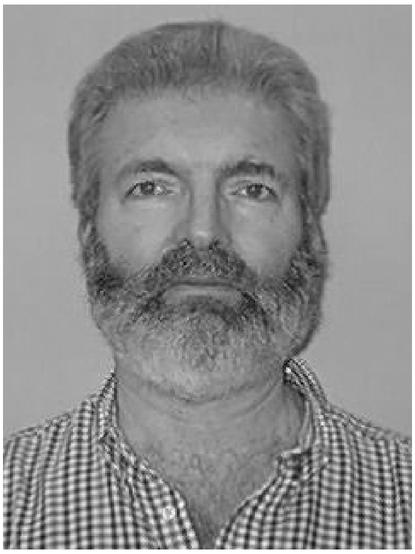


Jozefo J. Lunazzi (1948). Naskiĝis en Argentino kaj tie doktoriĝis pri fiziko. Invitita de la provinca universitato UNICAMP, Campinas, San-Paŭlo, Brazilo, kie li estas profesoro ekde 1976, instruas fizikon kaj esploras la fakon optiko. Komencis holografion en Latinameriko en 1969 kaj laboris en aplikado de holografio al mezurado de dimensiaj ecoj ĝis la jaro 1990. En tiu jaro li sin dediĉis ĉefe al la kreado de teknikoj por fari bildojn. Krom tiurilataj fakaj artikoloj li verkis artikolojn pri bildoj faritaj per Olmekaj speguloj (antaŭ 3000 jaroj), kaj ekster sia fako ankaŭ verkis disvastigajn artikolojn pri Esperanto kaj pri la farinto de la unua aviadilo. Laboris unu jaron en la Pariza Universitato Pierre et Marie Curie kaj vizitis plurajn landojn en la mondo, kie li povis sperti la utilon de Esperanto. Fondis la unuan kurson de Esperanto per Interreto en la portugala lingvo, CER, per kiu jam diplomiĝis pli ol 260 homoj. Pri tiu kaj aliaj E-taskoj li laboras kune kun anoj de Kultura Centro de Esperanto de la urbo Campinas, kies prezidanto li estas nun. TTT-a retadreso: http://geocities.com/lunazzi.

IKU8, ĵaŭdo 10h15-11h15, Hodler

Holografia televido: kiel ĝi eblas?

Os principios físicos e os excelentes resultados de imagens tridimensionais perfeitas obtidas pela holografia fazem a humanidade sonhar em ter uma televisão holográfica. Existem varios sistemas para mostrar imagens tridimensionais em movimento sem a necessidade de acessórios especiais, mas somente alguns desses sistemas mostram a imagem segundo o ponto de vista do observador (com paralaxe). Se acrescentamos a condiĉão de poder ter visão com paralaxe para vários observadores ao mesmo tempo, temos somente dois sistemas que podem fazê-lo, além deste que descrevemos aqui.

The physical principles and excellent results of the perfect three-dimensional images obtained by holography make the world dream of a holographic television. There are some systems that show moving three-dimensional images without the necessity of special accessories, but only a few can show the image in accordance with the point of view of the observer, that is, with parallax. If we add that the parallax viewing must be simultaneous for more than one observer, only two systems exist apart from the one I describe here. Other desirable conditions are:

Outras condiĉões desejáveis são:

• poder obter as imagens por meio de uma câmera, instantâneamente.
• não precisar de grande quantidade de informaĉão.
• funcionar com luz branca, não com lêiser.

O sistema que proponho é o único que tem todas as condiĉões acima indicadas. Baseia-se na captaĉão ou registro por câmara de vídeo de fatias paralelas da cena. Um conjunto de fatias abrangendo a cena inteira constitui uma imagem em volume que pode ser mostrada a um conjunto de espectadores usando a codificaĉão por difraĉão de luz branca e projeĉão sobre uma tela difrativa (holográfica). A mudanĉa rápida de imagens em volume cria a televisão holográfica. O método foi definitivamente provado em 1998 por meio de imagens não captadas, mas desenhadas em computador. A prova para televisão, que começamos a desenvolver, resulta evidente. O tamanho da imagem atinge 500 litros (litro é a unidade que sugerimos para ser aplicada na mediĉão de imagens tridimensionais) por meio de uma tela 0,85 m larga e 1,14 m alta, com capacidade para 6 espectadores simultâneos.

• capturing the images with a camera, instantly.
• not needing to manipulate a large amount of information.
• using not laser, but white light.

Only our system is capable of fulfilling all mentioned conditions. It is based on the acquisition of video images of adjacent slices of the scene, illuminated by a thin vertical line. A set of slices covering the whole scene makes a volume frame visible to the observers by employing white-light diffraction coding and a diffracting (holographic) screen. By rapidly changing volume frames. a volume television can be reached that can be considered to be holographic. The method was demonstrated in 1998 using computer drawings, and the evidence of its ability to show television images is clear. The images reach up to 500 liters in size (liter is the unit proposed here to measure 3D images) with a screen 0,85 m wide and 1,14 m high, for up to six simultaneous spectators.

Holografio kiel kombino de interfero kaj difrakto

Holografio estas tekniko, kiu ebligas vidi tridimensiajn bildojn pli perfekte ol ĉiuj aliaj fotografiaj teknikoj, sen la neceso uzi specialajn okulvitrojn aŭ aparatojn. Hologramojn oni vidas en multaj ellaboraĵoj kiel propagando kaj sekurecaĵoj, en ekspozicioj kaj ankaŭ en revuoj.

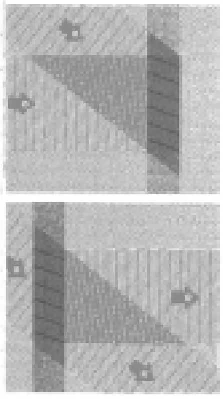
Kiamaniere holografio funkcias, tiel ke ĝi kredigas nin vidi la objekton mem? Por tio mi diras, ke ĝi faras kompletan rekonstruadon de la luma distribuo de la objekto. Mankas al ordinara fotografio la registrado de la angulo de la luma radio. La efekto de la lumo sur la fotografia filmo (mallumo pro absorbado, aŭ iu ajn alia efekto), kiun la radio okazigas, ne grave dependas de la incida angulo.

Holografio registras la lumon pere de multoblaj mikroskopaj franĝoj, kiuj kodigas la incidan angulon de ĉiu radio. Indas klarigi la uzadon de la vorto "radio" ĉi-kaze: ĝi signifas direkton laŭ kiu luma energio iras. Ĝenerale ĝi deflankiĝas, dum ŝanĝiĝas ĝia kvanto, sed en la plej baza uzado oni konsideras ĝin konstanta ene de eta najbara areo. La kodigado okazas per interfera bildo, kiu rezultas havi la saman frekvencon en lumo devenanta de la objekto kaj en lumo aldonita kiel referenco. La distribuado (periodo) de la franĝoj malpligrandiĝas se la angulo inter ambaŭ faskoj grandiĝas kaj ĝia inklino estas perpendikla al la direkto de la ebeno enhavanta ambaŭ radiojn.

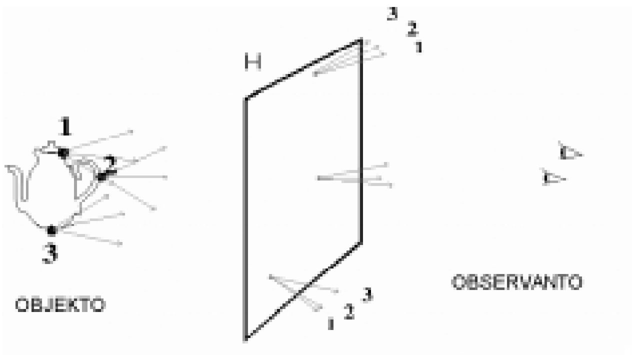
Por ĝeneralaj objektoj, la lumo kiu ilin lumigas iras kiel kompleksa ondo kiun oni nomas "objekta fasko", kaj utilas konsideri ĝin kiel aro da radioj. Pro tio ke la lumo havas ununuran frekvencon, la rezulton de la kuniĝo de pluraj radioj oni povas perfekte reprezenti kiel ununura radio kies direkto ofte ŝanĝiĝas. Sed kiam ĝi atingas la referencan faskon kaj agas sur lumsensebla materialo, ĝi registras loke la interferan figuron, kiu kodigas la tutan kompleksan objektan faskon. La registron oni nomas hologramo, kaj lumigante ĝin laŭ la referenca fasko-direkto, oni sukcesas fari kopion de la originala objekta ondo, kio estas la distribuado de radioj tute egala al tiu, kiu venis de la objekto dum la registrado.

Bildoj 1-2 montras la funkciadon de interfero kaj difrakto kaj bildoj 3-7 montras la funkciadon de holografio.

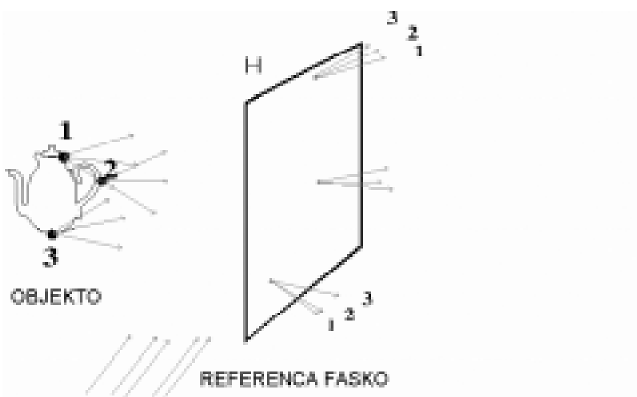
Bildo 1. Interfero okazigas maksimuman intenson en regionoj M, kie ambaŭ ondoj ĉiam koincidas, kaj minimuman en regionoj m, kie ambaŭ ĉiam opozicias.



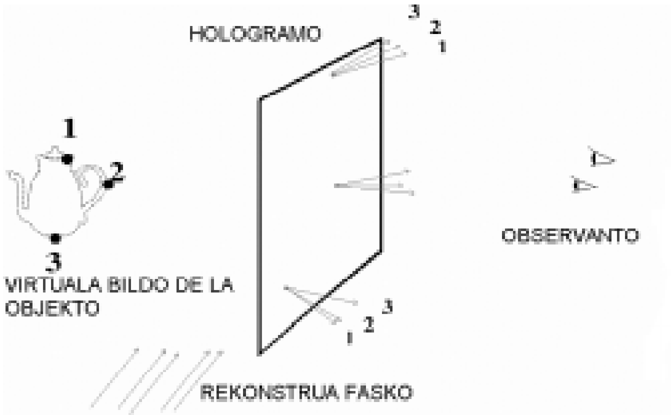
Bildo 2. (supre) Interfero registrita en materialo okazigas sekvencon de maksimuma koncentrado de materialo. (sube) Difrakto per la registro okazigas ondon O′ kiu estas tute simila al la ondo O registrita. Parto de la lumiga ondo R trairas sen ŝanĝi direkton (R′, malpli intensa).



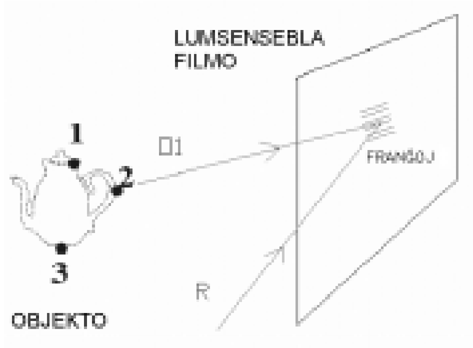
Bildo 3. Lumo de objekto lanĉas radiojn ekde ĉiu punkto kaj laŭ ĉiu direkto. En iu ajn ebeno, kiel H, ĉiu punkto enhavas po unu radion venantan el ĉiu punkto de la objekto: la tuta optika informo de ĝi.



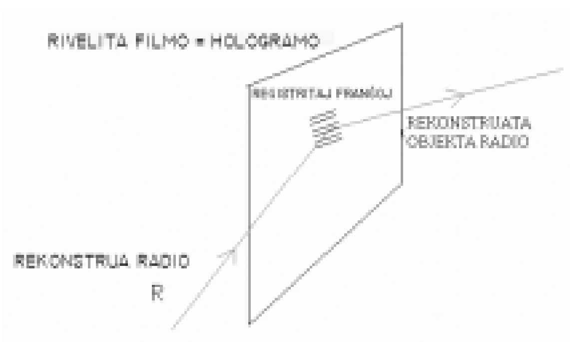
Bildo 4. Konstruado de hologramo postulas referencan faskon el ununurafrekvenca lumo, el la sama klaso kiu lumigas la objekton.



**Bildo 5. Rekonstruado de bildo per hologramo:
rekonstrua fasko estas en sama pozicio kiel referenca fasko.**



**Bildo 6. Rezulto de eta objekta fasko interfere al referenca fasko:
franĝoj kies direkto kaj distanco rilatas al la du anguloj de la objekta radio refere al tiu de la referenca radio. La distanco inter franĝoj (tipe 1 um, po mil franĝoj milimetre) egalas la longecon de ondo (tipe 650 nm) dividite de la adicio de la sinuso de la anguloj.**



**Bildo 7. La rekonstrua radio, difraktata de la registritaj franĝoj, faras perfektan kopion de la objekta radio.
Direkto estas sama kaj intenso proporcia.**

Tiu mirinda fenomeno, perfekta kombino de registrado kaj rekonstruado, okazas pere de la nature reciproka agado de interfero dum la registrado kaj difrakto, fizika procedo kiu regas la luman propagadon dum lumigado de la hologramo. Pro tiu eltrovo okazinta en la jaro 1947[1], oni aljuĝis al la hungaro Dennis Gabor[2] la Nobel-premion pri Fiziko por la jaro 1972. Sendependa tre simila eltrovo okazis en 1958 fare de la ruso Denisyuk[3] kies eltrovo ebligis rekonstrui la bildon per blanka lumo. Kiam oni poste inventis laseran lumon, eblis registri perfektajn tridimensiajn bildojn por spekti tiel nature kiel oni spektas ordinarajn objektojn. Oni eĉ faris cirkaŭ la jaro 1984 registradon de la koloro kaj de iom da movo, la unuajn holografiajn filmojn.

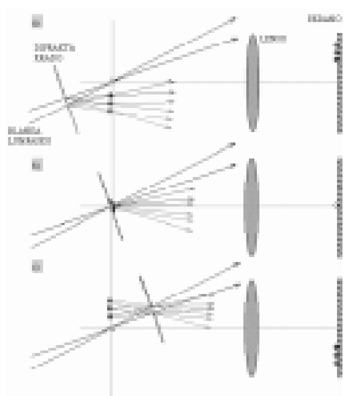
Sed la filmo devas registri tiom da detaloj pro la granda kvanto da franĝoj (po 1.500 milimetre) ke oni ne trovis manieron elektronike fari holografiajn bildojn. Fakte, Benton sukcesis[4] fari bildojn komputile desegnitajn, sed tio postulis laseron por projekcii kaj grandan kvanton da komputkapablo, sen iu ajn maniero kapti realajn bildojn per kamerao.

Tridimensiaj paralaksaj bildoj per difrakto de blanka lumo

Kodigo pere de difrakta krado

Ni malkovris novajn difraktajn propraĵojn por blanka lumo en hologramoj[5] kaj en difrakto per regula krado[6]. Tiu malkovro havas interesan historion ĉar ĝi estis helpita de naŭjaraĝa infano, kiu proponis esplori pri tridimensiaj bildoj en albumo de fotoj de hologramoj. Per tiu propraĵo eblas la kodigo de tridimensiaj bildoj per difrakto kiel unua procedo, kun reciproka malkodigo fare ankaŭ de difrakto.

Bildo 8 montras kiel lumo de objekto produktas spektron kies larĝo kodigas la profundecon rilate al difrakta krado, kaj kies projekciado per lenso (bildo 9) kreas tridimensian bildon de la objekto.



Bildo 8. Blanka lumfonto difraktas kiel spektro kies larĝo proporcias al ĝia profundo.

La vojon de la radioj, kiuj eliras el unu punkto de la objekto oni kalkulas per formulo pri lumdifrakto tra krado de konstanta periodo **d**:

sinuso(**IA**) + sinuso(**DA**) = (**LO**)/**d**

en kiu **IA** estas valoro de la incida angulo, **DA** estas valoro de la difrakta angulo, kaj **LO** estas valoro de la longeco de ondo de la radiado. **IA** kaj **DA** valoras ordinare inter 0-60 gradoj dum **LO** varias inter 400-800 nm kaj **d** estas ĉirkaŭ unu milono da metro.

Trovante la lokon kie ili renkontiĝas, ni trovas kie la bildo okazas. Estas unu bildo po punkto de objekto kaj, por ĉiu punkto de objekto, unu bildo po ĉiu valoro de la longeco de ondo. Por trovi la lokon sufiĉas analizi la vojon de nur du radioj. Tiu tasko estis nefacila en la jaro 1994, kiam okazis tezo prezentita en 1995[7]. Ni devis fari programon por solvi la ekvaciojn, sed nun ni enmetis la koncernajn formulojn en kalkula programo Mathematica 5.0 kaj rapide ricevis la rezulton. Aro da ekvacioj kiuj donas la rezulton estas:

$$z = \frac{z_A \tan\theta - x + x_A}{T(\theta)}$$

(1)

$$T(\theta) = \tan\arcsin\left(\sin\theta - \frac{j\lambda}{d}\right)$$

(2)

$$x = x_A + z_A\left[\frac{T(\theta + \Delta\theta)\tan(\theta - \Delta\theta) - T(\theta - \Delta\theta}{T(\theta + \Delta\theta) - T(\theta - \Delta\theta}\right.$$

(3)

$$z = \frac{z_A \tan(\theta) - x + x_A}{T(\theta)}$$

(4)

$$\arcsin\left(\sin\theta - \frac{j\lambda}{d}\right) = \arctan\left(\frac{x_F - x_A - z_A \tan}{-z_F}\right.$$

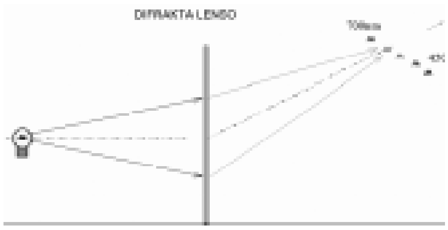
(5)

kie **x**,**z** difinas pozicion de la bildo, $\mathbf{x_A}$,$\mathbf{z_A}$ estas pozicio de la fonto (objekto), q estas la angulo kiu la incida radio faras kun la perpendikla al la difrakta krado. **T**(q) estas difinita en (2) rilate al entjera numero **j**, al longeco de ondo l kaj al **d**, periodo de la krado. x_F,z_F estas pozicio de la observanto (vidpunkto). La bildaro prenas ventumilan formon kies punkta larĝeco valoras proporcie al la distanco inter la objekto kaj la krado, kaj ĝi estas la kodigo, kiun ni projekcias.

Malkodigo per difrakta ekrano

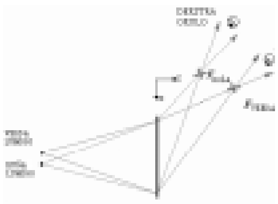
Difrakta ekrano estas optika elemento kiu dissendas lumon laŭ periodeco de ĝia mikroskopa strukturo. Ju pli malgranda la periodo, des pli la lumo estas deturnita de sia originala direkto. Difrakta lenso funkcias per selekta variado de la periodo, tiel ke ĉiu radio venanta el unu eta luma fonto estas deturnita al ununura eta regiono (fokusita lumo). Oni uzas ĝin ordinare per unukolora lumo, kaj estis inventita jam de du jarcentoj. Estas la tiel nomataj "Fresnel-zonoj", selekto de ringoj por permesi la iradon de la lumo, laŭ sekvenco de radioj, kiuj sekvas la proporcion de la dua potenca radiko de entjeraj pozitivaj numeroj.

Historie, la alveno de la holografia tekniko enkondukis la uzon de registrado de interferaj bildoj por uzi ilin kiel difraktaj elementoj. La holografian ekvivalenton de la zonoj de Fresnel oni faras registrante la interferon de la lumo, kiu venas el du etaj fontoj. Oni nomas tiun figuron "Gabor-zonoj" ĉar ĝia profilo ne estas malkontinua kiel duuma funkcio, sed ŝanĝas kontinue kiel sinuso al la dua potenco. Oni uzis tiun specon de lenso kiel ekrano por koncentrigo de lumo, ne fokusante en specifa ponto sed en regiono kiun oni volas atingi per lumo. Oni uzis ĝin ankaŭ kiel lenson, sed ĉiam per unufrekvenca lumo, lasera aŭ tre filtrita blanka lumo. Ni vidas en bildo 9 kiel funkcias tiu speco de lensoj per blanka lumo: havas tro da malsama fokusa distanco laŭ la longeco de ondo.



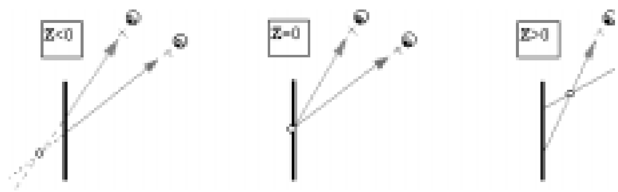
Bildo 9. Miksado de oble fokusitaj bildoj kiam oni uzas difrakta lenso kaj blanka lumo.

Ideo de Lunazzi[8,9] estis projekcii per blanka lumo kodigitan difraktan rezulton. Bildo 10 montras kiel difrakta lenso distribuas lumon laŭ longeco de ondo por malsamaj vidpunktoj de la observanto.



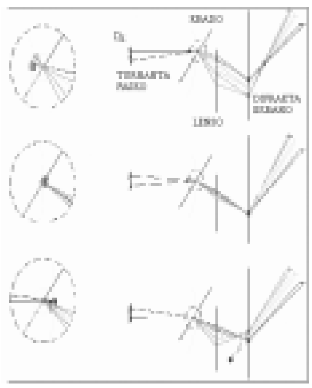
Bildo10. Lumo lanĉita de sama loko atingas vidpunkton laŭ koresponda longeco de ondo.

La distribuado laŭ spektra flanka sekvenco faras lumajn radiojn kun malsamaj frekvencoj, kiuj havas unu komunan lokon en la spaco kie ili renkontiĝas, tiel kreante realan aŭ virtualan bildon for de la ekrano, ne sur la ekrano kiel por ordinara ekrana materialo. Bildo 11 montras kiamaniere la vojo de radio okazigas tion.



Bildo 11. Lumo lanĉita de sama loko sed samtempe fokusita sur difrakta lenso kun flanka distanco kreas bildojn distance Z antaŭ la ekrano laŭ valoro de flanka distanco.

Finfine ni vidas per bildo 12 kiel funkcias la tuta procedo, kodante kaj malkodante bildojn.



Bildo 12. Projektado de fasko difraktita per krado sur difrakta ekrano produktas bildon kies pozicio proporcias al tiu de la origina fonto rilate al la difrakta krado. La proporcio povas esti direkta, aŭ inversa kiel en tiu ĉi kazo.

Malgraŭ la kombino de ĉiu radiado en unu bildan punkton kies frekvenco-distribuo estas la sama kiel tiu de la objekta luma punkto, spektanto vidas la rezulton laŭ malsamaj frekvencoj, ĉar la frekvenco dependas de la pozicio por ĉiu okulo. La spektanto vidas la bildon paralakse kaj tridimensie, sed ŝanĝante la koloron dum la paralaksa vidpunkto ŝanĝiĝas. Horizontala pozicio faras do malverajn kolorojn por la bildo, sed estonta pligrandigado de la difrakta povo de la ekrano povos montri la bildon almenaŭ unukolora, aŭ eĉ kolora per kombino de tri bazaj komponantoj ruĝa, verda kaj blua. La pozicio por la spektanto antaŭ la ekrano estas rezulto de pozicio de ĝia fokuso. La fokusan distancon f oni kalkulas per kombino de la referenca Zr kaj objekta Zo fasko-distanco[10]:

$$1/f = 1/Zo - 1/Zr$$

kaj la plej taŭga pozicio Zs por la spektanto estas je distanco koresponda al bilda formulo:

$$1/Zs = 1f - 1/Zl$$

kie Zl estas la distanco koresponda al la lumiga projekciilo.

Uzmaniero de la kodiga-malkodiga fenomeno por televido

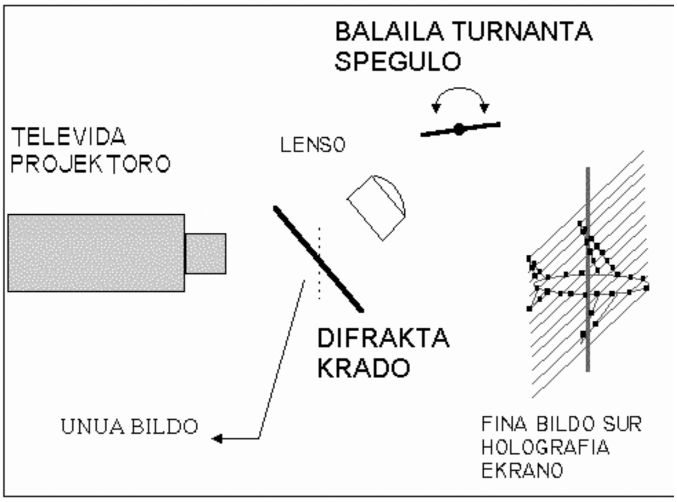
Ni ĉi-supre montris kiel projekcii la bildon de ordinaraj objektoj, sed oni povas profiti la fenomenon por plurmaniere montri bildojn sur la ekrano[11]. Unu el ili estas uzi kodigon, kiu okazas en ordinara hologramo por pligrandigi la holografian bildon[5,12]. Oni povis tiamaniere fari la unuan holografian kinon per blanka lumo, kaj ni sukcesis fari bildojn dudekoble pli grandajn ol la objekto (pligrandigo x20).

Niaj bildoj superas ĉiun tridimensian paralaksan sistemon konatan: ili atingas 3.000 litrojn (ĝenerale oni indikas nur la horizontalan kaj vertikalan grandon de tridimensiaj bildoj, sed la profundeco foje estas limigita kaj ne indikita: pro tio mi proponas mezuri la grandon de tridimensiaj bildoj laŭ ilia volumeno kaj la mezurunuo estu la litro).

Nia metodo ebligas grandajn bildojn ĉar la grando de farebla ekrano egalas al la grando de farebla hologramo sur plasta filmo. Pri la pozicio de spektantoj, ni jam pruvis ke ĝi povas esti tiel proksima kiel 1 m, donante 45 gradan plenumadon de la panoramo antaŭ ties okuloj, aŭ tiel malproksima kiel 20 m, konvena por eventuala spektado en teatra scenejo.

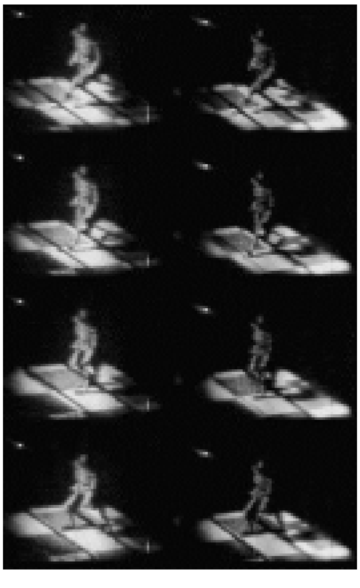
Por elektronikaj bildoj ne eblas registri la profundon laŭ klasika holografia maniero ĉar, eĉ se oni uzus multekostan potencan laseron, la interferaj franĝoj estas tiel maldikaj ke neniu elektronika kamerao kapablas registri, eĉ ne proksimume. Registri la difraktan kodigon de blanka lumo laŭ nia metodo ankaŭ ne eblas ĉar la lumkapta materialo ne havas la kapablon rekoni longecon de ondo de la radioj, kaj eĉ se ĝi tion havus, ne eblus reprodukti ĝin.

Ni trovis solvon por la problemo de elektronikaj bildoj, inkluzive de televido, pere de kodiga tekniko por dudimensiaj bildoj: se oni projekcias la bildon de elektronika ekrano tra difrakta krado, kaj poste projekcias la difraktan rezulton sur difrakta ekrano, la inklino de la bildo de la ekrano estas kodigata kaj projekciata, tiel ke oni vidas la bildon trairi la ekranon laŭ inklino, kiu povas atingi 45 gradojn. Kontrolata turnebla speguleto tuj post la dua projekcia lenso tiel montras sekvencon de ebenaj bildoj unu flanke de la alia, kaj pro rapido de la tempa sekvenco eblas vidi ĉiujn kune, formantajn volumenon apud la ekrano. Bildo 13 montras skizon pri la metodo.



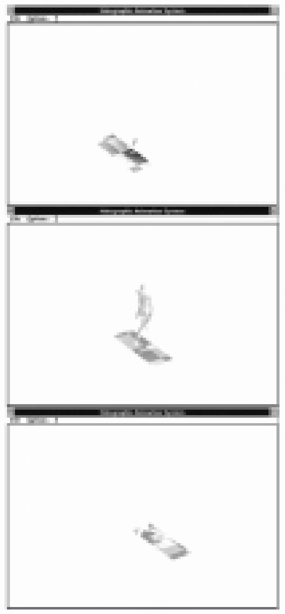
Bildo 13. Projektado da sekvenco da inklinaj ebenaj bildoj plenumantaj volumenon apud ebena ekrano.

La laboro por tiu metodo komenciĝis en la jaro 1996 kiel konsekvenco de rezulto de tezo[13], kiu pruvis la bonan funkciadon de la principo kaj atingis bonan rezulton en la komenco de 1998, kiam du tezoj estis prezentitaj[14,15]. Ni faris komputile desegnitajn filmojn sur ekrano 0,85 m larĝa kaj 1,14 m alta, rapida cikla filmo, kiu enhavis kvar volumenajn bildojn; ĉiu bildo konsistis el kvar ebenoj, kiujn oni perceptas samtempe pro daŭro de bildo sur la retino.



Bildo 14. Rezulto kiel kvar volumenaj bildoj kiuj fariĝas cikla movo. Maldekstra kolono montras la vidpunkton korespondan al maldekstra okulo de observanto, dekstra kolono simile por la dekstra okula vidpunkto. La observanto ricevas malsamajn perspektivojn, se li/ŝi ŝanĝas la horizontalan pozicion de sia kapo.

Bildo 15 montras kiumaniere la ceno estas komponata de tri detranĉitaj partoj.



Bildo 15. Tri dudimensiaj ebenaj tranĉoj (negative) el tridimensia ceno, laŭ inklino korespondanta al ĝia apero traversante la ekrano.

La ĉambro devas esti malhela. Ĉar la efiko de difrakto estas malpli ol 30%, oni perdas por la bildo plimalpli 95% de la projekcianta lumo. Ĉar ne facile eblas kunporti la sistemon por montri ĝin ekster laboratorio, ni ordinare montras filmon pri ĝi, faritan per kamerao turniĝanta apud la holobildo tiel ke oni vidas ŝanĝon de perspektivo en la holobildo, kiu aperas en pozicio for de la ekrano, ĉar oni vidas iun objekton for de la ekrano aperantan laŭ la sama perspektivo.

Per "holobildo" mi celas ĉiun bildon, kiu havas almenaŭ horizontalan paralakson videblan sen bezoni iun ajn aldonaĵon por la spektanto. Ni komencis ekzameni la televidan rezulton: lumigante objekton per vertikala lumlinio, vidkamerao kaptas tranĉojn de la sceno laŭ 45 gradoj, kiuj estas sekve projekciataj kaj vidataj en la sistemo. La rezulto estis jam sufiĉe bona, la temon ni lasas por detaligi en estonta artikolo. Sufiĉas nun, ke la leganto komprenu la tutan eblon, kiun la sistemo havas por holotelevido. Ekzistas loko en interreto por pli da informoj, fotoj kaj vidmaterialo[16].

Uzita materialo

Ni uzis komputilon PC 486 kun eliro al videoprojekciilo per komputila karto TARGA +32. La bildoj, kiujn la komputilo havis, estis desegnitaj per tridimensia programo en komputilo Pentium I 233 MHz, selektante tranĉojn laŭ 45 gradoj. La videoprojekciilo estis el marko SHARP, kun likvida kristala aranĝo (LCD) por

konverti elektronikan bildon al luma bildo. Ni inversigis la pozicion de la projekcia lenso por projekcii la bildon el la LCD-a matrico al la difrakta krado. Tiu krado farita per holografio funkciis transmitante kaj grandis 5 cm x 5 cm, enhavante plimalpli po 1.200 linioj/milimetre. Ni uzis fotografian PENTAX lenson kun fokusa distanco je 90 mm kaj luma malferma proporcio je f:2,8 por projekcii la difraktan faskon al la ekrano per moviĝanta 4 cm x 4 cm plasta spegulo.

La turnebla spegulo estis kontrolata de la PC 486-komputilo, kiu turnis ĝin sinkrone al la ŝanĝo de bildo (ĉiu tranĉo de la sceno). Ĝi estis farita per paŝmotoro kaj regcirkvito prenita el komputila disklegilo. La angulo farita de la akso de la spegulo po paŝo estis malgranda (pli-malpli unu grado) pro stango kiu rilatigas la akson de la motoro al la akso de la spegulo, movata per elipsa peco. La movo estis sufiĉe rapida por garantii la daŭron de la projekciitaj bildoj en la memoro de la observanto dum unu ciklo. La difrakta, tiel nomata "holografia" ekrano ekzistis de antaŭa laboro kaj estis farita per holografia filmo AGFA 8E75, kiu holografie registris laseran lumon el vertikala 2,5 mm dika kaj 300 mm alta vitra difuzanta surfaco. 3 ms rapida lasera lumo el rubena lasero kreis la objektan kaj referencan faskojn per sistemo de lensoj, parta spegulo, malkonverĝa lenso, du 0,6 m x 0,8 m speguloj reflektantaj je la unua surfaco, kaj du cilindraj lensoj faritaj el ordinara glaso plenumita per akvo kaj vitra tubo 0,5 m longa kaj 5 cm laŭ diametro, ankaŭ plenumita per akvo. La angulo de la referenca fasko estis 45 gradoj, la distanco inter la difuzanta objekto kaj la holografia filmo estis 54 cm kaj la distanco por la referenca malkonverĝa fasko estis proksimume 7 m. Post la rapida ekspono (unu lasera pulso) ni faris riveladon kaj kemia konverto de la nigra arĝenta materialo de la eksponita filmo al travidebla arĝenta salo. Oni lumigas la ekranon laŭ direkto inversa al tiu de la referenca fasko, dista je 5 m kaj minimume tri spektantoj kapablas samtempe observi la bildojn el distanco de 1-3 m.

Dankoj

J.J. Lunazzi dankas pro helpo dum tiu laboro al la pluraj lernantoj kiuj dum deko da jaroj kunlaboris en la temo, al Dro. Lucila Cescato pro farado de la difrakta krado, al s-ano James R. Piton pro gramatika reviziado kaj al s-ano. L.F. Portella pro donaco de teknika Esperanta-portugala digitala vortaro pri fiziko kompilita de li mem.

Notoj

1. D. Gabor, "A New Microscopic Principle", Nature 161, 777 (1948).
2. Sveda Akademio pri Scienco http://nobel.se/laureates/physics-1971-1-autobio.html
3. Yu. N. Denisyuk, "Photographic Reconstruction of the Optical Properties of an Object in Its Own Scattered Radiation field", Sov. Phys.-Dokl. 7, 543 (1962)

4. S.A. Benton kaj aliaj, Proc. SPIE (1993) 536
5. Lunazzi, J.J., "3D Photography by holography", Opt.Eng. V29 N1 (1990) p.9-14, kovrilo kaj editora komento dediĉita al tiu artikolo, kun 3 koloraj bildoj kaj 3D okulvitroj. Konektis holografion kun fotografion.
6. Lunazzi,J.J.,"Holophotography with a diffraction grating", Opt.Eng.V29 N1 (1990) pp.15-18. Proponas originalan teknikon por senlasera holografio.
7. J.M.J.Ocampo, "Estudo de imagens geradas sob luz branca por rede de difração", magistra tezo, UNICAMP-IF, Brazilo,1995.
8. Lunazzi, J.J., franca patento N° 8907241 (1992).
9. Lunazzi, J.J., SPIE 1667, 289 (1992)
10. Collier, R.J., kaj aliaj, "Optical Holography", Ac. Press 1971, ĉ. 2, p.71.
11. Lunazzi, J.J., Boone, P.M., "3D image projection using large diffraction screens", SPIE 2333, Proc. of the International Symposium on Display Holography, Lake Forest, USA, 1994.07.15-18, p.449-453.
12. Lunazzi, J.J., "Enlarging Holograms Under White Light", Proc. of the 17th General Meeting of the International Commission for Optics, Taejeon, Korea, 19-23.08.96, SPIE V 2778 p.469-470.
13. Diamand, M., magistra tezo, UNICAMP-FEE-Brazilo (1994).
14. Bertini,E., magistra tezo UNICAMP-IC- Brazilo: "Visualização por computador por meio de holoprojetores", 1998.
15. G. da Fonseca, E., magistra tezo UNICAMP-IC-Brazilo, "Dois sistemas para animação holográfica", 1998.
16. Scienca TTT-paĝo de J.J. Lunazzi ĉe http://geocities.com/lunazzi