

# O STROJÍCH A HOLOGRAMECH

Libor Šustr

Optaglio

Cílem následujícího textu je informovat o novinkách a trendech v oblasti hologramů v průmyslu a také situaci zpřehlednit. Výrazem „hologram“ je totiž označováno téměř nepřeberné množství nástrojů a technologií, které v podstatě spojuje vlastně jen to, že pracují s nějakou formou optické iluze. Takové hologramy je možné využívat nejrůznějšími způsoby, totéž platí o způsobech jejich vytváření. Navíc je dění v oboru hodně dynamické. Téměř neustále se objevují nové průmyslové aplikace a vedle nich vzniká řada zajímavých inovací, které jsou předváděny na výstavách, ale fakticky ještě nebyly uvedeny do praxe.

Digitalizace výrobních a firemních procesů | [www.mmspektrum.com/171115](http://www.mmspektrum.com/171115)

Jak hologramy třídit? V tisku lze najít řadu pokusů o jejich klasifikaci podle typu optického efektu. To je snadno uchopitelné, problém však je v tom, že to vypovídá stejně málo jako pokusy třídit automobily podle barvy. Smysluplnější je tedy vyjít z účelu, k jakému jsou využívány, případně z technologie jejich výroby (viz níže). To vychází z možností, jaké spojují všechny typy hologramů:

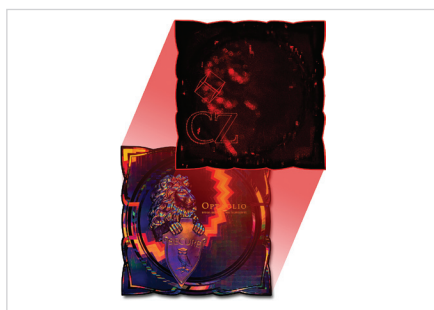
- Je možné realizovat takový vizuální efekt, jaký není zobrazitelný běžnou obrazovou či tiskovou technologií.
- Kopírování je nemožné nebo alespoň velice nákladné a obtížné.

Dále se budeme věnovat využívání hologramů pro zobrazování, měření a ochranu proti falšování. Posledně jmenovanému účelu bude věnováno nejvíce prostoru, protože se jedná o tradiční hlavní funkci hologramů. Ponecháváme stranou speciální aplikace, jako např. alternativní technologie pro ukládání dat, které s holografii pracují.

## Hologram místo manažerské obrazovky

Otázce zobrazování informací věnují média hodně pozornosti. Není divu – promítání pohyblivých trojrozměrných grafů do prostoru, které umožní sledovat v reálném čase vývoj různých veličin (např. parametry chodu zařízení), by nahradilo několik obrazovek a usnadnilo rozhodování. Praktické využití ovšem zatím poněkud pokulhává. A to minimálně ze dvou důvodů.

Za prvé, současné generace techniků a manažerů jsou navyklé orientovat se ve dvojrozměrných grafech. Začíná to ve středškolských skriptech, pokračuje na univerzitě, při všech možných prezentacích, na počítačových obrazovkách atd. Uživatelům to vesměs připadá naprosto intuitivní. Trojrozměrný graf promítaný do prostoru je oproti tomu novinkou, se kterou ještě téměř nikdo nepracoval. Tím je do značné míry omezen hlavní přínos – možnost okamžité



red laser light

Téměř všechny hologramy pracují s určitou formou optické iluze, důležité však je, k jakému účelu jsou používány.

te orientace a rychlé rozhodování. Trojrozměrné promítání by oproti tomu nepůsobilo žádné problémy při zobrazování konstrukcí, vnitřku strojů apod. Jenže tak daleko ještě zobrazovací technologie nejsou.

Za druhé, futuristické projekty vystavované na veletrzích vypadají skvěle, nicméně reálná nasazení narážejí na technologické limity, co je možné zobrazit, aby to bylo naprosto zřetelné při běžném osvětlení.

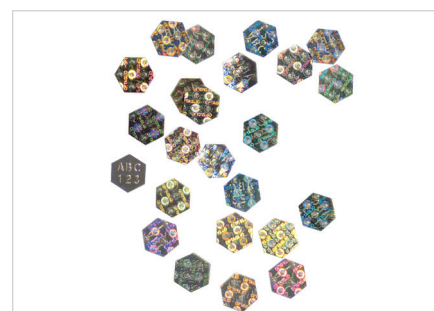
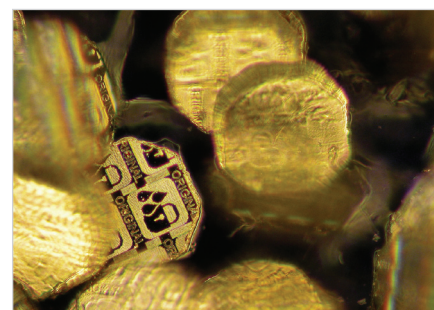
Nicméně lze očekávat, že obě tyto bariéry budou postupně odstraňovány a že displeje budoucnosti budou trojrozměrné, případně opatřené nápisy v prostoru. Doporučujeme věnovat pozornost zejména produktům americké firmy Zebra Imaging, která vojenským strategům umožňuje plánovat a simulovat dění na 3D mapách, lékařům diskutovat nad plastickými zobrazeními orgánů konkrétního pacienta,

těžarům poskytuje trojrozměrná zobrazení podzemních ložisek a technikům vizualizace staveb, strojů apod. Popisy produktů Zebra Imaging jsou ohromující, zdá se ovšem, že jediným reálným zákazníkem je armáda USA, což odpovídá spíše testování novinky než skutečné průmyslové aplikaci. Další startupy nabízejí například 3D obrazovky.

Konstrukteři strojů, které budou používány třeba v roce 2025 a později, by měli zvážit možnost trojrozměrného zobrazování. Až ta změna přijde, bude převratná.

## Měření

Využití hologramu jako měřicího zařízení se zobrazováním úzce souvisí. Přitom je to možnost, která už je k dispozici ve formě reálných produktů. Tak jako u jiných hologramů i zde je základem produktu difrakční mřížka, tedy mikroskopická struktura, na které se světlo láme



tak, aby byl do různých směrů (nebo při osvětlení z různých směrů) odrážen pokaždé jiný obraz. Podklad může být vyroben tak, že určitý fyzikální, chemický nebo biologický stimul difrakční mřížku nepatrně deformuje, takže vzniká optická iluze. Může se např. změnit barva hologramu, objeví se jiný nápis apod.

Firma Smart Holograms, která je v této oblasti asi nejpokročilejší, tak např. vyrábí hologramy detekující množství vody v leteckém palivu. Hologram je připevněn na filtru, kterým palivo protéká. Jakmile procento vody překročí určitou mez, zelený obrázek zčervená. To je způsobeno tím, že difrakční mřížka je spojena s maticí z chytrého polymeru. Konkrétně jde o hydrogel, který výborně absorbuje vodu a může zvýšit svůj objem až tisíckrát. Zvětšování objemu deformuje difrakční mřížku a mění optickou iluzi.

Obdobným způsobem lze vyrobit hologramy reagující na rozpouštědla, plyny, produkty metabolismu, léky, drogy apod. Existuje např. hologram, který reaguje na přítomnost biologických látek v mléce, takže změní barvu, pokud je mléko nakyslé. Takové hologramy by časem mohly nahradit informaci o datu spotřeby na obale.

### Ochrana proti padělání

Když pomíneme umění, ochrana proti padělání vždy byla hlavní funkcí hologramů. Tady nemusíme zdůrazňovat, jaké škody vznikají. I když pro naše účely není značkové spotřební zboží až tak zajímavé, falšování náhradních dílů představuje dostatečně velký problém. Asi každá korporace má dnes nějaký program protipadělatelské ochrany. Na projektu typu *track and trace* jsou vynakládány obrovské prostředky. Jsou implementovány systémy na sledování oběhu součástek a jsou vytvářeny motivační programy pro zákazníky a dealery, aby se do programu zapojili. Nicméně počty falešných náhradních dílů na trhu neklesají a nezdá se, že by se padělatelé chystali zavřít své fabriky. Problémy Amazonu a dalších velkých obchodů jen potvrzují, že pokud produkt či komponent není rozpoznatelný sám o sobě, je prakticky nemožné zabránit vstupu padělků do prodejního cyklu.

Využití hologramů pro ochranu proti padělání vychází ze dvou základních předpokladů.

- Rozpoznatelný má být samotný díl (podobně jako bankovka).
- Je v zájmu zákazníka, aby nepoužíval falešné díly. Předpokládá se tudíž, že vyvine určité úsilí, aby se o pravosti přesvědčil (podobně jako když dostanete bankovku). Značení dílů je službou, jak mu takové rozlišení usnadnit.

V literatuře se zpravidla setkáváme s rozdělením ochrany na jasně viditelnou (*overt*) a neviditelnou (*covert* nebo *hidden*). Jednoznačně důležitější je přitom ochrana viditelná. Zboží a komponenty se přece chrání proti padělání proto, aby uživatel či zákazník mohl snadno a rychle rozhodnout a aby nebylo zapotřebí nosit posuzovanou položku do laboratoře. Člověk uchopí součástku, najde na ní hologram, otočí ve světle, zkontroluje přítomnost požadované optické iluze a za pár vteřin má jasno. K tomu je však zapotřebí zajistit dva aspekty práce s hologramy:

- Hologram není možné napodobit nebo s tím jsou spojeny výrazně vyšší náklady, než by útočník paděláním získal.
- Vizualní iluze hologramu musí být snadno rozpoznatelná. Není tomu tak, že by každý lesklý měnič se obrázkem byl zárukou pravosti, nemluvě o hologramech s nápisem „originál“, jaké se dnes dají koupit za pár korun v internetových obchodech.

U strojů a jejich dílů hraje roli i to, že hologram musí být správně upevněn a musí vydržet potřebné namáhání povrchu, teploty, povětrnostní vlivy atd.

Naneštěstí se hologramy vyrábějí už řádově 30 let a během té doby proběhlo několik malých technologických revolucí. Hologramy vytvořené staršími technologiemi je tedy možné bez větších problémů okopírovat. Kopírováním v tomto případě myslíme situaci, kdy se útočníkovi podaří vyrobit raznici (viz rámeček) a poté může produkovat stejné hologramy, jakými je díl chráněn.

Tím se dostáváme k požadavku na bezpečnostní hologram. Při využití k ochraně dílů je zapotřebí jiných vlastností než třeba při ochraně osobního dokladu. V podstatě je lze shrnout do tří bodů:

- Nekopírovatelnost. Pokud útočník získá hologram (třeba tak, že si koupí napodobovaný díl), nesmí existovat možnost, že jej okopíruje a začne vyrábět stejné.
- Nenapodobitelnost. Hologram musí obsahovat takový vizuální efekt, který útočník nedokáže napodobit jinou technologií. Tento efekt musí být zároveň snadno rozpoznatelný i při běžné kontrole. To např. znamená, že stříbrné logo, které je při naklopení nahrazeno nápisem, příliš nepomáhá. Naopak reliéfní panenka, která při naklápění plynule mění barvu od stříbrné ke světlivě modré a při osvětlení červeným světlem vyjede z pozadí nápis, to už je pro padělatelů výzva. A pak existují efekty, které zvládne jen jediná laboratoř na světě.
- Trvanlivost. Hologram musí na dílu dobře držet během celého jeho životního cyklu

a musí si udržet tak silné optické vlastnosti, aby zůstal nenapodobitelným (což by nebylo možné říci o vybledlém hologramu).

Na závěr zmíníme jedno velmi speciální využití hologramů. Jedná se o tzv. *mikrohologramy*, patentovaný produkt české firmy Optaglio, v současnosti asi nejúspěšnější místní nanotechnologický produkt na světových trzích. Jedná se o miniaturní kousky niklu o velikosti od 40 do 100 mikrometrů. Při pohledu pouhým okem se jeví jako kovový prach. Pokud ale kontrolující osoba použije lupu, může si všimnout pravidelného tvaru (čtverec, šestiúhelník apod.). Může také zaznamenat, že každé zrníčko má holografický povrch a na každém jsou vyleptána písmena nebo čísla. Při pohledu mikroskopem je patrné, že na každém zrnku je plný hologram se všemi vizuální efekty.

Mikrohologramy mohou být vmíchány do bezbarvého laku a naneseny na povrch chráněného dílu. Mohou být také zataveny do plastové fólie nebo do jiného materiálu. Další možností je výroba holografického papíru, který mikrohologramy obsahuje a ze kterého mohou být tištěny kolký, nálepky, servisní knížky apod. Při pochybnostech je možné zkontrolovat přítomnost mikrohologramů, a to i po zničení dílu.

Není pochyb o tom, že hologramy se budou dál vyvíjet, že se objeví nové technologie jejich výroby a že budou mít svou roli i ve strojírenství. A je také vysoce pravděpodobné, že v tom bude hrát významnou roli Česká republika. V současné době je u nás vyvíjeno a vyráběno to nejpokročilejší, co lze na světovém trhu najít. A to nikoliv v rámci korporátu, ale přímo českou firmou. ■

## JAK SE VYRÁBĚJÍ HOLOGRAMY

Hologram je v podstatě soustava difrakčních mřížek nebo složitějších difrakčních struktur – reliéf s pravidelně se opakujícími zářezy, na kterých se láme světlo a vyvolává kýžený vizuální efekt. Technika výroby je v mnohém podobná tisku. Nejdříve je vytvořena raznice (*master hologram*) a ta je obtiskována do plastu, kovu nebo jiného materiálu. Rozhoduje tedy výroba samotné raznice.

K výrobě raznic slouží několik technologií.

*Dot Matrix* je technologie nejčastěji využívaná, relativně jednoduchá a typicky používaná pro ochranu levného spotřebního zboží typu cédéček. Hologram je určován pouze dvěma parametry – periodou difrakční mřížky a její orientací. Hologramy *Dot Matrix* poskytují jen omezenou škálu vizuálních efektů a jsou snadno napodobitelné.

*Přímý zápis*. Difrakční mřížka je vykreslována laserovým paprskem. To je původní způsob výroby hologramů. Oproti *dot matrix* je to technologie náročnější na výrobu, ovšem také náročnější na napodobení.

*Elektronová litografie* je založena na tom, že přímý zápis není prováděn laserem, nýbrž svazkem elektronů. Svazek elektronů může být daleko užší, protože není omezen vlnovou délkou světla. Fyzikální limit pro zápis laserem je cca 10 000 DPI, elektronová litografie dosahuje rozlišení statisíců nebo milionů DPI. Užší paprsek umožňuje vytvořit jemnější difrakční struktury, a tudíž i vizuální efekty, které nelze vyvolat jiným způsobem. Vedle elektronového litografu je ovšem zapotřebí mít speciální ovládací software. Ten si píše každý výrobce hologramů sám a jsou v něm obsaženy algoritmy pro vytváření difrakčních struktur pro různé vizuální efekty. Tyto algoritmy není možné zpětně odvodit z hologramu. Tím je dáno, že ani jiný vlastník elektronového litografu nemůže některé efekty zopakovat.

Světovou jedničkou v elektronové litografii je česká firma Optaglio. Pracuje s rozlišením přes 2,5 milionu DPI a vyvinula několik originálních vizuálních efektů. Produkty této společnosti jsou dnes využívány ve více než 50 zemích – k ochraně dílů, spotřebního zboží, ale především dokumentů.