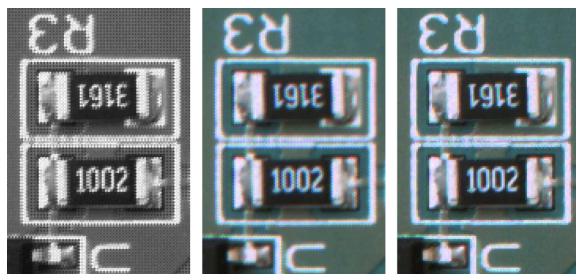


Systém VisionLab v náročných aplikacích strojového vidění

Tvorba aplikací strojového vidění patří v oblasti průmyslové automatizace k složitým a náročným činnostem. Obor se také stále a velice rychle vyvíjí. Pomalu si zvykáme, že počítače mohou v obraze z kamer např. nalézat a identifikovat lidské obličeje, orientovat se při jízdě na silnici a mnoho dalšího. Nové a stále složitější algoritmy dokáží stále více, ale také potřebují stále více výpočetního výkonu. Často se stává, že právě výpočetní výkon je podstatným limitem při realizaci mnoha systémů vizuální inspekce.

Roman Cagaš,
Moravské přístroje, a.s.



Obr. 1 Jasový obraz
Bayerovy masky,
bilineární interpolace
a adaptivní
interpolace v GPU

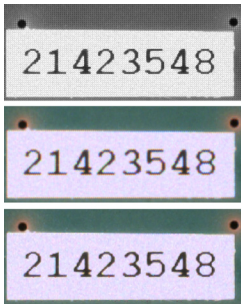
Přes značné zpřístupnění a zjednodušení, ke kterému v poslední době došlo, se tvorba aplikací strojového vidění stále velmi liší od převážné většiny zakázkových řešení v průmyslové automatizaci. Potřebujeme-li měřit např. teploty nebo elektrické proudy, připojíme vhodné snímače a zkonfiguruje-
me obrazovky operátorského rozhraní. Vše bude v naprosté většině případů spolehlivě fungovat. V případech strojového vidění asi nikdy nebude možno vše pouze připojit a zkonfigurovat. Autor aplikace musí nejprve rozhodnout o celkové koncepci a geometrickém uspořádání systému, zvolit typy kamer a objektivů, způsob osvětlení, zastínění a typy osvětlovačů a v neposlední řadě musí zvolit hardware a software

pro práci s obrazem a dobře odhadnout nároky úlohy na výpočetní výkon.

Problematika strojového vidění je objektivně dosti složitá a každé počáteční nesprávné rozhodnutí může způsobit neúspěch řešení. Nyní se však soustředíme pouze na spotřebu výpočetního výkonu a na způsoby, jak si i v této oblasti vytvořit nějaké rezervy, které se v průběhu tvorby aplikace často velmi hodí. Abychom ale nezkreslovali situaci – stále existuje velké množství jednoduchých aplikací, které mají nízkou nebo alespoň přesně odhadnutelnou potřebu výpočetního výkonu. Jedná se o většinu vizuálních inspekcí, kontrolující např. přítomnost dílu prostřednictvím přítomnosti tmavé či světlé skvrny, jednoduché detektoru vzorů, měření rozměrů, aplikace, které čtou texty, čárové a datamatrix kódy atd. Na druhé straně ale stále pozorujeme nárůst opravdu komplexních úloh s velmi složitými algoritmy, které jsou jednoduchými prostředky nerealizovatelné.

Náročnost složitých algoritmů na výpočetní výkon je pochopitelná, při práci s obrazem ale často narážíme na nutnost realizace operací, které na první pohled vy-

padají velice jednoduše, přesto ale nejsou v reálném čase realizovatelné ani současnými vícejádrovými procesory (CPU). A to i tehdy, když operace s každým obrazovým bodem, i když sama o sobě není příliš výpočetně složitá, vyžaduje mnoho přístupů k jiným bodům obrazu. Právě pro tyto typy práce s obrazem je výborným řešením, přinášejícím podstatné zrychlení, využití masivně paralelního výkonu grafického procesoru (GPU). Systém strojového vidění **VisionLab** prostřednictvím grafického procesoru pracuje v reálném čase s obrazem tak, jak by to s využitím CPU nebylo dosažitelné.



Obr. 2 Artefakty bilineární interpolace jsou viditelné na kontrastních hranách

Pokročilá interpolace barevné mozaiky

Naprostá většina běžných kamer je při interpolaci barevné mozaiky omezena na základní bilineární interpolaci, která je řešitelná celočíselnými výpočty. Na víc výkon kamer nestačí. Obraz je pak zatížen všemi



Obr. 3 Rozdílový obraz mezi bilineární a adaptivní interpolací

nežádoucími artefakty tohoto postupu, které plynou mimo jiné ze vzájemného prostorového posunu červeného a modrého barevného kanálu. Ve výsledku pak pozorujeme v blízkosti kontrastních hran šachovnicové vzory a modročervené lemování. Pokročilé algoritmy, které produkují výrazně čistší a ostřejší obraz, musí využívat výpočtů v plovoucí řádové čárce a obsahují více průchodů plochou obrazu. Takový algoritmus již není možno v reálném čase na proudě dat z kamery řešit ani procesorem uvnitř kamery, ani pomocí CPU v počítači, je však příkladem ideální úlohy pro masivní paralelizaci v GPU.

Lokální prahování a ostatní obrazové filtry

Mechanismus lokálního prahování je opravdu velmi jednoduchý, výpočtů je zde minimálně, není na první pohled zcela zřejmé, kde by mohl být při řešení pomocí CPU problém. Potíž se skrývá ve skutečnosti, že pro výpočet každého bodu je nutno číst mnoho pixelů z okolí. Pak schopnost GPU a grafických RAM přenášet desítky gigapixelů za sekundu je značným přínosem. GPU řešení je zde výrazně rychlejší než snaha o totéž v CPU.

Průmyslové kamery

Průmyslové kamery **DataCam** jsou vestavěny do kompaktního a odolného těla z masivního hliníku. Existují i provedení s krytím IP65. Existují i černobílé varianty s rozlišením od 640 x 480 až po 1600 x 1200 pixelů. Nízká spotřeba umožňuje napájení přímo z USB sběrnice.

Průmyslové kamery

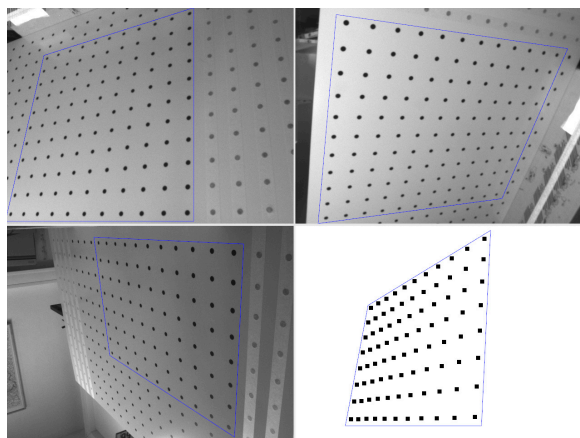
Kamery **DataCam** přenášejí RAW data v maximální dosažitelné kvalitě přímo do počítače po rychlé sběrnici USB 2.0. Zde mohou být tato data zpracována výkonným obrazovým procesorem grafického adaptéru bez jakýchkoliv kompromisů mezi kvalitou a datovým tokem.

Kamery **DataCam** přenášejí RAW data v maximální dosažitelné kvalitě přímo do počítače po rychlé sběrnici USB 2.0. Zde mohou být tato data zpracována výkonným obrazovým procesorem grafického adaptéru bez jakýchkoliv kompromisů mezi kvalitou a datovým tokem.

Obr. 4 Srovnání globálního a lokálního prahování

Průmyslové kamery

Průmyslové kamery **DataCam** jsou vestavěny do kompaktního a odolného těla z masivního hliníku. K dispozici jsou i provedení s krytím IP65. Existují i barevné i černobílé varianty s rozlišením od 640 x 480 až po 1600 x 1200 pixelů. Nízká spotřeba umožňuje napájení přímo z USB sběrnice.



Obr. 5 Tvorba obrazových map při rovnání perspektivních zkreslení pomocí GPU

Obrazové filtry vypadají na první pohled jako optimální úlohy pro řešení v GPU. Často tomu tak je, ale nemusí to platit univerzálně. Potíž může být v tom, že řada jednoduchých kernelových filtrů nemá příliš vysokou výpočetní intenzitu (a současné vícejádrové CPU také nepočítají až tak zoufale pomalu). Režie přenosu obrazových dat mezi systémovou a grafickou pamětí pak může i stonásobně vyšší rychlost výpočtů kernelu v GPU oproti CPU znehodnotit. Situace se ale dramaticky změní v případě filtrů s nutností složitějších výpočtů v plovoucí řádové čáře, jako je tomu např. u transformací barevných prostorů, řešení saturačního matic, šumových filtrů atd. Pak nám může využití GPU zrychlit tyto kroky až několik řádů.

Kalibrace obrazu a jiné úpravy geometrie

Programovatelné grafické procesory umožňují bez zatěžování CPU řešit problematiku

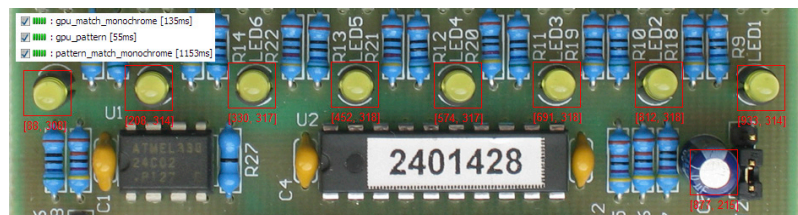
změn geometrie obrazu. Virtuální přístroj **gl_camera** systému **Control Web** tímto způsobem elegantně řeší nejen kalibraci geometrických zkreslení objektivů, ale dokáže např. i korigovat perspektivní zkreslení, odstranit natočení obrazu, rozvinout obraz z povrchu válce či koule. Umožňuje srovnat libovolně nelineárně deformovaný obraz.

Kromě požadavku na rychlost je podstatná i vysoká kvalita výsledného obrazu. Proto je tvorba výsledného obrazu řešena s vysokou subpixelovou přesností programem fragmentového shaderu, který poskytuje zaručeně kvalitní a stabilní výsledky na veškerých GPU.

Masivně paralelní algoritmus hledání vzorů

V aplikacích vizuální inspekce je hledání obrazových vzorů velmi často používáno. Implementace tohoto algoritmu již ale není tak přímočará, jako tomu bylo v předchozích případech. Ani současné moderní GPU nemají bohužel stále tolik hrubého výkonu, aby mohly realizovat kompletní normalizovanou křížovou korelaci pro všechny pixely obrazu se všemi pixely hledaného patternu. Škoda, řešení hrubou silou by poskytovalo nejpřesnější výsledky, ale normalizované křížová korelace je opravdu výpočetně příliš náročná. Proto i GPU algoritmus potřebuje několik optimalizací na výkon, které vedou na nutnost několika vykreslovacích průchodů. Krok, který je k dispozici v systému **VisionLab** je optimalizován tak, aby byla pokud možno, co nejméně přenášena data mezi pamětí CPU a pamětí grafické karty. Jeho výkon je obvykle několikrát lepší než u srovnatelného CPU řešení.

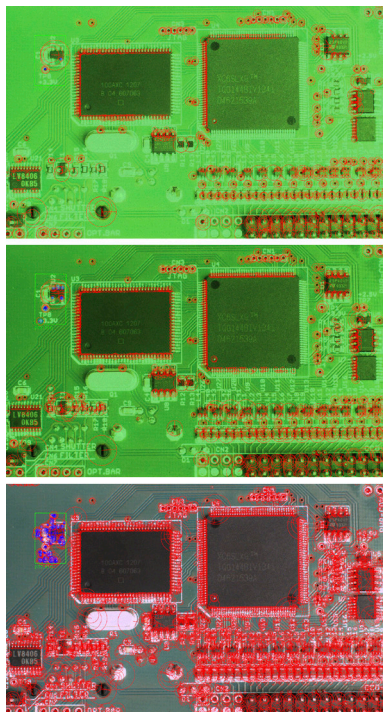
Obr. 6 Srovnání výkonu hledání vzorů v CPU a v GPU



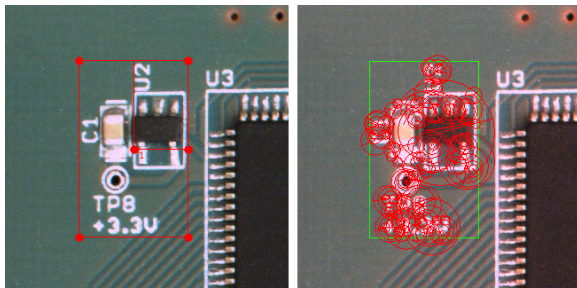
Identifikace objektů pomocí deskriptorů významných bodů

Tyto moderní algoritmy se dostávají ke slovu teprve v posledních několika letech. Přinášejí mnoho skvělých vlastností, nicméně jsou také velice náročné na výpočetní výkon. Rozumná implementace se neobejde bez co největšího využití výkonu GPU.

Základní myšlenkou je nezkoumat obrazové body celého obrazu, ale omezit se pouze na pixely v okolí tzv. významných bodů. A navíc ani v tomto okolí nepoužíváme normalizovanou křížovou korelaci bodů obrazů, ale vzájemně porovnáváme vektory čísel tzv. deskriptorů. Pro identifikaci objektů tedy postačí zapamatovat si pouze určitý nevelký počet těchto deskriptorů. Proces identifikace se pak již více podobá hledání podobnosti číselných řad v databázích.



Obr. 7 Objekt je nalezen ve velkém rozsahu odchylek barevnosti, jasu, velikosti a natočení



Obr. 8 Výběr regionu pro snímání deskriptorů významných bodů

V systému strojového vidění **VisionLab** jsou pro využití těchto algoritmů k dispozici kroky, které do maximální míry využívají schopností programovatelných GPU. Možnosti těchto kroků jsou překvapující. Kromě samozřejmé invariance vzhledem k jas, měřítku a neomezené rotaci umožňují s vysokým výkonem vyhledávat a identifikovat prakticky veškeré typy a velikosti objektů. Metoda je velmi odolná i proti obrazovému šumu, změnám ostrosti obrazu a částečnému skrytí objektů. Lze jejím prostřednictvím s velkou spolehlivostí identifikovat např. i lidské obličeje atd.

Strojové vidění pro náročné aplikace

Systém strojového vidění **VisionLab** umožňuje realizovat i velmi komplexní aplikace. Ve svých schopnostech i vysokém výkonu nám poskytuje rezervy pro nečekané požadavky i pro další rozšiřování aplikačních programů.

VisionLab[™]

Moravské přístroje a.s.

Masarykova 1148, Malenovice

763 02 Zlín

Tel.: +420 577 107 171

E-mail: info@mii.cz

www.mii.cz