PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:
2000 -3912

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.[7]:
G 06 T 15/00

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **20.04.1999**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **20.04.1998 20.11.1998 14.04.1999**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1998/082442 1998/196553 1999/291315**

(33) Země priority: **US US US**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **13.06.2001**
(Věstník č. 6/2001)

(86) PCT číslo: **PCT/US99/08618**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO99/54849**

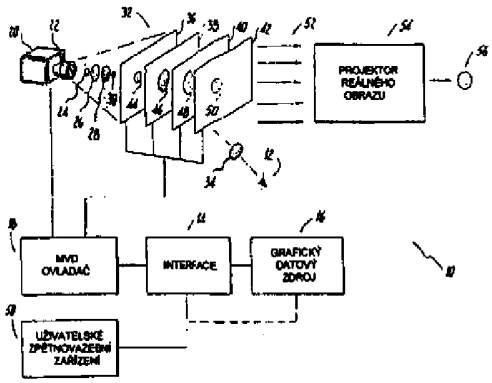
(71) Přihlašovatel:
DIMENSIONAL MEDIA ASSOCIATES, INC., New York, NY, US;

(72) Původce:
Sullivan Alan, White Plains, NY, US;

(74) Zástupce:
Herman Václav Ing., Hlavní 43, Průhonice, 25243;

(54) Název přihlášky vynálezu:

Vícerovinný volumetrický displejový systém a způsob činnosti využívající trojrozměrné protirozostřování



(57) Anotace:

Je popsán vícerovinný displejový systém (10) a způsob činnosti tohoto systému při generování volumetrických trojrozměrných obrazů (34, 56) s použitím vícepovrchového optického zařízení (32), které má určitý počet samostatných optických prvků (36, 38, 40, 42), seřazených v řadě; obrazový projektor (20) pro promítání sady obrazů podle volby na příslušné optické prvky (36, 38, 40, 42) pro účely generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu (34) viditelného ve vícepovrchového optického zařízení (32); a generátor (54) plovoucího obrazu pro promítnutí prvního volumetrického trojrozměrného obrazu (34) při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu (56), jenž lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení (32).Protizostřování seřizje zobrazování voxelů (24, 26, 28, 30) u přechodu mezi optickými prvky (36, 38, 40, 42), takže hodnoty barev voxelů (24, 26, 28, 30) se modifikují jako funkce vzdálenosti voxelů (24, 26, 28, 30) od optických prvků (36, 38, 40, 42) v zájmu generování plynule navazujícího přechodu mezi částmi volumetrického trojrozměrného obrazu (44, 46, 48, 50).

CZ 2000 - 3912 A3

Vícerovinný volumetrický displejový systém a způsob činnosti využívající trojrozměrné protirozostřování

Oblast techniky

Přihlašovaný vynález se týká trojrozměrného (zkratka „3D" vytvořená podle anglického výrazu „3 dimensional") zobrazování a konkrétněji se zaměřuje vícerovinný displejový systém používající 3D protirozostřování pro generování volumetrických, trojrozměrných obrazů v prostoru.

Dosavadní stav techniky

Je známo, že trojrozměrné (3D) obrazy se mohou generovat a pozorovat tak, jak se jeví v prostoru. Typicky se používají zvláštní doplňkové prostředky pro oči, jako jsou ochranné brýle a/nebo přilby, avšak takové pozorovací prostředky mohou překážet. Navíc v důsledku vlastní podstaty takové oční prostředky jako doplňkové oční pomůcky snižují vnímatelnost při prohlížení reálného 3D obrazu. Používání takových doplňkových prostředků pro oči může také způsobovat únavu očí, která se zmírňuje zkracováním doby prohlížení obrazu a takové doplňkové prostředky pro oči jsou často objemné a z hlediska pozorovatele nepohodlné.

Proto existuje potřeba vyvíjení volumetrických 3D obrazů a zobrazovačů bez nevýhod souvisejících s používáním takových doplňkových prostředků pro oči.

Další volumetrické systémy generují takové volumetrické 3D obrazy s použitím například samosvětélkujících objemových prvků nebo-li voxelů. Jedním příkladem je systém „3D Technology" vyvinutý v „Laboratories of Mountain View" v Kalifornii, v němž průsečík infračervených laserových paprsků v tuhém skleněném nebo plastovém objemovém prostoru dopovaném ionty příměsí vzácných zemin generuje takové obrazy na bázi voxelů. Avšak takový nelineární jev, který vytváří viditelné světlo ze dvou neviditelných, infračervených laserových paprsků má velmi nízkou účinnost přibližně 1%, výsledkem čehož je potřeba použití výkonných laserů, aby bylo vytvořen jasný obraz na velkém displeji. Takové výkonné lasery však představují potencionální nebezpečí pro oči a vyžadují významné ochranné kryty kolem

displeje. Navíc prohlížecí lasery typicky vykazují špatné rozlišovací vlastnosti s výsledným nízkým počtem voxelů a v důsledku tuhé povahy volumetrického mechanismu se sestavují velmi masívní systémy, jejichž hmotnost je značně velká.

Další volumetrický displejový systém od firmy „Actuality Systems, Inc." sídlící v městě Cambridge ve státě Massachusetts, USA, používá lineární uspořádání laserových diod, které se odrážejí z rychle se otáčejícího, vícefasetovaného zrcadla na rychle se otáčející projekční plochu. Avšak takové rychle se otáčející součásti, které mohou mít poměrně velké rozměry, se musí pečlivě vyvažovat, aby se znemožnilo jejich vibrování a případně možné katastrofické selhání. Navíc velikost, tvar a orientace voxelů na displeji závisí na tom, na jakém místě se nacházejí, výsledkem čehož je schopnost rozlišování zobrazení v závislosti na poloze voxelů.

Další volumetrický displejový systém poskytuje firma „Neos Technologies, Inc.", Melbourne, Florida. Tento volumetrický displejových systém akusticko-opticky skenuje laserový paprsek na rychle se otáčející projekční plochu. Takový velká, otáčející se součást vyžaduje pečlivé udržování vyváženosti bez závislosti na pohybu displeje. Laserový skenovací systém má špatnou rozlišovací schopnost a pomalou rychlost, což drasticky snižuje počet voxelů. Navíc velikost, tvar a orientace voxelů na displeji závisí na tom, na jakém místě se nacházejí, výsledkem čehož je schopnost rozlišování zobrazení v závislosti na poloze voxelů. Konečně silně nelineární podstata displeje značně zvyšuje procesní požadavky na vypočítávání rozdílných dvourozměrných obrazů.

Jsou známy i jiné typy 3D zobrazovacích systémů, jako jsou stereoskopické displeje, které v každém oku vytvářejí mírně rozdílný perspektivní pohled na danou scénu. Poté mozek spojuje rozdílné obrazy do jediného 3D obrazu. Některé systémy vytvářejí pouze jediný bod pohledu a vyžadují zvláštní prohlížecí vybavení pro oči nebo mohou provádět seřizování úhlu pohledu, aby se vyloučila potřeba prohlížecího vybavení, avšak v takovém případě může 3D obraz vidět pouze jediný pozorovatel. Alternativně může displej vytvářet velké množství prohlížecích zón v různých úhlech s tím, že obraz v každé zóně přísluší k danému bodu pohledu, jako je tomu v případě vícepohledových, autostereoskopických displejů. Oči uživatele musí být v oddělených, avšak sousedících zónách prohlížení, aby bylo vidět 3D zobrazení, a zóny prohlížení musí být velmi úzké, aby se předcházelo zneklidňující nervozitě, když se pozorovatel pohybuje ve vztahu k displeji. Některé systémy mají pouze vodorovnou paralaxu/nastavování zorného úhlu. Navíc velká rozdílnost hloubky zaostřování-konvergence

může prudce vést k únavě očí, která značně zkracuje čas prohlížení. Navíc stereoskopické displeje mají omezené zorné pole a nemohou se ve skutečnosti používat s s přímými interakčními technologiemi, jako je virtuální realita a/nebo silové zpětnovazební rozhraní.

Zobrazovací jednotky, které se nasazují na hlavu (zkratka „HMD" vytvořená podle anglického výrazu „headmounted displays"), se typicky uplatňují v aplikacích virtuální reality, v nichž dvojice pozorovacích displejů vytváří příslušné perspektivní pohledy pro každé oko. V daném časovém úseku může HMD zobrazovací jednotku používat pouze jedna osoba, přičemž taková HMD zobrazovací jednotka vytváří omezené zorné pole pro každé oko. Aby se vytvořila paralaxa, musí se používat nastavování zorného úhlu.

K dalším displejovým systémům patří holografické displeje, v nichž se zobrazování vytváří na základě interakce koherentního laserového světla se vzorováním velmi jemných linek známých jako holografické mřížkování. Toto mřížkování mění směr a intenzitu dopadajícího světla tak, že se jeví, jako by pocházelo z místa zobrazovaných objektů. Avšak typický optický hologram obsahuje enormní množství informací, takže obnovování holografického displeje ve velkých poměrech je z počítačového hlediska velmi pracné. V případě holografického displeje majícího poměrně značnou velikost a postačující zorné pole je počet pixelů celkově větší než 250 milionů.

Na základě uvedených skutečností existuje potřeba vyvinutí vysoce kvalitního, volumetrického 3D zobrazování, které bude mít přijatelné požadavky na počítačové procesní systémy a které bude poskytovat možnost dokonalejšího prohlížení a uplatnění v praxi.

Navíc používání samostatných voxelů trojrozměrné zobrazování zdůrazňuje části obrazů tak, že vypadají jako zoubkovité v důsledku pixelizace například tehdy, když jde o zobrazování znaků na přechodech mezi rozdílnými hloubkami ve volumetrickém 3D obrazu. Rovněž existuje potřeba vyvinutí způsobu, který bude zajišťovat vyrovnávání přechodů mezi částmi volumetrického 3D obrazu.

Podstata vynálezu

Je vynalezen vícerovninný volumetrický displejový systém (zkratka „MVD systém" vytvořená podle anglického výrazu „multiplanar volumetric display system") a způsob činnosti tohoto MVD systému, který generuje volumetrické trojrozměrné obrazy. MVD systém

obsahuje vícepovrchové optické zařízení, které má určitý počet samostatných optických prvků seřazených v řadě; obrazový projektor pro volené promítání sady obrazů na příslušné optické prvky vícepovrchového zařízení při generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu viditelného ve vícepovrchovém optickém zařízení; a generátor plovoucího obrazu pro promítání prvního volumetrického trojrozměrného obrazu z vícepovrchového optického zařízení pro účely generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, jenž lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

Každý z určitého počtu samostatných optických prvků vícepovrchového optického zařízení obsahuje součást s kapalnými krystaly mající ovladatelnou, proměnlivou průsvitnost. Ovladač optických prvků také zajišťuje ovládání průsvitnosti součástí s kapalnými krystaly, přičemž jediná součást s kapalnými krystaly se ovládá tak, aby vykazovala neprůsvitný, světlo rozptylující stav pro účely přijímání a zobrazování příslušného obrazu ze sady obrazů ze zobrazovacího projektoru, a zbývající součásti s kapalnými krystaly se ovládají tak, aby byly celkově průsvitné a umožňovaly prohlížení zobrazovaného obrazu na neprůsvitné součásti s kapalnými krystaly. Ovladač optických prvků rastruje součásti s kapalnými krystaly ve velké rychlosti v průběhu určitého počtu zobrazovacích cyklů, aby zvolil jednu součást s kapalnými krystaly, která bude v neprůsvitném, světlo rozptylujícím stavu v průběhu konkrétního zobrazovacího cyklu, a aby řízeně převáděl neprůsvitný, světlo rozptylující stav z jedné optické součásti na jinou optickou součást pro účely postupného přijímání sady obrazů a pro účely generování volumetrických trojrozměrných obrazů s trojrozměrnou hloubkou.

Obrazový projektor promítá sadu obrazů do vícepovrchového optického zařízení při generování celého prvního volumetrického trojrozměrného obrazu ve vícepovrchovém optickém zařízení při kmitočtové rychlosti vyšší než 35 Hz, aby se znemožnilo kmitání obrazu, které lidské smysly vnímají. Objemová kmitočtová rychlost může být například 40 Hz. Jako příklad lze uvést to, že v jednom provedení se používá přibližně 50 optických prvků s objemovou kmitočtovou rychlostí přibližně 40 Hz, přičemž obrazový projektor promítá každou sad obrazů na příslušný optický prvek při kmitočtové rychlosti 2 kHz.

Obrazový projektor obsahuje promítací čočky pro promítání sady obrazů. Tento projektor také obsahuje přizpůsobivý optický zaostřovací systém pro zaostřování každé sady obrazů na příslušných optických prvcích pro účely ovládání rozlišovací schopnosti a hloubky

promítání sady obrazů z čoček projektoru. Alternativně nebo navíc obrazový projektor obsahuje určitý počet laserových světelných zdrojů pro promítání červeného, zeleného a modrého laserového světla z příslušných zdrojů při generování a promítání sady obrazů v několika barvách.

Navíc 3D protirozostřovací způsob se používá pro vyrovnávání částí promítaných obrazů na přechodech mezi optickými prvky vícepovrchového optického zařízení. Protirozostřování seřizuje zobrazování voxelů na přechodu mezi optickými prvky, takže barevné hodnoty voxelů se mění jako funkce vzdálenosti voxelů od optických prvků, výsledkem čehož je generování vyrovnaného přechodu mezi částmi volumetrického trojrozměrného obrazu.

Přehled obrázků na výkrese

Nyní bude proveden popis provedení přihlašovaného vynálezu s odkazem na připojená vyobrazení, na nichž:

obr. 1 znázorňuje vynalezený vícerovinný volumetrický displejový systém;

obr. 2 předvádí optický prvek na bázi kapalných krystalů vykazující průsvitný stav;

obr. 3 předvádí tentýž optický prvek jako na obr. 1, avšak v tomto případě tento optický prvek vykazuje neprůsvitný, světlo rozptylující stav;

obr. 4 až obr. 7 předvádějí postupná zobrazování obrazů na několika optických prvcích při vytváření volumetrického 3D obrazu;

obr. 8 předvádí membránový světelný modulátor;

obr. 9 předvádí adaptivní optický systém, který se používá v obrazovém projektoru;

obr. 10 předvádí adaptivní optický systém nakreslený na obr. 9 v kombinaci s vícenásobným systémem optických prvků;

obr. 11 předvádí příčný řez pixelu prostorového světelného modulátoru (zkratka „SLM" podle anglického výrazu „spatial light modulator") s feroelektrickými kapalnými krystaly (zkratka „FLC" podle anglického výrazu „ ferroelectric liquid crystal") z pohledu bokorysu;

obr. 12 až 14 předvádějí úhlová nasměrování os prostorového světelného modulátoru „SLM" s feroelektrickými kapalnými krystaly „FLC" nakresleného na obr. 11;

obr. 15 je postupový diagram způsobu pro generování vícerovinného datového souboru;

obr. 16 předvádí 3D protirozostřování voxelu voxelu v určitém počtu optických prvků;

obr. 17 předvádí voxelový displej bez 3D protirozostřování;

obr. 18 předvádí voxelový displej s3D protirozosotřování;

obr. 19 je graf, který porovnává zřejmou hloubku s 3D protirozosotřováním a bez 3D protirozosotřování;

obr. 20 předvádí postupový diagram způsobu uplatňování 3D protirozosotřování;

obr. 21 a obr. 22 předvádějí generování 3D obrazů majících v popředí světélkující objekty bez protirozosotřování; a

obr. 23 a obr. 24 předvádějí generování 3D obrazů majících v popředí světélkující objekty s protirozosotřováním.

Příklady provedení vynálezu

S odkazem na obr. 1 lze uvést, že je vyvinut vícerovinný volumetrický displejový systém 10, který generuje trojrozměrné (3D) obrazy mající volumetrickou podstatu, což znamená, že 3D obrazy zaujímají určitý a vymezený objem 3D prostoru a tudíž existují v místě, kde se obrazy objevují, Na základě toho jsou 3D obrazy skutečně trojrozměrné na rozdíl od obrazu, který je vnímán jako trojrozměrný v důsledku vidění optického klamu, jak tomu bývá v případě stereografických způsobů.

3D obrazy, které systém 10 generuje, mohou mít velmi dobou rozlišovací kvalitu a mohou se zobrazovat ve velké škále barev, čímž mohou vykazovat charakteristiky související s pohledem na skutečný objekt. Takové 3D obrazy mohou mít jak vodorovnou, tak i svislou pohybovou paralaxu nebo úhel pohledu, což uživateli dává možnost pohybu a přitom ještě přijímání vizuálních sledů pro udržování trojrozměrného vzhledu 3D obrazů.

Navíc pozorovatel 12 nemusí nasazovat žádné přídavné prohlížecí doplňky na oči, jako jsou sterografické hledáčky nebo brýle pro prohlížení 3D obrazů, což je výhodné, neboť takové oční pomůcky překážejí, způsobují únavu očí atd. Navíc 3D obraz má souvislé zorné pole jak vodorovně, tak i svisle, přičemž vodorovné pole se v určitých displejových konfiguracích rovná 360°. Navíc pozorovatel může být v jakékoli libovolné pozorovací vzdálenosti od MVD systému 10 bez ztráty 3D vnímání.

Vícerovinný volumetrický displejový systém 10 obsahuje interface nebo propojovací rozhraní 14 pro přijímání 3D grafických údajů z grafického datového zdroje 16, jako je počítač, který může být včleněn do systému 10 nebo může být k systému 10 operativně připojen přes komunikační kanály například ze vzdáleného místa a může být připojen prostřednictvím běžných telekomunikačních linek nebo prostřednictvím některé sítě, jako je Internet. Propojovacím mezičlánkem 14 může být „PCI" sběrnice nebo interface s označením „akcelerovaný grafický port", zkratka „AGP", od firmy „INTEL", Santa Clara, Kalifornie. Mohou se používat i jiné propojovací mezičlánky, jako je plošný propojovací sběrnicový systém s označením „VME", který je standardizován jako „IEEE 1014 standard", propojovací mezičlánky pro malé počítačové systémy (zkratka „SCSI" podle anglického výrazu „Small Computer Systém Interface"), velmi výkonné rozšířené propojovací mezičlánky typu „NuBus" používané v počítačích Apple Macintosh a dalších počítačových systémech, jakož i propojovací mezičlánky s označením „Industry Standard Architecture" (zkratka „ISA"), rozšířené „ISA" propojovací mezičlánky s označením „Extended ISA" (zkratka „EISA"), propojovací mezičlánky s označením „Universal Serial Bus" (zkratka „USB"), propojovací mezičlánky s označením „Fire Wire Bus", jež je nyní standardizováno jako „IEEE 1394 standard", nabízející vysoce rychlý přenos dat a izochronní počítačové datové služby v reálném čase, a konečně volně použitelné nebo autorizované propojovací mezičlánky.

Propojovací mezičlánek 14 propouští 3D grafické údaje do vícerovinného volumetrického displejového (zkratka „MVD" podle anglického výrazu „multi-planar volumetric display") ovladače 18, který obsahuje velký vysokorychlostní obrazový vyrovnávač. Trojrozměrný obraz, který má být pozorován jako volumetrický 3D obraz, se převádí pomocí MVD ovladače na řady dvourozměrných obrazových segmentů při různých hloubkách v rozsahu 3D obrazu. Rámcové údaje odpovídající obrazovým segmentům poté rychle odcházejí ve formě výstupů z vysokorychlostního obrazového vyrovnávače MVD ovladače 18 do obrazového projektoru 20.

MVD ovladač 18 a interface 14 se mohou používat v počítači, jako je pracovní stanice s označením „OCTANE", která je komerčně dostupná jako výrobek firmy „SILICON GRAPHICS" sídlící v Mountain View, Kalifornie. Mohou se používat u jiné systémy na bázi počítačů, jako je například osobní počítač („PC") mající například 195 MHz počítačový mikroprocesor s redukovaným souborem instrukcí (zkratka „RISC mikroprocesor" podle

anglického výrazu „ reduced instruction set computing microprocessor"). V souladu s tím by mělo být pochopitelné, že vynalezený MVD systém 10 a jeho komponenty nejsou výhradně omezeny na uplatňování nebo používání konkrétního hardware nebo software.

Grafickým datovým zdrojem 16 může případně být grafický aplikační program počítače, který řídí aplikační programový interface (API) a řídicí zařízení pro sestavování a odesílání 3D obrazových údajů v příslušném formátu do MVD ovladače 18 počítače přes vstup/výstup (zkratka I/O podle anglického výrazu „input/output") zařízení, jako je propojovací rozhraní 14. MVD ovladačem může být hardware nebo software například osobního počítače s případným použitím rozšiřujících karet pro zpracovávání zvláštních údajů.

Jako příklad lze uvést, že rozšiřující karta v MVD ovladači 18 může obsahovat grafický hardware a/nebo software pro převádění 3D datových souborů z grafického datového zdroje 16 do řad dvojrozměrných obrazových segmentů tvořících vícerovinný datový soubor, který odpovídá segmentům 24 až 30. Na základě toho se 3D obraz 34 generuje při aktualizačních rychlostech v reálném čase nebo téměř reálném čase v případě takových aplikacích, jako jsou simulace chirurgických zákroků, řízení leteckého provozu nebo vojenské velení a řízení vojenských operací. Takové rozšiřující karty mohou rovněž obsahovat geometrický ovladač pro manipulování s 3D datovými soubory a strukturální paměť pro sestavování strukturálních map 3D obrazů.

Před přenášením obrazových údajů do obrazového projektoru 20 může MVD ovladač 18 nebo alternativně grafický datový zdroj 16 provádět 3D protirozostřovací opatření na obrazových údajích, aby se vyrovnaly znaky, které se mají zobrazovat na 3D obrazu 34, a tím se předchází výskytu jakýchkoli zubovitých liniích v hloubce, jež by se mohly vyskytnout mezi rovnoběžnými rovinami podél z-směru v důsledku pixelizace displeje způsobované vlastní nespojité voxelové konstrukce MOE zařízení 32 s optickými prvky 36 až 42 vyrovnaně seřazenými v x - y rovinách kolmých na z-osu. Při generování údajů odpovídajících obrazovým segmentům 24 až 30 se může obrazový prvek objevovat v blízkosti okraje přechodu roviny, tedy mezi optickými prvky, například mezi optickými prvky 36 až 38. Za účelem znemožnění nežádoucího přerušovaní přechodu u konkrétního obrazového prvku, se mohou oba segmenty generovat tak, aby každý z obrazů 44 až 46 obsahoval konkrétní obrazový prvek a aby se obrazový prvek dělil mezi oběma rovinami tvořenými optickými prvky 36 až 38, které vyrovnávají přechod a podporují souvislejší vzhled 3D obrazu 34. Jasnost obrazových prvků na

příslušných navazujících optických prvcích se mění v souladu s umístěním obrazového prvku v obrazových údajích.

Grafický datový zdroj 16 a MVD ovladač 18 mohou rovněž provádět nulově zpracovávané kódování přes propojovací rozhraní 14 v zájmu maximalizování rychlosti přenosu obrazových údajů do MVD ovladače 18 pro účely generování obrazu. Mělo by být pochopitelné, že pro účely přenosu lze využívat i jiné způsoby, jako je expertní skupina pohyblivých obrazů (zkratka „MPEG" podle anglického výrazu „Motion Picture Experts Group") datových komunikačních systémů, jakož i delta (Δ) zhušťování dat.

3D obraz může obsahovat pořadí 50 SVGA rozlišovacích obrazů aktualizovaných při kmitočtové rychlosti 40 Hz, výsledkem čehož je základní datová rychlost při zobrazování více než 2 GB/s. Taková základní datová rychlost se může podstatně snižovat nepřenosnými nulami. Volumetrický 3D obraz typicky představuje velké množství nul souvisejících s vnitřkem objektů, pozadím objektů, které zakrývají objekty v popředí, a s obklopujícím prázdným prostorem. Grafický datový zdroj 16 může kódovat obrazové údaje tak, aby průběh nul měl podobu nulové průběhové návěsti (zkratka „ZRF" podle anglického výrazu „zero-run flag") nebo nulového průběhového kódu a následující nebo přidružené průběhové délky. Takto se může odesílat počet nul pro zobrazování bez posílání nul. Vyrovnávací paměť 3D obrazových údajů v MVD ovladači 18 se může aktivovat pro uložení všech nul a následně po uložení obrazových údajů v obrazové vyrovnávací paměti dochází v důsledku detekování ZRF návěstí k tomu, že MVD ovladač 18 přeskakuje dopředu ve vyrovnávací paměti v rozsahu určitého počtu datových poloh nebo pixelů rovnajícího se průběhové délce nul. Pak vyrovnávací paměť 3D obrazových údajů obsahuje 3D údaje, které jsou určeny pro odesílání do obrazového projektoru 20, který může obsahovat SLM ovladač pro řízení SLM prostorového světelného modulátoru při generování dvojrozměrných obrazů.

Obrazový projektor 20 má přidruženou optiku 22 pro promítání dvojrozměrných segmentů 24 až 30 3D obrazu při vysokém obnovovacím kmitočtu a časové posloupnosti víceprvkového optického zařízení 32 (zkratka „MOE" podle anglického výrazu „multiple optical element") pro účely voleného zobrazování, jehož výsledkem je generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu 34, který se pozorovateli 12 jeví tak, jako by se nacházel v prostoru MOE zařízení 32. Toto MOE zařízení 32 obsahuje určitý počet optických

prvků 36 až 42, které na základě řízení MVD ovladače 18 volitelně přijímají každý ze segmentů 24 až 30 při zobrazování dvojrozměrných obrazů 44 až 50 s tím, že jeden optický prvek přijímá a zobrazuje příslušný segment v průběhu každého cyklu obnovovacího kmitočtu. Počet hloubkových segmentů, které MVD ovladač 18 generuje, se rovná počtu optických prvků 36 až 42, což znamená, že každý optický prvek představuje jednotku hloubkového rozlišování volumetrického 3D obrazu, jenž má být generován a zobrazován.

Optickými prvky 36 až 42 mohou být displeje s kapalnými krystaly obsahující například nematické, feroelektrické nebo cholesterolové materiály, popřípadě další polymerní ustálené materiály, jako jsou cholesterové textury, které se připravují s použitím Kent Stateova vzorce, který je v oblasti výroby takových materiálů známý.

Celkové zobrazování každého ze segmentů 23 až 30 prováděné pomocí optických prvků 36 až 42 MOE zařízení 32 v podobě sestavy zobrazovaných obrazů, se objevuje při dostatečně v níže specifikované, vysokém kmitočtové rychlosti, jako jsou kmitočty vyšší než 35 Hz, aby lidské smysly pozorovatele 12 vnímaly souvislý, volumetrický 3D obraz 34, který je viditelný přímo a bez stereografické přilby a který je viditelný namísto jednotlivých dvojrozměrných obrazů 44 až 50. V souladu s obr. 1 mohou mít obrazy 44 až 50 podobu příčného řezu koule, takže takto generovaný 3D obraz 34 by se pozorovateli mohl jevit jako koule nacházející se uprostřed optických prvků 36 až 42 tvořících MOE zařízení 32.

V alternativních provedeních se obrazy 44 až 50 mohou generovat tak, aby zobrazovaly celkový obraz mající smíšený 2D a 3D vzhled, jako je 2D text, jako je nápis pod koulí nebo 2D text na kouli. Jedno provedení může používat řídicí blok grafického uživatelského rozhraní(zkratka „GUI" podle anglického výrazu „graphic user interface"), který má jak 2D, tak i 3D charakteristiky umožňující uživateli pozorovat účinek GUI například v souvislosti s používáním Microsoft Windows 95, kdy se 2D zobrazovací plocha jeví jako virtuální plochý displej a kdy se 3D obrazy, jako jsou koule, objevují na virtuálním plochém displeji.

První volumetrický 3D obraz 34 je viditelný v určitém rozsahu poloh. Navíc projektor 54 reálného obrazu dále zpracovává světlo 52 z prvního volumetrického 3D obrazu 34 při generování druhého volumetrického obrazu 56, který se pozorovateli 12 jeví v podstatě stejný obraz, jako je první volumetrický 3D obraz 34, plovoucí v prostoru v určité vzdálenosti od MOE zařízení 32. Projektorem 54 reálného obrazu nebo alternativně projektorem plovoucího obrazu může být sestava optických prostředků a/nebo zrcadel pro zpracovávání světla 52

vyzařovaného z MOE zařízení 32 a pro opětné zobrazování 3D obrazu 34 ve volném prostoru. Projektorem 54 reálného obrazu může být velmi kvalitní volumetrický displej (zkratka „HDVD" podle anglického výrazu „high definition volumetric display"), který obsahuje kulovité nebo parabolické zrcadlo pro vytváření signální pozorovací zóny nacházející se na optické ose MOE zařízení 32.

K systémům projekce reálného obrazu lze například přiřadit zařízení popisovaná v patentech USA číslo 5 552 934, vydaném na jméno autora Prince, a číslo 5 572 375, vydaném na jméno autora Crabtree IV, jejichž obsah je zde zahrnut ve formě odkazu. V alternativních provedeních může být holografická optika vybavena projektorem 54 reálného obrazu s týmiž funkcemi, jaké mají konvenční nebo parabolická zrcadla pro účely generování plovoucího obrazu 56, avšak s vícenásobnými pozorovacími zónami na každé straně optické osy, takže několik pozorovatelů může prohlížet vícenásobné 3D plovoucí obrazy 56.

V dalších alternativních provedeních může projektor 54 reálného obrazu obsahovat holografické optické prvky (zkratka „HOE" podle anglického výrazu „holographic optical elements"), což znamená, že hologramy ve svém původním smyslu neukazují zaznamenaný obraz dříve existujícího objektu. Namísto toho HOE účinkuje jako konvenční optický prvek, jako jsou čočky a/nebo zrcadlo, pro přijímání, odrážení a přesměrování dopadajícího světla. Ve srovnání s konvenčními optickými prvky, jako je sklo nebo plast, mají HOE velmi malou hmotnost, přičemž jejich reprodukování není nákladné, a mohou také vykazovat mimořádné optické vlastnosti, které nevykazují konvenční optické prostředky. Jako příklad lze uvést, že HOE může vytvářet vícenásobné obrazy téhož objektu v rozdílných úhlech vedených od předem stanovené optické osy a v důsledku toho se může zorné pole displeje uplatňujícího poměrně malý HOE výrazně zvětšovat bez zvětšování velikosti optických prostředků, jak to vyžaduje doposud známá optika. V souladu s tím lze konstatovat, že používání přinejmenším jednoho HOE jako projektoru 54 reálného obrazu lze MVD systém 10 sestavovat tak, aby se dostavil výsledek v podobě poměrně kompaktního systému s 360° zorným polem. Navíc v případě obrazového projektoru 20 se zabudovanými laserovými světlenými zdroji platí, že HOE jsou obzvláště využitelné v kombinaci s takovými laserovými světlenými zdroji pro jejich velký výkon a volitelnost vlnové délky HOE.

Protože se oba volumetrické 3D obrazy 34 a 56 jeví pozorovateli tak, že mají objem a hloubku a podle možnosti i barvu, může se vícerovinný volumetrický displejový systém 10

přizpůsobovat pro účely virtuální reality a hmatové/hmatový dojem vyvolávající aplikace, jako je příklad, který je uveden v dalším textu v souvislosti s animací vyvolávající hmatový dojem při výuce chirurgie. Projektor 54 reálného obrazu umožňuje, aby plovoucí 3D obraz byl přímo přístupný pro virtuální interakci. MVD systém 10 může obsahovat uživatelské zpětnovazební zařízení 58 pro přijímání pohybů rukou pozorovatele 12 odpovídajících pokusům pozorovatele 12 manipulovat s jedním či druhým obrazem 34, 56. Takové pohyby rukou se mohou převádět pomocí uživatelského zpětnovazebního zařízení 58 ve formě řídicích signálů, které se vysílají přes propojovací mezičlánek 14 do MVD ovladače 18 pro účely modifikování obrazů 34, 56, jež se jeví tak, jako by reagovaly na pohyby pozorovatele 12. Alternativně se uživatelské zpětnovazební zařízení 58 může operativně připojovat ke grafickému datovému zdroji 16, jenž může obsahovat 3D grafický procesor pro modifikování jednoho nebo obou obrazů 34, 56.

Několik nových interakčních technologií podporuje zdokonalený výkon MVD 10 s použitím projektoru 54 reálného obrazu. Jako příklad lze uvést to, že silový zpětnovazební interface vyvinutý firmou „SENSIBLE DEVICES, INC., sídlící v Cambridge, Massachusetts, představuje výkonnou technologii, která poskytuje MVD systému 10 schopnost vytváření skutečného vjemu a ručního manipulování s obrazy 34, 56. S příslušným programovým vybavením může pozorovatel 12 modelovat trojrozměrné obrazy, jako by tyto obrazy byly ze sochařské hlíny, s použitím systému nazvaného „DIGITAL CLAY“, což je komerční výrobek firmy „DIMENSIONAL MEDIA ASSOCIATES“, která je přihlašovatelem tohoto vynálezu.

Další aplikací MVD systému 10, která používá silový zpětnovazební interface, je výukový chirurgický simulátor, ve kterém může uživatel pozorovat a vnímat trojrozměrnou virtuální anatomii, a to včetně animace, jako je pulzování srdce a reakce na virtuální chirurgické řezy uživatele, a který může se může uplatňovat při získávání chirurgického osvědčení, zavádění nových chirurgických postupů nebo dokonce při provádění operací na dálku například přes Internet s využitím Internetových komunikačních protokolů.

Takto lze kombinovat jevy vytváření pocitu dotyku s animací při vytváření simulace v reálném čase a simulace uživatelů pracujících s 3D obrazy generovanými MVD systémem 10. Jako příklad lze uvést, že pozorovatelem může být chirurg provádějící výuku studentů lékařství, při níž chirurg prohlíží a manipuluje s prvním 3D obrazem 34 ve virtuální realitě, zatímco studenti pozorují druhý 3D obraz 56, který je odpovídajícím způsobem manipulován a

modifikován v důsledku reakce projektoru 54 reálného obrazu na změny prvního ED obrazu 34. Na základě toho mohou studenti vstupovat do jednotlivých fází manipulace s obrazem 34, jako je obraz srdce, jímž může dokonce být pulzující srdce, na základě zobrazování animace v podobě 3D obrazů 34, 54. Vyučující chirurg pak může pozorovat a hodnotit studenty při provádění obrazové manipulace tak, jako by se jednalo o skutečné obrazy v podmínkách simulování operace srdce.

MOE ZAŘÍZENÍ. V popisovaném provedení MOE zařízení 32 obsahuje zásobník jednotlivých pixelových displejů s kapalnými krystaly („LCD"), skleněné součásti, jako jsou optické prvky 34 až 42, které jsou od sebe odděleny buď skleněnými, plastovými, kapalnými nebo vzduchovými vymezovacími vložkami. Alternativně mohou optické prvky 36 až 42 obsahovat plastové nebo jiné látky s různými výhodami, jako je například malá hmotnost jejich konstrukce. Skleněné, plastové a/nebo vzduchové vymezovací vložky se mohou kombinovat se skleněnými displeji s kapalnými krystaly (LCD) v opticky navazující konfiguraci, aby se znemožňovaly odrazy na vnitřních propojeních. Povrchy displejů s kapalnými krystaly (LCD) a vymezovacích vložek se mohou opticky slučovat buď optickým spojováním, indexovou vyrovnávací tekutinou nebo optickým pojivem. Alternativně se vymezovací vložky mohou nahrazovat kapalinou jako je voda, minerální olej nebo indexová vyrovnávací tekutina, přičemž takové kapaliny mohou cirkulovat přes vnější chladicí zařízení pro chlazení MOE zařízení 32. Rovněž lze dodat, že taková MOE zařízení 32, při jejichž prostorovém vymezování se používá kapalina, se dopravují a instalují prázdná, aby se snížila jejich celková hmotnost, přičemž vymezovací kapalina se dodává po jejich instalování.

V upřednostňovaném provedení jsou optické prvky rovinné a obdélníkové, avšak alternativně mohou být zakřivené a/nebo mohou mít jiná tvar, jako je válcovitý tvar. Válcovité LCD displeje se mohou zhotovovat s použitím různých postupů, jako je vytlačování, a mohou se umisťovat jeden do druhého. Vymezovací vzdálenost mezi optickými prvky 36 až 42 může být konstantní, popřípadě v alternativních provedeních může být různá tak, aby se hloubka MOE zařízení 32 mohla značně zvětšovat bez zvyšování počtu optických součástí 36 až 42. Jako příklad lze uvést to, že v důsledku ztráty hloubkové vnímavosti očí pozorovatele 12 při zvětšování pozorovací vzdálenosti se optické prvky umístěné dále od pozorovatele 12 mohou ještě více vzdalovat. Může se uplatňovat logaritmické vymezování, v němž se vzdálenost mezi optickými prvky 36 až 42 lineárně zvětšuje se vzdáleností od pozorovatele 12.

Optické prvky 36 až 42 obsahují kapalné krystaly s takovým složením, které vykazuje vlastnosti rychlého elektronického spínání řízeného programem MOE zařízení MVD ovladače 18 při přepínání mezi jasným, vysoce průsvitným stavem, který je předveden na obr. 2, a neprůsvitným, světlo silně rozptylujícím stavem předvedeným na obr. 3. V souvislosti s obr. 2 a obr. 3, na nichž jsou předvedeny příčné řezy optického prvku 36, lze uvést, že molekuly 60 až 64 kapalných krystalů mohou být ve vznosu mezi substráty 66 a 68, které mohou mít podobu skleněných, plastových nebo vzduchových vymezovacích vložek a které mohou rovněž mít průsvitné, elektricky vodivé vrstvy 70, 71, které se přikládají k příslušným substrátům 66 a 68.

Vodivé vrstvy 70, 71 mohou obsahovat tenký povlak obsahující směs oxidů india a cínu (ITO), který se nanáší rozprašovaním nebo vypařovaním a který má výbornou průsvitnost a nízký elektrický odpor, avšak má poměrně vysoký index lomu světla ve srovnání s indexy lomu světla skleněných nebo plastových substrátů 66 a 68. Rozdíl indexů lomu světla mezi těmito materiály může vytvářet odrazy na jejich rozhraních, a proto by se mohly případně nanášet další povlaky nebo vrstvy antireflexního (AR) materiálu na substráty 66 a 68, které jsou ve styku s elektricky vodivými vrstvami 70, 71, za účelem snižování množství odráženého světla, jako jsou nežádoucí odrazy. Jako příklad lze uvést to, že AR vrstva, která má optickou tloušťku jedné čtvrtiny typické vlnové délky světla, jako je 76 nm, a která má index lomu světla přibližně 1,8, snižuje odrážení na rozhraní substrátu a vodivé vrstvy na velmi nízké úrovně.

V důsledku používání AR povlaků se může vymezovací materiál mezi optickými prvky 36 až 42 odstranit s tím, že se mezi nimi ponechá vzduch nebo vytvoří vakuum, čímž se snižuje celková hmotnost MOE zařízení 32. Takové AR povlaky se mohou nanášet podtlakovým povlékáním nebo se mohou nanášet vypařováním či rozprašováním s použitím dielektrických pokovovacích prostředků. Alternativně se AR povlaky mohou nanášet odstředivým povlékáním, pokovováním ponorem nebo meniskovým povlékáním s použitím koloidního gelu „SOL-GEL“.

S odkazem na obr. 2 lze uvést, že na základě používání elektricky vodivých vrstev 70, 71, napěťového zdroje 72 mezi nimi například z MVD ovladače se generuje elektrické pole 74 mezi substráty 66 a 68 optického prvku 36 a toto elektrické pole 74 řídí vyrovnávání molekul 60 až 64 kapalných krystalů a přenášení světla 76 skrze optickou součást 36 s malým nebo žádným rozptylováním, a proto je optický prvek 36 v podstatě průsvitný.

S odkazem na obr. 3 je možno uvést, že vypojování napětí 72 se může provádět například přerušováním obvodu mezi vodivými vrstvami 70, 71 na základě vypínání rychle

přepínatelného přepínače 78, jehož činnost řídí MVD ovladač 18. Po vypojení napětí 72 se molekuly 60 až 64 kapalných krystalů orientují nahodile, takže světlo 76 se nahodile rozptyluje a generuje se rozptýlené světlo 80. V této konfiguraci se optický prvek 36 jeví jako neprůsvitný a v důsledku toho může sloužit jako zobrazovací prostředí pro přijímání a zobrazování příslušného obrazu 44 promítaného z obrazového projektoru 20.

V alternativním provedení, které souvisí s odkazem na obr. 2 a 3, se předvedený optický prvek 36 může uvádět do průsvitného stavu ukázaného na obr. 2 na základě připojování elektricky vodivé vrstvy 70 přiléhající k prvnímu substrátu 66 k nulovému elektrickému potenciálu při současném připojování elektricky vodivé vrstvy 71 přiléhající ke druhému substrátu 68 k přívodnímu napětí, jako je napětí v rozsahu od 50 V do 250 V. Při přepínání optického prvku 36 do rozptylujícího, neprůsvitného stavu, který je předveden na obr. 3, se zapojení napětí obrací, takže vodivá vrstva 71 se připojuje k nulovému elektrickému potenciálu s předem stanovenou prodlevou přibližně 1 ms až 5 ms a poté se vodivá vrstva 70 připojuje ke zdroji napětí. Postup se znovu obrací při opětovném návratu optického prvku 36 do průsvitného stavu. V souladu s tím se do optického prvku 36 nepřivádí žádný průměrný přímý, stejnosměrný elektrický proud (DC) nebo napětí, které by mohlo vést k selhání v důsledku neměnného napětí. Stejně tak neexistuje žádný nepřerušovaný, střídavý proud (AC) nebo napětí, které generuje teplo a zvyšuje energetické požadavky na optické prvky.

V podmínkách činnosti je pouze jediný optický prvek z daného počtu optických prvků 36 až 42 MOE zařízení 32 v rozptylujícím, neprůsvitném stavu v jakémkoli vymezeném čase, čímž se vytváří rozptylující rovina nebo povrch. Tím, jak obrazový projektor 20 promítá segmenty 24 až 30 ve vysoké rychlosti v průběhu promítacího cyklu, v němž se v jednom cyklu emituje jeden segment, dochází k tomu, že rozptylující rovina se prudce rastruje skrze hloubku MOE zařízení 32 za účelem vytvoření účinně proměnlivé hloubky promítacího prostředí, zatímco zbývající optické prvky umožňují, aby pozorovatel 12 viděl promítaný obraz z přijímacích obrazových segmentů 24 až 30.

Na obr. 4 až 7 je vidět, že obrazová data se vysílají z MVD ovladače 18 do obrazového projektoru 20, který generuje obrazy 82 až 88, přičemž tento MVD ovladač 18 synchronizuje přepínání optických prvků 36 až 42 tak, aby optický prvek 36 byl neprůsvitný tehdy, když se na něj promítá obraz 82 (viz obr. 4), aby optický prvek 38 byl neprůsvitný tehdy, když se na něj promítá obraz 84 (viz obr. 5), aby optický prvek 40 byl neprůsvitný tehdy, když se na něj

promítá obraz 86 (viz obr. 6) a aby optický prvek 42 byl neprůsvitný tehdy, když se na něj promítá obraz 88 (viz obr. 7). MVD ovladač 18 může vkládat prodlevu mezi dodáváním každého souboru obrazových dat do obrazového projektoru 20 a iniciovat neprůsvitnost daného optického prvku, takže během takové prodlevy má obrazový projektor 20 dostatek času pro generování příslušných obrazů 82 až 88 z příslušných souborů obrazových dat 1 až 4.

S odkazem na obr. 4 až 7 lze uvést, že, zatímco jeden optický prvek je neprůsvitný a zobrazuje na sobě příslušný obraz, ostatní optické prvky jsou průsvitné, a tudíž obraz 82, který se na obr. 4 nachází na optickém prvku 36, je viditelný například přes přinejmenším optický prvek 38 a podobně obraz 84 je viditelný přes přinejmenším optický prvek 40 na obr. 5 a obraz 86 je viditelný přes přinejmenším optický prvek 42. Vzhledem k tomu, že obrazový projektor promítá obrazy 82 až 88 velkou rychlostí na optické prvky 36 až 42, které se přepínají do neprůsvitných a průsvitných stavů při srovnatelné rychlosti , vytvářejí obrazy 82 až 88 jediný volumetrický 3D obraz 34.

Při vytváření souvislého volumetrického 3D obrazu 34 bez viditelného kmitání má každý optický prvek 36 až 42 přijímat příslušný obraz a přepínat do neprůsvitného stavu při obnovovacím kmitočtu vyšším než 35 Hz. V souladu s tím platí, že pro účely obnovování a/nebo aktualizování celého 3D obrazu má být obnovovací kmitočet obrazového projektoru 20 vyšší než přibližně 50 x 40 Hz = 2 kHz. Vysoce výkonné a/nebo vysoce kvalitní volumetrické 3D zobrazování, které MVD systém 10 provádí, může vyžadovat vyšší obnovovací kmitočty obrazového projektoru v řádu 15 kHz.

V jednom provedení se obrazy 82 až 88 předvedené na obr. 4 až 7 zobrazují postupně v takovém sekvenčním zobrazovacím režimu, který odpovídá aktualizování rozsahu hloubky za jednu objemovou periodu při aktualizování celého objemu optických prvků 36 až 42 v MOE zařízení 32. Takový sekvenční zobrazovací režim může postačovat v podmínkách dolních mezních hodnot obnovovacího kmitočtu, jako jsou displejové obnovovací kmitočty přibližně 32 Hz pro nehybné obrazy 82 až 88 a přibližně 45 Hz pro obrazy 82 - 88 předvádějící pohyb. V alternativním provedení se může provádět polonepravidelný rovinný režim pro snižování chvění obrazu a pro omezování pohybu artefaktů, v němž se rozsah hloubky aktualizuje při vyšším kmitočtu, ačkoli se každý optický prvek aktualizuje jen jednou v průběhu objemové periody. Takový polonepravidelný rovinný režim obsahuje vícerovinné prokládání, v němž se roviny číslované sudými čísly osvětlují promítanými obrazy a poté se osvětlují roviny číslované

lichými čísly, což zvyšuje rychlost vnímání objemu bez zvyšování obnovovacího kmitočtu obrazového projektoru 20.

MOE zařízení 32 udržuje obrazové rozlišování, které generuje obrazový projektor 20, aby výsledné trojrozměrné obrazy vykazovaly vysokou přesnost. Panely 36 až 42 s kapalnými krystaly jsou vysoce průsvitné a v jasném, průsvitném stavu neobsahují žádný zákal a mají schopnost rychlého přepínání mezi jasným, průsvitným stavem a neprůsvitným, světlo rozptylujícím stavem, v němž se světlo a obrazy z obrazového projektoru 20 účinně a úplně rozptylují.

V jiných provedeních se MOE zařízení 32 může sestavovat tak, aby mělo malou hmotnost. Panely 36 až 42 s kapalnými krystaly mohou obsahovat dvojici skleněných substrátů, které jsou na jejich vnitřních površích povlečeny průsvitnými, elektricky vodivými vrstvami 70, 71 s nanesenou izolační vrstvou. Na izolační vrstvu se v optimální míře klade polymerní vyrovnávací vrstva. Mezi substráty daného panelu s kapalnými krystaly se nachází tenká vrstva kompozitních kapalných krystalů mající tloušťku přibližně 10 až 20 mikronů.

Většina objemu a hmotnosti panelů souvisí se skleněnými substráty, které potenciálně přispívají k celkové značné hmotnosti MOE zařízení 32 tehdy, když se příčný rozměr a počet panelů zvyšuje. Uplatňování panelů 36 až 42 obsahujících plastové substráty představuje jedno řešení problematického zvyšování hmotnosti. V jiných provedeních se využívají zpracovatelské způsoby výroby optických prvků MOE zařízení 32 založené na postupném válcování velmi tenkých plastových substrátů, které umožňuje plynulou produkci s velmi nízkými náklady.

Používání takových součástí s poměrně malou hmotností v MOE zařízení 32 rovněž poskytuje možnost rozkládání řečeného MOE zařízení v době jeho nečinnosti, takže MVD systém 10 může být přenosný. Optické prvky 36 až 42 mohou také obsahovat další anorganické materiály, které se mohou používat navíc nebo namísto technologie kapalných krystalů, a v této souvislosti lze uvést jako příklad používání vrstvy obsahující směs oxidů india a cínu (ITO), která se organicky nanáší odstředivým nebo ponorným povlékáním.

OBRAZOVÝ PROJEKTOR S VYSOKÝM OBNOVOVACÍM KMITOČTEM. Maximální rozlišovací hloubka a hloubka barev trojrozměrných obrazů 34, 56, které generuje MVD systém 10, se přímo určuje na základě rozlišovací hloubky a hloubky barev obrazového projektoru 20 s vysokým obnovovacím kmitočtem. Prvotním úkolem MOE zařízení 32 je převádění řad dvojrozměrných obrazů z obrazového projektoru 20 na 3D objemový obraz.

V jednom provedení tento obrazový projektor 20 obsahuje světelný zdroj v podobě obloukové lampy s krátkým obloukem. Světlo z lampy se separuje na červenou, zelenou a modrou složku s použitím optiky pro separování světla a používá se pro osvětlování tří oddělených prostorových světlených modulátorů (zkratka „SLM" podle anglického výrazu „spatial light modulator"). Po modulování, které provádějí SLM modulátory, se tři barevné kanály opětně kombinují do jediného paprsku a promítají se z optických prostředků 22, jako jsou zaostřovací čočky, do MOE zařízení 32 tak, aby se každý příslušný dvojrozměrný obraz ze segmentů 24 až 30 zobrazoval na předem určeném jednom optickém prvku ze sestavy optických prvků 36 až 42.

V dalším provedení obrazový projektor 20 obsahuje vysoce výkonné lasery s pracovní látkou v pevné fázi namísto obloukové lampy a optických prostředků pro separování světla. Laserové světelné zdroje mají celou řadu výhod včetně zvýšené účinnosti, přesného směrování paprsku a používání jediné vlnové délky. Navíc laserové světelné zdroje vytvářejí vysoce syté, zářivé barvy.

V dalším provedení se mohou používat různé technologie pro uplatňování SLM modulátorů, s jejichž používáním se dosahuje velmi rychlá činnost. Existuje možnost používání například vysokorychlostních zařízení s kapalnými krystaly, modulátorů na bázi mikroelektromechanických (MEM) přístrojů nebo jiné způsoby modulování světla, které poskytují takové zobrazování při vysokém obnovovacím kmitočtu. Například technologie digitálního zpracování světla (zkratka „DLP" podle anglického výrazu „Digital Light Processing") vyvinutá ve firmě „TEXAS INSTRUMENTS", sídlící v texaském Dallasu, technologie mřížkového světelného ventilu (zkratka „GLV" podle anglického výrazu „Grating Light Valve") vyvinutá ve firmě „SILICON LIGHT MACHINES", sídlící v kalifornském Sunnyvale a analogová feroelektrická LCD zařízení od firmy „BOULDER NONLINEAR SYSTEMS", sídlící ve městě Boulder, Colorado, se mohou používat pro modulování obrazů promítaných z obrazového projektoru 20. SLM modulátorem může také být zařízení s feroelektrickými kapalnými krystaly (zkratka „FLC" podle anglického výrazu „ferroelectric liquid crystals") a v této souvislosti se může uplatňovat polarizované přemagnetizování FLC SLM modulátoru.

Aby se v MVD systému 10 dosahovaly výsledky v podobě obrazů s vysokou rozlišovací schopností, musí se obrazy 44 až 50 přiměřeně a rychle zostřovat na každý odpovídající optický prvek MOE zařízení 32 v zájmu zobrazování každého odpovídajícího obrazu na

optickém prvku při vytváření přiměřené hloubky. Dosahování takových zaostřovacích požadavků vyžaduje používání adaptivních optických systémů, kterými mohou být známá zařízení, jako je přístroj pro rychlé zaostřování popisovaný v článku autora jménem G. Vdovin nazvané „Rychlé zaostřování zobrazovací optiky používající mikro-obrobená adaptivní zrcadla", jenž je dostupný na internetové adrese „http://guernsey.et.tudelft.nl/focus/index.html". Na obr. 8 je vidět, že membránový světelný modulátor (zkratka „MLM" podle anglického výrazu „membrane light modulator") 90 má tenkou, pružnou membránu 92, která účinkuje jako zrcadlo se seřizovatelnými a zaostřovacími charakteristikami. Membrána 82 může být vytvořena z plastového filmu, nitrocelulosového filmu, filmu z materiálu „MYLAR" nebo pak napínaných kovových filmů povlečených elektricky vodivou, reflexní vrstvu kovového povlaku, jako je hliník. Umístění elektrody a/nebo piezoelektrického aktuátoru 94 celkově navazuje na umístění membrány 92. Elektroda 94 může být plochá nebo celkově rovinná, aby zaujímala dvojrozměrnou polohu ve vztahu k povrchu membrány 92. Membrána 92 je připevněna v celkové návaznosti na elektrodu 94 pomocí připevňovací struktury 96 jako je eliptický připevňovací kroužek, jako je kruhový prstenec apod.

Elektroda 94 má schopnost snášet vysoké napětí, jako je přibližně 1000 voltů, které se přivádí z napěťového zdroje 98. Napětí se může měnit v požadovaném rozsahu tak, aby přitahovalo a/nebo odpuzovalo membránu 92. Membrána 92, která může mít nulový elektrický potencionál na základě připojení k nulovému elektrickému potencionálu 100, se takto účinkem elektrostatického přitahování vychyluje a deformuje se do zakřiveného tvaru, jako je parabolický tvar. V této deformované podobě membrána 92 účinkuje jako zaostřovací optický prostředek s ohniskovou vzdáleností a tím i projekční vzdáleností, která se může prudce měnit na základě změn napětí elektrody. Zakřivený povrch membrány 92 může mít například takovou ohniskovou vzdálenost, která se rovná polovině poloměru zakřivení zakřivené membrány 92, přičemž poloměr zakřivení se určuje na základě napínání membrány 92, mechanických vlastností materiálu membrány 92, oddělování membrány 92 a elektrody 94 a napětí přiváděného do elektrody 94.

V jednom provedení se membrána 94 vždy vychyluje směrem k elektrodě 94. Na základě umístění okénka s průsvitnou vodivou vrstvou na opačnou stranu membrány 92 od elektrody 94 a následného přivedení stálého napětí do okénka se membrána může alternativně vychylovat v obou směrech, nebo-li od elektrody 94 nebo k elektrodě 94, což umožňuje větší

rozsah zaostřování obrazů. Takové řízené změny membrány 92 ve více směrech popisuje dokument autora jménem Martin Yellin v periodiku „SPIE CONFERENCE PROCEEDINGS“, vydání 75, strany 97 až 102 (1976).

Optické efekty vytváření na základě vychylování MLM membrány 90 se mohou zvětšovat pomocí projekční optiky 22 a mohou zaostřovat promítaný obraz z roviny objektu v různých vzdálenostech od obrazového projektoru 20 při vysoké rychlosti obnovovaného zaostřování. Navíc MLM membrána 90 může udržovat téměř konstantní zvětšení v celém svém rozsahu zaostřování.

S odkazem na obr. 9 lze uvést, že MLM membrána 90 se může včlenit do adaptivního optického systému 102 na příklad tak, aby navazovala na čtvrtvlnovou destičku 104 a dělič světla 106 pro účely zaostřování obrazů do projekční optiky 22. Obrazy 110 z objektu nebo objektové roviny 112 procházejí přes polarizátor 108, aby dělič světla 106 mohl tyto obrazy vodorovně polarizovat a následně procházet přes čtvrtvlnovou destičku 104, takže výsledné, kruhově polarizované světlo dopadá na membránu 92 pro účely odrážení a zaostřování. Po odražení procházejí takové zaostřené obrazy 114 zpět přes čtvrtvlnovou destičku 104, výsledkem čehož je světlo 114, které se polarizuje v úhlu 90° ve vztahu ke směru dopadání světla 110. Poté dělič světla 106 odráží světlo 114 směrem k projekční optice 22 pro účely vytváření obrazu objektu. Na základě používání čtvrtvlnové destičky 104 a polarizátoru 108 s MLM membránou 90 se adaptivní optický systém může sestavovat do poměrně kompaktní konfigurace, která znemožňuje připevňování MLM membrány 90 mimo příslušnou osovou polohu a mimo danou vzdálenost od projekčních čoček 22.

Obrazy se mohou zaostřovat při udržování normální vzdálenosti F_N od projekční optiky 22 k normální projekční rovině 116 a rovněž tak se tyto obrazy mohou ve vysoké rychlosti obnovovaně zaostřovat z projekční optiky 22 mezi minimální vzdáleností F_{MIN} vymezující umístění minimální projekční roviny 118 a maximální vzdáleností F_{MAX} vymezující umístění maximální projekční roviny 120 při udržování vysokého stupně schopnosti rozlišování obrazů.

Jak je na obr. 10 vidět, obrazový projektor 20, který obsahuje adaptivní optický systém s MLM membránou 90, čtvrtvlnovou destičkou 104 a polarizátorem 108, může takto volitelně a rychle promítat jednotlivé 2D segmenty 3D obrazu na jednotlivé optické prvky 36 až 42, takže 2D segmenty se zaostřují na přinejmenším jednom optickém prvku s tak vysokou zaostřovací

přesností, aby 2D segmenty nedopadaly na vymezovací vložky 122 mezi optickými prvky 36 až 44 MOE zařízení 32.

S odkazem na obr. 9 a 10 lze uvést, že v dalším alternativním provedení může obrazový projektor 20 obsahovat SLM modulátor 124 mající určitý počet pixelů 126, který je určen pro modulování světla 110 z objektové roviny 112. Mohou se používat kroucené nematické (zkratka „TN" podle anglického výrazu „twisted nematic") SLM modulátory, ve kterých se přepínatelná půlvlnová destička vytváří vytvářením přiléhajících vrstev na předním substrátu a zadním substrátu SLM modulátoru 124, přičemž rozdíl v orientaci těchto substrátů je 90°. Kapalné krystaly TN SLM modulátoru se řadí do vyrovnané vrstvy na každém povrchu a poté se pravidelně spojují mezi oběma substráty tak, aby vytvořily jednu polovinu periody spirály. Jestliže se stoupaní spirály volí tak, aby se blížilo vlnové délce světla, pak spirála účinkuje jako půlvlnová destička a pootáčí polarizaci dopadajícího světla o 90°. Vytváření elektrického pole s s potřebným účinkem na TN SLM modulátor způsobuje to, že se objem materiálu s kapalnými krystaly mezi oběma substráty přeskupuje do bodu kolmo k substrátům, což rozvíjí spirálu a ruší půlvlnovou destičku s výsledným znemožněním pootáčení polarizace dopadajícího světla. Nedostatek vlastní polarizace v TN materiálu s kapalnými krystaly způsobuje necitlivost TN SLM modulátoru ke znaménku přiváděného napětí a každé znaménko napětí vede ke stejnému omezování činnosti vlnové destičky, takže TN SLM modulátor účinkuje jako vlnová destička se zpomalováním, které je funkcí veličiny působícího napětí.

Na obr. 11 je předvedeno, že SLM modulátorem 124 může alternativně být zařízení na bázi feroelektrických kapalných krystalů (FLC), které obsahuje určitý počet pixelů 126, přičemž každý pixel 126 má FLC materiál nanesen na polovodičovém substrátu, jako je křemíkový substrát 130, a mezi tímto FLC materiálem a polovodičovým substrátem je umístěna elektroda 132. Elektroda 132 se může zhotovovat z hliníku. Průsvitný vodič 134 se umisťuje nad FLC materiál 128 a připojuje se ke zdroji dodávajícímu pracovní napětí 2,5 V. Krycí vodítko 136 zhotovené například ze skla se umisťuje na průsvitný vodič 134.

FLC SLM modulátor, který obsahuje takové pixely 126, pracuje podobným způsobem jako kroucené nematické (TN) SLM modulátory, v nichž výsledkem účinkování elektrického pole například mezi elektrodou 128 a vodičem 134 je pootáčení polarizace dopadajícího světla. Rozsah pootáčení je úměrný účinkujícímu napětí a je různý od 0° do 90°. V kombinaci

s externím polarizátorem, jako je polarizátor 108, toto polarizační pootáčení SLM modulátoru 124 výsledně ovlivňuje modulování intenzity dopadajícího světla.

Na rozdíl od TN SLM modulátoru vykazuje FLC SLM modulátor schopnost vlastní polarizace, výsledkem čehož je takový FLC SLM modulátor, který má požadovanou tloušťku a vytváří vlnovou destičku se zpomalováním, jež závisí na účinkující úrovni napětí. FLC SLM modulátor účinkuje jako vlnová destička s takovou orientací, která je funkcí jak veličiny, tak i znaménka přiváděného napětí.

V případě pixelu 126 FLC SLM modulátoru 124, který je znázorněn na obr. 11, se typicky uplatňuje půlvlnová destička FLC SLM modulátoru 124, aby byla dosažena nenapájená orientace v úhlu přibližně 22,5° ve vztahu k vodorovné referenční ose, výsledkem čehož je 45° pootočení polarizace dopadajícího světla. V případě napájení se předpětí průsvitného vodiče 134 dostává na úroveň 2,5 V, což může být polovina rozsahu napětí elektrody 132 pixelu 126.

S odkazem na obr. 12 až 14 lze uvést, že na těchto vyobrazeních jsou orientace hlavních os půlvlnové destičky tvořené pixely 126 FLC SLM modulátoru 124 předvedeny při příslušných úrovních napětí 0 V, 2,5 V a 5 V a tudíž mají příslušnou polarizaci 0°, 45° a 90°.

Jak TN SLM modulátory, tak i FLC SLM modulátory se mají připojovat ke zdroji stejnosměrného (DC) elektrického proudu, který je vyvážen pro udržování správné činnosti. Výsledkem účinkování nepřetržitého DC elektrického pole na pixely 126 je rozbití vyrovnaných vrstev na substrátech v důsledku bombardování ionty příměsí, které ničí pixel 126. Aby se takovému ničení předcházelo, provádí se periodické a/nebo nepravidelné převracení znaménka elektrického pole při kmitočtu v řádu přibližně 100 Hz v případě TN SLM modulátorů a přibližně 1 Hz v případě FLC SLM modulátorů. Nedostatek citlivosti TN SLM modulátoru ke znaménku elektrického pole způsobuje průchod obrazu, který má stálý vzhled při převracení elektrického pole. Avšak FLC SLM modulátor je typicky citlivý ke znaménku pole, výsledkem čehož je inverze odstínů šedi, v jejímž důsledku se černé oblasti obrazu mění na bílé a bílé oblasti se mění na černé při vyrovnávání SLM modulátoru DC elektrickým proudem.

Preventivním opatřením proti inverzi odstínů šedi v průběhu stejnosměrného vyrovnávání SLM modulátoru 124 je vytváření předpětí, které účinkuje na dopadající světlo, takže kladné a záporné obrazy způsobované účinkováním elektrického pole na pixely 126 mají stejný vzhled. SLM modulátor 124 a/nebo jednotlivé pixely 126 mají statickou půlvlnovou destičku 138, která je umístěna tak, aby přijímala dopadající světlo 110 před SLM

modulátorem 124. Vlnová destička 138 je orientována tak, aby zajišťovala 22,5° pootočení polarizace dopadajícího světla, tudíž výsledné odstíny šedi mají jednak maximální jas při napětí elektrody 132 buď 0 V nebo 5 V a jednak minimální jas při napětí elektrody 2,5 V. V jiných provedeních se pro účely prevence snižování maximálního jasu na základě včlenění vlnové destičky 138 může používat FLC materiál 128, který má statickou orientaci 45° a který umožňuje dosažení toho, aby maximální jas FLC SLM modulátoru s polarizačním předpětím byl srovnatelný s maximálním jasem SLM modulátoru bez předpětí, jenž nemá vlnovou destičku 138.

Jak již bylo v předcházejícím textu uvedeno v souvislosti s alternativními provedeními obrazového projektoru 20, existuje možnost používání laserů, jako jsou barevné lasery a/nebo lasery s pracovní látkou v pevné fázi vytvářející barvy v objektové rovině 112. Mezi takové lasery mohou patřit modré a zelené lasery s pracovní látkou v pevné fázi, které jsou v současné době dostupné v dalších technologiích pro uchovávání a vyhledávání informací, jako jsou CD ROM zařízení, jakož i laserové videosystémy.

V jednom alternativním provedení obrazového projektoru 20 se může v přílbovém displeji používat adaptivní optika pro vytváření 3D obrazu, jehož hloubka není pevně nastavena a jenž se může namísto toho pohybovat směrem k pozorovateli 12 a od pozorovatele 12. Aniž by se používalo MOE zařízení 32, existuje možnost přímého promítání 2D obrazových segmentů 24 až 30 přímo do oka pozorovatele 12, aby se jevily ve správné hloubce. V důsledku rychlého zobrazování takových segmentů 24 až 30 se dostavuje účinek v tom, že uživatel vnímá 3D obraz. V tomto provedení MVD systému 10 může adaptivní optika obrazového projektoru 20 spolu s dalšími součástmi vytvářet kompaktní sestavu pro včlenění do existujících displejů, které jsou zabudovány v přílbách nebo v kokpitu či palubních deskách vozidel.

V dalším provedení se mohou segmenty 24 až 30 generovat a promítat tak, aby se některé z obrazů 44 až 50 se příslušně zobrazovaly na více než jednom optickém prvku z určitého počtu optických prvků 36 až 42 v zájmu přezkoumávání hloubky na základě zobrazování obrazů v určitém rozsahu hloubek v MOE zařízení 32 namísto jediné hloubky odpovídající jedinému optickému prvku. Takové přezkoumávání hloubky může být výhodné tehdy, když MOE zařízení 32 má více rovin optických prvků 36 až 42, než je počet obrazových segmentů 24 až 30, v důsledku čehož je počet obrazů 44 až 50 větší než počat obrazových segmentů 24 až 30. Jako příklad lze uvést, že segment 24 se příslušně zobrazuje na obou

optických součástech 36 a 38 jako obrazy 44 a 46. Takové přezkoumávání hloubky generuje 3D obraz 34 mající souvislejší vzhled bez zvětšování počtu optických prvků 36 až 42 nebo obnovovacího kmitočtu obrazového projektoru 20. Takové přezkoumávání hloubky se může provádět například na základě přepínání vícenásobných optických prvků do neprůsvitného stavu pro účely přijímání jediného promítaného segmentu na příslušně daný vícenásobný počet neprůsvitných optických prvků v průběhu příslušných vícenásobných projekčních cyklů.

GENEROVÁNÍ 3D OBRAZU Z VÍCEROVINNÉHO DATOVÉHO SOUBORU. Pro účely generování sestavy 2D obrazových segmentů 24 až 30, jež se mají promítat jako sada 2D obrazů 44 až 50 vytvářejících 3D obraz 34, se z 3D obrazových dat, která MVD ovladač 18 přijímá z grafického datového zdroje 16, sestavuje vícerovinný datový soubor. Zobrazování každého ze segmentů 24 až 30 má v MOE zařízení 32 přiměřenou hloubku, což znamená, že segmenty 24 až 30 se volitelně promítají na konkrétní optický prvek z určitého počtu optických prvků 36 až 42. Jestliže jsou segmenty 24 až 30 3D obrazu 34 vytvářeny hodně blízko u sebe, pak se obraz 34 jeví jako souvislý 3D obraz. Případné, na základě volby možné vícerovinné protirozostřování, které se zde popisuje, se rovněž může uplatňovat pro účely zdokonalování vzhledu 3D obrazu 34.

Způsob počítačového sestavování vícerovinného datového souboru (zkratka „MPD" podle anglického výrazu „multi-planar dataset") se provádí s použitím MVD systému 10. Konkrétně to znamená, že MVD ovladač 18 provádí takový způsob pro účely kombinování informací z vyrovnávací paměti barev a vyrovnávací paměti hloubky (nebo z) obrazové vyrovnávací paměti grafického datového zdroje 16, kterým může být počítač s grafikou. Tento způsob rovněž zahrnuje činnost pevného nastavování hloubky a protirozostřování.

S odkazem na obr. 15 lze uvést, že způsob reaguje v kroku 140 na interakci s uživatelem 12 obsluhujícím systém 10 tak, aby prostřednictvím grafického uživatelského mezičlánku (zkratka „GUI" podle anglického výrazu „graphic user interface") nebo případně jiného uživatelského zpětnovazebního zařízení 58 vybíral nebo manipuloval s obrazy, které se mají promítat. Na základě takové činnosti a/nebo interakce tento MVD systém 10 provádí v kroku 142 reprodukování obrazu z obrazových údajů uložených v obrazové vyrovnávací paměti, kterou může například být paměť MVD ovladače 18. Obrazová vyrovnávací paměť může obsahovat dílčí vyrovnávací paměti, jako jsou vyrovnávací paměti barev a hloubek.

V průběhu typického reprodukčního procesu zpracovává grafický počítač údaje o barvě a hloubce každého pixelu v téže (x, y) poloze ve vyrovnávací paměti hloubek. Pokud je hloubka nového pixelu menší než hloubka pixelu, jehož údaje již byly dříve počítačově zpracovány, pak je takový nový pixel blíže k pozorovateli, takže barva a hloubka nového pixelu nahrazuje barvu a hloubku starého pixelu v obou příslušných vyrovnávacích pamětích barva a hloubky. Poté, kdy se všechny objekty na scéně reprodukují jako datový soubor pro zobrazování, způsob pokračuje prováděním kroků 144 až 152. Alternativně nebo navíc se mohou reprodukované obrazy v obrazové vyrovnávací paměti zobrazovat před zrakem pozorovatele jako 3D obraz na 2D obrazovce počítačového monitoru jako předehra pro generování 3D obrazu v podobě volumetrického 3D obrazu 34, což pozorovateli 12 poskytuje možnost toho, jaký obraz bude generován jako 3D obraz 34.

Při provádění způsobu počítačového zpracovávání MPD se údaje z vyrovnávací paměti barev načítají v kroku 144 a údaje z vyrovnávací paměti hloubek se načítají v kroku 146. Obrazová vyrovnávací paměť může mít například stejný počet pixelů v rozměru x a rozměru y, jako je požadovaná velikost obrazových segmentů 24 až 30, která se může určovat podle pixelových rozměrů optických prvků 36 až 42. Jestliže počet pixelů na daný rozměr není stejný mezi obrazovou vyrovnávací pamětí a obrazovými segmenty 24 až 30, pak se údaje ve vyrovnávacích pamětech barev a hloubek upravují podle měřítka v kroku 148 tak, aby měly stejné rozlišování jako MVD systém 10 s požadovanými pixelovými rozměry obrazových segmentů 24 až 30. MVD ovladač 18 obsahuje výstupní vyrovnávací paměť v poměti pro ukládání konečných MVD dat, která se generují z údajů v pamětech barev a hloubky a kterými mohou být data, jež se upravují podle měřítka tak, jak je to uvedeno v předcházejícím textu.

Výstupní vyrovnávací paměť uchovává soubor údajů, který odpovídá 2D obrazům majícím stejné rozlišení a hloubku barev jako obrazy 44 až 50, které se mají promítat na základě zpracovávání segmentů 24 až 30. V upřednostňovaném provedení je počet obrazů 44 až 50 stejný jako počet rovin tvořených optickými prvky 36 až 42 MOE zařízení 32. Po zkompletování MPD výpočtů a roztřídění pixelů 2D obrazů ve výstupní vyrovnávací paměti při provádění kroku 150 se blok výstupní vyrovnávací paměti odesílá do MVD obrazové vyrovnávací paměti, která se může uchovávat v paměti v obrazovém projektoru 20, z něhož se 2D obrazy převádějí na obrazové segmenty 24 až 30 pro účely vytváření 3D obrazu 34 určeného pro zrak pozorovatele 12, jak je to popsáno v předcházejícím textu. Poté se způsob

vrací oklikou zpět ke kroku 140 například souběžně s generováním 3D obrazu 34 za účelem zpracovávání nových vstupních údajů a tím i aktualizování nebo měnění 3D obrazu 34 při generování například animovaných 3D obrazů.

MVD systém může pracovat ve dvou režimech, a to proměnlivém hloubkovém režimu a v pevném hloubkovém režimu. V proměnlivém hloubkovém režimu se před sestavováním MPD výpočtů včetně kroku 146 provádí testování hloubkové vyrovnávací paměti v zájmu určování maximální hloubkové hodnoty Z_{MAX} a minimální hloubkové hodnoty Z_{MIN}, přičemž tyto hodnoty mohou odpovídat krajním hloubkovým hodnotám 3D obrazu ne zvláštní 2D zobrazovací ploše před 3D volumetrickým zobrazováním, které provádí MVD systém 10. V pevném hloubkovém režimu jsou hodnoty Z_{MAX} a Z_{MIN} takovými hodnotami, které určuje pozorovatel 12 buď interaktivně nebo v průběhu spouštění aplikace při vyznačování příslušného zadního a předního ohraničení 3D obrazu generovaného činností MVD systému 10. Proměnlivý hloubkový režim umožňuje to, že všechny objekty, jež jsou viditelné na 2D zobrazovací ploše, se mohou zobrazovat v MOE zařízení 32 bez ohledu na rozsah hloubek nebo změn hloubky zobrazování v důsledku interaktivního manipulování se souborem obsahujícím takové zobrazované objekty.

V pevném hloubkovém režimu nemusí být objekty, které jsou pozorovatelné na 2D zobrazovací ploše, viditelné v MOE zařízení 32, protože takové objekty se mohou nacházet mimo virtuální hloubkový rozsah MOE zařízení 32. V alternativním provedení pevného hloubkového režimu se obrazové pixely, které lze označovat jako pixely ležící za „zadkem" nebo nejzadnějším optickým prvkem MOE zařízení ve vztahu k pozorovateli 12, mohou zobrazovat na nejzadnějším optickém prvku. Například na obr. 1 je vidět, že z perspektivy pozorovatele 12 je optický prvek 36 nejzadnějším optickým prvkem, na který se mohou promítat vzdálené obrazy. V tomto smyslu zůstává celý soubor obrazů viditelný, avšak ve volumetrickém 3D obrazu generovaném činností MOE zařízení 32 jsou viditelné pouze takové objekty, jejichž hloubka je mezi Z_{MAX} a Z_{MIN}.

Ve zde popisovaném MPD způsob se používání hodnot Z_{MAX} a Z_{MIN}, což jsou hodnoty hloubek v hloubkové vyrovnávací paměti, může posunovat a upravovat podle měřítka v kroku 148 tak, aby pixel s hloubkou Z_{MIN} měl upravenou hloubku 0 (nula) a pixel s hloubkou Z_{MAX} měl upravenou hloubku, která se rovná počtu rovin optických prvků 36 až 42 MOE zařízení 32. V kroku 150 se pak takové pixely s měřítkově upravenou hloubkou třídí a ukládají do

výstupní vyrovnávací paměti na základě celočíselné části $\lfloor d_i \rfloor$ upravených hloubkových hodnot d_i a na základě určování hodnoty barvy z vyrovnávací paměti barev pro příslušné MPD segmenty 24 až 30 při stejných (x, y) souřadnicích. Hodnota barvy může indikovat jas přidruženého pixelu nebo voxelu.

Při používání vynalezeného MPD způsobu mohou být volumetrické 3D obrazy 34 generované MVD systémem 10 neúplné, což znamená, že objekty nebo jejich části se úplně ztrácejí, pokud takové objekty nebo části nejsou viditelné z bodu pohledu pozorovatele, který prohlíží odpovídající 3D obraz na 2D zobrazovací ploše. V případě volumetrického zobrazení generovaného činností MVD systému 10 se vytváří takové prostředí obrazu, které umožňuje pozorovateli na obr. 1 pohyb v rozsahu zorného úhlu, čímž se předtím skryté objekty stávají viditelnými, takže takové MVD systémy 10 jsou výhodnější ve srovnání s existujícími 2D displeji 3D obrazů.

V alternativním provedení může tento MPD způsob uplatňovat zde popisované protirozostřování na základě používání zlomkové části měřítkově upravené hodnoty hloubky, tzn. $d_i - \lfloor d_i \rfloor$, pro přidělování zlomku hodnoty barvy pixelů ke dvěma po sobě jdoucím MVD obrazovým segmentům v souboru segmentů 24 až 30. Jako příklad lze uvést to, že, odpovídá-li měřítkově upravená hloubková hodnota hodnotě 5,5 a odpovídá-li každý segment diskrétní hloubkové hodnotě, pak se ke každému ze segmentů 6 a 6 přiděluje polovina jasu pixelu. Pokud v alternativním případě má měřítkově upravená hloubka hodnotu 5,25, pak se 75% barvové hodnoty přiděluje k segmentu 5, protože segment 5 je „blíže" k měřítkově upravené hloubce, a 25% hodnoty barvy se přiděluje k segmentu 6.

Rozdílné míry protirozostřování mohou příslušně souviset s různými zviditelňovacími úlohami. Míra protirozostřování může být různá od jedné krajnosti, kterou je ignorování zlomkové hloubkové hodnoty pro přidělování hodnoty barvy, ke druhé krajnosti spočívající v používání všech zlomkových hloubkových hodnot, popřípadě míra protirozostřování může mít některou z různých hodnot mezi těmito krajnostmi. Takové proměnlivé protirozostřování se může provádět na základě násobení zlomkových částí měřítkově upravené hloubky protirozostřovacím parametrem. Konečná hodnota barvy se může určovat na základě ustálení nebo uchopení záporně posunuté hodnoty tak, aby byla v předem stanoveném rozsahu, jako je rozsah mezi 0 a 1. Protirozostřovací parametr 1 odpovídá úplnému protirozostřování a

protirozostřovací parametr nekonečna, ∞, odpovídá neexistenci žádného protirozostřování. Rovněž se mohou uplatňovat protirozostřovací parametry menší než 1.

Při měřítkovém upravování hloubkových hodnot vyrovnávací paměti se může používat perspektivní promítání, které je specifikováno ve víceplošinovém softwarovém interface s názvem „Open Graphics Library" (zkratka „OpenGL") pro grafický hardware podporující reprodukční a zobrazovací činnosti. Výsledkem takového perspektivního promítání může být nelineárnost hodnot ve vyrovnávací paměti hloubek. Pro účely stanovování přesného vztahu mezi virtuální hloubkou a viditelnou hloubkou 3D obrazu 34 bere MVD ovladač 18 takovou nelineárnost v úvahu při vytváření měřítkově upravené hloubky v kroku 148. Alternativně se pro účely měřítkového upravování hloubkových hodnot vyrovnávací paměti může využívat kolmé promítání.

V existujících 2D monitorech se perspektiva vytváří počítačově ve zviditelňování 3D údajů při vytváření pocitu vnímání hloubky, takže objekty, které jsou dále od pozorovatele, se jeví menší a rovnoběžné přímky se jeví tak, jako by se přibližovaly k sobě. Ve vynalezeném MVD systému 10 se 3D obraz 34 generuje s pomocí počítačové perspektivy při vytváření řečeného pocitu vnímání hloubky a tím se zdůrazňuje hloubka 3D obrazu 34.

V jiném provedení se mohou segmenty 14 až 30 generovat a promítat tak, aby se některé z obrazů 44 až 50 příslušně zobrazovaly na více než jednom optickém prvku z optických prvků 36 až 42 v zájmu převzorkování hloubky na základě zobrazování obrazů nad rozsah hloubek v MOE zařízení 32 namísto jediné hloubky odpovídající jedinému optickému prvku. Převzorkování může být výhodné například tehdy, když MOE zařízení 32 má více rovin optických prvků 36 až 42, než je počet obrazových segmentů 24 až 30, a tudíž počet obrazů 44 až 50 je větší než počet příslušných obrazových segmentů 24 až 30. Takové převzorkování generuje 3D obraz 34 s podstatně souvislejším vzhledem bez zvyšování počtu optických prvků 36 až 42 nebo obnovovacím kmitočtu obrazového projektoru 20. Takové převzorkování se může provádět například na základě přepínání vícenásobných optických prvků do neprůsvitného stavu pro účely přijímání jediného promítaného segmentu na příslušných neprůsvitných, vícenásobných optických prvcích v průběhu příslušných vícenásobných promítacích cyklů.

ALTERNATIVNÍ PROVEDENÍ MVD SYSTÉMU. Jedno alternativním provedení MOE zařízení 32 obsahuje 10 panelů 36 až 42 s kapalnými krystaly a je sestaveno tak, aby

mělo následující rozměry, a to délku 14 cm, šířku 13,3 cm a hloubku 4,8 cm. Obrazový projektor 20 obsahuje akusticko-optický laserový paprskový skener používající dvojici iontových laserů pro vytváření červeného, zeleného a modrého světla, které bylo modulováno a následně rozloženo účinkem vysokofrekvenčních zvukových vln. Laserový skener má schopnost vektorového prohlížení 166 000 obrazových prvků za sekundu při rozlišovací schopnosti 200 x 200 obrazových prvků. V kombinaci s MOE zařízením 32 majícím 10 rovin a pracujícím při kmitočtu 40 Hz tento MVD systém 10 vytváří 3D obrazy s celkovým počtem 400 000 voxelů, což jsou prvky 3D obrazu. Přitom se dosahuje barevná hloubka 24 bitového rozlišování odstínů šedi při rychlosti aktualizování obrazu 1Hz. S použitím projektoru 54 reálného obrazu se může vytvářet zorné pole 100° x 45°.

Další alternativním provedení MOE zařízení 32 obsahuje 12 panelů 36 až 42 s kapalnými krystaly a je sestaveno tak, aby mělo následující rozměry, a to délku 15,2 cm, šířku 15,2 cm a hloubku 7,7 cm. Obrazový projektor obsahuje dvojici videoprojektorů značky „TEXAS INSTRUMENT DLP“, které jsou konstruovány pro činnost v režimu sekvenčního barevného pole tak, aby vytvářely obrazy v odstínech šedi při obnovovacím kmitočtu 180 Hz. Prokládáním těchto dvou projektorů se vytváří jediný výkonný projektor s obnovovacím kmitočtem 360 Hz pro vytváření 12 rovinných volumetrických obrazů při kmitočtu 30 Hz. Dosažitelná příčná rozlišovací schopnost je 460 x 460 obrazových prvků. V kombinaci s MOE zařízením 32 majícím 12 rovin a pracujícím při kmitočtu 30 Hz tento MVD systém 10 vytváří 3D obrazy s celkovým počtem 3 686 400 voxelů. Přitom se dosahuje barevná hloubka 8 bitového rozlišování odstínů šedi při rychlosti aktualizování obrazu 10 Hz. S použitím projektoru 54 reálného obrazu se může vytvářet zorné pole 100° x 45°.

Ještě další alternativním provedení MOE zařízení 32 obsahuje 50 panelů 36 až 42 s kapalnými krystaly a je sestaveno tak, aby mělo následující rozměry, a to délku 38,1 cm, šířku 33,0 cm a hloubku 25,4 cm. Obrazový projektor obsahuje vysokorychlostní analogový feroelektrický LCD od firmy „BOULDER NONLINEAR SYSTEMS“, který je extrémně rychlý, protože vykazuje obnovovací kmitočet 10kHz. Dosažitelná příčná rozlišovací schopnost je 512 x 512 obrazových prvků. V kombinaci s 50 rovinným MOE zařízením 32 pracujícím při kmitočtu 40 Hz tento MVD systém 10 vytváří 3D obrazy s celkovým počtem 13 107 200 voxelů. Přitom se dosahuje barevná hloubka 24 bitového rozlišování odstínů šedi při rychlosti aktualizování obrazu 10 Hz. S použitím projektoru 54 reálného obrazu se může vytvářet zorné

pole 100° x 45°. S takovými rozlišovacími schopnostmi a objemové rychlosti 40 Hz bez propojení s použitím interface má tento MVD systém 10 zobrazovací kapacitu, která se rovná konvenčnímu monitoru s úhlopříčkou 20 palců (tj. 50,8 cm).

V dalším provedení mohou optické prvky mít příčné rozlišování 1280 x 1024 a hloubkové rozlišování 256 rovin. Tento systém bude potencionálně pracovat v prokládaném režimu, ve kterém se střídané roviny zapisují při celkovém kmitočtu 75 Hz s úplným objemem aktualizovaným při rychlosti 37,5 Hz. Takové prokládání vytváří větší vnímaný objemový poměr bez zvyšování obnovovacího kmitočtu obrazového projektoru.

V ještě dalším provedení MOE zařízení 32 obsahuje 500 rovin pro značně velké rozlišování hloubky a příčné rozlišování 2048 x 2048 pixelů, výsledkem čehož je počet voxelů, který je vyšší než 2 miliardy. Z hlediska velikosti má MOE zařízení 32 v této konfiguraci délku 84 cm, šířku 64 cm a hloubku 64 cm, což je ekvivalentní ke konvenčnímu displeji majícímu úhlopříčku 41 palců (tj. 104 cm).

VIRTUÁLNÍ INTERAKČNÍ APLIKACE. Alternativní provedení MVD systému 10, k nimž se přidružuje uživatelské zpětnovazební zařízení 58, jako je modifikační zpětnovazební propojovací rozhraní, umožňuje pozorovateli 12 vnímat s pociťovat dotyky a vjemy 3D obrazů 34, 56 ve stejných místech, kde se 3D obrazy 34, 56 objevují. MVD systém 10 může generovat 3D obrazy 34, 56 mající vysokou rozlišovací schopnost a v této souvislosti lze konstatovat, že virtuální interakce v MVD systému 10 se uplatňuje s použitím přiměřeného zpětnovazebního zařízení pro generování povrchových struktur s vysokou rozlišovací schopností a velmi tuhými povrchy, což jsou povrchy, které se jeví jako odolné a/nebo mají malou poddajnost z hlediska virtuálně reálných pohybů částí povrchů podněcovaných pozorovatelem 12.

V souladu s tím uživatelské zpětnovazební zařízení 58 obsahuje polohové kodéry s vysokou rozlišovací schopností a vysokofrekvenční zpětnovazební smyčku pro pohyby, které jsou srovnatelné s pohyby rukou pozorovatele při modifikování 3D obrazů 34, 56, jakož i s pocitovými účinky působícími na pozorovatele 12 při modifikování těchto obrazů. Uživatelské zpětnovazební zařízení obsahuje 58 kompaktní součásti s malou hmotností, které se používají ve v oblasti virtuální reality, jako jsou modifikační zpětnovazební indukční rukavice, aby snížená objemnost a s tím související hmotnost a setrvačnost těchto součástí minimálně omezovala pohyby pozorovatele 12.

Taková uživatelská zpětnovazební zařízení mohou obsahovat uhlíkové kompozitní materiály s malou hmotností, které výrazně snižují hmotnost jakýchkoli součástí, jež by pozorovatel 12 na sobě mohl nosit. Navíc se mohou používat značně kompaktní optická vlákna nebo kapacitní poziční kodéry se značně velkou rozlišovací schopností namísto objemných optických pozičních kodérů, které jsou v této oblasti techniky známé v souvislosti s určováním poloh částí těla pozorovatele 12, jako jsou polohy jeho rukou a hlavy.

K součástem, které může mít pozorovatel 12 na sobě, patří zabudované procesorové systémy pro řízení uživatelského zpětnovazebního zařízení 58, což ulehčuje přetěžování při zpracovávání údajů v MVD ovladači 18 a/nebo v interface 14. Na základě používání zabudovaného procesoru, jehož jediným úkolem je řídit interface, může být zpětnovazební rychlost celkového MVD systému 10 vyšší než 100 kHz. V kombinaci s kodéry majícími vysokou rozlišovací schopnost získává MVD systém modifikační zpětnovazební interface s velmi věrnými reprodukčními schopnostmi.

Používání virtuálních interakčních technologií v MVD systému 10, který má schopnost zobrazování takových 3D obrazů 34, 56, spolu s uplatňováním GUI grafického uživatelského rozhraní umožňuje pozorovateli 12 přístup a přímou manipulaci s 3D údaji. K tomuto účelu se mohou používat známá zařízení obsahující interface, k nimž patří datové rukavice, obrazová zařízení pro rozpoznávání pohybů a systém „FISH SENSOR“ vyráběný ve firmě „MIT MEDIA LAB“ v městě Cambridge, neboť tato zařízení poskytují uživateli možnost přímé manipulace s 3D údaji například v 3D grafických a počítačově podporovaných konstrukčních (CAD) systémech.

Pro účely takové manipulace s 3S obrazovými údaji může MVD systém 10 rovněž uplatňovat 3D myš, jako je myš značky „SPACE BALL“ od firmy „SPACETEC INC.“ sídlící ve městě Lowell, Massachusetts“, jakož i 3D ukazovací zařízení, které přemisťuje 3D kurzor v displejovém objemu kolem obrazu 34 do kterékoli polohy stejným způsobem, jakým se pohybuje ruka pozorovatele 12 ve skutečném prostoru. Alternativně může MVD systém 10 prostřednictvím zmiňovaného uživatelského zpětnovazebního zařízení 58 interpretovat pohyb ruky pozorovatele 12 v podobě pohybu 3D kurzoru.

V jednom provedení může uživatelské zpětnovazební zařízení 58 obsahovat součásti pro snímání polohy a vedení ruky pozorovatele 12. Pozorovatel 12 může držet nebo mít na sobě poziční senzor, jako je magnetický senzor od firmy „POLYHEMUS INC.“ a/nebo další

typy senzorů, k nimž patří poziční senzory zabudované do rukavic pro virtuální realitu. Alternativně se poloha ruky snímá v objemu zobrazení 3D obrazu 34 na základě zpracovávání obrazu v počítači nebo s použitím radiofrekvenčních senzorů, jako jsou senzory vyvíjené v laboratořích firmy „MIT MEDIA LAB". Aby se předešlo svalové únavě, může uživatelské zpětnovazební zařízení 58 může snímat pohyb ruky nebo prstů pozorovatele 12 v podstatně menším prostoru, jenž je fyzicky oddělen od zobrazovaného 3D obrazu 34, takovým způsobem, který se podobá pohybům 2D myši na plochém povrchu podložky při ovládání polohy kurzoru na 2D obrazovce monitoru osobního počítače.

VÝHODY MVD SYSTÉMU. Používání MVD systému 10 poskytuje pozorovateli 12 možnost skutečného vidění generovaných 3D obrazů 34, 56, což znamená, že 3D obrazy 34, 56 mají v podstatě všechny hloubkové znaky související s pozorováním reálného objektu, což minimalizuje namáhání očí a dává pozorovateli možnost pozorování v průběhu delších časových úseků bez projevů únavy.

MVD systém 10 má vysokou schopnost rozlišování/počet voxelů a s použitím MOE zařízení 32 vytváří počet voxelů vyšší než 3 000 000, což je přinejmenším o jeden řád veličiny více, než vykazuje řada volumetrických displejů, které byly v této oblasti techniky doposud vyvinuty. Navíc na základě výhodného uplatňování přímočaré geometrie při zobrazování 3D obrazu, jako je zobrazování, které provádí MOE zařízení 32 mající obdélníkový průřez upraven pro zobrazování obrazových segmentů 24 až 30 v podobě 2D obrazů 44 až 50, tento MVD systém 10 používá systém souřadnic, který odpovídá vnitřním souřadnicovým systémům řady známých grafických počítačových a grafických aplikačních programů, jež usnadňují a maximalizují výkon počítače a obnovovací rychlost displeje bez potřeby dalšího převodního software. Lze dodat, že v upřednostňovaném provedení mají obrazové voxely MOE zařízení 32 stejné a neměnné tvary, velikosti a polohy, čímž se znemožňuje deformování 3D obrazu 34.

Na rozdíl od vícepohledových autostereoskopických displejů, které jsou v této oblasti známé, tento MVD systém 10 vytváří široké zorné pole pohledu jak ve smyslu vodorovné, tak i svislé paralaxy, což umožňuje, aby se 3D obraz „prohlížel dokola" na základě pozorování ve více rozměrech namísto jednoho.

Navíc na rozdíl od vícepohledových autostereoskopických displejů je zorné pole MVD systému 10 souvislé ve všech směrech, což znamená, že neexistují žádné přerušované skoky v 3D obrazu 34, když se pozorovatel 12 pohybuje ve vztahu k MOE zařízení 32.

Dále lze uvést, že na základě statické konstrukce optických prvků 36 až 42 v MOE zařízení 32 neexistují žádné pohyblivé součásti, které by v důsledku ztráty rovnováhy celého MOE zařízení 32 mohly způsobovat deformování obrazu, vibrace displeje nebo dokonce katastrofální mechanické selhání MOE zařízení 32.

MVD systém 10 se také může vyhýbat okluzi vznikající v důsledku toho, že objekty v popředí překážejí světlu, které vyzařují objekty v pozadí. Omezená podoba okluze, která se pojmenovává jako výpočtová okluze, se může vytvářet na základě určení konkrétního místa pozorování, po čemž se jednoduše nevykreslují povrchy, jež nemohou být vidět z takového místa pozorování, v zájmu zdokonalování poměru konstrukce obrazu a displeje. Pokusí-li se však pozorovatel 12 o pohled za objekty v popředí, tak ty části objektů v pozadí, které nebyly nakresleny, nejsou viditelné. V jednom provedení MVD systém 10 kompenzuje nedostatek okluze včleňováním rozptylovacích optických prvků, které zobrazují obraz s ostatními optickými prvky v rozptýleném stavu tak, aby se vytvářel stav okluze v důsledku pohlcování světla pozadí. V optických prvcích 36 až 42 se mohou používat kapalné krystaly rozptýlené v polymeru ve vztahu hosta-hostitele, ve kterém se organické barvivo míchá s molekulami kapalných krystalů, což umožňuje změny zbarvování materiálu v důsledku účinkování elektrického napětí.

MVD systém 10 rovněž vykazuje malou nebo žádnou degradaci kontrastu v účinkem osvětlování MVD systému z okolí, protože používání projektoru 54 skutečného obrazu vyžaduje kryt, který svým prodloužením zakrývá i MOE zařízení 32, což ve svém důsledku dále snižuje míru okolního světla pronikajícího k MOE zařízení 32 a zabraňuje degradování kontrastu.

Degradace kontrastu se může snižovat na základě zesilování vyzařovaného světla z obrazového projektoru 20 ve vztahu úměrnosti k vyzařovanému světlu z okolí a na základě umístění absorpčního plastového krytu kolem MOE zařízení 32, který snižuje jas obrazu na viditelné úrovně. Okolní světlo musí procházet přes absorpční kryt dvakrát, aby se dostalo až k pozorovateli, a to poprvé na cestě dovnitř a pak znovu po ukončení rozptylovacího stavu optických prvků 36 až 42 MOE zařízení 32. Na rozdíl od toho světlo z obrazového projektoru 20, které vytváří obrazy 44 až 50 prochází pouze přes absorpční kryt na cestě k pozorovateli 12, a tudíž vykazuje menší ztrátu intenzity osvětlování, která je funkcí druhé odmocniny ztráty vznikající v důsledku okolního světla.

Alternativní provedení, které snižuje účinky okolního světla, může používat kryt se třemi úzkými spektrálními pásmy v červené, zelené a modré a účinné absorpční prostředky pro absorbování mimopásmového světla, jež jsou velmi dobře použitelné při snižování účinků okolního světla. Větší účinek z hlediska okolního světla se dosahuje tehdy, používají-li se v obrazovém projektoru 20 laserové světelné zdroje, protože úzkopásmové světlo z laserových světelných zdrojů vychází utlumeno po předchozím rozptylování v MOE zařízení 32, zatímco širokopásmové světlo z okolních zdrojů osvětlování se většinou absorbuje.

PROTIROZOSTŘOVÁNÍ V MOE ZAŘÍZENÍ. S odvoláním na obr. 16 a související popis lze uvést, že v dalším provedení může MVD ovladač 18 nebo alternativně grafický datový zdroj 16 před vysíláním obrazových údajů do obrazového projektoru 20 a tím i do optických prvků 160 a 168 MOE zařízení 32 provádět 3D protirozostřování na obrazových údajích za účelem vyrovnávání znaků , které se mají zobrazovat na 3D obrazu 34 na optických prvcích 160 až 168. Na základě používání 3D protirozostřování se MVD systém 10 vyhýbá zobrazování zubatých přímek nebo neúplných oblastí v hloubce například mezi rovnoběžnými rovinami 162 a 164 podél směru z v důsledku pixelizace displeje způsobované vlastní diskrétní voxelovou konstrukcí MOE zařízení 32, jehož optické prvky 160 až 168 jsou vyrovnaně seřazeny v rovinách x - y, které jsou kolmé na osu z.

Při generování údajů, které odpovídají obrazovým segmentům, se obrazový prvek 170 může objevit v blízkosti okraje přechodu roviny, tedy mezi optickými prvky, kterými jsou například optické prvky 162 a 164. Z výhradně znázorňujících důvodů je konfigurace optických prvků 160 až 168 a voxelu 170 na obr. 16 až 18 zvýrazněna, aby mohl být jasněji a přehlednější předveden popisovaný protirozostřovací systém a způsob, a proto by se v této souvislosti měla vzít v úvahu skutečnost, že mezi jednotlivými optickými prvky 160 až 168 existují velmi malé odstupy.

Aby se předešlo přerušení přechodu u specifického obrazového prvku 170 a na 3D obrazu tvořeném přinejmenším voxelovým a/nebo obrazovým prvkem 170 se oba zde popisované segmenty, které jsou vyzařovány z projektoru 20 na optické prvky 162 a 164, mohou generovat tak, že každý z obrazů 172 a 174 na příslušných optických prvcích 162 a 164 obsahuje obrazový prvek 170 nebo jeho část či odvozenou podobu, a proto obrazový prvek 170 sdílí polohu mezi oběma rovinami tvořenými optickými prvky 162 a 164, což vyrovnává řečený přechod a umožňuje vytváření souvislejšího 3D obrazu 34 na obr. 1. Jas obrazových

prvků 172 a 174 na příslušných, za sebou umístěných optických prvků 162 a 164 se mění v souladu s umístěním obrazových prvků 172 a 174 v obrazových údajích.

S odkazem na obr. 16 lze uvést, že počet N optických prvků 160 až 168 mohou tvořit rovinné LCD povrchy, které se tudíž mohou označovat odkazovými značkami P_1, P_2, P_3 .... P_N, přičemž rozsah vzdálenosti D vytváří šířku MOE zařízení 32. Podle toho se může každý z optických prvků umisťovat ve vzdálenostech D_1, D_2, D_3 .... D_N na ose z od společného referenčního bodu tak, aby se vzdálenost D_N mínus vzdálenost D_1 rovnala rozměru D. Společným referenčním bodem může například být optický prvek 160, který je na ose x nachází nejblíže u projektoru 20, takže $D_1 = 0$ a $D_N = D$. Alternativně se vzdálenosti optických součástí 160 až 168 mohou měřit od čoček 22 projektoru 20, takže odsazená vzdálenost D_{OFFSET} (poznámka: v českém překladu se používá pro výraz „odsazení" anglický ekvivalent „OFFSET„ , aby označení používaná na vyobrazeních a ve vzorcích byla v souladu s touto patentovou specifikací) od optického prvku 160 a čoček 22 se může odečítat z absolutních vzdáleností D_1, D_2, D_3 .... D_N optických prvků 168 od čoček 22, čímž se získají příslušné vzdálenosti od optického prvku 160. V souladu s tím $D_1 = D_{OFFSET}$. Optické prvky 160 až 168 mohou být také seřazeny ve stejných odstupech S od sebe nebo alternativně mohou být odstupy mezi optickými prvky 160 až 168 různé.

Jak je v tomto popisu uvedeno, hodnota hloubky každého voxelu 170 se měří na ose x od referenčního bodu, který je vymezen buď čočkami 22 nebo optickým prvkem 160, a takové hodnoty hloubky se ukládají do vyrovnávací paměti hloubek, zatímco přidružené hodnoty barev se ukládají do vyrovnávací paměti barev. Například hloubková hodnota D_V se přidružuje k voxelu 170.

Pro účely provádění protirozostřování a tím i vyrovnávání vzhledu voxelu 179 ležícího mezi optickými součástmi 162 a 164 se určují vzdálenosti D_A, D_B mezi hloubkovou hodnotou D_V a příslušnými optickými prvky 162 a 164 a takové vzdálenosti se používají pro generování protirozostřovacího parametru. Protirozostřovací parametr se pak používá pro generování dvou voxelů 172 a 174 na příslušných optických prvcích 162 a 164, přičemž odpovídající hodnota barvy voxelu 170 se modifikuje protirozostřovacím parametrem za účelem generování příslušných hodnot barev pro dva voxely 172 a 174.

Obr. 17 znázorňuje voxelový displej bez použití protirozostřování. Na obr. 17 je vidět, že voxely 176 a 178 na optickém prvku 162 a voxely 180, 182 a 184 na optickém prvku 164

vytvářejí ostrý přechod u ohraničení, které vymezují voxely 178 a 180. Jestliže je vzdálenost mezi optickými prvky 162 a 164 značná, může kombinace zobrazovaných voxelů 176 až 184 vytvářet postřehnutelný, zubatý nebo přerušovaný vzhled. Například voxely 178 a 180 mají takové hloubkové hodnoty mezi optickými prvky 162 a 164, které udávají, že například voxel 178 je blíže, avšak nikoli na optickém prvku 162 a voxel 180 je blíže, avšak nikoli na prtickém prvku 162. Takové střední hloubkové hodnoty se mohou následně převádět na diskrétní hloubkové hodnoty D_2, D_3 příslušných optických prvků 162 a 164 v zájmu zobrazování voxelů 178 a 180. Navíc hodnoty barev voxelů 178 a 180 na obr. 17 jsou neměnné, a proto se intenzita barvy voxelů 178 a 180 u přechodu mohou být anomální v případě takových rozdílných optických hloubek. V alternativním případě se mohou voxely 178 a 180 u přechodu vynechat kvůli jejich středním hloubkám, ale pak se 3D obraz 34 složený z voxelů 176 a 182, 184 bude jevit tak, jako by v něm existovaly díry nebo lomy.

Uplatňuje-li se protirozostřování tak, jak je to předvedeno na obr. 18, mohou se oba přechodové voxely 178 a 180 používat pro účely generování nových voxelů 178A, 178B a 180A, 180B s tím, že voxely 178A a 180A se zobrazují na optickém prvku 162 a voxely 178B a 180B se zobrazují na optickém prvku 164. S odkazem na obr. 18 lze dále uvést, že, zatímco hodnoty barev voxelů 176 a 182, 184 zůstávají beze změny, v důsledku provádění protirozostřování se mohou hodnoty barev nových voxelů modifikovat tak, aby každý z nových voxelů 178A, 178B a 180A, 180B měl seřízenou barvu pro vyrovnávání obrazových přechodů v rovině x - y příčně k rozdílným hloubkám. V souladu s tím lze z obr. 19 vypozorovat, že, zatímco voxely 178 až 184 mají prudký přechod ve zdánlivé hloubce podle křivky 186 pro zobrazování situace na obr. 17, voxely 176, 178A a 178B, 180A a 180B, jakož i voxely 182 a 184 předvedené na obr. 18 mají poměrně vyrovnanější přechod ve zdánlivé hloubce podle křivky 188. Z výhradně předvádějících důvodů lze poznamenat, že křivky 186 a 188 se v situaci nakreslené na obr. 18 nepřekrývají proto, aby tyto křivky 186 a 188 byly ukázány jasně a aby bylo srozumitelné, že v situaci nakreslené na obr. 18 je zdánlivá hloubka voxelů 176 a 182, 184 stejná jak při protirozostřování, tak i bez protirozostřování.

Z obr. 19 lze vypozorovat, že voxely 178A a 178B nakreslené na obr. 18 vytvářejí obraz napříč optickými prvky 162 a 164 se zdánlivou hloubkou 178C nacházející se uprostřed mezi hloubkami voxelů 178A a 178B a odpovídající původní hloubce voxelu 178 na obr. 17, který je blíže, avšak nikoli na optickém prvku 162. Obdobně voxely 180A a 180B znázorněné

na obr. 18 vytvářejí obraz napříč optickými prvky optickými prvky 162 a 164 se zdánlivou hloubkou 180C nacházející se uprostřed mezi hloubkami voxelů 180A a 180B a odpovídající původní hloubce voxelu 180 na obr. 17, který je blíže, avšak nikoli na optickém prvku 164.

Mělo by být pochopitelné, že protirozostřování se neomezuje pouze na nejbližší dvě ohraničení optických prvků, ale kromě toho se mohou voxely 178 a 180 používat pro generování určitého množství odpovídajících voxelů na příslušném počtu optických prvků 160 až 168 , čímž vytvářejí křivky přechodových hloubek, které například mohou být vyrovnanější než křivka 188 na obr. 19. Například křivka přechodové hloubky 188 se může v důsledku protirozostřování přibližovat sigmoidní nebo tangenciální funkci.

S odkazem na obr. 16 lze také uvést, že při provádění protirozostřování v případě voxelu 170 se generuje přinejmenším jedna seřizovací hodnota λ hloubky, která je funkcí vzdálenosti voxelu 170 od přinejmenším jednoho optického prvku. V jednom provedení se mohou generovat seřizovací hodnoty λ, μ, jež jsou funkcemi měřítkově upravovaných hodnot vzdáleností D_A, D_B od příslušných optických prvků 162 a 164. Seřizovací hodnoty λ, μ se pak používají pro modifikování barvové hodnoty C_V související s voxelem 170 při generování nových hodnot C_A, C_B barev, které se podle příslušnosti přidružují k nově generovaným voxelům 172 a 174, přičemž příslušné polohy x - y voxelů 172 a 174 na optických prvcích 162 a 164 jsou stejné jako x - y poloha voxelu 170.

Hodnota barvy voxelu může specifikovat přinejmenším jas voxelu, který se má zobrazovat. Alternativně může s voxelem souviset skupina parametrů, do níž patří přinejmenším jeden skalár specifikující jas zabarveného voxelu. Na základě toho lze provádět modifikování hodnot barev pomocí násobení hodnoty barvy seřizovací hodnotou. Je-li například dána hodnota C_A barvy = 12 jednotek jasu a seřizovací hodnota = 0,5, pak se výsledná modifikovaná hodnota C_A barvy určuje tak, aby $C_V \lambda$ = (12 jednotek jasu) x (0,5) = 6 jednotek jasu.

V jednom provedení se vzdálenost D_V měřítkově upravuje tak, aby byla hodnotou hloubky od 1 do N, v níž N je počet optických prvků 160 až 168 a aby každá z celočíselných hodnot 1 až N odpovídala konkrétnímu jednomu optickému prvku z dané sestavy optických prvků 160 až 168 tak, jak to například vyjadřují odkazové značky P_1, P_2, P_3 .... P_N nakreslené na obr. 16. Seřizovací hodnoty λ, μ se určují z měřítkově upravené hodnoty hloubky. Jestliže

jsou optické prvky 160 až 168 stejnoměrně rozmístěny v konstantních odstupech S v rozsahu vzdálenosti D, pak:

$$S = \frac{D}{N - 1} \tag{1}$$

takže měřítkově upravená vzdálenost voxelu 170 je:

$$D_{SCALED} = \frac{D_V - D_{OFFSET}}{S} + 1 \tag{2}$$

v němž D_V je absolutní vzdálenost měřená od čoček 22 nebo jiných referenčních bodů. Tvoří-li například čočky 22 počátek osy z, pak je optický prvek 160 ve vzdálenosti $D_1 = D_{OFFSET}$.
(poznámka: v českém překladu se používá pro výraz „odsazení" anglický ekvivalent „ OFFSET „ a pro výraz „měřítkově upravený" anglický ekvivalent „SCALED„ , aby označení používaná na vyobrazeních a ve vzorcích byla v souladu s touto patentovou specifikací).

D_{SCALED} je reálná číselná hodnota, takže $1 \leq D_{SCALED} \leq N$, a proto zlomková část D_{SCALED}, která je v rozsahu od 0 do 1, indikuje poměrnou vzdálenost od optických prvků 162 a 164. V případě optických prvků 162 a 164 ohraničujících voxel 170 na každé straně osy z jsou ukazatelé optických prvků 162 a 164 :

$$\lfloor D_{MĚŘÍTKO} \rfloor a \tag{3}$$

$$\lfloor D_{MĚŘÍTKO} \rfloor + 1 \tag{4}$$

v nichž $\lfloor X \rfloor$ je spodní hranice nebo celočíselná funkce hodnoty nebo proměnné X, což je funkce vracející největší celé číslo menší než X.

Zlomková část D_{SCALED} je:

$$\lambda = D_{SCALED} - \lfloor D_{SCALED} \rfloor \tag{5}$$

a tudíž:

$$\mu = 1 - \lambda \tag{6}$$

Hodnoty C_A, C_B indikující příslušné jasy přidružené podle příslušnosti k voxelům 172 a 174 jsou určením hodnot:

$$C_A := C_V (1 - \lambda) \tag{7}$$

$$C_B := C_V \lambda = C_V (1 - \mu) \tag{8}$$

v nichž symbol „ := " indikuje určení nové hodnoty.

Například, má-li voxel 170 hloubku D_V = 9,2 jednotek od čoček 22 s odsazením D_{OFFSET} = 3,0 jednotky při použití MOE zařízení 32 mající pět pravidelně rozmístěných optických prvků dosahujících délku dvaceti jednotek, čili N = 5, D = 20, pak jsou optické prvky rozmístěny v odstupu S = 5 jednotek, jak to platí v případě rovnice (1), a D_{SCALED} = 2,24 podle rovnice (2). Na základě toho se voxel 170 nachází mezi optickými prvky majícími ukazatele $\lfloor D_{MĚŘÍTKO} \rfloor = 2$ a $\lfloor D_{MĚŘÍTKO} \rfloor + 1 = 3$ tak jako v rovnicích (3) a (4), a proto jsou na obr. 16 optické prvky 162 a 164 mající označení P_2 a P_3 identifikovány jako optické prvky, na nichž se mají zobrazovat nové voxely 172 a 174 odpovídající voxelu 170.

V tomto příkladu z rovnic (5) a (6) vyplývá, že zlomková hodnota měřítkově upravované hloubky je λ = 0,24 a tudíž μ = 0,76. Podle toho (1 - λ) = 0,76 a (1 - μ) = 0,24 a z rovnic (7) a (8) vyplývá, že hodnota barvy voxelu 172 je C_A = 0,76 C_V = 76% jasu původního voxelu 170. Vzhledem k tomu, že voxel 170 je „blíže" k optickému prvku 162 než k optickému prvku 164, mají odpovídající nové voxely 172 a 174 jas rozdělen tak, aby bližší optický prvek zobrazoval většinu barvy mezi dvěma voxely 172 a 174, zatímco vzdálenější optický prvek 164 přispívá menším, avšak nikoli nulovým podílem ke vzhledu přechodu 3D volumetrického obrazu mezi optickými prvky 162 a 164 u voxelu 170.

V případě voxelů 170, jejichž hloubkové hodnoty leží přesně na optických prvcích 160 až 168 se žádné protirozostřování nevyžaduje. Na základě toho rovnice (2) až (4) generují záporné celočíselné hodnoty a výsledné seřizovací hodnoty λ, μ podle rovnic (5) a (6) jsou příslušně 0 nebo 1, popřípadě příslušně 1 nebo nula, a proto se neprovádějí žádná seřizování hodnot barev. Aby se předcházelo nepotřebným počítačovým činnostem, může MVD ovladač 18 prověřovat, zda výpočty rovnice (2) dávají výsledky v podobě celého čísla v předem stanovené toleranci chyby, jakou může být 1 procento, a pokud tomu tak skutečně je, pak se voxel 170 definuje nebo považuje za voxel, který leží přesně na jednom z optických prvků 160

až 168. Protirozostřovací procedura se v případě právě zpracovávaného voxelu 170 zastavuje a tato procedura může následně pokračovat zpracováváním dalších voxelů 3D obrazu 34.

V souvislosti s používáním rovnic (1) až (8) v tomto provedení lze dodat, že s ohledem na stejnoměrné rozmístění optických prvků a další charakteristiky MOE není nutné vyhledávat nejbližší ohraničující optické prvky, protože vzdálenost D_V voxelu 170 a charakteristiky MOE zařízení určují s použitím rovnic (3) a (4), které optické prvky ohraničují voxel 170.

V souvislosti s dalším alternativním provedením, v němž optické prvky 160 až 168 MOE zařízení 32 jsou rozmístěny buď ve stejnoměrných odstupech, nebo v proměnlivých a/nebo nestejnoměrných odstupech od sebe, se protirozostřování může provádět s použitím rovnic (9) až (13), které budou uvedeny v dalším textu, v návaznosti na již uvedené rovnice (7) a (8). Jako příklad lze uvést to, že v případě MOE zařízení majícího proměnlivé odstupy a/nebo proměnlivá odsazení MOE zařízení od projektoru 20 a čoček 22 se protirozostřovací způsob může provádět letmo v průběhu modifikování odstupů a konfigurace optických prvků 160 až 168. Vzhledem k tomu, že vzdálenosti/hloubky optických prvků 160 až 168 mohou být v alternativním provedení různé, určuje protirozostřovací způsob přinejmenším dva optické prvky, které ohraničují právě zpracovávaný voxel 170, na základě hledání hodnot hloubky každého z optických prvků 160 až 168 pro dva ohraničující optické prvky mající hodnoty vzdálenosti/hloubky $D_{BLÍŽE\,1}$ a $D_{BLÍŽE\,2}$, tak, že:

$$D_{BLÍŽE\,1} \leq D_V \leq D_{BLÍŽE\,2} \tag{9}$$

Proměnné BLÍŽE 1 a BLÍŽE 2 mohou být celočíselné ukazatele, které specifikují přidružené optické prvky mezi optickými prvky 160 až 168. Na příklad na obr. 16 odpovídají ukazatele BLÍŽE 1 = 2 a BLÍŽE 2 = 3 optickým prvkům 162 a 164 ohraničujícím voxel 170 ve vztahu k ose z.

Hloubkové seřizovací hodnoty λ, μ určují tak, aby:

$$\lambda = \left| \frac{D_V - D_{BLÍŽE\,1}}{D_{BLÍŽE\,1} - D_{BLÍŽE\,2}} \right| \tag{10}$$

$$\mu = \left| \frac{D_V - D_{BLÍŽE\,2}}{D_{BLÍŽE\,1} - D_{BLÍŽE\,2}} \right| \tag{11}$$

v nichž $|X|$ je absolutní hodnotová nebo veličinová funkce hodnoty nebo proměnné X.

Hloubkové seřizovací hodnoty z rovnic (10) a (11) jsou v obou případech kladná reálná čísla, která splňují :

$$0 \leq \lambda, \mu \leq 1 \tag{12}$$

$$\lambda + \mu = 1 \tag{13}$$

a tím hloubkové seřizovací hodnoty upravují nestejnoměrné a/nebo proměnné vzdálenosti mezi optickými prvky podle daného měřítka a poté se používají v rovnicích (7) a (8) pro generování voxelů 172 a 174 s odpovídajícími, seřízenými hodnotami barev. Jak vyplývá z rovnic (10) a (11) hloubkové seřizovací hodnoty λ, μ jsou založeny na interpolaci hloubky voxelu 170 v rozsahu hloubek voxelů 172 a 174 přidružených k příslušným optickým prvkům 162 a 164.

V předchozím příkladu majícím stejnoměrné odstupy se používají rovnice (9) až (13) v nichž $D_V = 9{,}2$ jednotek, $D_{BLÍŽE\,1} = 8$ jednotek a $D_{BLÍŽE\,2} = D_3 = 13$ jednotek, takže:

$$\lambda = \left| \frac{9{,}2 - 8}{8 - 13} \right| = \frac{1{,}2}{5} = 0{,}24$$

$$\mu = \left| \frac{9{,}2 - 13}{8 - 13} \right| = \frac{3{,}8}{5} = 0{,}76$$

což souhlasí se seřizovacími hodnotami při použití rovnic (1) až (8). Alternativní provedení je použitelné tehdy, jestliže jsou rozměrové a odstupové charakteristiky MOE zařízení 32 a optických prvků 160 až 168 různé, avšak vyžaduje se vyhledávání pro účely určování přiměřeného ohraničení optických prvků 162 a 164 při generování nových voxelů 172 a 174.

Obr. 20 předvádí postupový diagram způsobu, který uplatňuje zde popisované 3D protirozostřování , v němž v případě právě zobrazovaného voxelu, jako je voxel 170 tento způsob načítá v kroku 190 odpovídající hloubkovou hodnotu D_V a barvovou hodnotu C_V z příslušných vyrovnávacích pamětí hloubek a barev. Poté může v kroku 192 způsob určovat, zda jsou odstupy mezi optickými prvky konstantní: například konfigurační nastavení MVD ovladače 18 může indikovat, zda jsou optické prvky 160 a 168 trvale upevněny, jsou rozmístěny stejnoměrně nebo nestejnoměrně, a/nebo MVD ovladač 18 a MOE zařízení 32 pracuje v proměnlivém odstupovém režimu tak, jak se to uvádí v této patentové specifikaci.

Pokud jsou odstupy konstantní, pak způsob měřítkově upravuje v kroku 194 hloubkovou hodnotu D_V tak, aby byla v rozsahu ukazatelů optických prvků 160 až 168 určovaných s použitím rovnic (1) a (2), a následně v kroku 196 tento způsob identifikuje optické prvky, které jsou nejblíže a ohraničují hloubkovou hodnotu D_V, s použitím rovnic (3) a (4) v kroku 196. Jinak platí, že, nejsou-li odstupy v kroku 192 konstantní, může tento způsob v alternativním provedení provádět krok 196 bez kroku 194 při určování toho, že optické prvky splňují požadované výsledky rovnice (9); což je používání vyhledávacího postupu v hodnotách vzdálenosti/hloubky každého z optických prvků 160 až 168. V dalším alternativním způsobu se krok 192 může podle okolností volby uplatňovat nebo vynechávat v závislosti na konfiguraci a pracovním režimu MVD ovladače 18 a MOE zařízení 32.

Poté způsob určuje hloubkovou seřizovací hodnotu λ a/nebo druhou hodnotu μ v kroku 198 s použitím rovnic (5) a (6) nebo rovnic (10) a (11) v závislosti na používaném zařízení tak, jak je to zde popisováno. Následně v kroku 200 způsob seřizuje hodnoty barvy voxelů na nejbližších ohraničovacích optických prvcích s použitím hloubkové seřizovací hodnoty nebo hodnot s použitím rovnic (7) a (8) a v kroku 202 tento způsob zobrazuje seřízené voxely na nejbližším ohraničujícím optickém prvku se seřízenými hodnotami barvy.

V dalším alternativním provedení se může používat střední stupeň protirozostřování. Například seřizovací hodnoty λ, μ se mohou nastavovat pevně na hodnotu například 0,5, takže polovina jasu voxelu 170 se přiděluje každému z voxelů 172 a 174. Takové střední protirozostřování může generovat zdánlivé hloubky, jako je střední hloubka 180D odpovídající středním přechodovým křivkám, z nichž jedna taková střední přechodová křivka 189 je předvedena na obr. 19.

V dalších alternativních provedeních může být míra protirozostřování různá od jedné krajnosti, což znamená ignorování zlomkových hloubkových hodnot λ, μ pro přidělování hodnot barev, ke druhé krajnost používání všech zlomkových hloubkových hodnot λ, μ, popřípadě se stupeň protirozostřování může stanovovat různě mezi těmito krajnostmi. Takové proměnné protirozostřování se může provádět na základě dělení zlomkové části λ měřítkově upravené hloubky protirozostřovacím parametrem P, po čemž se výsledná hodnota záporně kompenzuje od jedné. To znamená, že po vypočítání λ v rovnicích (5) a (10) se variabilní

hodnota λ_{VAR} vypočítává tak, že

$$\lambda_{VAR} = \frac{\lambda}{P} \tag{14}$$

Konečná hodnota barvy se může určovat na základě pevného nastavení negativně vykompenzované hodnoty tak, aby tato hodnota byla v předem stanoveném rozsahu, jako je rozsah od 0 do 1. V souladu s tím se rovnice (7) a (8) upravují pro proměnné protirozostřování tak, že:

$$C_{A2} = C_V (1 - \lambda_{VAR}) \tag{15}$$

$$C_{B2} = C_V \lambda_{VAR} \tag{16}$$

Takto mohou kroky 198 až 202 znázorněné na obr. 20 příslušně zahrnovat rovnice (14) až (16) pro provádění proměnného protirozostřování.

Protirozostřovací parametr P = 1 odpovídá plnému protirozostřování a protirozostřovací parametr nekonečna $P \rightarrow \infty$, který se může implementovat počítačově s libovolně velkou číselnou hodnotou, neodpovídá žádnému protirozostřování. Mohou se však také používat protirozostřovací parametry, které jsou menší než 1. Je-li například P = 1, pak se provádí protirozostřování tak, jak je to popsáno v souvislosti s předcházejícími rovnicemi (1) až (13).

V dalším příkladu platí, že, je-li protirozostřovací hodnota $\lambda = 0{,}24$ a protirozostřovací parametr 3, pak na základě rovnice (14) $\lambda_{VAR} = 0{,}08$, a proto $C_{A2} = 0{,}92$ $C_V = 92\%$ hodnoty barvy voxelu 170, zatímco $C_{B2} = 0{,}08$ $C_V = 8\%$ hodnoty barvy voxelu 170 podle rovnic (15) a (16). Ve srovnání s předcházejícím číselným příkladem takové proměnné protirozostřování zvyšuje podíl voxelu 172 na zdánlivé hloubce od 76% do 92%, zatímco podíl voxelu 174 se snižuje od 24% nebo jedné čtvrtiny a klesá na méně než 10%. Je-li v dalším příkladě $P \rightarrow \infty$, pak se protirozostřování eliminuje a tudíž na základě rovnice (14) platí, že $\lambda_{VAR} = 0{,}00$. Takto $C_{A2} = 1{,}0$ $C_V = 100\%$ hodnoty barvy voxelu 170, zatímco na základě výše uvedených rovnic (15) a (16) platí, že $C_{B2} = 0{,}0$ $C_V = 0\%$ hodnoty barvy voxelu 170. V souladu s tím se všechny voxely 170 nacházející se mezi optickými prvky 162 a 164 zobrazují bez protirozostřování na bližším optickém prvku 162, a proto krok 202 na obr. 20 může navíc zahrnovat krok negenerování a tím i nezobrazování druhého voxelu dále od referenčního bodu, jestliže $P \rightarrow \infty$. Jako příklad lze uvést to, že se negeneruje voxel 174.

V dalších alternativních provedeních používajících proměnné protirozostřování může způsob znázorněný na obr. 20 obsahovat zobrazování nových voxelů pouze tehdy, jsou-li seřízené hodnoty barev vyšší než předem stanovená prahová hodnota T. Například

$$\text{jestliže } C_V\ (1 - \lambda_{VAR}) > T, \text{ pak } C_{A2} = C_V\ (1 - \lambda_{VAR}), \quad \text{jinak } C_{A2} = 0 \tag{17}$$

$$\text{jestliže } C_V\ \lambda_{VAR} > T, \quad \text{pak } C_{B2} = C_V\ \lambda_{VAR}, \quad \text{jinak } C_{B2} = 0 \tag{18}$$

Například T se může rovnat 0,5, a proto se mohou podíly barvy menší než 5% považovat za zanedbatelné, protože voxely s takovými hodnotami barvy se mohou zobrazovat na optických prvcích 160 až 168 například při přepínání do neprůsvitného/světlo rozptylujícího režimu. Na základě toho se takové zanedbatelné složky celkového 3D obrazu vymazávají a k ničemu nepřispívající voxely se nezobrazují, takže toto opatření může snižovat počet zobrazovaných voxelů a tím zdokonalovat počítačové zpracovávání 3D obrazu.

V dalších alternativních provedeních má MVD systém 10 schopnost generování 3D obrazu majícího vzhled průsvitnosti částí 3D obrazu 34, To znamená, že obrazy 44 až 50 zobrazované na optických prvcích 36 až 42 MOE zařízení 32 mají takové přiměřené stínování a zbarvení, aby se část obrazu mohla jevit jako průsvitná, přičemž část druhého obrazu se jeví jako viditelná skrze průsvitnou část. Taková průsvitná zobrazování se mohou generovat s nebo bez protirozostřování.

Při generování 3D obrazu 34 provádí MVD systém 10 počítačové sestavování vícerovinného datového souboru (zkratka „MPD" podle anglického výrazu „multi-planar dataset") s použitím například údajů rámcové vyrovnávací paměti OpenGL („Open Graphics Library") grafického datového zdroje 16. Hodnota uložená ve hloubkové vyrovnávací paměti vyjadřuje hloubku odpovídajícího pixelu ve vyrovnávací paměti barev a používá se pro určování polohy pixelu nebo voxelu, jako je voxel 170 na obr. 16, který se zobrazuje v MOE zařízení 32. Tento MPD počítačový způsob je použitelný v takových situacích, v nichž se vyžaduje, aby se části obrazů objektů pozadí volumetrického obrazu 34 z MOE zařízení nereprodukovaly, jestliže jsou takové obrazy zakrývány obrazy objektů popředí.

Pro účely generování obrazů v MOE zařízení 32, v němž jsou objekty popředí průsvitné, aby umožňovaly pozorování obrazu odpovídajícího zakrytému objektu pozadí, se

používá technika alfa kanálu, v němž parametr α (alfa) určuje barvu pixelu/voxelu ve vyrovnávací paměti barev na základě kombinování barev jak objektů popředí, tak i objektů pozadí v závislosti na hodnotě α. Úplná neprůsvitnost je dána parametrem α = 1 a úplná průhlednost je dána parametrem α = 0. Přestože používání takového alfa kanálu podporuje generování barevných obrazů z vyrovnávací paměti barev, které vypadají správně, hodnoty hloubky v hloubkové vyrovnávací paměti mohou zůstávat beze změny a nadále mohou odpovídat hloubkám obrazů objektů popředí.

Ve známých displejových systémech nemodifikované hloubky znemožňují správné zobrazování obrazů ve volumetrickém displejovém systému, protože v takových případech mohou existovat vícenásobné povrchy při určitém počtu různých hloubek, které se mohou zobrazovat s použitím pouze jediné hodnoty hloubky. Zde popisovaný MVD systém 10 generuje volumetrické obrazy 34 mající například průsvitné objekty nebo jejich části, které překonávají omezení v dosavadním stavu techniky při zobrazování vícenásobných povrchů při určitém počtu hloubek pro jedinou hodnotu hloubky. Popisovaný MVD systém 10 používá další znaky OpenGL pro generování sevřených rovin nacházejících se v modelovém prostoru MVD systému 10, který je jediným prostorem, jenž se může objevovat při reprodukování například na předem stanovené straně každé sevřené roviny, jako je kladná strana postavená proti záporné straně.

V případě MOE zařízení 32 majícího N počet rovin 204 až 212, jež se mohou označovat indexy I až N a mají stejnoměrné odstupy Δ mezi sebou, jak je to předvedeno na obr. 21 až 24, se scéna v podobě volumetrického obrazu 34 reprodukuje N krát s tím, že sevřené roviny směřují k sobě, jsou od sebe odděleny vzdáleností Δ a jsou vystředěny na místě výskytu dané MOE roviny rovin 204 až 212 v modelovém prostoru. Takto se generuje N počet rozdílných obrazů a odpovídající vyrovnávací paměť barev se vytahuje z rámcové vyrovnávací paměti za účelem odeslání do MVD ovladače 18. Po odeslání vyrovnávací paměti barev do MVD ovladače 18 za účelem zobrazování v MOE zařízení 32 se může alfa kanál vypnout, protože MVD systém 10 má vlastní alfa hodnotu, která je k MOE zařízení přidružena a která se používá pro generování 3D volumetrického obrazu 34.

Jak předvádí obr. 21 a 22, reprodukování se sevřenými rovinami se může provádět bez protirozostřování a v takovém případě se sevřené roviny 214 a 216 používají tak, aby odpovídaly částem obrazů nacházejícím se blíže k pozorovateli 218, přičemž části obrazu 34 se

generují a zobrazují na první provině 206 nacházející se mezi sevřenými rovinami 214 a 216 s obrazovými částmi mezi sevřenými rovinami 214 a 216 zobrazovanými na první rovině 206. Nové části obrazu 34 se generují mezi sevřenými rovinami 220 a 222 pro zobrazování na druhé rovině 208, která je dále od pozorovatele 218 a nachází se mezi sevřenými rovinami 220 a 222 s obrazovými částmi mezi sevřenými rovinami 220 a 222 zobrazovanými na řečené druhé rovině 208.

Při provádění protirozostřování podle výše popsaného způsobu s použitím alfa kanálu se uplatňují další znaky OpenGL, jako je atmosférický jev vytvářející zobrazování podobající se mlze, které se používá pro protirozostřování. Tento mlhový znak způsobuje kombinování barvy každého zobrazovaného objektu s barvou mlhy v poměru určeném hustotou mlhy a hloubkou modelu s ohledem na rozsah hloubky související se vzdálenými a blízkými hodnotami specifikovanými pro mlhu.

Mezi funkce mlhy, které jsou k dispozici v OpenGL, patří lineární, exponenciální a exponenciální čtvercové funkce. Zde popisovaný MVD systém 10 může využívat takové funkce, jakož i kombinace takových funkcí mlhy, jako skládání lineárních funkcí 224 až 227 mlhy tak, jak je to předvedeno na obr. 23 a obr. 24. V ukázkovém provedení znázorněném na obr. 23 a obr. 24 začíná každá kombinace lineárních funkcí s hodnotou nula, která odpovídá černému nastavení u bližší hloubky mlhy, a postupuje lineárním způsobem k hodnotě jedna, jež odpovídá skutečnému nastavení barev ve vzdálenosti (BLÍŽŠÍ – VZDÁLENĚJŠÍ)/2 od bližší lokace hloubky. Funkce mlhy poté klesá zpátky k nule u vzdálenější hloubky mlhy. S takovou funkcí mlhy a se sevřenými rovinami oddělenými vzdáleností 2Δ, jejichž středy se nacházejí na dané MOE rovině v modelovém prostoru určeném pro zobrazování obrazu 34, se obraz 34 reprodukuje N krát a pokaždé se údaje z vyrovnávací paměti barev posílají do odpovídající roviny MOE zařízení 32.

V ukázkovém provedení se kombinace lineárních funkcí mlhy a zpracovávání voxelových obrazových údajů s takovými kombinacemi provádějí na základě syntetizování obrazů pro daný optický prvek, jako je rovina 206 na obr. 23, s přinejmenším dvěma reprodukčními průchody. V průběhu prvního průchodu se dvě sevřené roviny oddělují v rozsahu vzdálenosti Δ s tím že první sevřená rovina 228 je umístěna na optickém prvku 204, na němž se obrazy reprodukují před řídicím optickým prvkem 206, a s tím, že druhá sevřená rovina je umístěna na řídicím optickém prvku 206. Pak se přední lineární funkce 224 mlhy,

jejíž vzdálenosti narůstají s BLIŽŠÍ méně než s VZDÁLENĚJŠÍ, používá se zmiňovanými sevřenými rovinami pro reprodukování prvního souboru obrazů pro optický prvek 206.

V průběhu druhého průchodu se dvě sevřené roviny oddělují v rozsahu vzdálenosti Δ s tím že druhá sevřená rovina 230 je umístěna na optickém prvku 208, na němž se obrazy reprodukují za řídicím optickým prvkem 206 a s tím, že druhá sevřená rovina je umístěna na řídicím optickém prvku 206. Pak se zadní lineární funkce 224 mlhy, jejíž vzdálenosti narůstají se VZDÁLENĚJŠÍ méně než s BLIŽŠÍ, používá se zmiňovanými sevřenými rovinami pro reprodukování druhého souboru obrazů pro optický prvek 206.

Tyto dva soubory obrazů reprodukovaných s rozdílnými lineárními funkcemi 224 a 225 mlhy se pak sčítají dohromady pomocí MVD systému 10 pro účely zobrazování na optickém prvku 206.

Jak je předvedeno na obr. 23, pro účely reprodukování prvního obrazu na první rovině 206 se funkce 224 a 225 vystřeďují na první rovině 206 a odpovídající hodnoty barev obrazů ze sevřených rovin 228 a 230 a hloubek mezi nimi se modifikují odpovídající hodnotou funkcí 224 a 225 při přidružených hloubkách.Po reprodukování přidaných obrazů na optickém prvku 206 s použitím funkcí 224 a 225 postupuje MVD systém 10 k reprodukování následujícího obrazu na druhé rovině 208, jak je to předvedeno na obr. 24, s tím, že funkce 226 a 227 se převádějí tak, aby se vystřeďovaly na druhé rovině 208. Odpovídající hodnoty barev obrazů ze sevřených rovin 232 a 234 a hloubek mezi nimi se modifikují odpovídající hodnotou funkcí 226 při přidružených hloubkách. MVD systém 10 pokračuje k postupnému přemisťování funkce mlhy a zpracovávání odpovídajících sevřených rovin pro seřizování barev každého příslušného obrazu s použitím způsobu alfa kanálu. V alternativních provedeních se rozdílná funkce mlhy může uplatňovat pro různé roviny 204 až 212 například tak, aby měly větší hustoty mlhy při větších vzdálenostech od pozorovatele 218 za účelem dokonalejšího vnímání hloubkových jevů zobrazovaného 3S volumetrického obrazu 34.

S odkazem na obr. 23 lze například uvést, že v případě obrazů 236 při hloubce označené odkazovou značkou D, které mají příslušné hodnoty C_i barev pro každou část obrazu, je hodnota 240 funkce 224 mlhy při hloubce D vyjádřena jako α_D, a proto seřízená hodnota barvy zobrazované na obrazech 236 je $\alpha_D C_i$. Hodnoty C_i barev mohou být hodnotami barev, které se seřizují hloubkou podle výše uvedených rovnic (7), (8) a/nebo (15), (18), a proto se

alfa kanálové seřizování může podle volby uplatňovat v kroku 200 na obr. 20 při provádění protirozostřování s použitím zmiňovaných alfa kanálových způsobů.

Předchozí text obsahuje popis nového a nikoli zřejmého vícerovinného volumetrického displejového systému 10 a způsobu jeho činnosti, jehož vysvětlení se opírá o rozbor výhodného provedení. Avšak existuje možnost provádění řady modifikací a náhrad, aniž by docházelo k opouštění ducha tohoto vynálezu. Jak příklad lze uvést to, že, ačkoli se ve výhodném provedení popisuje používání rovinných optických prvků, jako jsou ploché panelové displeje s kapalnými krystaly, lze zcela v souladu s ukázkou tohoto vynálezu uplatňovat zakřivené optické prvky takovým způsobem, jehož popis se nachází v předcházejícím textu.

MVD systém 10 se může zavádět s použitím zařízení a způsobů popisovaných v souběžně vyřizované, provizorní patentové přihlášce USA číslo 60/082 442, podané 20. dubna 1998, jakož i s použitím zařízení a způsobů popisovaných v souběžně vyřizované patentové přihlášce USA číslo 08/743 483 podané 4. listopadu 1996, která rozvíjí část patentu USA číslo 5 572 375, jenž je oddílem patentu USA číslo 5 090 789. MVD systém 10 se může také zavádět s použitím zařízení a způsobů popisovaných v souběžně vyřizované patentové přihlášce číslo 09/004 722 podané 8. ledna 1998. Všechny uvedené provizorní a neprovizorní patentové přihlášky a vydané patenty jsou zde zahrnuty ve formě odkazů. V souladu s uvedenými skutečnostmi je tento vynález popisován spíše způsobem předvádění než výhradního definování.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob provádění protirozostřování prvního voxelu trojrozměrného obrazu zobrazovaného na určitém počtu optických prvků, v němž hodnota hloubky prvního voxelu je mezi dvojicí hodnot hloubek dvojice optických prvků, které odpovídají dvojici optických prvků ohraničujících první voxel, vyznačující se tím, že obsahuje kroky
generování seřizovací hodnoty hloubky z hodnoty hloubky prvního voxelu,
seřizování první hodnoty barvy sdružené s prvním voxelem s používáním seřizovací hodnoty hloubky a
zobrazování druhého voxelu na přinejmenším jedné dvojici optických prvků s používáním seřizované hodnoty barvy.

2. Způsob podle nároku 1, vyznačující se tím, že dále obsahuje krok upravování hodnoty hloubky prvního voxelu podle měřítka tak, aby tato hodnota hloubky prvního voxelu byla v předem stanoveném rozsahu ukazatelů sdružených s určitým počtem optických prvků,
a že krok generování seřizovací hodnoty hloubky zahrnuje krok generování seřizovací hodnoty hloubky z měřítkově upravované hodnoty hloubky voxelu.

3. Způsob podle nároku 2, vyznačující se tím, že krok generování seřizovací hodnoty hloubky zahrnuje krok určování zlomkové části měřítkově upravované hodnoty hloubky voxelu tak, aby se stala seřizovací hodnotou hloubky.

4. Způsob podle nároku 3, vyznačující se tím, že krok seřizování první hodnoty barvy zahrnuje krok násobení první hodnoty barvy funkcí zlomkové části za účelem generování druhé hodnoty barvy jako seřizované hodnoty barvy, přičemž druhá hodnota barvy se sdružuje s druhým voxelem.

5. Způsob podle nároku 1, vyznačující se tím, že krok generování seřizovací hodnoty hloubky zahrnuje krok modifikování seřizovací hodnoty hloubky s použitím

protirozostřovacího parametru pro řízení míry protirozostřování zobrazení prvního voxelu v trojrozměrném obrazu.

6. Způsob podle nároku 1, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok seřizování první hodnoty barvy zahrnuje
krok generování druhé hodnoty barvy a třetí hodnoty barvy z první seřízené hodnoty barvy s používáním seřizovací hodnoty hloubky
a že krok zobrazování druhého voxelu zahrnuje krok zobrazování druhého voxelu a třetího voxelu na příslušném optickém prvku z dvojice optických prvků s používáním příslušné druhé hodnoty barvy a třetí hodnoty barvy.

7. Způsob podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m , že určitý počet optických prvků se rozmisťuje ve stejnoměrných odstupech od sebe.

8. Způsob podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m , že určitý počet optických prvků se rozmisťuje v nestejnoměrných odstupech od sebe.

9. Způsob podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m , že určitý počet optických prvků má mezi sebou proměnlivé odstupy.

10. Způsob podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok určování dvojice optických prvků zahrnuje krok
vyhledávání v určitém počtu hodnot hloubky sdružených s určitým počtem optických prvků pro účely určování takové dvojice optických prvků, v němž je hodnota hloubky prvního voxelu mezi dvojicí hodnot hloubek sdružených s dvojicí optických prvků.

11. Způsob podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok generování seřizovací hodnoty hloubky zahrnuje krok
generování seřizovací hodnoty hloubky z hodnoty hloubky prvního voxelu a hodnot hloubky optických prvků sdružených s voxelem a příslušnou dvojicí optických prvků.

12. Způsob podle nároku 11, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok generování seřizovací hodnoty hloubky λ zahrnuje krok interpolování hodnoty hloubky D_V voxelu s hodnotami hloubek $D_{BLÍŽE\,1}$ a $D_{BLÍŽE\,2}$ dvojice optických prvků podle

$$\lambda = \left| \frac{D_V - D_{BLÍŽE\,1}}{D_{BLÍŽE\,1} - D_{BLÍŽE\,2}} \right|$$

v níž |X| je absolutní hodnota veličiny funkce hodnoty nebo proměnné X.

13. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů, v y z n a č u j í c í s e t í m , že obsahuje kroky dodávání obrazových údajů, které odpovídají souboru dvojrozměrných segmentů trojrozměrného obrazu, do obrazového projektoru a promítání každého z dvojrozměrných segmentů podle volby z obrazového projektoru na příslušný optický prvek vybraný z určitého počtu optických prvků, jež vytvářejí vícepovrchové optické zařízení, včetně kroků provádění protirozostřování voxelů u přechodů mezi přinejmenším jednou dvojicí optických prvků pro účely generování segmentů se seřizovanými hodnotami barev odvozovaných od protirozostřovaných voxelů a generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu, jenž je viditelný ve vícepovrchovém optickém zařízení, z protirozostřovaných segmentů, které se zobrazují na určitém počtu optických prvků s kapalnými krystaly.

14. Způsob podle nároku 13, v y z n a č u j í c í s e t í m , že zahrnuje krok promítání prvního trojrozměrného obrazu z víceporvchového optického zařízení s použitím generátoru plovoucího obrazu při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, který lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

15. Způsob podle nároku 14, v y z n a č u j í c í s e t í m , že dále zahrnuje krok řízení průsvitnosti každého optického prvku z určitého počtu optických prvků vícepovrchového optického zařízení s použitím ovladače optických prvků pro účely přijímání a zobrazování protirozostřovaných segmetů.

16. Způsob podle nároku 15, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok řízení zahrnuje kroky řízeného vyvolávání stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla jediného optického prvku s kapalnými krystaly pro účely přijímání a zobrazování protirozostřovaných segmentů a řízeného ponechávání zbývajících optických prvků s kapalnými krystaly ve stavu průsvitnosti, aby bylo možné na tyto optické prvky příslušně promítat soubor obrazů.

17. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů, v y z n a č u j í c í s e t í m , že obsahuje vícepovrchové optické zařízení mající určitý počet samostatných optických prvků, které jsou seřazeny v daném uspořádání, a obrazový projektor pro provádění protirozostřování voxelů u přechodů mezi dvojicemi optických prvků při generování segmentů se seřizovanými hodnotami barev, které se odvozují od protirozostřovaných voxelů, a pro volené promítání souboru obrazů včetně protirozostřovaných voxelů na příslušné optické prvky vícepovrchového optického zařízení pro účely generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu, který je viditelný ve vícepovrchovém optickém zařízení.

18. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 17, v y z n a č u j í c í s e t í m , že dále obsahuje generátor plovoucího obrazu pro promítání prvního volumetrického trojrozměrného obrazu z vícepovrchového optického zařízení při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, který lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

19. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 17, v y z n a č u j í c í s e t í m , že každý optický prvek z určitého počtu jednotlivých optických prvků vícepovrchového optického zařízení je optickým prvkem s kapalnými krystaly majícím řízeně proměnlivou průsvitnost pro účely přijímání protirozostřovaných obrazů.

20. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 19, v y z n a č u j í c í s e t í m , že dále obsahuje ovladač optických prvků pro řízení

průsvitnosti optických prvků s kapalnými krystaly, který řízeně vyvolává stav neprůsvitnosti a rozptylování světla jediného optického prvku s kapalnými krystaly pro účely přijímání a zobrazování jednoho segmentu ze souboru protirozostřovaných obrazů z obrazového projektoru a který řízeně ponechává zbývající optické prvky s kapalnými krystaly ve stavu celkové průsvitnosti, aby existovala možnost pozorování zobrazovaného obrazu na neprůsvitném optickém prvku s kapalnými krystaly.

21. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů, v y z n a č u j í c í s e t í m , že obsahuje vícepovrchové optické zařízení mající určitý počet samostatných optických prvků, které jsou seřazeny v daném uspořádání, obrazový projektor pro volené promítání souboru obrazů na příslušné optické prvky vícepovrchového optického zařízení při generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu, který je viditelný ve vícepovrchovém optickém zařízení, a generátor plovoucího obrazu pro promítání prvního volumetrického trojrozměrného obrazu z vícepovrchového optického zařízení při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, který lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

22. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 21, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že každý optický prvek z určitého počtu jednotlivých optických prvků vícepovrchového optického zařízení je optickým prvkem s kapalnými krystaly majícím řízeně proměnlivou průsvitnost.

23. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 22, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že dále obsahuje ovladač optických prvků pro řízení průsvitnosti optických prvků s kapalnými krystaly, který řízeně vyvolává stav neprůsvitnosti a rozptylování světla jediného optického prvku s kapalnými krystaly pro účely přijímání a zobrazování jednoho segmentu ze souboru protirozostřovaných obrazů z obrazového projektoru a který řízeně ponechává zbývající optické prvky s kapalnými krystaly ve stavu celkové průsvitnosti, aby existovala možnost pozorování zobrazovaného obrazu na neprůsvitném optickém prvku s kapalnými krystaly.

24. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 23, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že ovladač optických prvků velkou rychlostí rastruje optické prvky s kapalnými krystaly v průběhu určitého počtu zobrazovacích cyklů za účelem volby jednoho optického prvku s kapalnými krystaly, který má být ve stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla v průběhu konkrétně daného zobrazovacího cyklu, přičemž tento ovladač optických prvků řídí přemisťování stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla z jednoho optického prvku s kapalnými krystaly na další optický prvek s kapalnými krystaly pro účely postupného přijímání souboru obrazů a pro účely generování volumetrických trojrozměrných obrazů s trojrozměrnou hloubkou.

25. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 21, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že obrazový projektor promítá sadu obrazů do vícepovrchového optického zařízení pro účely generování celého prvního volumetrického trojrozměrného obrazu ve vícepovrchovém optickém zařízení při kmitočtové rychlosti vyšší než 35 Hz, aby nedocházelo ke chvění obrazu, které je lidskými smysly vnímatelné.

26. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 25, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že vícepovrchové optické zařízení obsahuje přibližně 50 optických prvků a že obrazový projektor promítá každý obraz ze souboru obrazů na příslušný optický prvkem při kmitočtové rychlosti přinejmenším 2 kHz.

27. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 21, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že obrazový projektor obsahuje promítací čočky pro výstup souboru obrazů a adaptivní optický zaostřovací systém pro zaostřování každého obrazu ze souboru obrazů na příslušných optických prvcích pro účely řízení rozlišovacích schopností a hloubky promítání souboru obrazů z projekčních čoček.

28. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 21, v y - z n a č u j í c í s e t í m , že obrazový projektor obsahuje určitý počet laserových světlených zdrojů pro příslušné promítání červeného, zeleného a modrého laserového světla při generování a promítání souboru obrazů ve více barvách.

29. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů v prostoru, v y z n a č u j í c í s e t í m , že obsahuje vícepovrchové optické zařízení mající určitý počet rovinných optických prvků s kapalnými krystaly majících řízeně proměnlivou průsvitnost, obrazový projektor pro volené promítání souboru obrazů jako dvojrozměrných segmentů trojrozměrného obrazu na příslušné optické prvky s kapalnými krystaly při generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu, který je viditelný ve vícepovrchovém optickém zařízení, a generátor plovoucího obrazu pro promítání prvního volumetrického trojrozměrného obrazu z vícepovrchového optického zařízení při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, který lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

30. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 29, v y z n a č u j í c í s e t í m , že určitý počet optických prvků s kapalnými krystaly se řadí v přímočarém uspořádání vytvářejícím vícerovinné optické zařízení.

31. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 29, v y z n a č u j í c í s e t í m , že přinejmenším jeden optický prvek z určitého počtu optických prvků s kapalnými krystaly má zakřivený povrch pro přijímání a zobrazování příslušného obrazu.

32. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 29, v y z n a č u j í c í s e t í m , že dále obsahuje ovladač optických prvků s kapalnými krystaly pro řízení průsvitnosti optických prvků s kapalnými krystaly, který řídí jediný optický prvek s kapalnými krystaly v synchronizaci s výstupem příslušného jednoho obrazu ze souboru obrazů tak, aby řečený jediný optický prvek vykazoval stav neprůsvitnosti a rozptylování světla při přijímání a zobrazování příslušného jednoho obrazu ze souboru obrazů promítaných z obrazového projektoru, a který řídí zbývající optické součásti v synchronizaci s výstupem výstupem příslušného jednoho obrazu ze souboru obrazů tak, aby byly celkově průhledné a aby umožňovaly pozorování zobrazeného obrazu na neprůsvitném optickém prvku s kapalnými krystaly.

33. Systém pro generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 29, v y z n a č u j í c í s e t í m , že vícerovinné optické zařízení obsahuje přinejmenším 50 rovinných optických prvků s kapalnými krystaly, kdy každý optický prvek s kapalnými krystaly má příčné rozlišování přinejmenším 512 obrazových prvků krát přinejmenším 512 obrazových prvků, čímž se vytváří vícerovinné optické zařízení mající přinejmenším 13 milionů voxelů.

34. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů, v y z n a č u j í c í s e t í m , že obsahuje kroky dodávání obrazových údajů odpovídajících souboru dvojrozměrných segmentů trojrozměrného obrazu do obrazového projektoru,
promítání každého z dvojrozměrných segmentů podle volby z obrazového projektoru na příslušný optický prvek vybraný z určitého počtu optických prvků, jež vytvářejí vícepovrchové optické zařízení, při generování prvního volumetrického trojrozměrného obrazu, jenž je viditelný ve vícepovrchovém optickém zařízení, a
promítání prvního volumetrického trojrozměrného obrazu z vícepovrchového optického zařízení s použitím generátoru plovoucího obrazu při generování druhého volumetrického trojrozměrného obrazu, který lze pozorovat jako plovoucí obraz v prostoru v místě, jež je určitou vzdáleností odděleno od vícepovrchového optického zařízení.

35. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 34, v y z n a č u j í c í s e t í m , že dále obsahuje krok řízení průsvitnosti každého optického prvku z určitého počtu jednotlivých optických prvků vícepovrchového optického zařízení s použitím ovladače optických prvků.

36. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 35, v y z n a č u j í c í s e t í m , že krok řízení zahrnuje kroky
řízeného vyvolávání stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla jediného optického prvku s kapalnými krystaly a
řízeného ponechávání zbývajících optických prvků ve stavu průsvitnosti, jenž umožňuje promítání souboru obrazů na tyto optické prvky podle dané příslušnosti.

37. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 36, vyznačující se tím, že krok řízení zahrnuje kroky

rastrování optických prvků s kapalnými krystaly při velké rychlosti v průběhu určitého počtu zobrazovacích cyklů,

provádění volby jednoho optického prvku s kapalnými krystaly z nich, jenž má být jediným optickým prvkem ve stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla v průběhu konkrétně daného zobrazovacího cyklu,

řízené přemisťování stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla z jednoho optického prvku s kapalnými krystaly na další optický prvek s kapalnými krystaly,

synchronizované promítání příslušných obrazů zobrazovaných na odpovídajícím jediném optickém prvku s kapalnými krystaly, jenž je ve stavu neprůsvitnosti a rozptylování světla, a generování volumetrického trojrozměrného obrazu, který má trojrozměrnou hloubku, s použitím synchronizovaného promítání obrazů na příslušně optické prvky s kapalnými krystaly nacházející se ve stavu neprůsvitnosti.

38. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 34, vyznačující se tím, že krok promítání podle volby zahrnuje krok promítání souboru obrazů do vícepovrchového optického zařízení pro účely generování celého prvního trojrozměrného obrazu ve vícepovrchovém optickém zařízení při kmitočtové rychlosti vyšší než 35 Hz, aby nedocházelo ke chvění obrazu, které je lidskými smysly vnímatelné.

39. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 38, vyznačující se tím, že vícepovrchové optické zařízení obsahuje přibližně 50 optických prvků a že krok promítání podle volby zahrnuje krok promítání každého obrazu ze souboru obrazů na příslušný optický prvkem při kmitočtové rychlosti přinejmenším 2 kHz.

40. Způsob generování volumetrických trojrozměrných obrazů podle nároku 34, vyznačující se tím, že krok promítání podle volby zahrnuje krok promítání červeného, zeleného a modrého laserového světla z určitého počtu laserových světlených zdrojů při generování a promítání souboru obrazů na určitý počet příslušných optických prvků ve více barvách.

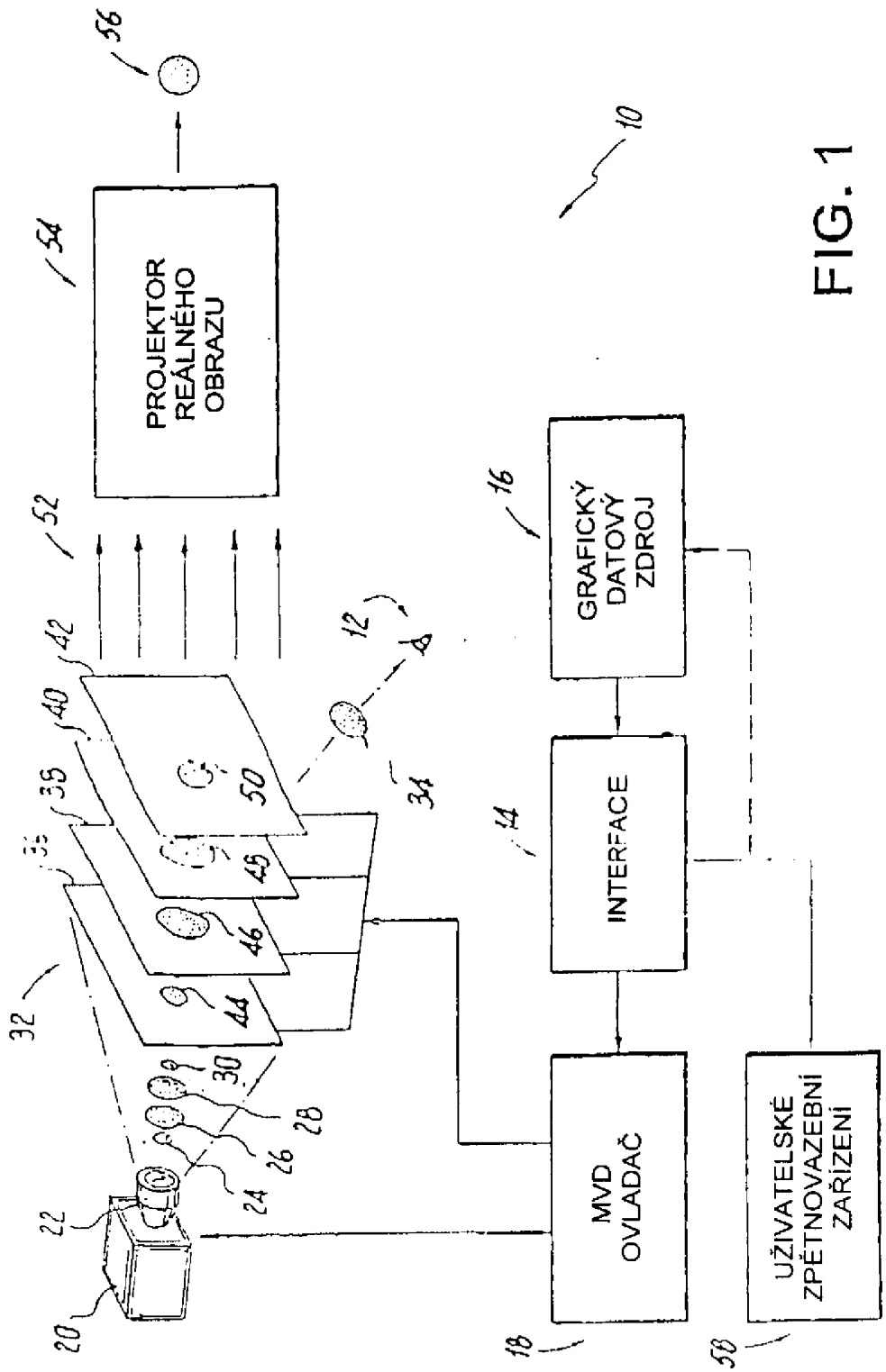

PROJEKTOR REÁLNÉHO OBRAZU
GRAFICKÝ DATOVÝ ZDROJ
INTERFACE
MVD OVLADAČ
UŽIVATELSKÉ ZPĚTNOVAZEBNÍ ZAŘÍZENÍ
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
35
36
40
42
44
46
48
50
52
54
56
58

FIG. 1

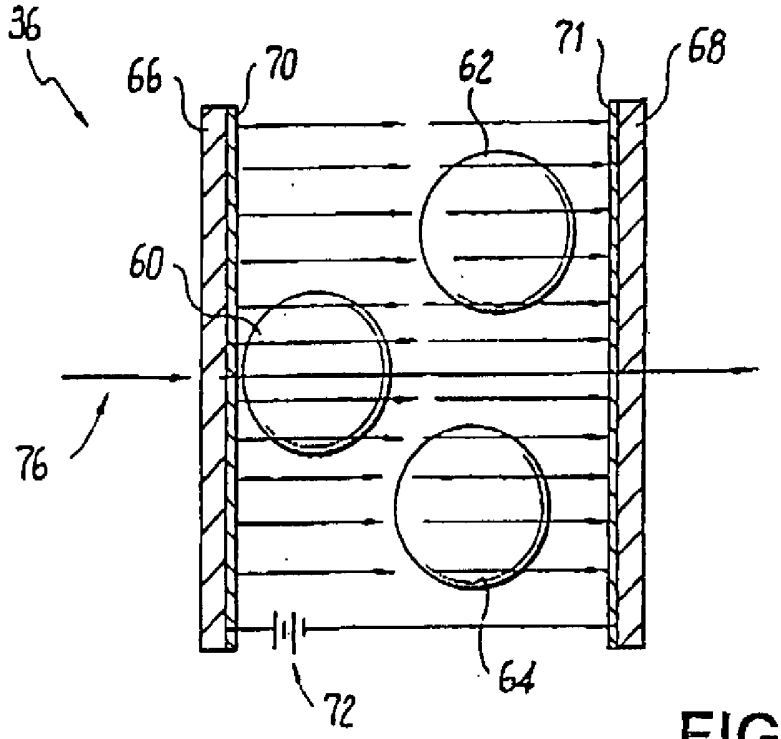


FIG. 2

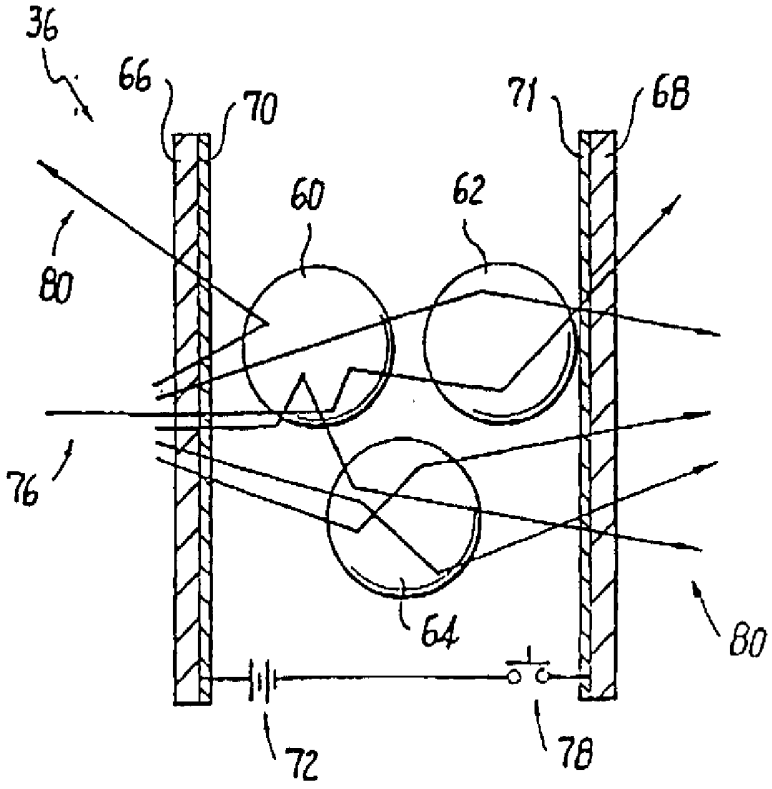


FIG. 3

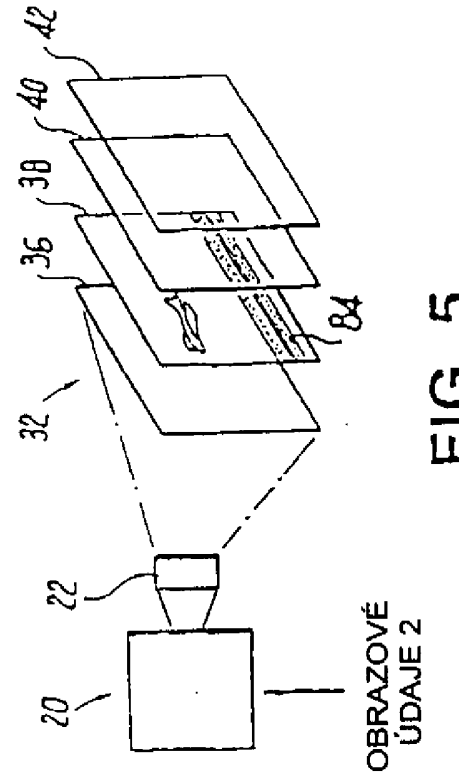


FIG. 5

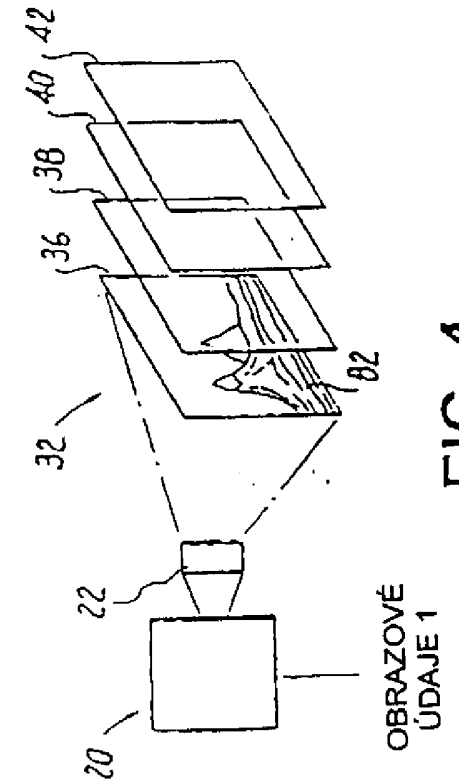


FIG. 4

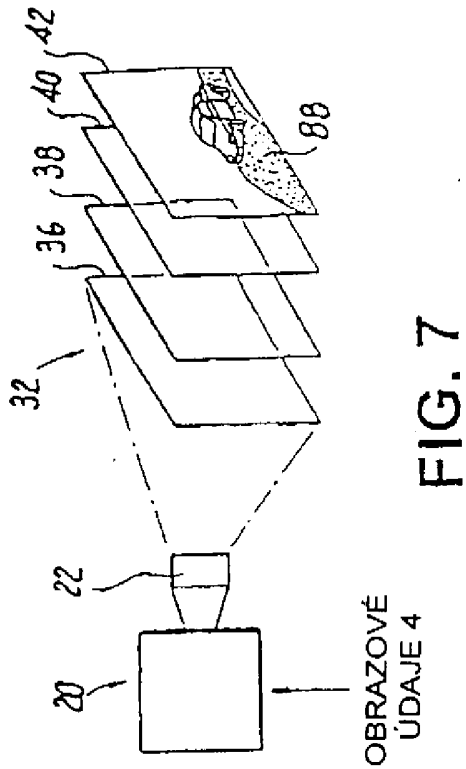


FIG. 7

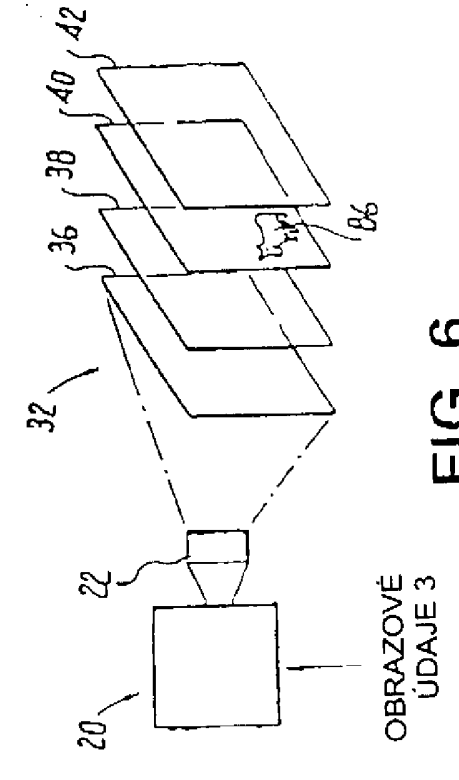


FIG. 6

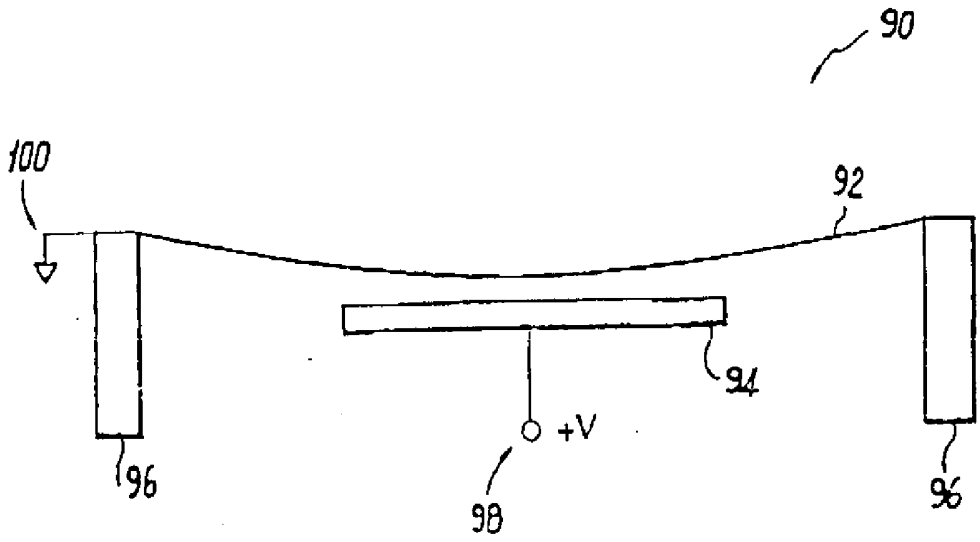


FIG. 8

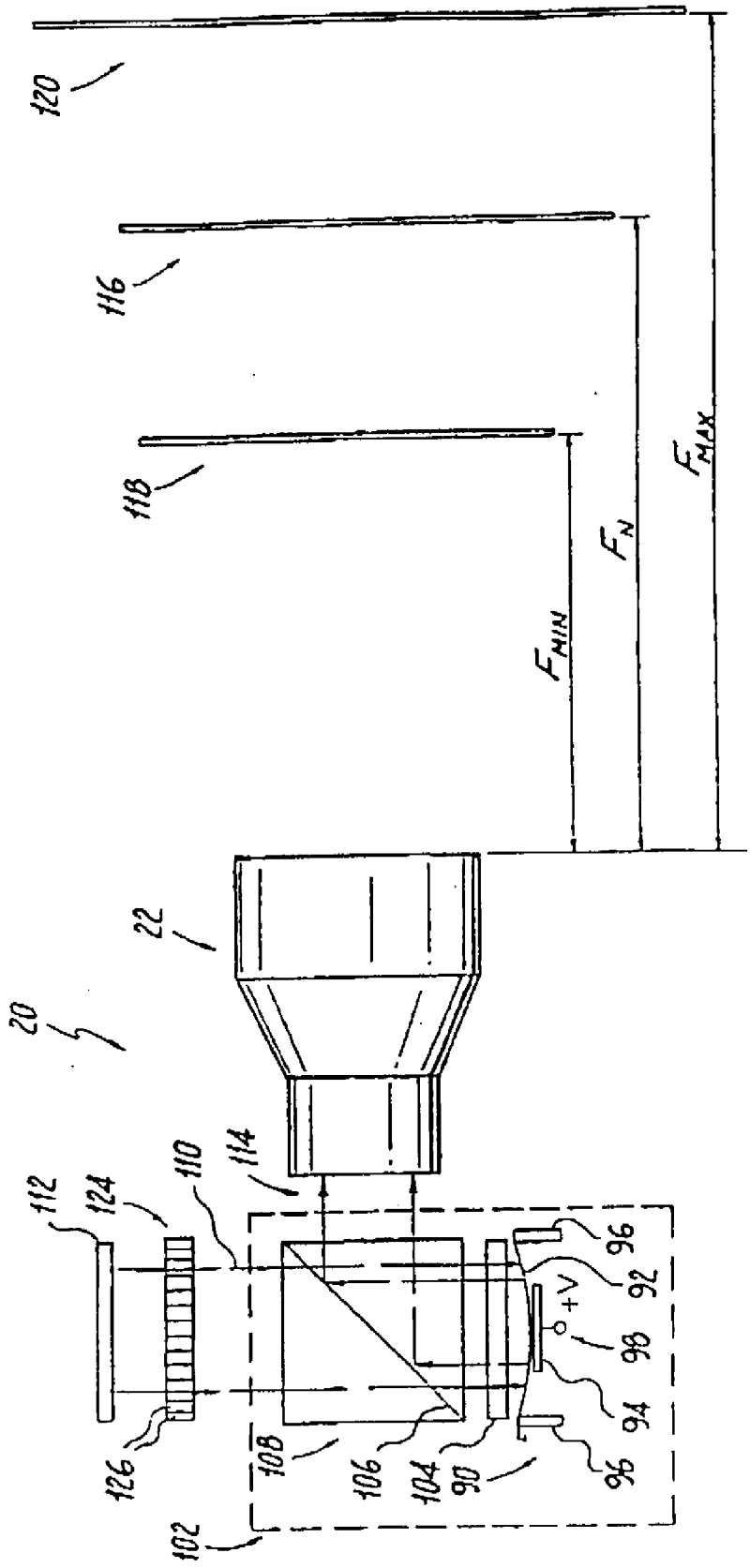

120
116
118
F_{MAX}
F_N
F_{MIN}
22
20
114
110
112
124
126
108
106
104
90
102
96
92
+V
98
94
96

FIG. 9

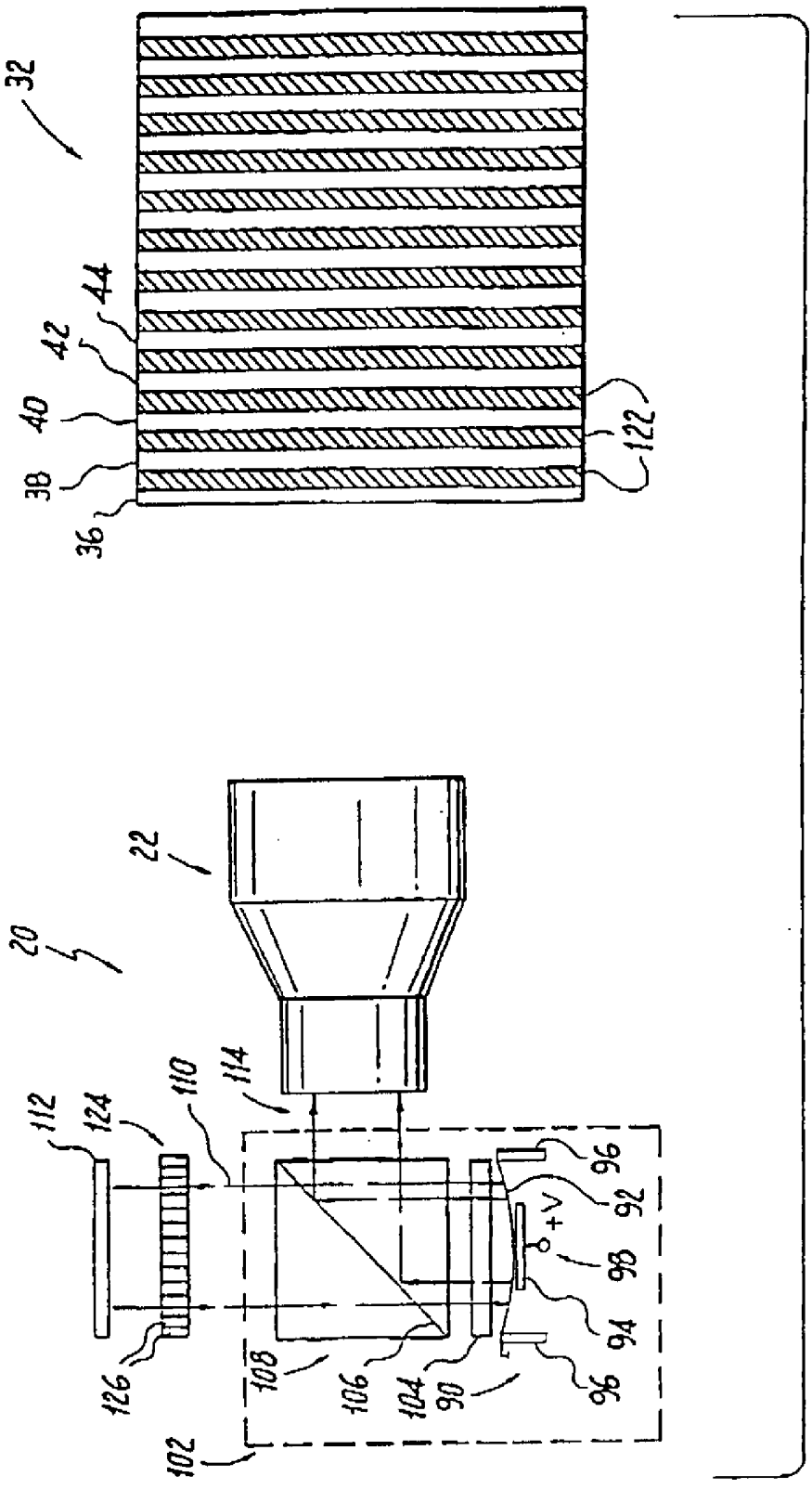

32
44
42
40
38
36
122
22
20
114
110
112
124
96
92
+V
98
94
126
108
106
104
90
96
102

FIG. 10

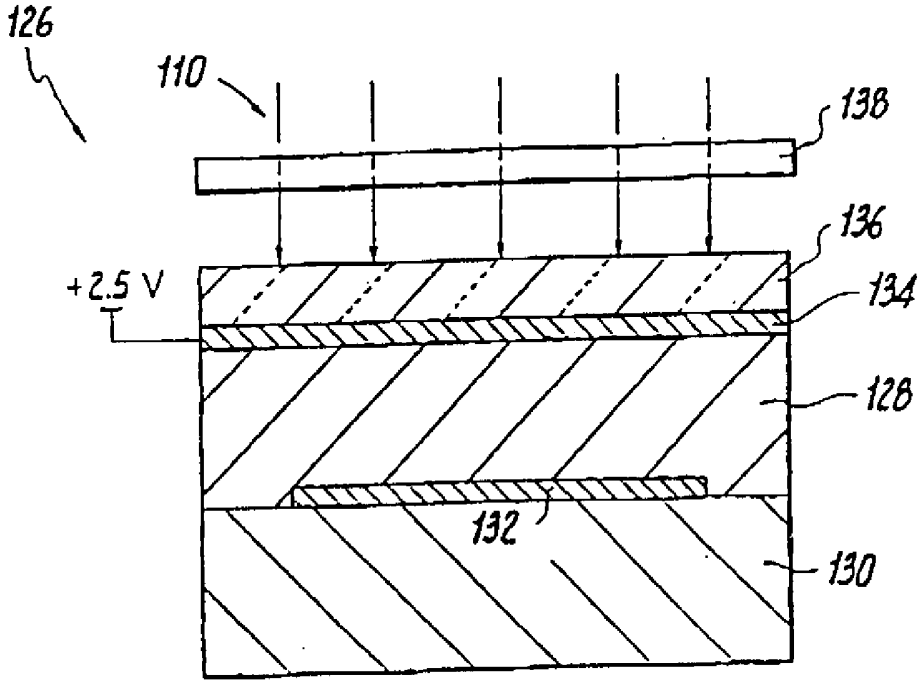


FIG. 11

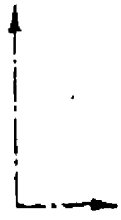


FIG. 12

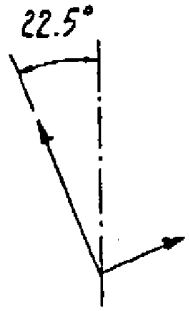


FIG. 13

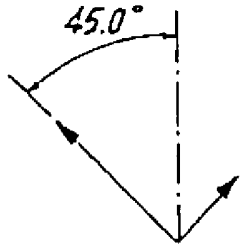


FIG. 14

FIG. 15

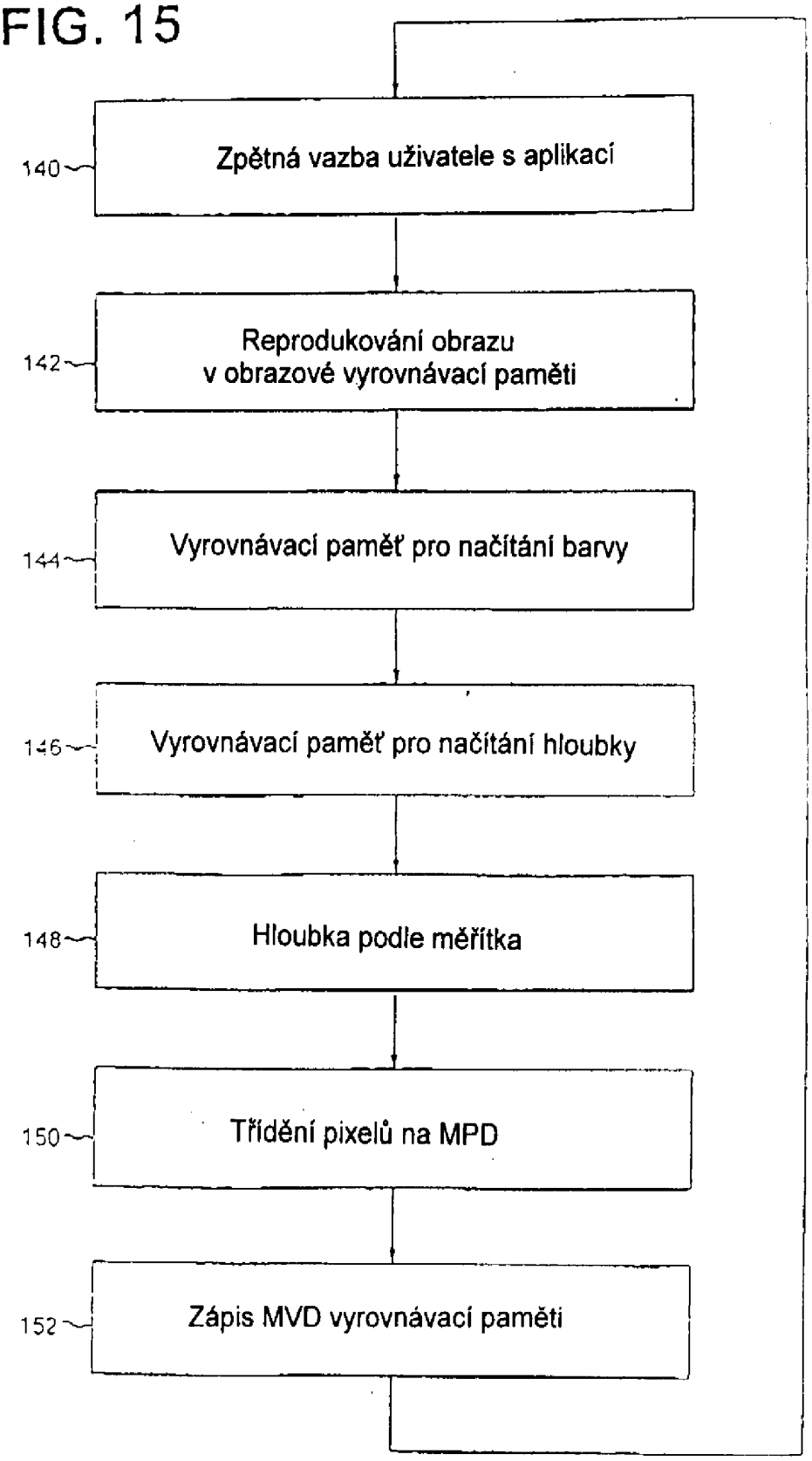
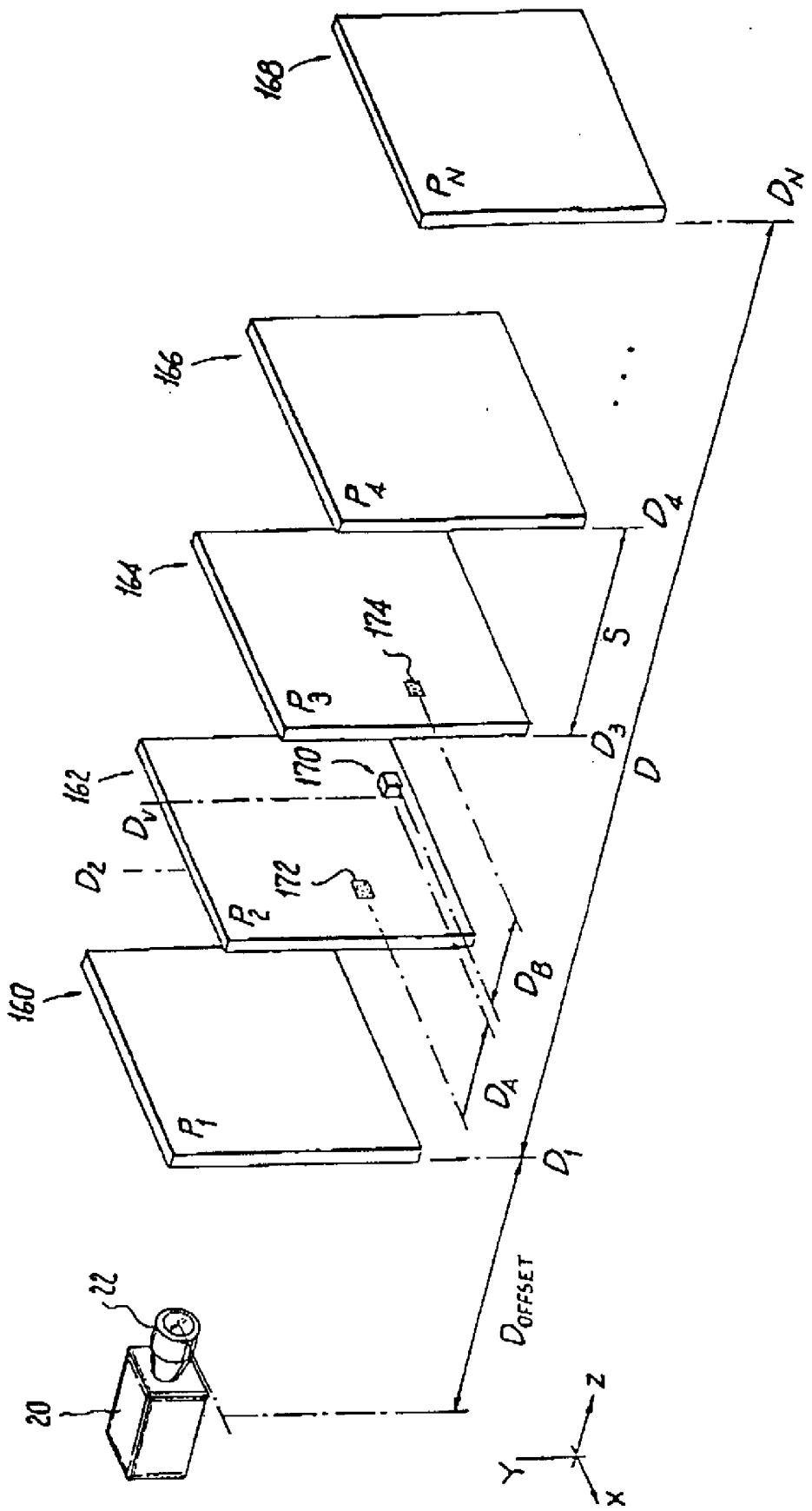

140
Zpětná vazba uživatele s aplikací
142
Reprodukování obrazu
v obrazové vyrovnávací paměti
144
Vyrovnávací paměť pro načítání barvy
146
Vyrovnávací paměť pro načítání hloubky
148
Hloubka podle měřítka
150
Třídění pixelů na MPD
152
Zápis MVD vyrovnávací paměti

FIG. 16


168
P_N
D_N
166
P_4
D_4
164
174
P_3
S
D_3
D
162
170
D_V
D_2
172
P_2
D_B
160
P_1
D_A
D_1
D_{OFFSET}
22
20
Z
Y
X

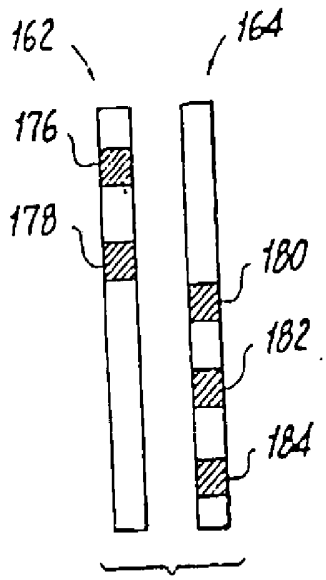


FIG. 17

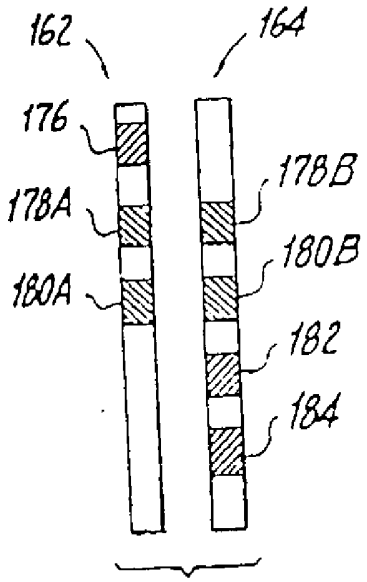


FIG. 18

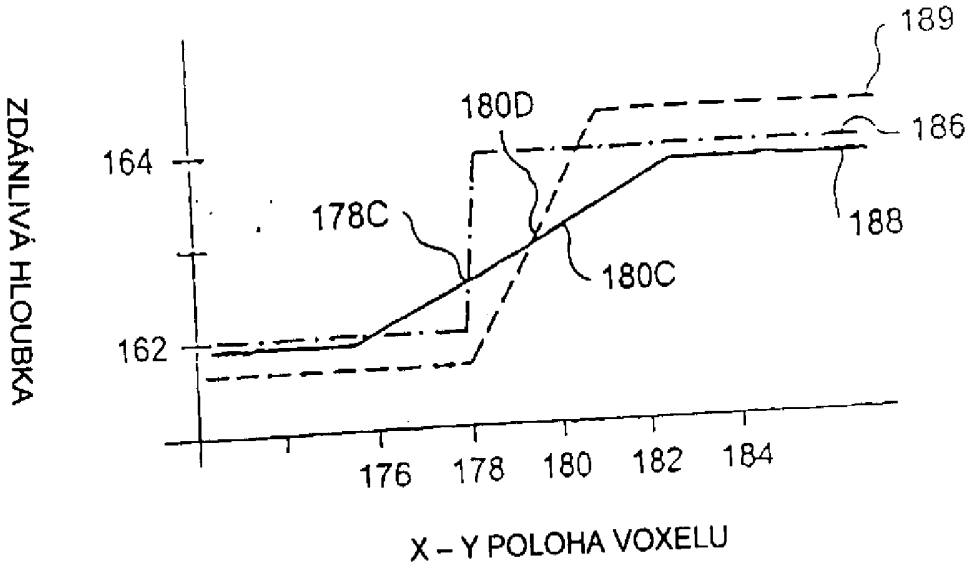


FIG. 19

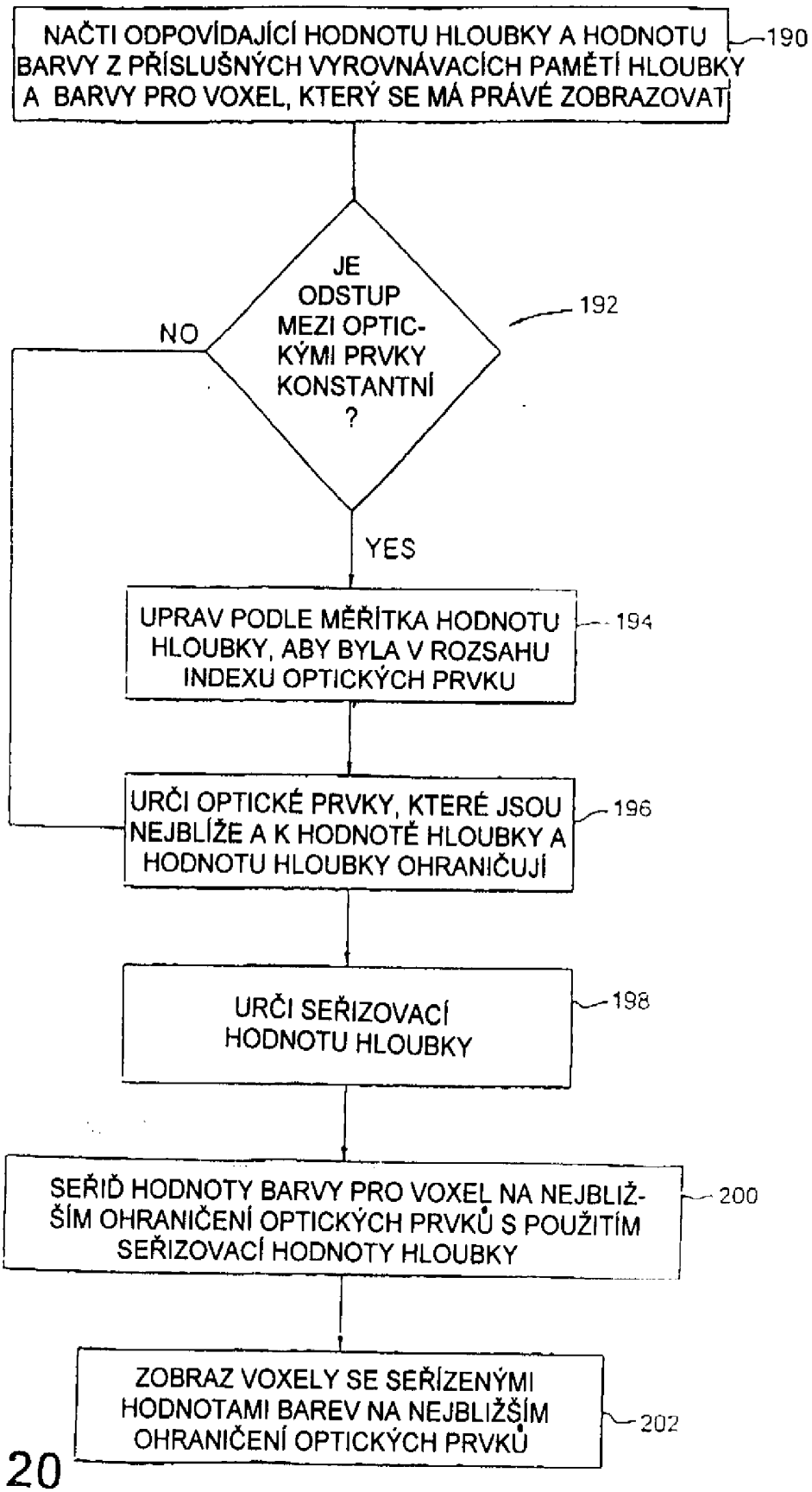

NAČTI ODPOVÍDAJÍCÍ HODNOTU HLOUBKY A HODNOTU BARVY Z PŘÍSLUŠNÝCH VYROVNÁVACÍCH PAMĚTÍ HLOUBKY A BARVY PRO VOXEL, KTERÝ SE MÁ PRÁVĚ ZOBRAZOVAT
190
JE ODSTUP MEZI OPTICKÝMI PRVKY KONSTANTNÍ ?
192
NO
YES
UPRAV PODLE MĚŘÍTKA HODNOTU HLOUBKY, ABY BYLA V ROZSAHU INDEXU OPTICKÝCH PRVKU
194
URČI OPTICKÉ PRVKY, KTERÉ JSOU NEJBLÍŽE A K HODNOTĚ HLOUBKY A HODNOTU HLOUBKY OHRANIČUJÍ
196
URČI SEŘIZOVACÍ HODNOTU HLOUBKY
198
SEŘIĎ HODNOTY BARVY PRO VOXEL NA NEJBLIŽŠÍM OHRANIČENÍ OPTICKÝCH PRVKŮ S POUŽITÍM SEŘIZOVACÍ HODNOTY HLOUBKY
200
ZOBRAZ VOXELY SE SEŘÍZENÝMI HODNOTAMI BAREV NA NEJBLIŽŠÍM OHRANIČENÍ OPTICKÝCH PRVKŮ
202

FIG. 20

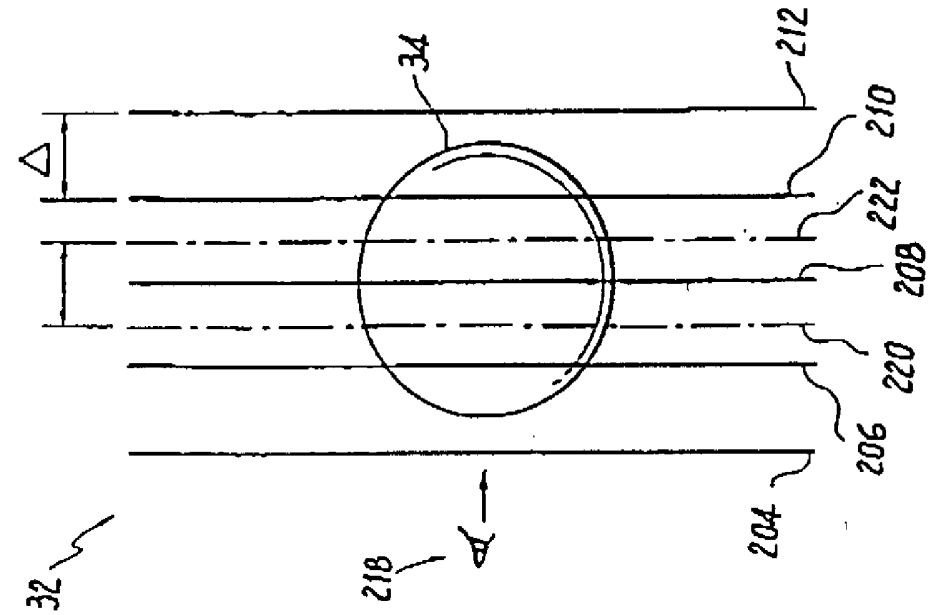

34
212
210
222
208
220
206
204
32
218
A

FIG. 22

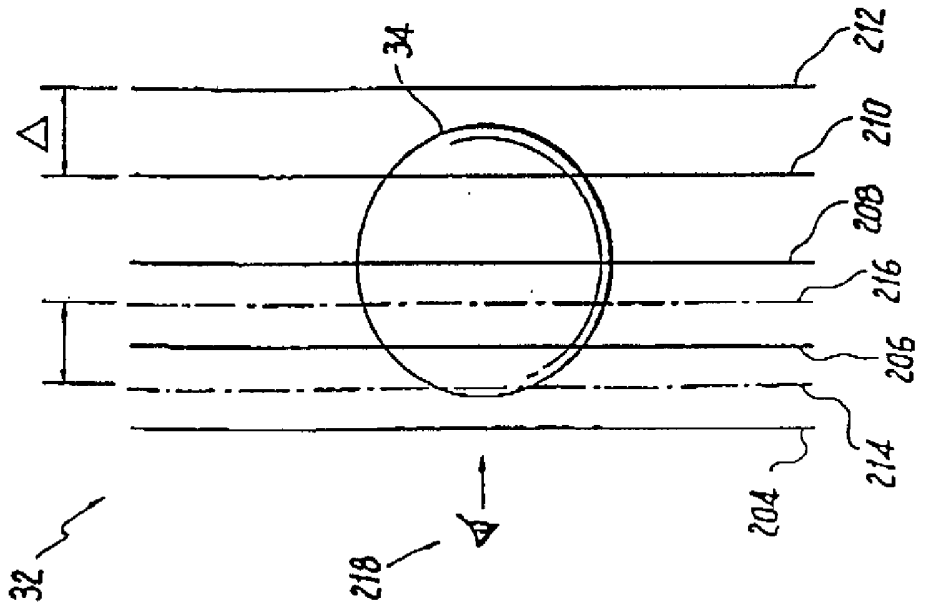

34
212
210
208
216
206
214
204
32
218
A

FIG. 21

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

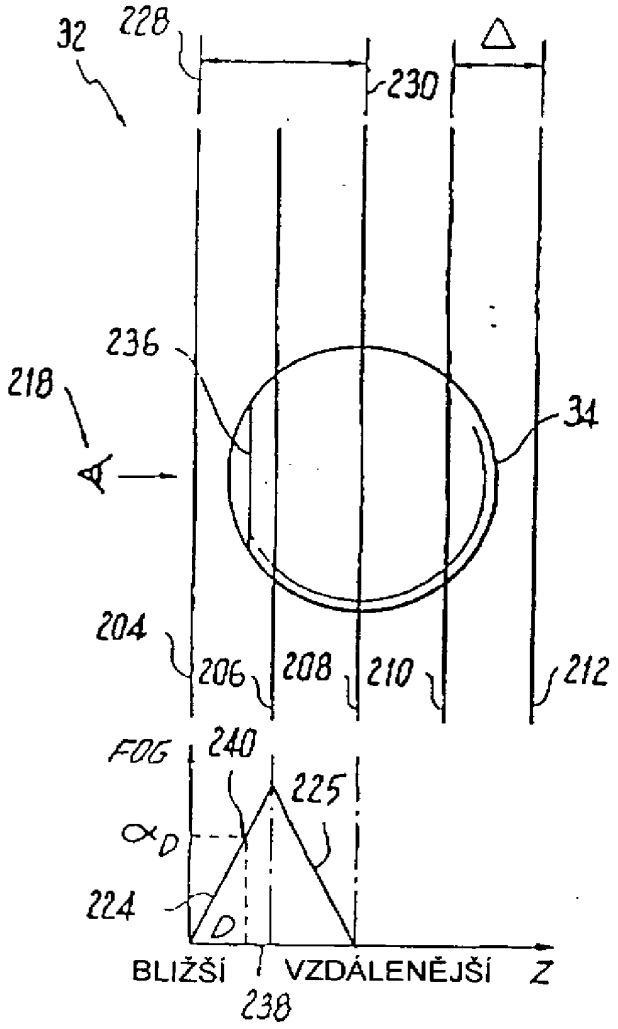


FIG. 23

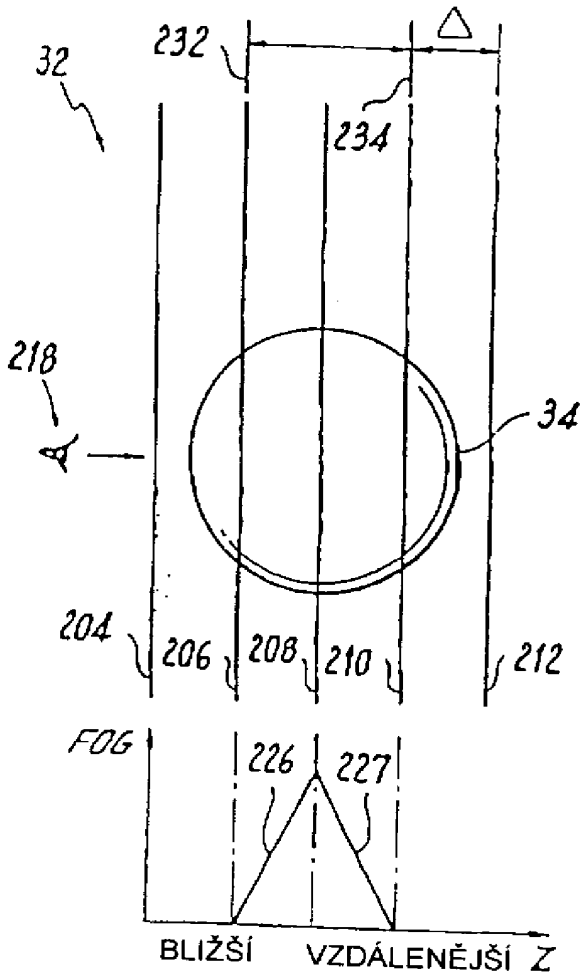


FIG. 24