenství ke zvětšovacím přístrojům je nutné se zmínit o řadě zvětšovacích objektivů (Belar, Anaret, Meogon) a barevných hlavách, které umožňují zhotovování barevných fotografií z negativních filmů subtraktivní metodou. Z důvodu vývoje fotografické techniky směrem k digitalizaci obrazu, nachází dnes klasická fotografie uplatnění již pouze pro speciální vědecké, technické a umělecké oblasti. Z toho důvodu Meopta v tomto roce ukončí výrobu zvětšovacích přístrojů.

V současné době probíhá v Meoptě – optika, a. s. vývoj a následné zavádění do výroby nových typů dalekohledů, které rozšiřují a doplňují již stávající jednotlivé řady. Jedná se o puškové zaměřovací dalekohledy – řada Artemis, Meostar R, dále pozorovací dalekohledy (spektivy) – Meopta HA 70, HA/HS 75, TGA 75, Meostar S1, APO a binokulární dalekohledy, které tvoří řadu Meostar B1.

Dlouholetou tradici má vývoj a výroba luminometrů, různých typů RTG objektivů a stále rozvíjející se řady hranolových soustav pro LCD a DLP projektoři. Svě místo ve vývoji a výrobě zaujímá po letech útlumu opět také vojenská technika.

Vybavení odpovídajícím potřebným hardwarem a softwarem ve vývojové a výrobní konstrukci a návaznost na programovatelné stroje ve výrobě, je důležitým faktorem při spolupráci Meopty – optika, a. s. s významnými firmami v oboru jemné mechaniky a optiky z celého světa. Splnění požadavků normy ISO 9001 na dokumentaci, archivaci, revize a změnová řízení je rovněž jednoznačně zabezpečeno využíváním počítačové techniky. Meopta – optika, a. s. splňuje požadavky normy ISO 9001 a vlastní certifikát jakosti firmy TÜV, který zaručuje zákazníkům kvalitu vývojových a konstrukčních prací a následnou výrobu přístrojů a jednotlivých součástí v požadované kvalitě.

Nástup počítačové techniky umožnil přechod od logaritmických pravítek a tabulek přes kalkulačky k obrazovkám monitorů. Konstrukteři vyměnili rýsovací prkna a pera za klávesnice a myši počítačů. Dnes používají ke své činnosti výpočetní techniku s odpovídajícím softwarovým vybavením.

Pro zpestření můžeme vzpomenout zajímavou historii první kapesní kalkulačky, která připomíná mlýnek na pepř. Dokáže ovšem totéž, co moderní kapesní kalkulačka. Liší se pouze tím, že je zcela mechanická, bez baterií, bez klávesnice, bez displeje. Když chceme počítat, musíme točit kličkou. Nejvíce zajímavé ale je, že se kalkulačka zrodila v jedné z nejhroších dob pro civilizovaný svět, za války, v koncentračním táboře Buchenwald, a to díky nápadu Curta Herzstarka. Jeho rodina měla firmu obchodující s počítačkami ve Vídni, ale výrobci nabízeli sice skvělé, ale velké a drahé stroje. To dalo Herzstarkovi podnět, aby přemýšlel o miniaturizaci. Jeho počítací strojky používali konstruktéři i účetní a vytěsnily je až elektronické kalkulačky. Poslední jeho kalkulačka se prodala začátkem 70. let minulého století a celkový prodej činil přes 150 000 kusů.

VÝVOJ OPTIKY

Konstrukteři optiky prošli řadou fází vývoje počítačové techniky. Kalkulačky na kličky, mechanické počítačky s klávesnicí, elektronické počítačky, děrné pásky (počítač Minsk), děrné štítky (počítač Tesla), malý počítač Wang pro celé oddělení optiky. V současné době disponuje každý konstruktér svým osobním počítačem, vybaveným potřebným softwarem.

V oblasti vývoje optiky v Meoptě – optika, a. s. konstruktéři používají program ZEMAX, OSLO a AutoCAD LT.

Blíže se podívejme na program Zemax. Jedná se o optický konstrukční program americké firmy Focus Software, Inc., který slouží pro optimalizaci optických soustav, k výpočtu tolerancí a k analýze čočkových i hranolových soustav. Program umožňuje provádět optické výpočty a výstupem může být přímo tiskový soubor pro vykreslení výkresu konkrétního optického prvku. Program je kompatibilní s ostatními 3D programy pomocí výměnných datových formátů. Pro praktické použití to znamená, že navržená optická soustava, resp. jednotlivý optický člen (čočka, hranol), může být importován do programu Pro/ENGINEER, kterým disponují konstruktéři mechaniky.

Zemax umožňuje sekvenční i nesequenční modelování optických soustav. Většina optických soustav je definována plochami, které vymezují rozhraní mezi prvky a prostředím. V tomto případě dochází k sekvenčnímu výpočtu chodu paprsků, paprsky jsou propočítávány od předmětové roviny ke každému rozhraní po jednotlivých následujících instrukcích. Tento způsob můžeme využít pro konstrukci dalekohledů, mikroskopů, různých typů objektivů. Sekvenční propočítávání paprsků je rychlé a umožňuje přímý optimalizační a toleranční výpočet. Optické plochy mohou být odrazné, lámavé nebo difrakční. Program umožňuje taktéž modelování proměnlivé propustnosti pro tenké vrstvy. Prostředí mezi rozhraními může být homogenní: sklo – vzduch, může být rovněž určeno indexem ve formě gradientní funkce, kde index je složená funkce tvořená vlnovou délkou, teplotou, nebo jinou vlastností. Podporovány jsou také dvojlomné materiály. V programu je přednastaveno mnoho ploch a druhů prostředí. Vlastnosti povrchů včetně tvaru, lomu, odrazu, indexu, teploty, polarizace, přenosu a difrakce může definovat uživatel programu.

Řadu důležitých optických systémů jako jsou hranoly, světlovody, osvětlovací systémy, zrcadla, nezobrazovací systémy a předměty libovolného tvaru nemůžeme dobře popsat postupným sledováním chodu paprsku v modelu. Tyto systémy vyžadují nesequenční výpočet chodu paprsků, kde paprsek smí dopadnout na předmět v jakémkoli pořadí. Rovněž rozptýlené a parazitní světlo musí být modelováno nesequenční analýzou. Program sečte a znovu rozdělí paprsky dopadající na plochu do mnohanásobných rozptýlených nebo odražených paprsků a následně analyzuje všechny tyto výsledné paprsky. Podporovány jsou: rozptyl, difrakce, proměnný index, polarizace a tenké vrstvy.

Program podporuje také různé druhy zdrojů pro sequenční nebo nesequenční analýzu. Pro sequenční výpočet chodu paprsků jsou světelné zdroje definovány každým bodem v poli nebo rozšířenou bitovou mapou na povrchu předmětu. K dispozici je konvenční bodový zdroj, ale jednotlivé body v poli můžeme definovat i použitím úhlů, předmětové výšky, skutečné obrazové výšky, nebo paraxiální hodnotou obrazové výšky. Program podporuje taktéž astigmatické a eliptické diodové sequenční zdroje. Vyzářování zdrojů může být do prostorového úhlu 36 stupňů. K dispozici máme také rozšířený výpočet světelných zdrojů. Tyto zdroje jsou mimo jiné uživatelsky definovány použitím standardního BMP nebo JPEG formátu. Každý pixel je uživatelsky definovaný a jeho intenzita se může měnit. Tak můžeme vytvořit zdroj s proměnnou intenzitou jako funkci vlnové délky a polohy. Nesequenční zdroje jsou mnohem více komplikované a jsou většinou trojrozměrné a definované výkonem ve watech resp. v lumenech. Paprsek definovaný uživatelem je definován pro každý zdroj vzorkováním. Program podporuje nesequenční zdroje – bodový, kosinový, Gaussův eliptický svazek, svazek z válcové plochy, svazek laserové diody atd. Zdroje mohou být koherentní i nekoherentní, polychromatické i monochromatické.

Zemax taktéž nabízí integrované katalogy skel, čoček a testových destiček. Poskytuje optické katalogy firmy Shott, Hoya, Ohara, Corning a Sumita. Další katalogy zahrnují infračervené materiály, plasty a přírodní materiály jako je např. kysličník křemičitý. V katalogích jsou obsažena i data dvojlomných materiálů, faktory disperzní, teplotní, odolnosti proti kyselinám, cenové faktory apod. Umožněno je prohlížení dat, jejich úprava, případně je možné vkládat nová data. K dispozici jsou katalogy čoček řady prodejních firem: Coherent, Edmund Industrial Optics, Melles Griot, Philips, Spindler a Hoyer, U.S. Precision Lens aj.

VÝVOJ ELEKTRO

Konstruktéři elektro vyměnili taktéž rozměrná prkna a zasychající pera za osobní počítače se softwarovým vybavením pro elektro konstrukci. V současné době využívají program OrCAD Capture, OrCAD Layout, a AutoCAD LT.

OrCAD Capture slouží pro návrh elektrických schémat. Tento systém poskytuje vše pro návrh, realizaci a ověření nového analogového obvodu, kontrolu schémat existujících desek plošných spojů ap. Editor schémat programu kombinuje standardní uživatelské rozhraní Windows se všemi funkcemi a vlastnostmi, které konstruktér potřebuje k vývoji a výstupu navržených dat pro správu a další zpracování. Program umožňuje rychlé vyhledávání a výběr součástek nebo uzlů spojů. V programu je možné opakovaně používat subobvody, čímž se zabraňuje jejich stálému kopírování. Místo toho stačí provádět odkazy na stejný subobvod pomocí hierarchických bloků. Do editoru knihovny můžeme vstoupit přímo z uživatelského rozhraní programu. Pomocí editoru lze vytvářet a upravovat součástky v knihovně přímo ze stránky schématu, bez nutnosti přerušit pracovní činnosti. Pomocí tabulkového editoru programu můžeme získat přístup ke všem vlastnostem součástek, uzlů spojů, vývodů a bloků a můžeme v nich provádět změny. Program umožňuje rovněž ověřování obvodů v počáteční fázi, před jejich předáním k dalšímu zpracování. V tomto případě ohlašuje identické součástky, identifikuje nesprávná pouzdra, detekuje objekty mimo rastr, které mohou bránit propojitelnosti a kontroluje celý návrh nebo jednotlivé moduly.

OrCAD Layout umožňuje pokročilý návrh desek plošných spojů, řízený pravidly pro jednoduché i složité desky. Program poskytuje konstruktérům všechny potřebné funkce od seznamu spojů, rozmísťování a tahání spojů, až po konečný výstup. Umožňuje přípravu desek plošných spojů od prototypů až po výrobu. Layout má rozsáhlé možnosti tvorby výstupních sestav a může také generovat uživatelské sestavy. Vytváří přes dvacet standardních sestav včetně výrobních výkresů. Výhodou je, že můžeme data z mechanických systémů CAD, jako je např. Pro/ENGINEER importovat do OrCAD Layout a stanovit tak mechanické obrysy desky, výšková omezení a další mechanická data uložená v databázi desky. Po rozmístění součástek můžeme návrh vrátit do mechanického systému k 3D modelování. Klíčovými funkcemi a specifikacemi Layoutu jsou: maximální velikost desky 1727 x 1727 mm, 8 000 součástek na desku, 10 000 uzlů spojů na desku, 32 000 propojení na desku, 16 000 propojení na uzel spojů, 8 000 různých symbolů součástek na desku, 3 200 vývodů na součástku, 1 000 různých pájecích plošek, 250 různých typů průchodů, 250 znaků pro číslování součástek, 250 znaků pro jméno uzlu spojů, rotace součástek aj.

VÝVOJ MECHANIKY

Konstruování za pomoci počítače ve vývoji mechaniky v Meoptě – optika, a. s. má dlouholetou tradici. Meopta, jako jedna z prvních v naší republice, vytvořila v roce 1988 dvě konstrukční pracoviště, kde se používal software AutoCAD release 10. Překážkou v dalším vývoji byla řada let nedostupnost výkonných osobních počítačů a programů, které by umožnily řešit všechny požadované úkoly. K velkému pokroku došlo obzvláště v poslední době. Vývojoví konstruktéři mechaniky jsou postupně vybavováni potřebným hardwarem s odpovídajícím softwarem vhodným pro mechanickou konstrukci. Pro práci ve 2D používají program AutoCAD LT a pro modelování ve 3D program Pro/ENGINEER.

Faktorem, který dnes výrazně vystupuje do popředí, je schopnost rychlého zareagování na požadavky zákazníků. Používání 2D a 3D technologie současně, přináší značnou konkurenční výhodu. V průběhu vývoje musí konstruktér stále vyhodnocovat a optimalizovat funkci výrobku a minimalizovat výrobní náklady. Srovnáme-li jeho dřívější práci na rýsovacím prkně s tužkou, resp. perem v ruce, tak při množství projektů, které vyžadují zpracování kompletní výkresové dokumentace přes hlavní sestavy, podsestavy až k jednotlivým součástkám, jde v současné době o velký skok vpřed.

Konstruktéři mechaniky navazují na práci konstruktérů optiky a elektro a vzniká zde úzká zpětná vazba. Musí rozkreslit pro každý projekt desítky různých součástí – rotačních, s tvarovým povrchem, excentrických, plochých, profilových, objemových, s ozubením, drážkováním, rýhováním, se zápichy, vybráním plochy. Bez použití moderní techniky by nebyli schopni plnit stále rostoucí požadavky zákazníků na dokonalejší výrobky, velmi obtížně by pak Meopta – optika, a. s. udržovala svůj podíl na trhu, nehledě na jeho rozšiřování.

Program AutoCAD LT se stal standardem v oblasti 2D konstrukčních systémů. Zajišťuje výměnu výkresových souborů mezi jednotlivými konstruktéry a taktéž mezi konstruktérem a zákazníkem. Program obsahuje produktivní nástroje pro kótování a poznámkování, kreslicí a editační nástroje a automatizuje proces vytváření přesných výkresů pro konstruktéry. Prvky elektronických výkresů můžeme snadno znovu použít, což výrazně zkracuje dobu strávenou opětovným vytvářením podobných návrhů.

Nejvíce používaným programem při konstrukci a následné výrobě je v Meoptě – optika, a. s. v současné době vývojové prostředí Pro/ENGINEER, které má schopnost podporovat souběžné projektování. V takovém prostředí se jednotlivé kroky nutné pro uvedení výrobku na trh provádějí souběžně a nikoli následně. Současně s koncepčními studiemi se navrhuje jednotlivé díly a sestavy, probíhá optimalizace konstrukce, zhotovují se výkresy a stanovuje se technologický postup. Překrýváním jednotlivých kroků se výrazně zkracuje čas potřebný pro uvedení výrobku na trh.

Pro/ENGINEER predstavuje komplexnú a integrovanú prostredím pro vývoj výrobku. Veškerá řešení jsou plně asociativní. To znamená, že změny, které byly provedeny kdekoli v průběhu vývojových prací, mohou být přeneseny do celého návrhu, přičemž jsou automaticky aktualizovány veškeré konstrukční a výrobní podklady včetně sestav, výkresové dokumentace a výrobních údajů. Program umožňuje modelování dílů a sestav – intuitivní 3D parametrické modelování dílů pomocí konstrukčních prvků, definice tolerovaných rozměrů přes integrované ISO tabulky (automatické dosazení tolerančního pole podle nominálního rozměru), 3D modelování plechových součástí včetně jejich rozvinů (prolisy, prostříhy, využití ohybových tabulek pro řízení ohybů), navrhování v sestavách, standardizace a unifikace dílů a sestav (typové a rozměrové řady), 3D modelování svarů a svařenců v sestavě a automatické promítání jejich parametrů (délka, typ svaru, druh elektrody) do výrobní dokumentace. Dále je možné plošné modelování dílů – program obsahuje nástroje pro konstrukci tvarově komplikovaných parametrických dílů, nástroje pro analýzu křivek a obecných ploch, konverzi plošného modelu na objemový model. Pro výrobní dokumentaci je důležitá obousměrná asociativita dat.

Je možné automatické generování kompletní výrobní dokumentace (výkresů dílů, sestav, kusovníků), vytváření různých typů pohledů, průmětů, detailů, provádět automatické řezy v dílech a v sestavách, automaticky zobrazovat kóty včetně tolerancí. Program dovoluje snadno editovat výkresovou dokumentaci, automaticky vytvářet pozice, automaticky generovat kusovník.

Důležité z pozice našich zákazníků je, že program umožňuje komunikaci s jinými CAD systémy. Zákazník přichází většinou pouze s ideovým návrhem tvarového řešení požadovaného přístroje. Konkrétní a výrobně realizovatelný tvar se dotváří teprve na obrazovce počítače ve spolupráci s designérem. Podpora při konstrukci a výrobě forem pro vylisky a odlitky je samozřejmostí.

Můžeme jednoznačně konstatovat, že bez využití 3D technologie by nebylo vůbec možné některé komplexní zakázky v Meoptě – optika, a. s. realizovat.

V současné době vlastní Meopta – optika, a. s. celkem 26 licencí programu Pro/ENGINEER.

Literatura

[1] Manuály a prospektové materiály jednotlivých programů

Jaroslava Sázelová, Meopta - optika, a. s., Kabelkova 1, 750 00 Přerov, tel.: +420 581243129, e-mail: sazela@meopta.com

V Košiciach rokovali slovenskí a českí fyzici

V Košiciach sa od 5. do 8. septembra konala 15. konferencia slovenských a českých fyzikov, ktorú spoločne zorganizovali Slovenská fyzikálna spoločnosť, Česká fyzikální společnost JČMF, Ústav experimentálnej fyziky SAV v Košiciach a Prírodovedecká fakulta Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach. Konferencia sa konala v roku, ktorý bol oficiálne vyhlásený za Svetový rok fyziky, a to na počesť stého výročia uverejnenia významných vedeckých prác Alberta Einsteina, ktoré rozuzlili klbko protirečení, v ktorých sa zmiatla vtedajšia fyzika, a ktoré dali fyzike nové základy.

Košická konferencia mala za cieľ predstaviť pokrok, dosiahnutý od konferencie v Plzni v roku 2002, a najnovšie výsledky bádania v odboroch fyziky, pestovaných na slovenských a českých vysokých školách a v ústavoch akadémií vied oboch krajín. Účastníci konferencie diskutovali aj o postavení fyziky v súčasnej spoločnosti a o perspektívach jej ďalšieho rozvoja. Na otvorení konferencie bol prítomný aj predseda Slovenskej akadémie vied profesor Štefan Luby a predseda Európskej fyzikálnej spoločnosti (EPS) profesor Ove Poulsen z Dánska. Ten v svojom príhovore pripomenul aj to, že fyzici by sa nemali venovať len vedeckému výskumu, ale mali by sa aktívnejšie podieľať aj na transformovaní vyučovania fyziky na základných a stredných školách, ktorých žiaci zväčša považujú fyziku za ťažkú a nie veľmi záživný predmet. Po prvý raz je rokovacím jazykom takejto konferencie angličtina. Na konferencii v Košiciach prezentovali slovenskí a českí fyzici vedecké výsledky, dosiahnuté najmä v oblasti jadrovej a subjadrovej fyziky, kozmickej fyziky a astrofyziky, fyziky materiálov, magnetizmu, fyziky nízkych teplôt, matematickej a počítačovej fyziky, geofyziky a biofyziky. Na konferencii sa zúčastnilo okolo 140 fyzikov, pričom organizátori pozvali aj niekoľkých významných vedcov zo Spojeného kráľovstva, USA, a Ukrajiny. Z nich možno spomenúť profesora Georga Picketta, ktorý má dlhoročnú spoluprácu s košickým Ústavom experimentálnej fyziky a ktorý na konferencii hovoril o najnovších výsledkoch, získaných pri štúdiu supratekutého hélia-3 pri ultranízkych teplotách, blízkyh absolútnej nule. Ďalším pozvaným prednášateľom bol košický rodák Emanuel Roth, ktorý je pracovníkom známeho Jet Propulsion Laboratory (Laboratórium prúdového pohonu, patriace pod

kozmickej agentúry NASA) a ktorý hovoril o prieskume planét radarom. Vladimír Bužek z Fyzikálneho ústavu SAV v Bratislave, ktorý je svetovo uznávaným odborníkom na kvantovú informatiku, zaujal svojou prednáškou o využití kvantových vlastností častíc na kódovaný prenos informácií. Ladislav Šándor z Ústavu experimentálnej fyziky mal prednášku o účasti košických fyzikov na pripravovanom experimente ALICE, ktorý sa začne realizovať od roku 2007 v Európskom centre jadrového výskumu (CERN) v Ženeve a na ktorom sa budú podieľať fyzici a inžinieri z 86 inštitúcií z 29 krajín. Grigorij E. Volovik z Helsínk sa v svojej prednáške venoval topológii momentového priestoru a kvantovým fázovým prechodom. Do sveta astrofyziky kompaktných objektov a čiernych dier preniesol účastníkov konferencie svojou prednáškou Michal Dovčiak z Astronomického ústavu Akadémie vied Českej republiky. Jan Novotný z Prírodovedeckej fakulty brnenskej Masarykovej univerzity hovoril na konferencii o úsilí Alberta Einsteina vypracovať jednotnú teóriu gravitačných a elektromagnetických interakcií. Prednášku o zrážkach ťažkých iónov a o kvark-gluónovej plazme predniesol Michal Novotný z Ústavu jadrovej fyziky AV ČR v Prahe. Z Prahy pochádzajúci Petr Vogel, ktorý od roku 1970 pracuje v pasadenskom Caltechu (California Institute of Technology), mal pútavú prednášku o neutrónových osciláciách. Kremíkovej nanofotonike bola venovaná prednáška Ivana Pelanta z Fyzikálneho ústavu AV ČR v Prahe. Príjemným spustením konferencie bolo spoločenské stretnutie, konané vo veľmi peknom prostredí Botanickej záhrady Univerzity P. J. Šafárika.

Konferencia českých a slovenských fyzikov v Košiciach bola prvou konferenciou tohto druhu po opätovnom, aj keď len symbolickom „zjednotení“ Česka a Slovenska v Európskej únii. Je sympatické, že komunita českých a slovenských fyzikov neprestala organizovať spoločné vedecké konferencie ani po rozpade Československa. Pred rozdelením nášho bývalého spoločného štátu sa totiž pravidelne konávali československé konferencie fyzikov, pričom v roku 1977 sa takáto konferencia konala v Košiciach.

R. Mlýnek

Hloubka ostrosti digitální fotografie ve srovnání s klasickou chemickou fotografií

Příspěvek je věnován problematice hloubky ostrosti digitální fotografie. Je uvedena definice hloubky ostrosti vycházející z úhlového rozlišení lidského oka a zaveden vztah pro výpočet hyperfokální vzdálenosti. Důležitou se jeví volba povolené neostrosti na záznamovém médiu. V případě klasické fotografie je problém dlouhodobě vyřešen. V případě fotografie digitální se situace komplikuje jednak tím, že se snímá obvykle na mnohem menší formát záznamového média a další problém vnáší jeho struktura. Je proveden propočítání povolené neostrosti na fotoelektrickém senzoru, vycházející z klasické fotografie a provedeno srovnání s velikostí obrazových buněk. Jsou určena kritická clonová čísla tak, aby se rozostření vlivem ohybu světla na apertuře objektivu neprojevovalo rušivě. Otázkou zůstává zda vycházet z nerozlišitelnosti jednotlivých obrazových elementů - pixelů, nebo pouze splnit kritérium platné pro klasickou fotografii. Situaci komplikuje vlastní tvorba obrazu interpolací z údajů jednotlivých obrazových buněk fotosenzoru.

V tomto pojednání bych se chtěl věnovat pojmu *hloubka ostrosti* při optickém zobrazení. Myslím, že by se spíše měl používat termín *hloubka tolerované (řízené) neostrosti*, protože při optickém zobrazení nikdy nemůžeme uvažovat, že by bylo realizováno opravdu ostré zobrazení, tzn., že by obraz do všech detailů byl shodný s předmětem. K dokonalému zobrazení dochází pouze teoreticky u ideální optické soustavy, to je takové, u níž se uvažuje zobrazení pouze na podkladě paprskové optiky a jež je prosta všech vad zobrazení. Zobrazení skutečnou optickou soustavou však musíme brát z pohledu vlnové optiky a potom, pokud je tato soustava opět prosta vad zobrazení (hovoříme o fyzikálně dokonalé soustavě) se díky vlnové povaze světla projeví ohyb světla na apertuře této soustavy tím, že předmětový bod se nikdy nezobrazí opět jako bod, ale jako poměrně složitý prostorový útvar, ale my bereme toto rozdělení energie v obraze bodu v jeho plošném řezu a přihlížíme pouze k centrální části, tzv. Airyho plošce. Říkáme, že bod se zobrazí v plošku konečného rozměru (rozptylový kroužek) o průměru

$$d = 2,44 \cdot c \cdot \lambda,$$

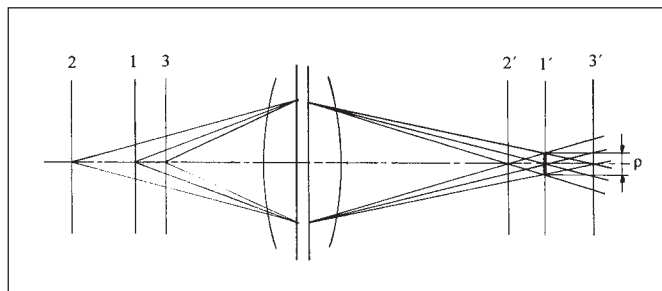
kde c je clonové číslo a λ vlnová délka použitého světla. Z toho je patrné, že zobrazení optickou soustavou není nikdy dokonale ostré a tím i rozlišovací schopnost takové soustavy je konečná. Jelikož se ale historicky pojem „hloubka ostrosti“ vžil, budu jej i nadále používat. Jak je tedy možné, že i když z teorie optického zobrazení plyne, že do jisté obrazové roviny je možno „ostré“ zobrazit opět pouze konkrétní předmětovou rovinu a ne část prostoru, že uvažujeme o zobrazení části předmětového prostoru „ostré“ do obrazové roviny?

Využíváme nedokonalosti lidského zraku, který rovněž považuje za ostré to, co ve skutečnosti dokonale ostré není. Podílí se na tom opět ohyb světla na pupile oka, ale i konečný rozměr jednotlivých fotocitlivých tělísek na sítnici oka, čípků. Nelze zaznamenat menší obraz bodového předmětu než je průměr čípku a ten je asi 5 μm , což při ohniskové vzdálenosti oka asi 17 mm vede k teoretické hodnotě úhlového rozlišení 1' (úhlová minuta). Ve skutečnosti, při praktických úvahách vycházíme z hodnoty asi 2'. Ve fotografické praxi se ustálilo, že pozorujeme-li snímek o velikosti 8 x 12'', což je přibližně formát A4, ze vzdálenosti 38 cm, je povolená neostrost přibližně 0,25 mm.

Pozn.: v optické praxi se ovšem uvažuje pozorování z konvenční zrakové vzdálenosti 25 cm a při teoretické hodnotě rozlišení oka 1' je právě rozlišena ploška o průměru 0,07 mm.

Při odvozování vztahů pro výpočet hloubky ostrosti se vychází z výše uvedené hodnoty úhlového rozlišení oka 2'. Jelikož ale obraz snímáme na menší obrazový formát, pozorovaný z kratší vzdálenosti (aby byly zachovány prostorové proporce), je vždy nutno velikost povolené neostrosti přepočítat, nejlépe v poměru úhlopříček uvažovaných formátů.

Jak lze tedy dospět k nějaké teorii, pomocí níž lze již předem spočítat co ještě bude na snímku „ostré“? Situace je znázorněna na obrázku. Předpokládejme, že „správná“ obrazová rovina, rovina filmu, na níž je zaostřena předmětová rovina, je v poloze 1'. Do ní je zobrazena rovina předmětu 1. V rovině 1' je znázorněna úsečkou ρ velikost povolené neostrosti. Jak je z obrázku patrné, stejně „ostré“, nebo spíše bychom měli říci neostře, jsou do této roviny 1' zobrazeny i roviny 2 a 3, obklopující zobrazenou rovinu 1, i když jejich „správné“ (zaostřené) obrazy leží v polohách 2' a 3'. Je to dáno tím, že pokud při pozorování obrazu nelze okem již rozlišit plošku menší než ρ , bude viděn stejně „ostré“ obraz ležící v poloze 1', ale i v polohách 2' a 3'. Vidíme tedy, že jsme zobrazili prostor mezi rovinami 2 a 3 skoro stejně kvalitně, jako zaostřovanou rovinu 1. Vzdálenosti mezi rovinami 2 a 3 říkáme *hloubka ostrosti*.



Propočtem tohoto případu zobrazení dospějeme k pojmu *hyperfokální vzdálenost* (označíme ji H), která nám tuto situaci dobře charakterizuje. Hyperfokální vzdálenost je taková vzdálenost předmětu, že pokud je objektiv zaostřen na nekonečno, je vše od ∞ do této vzdálenosti zobrazeno v obrazové rovině s povolenou neostrostí. Fotografové nejčastěji využívají hyperfokální vzdálenosti tak, že pokud objektiv zaostří právě na hyperfokální vzdálenost, je vše „ostré“ od ∞ do poloviny hyperfokální vzdálenosti $H/2$. Ze zobrazovacích vztahů lze odvodit vzorec pro výpočet hyperfokální vzdálenosti:

$$H = f^2 / (c \cdot \rho).$$

Z tohoto vztahu je vidět, které veličiny mají vliv na velikost H. Je to především ohnisková vzdálenost objektivu f, clonové číslo c a velikost tolerované neostrosti ρ . Pokud tedy požadujeme velkou hloubku ostrosti, musí být číslo H malé a proto je vhodné volit co nejkratší ohniskovou vzdálenost objektivu a pokud možno silně clonit. Extrémním případem využití velké hloubky ostrosti jsou tzv. „fixfokus“ objektivy, používané u levných kompaktních, které se nemusí zaostřovat, protože zaostření je již od výrobce nastaveno na hyperfokální vzdálenost.

Při znalosti hyperfokální vzdálenosti je snadné vypočítat rozsah hloubky ostrosti pro libovolnou zaostřenou vzdálenost z. Bližší rovina ostrosti leží ve vzdálenosti:

$$z_1 = (H \cdot z) / (H + z)$$

a vzdálenější

$$z_2 = (H \cdot z) / (H - z).$$

Nyní se vrátíme k velikosti povolené neostrosti ρ . Vyděme z úhlového rozlišení oka $2'$. Řekli jsme si, že pro formát 8 x 12'' (A4) a pozorovací vzdálenost 38 cm, je povolena velikost rozostření 0,25 mm. Jak je tomu na filmu? Protože se objektiv dělí do skupin podle úhlopříčky formátu fotocitlivého materiálu, lze použít stejný postup. Formát 8 x 12'' má úhlopříčku asi 366 mm a kinofilm pouze 43,3 mm, vidíme, že formát kinofilmu má asi 8,5 krát menší úhlopříčku, proto i velikost povoleného rozostření volíme přibližně 0,25 / 8,5 a to je asi 0,03 mm. Stejně tak můžeme postupovat pro libovolný formát. Tuto vypočtenou hodnotu lze ovšem měnit v závislosti na požadované konečné kvalitě výsledného obrazu s ohledem na jeho konečnou velikost, vzdálenost ze které bude pozorován a podobně. V případě procesu negativ-positiv je nutno brát v úvahu, že při pozitivním procesu dochází opět k optickému zobrazení které zhorší výslednou kvalitu oproti prostému přepočtu formátů.

Tato teorie byla odvozena pro záznam na fotografický film, jehož struktura fotocitlivé vrstvy, rozdělení a velikost fotocitlivých buněk (zrníček halogenidů stříbra) je chaotická a nedefinovaná, jednotlivá zrníčka mají velikost řádově v μm , proto lze velikost povoleného rozptylového kroužku volit s ohledem na následné zpracování a podmínky pozorování.

Poznámka: Při odvozování hodnoty hyperfokální vzdálenosti jsme pomíjeli vliv ohybu světla, čili clonění, na velikost povoleného rozostření. Do povolené hodnoty pro formát kinofilmu 0,03 mm již byl zahrnut i vliv ohybu, čili nikoliv pouze paprskově optické rozostření, ale i velikost rozptylového kroužku d a odtud plyne, že s cloněním na jedné straně hloubka ostrosti roste (to je vliv paprskově-optický), ale na druhé straně klesá vlivem vlnově-optického jevu ohybu. Jeho projev není pro relativně velké formáty fotocitlivého materiálu podstatný pro běžně používaná clonová čísla, jak je možno si vyvodit z následující tabulky, udávající průměry rozptylových kroužků vlivem ohybu pro různá clonová čísla a vlnové délky světla.

Clonové číslo	Průměr Airyho disku v μm pro světlo vlnové délky λ [nm]		
	$\lambda = 450$	$\lambda = 550$	$\lambda = 670$
2	2,2	2,68	3,27
2,8	3,1	3,76	4,58
4	4,4	5,37	6,54
5,6	6,15	7,5	9,2
8	8,78	10,74	13,1
11	12,07	14,8	17,98
22	24,16	29,5	35,96

Jak je tomu v digitální fotografii? Co se týče vlivu prvních dvou faktorů, tj. ohniskové vzdálenosti a clonového čísla je situace stejná jako v předešlém případě pro klasický filmový materiál, pokud pomíjíme ohyb světla. Vliv ohybu světla na tolerovanou neostrost při zobrazení na fotoelektrický senzor (CCD, CMOS, LBCAST, Foveon) si rozebereme později.

Protože fotoelektrické senzory digitálních fotoaparátů (mimo profesionální zrcadlovky) mají mnohem menší rozměry než políčko kinofilmu, jsou i ohniskové vzdálenosti objektivů digitálních přístrojů mnohem kratší, což vede spolu s menší světelností těchto objektivů k podstatně kratším hyperfokálním vzdálenostem a tím mnohem větší hloubce ostrosti (tento výrok platí pro srovnatelné záběrové úhly- úhly zorného pole, čili pro srovnání musíme brát přepočtené ohniskové vzdálenosti u objektivů digitálních přístrojů). Pro orientaci jsou v následující tabulce uvedeny přepočtové konstanty k pro čipy digitálních přístrojů v porovnání s políčkem kinofilmu.

Velikost senzoru ['']	Rozměr [mm]	Úhlopříčka [mm]	Přepočtová konstanta k
4/3	18 x 13,5	22,5	1,92
1	9,6 x 12,8	16	2,7
2/3	6,6 x 8,8	11	3,94
1/1,8	7,2 x 5,3	9	4,8
1/2	4,8 x 6,4	8	5,4
1/2,7	3,96 x 5,28	6,6	6,5
1/3	3,6 x 4,8	6	7,2
APS-C	22,7 x 15,1	27,3	1,6
LBCAST	23,7 x 15,6	28,4	1,5
Kinofilm	36 x 24	43,3	1

Kdo se nechce zabývat výpočtem H a přepočtem z_1 a z_2 , může vycházet z toho, že kolikrát je úhlopříčka fotoelektrického senzoru kratší než úhlopříčka políčka kinofilmu, tolikrát se zvětší hyperfokální vzdálenost u digitálního přístroje. Plyne to z následující úvahy: protože formát senzoru je k krát menší než políčko kinofilmu, požadujeme-li stejnou velikost výsledného snímku, musíme tento oproti obrázku z kinofilmu ještě k krát zvětšit, proto musíme ve vztahu pro výpočet hyperfokální vzdálenosti použít jinou hodnotu povoleného rozostření, musí být k krát menší tudíž platí:

$$H_D = f^2 / [c \cdot (\rho / k)] = H \cdot k,$$

kde H_D je hyperfokální vzdálenost pro objektiv digitálního přístroje v porovnání s hyperfokální vzdáleností objektivu pro formát kinofilmu a stejnou ohniskovou vzdálenost.

Na dokreslení této skutečnosti uvedu příklad:

Mějme objektiv pro klasický fotoaparát o $f = 50$ mm, zacloněný na clonové číslo 5,6. Povoleno rozostření budiž 0,03 mm. Výsledná hyperfokální vzdálenost je 14,9 m.

Objektiv digitálního přístroje pro srovnatelný zorný úhel pro senzor 2/3'' bude mít ohniskovou vzdálenost $f = 12,7$ mm a pro clonové číslo 5,6 a povolené rozostření $0,03/3,94 = 0,0076$ nám vyjde hyperfokální vzdálenost 3,8 m což je právě k krát kratší hodnota. Naopak pro objektiv digitálního přístroje o $f = 50$ mm, clonu 5,6 a senzor 2/3'' ($\rho = 0,03 / 3,94 = 0,0076$) dostaneme $H_D = 59$ m, což je hodnota k krát větší než bylo H_{50} .

Při těchto úvahách jsme pomíjeli skutečnost, že fotosenzor digitálního přístroje nemá nedefinovanou, chaotickou strukturu, ale je to matice obvykle čtvercových buněk konečných rozměrů (označme si velikost strany buňky b), přísně uspořádaných do řad a sloupců a zanedbali jsme i vliv ohybu světla na povolenou hodnotu rozostření. Již dříve jsem uvedl, že pro klasickou fotografii, kde

rozostření je tolerováno v setinách mm, nemá rozptylový kroužek vzniklý ohybem světla, jehož rozměr je v μm podstatný vliv (vyjma extrémního clonění). Jinak je tomu v digitální fotografii. Hodnotu povoleného rozostření zde přebírá velikost obrazové buňky, protože tato je nejmenším elementem zaznamenávajícím světelnou energii od předmětového bodu. Jelikož buňky fotosenzorů jsou rozměrově v μm , je nutno k ohybu přihlížet. Pokud bude rozptylový kroužek d (viz tabulka) pro použité clonové číslo menší než rozměr buňky b , lze do vztahu pro výpočet H_D použít rozměr buňky na místo hodnoty ρ . V případě, že rozptylový kroužek d bude větší než rozměr buňky, bude nutno brát tuto hodnotu, aby rozostření na snímku nebylo patrné. Tato konstrukce by byla možná ale pouze pro černobílý senzor a možná pro typ Foveon. U běžných barevných senzorů se obraz vypočítává poměrně složitými interpolačními vzorci a velikost rozptylového kroužku větší než buňka b vede vždy ke snížení ostrosti výsledného obrazu.

Pokud bychom chtěli splnit kritérium povolené neostrosti platné pro klasickou fotografii, tedy aby na snímku formátu přibližně A4 nebylo rozostření větší než 0,25 mm, musíme provést kontrolu i s ohledem na tento požadavek. Pro políčko kinofilmu jsme spočítali povolené rozostření 0,03 mm a použitím přepočtového koeficientu k si spočteme povolené rozostření ρ_D pro použitý formát senzoru a tuto hodnotu srovnáme s velikostí buňky b daného senzoru. Pokud hodnota ρ_D vyjde menší než b , nebude možno kritérium platné pro klasickou fotografii splnit, protože při nutném zvětšení by již na výsledném obraze byly viditelné jednotlivé obrazové buňky. Je možno si sestavit tabulku ve které uvedeme povolenou hodnotu rozostření ρ_D , předpokládanou velikost obrazové buňky b (tato hodnota bude sporná, výrobce ji obvykle neudává a je nutno ji alespoň přibližně spočítat ze znalosti velikosti senzoru a jeho rozlišení udané v počtu obrazových buněk) a hodnoty kritického clonového čísla c_{ρ_D} (pro vlnovou délku 0,55 μm) vztahového k pro které je rozptylový kroužek d roven velikosti povoleného rozostření dle konvence a jednak kritické clonové číslo c_b , kdy je rozptylový kroužek přibližně roven velikosti obrazové buňky daného senzoru pro některé výše uvedené senzory.

Připomínám, že při výpočtu velikosti rozptylového kroužku d nebyl brán zřetel na vady zobrazení objektivů.

Senzor [']	Rozlišení [Mp]	ρ_D [μm]	b [μm]	c_{ρ_D}	c_b
4/3	8,9	15,6	5,5	11	4
2/3	8	7,6	2,7	5,6	2
2/3	5,2	7,6	3,4	5,6	2,8
1/1,8	4,1	6,25	3,2	4÷5,6	2÷2,8
1/1,8	5,2	6,25	2,8	4÷5,6	2
1/2,7	3,3	4,6	2,6	2,8÷4	2
APS-C	6,3	18,75	7,4	16	5,6
APS-C	8,5	18,75	6,4	16	4÷5,6
LBCAST	4,26	20	9,6	16	5,6÷8

Nyní je otázkou, které clonové číslo je to kritické, zda to s ohledem na kritérium vycházející z rozlišení oka, či to, které bere v potaz velikost obrazové buňky. Vzhledem k tomu, že skutečný obraz vzniká až následnou interpolací (mimo senzor Foveon) by bylo asi správné vycházet z toho, že by se obraz bodu měl „vejít“ do obrazové buňky, ale v tomto případě je z tabulky patrné, že světelnost objektivů mnohých přístrojů ani nedosahuje potřebné hodnoty a to ještě neuvažujeme vady zobrazení těchto objektivů. Z uvedeného je zřejmé, že předem počítat s konkrétní hodnotou hyperfokální vzdálenosti a tím následně určit hloubku ostrosti, není u digitálních přístrojů (vyjma těch „profi“ s velkými senzory) vůbec jednoduché.

(Příspěvek byl přednesen na III. Fotografickém kongresu v Jindřichově Hradci, pořádaném Komorou fotografických živností ve dnech 2. - 4. 10. 2005)

RNDr. Jan Ponec, Katedra optiky PřF UP Olomouc, e-mail: ponec@optnw.upol.cz

SPIE/CS - The International Society for Optical Engineering/Czech and Slovak Chapter informuje

Výbor SPIE vyhlásil výběrové řízení na poskytnutí příspěvku na úhradu vložného na konferenci pořádané SPIE - The International Society for Optical Engineering v roce 2006.

Žádosti o zařazení do výběrového řízení přijímá prezident SPIE/CS (v České republice), respektive viceprezident SPIE/CS (ve Slovenské republice) do 31. 1. 2006 (termín je prodloužen). Výsledky výběrového řízení výbor SPIE/CS oznámí do 28. 2. 2006 účastníkům výběrového řízení.

Podmínky účasti ve výběrovém řízení:

- Platné členství ve SPIE/CS, minimálně v letech 2004, 2005. Platným členstvím se rozumí uhrazení členského příspěvku SPIE/CS pro daný kalendářní rok; u Ph.D. studentů bude platnost členství ověřena pouze pro rok 2005 dle seznamu členů SPIE/CS.
- Aktivní účast na konferenci, na kterou je požadován příspěvek na vložné.
- Podání žádosti do výběrového řízení písemnou nebo elektronickou formou.

Žádost musí obsahovat:

- Jméno a příjmení žadatele, pracoviště, kontaktní adresa, e-mail, telefon.
- Specifikace konference SPIE, včetně kopie pozvánky, odkaz na www konference.
- Výši konferenčního poplatku.
- Název a stručná anotace příspěvku na konferenci.

Kontaktní adresy SPIE/CS:

- prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz tel.: 00420585631501, fax: 00420585631531 (Česká republika) - prezident
- RNDr. Dagmar Senderáková, CSc., FMFI UK, Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava, e-mail: dagmar.senderakova@fmph.uniba.sk tel.: 00421260295391, fax: 00421265425882 (Slovenská republika) - viceprezident

Holografická pamĚť – systĚmy pro záznam a ětení informace ve fotorefraktivních materiálech pomocí holografie

Princip záznamu obrazu pomocí hologramu na fotocitlivý materiál je znám již řadu let avšak praktická aplikace využitelná v dnešním světě se objevuje až nyní. Zakódováním informace do modulované vlny pomocí prostorového modulátoru světla a jejím následným zaznamenáním v objemu fotorefraktivního materiálu lze dosáhnout vysoké hustoty záznamu dat. Vlastnosti jako kapacita média a kvalita záznamu jsou závislé především na použité geometrii systému a typu fotorefraktivního materiálu.

1. ÚVOD

Dnešní svět produkuje dennĚ každou vteřinu terabity informací. Vlastní produkce človĚka, jako je například tato práce, je pouze malým zlomkem informací, které je potřeba uchovat pro další využití. PĚvážně množství dat pochází z lékařství, výzkumu, průmyslu a jiných odvětví, přičemž preferovány jsou většinou pamĚti pro konečné zálohování dat (typu WORM - Write Once Read Many). Podle odhadů bylo v roce 2003 lidstvem vyprodukováno 5 exabitů (tedy $5 \cdot 10^{18}$ bitů), což ěiní průmĚrnĚ 800 megabitů na každého obyvatele na Zemi. Tato skutečnost přináší velký tlak na výzkum technologií, jež by zefektivnily záznam dat. V tomto ohledu se jeví technologie holografického zápisu HDS (Holographic Data Storage) velmi perspektivní, ponĚvadž její teoretické limity možných kapacit a pĚnosových rychlostí v pomĚru k velikosti zápisových médií znaěně pĚvyšují konvenění magnetická a optická záznamová média (teoretická hranice možných hustot záznamu holografické pamĚti je 10Tbit/cm²).

Princip holografického zápisu informace ve fotorefraktivních materiálech (obr. 1) spočívá v rozdělení laserového svazku na pĚdĚmĚtový (signální) a referenění. PĚdĚmĚtový svazek je modulován v dvourozmĚrnou matici tmavých a svĚtlých pixelů, které

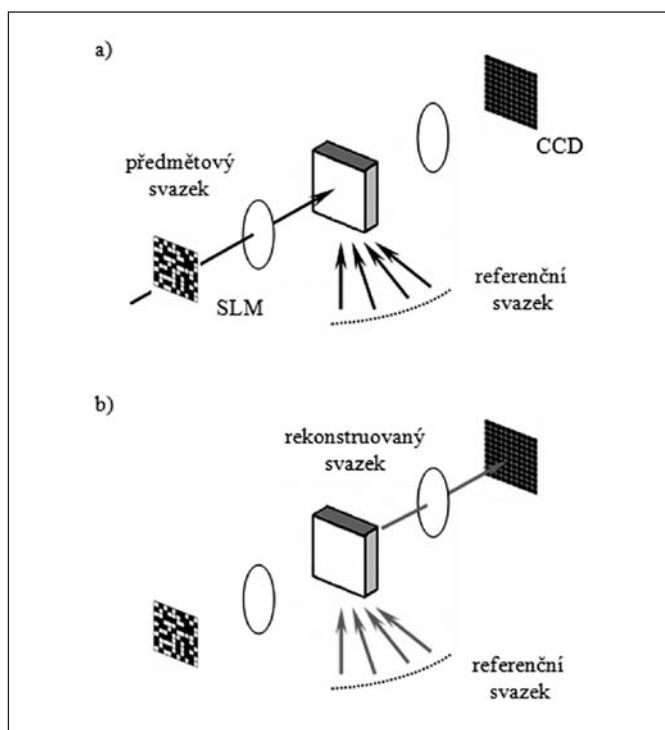
pĚdstavují jednotlivé bity. Tyto svazky poté interferují uvnitř fotorefraktivního materiálu citlivého na svĚtlo a výsledkem je trojrozmĚrný záznam stránky dat (hologram), který může být posláze rekonstruován samotným refereněním svazkem a pomocí detektoru pĚveden do elektronické podoby. Jistou změnou parametrů refereněního svazku (např. změnou úhlu vstupu do materiálu, nebo vlnové délky) lze do stejného objemu uložit více stránek dat a zvýšit tím hustotu záznamu v médiu. Základní odlišností od konveněních metod zápisu je, že informace o zobrazeném obrazu je zapsána v celém objemu hologramu a nejen v jedné jeho ěásti. Toto je jedna ze základních výhod objemového zápisu, který je tak necitlivý vůěi lokálním poruchám v krystalu média, jako jsou škrábance nebo nežádoucí pĚmĚšĚ.

2. PRINCIP MULTIPLEXOVÁNÍ

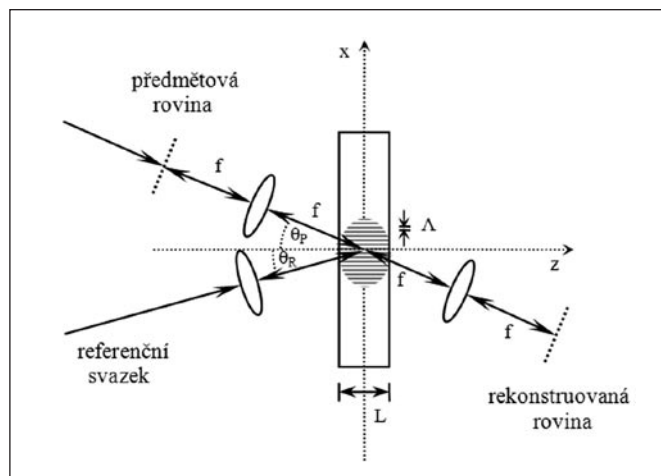
Jistými modifikacemi vstupních parametrů svazků lze do stejného objemu média vložit několiknásobně více informací. Tento princip je nazýván metodou multiplexování. Metody multiplexování můžeme rozdělit do několika skupin podle parametru, kterým je pĚvážně referenění svazek modifikován. Pro dosažení větší hustoty záznamu lze tyto metody kombinovat.

2.1. Úhlové multiplexování

Tato metoda je založena na změně úhlu dopadu refereněního svazku na vstupu. Jeden z možných pĚkladů systému s využitím úhlového multiplexingu je na obr. 2. NejvyužívanĚjší konfigurace v systĚmech pro HDS je 4-f systĚm, který provádĚí Fourierovu transformaci svazku nesoucího informaci. Referenění svazek má obvykle rovinnou, výjimeěně sfĚrickou vlnoplochu [3].



Obr. 1 ObecnĚ schĚma a) záznamu a b) rekonstrukce hologramu



Obr. 2 PĚklad možné geometrie pro úhlovĚ multiplexování

Pokud budeme uvažovat nejjednodušší případ, kdy obě vlny jsou rovinné, interferenčním obrazcem bude objemová difrakční mřížka, jejíž roviny jsou rovnoběžné. Při následném osvětlení stejnou referenční vlnou odráží paralelní roviny mřížky pouze vlnu, která splňuje (pro 1. difrakční řád) Braggovu podmínku ve tvaru

$$\sin \frac{1}{2}(\theta_p + \theta_r) = \frac{\lambda}{2\Lambda}, \quad (1)$$

kde θ_p a θ_r jsou úhly dopadu předmětového a referenčního svazku, Λ je perioda difrakční mřížky a $\frac{1}{2}(\theta_p + \theta_r)$ je úhel, který svírá vlnový vektor referenční vlny s rovinami mřížky. Difrakční podmínku (1) může splňovat pouze referenční paprsek stejné vlnové délky směřující v původním směru. Parametr popisující propustnost referenční vlny materiálem je difrakční efektivita definovaná vztahem

$$\eta = \frac{\text{energie difragovaného svazku}}{\text{energie referenčního svazku}} \propto \sin^2(\Delta \mathbf{k}_z L_z). \quad (2)$$

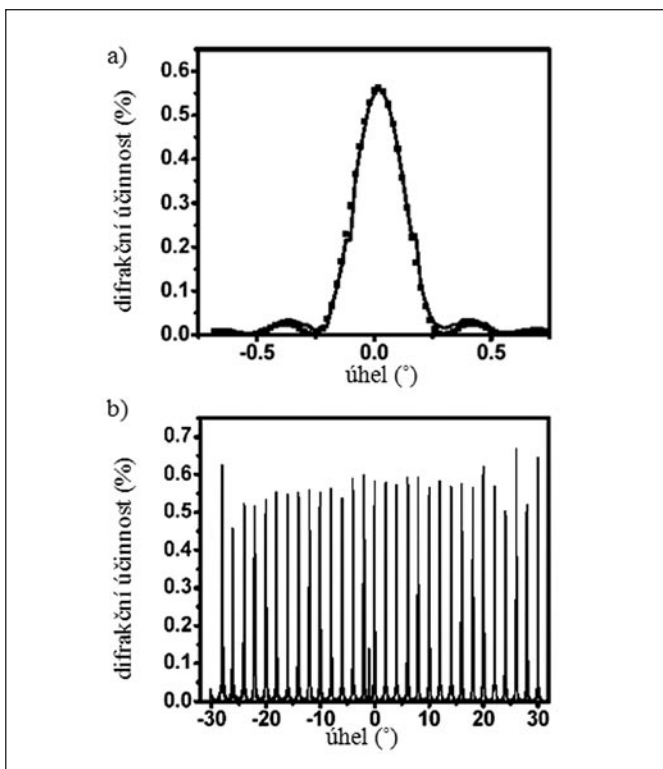
Pokud je již v médiu uloženo M hologramů, je navíc difrakční efektivita závislá na parametru $1/M^2$. Při čtení hologramu musí pro směr referenční vlny (podle vzorce (2) a obr. 3) být splněna podmínka

$$|\Delta \mathbf{k}_z| \leq \frac{\pi}{L_z}, \quad (3)$$

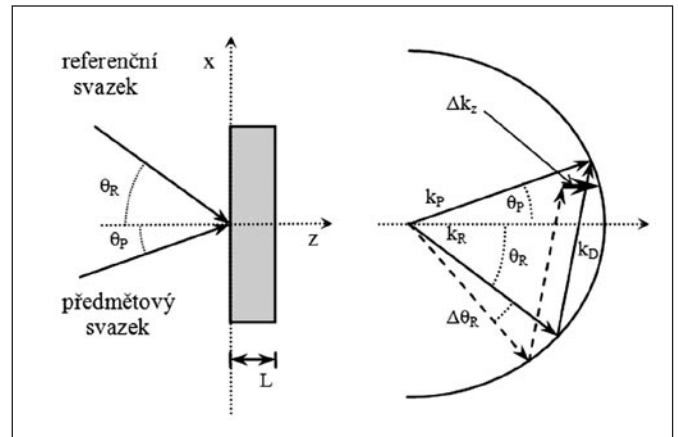
v opačném případě je difrakce zanedbatelná [4]. Závislost difrakční efektivit η na úhlu dopadu referenčního svazku θ_r je znázorněna na obr. 3. Z rovnice (2) plyne také vztah pro úhlovou selektivitu $\Delta \theta_r$ referenčního svazku, která je určena nulovými body této rovnice, ve tvaru

$$\Delta \theta_r = \frac{\lambda \cos \theta_p}{n L_z \sin(\theta_r + \theta_p)}, \quad (4)$$

kde n je index lomu fotorefraktivního materiálu. Úhlová selektivita je minimální pro malé θ_p a její velikost $\Delta \theta_r$ je dobře patrná z obr. 3a.



Obr. 3 Závislost difrakční efektivit na úhlu dopadu referenčního svazku q_p . Křivka úhlové selektivit jednoho hologramu (a) a více hologramů (b)



Obr. 4 Prostor vlnových vektorů při interferenci

Pro větší názornost lze znázornit interakci pomocí vlnových vektorů, kde \mathbf{k}_r bude vlnový vektor referenční vlny, \mathbf{k}_p vlnový vektor předmětové vlny a \mathbf{k}_d bude mřížkovým vektorem. Na obr. 4 je znázorněn prostor vlnových vektorů při interferenci dvou nezávislých hologramů (plné a přerušované vektory) s minimální úhlovou selektivitou $\Delta \theta_r$. Počet hologramů, které je možné pomocí úhlového multiplexování uložit [12] je

$$M \approx 1 + \frac{n L_z}{\lambda} |\cos \theta_r - \cos \theta_p|, \quad (5)$$

a tedy pro $L_z = 1 \text{ cm}$, $n = 2,2$, $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, $\theta_r = 92^\circ$ a $\theta_p = 88^\circ$ je $M = 3071$. Tento výpočet je ovšem jistou aproximací a nepočítá s geometrií svazků, která umožňuje maximální kapacitu ~ 200 Gbitů v objemu holografického disku o průměru 13 cm, tloušťce 800 μm (GaN laser 407 nm). Lze snadno dokázat, že pro větší nebo menší tloušťky média je hustota záznamu vždy menší [6]. Princip úhlového multiplexování je jednou z nejpoužívanějších a nejefektivnějších metod v experimentálních systémech HDS. Problematickou částí systému s tímto typem multiplexingu je oblast změny úhlu referenčního svazku, která je značně malá (v závislosti na typu experimentu až do $5,6 \cdot 10^{-3}$) a vyžaduje velice jemná mechanická zařízení.

2.2. Multiplexování vlnovou délkou

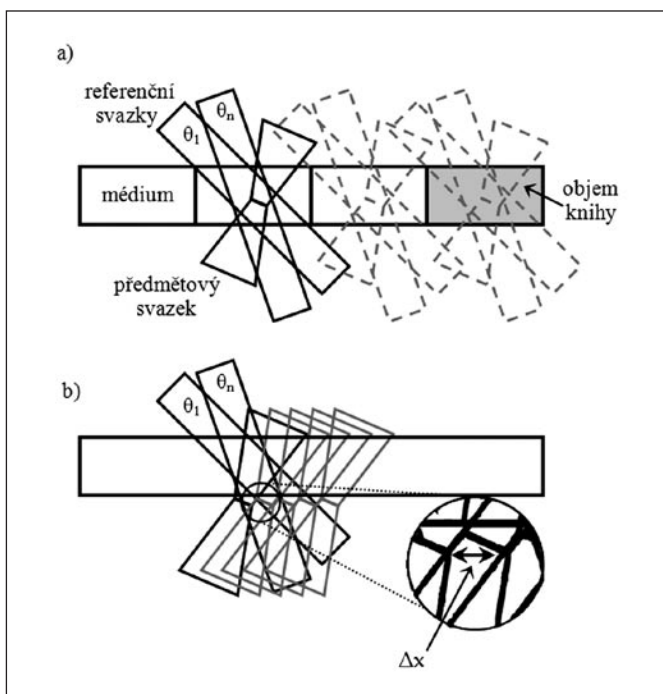
Další z možností jak zvýšit záznamovou hustotu dat je použití rozdílné vlnové délky referenčního svazku každého hologramu, při současném zachování úhlů dopadu obou interferujících svazků. Takový systém je limitován laserovým zdrojem, který musí mít schopnost spojité změny frekvence vyzařovaného záření v určité části spektra. Obdobně jako u předchozího případu můžeme i zde definovat frekvenční selektivitu (pro případ kdy $\theta_p = 180^\circ$) vztahem

$$\Delta \nu = \frac{c/n}{L_z(1 + \cos \theta_r)}. \quad (6)$$

Pro ilustraci uvažujme laditelný laser v rozmezí 800 - 820 nm (frekvenční rozsah 9146 GHz), $L_z = 1 \text{ cm}$ a $n = 2,2$. Frekvenční selektivita bude tedy $\Delta \nu = 2,956 \text{ GHz}$ a maximum hologramů, které lze takto uložit v jedné jednotce objemu je v tomto případě 3100 [4]. Ze vzorce (6) je patrné, že $\Delta \nu$ je minimální v případě, kdy jsou předmětový a referenční svazek ve fotorefraktivním materiálu protichůdné.

2.3. Polytopické multiplexování

Polytopické multiplexování [5] je poměrně nová metoda, která vznikla ve spojení s vývojem záznamového zařízení na bázi holografie pro komerční využití firmy InPhase Technologies. Její podstatou je zefektivnění geometrie záznamového objemu v tenkém médiu a ve spojení s jinými technikami multiplexování dosahuje více než desetinásobné kapacity. Na obr. 5a je znázorněn záznam pomocí samotného úhlového multiplexingu.



Obr. 5 Srovnání geometrie klasického úhlového (a) a spojení polytopického a úhlového multiplexingu (b)

Tzv. knihy jsou tvořené sadami hologramů, každý z hologramů je určen vlastním úhlem referenčního svazku, velikost jedné knihy určuje především počet referenčních svazků (tedy počet hologramů) a jejich celkový úhlový rozsah je $\theta_1 - \theta_n$. V každé knize je patrný nevyužitý objem vznikající při úhlovém multiplexingu. Polytopický multiplexing umožňuje překrývání jednotlivých knih, ale nikoliv překrývání pasů předmětových svazků (jejich počet je stejný jako počet referenčních svazků v jedné knize), které se nachází až za aktivní vrstvou média. Rozdíl vzdáleností středů jednotlivých předmětových svazků (tedy i jejich pasů) Δx je určen vzorcem

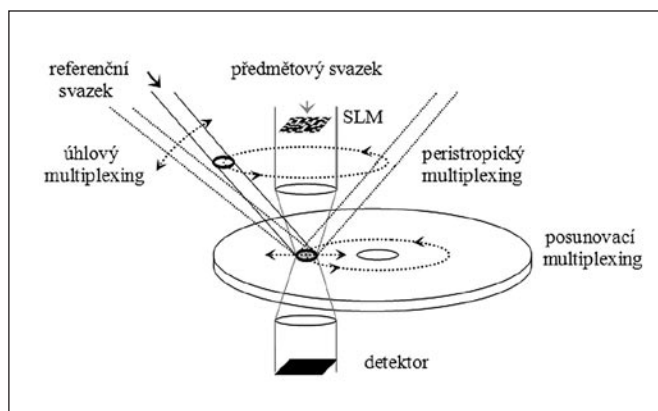
$$\Delta x = d \cos \theta + d \sin \theta \operatorname{tg}(\theta + \alpha) \quad (7)$$

kde d je šířka pasu předmětového svazku, θ je jeho úhel dopadu a $\alpha = \sin^{-1}$ je numerická apertura furierovské optiky. Toto těsné umístění sousedních pasů svazků má za následek výrazné přeslechy nejbližších devíti hologramů při rekonstrukci. Tento problém je řešen polytopickým filtrem, který se umístí do Fourierovy roviny původního předmětového svazku a odstraňuje nežádoucí rekonstruované obrazy. Pokud se pas svazku nachází mimo médium, polytopická apertura se zobrazí pomocí vhodného optického systému do objemu média.

2.4. Prostorové multiplexování

Prostorové multiplexování je založeno na změně bodu vstupu a úhlu předmětového a referenčního svazku do fotorefraktivního materiálu. Kláden je zde důraz na mechanickou část soustavy, protože pro následné vyvolání obrazu je velmi důležité zopakovat přesně původní nastavení referenčního svazku. Jakákoliv nepřesnost vede k snížení rozlišení obrazu, jeho nevyvolání nebo dokonce vyvolání jiného.

Peristropické multiplexování je forma prostorového multiplexování spočívající v rotování nahrávaného média. Pokud bychom uvažovali fotorefraktivní krystal tvaru krychle, jeho rotaci můžeme zapřístupnit každou stranu krychle a nahrát tak šestinásobek dat. Jiným příkladem peristropického multiplexingu je rotující médium, jehož osa rotace protíná bod vstupu referenčního a předmětového svazku do objemu. Posunovací multiplexování je založeno na posunu nahrávaného materiálu v jednom směru, případně o pohyb po kružnici (u holografických disků). Tento typ multiplexingu bývá kombinován s většinou výše zmíněných metod.



Obr. 6 Příklad použití některých metod multiplexování pro médium tvaru klasického optického disku (holografický disk)

V této kapitole jsem zmínil pouze nejčastěji využívané principy multiplexingu. Jiné metody, jako např. fázové, zlomkové nebo korelační multiplexování, jsou již méně aplikovatelné.

3. MATERIÁLY PRO ZÁZNAM HOLOGRAMU

Základním prvkem HDS systémů jsou fotorefraktivní materiály vykazující zároveň fotovodivostní a elektrooptické vlastnosti. Jsou tedy schopné spojitě měnit prostorovou modulaci indexu lomu v závislosti na rozložení elektrické intenzity procházejícího světla (interferenčního obrazce). K této modulaci dochází různým způsobem v závislosti na použitých materiálech, které mají klíčový význam v celém systému, neboť jejich kvalitativní charakteristiky určují kvalitu záznamu. Vlastnosti jako senzitivita, difrakční účinnost, citlivost, homogenita, rozměrová a teplotní stabilita záznamu patří mezi nejdůležitější parametry fotorefraktivních materiálů.

Obecně lze fotorefraktivní materiály rozdělit podle jejich využití – pro trvalý zápis a mnohonásobné čtení (Write-once) a pro opakovaný zápis a čtení (Read-write). Na materiály druhého typu jsou obecně kladeny větší nároky a ve vývoji proto zaostávají. Nyní si uvedeme několik typů fotorefraktivních prostředí:

3.1. Fotorefraktivní krystaly

Představují dynamické materiály pracující na principu fotorefraktivního jevu. Mezi nejvyužívanější patří krystaly niobičnanu litného LiNbO_3 dopovaného příměsí kovu (Fe_2O_3 , případně MnO) a prvky vzácných zemin (např. Pr - Praseodym). Dále niobičnan draselný KNbO_3 , titaničitan barnatý BaTiO_3 a některé keramické, polovodičové, případně i organické materiály. Osvětlením vhodného krystalu interferenčním polem dochází v materiálu ke vzniku volných nosičů náboje (většinou elektronů), které se mohou v materiálu pohybovat. Tyto elektrony v reakci na prostorové rozložení a velikost elektrické intenzity interferenčního obrazce způsobí změnu indexu lomu (elektrooptický jev). Jedná se o proces nelineárně optický, který pracuje v reálném čase (mluvíme tedy o dynamických materiálech). Konkrétní krystal se volí v závislosti na požadovaných vlastnostech a především vlnové délce použité při zápisu.

3.2. Halogenostříbrné emulze

Základním prvkem jsou zde krystaly halogenidu stříbrného, obsažené ve vhodném nosiči (želatině). Halogenostříbrné emulze jsou speciálním případem fotografické emulze s velmi vysokým rozlišením a menší velikostí krystalových zrn. Rozlišení pro holografii dosahuje hodnot kolem 5000 čar/mm, zatímco dobré fotografické emulze jsou schopny rozlišení jen asi 150 čar/mm.

Proces vzniku hologramu v halogenostříbrné emulzi je podobný klasické černobílé fotografii. Při expozici záznamového materiálu dochází působením fotonů ke vzniku latentního obrazu tvořeného zárodky mikrokystalů halogenidu stříbrného (zárodky kovového

stříbra). Poté se exponovaný materiál vyvolá (pomocí chemických, nebo fyzikálních metod) a dochází k zesilovacímu procesu, kdy ze zárodků kovového stříbra vzniká kovové stříbro v celém krystalku. Nastává ustalování vyvolaného materiálu (neexponovaný halogenid se odstraňuje z vrstvy) a bělení materiálu (kovové stříbro naexponované struktury se přeměňuje na stříbrnou dielektrickou sůl). Halogenostříbrné emulze patří mezi nejpoužívanější záznamové materiály v holografii, a to zejména pro jejich dobré difrakční účinnosti a šumové parametry.

3.3. Dichromovaná emulze

Zde jsou základem ve vodě rozpustné chromany a dvojjchromany, které spolu s organickými makromolekulárními látkami (želatina, rybí olej, škrob) vytvářejí soustavy, jež jsou po vysušení citlivé na světlo. Expozicí dochází ke zpevnění makromolekulárních vazeb emulze a zlepšení jejich vlastností. Dále se tyto vazby ve vodě vhodným procesem zesílí a následně dehydratují, čímž se struktura po zpevnění zachová. Takto vytvořené prostorové změny indexu lomu v dichromové emulzi dosahují vůbec největších hodnot, vykazují i vysokou difrakční účinnost a tím jsou vysoce perspektivní pro difrakční optiku. Značně limitujícím faktorem je ovšem choulostivý a obtížně reprodukovatelný technologický proces záznamu.

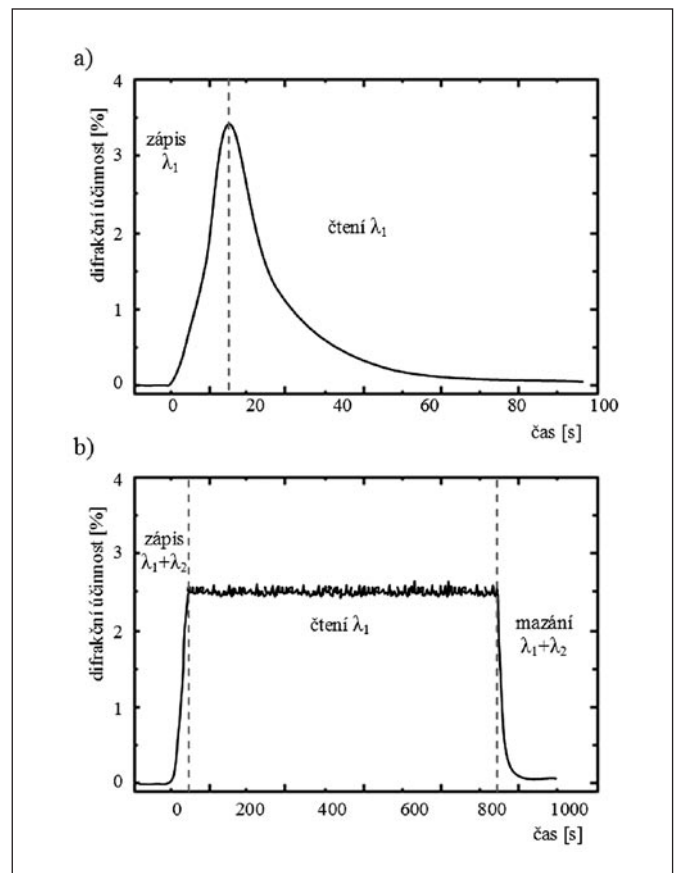
3.4. Fotopolymery

Tyto materiály dosahují objemové změny indexu lomu polymerizací, jejímž důsledkem jsou například piezoelektrické vlastnosti nebo vznik optické anizotropie (záznam je zobrazen změnou dvojlomných vlastností). Dále lze využít difúze barviva za tepla, vázaného na polymerové řetězce. Konstanty fotopolymery většinou převyšují vlastnosti jiných fotorefraktivních materiálů a jejich využití v oblasti holografického záznamu dat se zdá být perspektivnější. První dosud vyvinuté prototypy systémů HDS využívají záznamová média z fotopolymery, i když většina z nich neumožňuje vícenásobný záznam, což snižuje jejich aplikovatelnost. Tato oblast ovšem stále prochází vývojem a podle vyjádření firmy InPhase Technologies lze očekávat uvedení nového dvou-
složkového fotopolymery umožňujícího přepis záznamu.

4. SYSTÉMY PRO ZÁZNAM HOLOGRAMU

Pro komerční aplikace se jeví nejvýhodnější (vzhledem k přenosovým charakteristikám) využití dvourozměrného binárního systému nul a jedniček, které se obecně vyznačují vysokou odolností vůči šumům. Takové rozložení intenzit lze dosáhnout prostorovým modulátorem světla SLM (Spatial Light Modulator), přičemž pro systémy HDS se využívají SLM s rozlišením až 1024 x 1280. Komplexním problémem je rozložení intenzity svazku laseru, které má zpravidla Gaussovské rozdělení a vede k značným rozdílům kvalitativních parametrů v jednotlivých bodech přenášeného obrazu (např. SNR, rozlišení). Omezení šířky svazku k dosažení optimální křivosti vlnoploch by vedlo až k 95% energetickým ztrátám. Tento problém se vyskytuje ve více oblastech a korekce se nejčastěji provádí vyrovnání vlnoplochy pomocí soustavy asférických čoček [7]. Typ laseru je závislý na použitém záznamovém materiálu a je používán v pulzním režimu.

Základní charakteristikou každého systému pro záznam hologramu je geometrie předmětového a referenčního svazku vůči záznamovému materiálu. Asi nejpoužívanější je tzv. přímá geometrie (např. holografický disk), kdy oba svazky svírají ostrý úhel a dopadají na jednu stranu fotorefraktivního materiálu. Dále existuje 90-
stupňová geometrie [11], ve které referenční a předmětový paprsek interferují pod pravým úhlem ($\pm \frac{1}{2}M\Delta\theta_R$). Kombinací těchto typů geometrií s různými druhy multiplexingů lze konstruovat systémy pro HDS s rozdílnou hustotou záznamu. Přesný výpočet kapacity médií bývá ve většině případů značně složitý [18] v závislosti na použité geometrii a multiplexingu.



Obr. 7 Průběh zápisu, čtení a mazání při jednovlnném (a) a dvouvlenném (b) záznamu hologramu

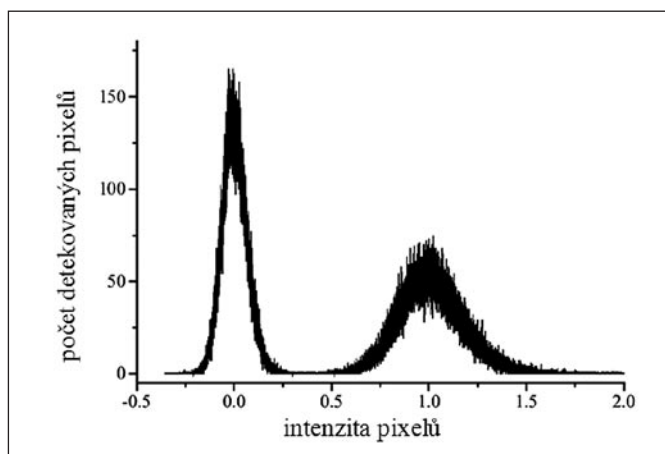
4.1. Dvouvlenný zápis

Při čtení záznamu obvykle dochází k jeho degradaci (obr. 7a). V závislosti na použitém materiálu lze prodloužit životnost záznamu jeho zesílením nebo ustálením. Jednou z možností jak výrazně snížit destruktivní účinky čtení je tepelné ustalování (thermal fixing), nebo ustalování elektrickým proudem (electrical fixing). Tyto metody jsou velice účinné, neumožňují ovšem přepis záznamu a jsou technicky značně náročné. Byly ověřeny pouze v laboratorních podmínkách [9,10] a nemají praktické využití. Podstatně lepších výsledků lze dosáhnout metodou dvouvlenného zápisu, kdy se médiem při záznamu ozařuje, kromě záznamového záření vlnové délky λ_1 , také zářením druhé vlnové délky λ_2 (které nenese žádnou informaci). Tato záření nemusí být koherentní a informace se čte nedestruktivně pouze zářením záznamové vlnové délky λ_1 (obr. 7b). Při mazání je třeba použít opět obě záření. Tímto postupem se dosahuje znatelně většího kontrastu indexu lomu, ovšem současné použití dvou zdrojů různých vlnových délek a složitě konstrukční řešení systému je pro praktické použití opět limitující. V dnešní době se preferuje vývoj kvalitnějších záznamových materiálů k využití jednovlnného záznamu.

4.2. Čtení záznamu a korekce chyb

Každá dvourozměrná soustava bitů při záznamu a rekonstrukci prochází řadou systémových prvků, které ji více či méně pozmění. Výsledný obraz je tedy ovlivněn součtem všech příspěvků, což se projevuje jako tzv. strukturální šum, tedy rozdílná úroveň signálu na jednotlivých elementech, způsobený nevyvážením použitých prvků. Strukturální šum lze minimalizovat mapováním těchto nerovnoměrností a vytvořením elektronické masky, kterou se rozdíly vyrovnají. Problémem je také nastavení dělicí úrovně mezi hodnotami 0 a 1. Jedním řešením je kódování dat, při kterém je počet jedniček i nul na jedné stránce dat stejný a podle tohoto kritéria se určí dělicí úroveň tak, aby tuto podmínku splňoval

i přečtený signál. Na obr. 8 je poměr intenzit odpovídající 0 a 1 na přečtené stránce dat, kterého lze dosáhnout při detekci v systému s relativně nízkou chybovostí [17]. Nejvýraznějším faktorem zvyšujícím úroveň strukturálního šumu je kvalita fotorefraktivního materiálu, který musí vykazovat vysoké rozlišení a tedy i vysoký kontrast změny indexu lomu. Dále jej ovlivňuje rozlišení SLM a detektoru, aberace v optické soustavě, vyvážení děličů svazku, vyrovnání rovinné vlny generované laserem a jiné. Logicky je zde snaha omezit počet optických prvků v systému na minimum při současném zachování kvalitativních parametrů a proto se často využívá fázové konjugace rekonstruované vlny pomocí které lze využít jednu optickou větev pro zápis i čtení (obr. 11). Na konci takové větve může být dělič svazku s detektorem a SLM na jeho výstupech a nebo speciální prvek kombinující SLM s detektorem, ve kterém je kapalný krystal amplitudového modulátoru v každém pixelu ovládán jednou z elektrod čtecí fotodiody [11].

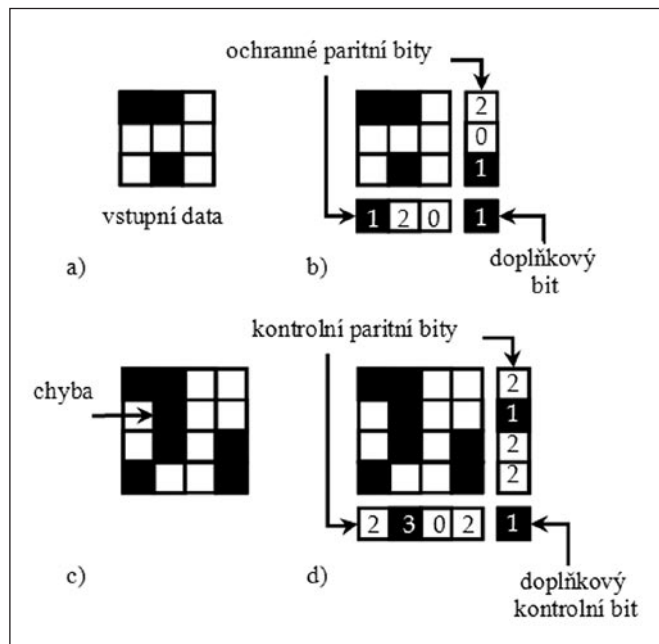


Obr. 8 Histogram intenzit pixelů

Již v úvodu bylo řečeno, že díky základnímu principu holografie a vlastnostem fotorefraktivního materiálu, je každý předmětový bod zaznamenan v celém objemu krystalu. Díky tomuto principu je záznam vysoce odolný vůči vzniku chyb způsobených poškrábání povrchu média, lokálním defektem nebo nežádoucím příměsí. Jedním ze základních kritérií pro přenos dat je bitová chyba BER (Bit Error Rate), což je reciproká hodnota počtu správně přečtených bitů záznamu připadajících na jednu chybu. BER systémů HDS dosahuje kolem 10^{-4} , pro komerční využití je ovšem potřeba BER minimalizovat. Stávající optická a magnetická záznamová média dosahují BER nižší než 10^{-15} (tj. vygenerují jednu chybu v průběhu milionkrát čteného gigabitového záznamu). Zatím co běžné metody ochrany chyb pracují s řadou bitů, zde pracujeme s dvojdimenzionálním systémem bitů a konvenční korekční algoritmy zde tudíž nemají význam. Pro ochranu dat (tedy zvýšení BER) se využívají samoopravné kódy typu ECC (Error Correction Code), které ovšem také zvyšují objem dat nenesoucích žádnou informaci. Jednodušším postupem je například metoda zavádění paritních bitů, aplikace Reed-Salomonova kódu nebo jiné algoritmy.

Ochrana zaváděním paritních bitů spočívá v rozdělení jedné stránky bitů na více menších stránek se stejnou dimenzí (např. 3×3 na obr. 9). Ke každé takové stránce je před zápisem přiřazen jeden řádek a sloupec s paritními bity. Lichý počet jedniček v řádku či sloupci stránky bitů nesoucích informaci, značí 1 a sudý 0. Zbývající doplňující bit (v místě střetu řádku a sloupce) je vytvořen podle stejného pravidla a takto upravené stránky jsou ukládány do záznamového média. Po přečtení dat je aplikován stejným algoritmus. V případě bezchybného čtení jsou kontrolní paritní bity samé nuly, jestli se v dané stránce vyskytne jediná chyba, lze ji podle polohy kontrolních paritních bitů nalézt a opravit, a pokud se vyskytne na stránce více chyb, je celý hologram přečten znovu.

Na obr. 9 je příklad ochrany zaváděním paritních bitů pro matici 3×3 bitů. Tento algoritmus lze ovšem aplikovat i na větší množství dat a zvětšit tak poměr hrubých dat k paritním bitům, které nenesou žádnou informaci.



Obr. 9 Příklad ochrany pro řazení dat 3×3 na vstupu (a). Po výpočtu paritních bitů (b) mohou při čtení záznamu vzniknout chyby (c). Ty jsou odhaleny pomocí kontrolních bitů (d)

5. SYSTÉM PRO KOMERČNÍ VYUŽITÍ

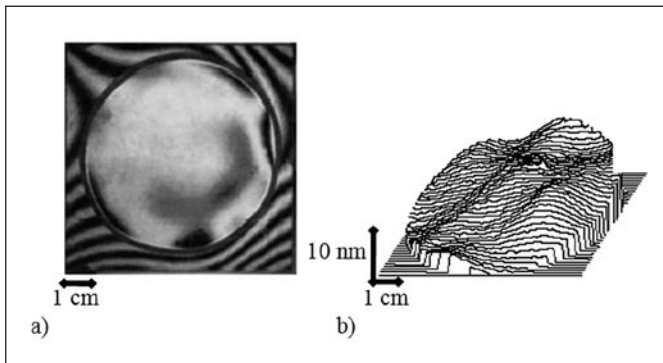
I když se zdá, že nahrazení standardních DVD a paměťových karet holografickými médii není na pořadu dne, existují oblasti, kde by systémy HDS neměly adekvátní konkurenci. K těmto odvětvím patří především paměti typu WORM pro archivování velkých objemů permanentních dat, družicových snímků, kamerových záznamů, lékařských snímků nebo videozáznamy s vysokou kvalitou.

Asi nejdále se ve využití této technologie dostala firma InPhase Technologies [17]. Jejím prototyp první generace by měl být schopen na médium ve tvaru klasického 130mm CD disku uložit až 300 Gb dat a dosahovat přístupové rychlosti 20 Mb/s. Výhledově plánuje firma InPhase vyvíjet vyšší verze tohoto systému a do roku 2010 chce dosáhnout záznamové kapacity 1,6 Tb a přístupové rychlosti 120 Mb/s. Do roku 2008 navíc systém pro opakovaný zápis s kapacitou 400 Gb. Jen připomenou, že současné dvouvrstvé DVD disponuje pamětí přibližně 10 Gbitů a přístupovou rychlostí 5 Mb/s. Pro komerční využití se prozatím zdá být nejvýhodnější model holografického disku (případně karty), protože média větší tloušťky (např. ve tvaru kvádrů) nelze z hlediska geometrie svazku efektivněji zaplnit záznamem a jejich záznamová hustota je proto vždy nižší [6].

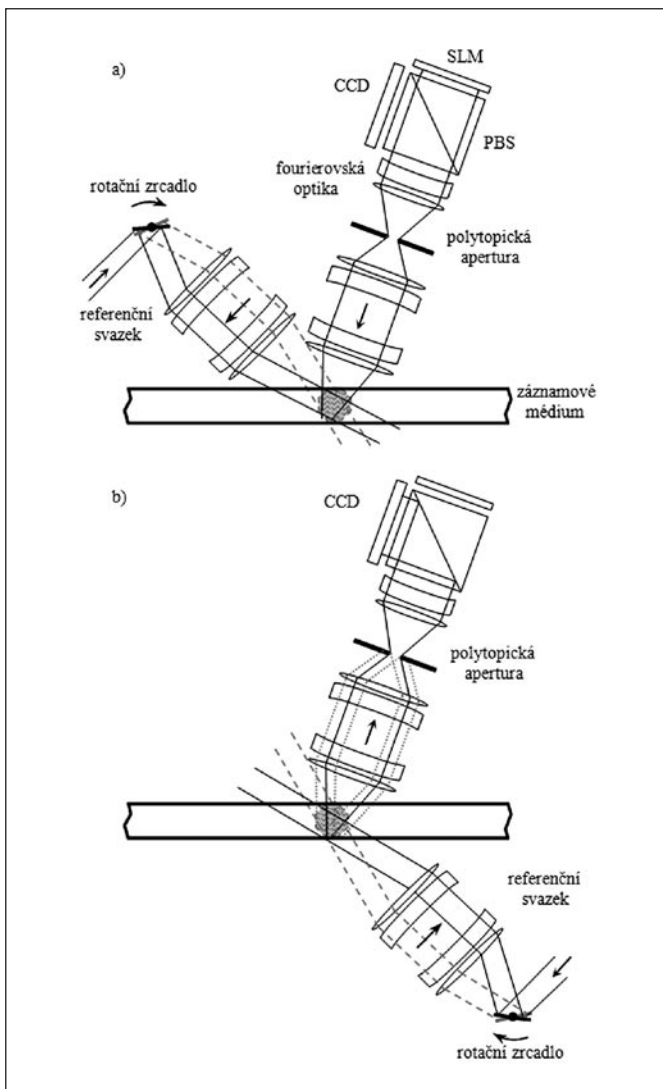
Nyní si popíšeme základní parametry prvního prototypu firmy InPhase Technologies, který má být na konci roku 2005 uveden na trh. Systém používá SLM s rozlišením 1280×1024 pixelů, což znamená, že v jedné stránce dat je obsaženo více než 1,3Mbitů dat. Energie GaN laseru o vlnové délce 407 nm při jednom zápisu dosahují přibližně 2 mW a maximální hustota použité energie v médium po zaplnění celého objemu disku je 51 mW/cm^2 .

Pro záznamové médium Tapestry™ firmy InPhase Technologies byl vyvinut speciální dvousložkový materiál na bázi fotopolymery. Jeho složky jsou nezávisle polymerizovatelné, ale přitom stále kompatibilní a po záznamu vykazují vysoký kontrast indexu lomu. Aktivní vrstva v médium o tloušťce 1,5 mm je z obou stran chráněna 0,7mm tlustou vrstvou polykarbonu, případně skleněného substrátu a celý disk je uložen v ochranné kazetě. Při holografickém záznamu

fotorefraktivního krystalu je mnoho parametrů závislých na tloušťce média a také její změně na jednotku plochy (např. sensitivita, difrakční účinnost, rozložení SNR). Na obr. 10a je transitivity interferogram holografického disku z fotopolymeru o tloušťce 1 mm a znázornění diferencí optické tloušťky jeho plochy (obr. 10b). Na těchto obrázcích je patrné, že při použitím záření (v tomto případě 532 nm) je rozdíl tloušťky menší než $(1/10)/\text{cm}$ na celém povrchu média [13]. Tuto přesnost dosahuje každý sériově vyráběný disk (výrobní proces InPhase Zerowave™).



Obr. 10 Interferogram holografického disku o tloušťce 1 mm (a) a znázornění diferencí optické tloušťky jeho plochy (b)



Obr. 11 Schéma a) záznamu a b) čtení hologramu

Základní princip záznamu spočívá v kombinaci polytopického, úhlového a posunovacího multiplexingu. Na obr. 11 je základní schéma geometrie záznamu a rekonstrukce hologramu použitého v tomto systému využívané firmou InPhase. Referenční svazek je adresován pomocí rotačních zrcadel a při čtení je využita fázová konjugace předmětového svazku pomocí referenčního svazku propagovaného v opačném směru. V aktivní vrstvě holografického disku o průměru 130mm lze umístit ~1500 knih o šířce ~3 mm, každá s ~1000 stránkami dat. Polytopická apertura je zobrazena v objemu média pomocí systému čoček. Kvalita záznamu závisí především na odfiltrování sousedních stránek, které se částečně zrekonstruují spolu s adresovanou stránkou a mají za následek snížení SNR (obr. 11b) a tím pádem i BER.

Holografická média by mohla být v budoucnu využita pro ultrarychlé vyhledávací mechanismy, založené na asociativním určení přesné adresy v paměti uložené informace na základě neúplného souboru bitů. Tato vlastnost je typická pro holografickou metodu záznamu a spočívá v převrácení standardního postupu při čtení. Holografické médium je ozářeno nekompletním obrazovým svazkem, čímž se naopak rekonstruuje referenční svazek (obsahující informaci o adrese dané stránky dat) a následně je použit pro zobrazení kompletní hledané stránky. Dalším problémem systémů pro komerční využití je čtecí rychlost a způsob, kterým jsou data přenášena do procesoru ke zpracování (tzv. interfacing). Zatím co stávající čtecí systémy získávají data v souvislém proudu, systém typu HDS dodává data po jednotlivých stránkách. Samotný proces zápisu a čtení trvá přibližně 2,5 ms a 5 ms. Tomu jsou přizpůsobeny i otáčky holografického disku, které jsou na rozdíl od stávajících optických médií ztlačeny nižší. Další nespornou výhodou tohoto systému je díky vysoké hustotě dat mnohem nižší cena na jeden zaznamenaný gigabit. Dále dlouhá životnost záznamu (výrobce uvádí více než 50 let), BER nižší než 10^{-15} a velmi vysoká přístupová rychlost.

Směr dalšího vývoje je zaměřen také na záznamová média ve formátu paměťových karet (HVC – Holographic Versatile Card) a především na efektivnější geometrie celého systému. V současné době jsou v čele vývoje této technologie především firmy InPhase Technologies, Aprillis [21] a Optware [22].

6. ZÁVĚR

Myšlenka záznamu modulované vlny nesoucí jistou informaci vznikla již brzy po zavedení holografie, ovšem samotné provedení bylo technologicky náročné a omezovalo se pouze na záznam jednoduchých obrazů v laboratorních podmínkách. Nicméně vývoj záznamových materiálů, optických soustav a různých metod multiplexování nakonec umožnil realizaci původní myšlenky. V dnešní době již existuje funkční prototyp záznamového zařízení využívající principu holografie, který vysoce překračuje limitní hodnoty záznamových hustot a přenosových rychlostí stávajících optických médií.

Literatura

- [1] Saleh B. E. A., Teich M. C.: *Základy fotoniky*, matfyzpress, 1996.
- [2] Psaltis D., Barbastathis G., Legend M.: *Trend in optics - Research, development and applications*, Vol. 10., Academic Press, 1996.
- [3] Barbastathis G., Levene M., Psaltis D.: Shift multiplexing with spherical reference waves, *Appl. Opt.* Vol.35, No.14, 2403-2417, 1996.
- [4] Hong J. H., McMichael I., Chang T. Y., Christian W., Peak E. G.: Volume holographic memory systems techniques and architectures, *Opt. Eng.* Vol.34, No.8, 2193-2203, 1995.
- [5] Anderson K., Curtis K.: Polytopic multiplexing, *Opt. Lett.* Vol.29, No.12, 1402-1404, 2004.

- [6] Li H. Y., Psaltis D., Three-dimensional holographic disks, *Appl. Opt.* Vol.33, 3764-3774, 1994.
- [7] Ashley J., Černal M., Burr G. W., Coufal H., Guenther H., Hoffnagle J. A., Jefferson C. M., Marcus B., Macfarlane R. M., Shelby R. M., Sincerbox G. T.: Holographic data storage, *IBM J. of Res. & Dev.* Vol.44, No. 3, 341-366, May 2000.
- [8] Steckman G. J., Pu A., Psaltis D.: Storage density of shift-multiplexed holographic memory, *Appl. Opt.* Vol.40, No. 20, 3387-3394, 2001.
- [9] Xin An, Psaltis D., Burr G. W.: Thermal fixing of 10,000 holograms in $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$, *Appl. Opt.* Vol.38, No. 2, 386-393, 1999.
- [10] Qiao Y., Orlov S., Psaltis D.: Electrical fixing of photorefractive holograms in $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$, *Opt. Lett.* Vol.18, No. 12, 1004-1006, 1993.
- [11] Chuang E., Liu W., Drolet J. J. P., Psaltis D.: Holographic random access memory (HRAM), *Proceedings of the IEEE* Vol.87, No.11, 1931-1940, 1999.
- [12] Goertzen B.J., Mitkas P.A.: Volume Holographic Storage for Large Relational Databases, *Opt. Eng.* Vol.35, No.7, 1847-1850, 1996.
- [13] Dhar L., Hale A., Katz H. E., Schilling M. L., Schnoes M. G., Schilling F. C.: Recording media that exhibit high dynamic range for digital holographic data storage, *Opt. Lett.* Vol.24, No. 7, 487-489, 1999.
- [14] Curtis K., Psaltis D.: Gross talk for angle- and wavelength-multiplexed image plane holograms, *Opt. Lett.* Vol.19, 1774-1776, 1994.
- [15] Curtis K., Wilson W. L., Tackitt M., Hill A. J., Campbell S.: High Density, High Performance Data Storage via Volume Holography: The Lucent Technologies Hardware Platform, *Optical Data Storage* Vol.8, 168-170, 1998.
- [16] Moser Ch., Psaltis D.: Holographic memory with localized recording, *Appl. Opt.* Vol.40, No.23, 3909-3914, 2001.
- [17] <http://www.inphase-technologies.com>
- [18] <http://www.inphase-technologies.com/technology/pdf/TourPDF.pdf>
- [19] <http://www.inphase-technologies.com/technology/whitepapers/pdfs/ElectronicImagingRev14.pdf>
- [20] <http://www.thic.org/pdf/Jun04/inphase.dlignos.pdf>
- [21] <http://www.aprilisinc.com>
- [22] <http://www.optware.co.jp>

Bc. Jiří Květoň, katedra optiky, PřF UP, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, e-mail: jiri.kveton@optics.upol.cz

Tomáš MEDŘÍK, katedra optiky Univerzity Palackého, Olomouc

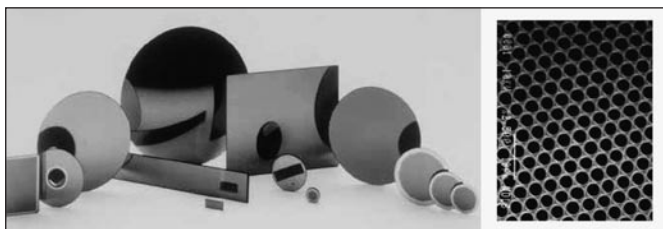
Mikrokanálové plátky – MCP

Mikrokanálové plátky jsou speciální prvky určené k zesílení, popřípadě úpravě toku elektromagnetického záření a částic, nejčastěji elektronů. Hlavním jevem, který využívají pro svou činnost je sekundární emise. Největšího uplatnění dosáhly v přístrojích nočního vidění a ve speciálních detektorech. Přiblížíme si jejich základní parametry a vlastnosti, jejich vliv na detektor, ve kterém jsou použity.

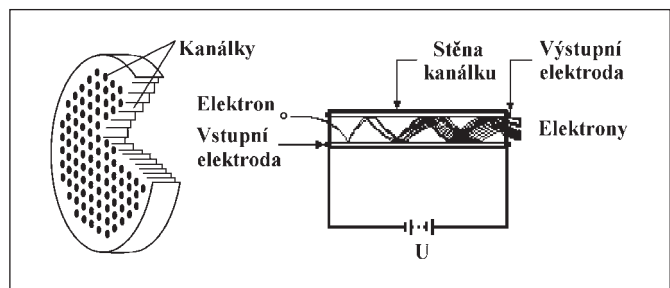
Mikrokanálový plátek (MCP – Microchannel Plate) je tenká destička, skládající se z množství kanálků umístěných vedle sebe [1], obr. 1. [2] Průměr kanálků používaných v dnešní době se pohybuje v rozmezí 8 – 45 μm a délka je 40 – 100 násobkem jejich průměru. Základ mikrokanálového plátku tvoří tenká destička skla, křemíku nebo hliníku. Vnitřní stěny jsou pokryty vrstvou sekundárně emisního materiálu, kterým bývají oxidy olova, cesia, fluoridu hořčíku, oxidu hořčíku, jodidu, jodidu mědi, zlata a některých polovodičů. Na čela plátku jsou nanášeny kovové elektrody, nejčastěji chromové nebo chromniklové, obr. 2. [3]

Mikrokanálové plátky můžeme rozdělit podle úhlu, který svírají kanálky s čelem destičky do dvou základních skupin:

- Mikrokanálové plátky s kanálky kolmými na povrch destičky. Jsou používány pro kolimaci, fokusaci a filtraci různých druhů záření.



Obr. 1 Mikrokanálové destičky a detail povrchu. [2]

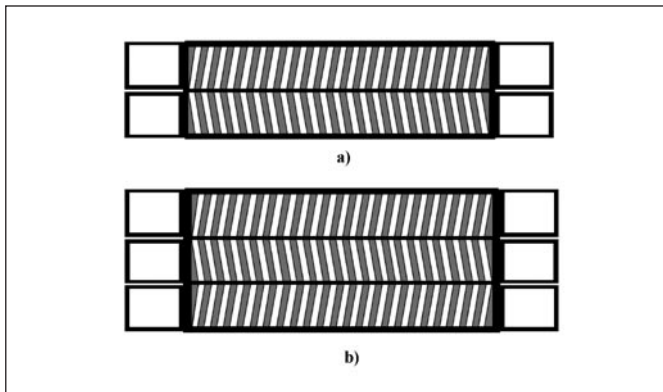


Obr. 2 Mikrokanálová destička a detail kanálku. [3]

- Mikrokanálové plátky s kanálky svírajícími s čelem destičky úhel 5 – 15° nebo zahnutými, které se používají například v kanálových násobičích a zesilovačích jasu.

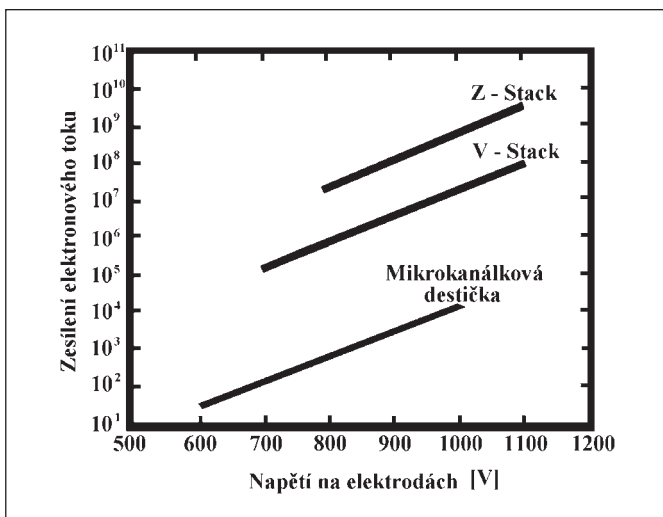
Z jednotlivých mikrokanálových plátek lze vytvářet tzv. multikanálové násobiče, nejčastěji se používají kombinace dvou a tří destiček. Sestava dvou prvků se nazývá Chevron nebo také V-Stack, podle písmene V, které vytvoří kanálky při spojení dvou plátek. Kombinace tří prvků se označuje Z-Stack, obr. 3.

Použití více mikrokanálových plátek zlepšuje zisk detektoru, tj. jeho celkový výstupní výkon ale snižuje rozlišení. Výsledný výkon celé sestavy však není dán součinem výkonů jednotlivých prvků, je nižší, protože při přechodu mezi jednotlivými destičkami



Obr. 3 Sestava více mikrokanálových plátek: a) V-Stack, b) Z- Stack

dochází k rozdělení toku elektronů vystupujících z jednoho kanálku do více kanálků následujícího stupně. Právě tento jev se negativně projeví na rozlišovací schopnosti detektoru. Vazba mezi jednotlivými plátky je řešena pomocí měděných fólií nebo fólií z nerezové oceli. Zvýšení počtu mikrokanálových plátek nevede k velkému nárůstu napájecího napětí. Obvykle se používá hodnot: pro V-Stack 700 – 1000 V a pro Z-Stack 800 – 1200 V. Dosahované hodnoty zisku v závislosti na počtu a napájecím napětí mikrokanálových plátek jsou znázorněny v *grafu 1*. [4]



Graf 1 Dosahované hodnoty zisku v závislosti na počtu a napájecím napětí mikrokanálových plátek. [4]

VLASTNOSTI MIKROKANÁLOVÝCH PLÁTKŮ

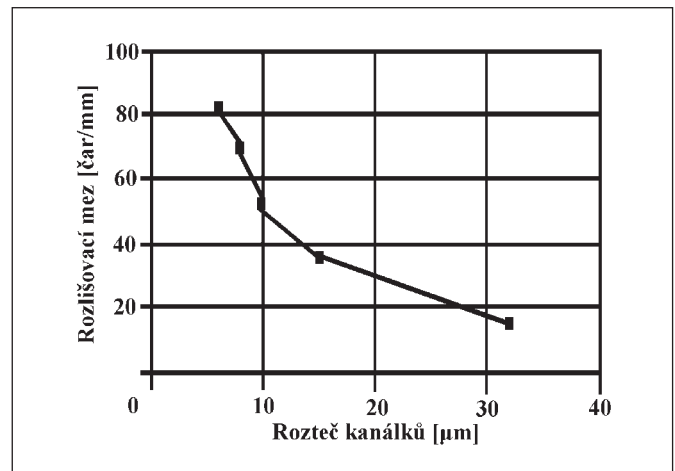
Časová odezva

Detektor osazený mikrokanálovým plátkem – kanálový násobič (zesilovač) dosahuje lepších časových parametrů v porovnání s běžným fotonásobičem. Doba průchodu pulsu kanálkem je velmi krátká, typicky 100 ps, což je dáno jeho malou délkou. Rozšíření pulsu detekovaného kanálovým násobičem je minimální, což lze zaznamenat pomocí digitálního osciloskopu, připojeného na výstup detektoru.

Prostorové rozlišení

Maximální prostorové rozlišení mikrokanálového plátku je dáno roztečí kanálků, někdy je definováno jako vzdálenost dvou sousedních kanálků. Současné kanálové násobiče jsou osazovány destičkami s roztečí kanálků od 6 do 32 μm . Rozlišovací mez je charakterizována počtem čar na milimetr, u současných kanálových zesilovačů je dosahováno hodnot v rozmezí desítek až stovek čar na milimetr. *Graf 2* znázorňuje závislost mezi roztečí kanálků a rozlišovací mezí. [5]

Prostorové rozlišení závisí také na prvcích, které jsou umístěny na výstupní a vstupní straně detektoru, mohou jej zlepšit nebo naopak zhoršit.



Graf 2 Závislost mezi roztečí kanálků a rozlišovací mezí. [5]

Detekční účinnost

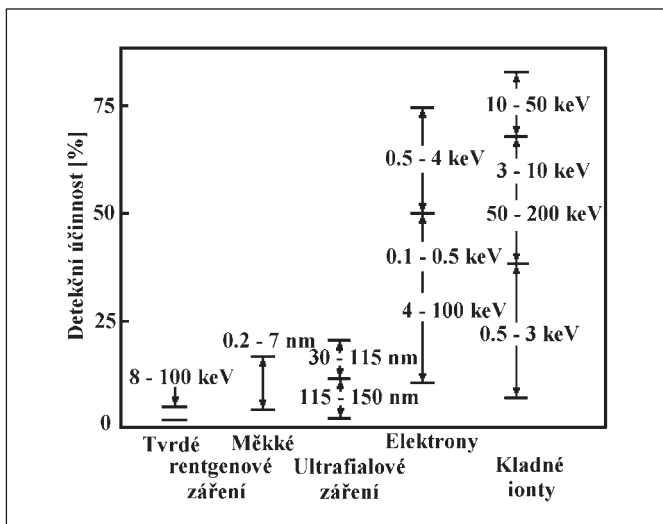
Tento parametr je velice důležitý při detekci velmi slabých signálů, kdy záleží na každé detekované částici. Parametry, které ovlivňují detekční účinnost mikrokanálového násobiče [2, 3, 5]:

- **Detekční plocha:** Jedná se o plochu, která je využita při detekci, udává se v procentech. U většiny mikrokanálových plátek dosahuje hodnot 50 až 70 %. Zvětšení této plochy vede k zvýšení detekční účinnosti a citlivosti detektoru.
- **Sklon kanálků:** Je to úhel, který svírají kanálky s povrchem destičky. Tento úhel lze přizpůsobit jednotlivým druhům detekovaného záření, aby bylo dosaženo co nejlepší detekční účinnosti. Obvykle se jeho velikost pohybuje od 5° do 15°.
- **Uspořádání a materiál elektrod:** Nejčastěji chromové nebo chromnikové elektrody jsou aplikovány na obě strany mikrokanálového plátku. Při nanášení elektrod na plátek dochází k průniku materiálu tvořícího elektrodu do kanálků. Hloubka průniku na čele destičky by měla být minimální, protože může vést ke snížení konverzní účinnosti. Obvykle je to 0,3 až 0,7 násobek průměru kanálku na vstupní straně plátku. Na výstupní straně plátku je průnik elektrody do kanálku mnohem větší, typicky 1,7 až 3,0 násobek průměru kanálku, což vede k tzv. objektivovému efektu při výstupu elektronů z destičky.
- **Sekundárně emisní materiály:** Odlišné typy sekundárně emisních materiálů mohou mít podstatný vliv na detekční účinnost při detekci různých druhů elektromagnetického záření.
- **Iontová bariéra:** V některých případech je kanálový násobič doplněn iontovou bariérou, která zabraňuje průniku nežádoucích částic (nejčastěji iontů) do kanálků. Iontová bariéra je tvořena sítkou nebo mřížkou s takovým nábojem, který přitahuje nežádoucí částice, ale minimálně ovlivňuje proud elektronů.

Detekční účinnost pro různé druhy záření a částic vstupujících do mikrokanálového plátku znázorňuje *graf 3*. [5]

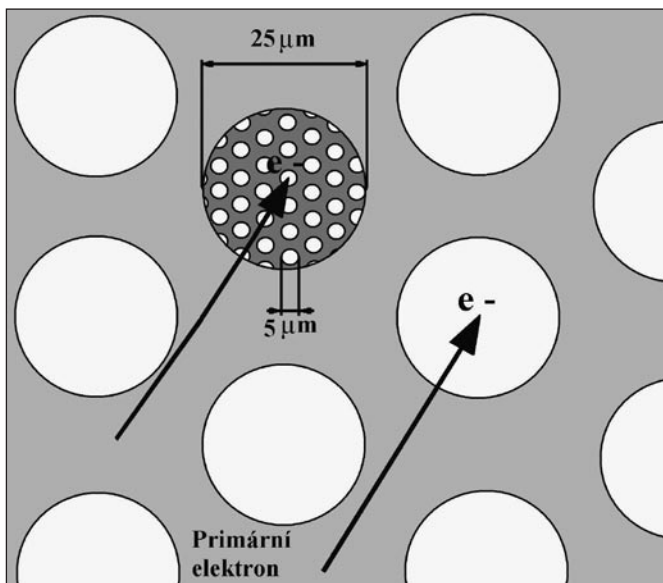
Dynamický rozsah

Určuje pásmo ve kterém je úroveň signálu zesíleného mikrokanálovým plátkem lineární. Dynamický rozsah mikrokanálového násobiče nebo kteréhokoliv elektronového násobiče, při detekci extrémně nízkých úrovní signálu je omezený temnými pulsy a šumem vznikajícím v násobiči. Největší podíl na vzniku temných pulsů v detektoru mají paprsky kosmického záření, rozpady radionuklidů a nečistoty ve vstupním okénku a fotokatodě. Je několik způsobů, jak minimalizovat účinky temných pulsů: Užitím speciálních nízkošumových skel nebo vhodným zapouzdřením a odstíněním detektoru.



Graf 3 Detekční účinnost pro různé druhy záření a částic vstupujících do mikrokanálového plátku. [5]

Horní mez dynamického rozsahu je dána úrovní signálu, který způsobí saturaci – nasycení elektronového násobiče. Nejjednodušším a účinným způsobem, jak rozšířit dynamický rozsah je snížení odporu jednotlivých kanálků. Každý kanálek může být považován za RC přenosový člen. Snížení odporu kanálku vede k úměrnému zkrácení tzv. mrtvé doby. Mrtvá doba je čas, ve kterém nedochází k zesílení a detekci záření, protože v kanálku zrovna probíhá lavinové násobení elektronů nebo se kanálek nalézá v době regenerace, tj. těsně po proběhnutí emisního procesu. K snížení odporu kanálků se používají speciální skla, která tvoří plátek. Dalším prostředkem, jak zvýšit horní mez dynamického rozsahu mikrokanálového násobiče je zvýšit počet kanálků připadajících na jednotku plochy. Současné mikrokanálové plátky jsou vyráběny s poměrně velkými průměry kanálků (desítky mikrometrů). Zvýšení počtu kanálků pokrývajících efektivní plochu mikrokanálového plátku vede k poklesu počtu případů, kdy elektron vstoupí do kanálku, který se právě nachází v mrtvé době. Obr. 4 znázorňuje mikrokanálový plátek s kanálky o průměru 25 μm a plátek s kanálky o průměru 5 μm .



Obr. 4 Mikrokanálový plátek s kanálky o průměru 25 μm v porovnání s plátkem s kanálky o průměru 5 μm

Jestliže elektron vstoupí do kanálku o průměru 25 μm během mrtvé doby, je pro detekci úplně ztracen. Je-li větší plocha (25 μm kanálku) nahrazena řadou menších kanálků o průměru 5 μm , bude se pouze jediný 5 μm kanálek nacházet v mrtvé době. Další elektron vstoupí do vedlejšího 5 μm kanálku, bude zesílen a detekován. Proto je další vývoj zaměřen na výrobu mikrokanálových plátek s kanálky o menším průměru (do 10 μm). Mikrokanálový plátek s rozšířeným dynamickým rozsahem se označuje EDR Plate – Extended Dynamic Range Plate [5].

Pracovní napětí

Je určeno potenciálovým rozdílem mezi vstupní – čelní a výstupní – zadní stranou mikrokanálového plátku. Je závislé na délce a průměru kanálku v destičce. Dnes vyráběné mikrokanálové plátky pracují při napětí 600 až 1200 V [4].

Pracovní tlak

Mikrokanálový plátek musí pracovat ve vakuu s tlakem nižším než 650 μPa . Jestliže destička pracuje v prostředí s vyšším tlakem, dochází k zvyšování šumu a generaci iontů v kanálkách, což vede k jejich opotřebení, zkrácení životnosti a snížení výkonnosti detektoru. V krajním případě, je-li vakuum hodně nízké, může dojít k výboji uvnitř kanálového násobiče a zničení mikrokanálového plátku [5].

Zisk mikrokanálového plátku

Zisk mikrokanálového plátku G je dán touto rovnicí:

$$G = \exp(g L/d),$$

kde g je faktor vyjadřující zisk vytvořený sekundárně emisním materiálem v kanálku, L je délka kanálku a d je průměr kanálku. Obvykle poměr L/d dosahuje hodnoty 40, což při napětí 1000 V na elektrodách dává hodnotu zesílení řádově 10^4 . Pro dosažení vyšších hodnot zesílení používáme kanálové násobiče obsahující více mikrokanálových plátek. Při použití tří plátek (Z-Stack) lze dosáhnout zesílení až 10^{10} .

Odpor mikrokanálového plátku

Je ovlivněn složením (použitými materiály) a podmínkami při výrobě (teplota, tlak) destičky. Pro dosažení velkého zisku je požadován nízký odpor, typické hodnoty odporu mikrokanálového plátku jsou řádově 100 až 1000 $\text{M}\Omega$. Pro aplikace, které vyžadují velký výstupní výkon lze dosáhnout hodnot 20 až 30 $\text{M}\Omega$ [2, 3, 5].

ZÁVĚR

V současnosti dochází k rozšíření přístrojů pracujících s mikrokanálovými plátky. Nejvíce využívány jsou ve vojenských aplikacích – v přístrojích nočního vidění [6, 7]. Základním detektorem pracujícím s mikrokanálovými plátky je mikrokanálový násobič (zesilovač). Spojením mikrokanálového násobiče a CCD prvku vzniká ICCD kamera, které se používá k měření velmi nízkých intenzit a slabých pulsů záření [8]. Mikrokanálové plátky jsou používány v mnoha dalších aplikacích, například ve zdravotnictví (PET kamery a převaděče obrazu), v astronomii [9] (detektory kosmického, rentgenového a gama záření), v jaderné fyzice (detektory subnukleárních částic), v hmotnostních spektrometrech atd. Tímto článkem jsem se snažil přiblížit nejdůležitější parametry a vlastnosti mikrokanálových plátek.

Literatura:

- [1] Saleh, B. E. A. - Teich, M. C.: Základy fotoniky, Matfyzpress, Praha 1996
- [2] www.burle.com
- [3] www.hamamatsu.com
- [4] Katalogový list: EMR Photoelectronics – Custom desigend microchannel plate tubes
- [5] www.kore.co.uk
- [6] www.meopta.cz
- [7] www.dep.nl
- [8] Rieke, G. H.: Detection of light, Cambridge university press 1994
- [9] www.hep-www.harvard.edu

Regular and random Koch fractals in physical optics

This paper gives an overview of utilisation of fractals in physical optics, especially of Koch fractals and their diffractals. The term fractal itself is defined and some basic characteristics of fractals are mentioned. The constructions of the most typical Koch curves are also depicted. Laser diffraction experiments using regular, random and modified Koch curves are described and the corresponding diffraction patterns (intensity distributions of diffractals) are shown. Some interesting properties of these diffraction patterns are discussed.

1. INTRODUCTION

The interest in chaos theory and fractals (fractal geometry) has been increasing in last decades among many researches from physics, biology, chemistry, mathematics, metrology and economics [1-4].

Physics is not an exception since the fractal geometry has been penetrating into almost all branches of physics [2, 4]. In optics there is a great interest devoted to the investigation of fractals in two main areas [5]. The first one is called image science and the second one is physical optics. There can be found a unifying term fractal optics for applications in these two areas in literature [5].

In image science there are fractals regarded as objects that can be processed with various image processing techniques. The data compression is one of the examples and it is based on iterated function systems (IFS) [6-8]. The problem of image compression has been evolving as the reaction to the rapid development of various types of multimedia applications. The image compression includes the reduction of the size without the loss of necessary information. Another example is image scanning known as Peano scanning [9, 10].

Michael Barnsley is said to be the father of fractal compression [6]. This type of compression is based on the fact that most of the objects in our surrounding, which seem to be very complicated, are in fact composed of variously changed copies of some basic structure. If we know the rule of iteration according to which the basic structure is transformed during the creation of the whole object, it is not difficult to build up this object (picture). Therefore the basic problem is the knowledge of the rule of the iteration.

Physical optics in connection with fractals deals with the description of the waves which encounter fractals. It was M. V. Berry [11] who first coined the word diffractals for the description of such waves. Since the introduction of the term diffractal much interest has been devoted to the characteristic features of diffraction or scattering on fractals [5, 12-15]. Fractal objects used in these experiments are both regular and random fractals. Regular fractals can be obtained by recursive operations consisting of magnification, rotation, translation and substitution. Regular fractals are for example Koch curve and Cantor bar [1, 5]. When we lead a random step in these recursive operations, the resultant object has a random fractal character. These objects are exciting because they suggest us some real objects that can be found in our surroundings, for example roots and branches of trees or clouds.

The aim of this paper is to give the reader an overview of utilisation of fractals in physical optics, especially of Koch fractals and their diffractals. The paper tries to summarise in a compact way results acquired in diffraction of laser beam by various modifications of Koch curves. These pieces of information are gathered mainly from publications by J. Uozumi et al [5, 12-14]. Figures, which are part of this paper, are adopted from other publications whose quotations are stated in titles of appropriate figures. The paper could act as the inspiration for the usage of fractal within

the modulation of laser beam into the required structure. Therefore they could substitute modulators of light in some types of optics applications, e.g. in holography area for encoding and decoding of object wave by means of diffractal. Fractals can control correlation properties of speckle pattern in the area of speckle too [15, 16].

The paper presents basic properties of fractals, processes of their generations and describes already done experiments to obtain diffraction patterns. It sums up the characteristics concerning particular diffraction patterns in accordance to the used type of fractal. It has to be noted that there can be found some examples with applications of another fractals in physical optics, for example using Cantor bars [17].

2. FRACTALS – BASIC CONCEPT

At first, we should define fractal. This term was firstly introduced by Benoit Mandelbrot in 1975 [1]. He was looking for the appropriate name to describe peculiar geometric figures being the same in each scale.

It has to be pointed out that a strict definition of fractal has not been given in a general way yet. In fact fractal is a geometric object which represents the same structure independently of its magnifications. Fractal consists of small parts, which are similar to the whole. This property is called self-similarity. The most important attribute of fractal is its fractal (Hausdorff-Besicovitch) dimension D [1, 3, 4, 8] and it is defined as

$$D = \frac{\log m}{\log \mu}, \quad (1)$$

where m is the number of self-similar (equal) parts of the length $1/\mu$. This fractal dimension D need not be an integer unlike the topological dimension.

Self-similar fractals are generated by recursive operations of generators on initiators [1, 8] and they are the most typical ones. The generator is a set of lines and the initiator is geometric figure such as line segment, equilateral triangle, square and other polygons. Self-similar fractals can be easily mathematically described.

Fractals can be divided into regular and random ones. Typical examples of regular fractals are Koch curve and Cantor bar [1]. Random fractals can be found in our surroundings, typical examples are seacoast and blood vessel network. In the case of random fractals it is possible to recognise the self-similarity only in a statistical sense, they are said to be statistically self-similar [5].

Fractals also have another property called self-affinity and it means that any part of fractal is similar to the original structure. Examples such as fern and many others can easily be observed in our surroundings.

Furthermore we focus on Koch fractals, description of their construction and evaluation of the corresponding fractal dimension.

2.1 Regular Koch fractals

Let us begin with the most common Koch curve called as triadic Koch curve [3, 5, 12, 14]. Its construction begins with a line of unit length, which is then divided into three equal parts and the middle one is replaced with an equilateral triangle without its baseline. The miniature of this resultant curve is called the generator, where the initiator is an equilateral triangle [3, 5, 8, 14]. For the description of the construction there is introduced a parameter N called as the level of the fractal. The level $N = 0$ corresponds to the initiator and consequently the level $N = 1$ matches the generator. We continue with this described process as it can be seen in Fig. 1a. Each step of generation causes the increase of level N by one. Genuine fractals are obtained for the level $N \rightarrow \infty$. The fractal dimension of triadic Koch curve is $D = 1.262$ because there are four self-similar parts ($m = 4$) of the length $1/3$ ($\mu = 3$).

There are some interesting characteristics concerning triadic Koch curve. Its length is $L = (4/3)^N$ which diverges with an increase of the level N [14]. In fact genuine triadic Koch curve ($N \rightarrow \infty$) has an infinite length which surrounds finite area. The surrounded area is not much larger than the area of an original triangle (initiator). If we draw a circle around the original triangle, the triadic Koch curve is not going to exceed this circle [3].

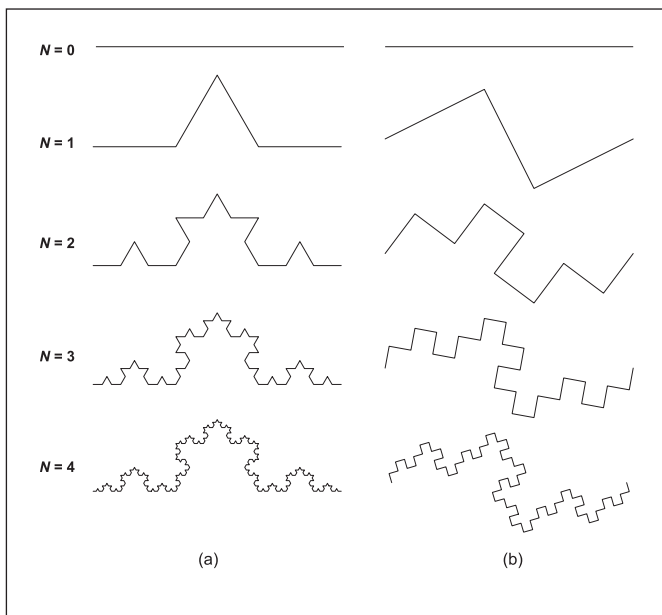


Fig. 1 a) Generation process of a triadic Koch curve with the fractal dimension $D = 1.262$, b) construction of a quadric (quadratic) Koch curve with the fractal dimension $D = 1.365$. The lines with the level $N = 0$ are initiators and the polygonal lines with the level $N = 1$ are generators. With each step of the construction of the triadic and quadric Koch curve the level N increases by one. The genuine triadic and quadric curves are obtained for $N \rightarrow \infty$

Another example of regular Koch fractals is quadric (quadratic) Koch curve [12, 14], which is generated on a square of a unit length (initiator) with the level $N = 0$. As the level $N = 1$ is taken in account each side is replaced with the generator, which has a shape of polygonal line as it is shown in Fig. 1b. In the case of quadratic Koch curve there are $m = 3$ and $\mu = \sqrt{5}$, therefore the fractal dimension of quadric Koch curve is $D = 1.365$.

2.2 Random Koch fractals

As random fractals are concerned, we introduce the easiest ones at first. They can be obtained when we lead a random step in the generation process of regular Koch curves both triadic and quadric [8]. The randomness is implied with two possible orientations of

the generator while the initiator remains the same (Fig. 2a). The resultant random triadic Koch curve is shown in Fig. 2b.

It has to be noted that the fractal dimension of random triadic and quadric Koch curve is the same as the fractal dimension of regular triadic and quadric Koch curve respectively. This is caused by the fact that even if the randomness is included the number of self-similar parts and their lengths are remained.

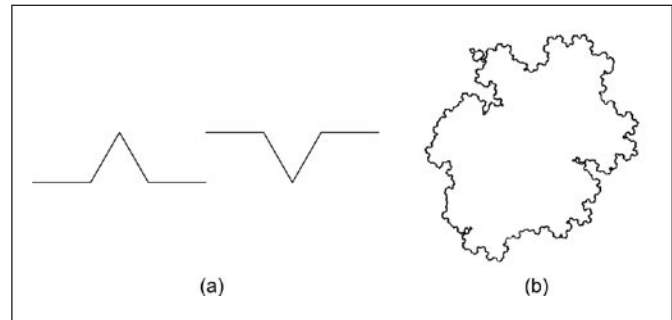


Fig. 2 a) Two possible orientations of the generator used in the construction of random triadic Koch curve, b) the resultant shape of random triadic Koch curve which seems to have a similar shape as seacoast

Another possibility how to construct random Koch fractals is to use a generalised Koch method. It is based on the fact that the fractal dimension is independent on a shape of the generator. The generalised (random) generator is shown in Fig. 3. Random triadic Koch curve, which is formed using this random generator, has the same fractal dimension as regular triadic Koch curve. It is very important to describe precisely the shape of the generalised generator of random Koch curve. Therefore there are established two angles ω_1 and ω_2 for the description as it can be seen in Fig. 3. These two angles characterise the degree of deflection of two marginal segments of the generalised generator of random Koch curve. According to these two angles positions and slopes of the other two parts of the generalised generator can be determined. A randomisation of the process of construction is realised with the usage of a series of random numbers, which are generated in computer, for the values of ω_1 and ω_2 [13].

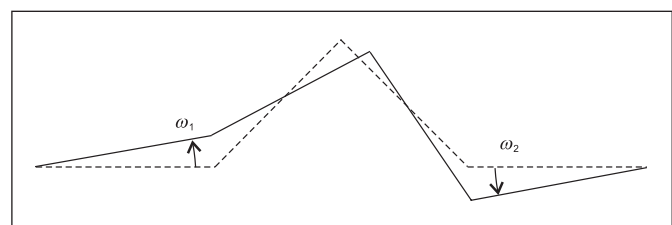


Fig. 3 Generalised generator of random triadic Koch curve with two angles, which specify the shape of the generator

3. FRAUNHOFER DIFFRACTION BY KOCH FRACTALS

As it has been mentioned in the introduction the result of an interaction of the optical wave with the fractal object is called diffractal. Now we focus our attention on the diffraction patterns, i.e. intensity distribution of diffractals, obtained with the usage of several types of Koch fractals [5, 12-14].

3.1 Fraunhofer diffraction patterns of regular Koch fractals

Let us start with regular fractals. The experimental procedure used to obtain diffraction patterns of fractals is described in [12, 14]. The experiment as a whole is started with the preparation of a fractal object. The fractal object can be prepared with the utilisation

tion of some programming language. Afterwards it can be plotted using the precision XY-plotter or the laser printer and then it can be recorded on the photographic film as a negative [14]. The fractal object is placed in the object plane (x, y) of the experimental set-up outlined in Fig. 4. and it is illuminated with collimated laser beam. The obtained diffraction patterns can be observed in detection plane (x_1, y_1), what is an image focal plane of the used lens L_3 . These diffraction patterns can be observed directly on the screen or they can be recorded by means of photographic film or a video camera [14].

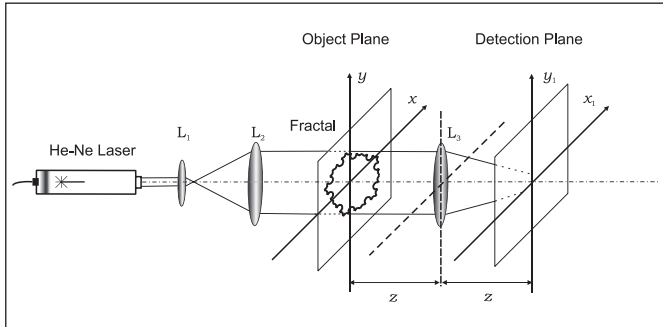


Fig. 4 Experimental set-up used to produce diffraction pattern [14]

Three triadic and quadric Koch curves with various values of the level N used in the experiment in [14] are shown in left columns in Fig. 5 and Fig. 6 respectively. The corresponding Fraunhofer diffraction patterns are pictured in right columns in Fig. 5 and Fig. 6 respectively.

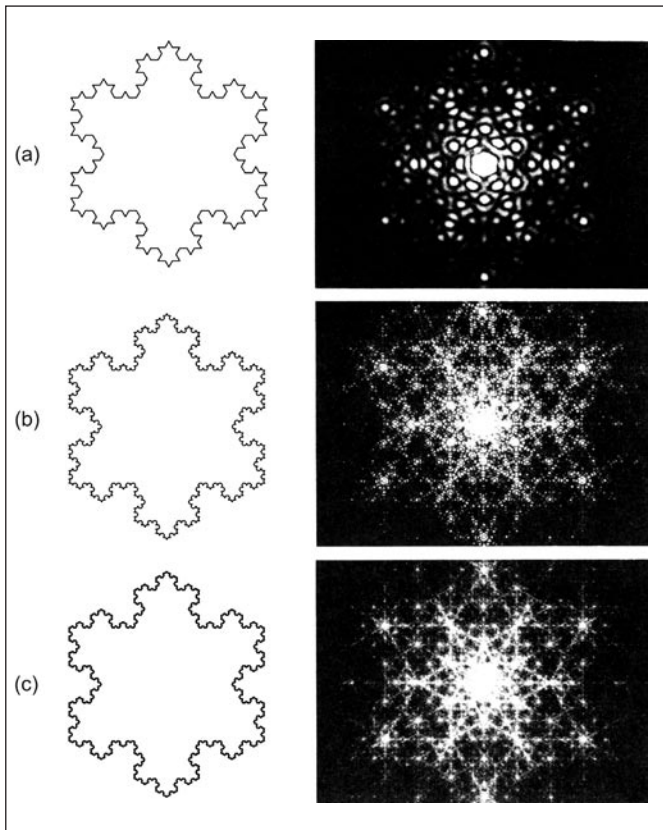


Fig. 5 Triadic Koch curves (left column) with the fractal dimension $D = 1.262$ generated on the triangular initiator with various values of the level N : a) $N = 3$, b) $N = 4$, c) $N = 5$ and corresponding Fraunhofer diffraction patterns (right column) [14]

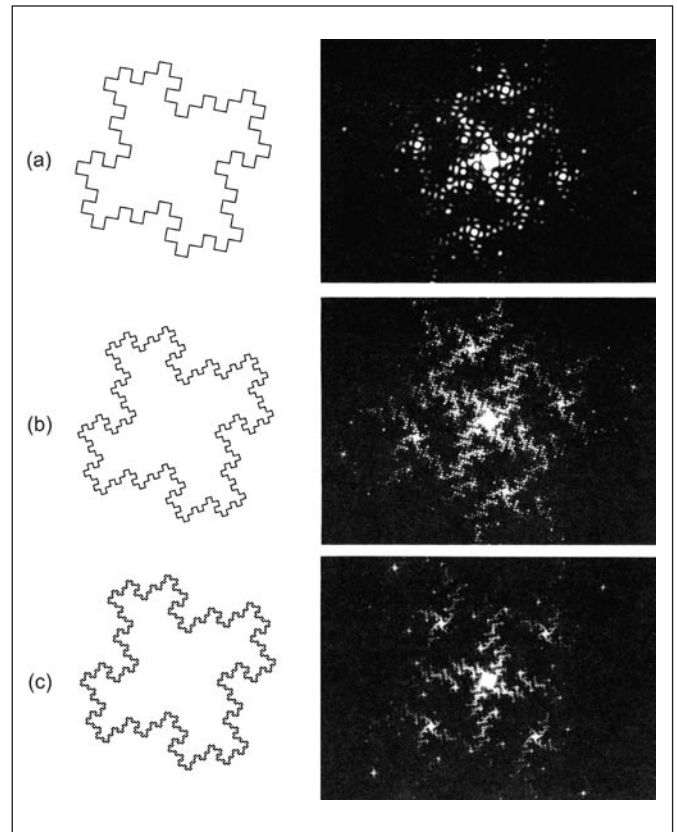


Fig. 6 Quadric Koch curves (left column) with the fractal dimension $D = 1.365$ generated on the squared initiator with various values of the level N : a) $N = 3$, b) $N = 4$, c) $N = 5$ and corresponding Fraunhofer diffraction patterns (right column) [14]

The obtained diffraction patterns have some interesting properties [14]. Diffraction patterns are changing with the increase of the level N . For the case of $N = 3$ it can be seen that the emerged diffraction pattern has coarse structure. On the other hand for $N = 5$ the appropriate diffraction pattern shows fine structure. The envelope of diffraction pattern does not depend on the value of the level N .

Another interesting property of these diffraction patterns is that they demonstrate specific self-similarity or more suitably scaling invariance [14]. The self-similarity of an object can be mathematically described using the equation

$$A(\mathbf{x}) = A(\mu\mathbf{x}), \quad (2)$$

where $A(\mathbf{x})$ is the transmittance of the fractal aperture as a function of vector coordinate \mathbf{x} of the object plane. Therefore according to the properties of Fourier transformation the intensity distribution $I(\mathbf{q})$ in the detection plane can be expressed with the relation

$$I(\mathbf{q}) \propto I\left(\frac{\mathbf{q}}{\mu}\right), \quad (3)$$

where \mathbf{q} is vector coordinate of the detection plane. From Eq. (3) it is obvious that the obtained diffraction pattern itself is self-similar or scaling with the scaling factor $1/\mu$. According to [14] it is possible to prove with the exact experiment that the intensity distribution of the diffraction pattern complies the power law

$$\langle I(\mathbf{q}) \rangle \propto \mathbf{q}^{-D}, \quad (4)$$

where D is the fractal dimension of the fractal object.

It is also possible to show [14] on the basis of Eq. (4) that the fractal dimension D_f of the intensity distribution in the Fraunhofer plane can be expressed as

$$D_f = 2 - D. \quad (5)$$

It follows from Eq. (5) that the corresponding Fraunhofer diffraction patterns pictured in Fig. 5 and Fig. 6 have the dimension $D_f = 0.738$ and $D_f = 0.635$ respectively.

There are presented only the central areas of the diffraction patterns in Fig. 5 and Fig. 6. Complete diffraction patterns corresponding to three triadic Koch curves with the various level of $N = 3, 4, 5$ (see Fig. 5) are imaged in Fig. 7. These were obtained in the experiment described in [12], where there was used the same optical set-up (see Fig. 4) as it was described above.

It can be seen with the reference to Fig. 7 that the area where the self-similarity mainly appears is the central part of those obtained Fraunhofer diffraction patterns [12]. Around this central part there are periodic structures which radially spread towards higher spatial frequencies. There can be drawn a conclusion that the diffraction pattern consists of two areas, the central part being surrounded by the periodic part. On the edge of the central area there can be seen a dark ring. The diameter of the central fractal area grows three times with each increase of the level N by one [12].

There can be also found the theoretical evaluation of the intensity distribution of Fraunhofer diffraction patterns on Koch curves in [12]. In the paper [12] it is possible to find out that the increase of the level N by one causes that periods in the periodic area grow three times. Inside the periodic area there exist basic periods with relatively high intensities. In the case of triadic Koch curve the periods are arranged in six directions which are perpendicular to the constituent line segments of the triadic Koch curve. In each period of the periodic area there occurs another self-similar structure which has lower scale than the central area. However, it was discovered that the central area is not self-similar in a strict sense and the same is valid for the periodic area. This is caused by the fact that the finite value of the level N is taken in account. In the case of the level $N \rightarrow \infty$ both areas are completely self-similar.

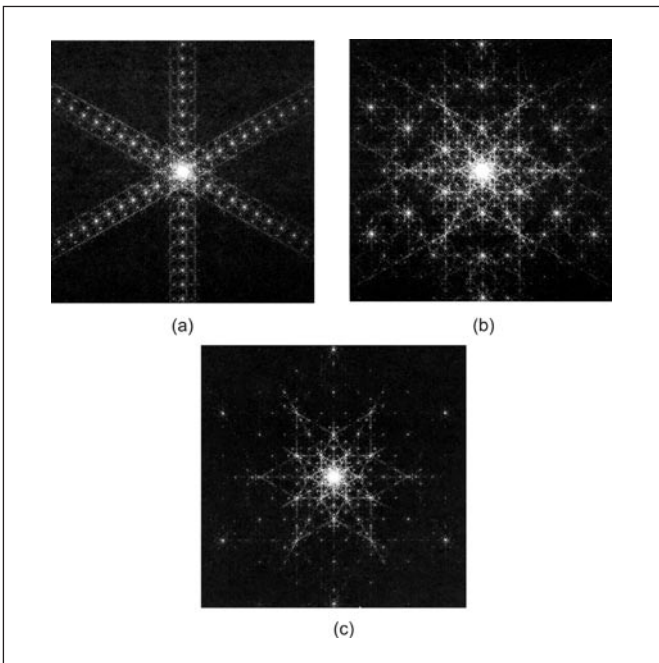


Fig. 7 Complete Fraunhofer diffraction patterns experimentally obtained on three triadic Koch curves with various values of the level N shown in Fig. 5 [12]

In the case of quadric Koch curves (see Fig. 6) the obtained complete diffraction patterns also have central and periodic area. The periods are arranged in four directions which rotate with the increase of the level N as it follows from the paper [12]. This rotation

is due to the fact that the constituent line segments also rotate with each replacement by the generator as it can be seen in Fig. 6.

It is very interesting to observe some modified Koch curves and their diffraction patterns [14]. The modified Koch curves can be derived with the change of the initiator while the generator is the same. We can get triadic Koch curve generated on a squared initiator or on a pentagonal initiator and consequently quadric Koch curve generated on a triangular initiator or on a pentagonal initiator [14].

Now let us present two examples from the paper [14]. Triadic Koch curve generated on the squared initiator and the obtained Fraunhofer diffraction pattern are shown in Fig. 8a. The latter is quadric Koch curve generated on the pentagonal initiator shown in Fig. 8b, where there also is the corresponding Fraunhofer diffraction pattern. It should be pointed out that these obtained diffraction patterns still have some sort of self-similarity.

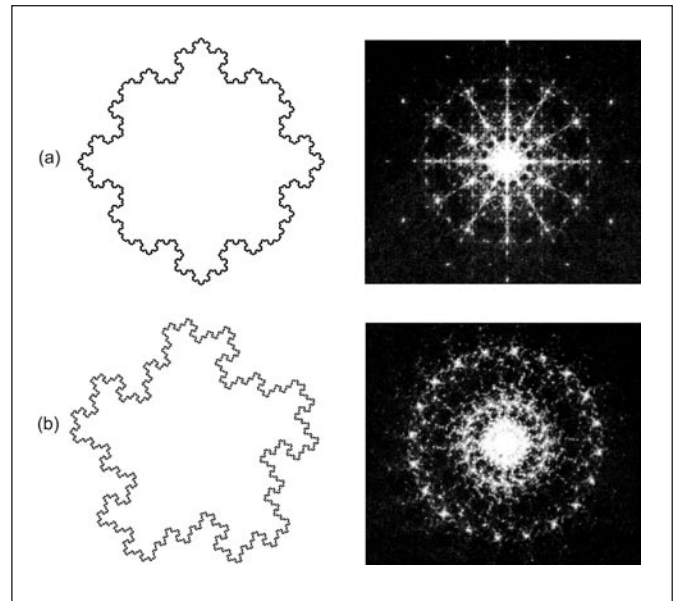


Fig. 8 a) Triadic Koch curve generated on the squared initiator (left column) and the corresponding Fraunhofer diffraction pattern (right column), b) quadric Koch curve generated on the pentagonal initiator (left column) and the corresponding Fraunhofer diffraction pattern (right column) [14]

Another attractive activity is observation of diffraction patterns obtained on concentric Koch curves with various diameters [14]. Then the appearance of the diffraction patterns depends on the relative lengths of the self-similar parts and the value of the level N . The source of these diffraction patterns is the interference of diffractals arising on concentric Koch curves.

Fig. 9 demonstrates three concentric triadic Koch curves with the value of the level $N = 3$ with diameters $a, 3a, 3^2a$, where a is diameter of the most inner triadic Koch curve, and the corresponding Fraunhofer diffraction pattern. The diameters of these three Koch curves are chosen to have the scaling factor. Each of these triadic Koch curves is again self-similar. When these triadic Koch curves are put together the obtained diffraction pattern loses the self-similarity and the scaling property completely. This is caused by the fact that self-similar parts of the three concentric Koch curves have different lengths.

Furthermore in Fig. 10a there are three concentric triadic Koch curves which have diameters $b, 3b, 3^2b$, where b is diameter of the most inner triadic Koch curve, and the diameters of Koch curves increase with the scaling factor. However this time the value of the level $N = 3, 4, 5$ is chosen to make equal all self-similar parts. The resultant diffraction pattern has scaling property and is self-similar as it can clearly be seen in Fig. 10b. In fact the object made up of three concentric Koch curves shown in Fig. 10a can be regarded as self-similar itself.

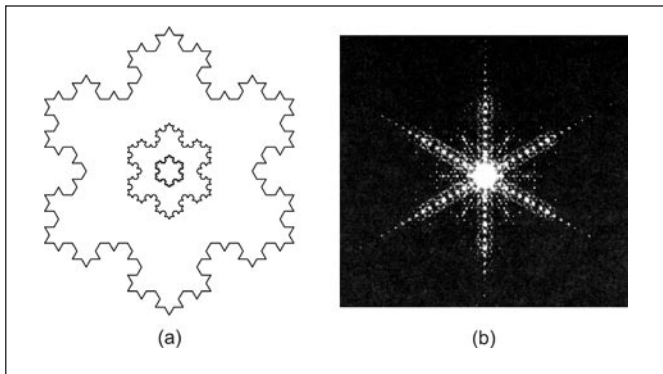


Fig. 9 a) Three concentric triadic Koch curves with the value of $N = 3$ with the diameters $a, 3a, 3^2a$, where a is the diameter of the most inner triadic Koch curve, b) the obtained Fraunhofer diffraction pattern [14]

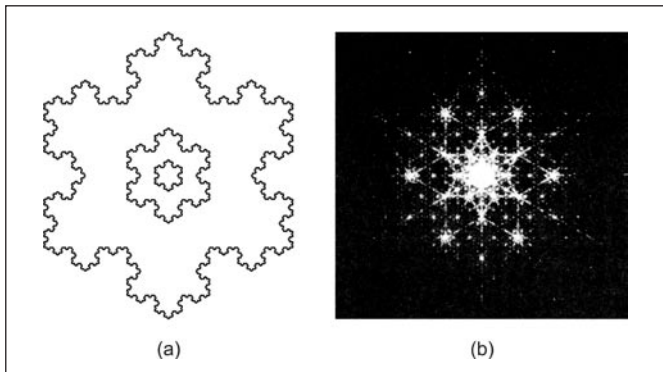


Fig. 10 a) Three concentric triadic Koch curves with the value of $N = 3, 4$ and 5 with the diameters $b, 3b, 3^2b$, where b is the diameter of the most inner triadic Koch curve, b) the obtained Fraunhofer diffraction pattern [14]

3.2 Fraunhofer diffraction patterns of random Koch fractals

In this part we concentrate our attention on random Koch fractals which are obtained with the modification of the generator with the preservation of the number and the length of self-similar parts. Therefore the dimension of random fractal is the same as the dimension of regular one.

Generalised Koch method [4, 13] is used for the construction of several types of random Koch curves. These curves have various degree of the deviation of the randomised generator from the original form of the generator. For the description of the deviation there are used two angles ω_1 and ω_2 (see Fig. 3).

The properties of diffraction patterns of random triadic Koch curves were studied using the experimental set-up outlined in Fig. 11 [13]. The fractal objects (random triadic Koch curves)

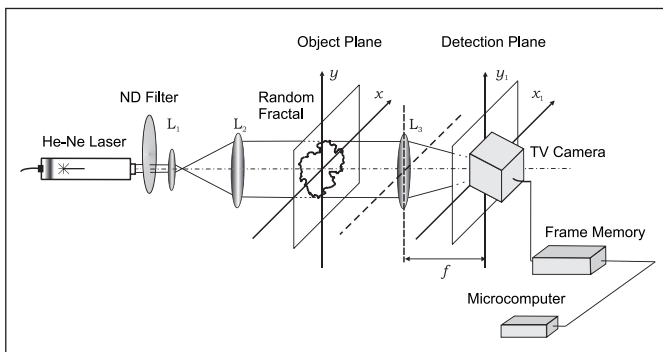


Fig. 11 Experimental set-up used in [13] to produce Fraunhofer diffraction patterns of random triadic Koch curves

shown in Fig. 12 are plotted with XY-plotter on sheets of paper and then they are photographed on minicopy films. Such developed negative films are placed in the object plane (x, y) and illuminated by a collimated coherent beam from He-Ne laser. Produced Fraunhofer diffraction patterns of fractal objects are detected either by photographic film or a TV camera in the detection plane (x_1, y_1). In the case of TV camera, the video signal is fed into a microcomputer through a frame memory of 512×512 pixels with 8-bit quantisation. A neutral density filter is set just before the lens L_1 to enlarge the relatively narrow dynamic range of the TV camera.

The randomisation of the calculation process is realised using a series of random numbers, which are generated in PC, for the values of these two angles ω_1 and ω_2 [13]. We can assume that these two angles have the same Gaussian statistics with zero mean value and the standard deviation σ .

As mentioned above three random triadic Koch curves used in experiment [13] are shown in Fig. 12. Each of the curves has the value of the level $N = 5$ and is constructed by means of the generalised Koch method. They have different values of the standard deviation σ . These values are $\sigma = 1^\circ, 5^\circ$ and 15° .

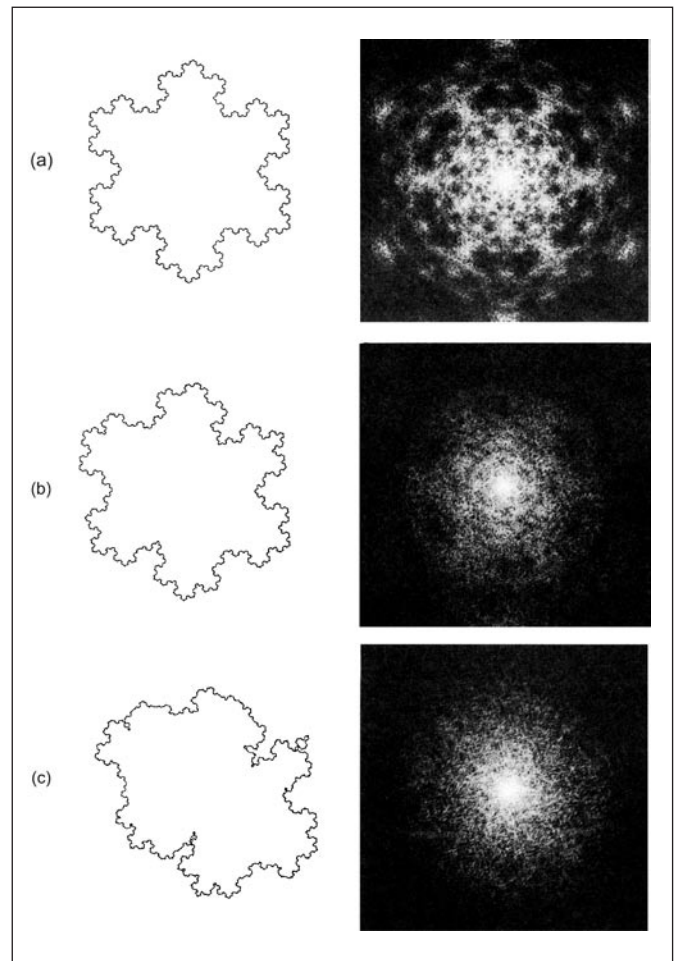


Fig. 12 Three random triadic Koch curves (left column) constructed with the usage of the generalised Koch method with the value of the level $N = 5$ and various values of the standard deviation σ , a) $\sigma = 1^\circ$, b) $\sigma = 5^\circ$, c) $\sigma = 15^\circ$ and their corresponding Fraunhofer diffraction patterns (right column) [13]

It is possible to recognise that for the small degree of standard deviation $\sigma = 1^\circ$ the random triadic Koch curve is similar to the regular triadic Koch curve (compare Fig. 12a and Fig. 5c). Curves deviate from regular triadic Koch curve to random one with the increase of the value of the standard deviation σ .

The photographs of three Fraunhofer diffraction patterns in right column in Fig. 12 were acquired in the experiment described in [13]. It can clearly be seen that the almost regular distribution of intensity peaks is gradually changing into the speckle pattern with the increase of randomness of the fractal object, i.e. with the increase of the value of the standard deviation σ . In the case of $\sigma = 15^\circ$ (Fig. 12c) the diffraction pattern becomes speckle pattern which is completely random. However the enlarged photograph [13] of the diffraction pattern in Fig. 12c manifests that this speckle pattern bears a somewhat different appearance from ordinary fully developed speckle patterns [18, 19]. That is, the speckle pattern in Fig. 13 seems to have structures of scales larger than the average speckle size. In other words speckles seem to form clusters or chains of various scales. An exact description of this phenomenon requires study of the statistical properties of speckle patterns produced by fractal objects, what is beyond the extent of this paper.

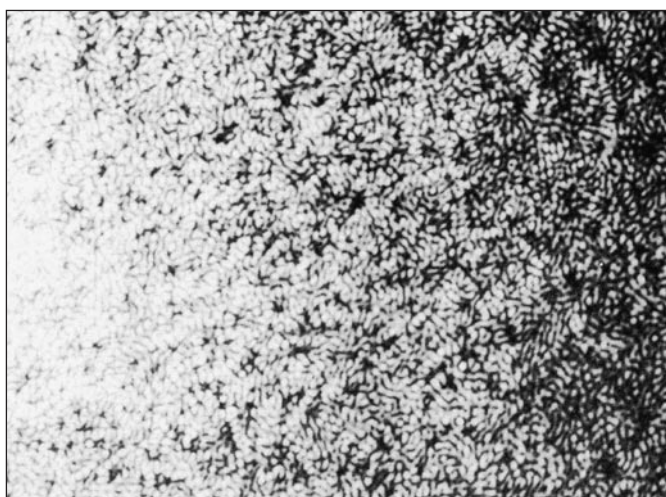


Fig. 13 Enlarged part of the photograph in Fig. 12c [13]

4. CONCLUSION

The fast progress in optics leads into the effort to find some new exciting and rewarding applications. In optics fractals seem to be an unflagging source of inspiration. Thus the compact view of Koch fractals and their diffraction patterns is given in this paper. It could be used as a source of information about possible utilisation of fractals and the corresponding diffraction patterns.

It has been described that Fraunhofer diffraction pattern produced by fractal has its own fractal dimension and is self-similar. The fractal dimension of the diffraction pattern and the one of the fractal object are related. Consequently one of the possible applications is the proof of the fractality of objects based on properties of the particular diffraction pattern. Another application is the usage of fractals within the description of Fourier transformation aspects of Fraunhofer diffraction in teaching and education.

As far as physical optics is concerned fractals could replace the modulators of light and in the case of random fractals it is possible to obtain completely random distribution of intensity in the detection plane. This speckle pattern has some distinct features from the ordinary speckle pattern.

Acknowledgement:

This work was supported by the project MSM6198959213 of the Ministry of Education of the Czech Republic.

References:

- [1] Mandelbrot, B. B.: The Fractal Geometry of Nature. New York, Freeman 1982.
- [2] Haken, H. ed.: Chaos and Order in Nature. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag 1981.
- [3] Gleick, J.: Chaos: Making New Science. New York, Penguin Books 1988.
- [4] Mandelbrot, B.: Fractals: Form, chance, and dimension. San Francisco, Freeman 1977.
- [5] Uozumi, J., Asakura, T.: Fractal Optics. In Current trends in Optics. (Ed. J. C. Dainty). London, Academic Press 1994.
- [6] Barnsley, M.: Fractals Everywhere. Boston, Academic Press 1988.
- [7] Welstead, S.: Fractal and Wavelet Image Compression Techniques. Bellingham, Washington, SPIE Press 1999.
- [8] Peitgen, H.O., Jürgens, H., Saupe, D.: Chaos and Fractals. New York, Springer-Verlag 1992.
- [9] Dafner, R., Cohen-or, D., Matias, Y.: Context-based Space filling Curves. Eurographics 2000, **19**, 209 (2000).
- [10] Warnecke, H. J., Rueff, M., Müssigmann, U., Melchior, K.: Practical and theoretical aspects of applied image analysis. Measurement, **5**, 20 (1987).
- [11] Berry, M. V.: Diffractionals, J. Phys. A: Math. Gen., **12**, 781 (1979).
- [12] Uozumi, J., Kimura, H., Asakura, T.: Fraunhofer diffraction by Koch fractals. J. Mod. Opt., **37**, 1011 (1990).
- [13] Uozumi, J., Kimura, H., Asakura, T.: Laser diffraction by randomized Koch fractals. Waves in Random Media, **1**, 73 (1991).
- [14] Uozumi, J. et. al.: Teaching diffraction through fractals. Education and Training in Optics, **1**, 121 (1993).
- [15] Uozumi, J.: Phase statistics of the speckle produced by power-law illuminated diffusers. In Proc. of SPIE (19th Congress of the International Commission for Optics) (Eds. A. Consortini, G. C. Righini) Bellingham, SPIE **4829**, 603 (2002).
- [16] Uozumi, J., Ibrahim, M., Asakura, T.: Fractal speckles. Opt. Commun., **156**, 350 (1998).
- [17] Jaggard, A. D., Jaggard, D.L.: Cantor Ring diffractionals. Opt. Commun., **158**, 141 (1998).
- [18] Dainty, J.C. ed.: Laser speckle and related phenomena. Berlin, Springer-Verlag 1984.
- [19] Hrabovský, M., Bača, Z., Horváth, P.: Speckle in optics. Olomouc, UP Olomouc 2001. (in Czech)

Mgr. Petra Neumannová, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tr. 17. listopadu 50, 77207 Olomouc, Czech Republic, e-mail: neumannova@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 4284

Mgr. Pavel Horváth, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tr. 17. listopadu 50, 77207 Olomouc, Czech Republic, e-mail: horvath@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1569

Mgr. Petr Šmíd, Ph.D., Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tr. 17. listopadu 50, 77207 Olomouc, Czech Republic, e-mail: smid@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1575

Prof. Miroslav Hrabovský, DrSc., Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Tr. 17. listopadu 50, 77207 Olomouc, Czech Republic, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz, phone: +420 58 563 1501

XX. kongres Mezinárodní optické komise ICO (Changchun, Čína, 21.-26. srpna 2005)



Obr. 1 Panorama Changchunu, správního centra čínské severovýchodní provincie Jilin

Ve dnech 21.-26. srpna 2005 se v čínském Changchunu uskutečnil XX. kongres Mezinárodní optické komise ICO (The International Commission for Optics). ICO je nejvýznamnější a nejstarší mezinárodní optickou organizací, která byla založena v roce 1947 v Praze a Paříži. Kongres ICO se schází pravidelně ve tříletých intervalech a jeho náplní je tradiční setkání významných světových odborníků v různých oborech optiky. V letošním roce bylo oficiálním tématem kongresu výstižné „Challenging Optics in Science & Technology“, které bylo upřesněno dalšími odbornými sekcemi (dílčími konferencemi) zaměřenými na aktuální problémy současné optiky, fotoniky, optického inženýrství, teorie optiky, optických technologií aj.

Dějištěm kongresu bylo téměř třímilionové správní středisko provincie Jilin (část bývalého Mandžuska), Changchun. Město se nachází asi 1000 kilometrů severovýchodně od Pekingu a je moderním, dynamicky se rozvíjícím hospodářským centrem s největším automobilovým průmyslem v celé Číně.

Dvacátý kongres Mezinárodní optické komise se do historie zapsal největším počtem delegátů za dobu její padesátiosmileté existence. Kongresu se zúčastnilo více než 900 účastníků z 34 zemí celého světa. Bylo prezentováno přes 80 zvaných přednášek, včetně přednášek držitelů výročních cen ICO a medailí GALILEO GALILEI. Naši republiku na kongresu zastupovali prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., tajemník Českého komitétu pro optiku (ICO-ČKO), zakládajícího člena ICO, a Mgr. Pavel Horváth, oba ze Společné laboratoře optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky v Olomouci.

Věcný program kongresu byl rozdělen do tří plenárních zasedání, odborných sekcí (dílčích konferencí), posterových sekcí s vazbou na odborné sekce a zasedání mezinárodního komitétu ICO. Názvy jednotlivých odborných sekcí pokrývající široké spektrum oblastí moderní optiky byly následující:

- Optical Devices and Instruments,
- Optical Communication,
- Biomedical Optics,
- Optical Information Processing,
- Lasers and Laser Technologies,
- Materials and Nanostructures,
- Display Devices and Systems,
- Remote Sensing and IR Devices & Systems,
- MEMS, MOEMS and NEMS,
- Illumination, Radiation and Color Technologies,
- Optical Design and Fabrication.

Vyjma slavnostního zahájení kongresu v budově Jilin Province Hotel Theatre probíhala jeho veškerá jednání v nádherném a moder-

ním vědeckém komplexu CIOMP (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics), který je v současné době označován za centrum čínské optiky.

Pozornost všech účastníků kongresu byla soustředěna především na plenární zasedání, jež sestávalo z klíčových přednášek. Mezi řečníky byli, například, nositel Nobelovy ceny za fyziku v roce 1964, prof. Charles H. Townes (University of California, Berkeley, USA), jenž vystoupil s přehledovým referátem na téma „Development of the science and technology of electromagnetic waves“, dr. Philip H. Stahl (NASA Marshall Space Flight Center, USA), který hovořil ve svém příspěvku nazvaném „NASA's challenges in optics for future space-based science missions“ o sepetí optiky a astronomie a prof. James C. Wyant (College of Optical Sciences, University of Arizona, USA), jehož přednáška s titulem „Advances in interferometric surface measurement“ zaujala všechny přítomné úvahou, že klasické optické interferometrické metody



Obr. 2 Kongresový sál v budově Jilin Province Hotel Theatre, místo slavnostního zahájení XX. kongresu Mezinárodní optické komise ICO (22. srpna 2005)

ve spojení s moderní technologií, softwarem a elektronikou otevírají nové netušené možnosti současné optice a metrologii. Zajímavé bylo také vystoupení prof. Jianlin Cao (Chinese Optical Society, Čína) na téma „The current state and progress of optics in China“, ve kterém referoval o současném stavu a možném vývoji čínské optiky. Ohromující v této souvislosti byla především informace



Obr. 3 Nositel Nobelovy ceny za fyziku v roce 1964 prof. Charles H. Townes (vpravo) s P. Horváthem

o prudkém nárůstu počtu studentů doktorských programů optiky a fotoniky od roku 2000 až na současných téměř 150 000 a s tím souvisejícím nástupem mladé generace optiků. Optiku lze přitom v Číně studovat ve více než 30 městech.

Nezbytnou součástí plenárního zasedání kongresu ICO byl také blok přednášek držitelů výročních cen ICO za období 2003 a 2004, které jsou udělovány Mezinárodní optickou komisí za pozoruhodný příspěvek v oblasti optiky publikovaný nebo předložený k publikaci před dosažením věku 40 let. Oceněnými byli, za rok 2003, prof. Benjamin J. Eggleton (University of Sydney, Austrálie), s tématem „Towards integrated terabit per second all-optical regenerators“ a za rok 2004 dr. Ashok V. Krishnamoorthy (Sun Microsystems SSG/Physical Sciences Center, USA a Indie) s příspěvkem „Photonics-to-electronics integration for optical interconnects in the early 21st century“. Dále byly Mezinárodní optickou komisí předány medaile GALILEO GALILEI za rok 2004. Tyto medaile jsou udělovány za vynikající příspěvek na poli optiky, který je dosažen v zemích s relativně nepříznivými podmínkami pro vědu. Těmito podmínkami se rozumí především obtížné ekonomické a sociální podmínky, nebo nedostatek přístupu k modernímu vědeckému a technickému vybavení, či omezenému zdroji informací při vědecké práci. Jejich držiteli se stali dr. Caesar Salama (National Institute of Physics, University of the Philippines, Filipíny) za vědecký přínos v oblasti užití laserové fluorescenční konfokální mikroskopie v zobrazování opticky-tlustých biologických vzorků a prof. Milivoj Belic (Institute of Physics, Center for Theoretical Physics, Belgrade, Srbsko a Černá hora) za založení a vedení výzkumné optické skupiny v Bělehradu, jež dosahuje významných vědeckých výsledků na poli nelineární optiky.

Na kongresu byl presentován českými účastníky příspěvek s názvem „Usage of the speckle correlation for object surface topography“ (autoři: P. Horváth, P. Šmíd, P. Wagnerová a M. Hrabovský, všichni SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc). Přijaté prezentace všech odborných kongresových příspěvků byly publikovány ve sborníku abstraktů a plné texty dále zveřejněny na CD-ROM, vydaném nakladatelstvím mezinárodní organizace SPIE – The International Society for Optical Engineering, Bellingham, USA. Stejně nakladatelství také připravuje tištěnou verzi celkem jedenácti sborníků, *Proc. SPIE* Vol. **6024** – **6034**, pro jednotlivé odborné sekce, která vyjde do konce roku 2005.

Ve dnech 22. a 25. srpna proběhla také dvě zasedání mezinárodního komitétu ICO (ICO General Assembly I, II), kde byla projednána tradiční agenda ICO a bylo zvoleno nové vedení ICO pro

období let 2005-2008. Těchto zasedání se zúčastnil delegát Českého komitétu pro optiku (ICO-ČKO) prof. M. Hrabovský společně s dalším účastníkem cesty Mgr. P. Horváthem. Profesor Hrabovský byl současně pověřen zastupováním Slovenského komitétu pro optiku (ICO-SKO). Do vedení ICO pro období 2005-2008 byli zvoleni:

- Prezident: prof. Ari T. Friberg (Finsko),
 - Tajemník: prof. Maria L. Calvo (Španělsko),
 - Zástupce tajemníka: prof. Gert Von Bally (Německo),
 - Pokladník: prof. Alexander A. Sawchuk (USA),
 - Viceprezidenti:
- (pro první volební období): prof. Sergei N. Bagayev (Rusko),
dr. Hervé Lefevre (Francie),
prof. John Love (Austrálie),
prof. Angela M. Guzmán (Kolumbie),
- (pro druhé volební období): prof. Guofan Jin (Čína),
dr. Byoung Yoon Kim (Jižní Korea),
prof. Malgorzata Kujawinska (Polsko),
prof. Ichirou Yamaguchi (Japonsko).

Bylo také rozhodnuto, že příští již XXI. kongres Mezinárodní optické komise ICO se bude konat ve dnech 7. - 11. července 2008 v australském Darling Harbour, Sydney.



Obr. 4 Účastnice kongresu prof. Anna Consortini (vlevo), prezidentka ICO v období 1993-1996, a prof. Maria J. Yzuel, viceprezidentka ICO v období 1990-1996, na slavnostní recepci

Vedle již zmíněných aktivit čeští účastníci v rámci kongresového programu rovněž navštívili optické laboratoře v komplexu CIOMP, absolvovali řadu odborných konzultací s různými účastníky kongresu, se zástupci pořadatelské (čínské) a dalších organizací a také s vedením ICO.

Závěrem lze konstatovat, že se XX. kongres Mezinárodní optické komise v čínském Changchunu vydařil. Jeho odborná a společenská úroveň byla vysoká a potvrdila nezbytnost dalšího společného setkávání odborníků celého světa i do budoucna. Konference ukázala příklon současné optiky k aplikacím a interdisciplinárnímu přístupu, ať už v oblastech technických, technologických či medicínských.

Cesta českých účastníků byla realizována v rámci projektu MŠMT ČR č. 6198959213 „Měření a informace v optice“ s finančním příspěvím zahraničního odboru AV ČR pro prof. Hrabovského, delegáta ICO-ČKO.

Mgr. Pavel Horváth

Mgr. Pavel Horváth, Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, Česká republika, tel.: 585 631 569, e-mail: horvath@optnw.upol.cz

Matematické metody vizualizace sluneční koróny

1 ÚVOD

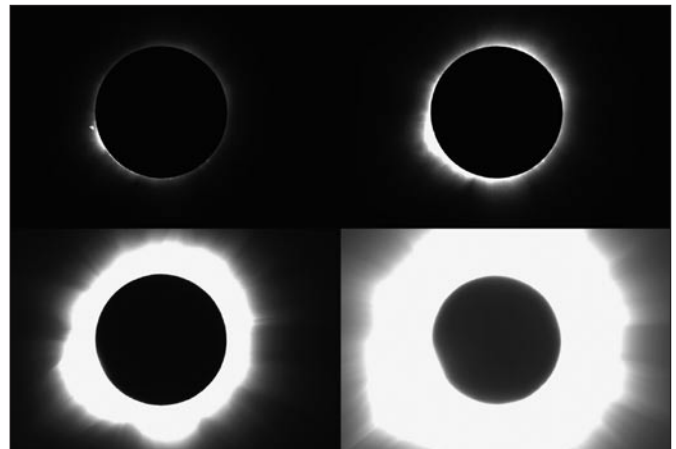
Úplná zatmění Slunce sehrála ve vědě v posledních asi 150 letech velmi důležitou roli. Z dlouhé řady objevů a významných pozorování je snad nejnámějším úspěšné ověření skutečnosti, že Slunce v souladu s obecnou teorií relativity ohýbá světelné paprsky. Toto zjištění v roce 1919 přispělo významným způsobem k všeobecnému uznání této teorie. Koncem dvacátého století však vědecký význam pozorování úplných zatmění Slunce začal výrazně klesat. Bylo to dáno především rozvojem kosmického výzkumu Slunce. Kosmické sondy umožnily nepřetržitě pozorování Slunce bez rušivých vlivů zemské atmosféry. Především pozorování v ultrafialové a rentgenové části spektra znamenala obrovský přínos pro výzkum Slunce a jeho vlivů na Zemi. V posledních několika letech však dochází opět k výraznému nárůstu zájmu o úplná zatmění Slunce. Zásahu na tom mají nové numerické metody zpracování obrazu, které ve spojení se současnou výkonnou výpočetní technikou umožňují získání obrazů vnitřní části sluneční koróny ve viditelné části spektra v kvalitě, která zásadním způsobem překonává současné možnosti pozemských i kosmických pozorování koróny mimo úplná zatmění. Tyto metody umožňují i zpětné zpracování archivních fotografií, ve kterých je uloženo velké množství informací o struktuře sluneční koróny, které dříve nebylo možné plně využít.

Fotografie úplného zatmění Slunce patří z technického hlediska k nejsložitějším úkolům astronomické fotografie. Důvodem je extrémní kontrast. I když Měsíc zakryje ve viditelné části spektra intenzivně zářící fotosféru (viditelný povrch Slunce), zůstává v obraze stále ještě kontrast řádově 1 : 100 000 až 1 : 1 000 000. Ani klasická, ani digitální fotografie není schopna úspěšně zaznamenat obraz s tímto kontrastem. To vede k nutnosti pořídit řadu snímků s různými expozicemi, přičemž na každém z těchto snímků, je úspěšně zachycena jen malá část požadovaného výsledného obrazu. Syntéza této řady snímků do jediného výsledného obrazu je úkolem, který byl úspěšně vyřešen teprve v poslední době a sestává z následujících tří kroků: Registrace obrazu, vytvoření jediného složeného obrazu a vizualizace složeného obrazu. Při řešení uvedené problematiky vznikl postupně projekt Matematické metody vizualizace sluneční koróny (MMV), jehož se účastní Fakulta strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, Hvězdárna v Úpici a Slovenská akademie věd. Na Ústavu matematiky FSI VUT Brno probíhá vývoj numerických metod pro zpracování obrazu (Miloslav Druckmüller), Hvězdárna v Úpici (tým pod vedením Evy Markové) a Slovenská akademie věd (Vojtech Rušin) poskytly rozsáhlý archiv obrazových dat z let 1973 - 2002. Potřebný speciální software pro zpracování obrazu je vyvíjen Miloslavem Druckmüllerem a Hanou Druckmüllerovou. Projekt má řadu dalších externích spolupracovníků z České republiky, Slovenska, Německa, Norska, Austrálie a USA, kteří se podílí na získávání dat.

2 VSTUPNÍ OBRAZOVÁ DATA

Vstupními daty pro vytvoření obrazu sluneční koróny během úplného zatmění Slunce je řada digitálních obrazů pořízených různými expozicemi. Tyto obrazy mohou být pořízeny buď přímo v digitální podobě kamerami s CCD nebo CMOS snímacími prvky, anebo mohou být získány digitalizací obrazů na klasických fotografických materiálech za využití scanneru. Za současného stavu fotografické techniky jsou oba postupy téměř rovnocenné z hlediska kvality výsledného obrazu. Výhodou přímého digitálního záznamu je především linearita závislosti hodnoty pixelu na intenzitě světla a u kvalitních digitálních systémů též lepší poměr signál/šum. Výhodou klasické fotografie je podstatně vyšší dynamický rozsah,

který se u současných barevných negativních filmů blíží k hranici, kterou bychom potřebovali pro zachycení celé vnitřní koróny na jediném snímku. Příklad několika obrazů, ze kterých je vytvářen výsledný obraz je na obr. 1.



Obr. 1 Obrazy sluneční koróny pořízené 21. 6. 2001 v Mozambiku digitálním fotoaparátem Nikon D1H. Rozsah expozic 1/1000 s - 1/4 s. Autor snímků je Friedhelm Dorst

3 REGISTRACE OBRAZŮ

Prvním krokem a z hlediska kvality výsledného obrazu též nejkritičtějším krokem je registrace (vzájemné přesné geometrické sesazení) řady obrazů pořízených různými expozicemi. Metody založené na nalezení sobě si odpovídajících bodů v obou obrazech jsou nepoužitelné, neboť ve sluneční koróně nejsou obvykle žádné kontrastní struktury, které by byly bezpečně identifikovatelné ve všech vstupních obrazech. K registraci nelze využít ani útvary na okraji Měsíce, ani hvězd, které lze často v obrazech identifikovat, neboť se vůči Slunci pohybují. Tento pohyb je natolik rychlý, že by vedl k neúnosně vysoké chybě registrace již u obrazů pořízených několik sekund po sobě. Proto byla vyvinuta metoda založená na fázové korelaci.

Označme A, B obrazové matice obrazů, které chceme registrovat. Předpokládejme, že obraz s obrazovou maticí B je posunutý oproti obrazu s obrazovou maticí A . Vektor posunutí označme $\vec{v} = (v_x, v_y)$. Dále označme F dvourozměrnou diskrétní Fourierovu transformaci. Nyní spočítáme obrazovou matici C užitím vzorce

$$C = F^{-1} \left(\frac{F(A)\overline{F(B)}}{|F(A)||F(B)|} \right).$$

Pokud jsou obrazy A, B posunuté ale jinak identické, výsledný obraz C bude obsahovat jediný nenulový pixel, jehož souřadnice jsou (v_x, v_y) . Ve skutečnosti však obrazy A, B obsahují šum, liší se kontrastem, jasnem, eventuelně i dalšími parametry. V tomto případě sestává C obecně z nenulových prvků a (v_x, v_y) jsou souřadnice prvku z maximální hodnotou. Problém spočívá v tom, že toto maximum nemusí být vždy globálním maximem, ale často jen maximem lokálním a jeho nalezení nemusí být vždy jednoduché. Důvod existence více maxim může být různý, nejčastěji jsou další maxima způsobena vadnými snímači v CCD resp. CMOS čípech, které mají vůči obrazu stále stejnou polohu. Další častou příčinou je

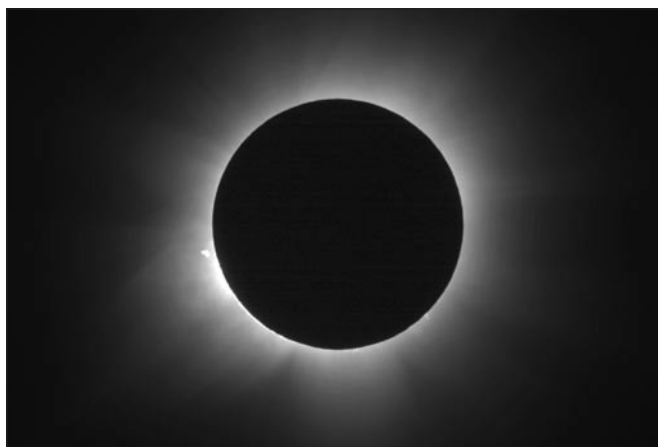
prach ležící na snímačích a optických plochách. Pokud jsou si registrované obrazy málo podobné, např. byly pořízeny velmi rozdílnými expozicemi, je problémem výrazně šum v obraze C , který může hledání správného lokálního maxima výrazně komplikovat. V tomto případě je vhodné aplikovat na C filtr typu dolní propust.

Modifikace této metody umožňuje registraci i obrazů vzájemně otočených a s různým měřítkem. Rotaci lze snadno převést na translaci transformací obrazů do polární soustavy souřadné. Musíme však znát střed otáčení, což v praxi pochopitelně neznáme. Tento problém lze překonat tím, že místo obrazů pracujeme s jejich amplitudovými spektry. Je-li obraz A otočen o úhel α vzhledem k obrazu B , je o stejný úhel otočeno amplitudové spektrum $|F(A)|$ vůči spektru $|F(B)|$. Střed rotace je však v tomto případě znám - je jím bod reprezentující nulovou frekvenci. Pokud amplitudová spektra $|F(A)|$, $|F(B)|$ transformujeme do logaritmicko-polární soustavy souřadné (vzdálenost od počátku soustavy souřadné je v logaritmickém měřítku), pak výše popsanou metodou fázové korelace určíme nejen rotaci, ale dokonce i změnu měřítka. Popsaná metoda je velmi náročná z hlediska výpočetního času, neboť v obecném případě, kdy jsou vstupní obrazy vzájemně otočeny, posunuty a mají různá měřítka, je nutné pro registraci jednoho obrazu spočítat osm Fourierových transformací (šest dopředných a dvě zpětné) a řadu dalších výpočtů, z nichž nejpomalejší je transformace do logaritmicko-polární soustavy souřadné. Vzhledem k tomu, že obrazové matice mají řádově milióny prvků, pohybují se výpočetní časy pro registraci jednoho obrazu na současných počítačích řádově v minutách.

I když z teoretického hlediska je celý postup registrace zdánlivě jednoduchý, skrývá v sobě četná úskalí. Především je nutné odstranit z obrazů vhodným způsobem všechny objekty, které by mohly způsobit chybnou registraci. Je to především Měsíc, hvězdy, vadné pixely (u digitálních snímačích systémů) a prach. U digitálních snímačích systému je problémem i saturovaná část obrazu, která má ostrou hranici a může vést k chybné registraci. V současnosti je k registraci obrazu používán program PhaseCorr 3.0 (Miloslav Druckmüller 2004), který řeší většinu zmíněných problémů.

4 VYTVOŘENÍ SLOŽENÉHO OBRAZU

Tento krok je nejproblematičtější částí celého postupu. Neexistuje totiž obecný algoritmus pro vytvoření složeného obrazu. Je to způsobeno skutečností, že série obrazů, se kterými musíme pracovat, se případ od případu liší použitou snímačím technikou a optickým systémem, počtem obrazů, posloupností expozičních časů, atmosférickými podmínkami a dalšími faktory. U archivních materiálů k tomu ještě přibývá skutečnost, zda máme k dispozici třeba kalibrační snímky a všechny potřebné technické informace nutné pro zpracování obrazů. V praxi se často stává, že je nutné vytvořit speciální software pouze pro zpracování jediné řady obrazů. Relativně nejjednodušší je obvykle zpracování obrazů pořízených na barevný negativní film. Díky mimořádně velkému dynamickému rozsahu současných barevných negativních filmů, který je dán použitím několika citlivých vrstev pro každou barevnou složku a použitím DIR komponent, často stačí výsledný obraz vytvořit pouhým sečtením jednotlivých obrazů. Velmi obtížné je naopak skládání obrazů pořízených digitálními kamerami, neboť obrazy obsahují většinou saturované části (viz obr. 1), ve kterých obraz neobsahuje žádné informace. U takových obrazů je nutné provádět přesnou vzájemnou kalibraci obrazů, a to často iterativně, aby bylo možné všechny obrazy složit do jediného výsledného obrazu. Na první pohled by se mohlo zdát, že díky linearitě v současnosti používaných snímačích prvků (CCD, CMOS) vystačíme při kalibraci obrazů s lineárními transformacemi hodnot pixelů. Bohužel tomu tak v praxi není, neboť vlivy, jako je například vinětace optických systémů nebo rozptýlené světlo v optických systémech a zemské atmosféře, způsobí, že je nutné při kalibraci pracovat s poměrně složitými transformacemi hodnot pixelů, které je často případ od případu nutné volit různě. Příklad složeného obrazu, který vznikl složením celkem 22 obrazů (čtyři z nich jsou na obr. 1) je uveden na obr. 2.



Obr. 2 Výsledný složený obraz sluneční koróny při úplném zatmění Slunce 21. 6. 2001

5 VIZUALIZACE VÝSLEDNÉHO OBRAZU

Jak bylo uvedeno výše, při pořizování obrazů sluneční koróny během úplného zatmění Slunce je nutné počítat s kontrastem až 1 : 1 000 000. Proto výsledný digitální obraz musí mít značný dynamický rozsah, aby se dosáhlo přijatelné kvality. V současnosti používaný software vyvinutý v rámci projektu MMV pracuje s rozsahem 32 bit/pixel, což je teoreticky více než čtyři miliardy diskretních úrovní jasu. V praxi je z nich sice využito jen několik miliónů, avšak lidský zrak je schopen při kontrastu běžném pro dnes používaná zobrazovací zařízení, jako jsou např. počítačové monitory, rozlišit pouze několik set úrovní jasu. Znamená to, že stojíme před zajímavým problémem. Máme sice obrazovou matici, ve které je uložen obraz sluneční koróny, avšak bez dalšího matematického zpracování (vhodné transformace tohoto obrazu) je většina informací obsažených v tomto obraze pro lidský zrak neviditelných. Abychom získali představu, jak má taková transformace vypadat, musíme nejprve zjistit, jak se v principu liší lidský zrak od klasické, resp. digitální fotografie.

1. Klasická i digitální fotografie pracuje na principu měření intenzity světla, které dopadá na citlivou vrstvu resp. jednotlivé obrazové snímačím elementy. Lidský zrak naproti tomu je diferenciální analyzátor, který nemá žádnou schopnost měření intenzity světla. Lidský zrak je pouze schopen srovnávat intenzitu světla v daném bodě s jeho okolím. Navíc velikost a tvar tohoto okolí jsou závislé na vlastnostech pozorovaného obrazu.
2. Lidský zrak nepracuje s řadou po sobě následujících obrazů, jako je tomu u videa, resp. kinematografického filmu. Lidský mozek v podstatě vytváří virtuální model reality, na kterou se díváme, a tento model stále aktualizuje na základě nových diferenciálních měření.
3. Každý obraz pořízený na klasický film i užitím digitální kamery má konstantní technické parametry pro všechny obrazové elementy, tj. zaostření, expozici, citlivost vrstvy, resp. senzoru, atd. Lidský zrak je schopen během vytváření obrazu měnit řadu parametrů, jako zaostření, zaclonění oční čočky, tvar okolí pro srovnávání intenzity světla, vyvážení bílé barvy (přizpůsobení spektrálnímu složení zdroje světla), atd. Souhrnně se souboru těchto vlastností lidského oka říká adaptivita.
4. Lidský zrak je narozdíl od fotografie schopen rekonstruovat chybějící části obrazu na základě dřívějších zkušeností, představivosti a dokonce i na základě ostatních smyslů, které nepracují na sobě nezávisle.

Z výše uvedeného je zřejmé, že pro lidský zrak jsou nejdůležitější vysoké prostorové frekvence, zatímco význam nízkých prostorových frekvencí je velice malý. Řešení se tedy zdá být velmi jednoduché. Sestrojíme filtr typu horní propust, který ponechá v obraze vysoké prostorové frekvence a silně potlačí nízké prostorové frekvence. Tím velmi výrazně poklesne celkový kontrast

obrazu a tím i potřebný počet úrovní, které musí být oko schopno na zobrazovacím zařízení (např. počítačovém monitoru) rozpoznat. Takový filtr se dá sestavit např. užitím konvoluce.

Konvoluce obrazu $A = (a_{k,l})$ s jádrem $C = (c_{i,j})$, ozn. $A * C$, je dána vztahem

$$b_{k,l} = \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r a_{k+i,l+j} c_{i,j},$$

kde $B = (b_{k,l}) = A * C$. K výpočtu konvoluce můžeme též užít dvou-rozměrné diskretní Fourierovy transformace F za využití vztahu

$$F(A * C) = F(A) F(C),$$

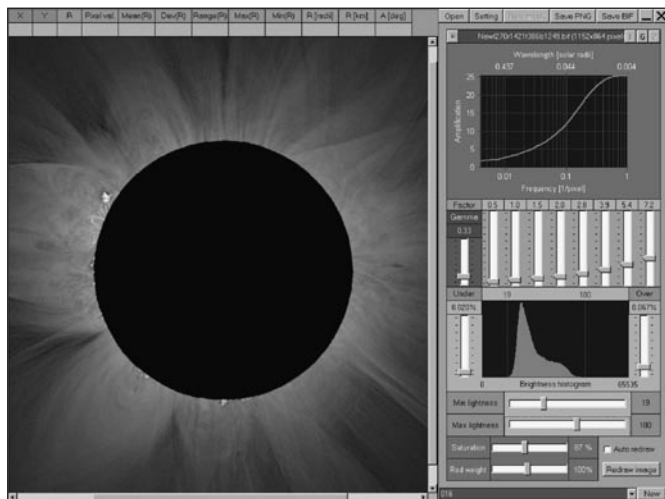
t.j. $B = F^{-1}(F(A) F(C))$.

Prvním závažným problémem je to, že se nám nepodaří nalézt jádro, které by svými vlastnostmi vyhovovalo pro celý obraz. Je to dáno tím, že v blízkosti Slunce mají některé struktury velmi vysoký lokální kontrast (např. protuberance), zatímco ve vzdálenější části koróny se žádné výrazné struktury nevyskytují. Dalším problémem je okrajový jev vzniklý skokovou změnou jasu na okraji černého Měsíce, který zakrývá právě tu nejjasnější část obrazu Slunce a jeho bezprostředního okolí. Abychom dosáhli přijatelného výsledku, musíme se pokusit napodobit adaptivitu lidského zraku. Uživeme k tomu konvoluci s adaptivním jádrem

$$b_{k,l} = \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r a_{k+i,l+j} c(k,l)_{i,j}$$

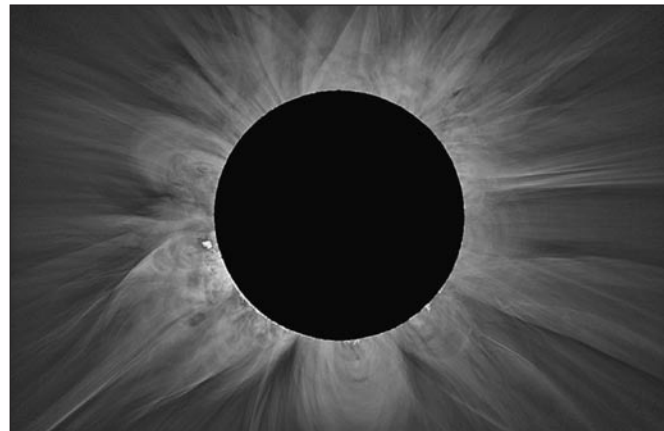
kde jádro $C(k, l) = (c(k, l)_{i,j})$ je proměnné a závisí obecně na k, l . Toto jádro musí být vytvořeno speciálně pro každý obraz a musí splňovat tyto požadavky.

1. Fourierovské spektrum $F(C(k, l))$ musí být reálné nebo přinejmenším fázové spektrum $\arg(F(C(k, l)))$ musí mít všechny prvky velmi blízké nule. Tento požadavek zajišťuje, aby filtr neměnil fáze jednotlivých prostorových frekvencí a tím nevytvářel v obraze falešné struktury.
2. Filtr musí zachovávat vysoké prostorové frekvence a zeslabovat nízké prostorové frekvence. Tento požadavek zajišťuje potřebný pokles globálního kontrastu a tím i počtu potřebných úrovní jasu, které bude muset oko rozlišit při pozorování obrazu.
3. Frekvenční charakteristika filtru musí být nezávislá na směru v obraze, a to alespoň na vysokých prostorových frekvencích. Tento požadavek zajišťuje, že filtr nepotlačuje, resp. nezvýrazňuje, struktury v závislosti na směru a je mimořádně důležitý především pro fyzikální interpretaci struktur ve sluneční koróně.
4. $c(k, l)_{i,j} = 0$ v případě, že $a_{k,i}$ a $a_{l,j}$ náleží zásadně odlišným částem obrazu (např. Měsíc a koróna). Tento požadavek zajišťuje adaptivitu na výrazná rozhraní v obraze a tím odstraní okrajové jevy na těchto rozhraních.



Obr. 3 Grafické rozhraní programu Corona 3.0

Předešlé požadavky kladené na adaptivní jádro pochopitelně neurčují $C(k, l)$ jednoznačně. Proto řada dalších parametrů jádra musí být zvolena experimentálně. Na principu užití adaptivních jader byl vytvořen software Corona (Hana Druckmüllerová 2003, Miloslav Druckmüller 2004). Jeho současná verze 3.0 definuje adaptivní jádro užitím celkem 38 parametrů, které se nastavují interaktivně uživatelem (viz obr. 3). Ukázka výsledného obrazu zpracovaného programem Corona 3.0 je uvedena na obr. 4.



Obr. 4 Obraz sluneční koróny při úplném zatmění Slunce 21. 6. 2001 vzniklý z obr. 2 užitím programu Corona 3.0. Obraz je v současnosti jedním s nejlepších existujících obrazů vnitřní části sluneční koróny. Autoři obrazu Friedhelm Dorst a Miloslav Druckmüller

6 EXPEDICE PACIFIK - PANAMA 2005

V rámci projektu MMV byla až do roku 2005 zpracovávána archivní data pořízená v minulosti (před vznikem projektu) při expedicích za úplnými zatměními Slunce. V roce 2005 se naskytla první příležitost poříditi data v takové podobě, která bude plně podřízena metodám následného numerického zpracování obrazu. Úplné zatmění Slunce 8. 4. 2005 však bylo pozorovatelné jen ve velmi úzkém pásu (maximální šířka pásu asi 25 km), který procházel Tichým oceánem a ani v jediném bodě neprošel pevninou (viz obrázek na zadní straně obálky). Jediným řešením bylo tedy pozorování z lodi. Využili jsme proto možnosti zúčastnit se americké expedice organizované šéfredaktorem časopisu Sky and Telescope Richardem Fienbergem, která měla za úkol pozorovat zatmění v jižní části Tichého oceánu z paluby lodi Discovery. Účastníkem této expedice byl Miloslav Druckmüller. Zatmění bylo viditelné i v Latinské Americe (Kostarika, Panama, Venezuela), avšak již jen jako prstencové, tj. Měsíc měl nepatrně menší úhlové rozměry než Slunce. Vzhledem k tomu, že zatmění v Panamě se blížilo téměř úplnému, chtěli jsme využít této unikátní možnosti ověřit pozorovatelnost nejnvnitřnější části sluneční koróny při tomto typu zatmění. Proto se jsme využili možnosti zúčastnit se americké expedice, jejímiž vedoucími byli pracovníci střediska kosmického výzkumu NASA v Houstonu Paul Maley a astronaut Claude Nicollier, tentokrát do Panamy. Účastníkem expedice byla Hana Druckmüllerová. Na přípravě vědeckého programu expedice a přístrojového vybavení se podílel Ústav matematiky a Ústav fyzikálního inženýrství Fakulty strojnínho inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Akce se uskutečnila pod záštitou děkana FSI VUT v Brně prof. Ing. Josefa Vačkáře, CSc. a byla financována sponzory (další informace lze nalézt na www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Eclipse/Ecl2005d/0-info.htm).

V obou případech byla přibližně padesátiprocentní pravděpodobnost, že počasí umožní pozorování zatmění. Expedice do jižního Pacifiku byla úspěšná a podařilo se získat dostatek obrazových dat pro numerické zpracování (viz zadní strana obálky). Expedice Panama byla kvůli počasí úspěšná jen částečně. Podařilo se sice získat obrazy prstencové fáze zatmění ale nemají kvalitu nutnou pro další numerické zpracování.

Autoři článku jsou uvedeni na 3. straně obálky.

Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. jubilující

Našeho jubilanta zná dnes prakticky každý vědecky činný optik u nás jako průkopníka holografie v českých zemích, každý funkcionář Jednoty českých a slovenských matematiků a fyziků jako dlouholetého činného člena hlavního výboru v Praze, stejně jako učitelská veřejnost v něm vidí garanta české optické terminologie; ve světě se pak ví, že „v Praze dělá holografii Miler“. Tento zasloužilý pražský fyzik však pochází z Moravy, z Olomouce – Hodolan, což mi vždy připomene profesory otce a syna M. Valouchových z Olomouce, kteří také zanechali v Praze brázdu nepominutelnou.

Kdo však zná Milera blíže, ví, že to, co bylo řečeno je sice pravda, ale že to zdaleka nevystihuje „jeho podstatu“, že to není snad jen přísný, suchopárný vědec, ale naopak sportovec, zanícený posluchač vážné hudby, ale hlavně příjemný společník a všuměl, který dovede například kdecu opravit, vystavět a přestavět, zkonstruovat, vypočítat, ale i sklidit vše, co vyústí třeba v dobrou slivovici... Ale ani toto vše by ovšem nestačilo k napsání této spontánní gratulace, kdyby to nebyl především dobrý člověk, kterému proto žádný ze spolužáků neřekl nikdy jinak než Mirek. Mirek Milera znám od studentských let. Tento vždy štíhlý, mladistvě vyhlížející a pro své excelentní sportovní výkony námi všemi obdivovaný kolega však měl po celý život i další dimenze charakteru u sportovců neobvyklé zejména zcela mimořádný zájem o vědu, především o to nejnovější, dosud nehotové, k čemuž byl vždy ochoten a schopen účinně přispět.

Rodina Milerových z Hodolan měla tři syny a dceru, přičemž jubilant se narodil jako druhý dne 11. dubna 1935 v Olomouci. Otec měl malou továrničku na decimální váhy a jako svědomitý odborník a zároveň nadšenec pro tělesnou kulturu viděl svůj vzor v Miroslavu Tyršovi, což se promítlo mimo jiné i do volby jména jeho syna. Jak otcovo postavení, tak matčina nábožensky zakotvená výchova přinesly ovšem nejednou velké obtíže. Zejména se to projevilo po úspěšných státnicích na přírodovědecké fakultě VŠP v Olomouci, kdy se sice profesori Fuka, Havelka a Metelka shodli na tom, že by po krátké praxi profesora na střední škole (JŠŠ v Lipníku nad Bečvou) mohl nastoupit jako asistent na fakultě, ale to se neuskutečnilo pro negativní výsledek prověrky na škole právě pro „nevypořádaní se s náboženskou otázkou“. V takových případech ovšem následoval odchod z místa učitele a nástup především do zemědělského sektoru. Mirek si však představoval, že by snad mohl nastoupit v přerovské Meoptě a při cestách ze školy v Lipníku si ji při přesezení v Přerově šel obhlédnout. Dovnitř se však neodvážil, protože tam tehdy neměl žádnou kontaktní osobu. Náhodou však jednou v Přerově na nádraží potkal prof. Havelku, který byl tehdy ředitelem Laboratoře optiky ČSAV a ten mu nabídl asistentenské místo tam, protože „v Akademii se na to tak nehledí“. Vyzval ho, aby si přišel pro tzv. kádrový dotazník. Mirek ovšem zůstal skeptikem i k této možnosti a rozhodl se odejít do Prahy teprve, když mu Havelka příslušný kádrový dotazník po svém asistentovi poslal. Výsledkem bylo, že nastoupil roku 1959 do oddělení infračerveného záření této Laboratoře k RNDr. Ing. Antonínu Vaško – a v Akademii věd už zůstal dodnes, čili plných 46 let. Život v Akademii věd, kde je třeba neustále vykazovat nové výsledky, ovšem nebyl snadný. A jestliže přesto „přežil“, stal se v obdobích odlivů socialistického fundamentalismu (tj. šedesátá a osmdesátá léta) kandidátem a doktorem fyzikálně-matematických věd a posléze po r. 1989 zástupcem ředitele velkého Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV v Praze – Kobylisích, je zřejmé, že se tak mohlo stát jedině proto, že za něj „mluvily“ výrazné vědecké výsledky, z nichž alespoň některé nejznámější připomeneme.

Jeho fyzikální koncepce, znalosti a pedagogické mistrovství se zrcadlí v sedmi monografiích:



Fyzika a holografické difrakční struktury. U tohoto díla je editorem a autorem nebo spoluautorem ve všech kapitolách. Dílo bylo vydáno JČSMF roku 1988 a uplatňuje se zejména v laboratorní praxi z optoelektroniky pro studenty Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy.

Teoretické, experimentální a aplikační principy holografie vystihují jeho knihy Holografie (SNTL Praha 1974), její upravený a rozšířený německý překlad Optische Holographie (Karl Thieme, München 1979) a ruský překlad Optičeskaja Golografia (Leningrad 1979) s úvodním slovem jednoho z klasiků holografie J. Děnisjuka..

Miler zorganizoval v rámci tzv. Lidové Univerzity vědy, techniky a umění v r. 1971 kurzy holografie a v této souvislosti editoval dvoudílný sborník

přednášek Optická holografie (Praha, 1971 s reedicemi 1972-3 v Českých Budějovicích a Olomouci), v němž je autorem několika statí. Je to vůbec první monografická práce o holografii u nás.

Pro studenty postgraduálního studia Mikroelektronika a optoelektronika na FEL ČVUT v Praze a na MFF UK v Praze vydal zkrácenou skriptu Základy optické holografie (ÚŘE ČSAV, Praha 1980).

Do encyklopedie M. Vrbová (Ed): Oborová encyklopedie lasery a moderní optika (Prométheus, Praha 1994), Miler zpracoval holografická hesla

Na to, že Miler není v optice pouze znalcem holografie, ukazují spoluautorství dalších monografií

Technika zobrazení fyzikálních polí (spoluautor J. Sequens; studie ČSAV č. 15/1980), stejně jako Vibrační spektroskopie (spoluautor V. Malíšek, SNTL Praha 1966) a její rozšířená anglická verze Vibration Spectroscopy (spoluautor V. Malíšek; Butterworth & Co Ltd. – Iliffe Books Ltd. London 1970).

V minulém desetiletí byl vyzván účastnit se jako lektor na Letní škole o difrakční optice a mikrooptice. Do sborníku S. Martellucci, A. N. Chester (Eds): Diffractive Optics and Optical Microsystems (Plenum Press, New York 1997) napsal stať o difrakčních prvcích pro navazování optického záření. Také se zúčastnil prací na Výkladovém slovníku fyziky pro základní vysokoškolský kurz (hlavní autoři E. Mechlová a K. Košťál; Prométheus Praha 1999). Miler je garantem optické části a autorem asi poloviny jejích kapitol.

Tento výčet není zdaleka úplný, ale domnívám se, že postačuje k tomu, aby se jejich čtenář stal odborníkem v holografii. Až nepřehledně rozsáhlá je Milerova účast jak na řešení nejruznějších výzkumných projektů jak v rámci někdejšího státního plánu základního výzkumu, tak v rámci grantů GA ČR a GAAV. Nejzávažnější teoretické výsledky zachycují stovky původních vědeckých prací, článků (většinou v angličtině) a přednášek na mezinárodních konferencích.

Rozsáhlá je však také Milerova aplikační aktivita, zejména:

Vývoj a výroba rovinných holografických spektroskopických mřížek (pro detektory kapalínových chromatografů z let 1979 – 1990). Odebíraly je v desítkových počtech za rok pracoviště ČSAV a poté stovkových počtech Laboratorní přístroje.

Vývoj a výroba přístroje pro průběžné bezdotykové měření průměru optických vláken založeného na holografickém rozmítači laserového paprsku (1983 – 1990), pro vnitrostátní zákazníkы a také i pro IRE AN SSSR Moskva.

Vývoj velkoplošných holografických zkřížených mřížek pro odměřovací účely u krokových maskovacích kamer (1987 – 1990) určených pro tehdejší Tesla Elstroj.

Miler získal se spolupracovníky z ÚŘE ČSAV a odjinud řadu patentů a autorských osvědčení, zejména za zařízení pro bezdotykové měření (s M. Trískovou, M. Skalským, autorské osvědčení 255153 z 27. 10. 1987, se Z. Mošnou, autorské osvědčení 257716 z 24. 2. 1988, s I. Gregorou, M. Ježkem, R. Sailerem, autorské

osvědčení 273925 z 28. 12. 1990, s P. Burianem, I. Gregorou, J. Lochmanem patent 275586 z 25. 11. 1991, s J. Jantou, patent 276759 z 24. 6. 1992).

Dále se spolupracovníky získal autorská osvědčení pro zařízení k výrobě holografické mřížky, způsob omezení parazitní interference při výrobě holografické mřížky, zařízení k zobrazení optické deflekční funkce, mřížkové odměřovací zařízení, zařízení k nastavení polarizace laserového paprsku a zařízení laserové bezúhlové tiskárny.

Rozsáhlá je Milerova činnost ve vědeckých společnostech a orgánech, zejména v JČSMF a v JČMF a v České a Slovenské společnosti pro fotoniku, v redakční radě časopisu *Optica Applicata*. V době svého působení jako vědeckého zástupce ředitele ÚRE vydal čtyři dvouročenky ústavu *Review of Activities of IREE AS*

CR. Rozsáhlá je jeho oponentská činnost prací disertačních i prací pro jmenování profesory a docenty, stejně jako podíl na výchově studentů a vědeckých pracovníků a v neposlední řadě i jeho pedagogická praxe na vysokých školách.

Uvážíme-li, že vedle toho všeho se stará o nemovitosti v Praze a v Olomouci, vidíme, že jeho život byl vždy více než naplněn prací. Patrně i proto žije dodnes sám, přičemž však nezištně podporuje a pečuje o děti svých sourozenců. Zaslouží si tedy nejen náš obdiv, ale i přání vydržet i nadále v tomto pracovním tempu a úspěších, jež dodnes nezaznamenávají ani nejmenší retardaci.

Mirku, necht' je tomu tak ad multos annos!

Vladimír Malíšek, Olomouc

Výjezdní zasedání rozšířeného výboru Odborné sekce JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA při České strojnické společnosti

V úterý dne 6. září 2005 se v zasedací místnosti Ústavu fyzikálního inženýrství Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně konalo výjezdní zasedání rozšířeného výboru Odborné sekce Jemná mechanika a optika (OS JMO) při České strojnické společnosti (ČSS). Tohoto zasedání se zúčastnilo kromě osmi stálých členů výboru i několik pozvaných hostů, kteří projevíli zájem o odbornou činnost sekce.

V úvodní části bylo tradičně projednáno vše, co souviselo s činností sekce za uplynulé období od minulé schůze výboru v Praze dne 14. prosince 2004. Jednalo se především o zastoupení sekce v českém komitétu Mezinárodní komise pro optiku (ICO - ČKO), neboť každé sdružení optické obce ČR bylo vyzváno k nominaci svých členů do voleb nového výboru ČKO. Za OS JMO bylo navrženo celkem 11 kandidátů, z toho 5 stálých členů výboru jmenovitě: RNDr. Vladimír Chlup, RNDr. Zbyněk Melich, prof. RNDr. Antonín Mikš, CSc., doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. a doc. Ing. Josef Zicha, CSc. Dále byli účastníci zasedání seznámeni s dopisem předsedy ČSS Ing. Vladimíra Taláška, CSc. o opatření Rady ČSS ke zvýšení odborné úrovně i ekonomické efektivity odborných akcí ČSS a předání návrhů na vyznamenání ČSVTS. Členové výboru po krátké věcné diskusi vzali tyto dva požadavky Rady ČSS

na vědomí, ale konkrétní návrh na vyznamenání ČSVTS nemohl být akceptován z důvodu již prošlého termínu podávání návrhů do sekretariátu ČSS.

V další části zasedání byl předsedou sekce Ing. Jiřím Krškem podán historický přehled činnosti OS JMO ČSS od jejího založení v roce 1972 až po současnost, který byl doplněn vzpomínkami prof. MUDr. Mojmíra Petráně, CSc., pamětníka tohoto ustavujícího zasedání dne 29. února 1972 v Praze ve Filmovém klubu na Národní třídě.

Informaci o průběhu slavnostního pracovního zasedání Redakční rady časopisu *Jemná mechanika a optika* k 50. výročí vydávání tohoto odborného periodika u vydavatele Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR dne 28. června 2005 v Praze podal přítomný předseda Redakční rady časopisu RNDr. Miloslav Vychodil, CSc.

O informačním zastoupení OS JMO v rámci všech sdružení hlásících se k optice a jemné mechanice v ČR názorně předvedl při současné projekci z databáze www.opto.cz RNDr. Vladimír Chlup. V závěru zasedání bylo diskutováno o aktuálních odborných akcích, rozvoji oboru v rámci mezinárodní spolupráce, doporučeno oslovit mladé vědeckotechnické pracovníky k zapojení do aktivní odborné i spolkové činnosti sekce. Diskuse byla zakončena zástupcem fy. LIMTEK, Blansko RNDr. Jiřím Zemanem, který seznámil přítomné s novým typem vyráběného laserového interferenčního měřicího systému LIMS, u něhož veškerá propojení mezi měřicími jednotkami jsou čistě optická a bezdrátová.

Program výjezdního zasedání OS JMO byl v odpoledních hodinách završen zvanou přednáškou prof. RNDr. Miloslava Druckmüllera, CSc. o expedici za hybridním zatměním Slunce v dubnu tohoto roku, pozorovaném na palubě lodi *Discovery* plující po vlnách Tichého oceánu. Velmi poutavá přednáška, doplněná vynikající fotodokumentací a speciálně zpracované záběry sluneční koróny, získané při úplném zatmění Slunce, navodily u mnohých posluchačů dojem blížící se téměř k přímé účasti na této jedinečné expedici. Více podrobností je možné vyhledat na www.zam.fme.vutbr.cz/~druck a v odborném článku JMO č. 10, strana 302 včetně barevných foto na obálce tohoto časopisu.

Ing. Jiří Kršek
předseda OS JMO ČSS



Veletrh AQUA-THERM již podvanácté



Pro odborníky i laickou veřejnost se bude konat na Výstavišti v Praze-Holešovicích ve dnech 22. až 26. listopadu 12. mezinárodní odborný veletrh vytápění, ventilace, klimatizační, měřicí,

regulační, sanitární a ekologické techniky AQUA-THERM INTERNATIONAL PRAHA 2005. Ve všech výstavních pavilonech, přídatných montovaných halách před Průmyslovým palácem i na volných plochách v celkovém rozsahu 28 000 m² se představí vše nejnovější a nejlepší z oboru technických zařízení budov (TZB).

Veletrh AQUA-THERM se konají v licenci pobočky mezinárodní organizace Reed Messe Wien v 10 evropských městech. U nás je pořádá pražská agentura Progres Partners Advertising s.r.o. pod záštitou Ministerstva životního prostředí ČR, Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, Hospodářské komory ČR a Hospodářské komory hl. m. Prahy s odbornou garancí Svazu podnikatelů v oboru technických zařízení ČR, Asociace odborných velkoobchodů a s nově přistoupiší Společností pro techniku prostředí.

Tento pražský veletrh si po celá léta zachovává vysokou mezinárodní odbornou úroveň a jasně předstihuje obdobné akce, které se konají v České republice i blízkém zahraničí. Řada firem, které se dříve prezentovaly samostatně, se sloučily a někteří zahraniční vystavovatelé si našli tuzemské zástupce. Tato postupná koncentrace v oboru, pokud jde o výrobce i poskytovatele služeb, se poněkud projevila v poklesu celkového počtu vystavovatelů oproti předchozím rekordním roků. Na rozsahu a úrovni veletrhu v Praze to však nic neubralo.

Loňský ročník byl opět větší a úspěšnější. Do Prahy se sjelo 455 vystavovatelů z patnácti zemí a shlédlo jej přes 42 000 návštěvníků, z nichž bylo 2100 ze zahraničí. Z toho 28 000 byli obchodníci a odborníci. Podstatně se rozšířil odborný doprovodný program, který zahrnoval nejen tradiční mezinárodní konferenci Východ, zastřešovanou Ústředním svazem SHK v Německu, ale také konference

TZB a Slunce 2004, týkající se nízkoenergetické výstavby, úspor energií, obnovitelných zdrojů a využívání solární energie. V těchto oblastech také podstatně vzrostl počet vystavovatelů.

Letos se zvýší počet zahraničních vystavovatelů, kteří objevili kouzlo veletrhu AQUA-THERM v Praze po vstupu České republiky do Evropské unie. Vedle tradičních kolektivních expozic Německa, Itálie a v loňském roce i Turecka se zúčastní ve společných expozicích také Španělsko, Čína a dalších zemí.

Nomenklatura veletrhu zůstává téměř nezměněna a je zaměřena na hlavní obory TZB: zdroje tepla a odvoody spalin; rozvody, armatury, regulace, měření a služby pro dálkové sítě, místní sítě a přípojky; vytápění, potrubní rozvody, armatury, regulace a měření v budovách; čerpadla, dmychadla, kompresory, ventilátory; klimatizace, větrání, čištění, odsávání, sušení vzduchu a plynu; chlazení; zdravotní technika a zařizovací předměty; izolace; montážní, servisní a provozní služby, nářadí a příslušenství, bezpečnost práce; ekologické, ekonomické a úsporné využití energie; sauny, bazény, solária; informatika a poradenství pro podnikatele a občany.

V doprovodném programu veletrhu s odbornou garancí Společnosti pro techniku prostředí se budou konat Konference TZB 2005 – Nízkoenergetická výstavba:

ve středu 23. 11. – Ekonomické hodnocení cílené energetické regenerace budov. Zvyšování hospodárnosti provozu systémů TZB.

ve čtvrtek 24. 11. – Nová evropská legislativa v TZB.

v pátek 25. 11. – Vytápění, větrání a chlazení obytných budov.

Veletrh je přístupný denně od 10 do 18 hodin, poslední den od 10 do 16 hodin. Denní vstupenka stojí 60 Kč, zlevněná 30 Kč. Další informace o veletrhu, doprovodném programu a připravovaném dění na výstavišti lze najít na internetu www.ppa.cz, www.tzb-info.cz nebo na adrese pořadatele Progres Partners Advertising s.r.o., Opletalova 55, 110 00 Praha 1, tel.: 224 234 274, fax: 224 235 033, e-mail: info@ppa.cz.

(jpe)

Z technické knihovny

Albrecht H. - Damaschke N.: Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques. Springer Verlag, Berlin 2003. 738 stran, ISBN: 3-540-67838-7, 139 EUR

Optické měřicí metody jsou široce využívány v mnoha oblastech vědy a techniky ke zjišťování nejrůznějších fyzikálních vlastností materiálů a geometrických parametrů vyšetřovaných objektů. Jednou z vysoce rozvinutých skupin těchto metod jsou tzv. dopplerovské měřicí metody, které, jak již z jejich názvu vyplývá, jsou založeny na principu Dopplerova jevu pro optické záření. Metody se používají zejména pro sledování a analýzu dynamického chování tekutin při proudění a pro měření vibrační objektů. Předložená kniha se snaží poskytnout celkový pohled na teorii a možné aplikace těchto měřicích technik v oblasti měření proudění tekutin. Měřicí metody jsou založeny na detekci záření rozptýleného na malých částicích, které jsou přítomny v dané tekutině, přičemž je možno určit jak rychlost jejich proudění tak geometrické parametry těchto proudících částic.

Publikace je rozdělena na čtyři tématické části, které jsou poté ještě podrobněji strukturovány do jednotlivých kapitol, zabývající se různými aspekty teorie a aplikací metod dopplerovské anemometrie. Kniha je doplněna přehledným rejstříkem, soupisem použitých symbolů a velmi obsáhlým seznamem odborné literatury, který umožňuje další prohloubení předkládané problematiky.

První část knihy je zaměřena na obecné základní pojmy a fyzikální jevy, jež jsou potřebné k dalšímu popisu dopplerovských

měřicích metod. Jsou zde uvedeny jak základy teorie šíření elektromagnetického záření, Dopplerova jevu a základních optických a optoelektronických prvků tak základy teorie rozptylu světla na malých částicích. Ve druhé části jsou popisovány principy dopplerovských měření a měřicích systémů, které jsou používány pro experimentální analýzu proudění tekutin a proudících částic. Jednotlivé podkapitoly této části se zaměřují na popis intenzitního signálu v uvedených metodách, na jeho detekci a zpracování, a podrobnou charakteristiku jednotlivých prvků dopplerovských měřicích systémů. Celá třetí část se věnuje zpracování naměřených dat pomocí různých matematických metod, které umožňují kvantitativně vyhodnotit rychlosti proudění a statisticky charakterizovat velikost proudících částic. Poslední, čtvrtá část knihy se zabývá některými konkrétními praktickými problémy, vyskytujícími se při návrhu měřicích systémů a při měření pomocí uvedených technik.

Kniha je doplněna grafickými ilustracemi, jež vhodně dokreslují význam probírané problematiky. Jednotlivá témata jsou probírána velmi podrobně a pokrývají velice dobře celou oblast měřicích a vyhodnocovacích metod v oblasti laserové dopplerovské anemometrie. Předložená publikace tak představuje asi dosud nejkompletnější příručku v této oblasti. Knihu ocení jistě jak vědečtí pracovníci, kteří se tímto oborem zabývají, tak i pokročilejší studenti a další zájemci o obor optické metrologie a experimentálních metod v oblasti mechaniky tekutin.

J. Novák

CONTENTS

Development and design work in Meopta-optika, a. s.

(J. Sázelová).....279
This article informs about design and development work in Meopta-optika, a. s. and it mentions the software applications which are used by designers of optics, electronics and mechanics during the development of products.

Slovak and Czech physicists debated in Košice

(R. Mlýnek).....281

Depth of field in the digital photography in comparison to classic chemical photography (J. Ponec).....282

Depth of field is one of the most important aspects of photography. Digital cameras bring a whole new set of challenges when it comes to depth of field (depth of focus). A definition of depth of focus based on the angular resolution of a human eye and a relation for a hyperfocal distance computation are presented. The choice of permitted image unsharpness on the storage medium seems crucial. The solution in case of classic photography is known for a long time. In case of digital photography the problem is more complex because of the smaller size of the storage medium and its structure. A computation of permitted unsharpness on photoelectric sensor based on classic photography and a comparison with image cell size are presented. A critical f-number is set in order the defocusing caused by aperture diffraction of the objective does not appear. That is a difficult question, whether to proceed from the differentiability of individual image elements – pixels, or the criterion applicable in classic photography. Image formation using a data interpolation in each image cell of the photosensor makes this situation even much more complicated.

SPIE/CS - The International Society for Optical

Engineering/Czech and Slovak Chapter informs284

Holographic memory - system for recording and reading of information in photorefractive materials by means of holography

(J. Květoň).....285
Holographic memory system is a type of three-dimensional data storage system reaching a high storage density and access time. A spatial light modulator is used for creating binary information

and modulation of laser light. Using different multiplexing methods with two coherent waves we can store a large data volume in different photorefractive materials. This text includes an overview of main characteristics of holographic memory systems.

Microchannel Plates – MCP (T. Medřík).....291

Microchannel Plates are special elements determined for amplifying electromagnetic radiation. Their function is based on the phenomenon of secondary emission. They found the biggest application in NVG and in special detectors. This article describes their basic parameters and characteristics.

20th Congress of the International Commission for Optics

(Changchun, China, 21 – 26 August 2005) (P. Horváth).....300

Mathematical methods of solar corona visualisation

(M. Druckmüller, M. Antoš, H. Druckmüllerová).....302

Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. jubilee (V. Malíšek)305

An outdoor meeting of the extended board of the Professional

Section FINE MECHANICS AND OPTICS at the Czech Engineering Society (J. Kršek).....306

Already twelfth fair AQUA-THERM (jpe).....307

ANOTACE

Pravidelné a náhodné Kochovy fraktály ve fyzikální optice

(P. Neumannová, P. Horváth, P. Šmíd, M. Hrabovský).....294
Článek podává přehled o možnostech využití fraktálů ve fyzikální optice, především o Kochových fraktálech a jejich difrakčních obrazcích. Je definován pojem fraktál a jsou popsány některé základní vlastnosti fraktálů. Navíc jsou také znázorněny konstrukce nejznámějších Kochových křivek. Jsou popsány dosud publikované experimenty difrakce laserového svazku na pravidelných, náhodných a modifikovaných Kochových křivkách a dále jsou ukázány příslušné difrakční obrazce (intenzita rozložení difraktálů). Některé zajímavé vlastnosti těchto difrakčních obrazců jsou diskutovány.

Oprava v článku

Vollkmar Giggel a kol. Technologické postupy ve výrobě přesných asferických ploch v č. 9 /2005 str. 268 došlo při technickém zpracování k záměně v nadpisu originálního článku v německém jazyce za uvedený překlad v českém jazyce. Originální nadpis je: Vollkmar Giggel... Fortschritte in der Herstellung von Präzisionsasphären. Korekturní verze 2. bohužel přišla již po termínu a časopis otiskl původní verzi 1. Za vzniklé chyby se dodatečně čtenářům i autorům omlouváme.