

Co chceme od termokamer, aby se daly používat masově

Shrnutí

Termokamera, má-li být plnohodnotná v oboru stavebnictví, musí umožnit hromadné uložení veškeré relevantní informace z množiny všech pořízených snímků. Minimálně tedy jasových teplot všech pixelů každého termosnímků, u dražších kamer také surových R,G,B hodnot všech pixelů doprovodného vizuálního snímku spolu s údaji o expozici. A to bez jakýchkoliv operací (jako je vyplňování názvů souborů) nad jednotlivými termosnímků z množiny. Termokamery, které to nedokáží ani se softwarem k nim dodávaným či zdarma dostupným, by neměly být pořizovány z veřejných prostředků.

Podrobné zdůvodnění

Co zaznamenává termokamera

Termokamery měří teplotní odchylku pixelů matice umístěné v obrazové rovině jejich objektivu. Teplotní odchylka je dána tím, že na pixel dopadá větší či menší zářivý tepelný tok. Oproti běžným digitálním fotoaparátům je situace v termokameře složitá, protože na záznamovou matici září nejen scéna zobrazovaná objektivem, ale sálá na ni také celá dutina kamery mezi objektivem a maticí. Sálání dutiny se v průběhu měření mění, zejména pokud kamera sleduje zvlášť chladné nebo zvlášť teplé objekty. Aby bylo možné vypočítat, kolik sálání přichází jen ze zkoumané scény, musí se bezprostředně před snímkem oné scény objektiv na moment zakrýt závěrkou známé teploty – kamera se krátce kalibruje, což se projeví výpadkem kontinuálního snímání a slabým cvaknutím. Termokamery to občas provádějí samy, ale mají též tlačítko, kterým lze kalibraci provést kdykoliv – jen je nutno, aby je uživatel znal a použil před každým snímkem, pokud proběhlo od minulé kalibrace více než deset sekund.

Standardním výstupem z „termosnímků“ je tzv. jasová teplota jednotlivých elementů scény, odpovídajících pixelům detekční matice. To je teplota, jakou by mělo černé těleso, které by na objektiv sálalo tímž zářivým tokem v oboru vlnových délek, který kamera zaznamenává. Onen obor zahrnuje obvykle většinu z rozmezí 7 μm až 15 μm ; toto pásmo, či spíše užší rozmezí 8 μm až 14 μm označujeme akronymem LWIR (LongWave InfraRed). Konverze signálu z jednotlivých pixelů (aneb [mikrobolometru](#), obvykle je to jejich rezistance) na jasovou teplotu je tajemstvím výrobce kamery. Nebyla-li kalibrace provedena těsně před snímkem, nejsou jasové teploty scény věrohodné, rozdíly jasových teplot mezi jednotlivými částmi scény mohou být ale i tak téměř správné. **Nic více než jasové teploty termokamera zjistit nemůže.**

Jasové teploty scény a skutečné teploty látek

Jasové teploty se od skutečných teplot povrchů liší tím, že reálné předměty nejen samy sálají, ale také se na nich nějak odráží či rozptyluje sálání z okolí. A ono okolí může mít teploty velmi rozdílné od zkoumaných předmětů. Odraz může být dokonale zrcadlový, to je případ hladkých lesklých povrchů, jako jsou okenní tabule. Nebo může být poněkud rozmazaný. V krajním případě může jít o dokonalý rozptyl, kdy jasová teplota vůbec nezáleží na směru, odkud předmět sledujeme; vzdáleně se tomu se blíží hrbaté povrchy, jako jsou některé omítky nebo čerstvý sníh.

Pro úplnost: záření daného směru se může na povrchu předmětu buď pohltit, vrátit od něj pryč, nebo jím projít dále. Podíly tomu odpovídající se nazývají absorptance (pohltivost), reflektance (odrazivost) a transmittance (propustnost), jejich součet je jednička. Předmět dané teploty může také takové záření sám vydávat, jeho množství je rovno součinu pohltivosti a množství záření, jaké by vydávalo černé těleso. Pohltivost je totožná s emitancí, „schopností vyzařovat“, čili číslem od nuly (které platí např. pro tenkou vrstvu vzduchu) do jedné (ta platí pro „černé těleso“, např. malý otvor do velké dutiny). U pevných látek lze transmittanci téměř vždy zanedbat, výjimkou jsou tenké vrstvy čistých uhlovodíků, např. polyetylénu či polystyrénu, a ovšem také polovodičů, z nichž se vyrábějí objektivy termokamer. U jiných běžných předmětů je součet emitance a reflektance roven jedné.

Existují situace, kdy má celé okolí jednu jedinou teplotu, jen zkoumaný předmět má teplotu odlišnou. To může nastat v místnosti v hloubi pasivní budovy udržované na konstantní teplotě, pokud si osamělý výzkumník namíří kameru na svou tvář.

V jiných případech nelze okolí připsat jednotnou teplotu. Jasové teploty předmětů pak záleží nejen na jejich teplotě a odrazivosti, ale také na charakteru oné odrazivosti (zrcadlení nebo rozptyl) a na tom, co se v nich vlastně odráží. Je-li to bezoblačné nebe, pak je jasová teplota předmětu značně nižší než teplota skutečná. Jak počítat skutečné teploty (a z nich tepelné toky pláštěm budovy), viz [autorovu disertaci](#). Při malých teplotních rozdílech lze užít přibližného vztahu $T_{\text{jasová}} = e T_{\text{skutečná}} + (1-e) T_{\text{okolí}}$, přičemž e je směrová emitance předmětu. Ve vztahu vystupuje jasová teplota okolí, které se v předmětu odráží (např. zasklení oken odráží často kus oblohy), tu můžeme leckdy též změřit termokamerou. Skutečné teploty všech předmětů v takovém obecném případě žádný, ani sebedokonalejší software nemůže z jednoho snímku zjistit. Je pak lepší resignovat na automatické odhadování skutečných teplot a chtít od kamery jen jedno, totiž **aby sdělila teploty jasové**. Udělá to, pokud se jí či následujícímu softwaru zadá, že **má brát tzv. emisivitu jako maximální, rovnu 1** – tj. brát všechny předměty jako černá tělesa, s nulovou odrazivostí a nulovou propustností pro obor LWIR.

Nutný a postačující výstup z původních termosnímků

V takové situaci není potřeba se snímky nijak laborovat, jen z původních souborů, v nichž jsou data uložena, **vypočítat a v dokumentované formě (čitelné pro lidi nebo pro počítače) zapsat jasové teploty odpovídající jednotlivým pixelům**. Danou úlohu by měl software dodávaný ke kameře umět zvládnout **pro celou sérii snímků naráz**. Z matice (tabulky) jasových teplot lze pak různými programy vytvářet obrázky vizualizující ony jasové teploty.

Doplňkem, nikoliv alternativou může být, aby software poskytovaný ke kameře sám vytvořil *nerozmazané bitmapové soubory s barevně kódovanými teplotami*, v předem zvoleném teplotním rozmezí a teplotní škále odpovídající předem zvolené paletě barev – a to *hromadně pro celou zadanou množinu snímků*. Vhodná volba teplotní škály a palety umožní, aby teploty byly např. s krokem čtvrt kelvinu či půl kelvinu z barevně kódovaného snímku přímo patrné, je-li stupnice teplot a barevná paleta uvedena vedle snímku. Jiná volba teplotní škály a palety pak může jasové teploty naznačovat spojitou škálou jasů, takže je snímek přehledný, napodobuje černobílou fotografii, i když vizualizuje „LWIR jasy“ místo jasů, které vnímáme očima. Je praktické, když okraje palety nápadně udávají teploty pod a nad zvoleným teplotním rozmezím.

Alternativou takový obrazový výstup není jelikož je žádoucí, aby v jednom dokumentu mohly být všechny termosnímků zobrazené jednotným způsobem nezávisle na tom, kolika kamerami od kolika výrobců byly pořízeny.

Požadavky na doprovodné vizuální snímky

Je-li termokamera vybavena i fotoaparátem, měl by její software umět uložit z množiny původních souborů hromadně také všechny světelné snímky, a to v plném rozlišení čipu CCD či CMOS. Žádoucí by byla data „raw“, tj. A/D hodnoty R, G, B pixelů, jak je to dnes běžné nejen u digitálních zrcadlovek. Taková data, spolu s údaji o expozici, umožňují radiometrické vyhodnocení snímků ve světelném oboru. (O základním konverzním programu pro běžné vizuální kamery *dcraw* a navazujícím krokům viz [adresář k radiometrickému programu raw2lum](#).) Při snímání ve dne, zejména pak na slunci, odhad světelného toku dopadajícího na různé povrchy a toku jimi pohlcovaného usnadňuje interpretaci termosnímků. Současná znalost kvantitativních údajů o „jasech“ dlouhovlnných (sálání předmětů) a krátkovlnných (jasy světla jimi odráženého) je při termografii neprováděné za temné noci důležitá.

Termografii budov, jde-li nám o zimní únik tepla z interiéru ven, je ale potřeba dělat v noci, aby se neuplatnilo solární zahřívání povrchů. Obsahuje-li kamera i fotoaparát, pak by měl být schopen až několikasekundových expozic, aby dostatečně zobrazil i exteriérové scény bez umělého osvětlení. Náhrada přidavným samostatným fotoaparátem je nepraktická, protože nezajišťuje automatické spárování termosnímků a světelných snímků, natož pak automatické vyznačení, která oblast světelného snímku je zobrazena termokamerou – to druhé by bylo možné jen tehdy, kdyby termokamera i fotoaparát byly pevně spojeny a namířeny týměž směrem.

Označování a formát výstupních obrazových souborů: *nikdy ne jpg*

Ukládání rozličných souborů vytvořených z originálního výstupu kamery by mělo být automatizované tak, aby se záběry různě zpracované lišily jen zadaným doplňkovým písmenem v názvu. Jde-li o bitmapy, pak *není vyhovujícím formátem jpg*, protože ten scénu rozmazává, neudává původní hodnoty jednotlivých pixelů. **Formát jpg by se v termografii nikdy neměl používat**, je to ten nejhorší možný – nevelký počet pixelů na řádce záznamové matice (přičemž rozdíl mezi tím, je-li 160, 320, nebo třeba až 640, se velmi projevuje na ceně kamery) fakticky redukuje na polovinu nebo i hůře. **Pro web i textové editory je nejvhodnější formát png**, který poskytuje maximální kompresi informace, aniž by ji zkresloval. Software kamery může místo něj ukládat nekomprimované formáty bmp či ppm, na png je převedou běžné obrazové konvertory, např. ze systému ImageMagick.

Takže pro nejjednodušší základní výstup termokamery, která obsahuje i fotoaparát, se z každého originálního souboru má vytvořit alespoň trojice snímků: vizuální, s pestrobarevnou kvantitativní škálou, a se spojitou přehlednou škálou.

Bez možnosti dávkového zpracování jsou termokamery jen drahými hračkami pro vyvolené

V optimálním případě by software ke kameře měl umět *dávkově zpracovat všechny originální soubory ve zvoleném adresáři*. Parametry pro zpracování termosnímků by byly jen označení zvolené palety, požadované teplotní rozmezí, které se má zobrazit, přídavné písmenko přidávané k názvu ukládaných souborů. (Navíc pak parametr, který by znamenal, že světelný snímek se už ukládat nemusí, když už uložený je.) Takto elementární „klikací“ software by měl být k dispozici pro všechny platformy (linuxové, Mac, Windows nejrůznějších generací).

„Klikací“ software může být užitečný pro interpretování snímků. Nejjednodušší a většinou postačující aplikace je výpočet průměrné jasové teploty v nějakém obdélníku. Z té může vyjít odhad veličiny U pro okno včetně rámu a osazení v budově. Pro základní přehled desítek či stovek záznamů z kamery, pořízených např. během jedné noci, je ale klikací software zbytečný. Pohodlí a rychlosti dávkového zpracování se může přiblížit jen tehdy, když velmi rychle poskytne totéž, jako by poskytl zadání několika parametrů na příkazový řádek – zvolení palety a teplotního rozmezí pro všechny snímky, kterým se přiřadí emisivita 1,00, a jejich vytvoření jedním kliknutím. Lepší oproti dávkovému zpracování může být jen v případě, kdy se pro srozumitelnost jednobarevně (např. šedě) zobrazených infrasnímků hodí zvolit u každého poněkud jiný rozsah teplot – ale nabízí-li software pro takovou úlohu nějaké autoškálování, pak totéž může vykonat i při dávkovém zpracování.

Dávkové zpracování by umožnilo, aby po nahrání celé sady souborů z termokamery vznikl jediným skriptem soubor html, který se vystaví na internetu... Ten se pak dá, až na to někdo bude mít čas, natáhnout do libovolného editoru a jednotlivé záběry v něm okomentovat či dále interpretovat. A to buď přímo ze zobrazených jasových teplot, nebo, proč ne, i s podporou klikacího softwaru, kterým by se zvláště zajímavé snímky dále analyzovaly. Nicméně už automaticky vygenerovaná trojice „světelný snímek – šedý termogram – pestrobarevný termogram udávající teploty s krokem půl stupně“ řekne komukoliv, kdo dané budovy zná, téměř vše, co ho může zajímat. Příkladem budiž [přehled exteriéru a okolí gymnázia v Otrokovicích](#).

(Rozpracovaným příkladem je pak noční termografická procházka sídlištěm v Novém Lískovci v Brně, která má ale na dvě stovky původních snímků, a jen její základní zpracování klikacím softwarem trvá několik dní, místo aby trvalo několik minut, viz první fázi bez komentářů http://amper.ped.muni.cz/jenik/LW-infrared/novy_liskovec/8-9.3.2012/all3.htm.)

To, že dávkové zpracování výrobci termokamer nenabízejí, vede k žalostnému stavu, že termokamery všech institucí leží celé zimy na policích, místo aby jimi byly už dávno nasnímané noční ulice všech obcí... Z automaticky uložených snímků by si každý mohl prostudovat tepelné vlastnosti domu, který užívá, a porovnat je s domy okolními. Žádného specialistu-termografa by k tomu nepotřeboval, ani žádný firemní software.

