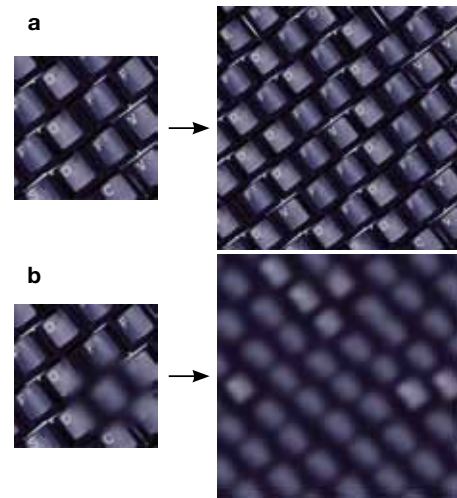


Ilustrace (a) Daichi Ito, (b–d) Fišer et al., 2016

1. PŘEDCHOZÍ PŘÍSTUPY k příkladem řízené syntéze obrazu (b, c) nedokázaly zachovat věrnost originálu (a). To se podařilo až algoritmu StyLit, který adaptivně kontroluje četnost použití vzorků z předlohy (d).



Zdroj Kwatra et al., 2005

2. POKUD PŘEDLOHA obsahuje podobně složité struktury, syntéza založená na optimalizaci věrně reprodukuje původní vzhled (a). V případě výskytu struktur, jejichž použití je z hlediska optimálního řešení výrazně lacinější (např. téměř homogenní oblasti), dochází k jejich výraznému nadužívání (b).

- 1) Hertzmann A. et al., Proc. of the SIGGRAPH 2001, DOI: 10.1145/383259.383295.
- 2) Hladový algoritmus (greedy search) v každém kroku vybírá lokální minimum.
- 3) Rozšířená verze: Wexler Y. et al., IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., DOI: 10.1109/TPAMI.2007.60.
- 4) Newson A. et al., SIAM J. Imaging Sci., DOI: 10.1137/140954933.
- 5) Jamriška O. et al., ACM Transactions on Graphics, DOI: 10.1145/2766983.
- 6) Fišer J. et al., ACM Transactions on Graphics, DOI: 10.1145/2897824.2925948.

Doc. Ing. DANIEL SÝKORA, Ph.D., (*1978) vystudoval počítačovou grafiku na ČVUT FEL, kde na katedře počítačové grafiky a interakce zkoumá algoritmy, které umožňují výtvarníkům eliminovat opakující se časově náročné postupy při zachování maximální svobody výtvarného projevu. Přednáší o základech a pokročilých metodách digitálního zpracování obrazu.



Syntéza obrazu založená na předloze

Problém syntézy obrazu založené na předloze patří mezi nové výzkumné směry oboru počítačové grafiky. Jejím cílem je vygenerovat obraz, který respektuje novou, uživatelem definovanou strukturu, ale v detailech je k nerozeznání od originální předlohy.

text **DANIEL SÝKORA**

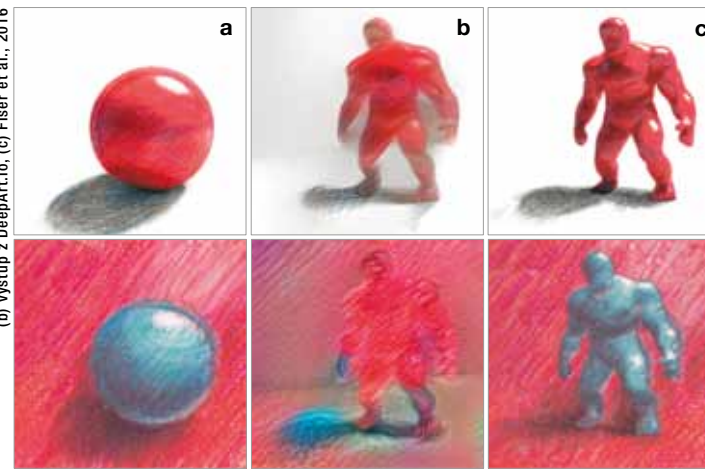
V **POČÁTCÍCH** byla syntéza obrazu chápána především jako simulace, jež dokáže věrně reprodukovat fyzikální principy šíření světla ve scéně, a tím dosáhnout požadovaného fotorealistického efektu. V současné době pokročil výzkum v této oblasti natolik, že je možné generovat syntetické obrazy téměř nerozeznatelné od reality. Některé složitější struktury a procesy, jako je například vzhled reálného plamene nebo obrazu vytvořeného vodovými barvami, jsou ale natolik komplikované, že je mimořádně obtížné pro ně vytvořit zjednodušený fyzikální model, který by bylo možné algoritmicky

simulovat. Proto se v současné době začíná prosazovat alternativní směr syntézy obrazu, kde fyzikální simulaci nahrazují vzorky reálných obrazů, ze kterých se následně vytvářejí obrazy nové.

Mezi průkopníky tohoto nového směru patří Aaron Hertzmann, který v roce 2001 se svými kolegy publikoval metodu obrazové analogie (Image Analogies).¹ Tato technika dokáže na základě existujícího vstupního obrazu a jednoduchých řídicích kanálů (např. zdrojové a cílové segmentace) syntetizovat obraz nový, jenž respektuje uživatelem specifikované globální struktury,

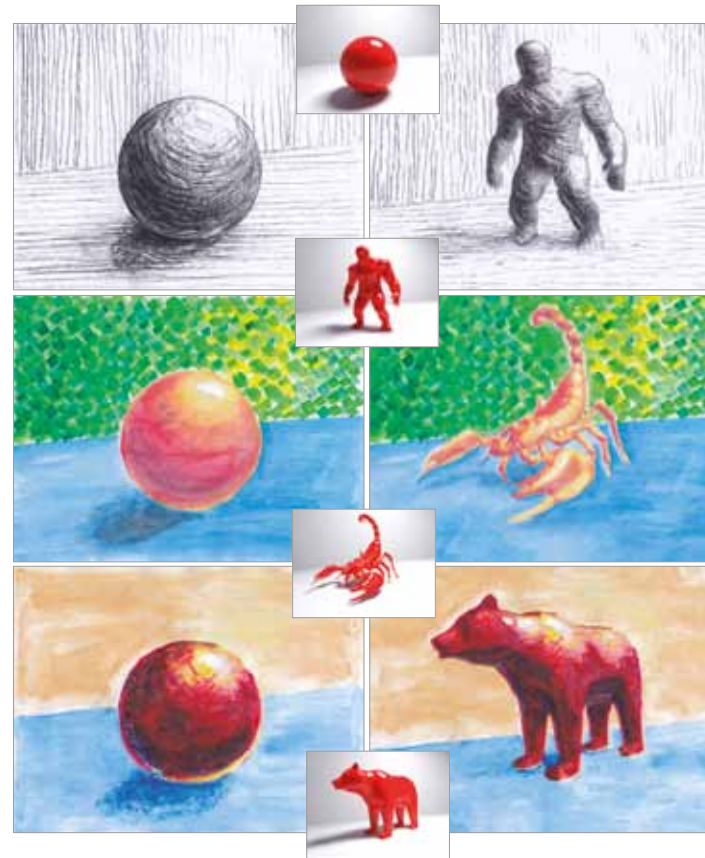


3. LAZYFLUIDS zvládnou zachovat vzhled vzorku reálného plamene (a) v cílové fluidní animaci (b) vytvořené pomocí fyzikální simulace.



Ilustrace (a) nahore Pavla Sýkorová, dole Daichi Ito, (b) výstup z DeepArt.io, (c) Fišer et al., 2016

4. PŘENOS výtvarného stylu z předlohy (sloupec a) založený na využití neuronových sítí (sloupec b) ve srovnání s výstupem algoritmu StyLit (sloupec c).



5. ALGORITMUS STYLIT dokáže věrně přenést výtvarníkův styl z jednodušší scény (vlevo) na složitější 3D model (vpravo).

Ilustrace Pavla Sýkorová, 3D modely – golem: Veleran, štír: Fernando Luceri, medvěd: WindTrees (vše CC BY 3.0)

ale v detailech se podobá originálu. Metoda dosahuje pro specifické předlohy velmi dobrých výsledků, nicméně ve složitějších případech selhává kvůli použití hladového algoritmu² syntézy. Tenž tvoří výstupní obraz postupně pixel po pixelu, a často tak vytváří nepřirozené švy, které narušují důležité lokální struktury nacházející se v předloze (obr. 1b).

Ke znatelnému zlepšení kvality syntézy došlo až o tři roky později. Yonatan Wexler a jeho kolegové přišli s algoritmem novým, jenž syntézu obrazu na základě předlohy formuluje jako optimalizační úlohu a snaží se najít její optimální řešení.³ Tento algoritmus je například základem populárního nástroje *Content Aware Fill* z programu Adobe Photoshop. Během několika málo okamžiků dokáže odstranit z fotografie nechtěné části

a zaplnit je synteticky tak, že laik výslednou retuš prakticky nerozpozná.

Wexlerův algoritmus byl po dlouhou dobu považován za univerzální nástroj syntézy obrazu založené na předloze. Ovšem deset let po jeho vzniku došlo k šokujícímu odhalení zásadní trhliny, o které se sice v kulořech diskutovalo již delší dobu, ale nikomu se nedařilo problém korektně analyzovat a řešit.⁴ Problém se projeví, pokud obraz předlohy obsahuje rozsáhlejší homogenní struktury. V takovém případě je optimálním řešením původní Wexlerovy úlohy excesivní kopírování těchto „laciných“ struktur a obraz postrádá původní vizuální bohatost originálu. K defektu dochází především v případech, kdy je syntéza cílového obrazu prováděna opakovaně (obr. 2) nebo je usměrňována složitějšími řídicími kanály (obr. 1c).

Tento zásadní problém výrazným způsobem omezoval možnosti použití jinak velmi praktického Wexlerova algoritmu a stal se jednou z hlavních výzkumných výzev pro náš tým. V roce 2015 jsme společně s kolegy z firmy Adobe (USA) publikovali článek⁵ na prestižní konferenci SIGGRAPH 2015, jenž přináší zásadní reformulaci původní optimalizační úlohy s cílem odstranit popisovaný defekt. Zároveň článek nabízí i nový efektivní algoritmus pro hledání optimálního řešení této vylepšené varianty Wexlerovy úlohy. Klíčovou myšlenkou nově navržené metody je aktivní kontrola frekvence použití jednotlivých částí předlohy, která zabrání tomu, aby se některé vybrané části nepoužívaly příliš často. Toto vylepšení umožnilo vznik nových, do té doby jen obtížně dostupných aplikací syntézy obrazu založené na předloze.

Jedná se například o přenos vzhledu z fotografie či videa na fluidní simulace (LazyFluids). Výkon současných grafických karet totiž umožňuje v reálném čase simulovat proudění plynů či kapalin ve virtuálním prostředí s předem definovanými parametry. Uživatel je tak schopen během několika málo okamžiků navrhnout fluidní animaci dle vlastních představ. Oříškem ale dlouho zůstávala otázka, jak výsledné vektorové pole „obarvit“ dle zadané obrazové předlohy tak, aby vzniklé proudění získalo vzhled reálného média. Předchozí metody syntézy na reálných předlohách selhávaly právě kvůli problému s kopírováním „laciných“ struktur. Teprve díky kontrolované frekvenci použití jednotlivých částí předlohy se stal tento problém prakticky řešitelný (obr. 3), a odstranila se tak nutnost nesmírně pracného ladění parametrů výpočetně náročných algoritmů, které syntetizovaly vzhled na základě složité fyzikální simulace šíření světla ve scéně.

Další revoluční aplikací je náš algoritmus StyLit.⁶ Ten dokáže přenést styl z existující ruční kresby či malby na jiný trojrozměrný objekt. Zde se kontrola frekvence použití jednotlivých částí předlohy ukázala jako klíčová, neboť na rozdíl od předchozích pokusů založených například na použití neuronových sítí dokáže zajistit reprodukci typických lokálních struktur, jež jsou důležité pro zachování věrnosti použité výtvarné techniky (obr. 4). Dalším významným zlepšením, který StyLit přináší, je použití speciálních řídicích kanálů, jež reprezentují jednotlivé složky globálního osvětlení ve scéně. Na jejich základě dokáže algoritmus věrně napodobit umělcův stylizační záměr, který se typicky mění v závislosti na zobrazovaném světelném efektu (odlesk, stín či nepřímý odraz). Výsledkem syntézy jsou umělé obrazy, které svou realističností dokážou zmást i autora předlohy (obr. 5). ●