

Jak naučit počítače dokonaleji analyzovat a zpracovávat obrazová data, rozpoznávat objekty a potlačit rušivé vlivy a chyby v digitálních obrazech, například rozmazání, nedostatečné rozlišení, šum či geometrické zkreslení, zkoumá **Jan Flusser z Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR**. Výsledky jeho bádání mohou výrazně pomoci v průmyslu, v medicíně nebo třeba při zajišťování bezpečnosti.

Pro lepší porozumění obrazu





Pracujete na pomezí umělé inteligence, informatiky a aplikované matematiky. Můžete svůj obor více přiblížit?

Počítačové zpracování obrazu je, zjednodušeně řečeno, obor, který se zabývá automatickým porozuměním zobrazené scéně. „Porozumění“ si můžeme představit tak, že počítač najde důležité objekty a rozpozná je, tedy zařadí do předem definovaných tříd. Než k tomu může dojít, je potřeba tyto objekty nějak matematicky popsat. Člověk pracuje s vizuální reprezentací objektů, ale počítače tuto intuitivní schopnost nemají a potřebují abstraktní matematickou reprezentaci. Úplně na počátku celého procesu je velká skupina metod, které „jen“ daný snímek vylepšují, předzpracovávají, aby se s ním dále pracovalo co nejlépe. Jako samostatný obor vzniklo počítačové zpracování obrazu v šedesátých letech minulého století; první monografie *Picture processing by computer* od Azriela Rosenfelda je z roku 1969. První aplikační oblastí bylo zpracování družicových snímků, u nichž i velmi jednoduché metody, např. na potlačení šumu nebo zvýšení kontrastu, vedly k lepší vizuální interpretaci. Po rozšíření počítačové tomografie a dalších digitálních zobrazovacích metod se největší aplikační oblastí stala medicína. Masové rozšíření mezi běžné uživatele pak přinesly digitální fotoaparáty.

*„Po rozšíření počítačové tomografie se největší aplikační oblastí stala medicína.“
–Jan Flusser–*

Asi každý, kdo má digitální fotoaparát, ví, že při snímání obrazu dochází k mnoha nepříznivým či přímo znehodnocujícím jevům, včetně rozmazání nebo nedostatečného vzorkování. S podobnými problémy se potýkají i obrazy z termovizních kamer nebo různých druhů mikroskopů. Tyto jevy už několik let matematicky modelujete a hledáte možnosti rekonstrukce digitálního obrazu. Čeho se vám už podařilo dosáhnout?

Vývojem metod na odstraňování zmíněných degradací se zabývají desítky pracovišť a stovky, či spíše tisíce vědců. Všichni se potýkají s problémem, že úloha je nedostatečně zadaná – originální snímek, který se snažíte odhadnout, je neznámý, funkce, jež snímek poškodila (tzv. impulzní odezva), bývá také neznámá a šum, který situaci ještě komplikuje, je pochopitelně též neznámý. Nám se podařil v roce 2005 důležitý objev. Ukázali jsme, že když máme k dispozici více snímků téže scény, které se liší konkrétním poškozením, lze originální obrázek poměrně přesně a hlavně numericky stabilně odhadnout. Tahle myšlenka se nazývá vícekanálová dekonvoluce a byla známá již dříve. My jsme ale vyvinuli algoritmus, jenž se vyznačoval mimořádnou stabilitou a byl v podstatě první na světě, který bylo možné používat na skutečně reálná data pořízená mimo laboratoře. Od toho byl jen krok k vylepšování videozáznamů, protože video je vlastně posloupnost mírně různých snímků téže scény. Ukázalo se, že tato metoda může zvýšit rozlišení nekvalitního videa až dvojnásobně. Videá natáčená současnými mobilními telefony jsou tak kvalitní, že tuto proceduru nepotřebují, ale praktické uplatnění našel tento algoritmus u videokamer. Termální videa mají totiž originální rozlišení poměrně nízké. Pro firmu TESTO, která je

předním světovým výrobcem termokamer, jsme náš algoritmus upravili na míru a spolu s jejich specialisty ho implementovali přímo na procesoru kamery, kde běží v reálném čase. Výsledné řešení bylo patentováno v USA a je myslím pěknou ukázkou, jak rychle přenést teoretický výzkum do praxe, když je oboustranný zájem.

Zobrazovací metody se široce využívají i v medicíně – a také jistě mají své nedokonalosti. Nakolik se daří vaše postupy uplatňovat právě na tomto poli?

Aplikací v medicíně jsme měli v posledních letech několik. Zmíním dvě, které jsou zajímavé zejména kvůli unikátním vyšetřovacím metodám a použitým senzorům, i když z hlediska zpracování obrazu šlo o relativně jednoduché algoritmy. Prvním dlouhodobým projektem, na němž spolupracujeme již několik let, je vyhodnocování výsledků při vyšetření hlasivek metodou videokymografie. Tento originální vyšetřovací postup, u jehož zrodu stáli čeští lékaři, využívá ultrarychlou jednořádkovou kameru, která se pacientovi vsune mezi hlasivky. Výstupní obrázek znázorňuje časový průběh jejich otevírání a zavírání v daném místě. Vyvinuli jsme metody a dodali software, jenž měří důležité parametry na hlasívkách a pomáhá lékařům vyhodnocovat jejich stav. Druhou úspěšnou aplikací, která vznikla pro fakultní nemocnici v Hradci Králové, je detekce krvácení v tenkém střevě ve videu natočeném kapslovou endoskopií. Jde o šetrné vyšetření, kdy pacient spolkne kapsli s miniaturní kamerou, světelným zdrojem a vysílačem. Kamera natáčí při průchodu zažívacím traktem videozáznam, který ale může trvat i několik hodin. Jeho vizuální vyhodnocování je tudíž časově velmi náročné. Naše metoda detekuje části videa s podezřením na výskyt krvácení a lékař se pak může zaměřit jen na tyto úseky. Dochází tak k obrovské úspoře času lékaře.

Další váš projekt usiloval o zvýšení prostorového rozlišení snímků a videa až za hranici danou fyzikálními možnostmi senzorů. Jeho teoretické výsledky měly sloužit ke

Akademická prémie neboli Praemium Academiae

je prestižním oceněním, jehož cílem je podpořit vědeckou excelenci v Akademii věd ČR. Udílí se pouze jednou za kariéru, a to nejlepším vědcům, kteří provádějí vysoce perspektivní výzkum a patří ke špičce svého oboru i v mezinárodním měřítku. Prémie představuje zároveň nejvýznamnější vědecký grant v České republice, jeho nositelé získávají částku až 30 milionů Kč, rozloženou na dobu šesti let, z níž mohou hradit náklady spojené s budováním vědeckého týmu, pořízením potřebných přístrojů a laboratorního materiálu. Smyslem ocenění je vytvořit mimořádným vědeckým osobnostem Akademie věd ČR takové podmínky, v nichž by mohli plně rozvinout svůj potenciál ve prospěch své mateřské instituce i celé české vědy.

zvýšení vizuální kvality pozemských i družicových astronomických snímků a také mimo astronomii. Podařilo se toho dosáhnout?

Astronomie byla opravdu jednou z cílových aplikačních oblastí. Vycházelo to jednak z naší předchozí dlouholeté úspěšné spolupráce s Astronomickým ústavem AV ČR, jednak ze skutečnosti, že zejména pozorování ze Země skrz atmosféru je vždy zatíženo ztrátou prostorového rozlišení kvůli rozptylu světla na částicích atmosféry. Podařilo se nám například úspěšně restaurovat snímky slunečních skvrn pořízené na observatoři v Ondřejově. Ve srovnání s jinými oblastmi má ovšem zpracování astronomických snímků relativně úzký okruh uživatelů. Proto jsme se posléze více orientovali na již zmíněné termokamery a na vývoj speciálních metod pro zpracování obrazu v mobilních telefonech.

Jeden z vašich nedávných projektů se zaměřoval na mezioborové využití metod zpracování obrazu při analýze a restaurování uměleckých děl. Jaké metody jste v jeho rámci vyvíjeli a s jakým výsledkem?

Spolupráci při ochraně kulturního dědictví se věnujeme zhruba 15 let. Rád vzpomínám na náš první projekt v této oblasti. Po roce 2000 se na nás obrátili restaurátoři, kteří právě dokončili velmi nákladnou restauraci mozaiky Posledního soudu, dobře známou všem návštěvníkům Pražského hradu. Nachází se na vnější stěně chrámu svatého Víta, nad Zlatou bránou, a je dominantou nádvoří. Naším úkolem bylo porovnat její čerstvě restaurovanou podobu s historickou fotografií od Jindřicha Eckerta, která zachycuje stav mozaiky v roce 1879. Eckertova fotografie byla v důsledku nevhodného skladování ve velmi špatném stavu, což porovnání značně komplikovalo. O rozsahu úlohy si můžeme udělat představu už jenom z počtu dlaždiček v mozaice – je jich přes milion. Podařilo se nám identifikovat a zdokumentovat několik odlišností, kterých se restaurátoři při různých úpravách za více než 100 let dopustili. Osobně jsem si při práci na tomto projektu uvědomil, jak velký potenciál skrývá zpracování obrazu pro ochranu památek. Od té doby spolupracujeme s několika restaurátorskými skupinami v Česku i v zahraničí. Srovnáváme a analyzujeme snímky starých obrazů, typicky před tím, než začne jejich restaurování, pořízené v různých částech spektra. Infračervené spektrum nám umožňuje nahlédnout pod svrchní vrstvu, odhalit starší autorovy náčrty, z čehož mohou restaurátoři usuzovat, jak obraz postupně vznikl. Ultrafialové pásmo zase vypovídá o použitých pigmentech. Pracujeme i na

mikroskopické úrovni, kdy zkoumáme příčné řezy obrazem a detekujeme různé barevné vrstvy. To vše slouží jako cenný podklad a pomoc restaurátorům.

■ Další důležitou oblastí, kterou by chtěl váš tým více prozkoumat s podporou Akademické prémie, jsou metody a algoritmy pro vektorová a tenzorová obrazová data. Přiznám se, že mi jsou tyto termíny poněkud vzdálené. Co se v nich skrývá a proč vás právě tato problematika tak zaujala?

Vektorová pole nejsou obrázky v pravém slova smyslu, ale existují tam četné analogie. Klasická fotografie je v jednom pixelu reprezentována jednou hodnotou intenzity (respektive třemi hodnotami, pokud je barevná). Vektorové pole je naproti tomu v každém bodě reprezentováno vektorem, který ukazuje například směr a rychlost pohybu částic v proudící kapalině. Vektorová pole se získávají buď z fyzikálních měření, nebo jako výsledky simulace. Představme si třeba experiment, kdy se zjišťuje obtékání vzduchu kolem automobilové karoserie. V těchto datech je důležité detekovat různé typické jevy, například víry. Cílem konstruktérů většinou je, aby k vírům nedocházelo a obtékání bylo hladké. Máme ideu, jak v takovém naměřeném vektorovém poli detekovat jakoukoli zájmovou strukturu, jejíž jeden exemplární vzor můžeme algoritmu předložit. Detekce by měla být nezávislá na konkrétní velikosti, orientaci či dalších volných parametrech dané struktury.

Když budeme schopni zájmovou strukturu najít v jednom statickém vektorovém poli, pak budeme moci i sledovat její pohyb a vývoj v čase. Analogie se zpracováním obrazu je v tom, že i tam taková úloha existuje, řešení ale není jednoduše přenositelné kvůli odlišnému charakteru vektorových dat.

Od vektorových polí můžeme přejít o dimenzi výše a dostaneme se k polím tenzorovým. Fyzikové dobře znají třeba deformační tenzor, který v každém bodě tělesa udává jeho deformaci v závislosti na směru.

Myslím si, že algoritmy pro analýzu vektorových a tenzorových dat zažijí v blízké budoucnosti boom. Bude se totiž objevovat více přístrojů, které taková data produkují. Nedávno se například v medicíně objevila tzv. traktografie. Jde o metodu, jež na principu magnetické rezonance měří difuzi v každém elementárním objemu. Toto

měření je navíc schopná provádět v každém směru zvlášť, produkuje tedy tzv. difuzní tenzor. Metoda je vhodná pro vyšetření periferních nervů, neboť vodivost nervů s difuzí úzce souvisí. Doufám, že se nám podaří využít mírného náskoku, který v této oblasti máme, k dosažení dalších originálních výsledků. ■

Prof. Ing. Jan Flusser, DrSc.,

je odborníkem v oblasti zpracování a rozpoznávání obrazu. Vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze, v letech 2007–2017 byl ředitelem Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR. Ve svém výzkumu se věnuje novým metodám pro invariantní rozpoznávání a pro tzv. registraci obrazu, které umožňují získávat informaci z více snímků téže scény zároveň. Dále rozvíjí algoritmy pro softwarové zvyšování prostorového rozlišení a ostrosti snímku, které vyústily v řadu úspěšných aplikací v praxi a v jeden patent v USA. Za svůj výzkum obdržel Cenu předsedy Grantové agentury ČR (2006), Cenu AV ČR (2007) a Felberovu medaili (2015). Je autorem či spoluautorem více než 200 původních vědeckých prací včetně dvou monografií. Kniha Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition (Wiley, 2009) se dočkala i překladu do čínštiny. Práce Jana Flussera mají velký citační ohlas (přes 13 000 citací, h-index 36 – údaje dle Google Scholar).