

# POTLAČENÍ OBRAZOVÉHO ŠUMU VE VIDEOZÁZNAMU Z BEZPEČNOSTNÍCH KAMER

*K. Fliegel, J. Švihlík*

ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra radioelektroniky

## Abstrakt

V tomto příspěvku je popsána metoda pro potlačení obrazového šumu ve videozáznamu. Tato metoda využívá pokročilých algoritmů založených na vlnkové transformaci (Wavelet Transform – WT) zejména s ohledem na použití v bezpečnostních kamerových systémech. V reálném kamerovém systému se vyskytuje řada nežádoucích zkreslení obrazu, zejména pokud je videozáznam snímán za zhoršených světelných podmínek. Naším cílem bylo optimalizovat rekonstrukční algoritmy založené na WT, tak aby je bylo možno použít pro potlačení šumu v záznamu z bezpečnostní kamery při zachování vysoké účinnosti a přijatelných výpočetních nároků.

## 1 Úvod

V bezpečnostních a dohledových systémech je možno nalézt řadu zvláštních požadavků, které jsou kladeny na jejich vlastnosti. Obecně vnímaná subjektivní kvalita obrazu zde nepředstavuje důležité kritérium. Zásadní je při zpracování zachovat vybrané obrazové charakteristiky, které jsou nutné pro spolehlivou identifikaci či klasifikaci. Vhodná metoda pro potlačení šumu by měla splňovat určitá kritéria. Měla by být účinná a to jak ve smyslu přijatelné výpočetní náročnosti, tak i vysoké účinnosti potlačení šumu. Navíc musí systém zachovávat všechny důležité charakteristiky snímané scény.

Tento příspěvek se zabývá popisem pokročilé metody pro potlačení obrazového šumu v bezpečnostních kamerových systémech. Odšumovací metoda je založena na použití vlnkové transformace (WT). [2] Tyto metody mají výhodu v tom, že dobře zachovávají informace o důležitých hranách v obraze.

V běžných systémech pro snímání bezpečnostního videa se vyskytuje řada zdrojů zkreslení a to zejména pokud je záznam snímán za zhoršených světelných podmínek. Typickým příkladem vhodným pro použití popsané odšumovací metody je snímání běžnou spotřební videotechnikou (jednoduchá digitální videokamera). V případě, že byl záznam získán za zhoršených světelných podmínek stávají se objekty ve scéně prakticky nerozpoznatelné. Zde je možné aplikovat jednoduchou manipulaci s histogramem snímku za účelem zvýšení kontrastu. Se zvýšením kontrastu v jasovém kanálu však dochází i ke značnému zvýraznění šumu. Po této jednoduché úpravě je jas dostatečný, nicméně malý odstup signálu od šumu stále znemožňuje záznam použít pro bezpečnostní aplikace. [8]

Ve zpracování obrazu byla popsána řada metod pro potlačení šumu založených na WT. Většina metod je výpočetně značně náročná a nedosahuje potřebné účinnosti pro naše bezpečnostní aplikace. Naším cílem bylo optimalizovat algoritmy založené na WT, aby je bylo možno použít pro potlačení šumu a to nejen v rámci jednoho snímku, ale i v celé videosekvenci. Z toho vyplývá požadavek na aplikovatelnost algoritmu v reálném nebo téměř reálném čase.

Před aplikací vlastního odšumovacího algoritmu je videosekvence na výstupu snímací kamery podrobena předzpracování signálu. Účelem tohoto předzpracování je signál přizpůsobit do podoby vhodné pro vlastní odšumovací algoritmy. Videosekvence sestává z barevných snímků v RGB prostoru. Tento barevný prostor není pro velkou korelaci dat v barevných kanálech vhodný pro další zpracování. Předzpracování dat v podobě roztažení histogramu jasového kanálu je aplikováno až po převodu do vhodnějšího barevného prostoru YCbCr. Účelem této konverze je upravit distribuci v jasovém kanálu do vhodnější podoby. [8] Takto předzpracované snímky z videosekvence tvoří vstupní signál pro navrženou statistickou odšumovací metodu s Bayesovským estimátorem. [4]

## 2 Popis metody pro potlačení šumu ve videosekvenci založené na WT

Existují dvě možnosti jak dosáhnout nízké úrovně šumu ve videosignálu. Nezáleží na tom, jak pokročilý je použitý snímáči systém – vždy je v signálu přítomen šum. První možností, která vede ke snížení úrovně šumu je použití kvalitního snímáči systému. To lze díky vysoké ceně potřebných komponentů provést pouze pro významný bezpečnostní aplikace. Ve většině případů vysoké náklady na takový systém nutí hledat jinou cestu k dosažení dostatečné obrazové kvality. Tuto druhou možnost představují metody pro následné zpracování obrazu. Jedna z těchto metod je popsána v následujících odstavcích.

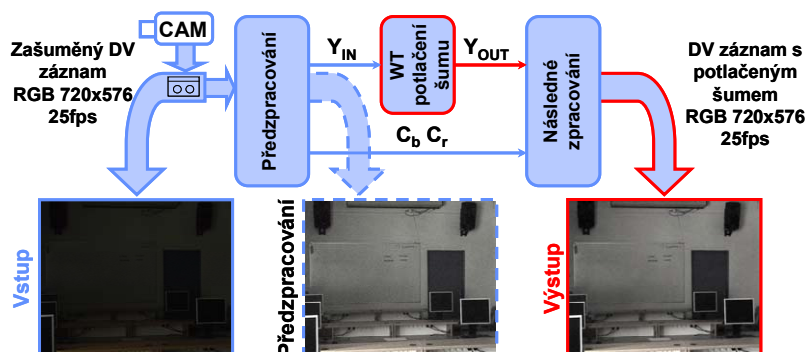
## 3 Popis problému

Dále je uvedena typická situace, kde je na vylepšení vlastností bezpečnostního videa vhodné použít jednu z metod zpracování obrazu. Často se stává, že náhodný očitý svědek natočí na videokameru z bezpečnostního hlediska důležitou scénu. Běžně použitým zařízením v takových případech bývá levná spotřební videokamera s poměrně neuspokojivými charakteristikami. Také světelné podmínky nebývají v takových případech nejlepší. Následná bezpečnostní analýza takového videozáznamu je většinou prakticky nemožná bez vhodného předzpracování.

Dnes je k dispozici celá řada metod pro potlačení šumu v obraze. V posledním desetiletí se staly populární zejména metody založené na vlnkové transformaci (WT). [1] Odšumovací metody založené na WT mají oproti jiným výhodu v tom, že dobře zachovávají hrany v obraze. Tato vlastnost je důležitá právě pro použití v bezpečnostních aplikacích.

Odšumovací metody obrazu založené na WT [6] zahrnují lineární a nelineární filtraci. Při nelineární filtraci se využívá prahování vlnkových koeficientů nebo statistického modelování. Metody založené na statistickém modelování jsou efektivní ale také výpočetně náročné.

Systém pro potlačení šumu ve videosekvenci byl implementován s využitím statisticky založené odšumovací metody s Bayesovským estimátorem a redundatní, nedecimovanou vlnkovou transformací UWT (Undecimated Wavelet Transform). [4], [7] Estimátor využívá statistického modelu hustoty pravděpodobnosti PDF (Probability Density Function) digitálních snímků. Tato hustota pravděpodobnosti je ve vlnové doméně modelována zobecněnou Laplaceovskou funkcí. [2] Parametry modelu jsou odhadnuty momentovou metodou, která je založená na porovnání empirických výběrových momentů a jejich teoretických hodnot. [5]



Obr. 1: Blokové schéma systému pro potlačení obrazového šumu ve videozáznamu z bezpečnostní kamery

## 4 Potlačení obrazového šumu ve videosekvenci z bezpečnostní kamery

Popisovaný systém je navržen pro potlačení šumu v běžných videosouborech ze spotřebních videokamer. Vstupní videosekvence je zaznamenána s frekvencí 25 snímků za sekundu a velikost každého snímku je 720x576 obrazových bodů.

Systém sestává ze tří hlavních bloků (Obr. 1). První je blok předzpracování obrazu. Tento blok odebrá jednotlivé snímky ze vstupní videosekvence a v prvním kroku provádí konverzi barevného prostoru. Většina metod pro potlačení šumu založených na WT je zaměřena na práci s šedotónovými snímky. Přímým rozšířením lze odšumovací metodu použít nezávisle na každém kanálu barevných

snímků RGB. Je ovšem zřejmé, že lepší účinnosti odšumovací metody lze dosáhnout pokud se potlačí korelace mezi jednotlivými barevnými složkami RGB. Nejjednodušší a zejména pro kompresi obrazu často používaný způsob potlačení korelace je převod do jiného barevného prostoru. V popisovaném systému je použita konverze z prostoru RGB do prostoru YCbCr. [8] Jas Y je dán váhovaným součtem barevných složek RGB a obsahuje tedy vysoké prostorové kmitočty. Rozdílové barevné složky Cb a Cr jsou dány rozdílem mezi jasem a určitou barevnou složkou B, R (Y-B a Y-R). Pomocí této transformace dochází k potlačení vyšších prostorových kmitočtů v barevných rozdílových kanálech Cb a Cr. Další operace s obrazovými daty v bloku předzpracování jsou prováděny pouze nad jasovou maticí Y, stejně tak i vlastní potlačení šumu.

Vstupní videosekvence se vyznačují velice úzkým histogramem jasového kanálu Y. [8] To znamená, že jednotlivé snímky jsou velice tmavé a mají malý dynamický rozsah. Snímky ze vstupního videa jsou jeden po druhém zpracovány pomocí jednoduché a rychlé metody založené na převodní charakteristice uložené v tabulce LUT (Look Up Table). LUT je zde použita s lineární střední částí a maximalizuje dosažitelný dynamický rozsah výstupních snímků (od 0 – černá do 1 – bílá). Za úroveň bílé a černé ve vstupních snímcích jsou považovány odpovídající úrovně 0,5% a 99,5% z kumulativního histogramu. Tímto způsobem se účinně potlačuje část šumu.

## 5 Implementace algoritmu pro potlačení šumu

Šedotónové snímky jsou tvořeny úrovní jasové složky Y, které je zpracována statistickou odšumovací metodou s Bayesovským estimátorem. Estimátor používá statistický model hustoty pravděpodobnosti originálních snímků ve vlnkové doméně založený na zobecněné Laplaceovské funkci. Pro redundantní dekompozici je použita nedecimovaná WT, která se označuje jako UWT (Undecimated Wavelet Transform). [7] Parametry modelu jsou určeny pomocí momentové metody.

Mallat [1] popsal, že subpásma diskrétního rozkladu pomocí WT nemají Gaussovské vlastnosti. Subpásma detailů jsou popsána histogramem, který se vyznačuje ostrým vrcholem a rychlým poklesem ke krajům. Mallat [1], Simoncelli [2] a jiní ukázali, že lze tyto hustoty pravděpodobnosti modelovat zobecněnou Laplaceovskou funkcí, definovanou jako

$$p_x(x) = \frac{e^{-\frac{|x|^p}{s}}}{Z(s, p)}, \quad (1)$$

kde parametr  $s$  určuje šířku PDF a parametr  $p$  pak její tvar. Funkce  $Z(s, p)$  slouží k normalizaci exponenciely na jednotkovou plochu. [2]

V naší implementaci jsou parametry modelu  $(s, p)$  odhadnuty pomocí momentové metody. Momentová metoda je založena na porovnání empirických výběrových momentů s jejich teoretickými hodnotami. [3] Momentové metoda tak patří mezi neúčinnější metody pro odhad parametrů.

Uvažujme výběr  $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$  z distribuce mající hustotu pravděpodobnosti PDF  $p(x, \boldsymbol{\theta})$ . Tato PDF  $p(x, \boldsymbol{\theta})$  závisí na parametrech  $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ . Z toho je zřejmé, že odhad parametrů  $\boldsymbol{\theta}$  pomocí momentové metody je možné získat porovnáním empirických výběrových momentů  $M_1, \dots, M_K$  s jejich teoretickými hodnotami  $m_1, \dots, m_K$ .

$$\begin{aligned} M_r &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^r \\ m_r &= \int_{-\infty}^{\infty} x^r p(x, \boldsymbol{\theta}) dx, \quad r = 1, \dots, K \\ M_r &= m_r(\hat{\boldsymbol{\theta}}) \end{aligned} \quad (2)$$

Budeme uvažovat, že jsou snímky zatíženy Gaussovským šumem s nulovou střední hodnotou  $n \sim N(0, \sigma^2)$ . Pro výpočet odhadu parametrů pomocí momentové metody je nejprve třeba určit teoretické momenty pro náhodnou veličinu  $Y = X + N$  ve vlnkové doméně (za předpokladu ortogonální transformace), kde  $Y = DWT[y]$  označuje zašuměné vlnkové koeficienty,  $X = DWT[x]$  značí vlnkové koeficienty bez šumu a  $N = DWT[n]$  značí Gaussovský šum ve vlnkové doméně.

Jestliže  $X$  s odpovídající hustotou  $p_X(x)$  a  $N$  s hustotou  $p_N(x)$  jsou nezávislé náhodné proměnné, pak výsledná hustota pravděpodobnosti jejich součtu je dána konvolucí

$$p_Y(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p_X(\tau) p_N(x - \tau) d\tau, \quad (3)$$

kde  $p_Y(x)$  značí hustotu pravděpodobnosti PDF veličiny  $Y$ .

Odhad parametrů  $\hat{s}$  a  $\hat{p}$  zobecněného Laplaceovského modelu  $p_X(x)$  lze určit z histogramu zašuměných vlnkových koeficientů. Rovnici pro odhad parametrů  $\hat{s}$  a  $\hat{p}$  lze odvodit ze vztahů (2) a (3). V naší implementaci byl pro výpočet odhadu vybrán druhý a čtvrtý moment. [4]

$$M_2 = \sigma_N^2 + \frac{\hat{s}^2 \Gamma\left(\frac{3}{\hat{p}}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)}, \quad M_4 = 3\sigma_N^4 + \frac{6\sigma_N^2 \hat{s}^2 \Gamma\left(\frac{3}{\hat{p}}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)} + \frac{\hat{s}^4 \Gamma\left(\frac{5}{\hat{p}}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)} \quad (4)$$

Výše uvedené rovnice lze vyřešit numericky. Pro výpočet byl s výhodou použit následující vztah [5]

$$\frac{\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)\Gamma\left(\frac{5}{\hat{p}}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{3}{\hat{p}}\right)} = \frac{M_4 + 3\sigma_N^2 - 6\sigma_N^2 M_2}{(M_2 - \sigma_N^2)^2}. \quad (5)$$

V první fázi je nejprve numericky vyřešena rovnice (5) a určen parametr  $\hat{p}$ . Tento výpočet je poměrně jednoduchý, protože levá strana rovnice  $\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)\Gamma\left(\frac{5}{\hat{p}}\right)/\Gamma^2\left(\frac{3}{\hat{p}}\right)$  je monotónně klesající funkce parametru  $\hat{p}$ .

Pro odhad rozptylu šumu  $\sigma_N^2$  byla navržena celá řada metod. Metody pracující ve vlnkové doméně nejčastěji pro odhad rozptylu využívají subpásma vlnkové dekompozice HH1 (diagonální detaily), protože toto subpásmo obsahuje především šum. V naší implementaci byla pro odhad rozptylu použita metoda MAD (median absolute deviation). Tato metoda náleží mezi robustní statistické metody odhadu a byla navržena Donohem. [6] Odhad rozptylu šumu  $\hat{\sigma}_N^2$  pomocí metody MAD lze při použití vlnkových koeficientů z pásma HH1 zapsat jako

$$\hat{\sigma}_N = \frac{\text{Median}\left(|Y_{i,j}|\right)}{0.6745} \quad Y_{i,j} \in HH1. \quad (6)$$

Parametr měřítka  $\hat{s}$  lze určit ze znalosti tvarového parametru  $\hat{p}$  po dosazení do vztahu

$$\hat{s} = \left( (M_2 - \sigma_N^2) \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\hat{p}}\right)}{\Gamma\left(\frac{3}{\hat{p}}\right)} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

V naší implementaci byl pro odhad nezkreslených vlnkových koeficientů  $\hat{X}$  použit Bayesovský estimátor založený na minimalizaci střední kvadratické chyby BLSE (Bayesian Least Square Error). Dále je uvažován aditivní šum. Je známo, že podmíněná střední hodnota posteriorní hustoty pravděpodobnosti poskytuje odhad veličiny  $X$  ve smyslu nejmenší kvadratické chyby. BLSE estimátor [4] lze popsat jako

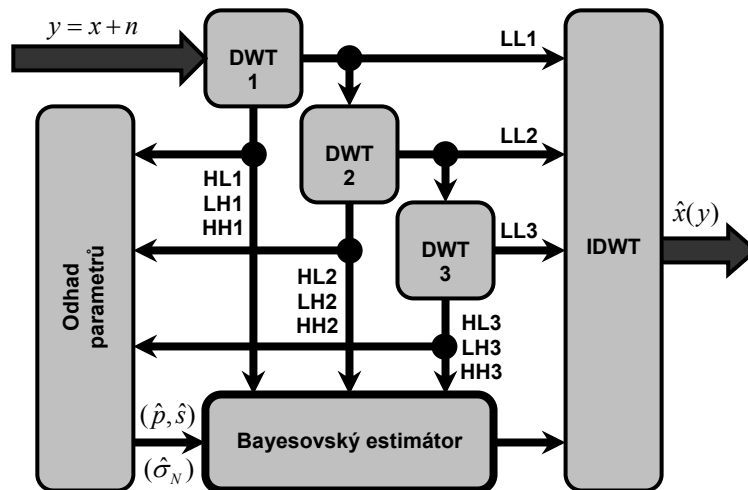
$$\hat{X}(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_{X|Y}(x|y) x dx = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} p_{Y|X}(y|x) p_X(x) x dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} p_{Y|X}(y|x) p_X(x) dx} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} p_N(y-x) p_X(x) x dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} p_N(y-x) p_X(x) dx} \quad (8)$$

kde  $p_{Y|X}(y|x)$  značí věrohodnostní funkci,  $p_X(x)$  představuje hustotu pravděpodobnosti PDF signálu (prior model) a  $p_N(x)$  je hustota pravděpodobnosti šumu (model šumu). Jmenovatel pravé strany rovnice (8) označuje PDF zašuměného pozorování určeného pomocí konvoluce PDF šumu a užitečného signálu.

Pro modelování šumu ve vlnkové doméně byla zvolena Gaussovská hustota pravděpodobnosti (9) (aditivní Gaussovský šum s nulovou střední hodnotou) a zobecněná Laplaceovská funkce (1) pro modelování signálu. [2]

$$p_N(x) = \frac{1}{\sigma_N \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_N^2}} \quad (9)$$

Pokud je užitečný signál a šum modelován pomocí Gaussovských hustot pravděpodobnosti, potom lze vypočítat odhad  $\hat{X}(Y)$  přímo. V této implementaci algoritmu je použit model se zobecněnou Laplaceovskou funkcí a odhad  $\hat{X}(Y)$  je určen numericky.



Obr. 2: Blokové schéma algoritmu na potlačení šumu ve vlnkové doméně

Implementace odšumovacího algoritmu je znázorněna na Obr. 2. Nejprve je provedena dekompozice signálu zašuměného snímku  $y$  do třetí úrovně dekompozice s použitím redundantní UWT (mateřská vlnka Daubechies o délce 6). Poté je proveden odhad parametrů  $(\hat{s}, \hat{p})$  zobecněné Laplaceovské funkce a rozptylu šumu  $\hat{\sigma}_N$ .

Odhad rozptylu šumu byl proveden podle rovnice (6). Parametry zobecněné Laplaceovy funkce byly odhadnuty pomocí momentové metody podle rovnic (5) a (7). Odhadnuté parametry jsou důležité pro následující zpracování pomocí BLSE estimátoru. Výstupní snímek  $\hat{x}(y)$  je zrekonstruován aplikací zpětné UWT. [7]

Barevné rozdílové signály Cb a Cr nejsou algoritmem na potlačení šumu nijak ovlivněny. Potlačení šumu se provádí pouze na jasovém signálu Y. Po aplikaci odšumovacího algoritmu je proveden zpětný převod do barevného prostoru RGB. Výstupní videosekvence je vytvořena složením jednotlivých výstupních snímků.

## 6 Experimentální výsledky

Pro potřeby testování účinnosti navrženého systému byla sejmuta testovací videosekvence. Videosekvence byla natočena pomocí dočasné bezpečnostní kamery instalované v multimediální laboratoři naší katedry. K záznamu byla použita běžná spotřební videokamera při různých světelných podmínkách, od extrémně nízké úrovně osvětlení až po úroveň uspokojivou (Obr. 3).

Sejmutý záznam byl sestříhán do testovací videosekvence s délkou 55s. Každých 5s dochází v testovací videosekvenci ke změně úrovně osvětlení. Z toho je zřejmé, že videosekvence obsahuje scénu s jedenácti úrovněmi odstupu signálu od šumu.

Časové změny jasu Y lze popsat pomocí statistických charakteristik. [3] Tyto statistiky jsou určeny z histogramu jasového kanálu. Vypočtené charakteristiky (první a devátý decil (1d, 9d), medián (Md) a střední hodnota (Mn)) jsou znázorněna na Obr. 4.



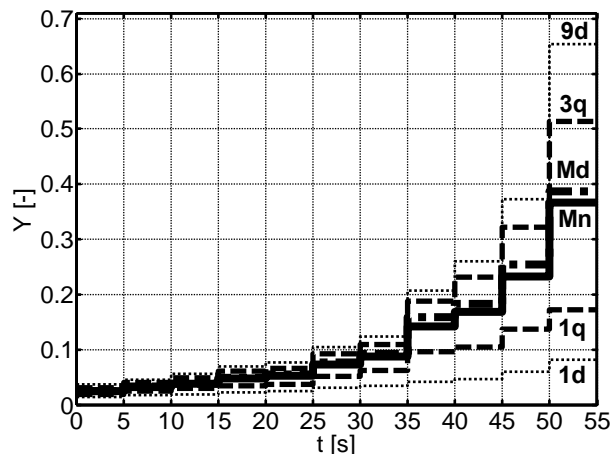
a)



b)

Obr. 3: Snímek z testovací videosekvence,  
a) extrémně nízká úroveň osvětlení,  
b) téměř ideální světelné podmínky.

Teoretické maximum jasové úrovně  $Y$  bylo normalizováno k jedné. Z toho je zřejmé, že střední hodnota jasu je přibližně 2,5% resp. 36% plného dynamického rozsahu pro nejnižší resp. nejvyšší úroveň osvětlení (nejtmavší resp. nejsvětlejší scéna). Hodnoty popisných statistik na Obr. 4 byly určeny z histogramu jasových úrovní  $Y$  pro každý snímek ve videosekvenci. Potom byla z těchto hodnot vypočtena střední hodnota popisných statistik pro každý 5s (125 snímků) úsek s konstantními světelnými podmínkami.

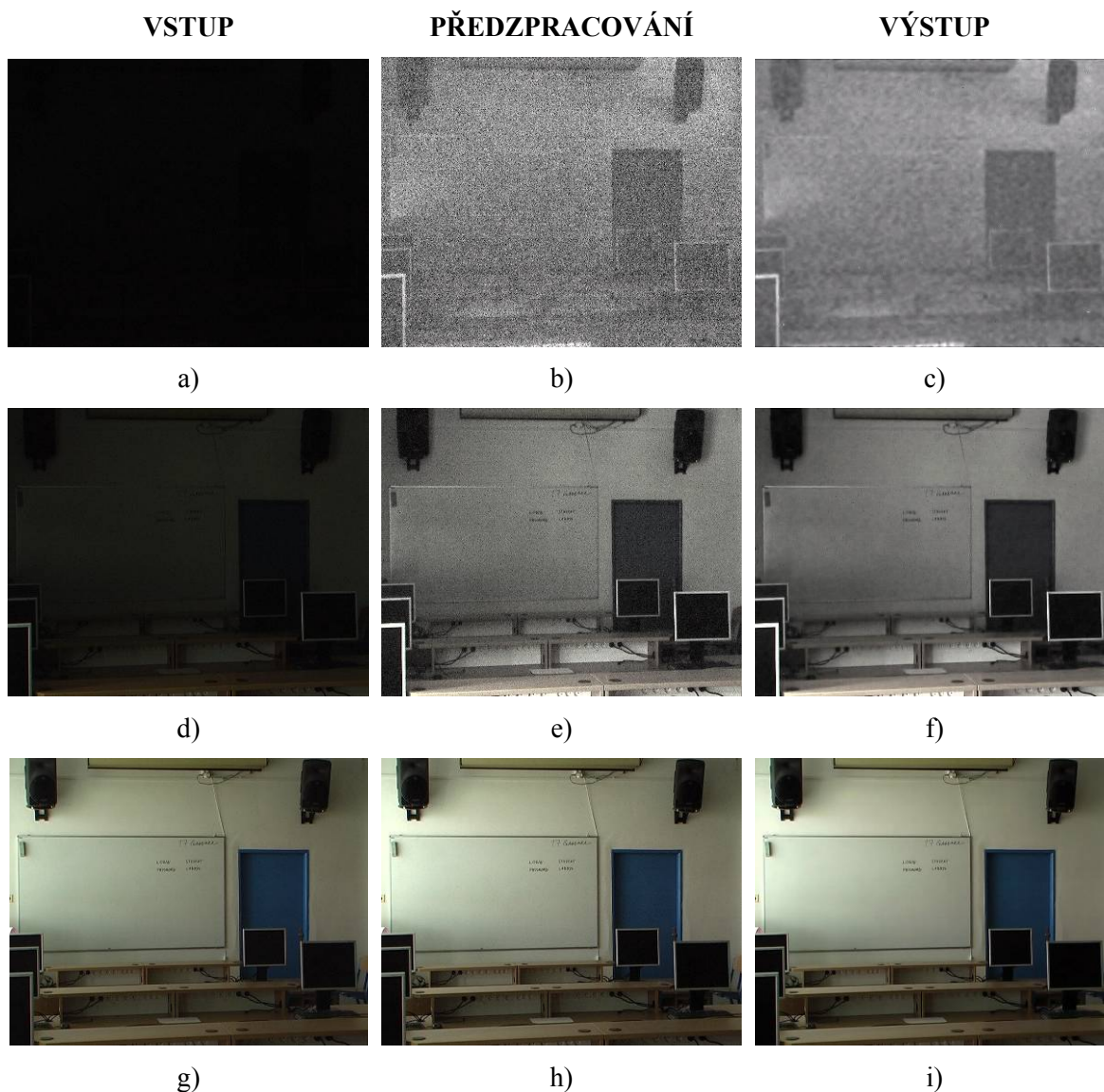


Obr. 4: Popisné statistiky jasové úrovně  $Y$  v závislosti na času v testovací videosekvenci

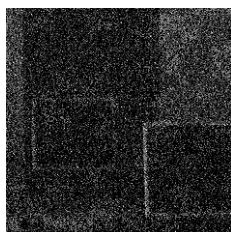
System byl implementován v programovém prostředí Matlab. Subjektivní porovnání videosekvencí bylo provedeno skupinou pozorovatelů. Pro nejnižší úroveň osvětlení (malý odstup užitečného signálu od šumu) systém umožnil alespoň rozpoznat pohybující se objekty ve scéně, ovšem prakticky bez informace o barvě. Systém umožní rekonstruovat video včetně barev pokud jsou ve scéně dobré světelné podmínky.

Z testovací sekvence byly extrahovány tři snímky za účelem demonstrace účinnosti systému. První snímek byl odebrán v části 0 - 5s, druhý snímek z rozsahu 30 - 35s a poslední snímek pochází z části 50 - 55s (Obr. 4).

Na Obr. 5a je znázorněn první z testovacích snímků (0 - 5s) pro extrémně nízkou úroveň osvětlení. Na Obr. 7a lze posoudit histogram tohoto snímku. Snímek po předzpracování a jeho histogram jsou znázorněny na Obr. 5b a Obr. 7b. Z tvaru histogramu je zřejmé, že malý dynamický rozsah způsobuje posterizaci v úrovních jasu. Vysokou úroveň šumu v obraze je možno posoudit v Obr. 6.

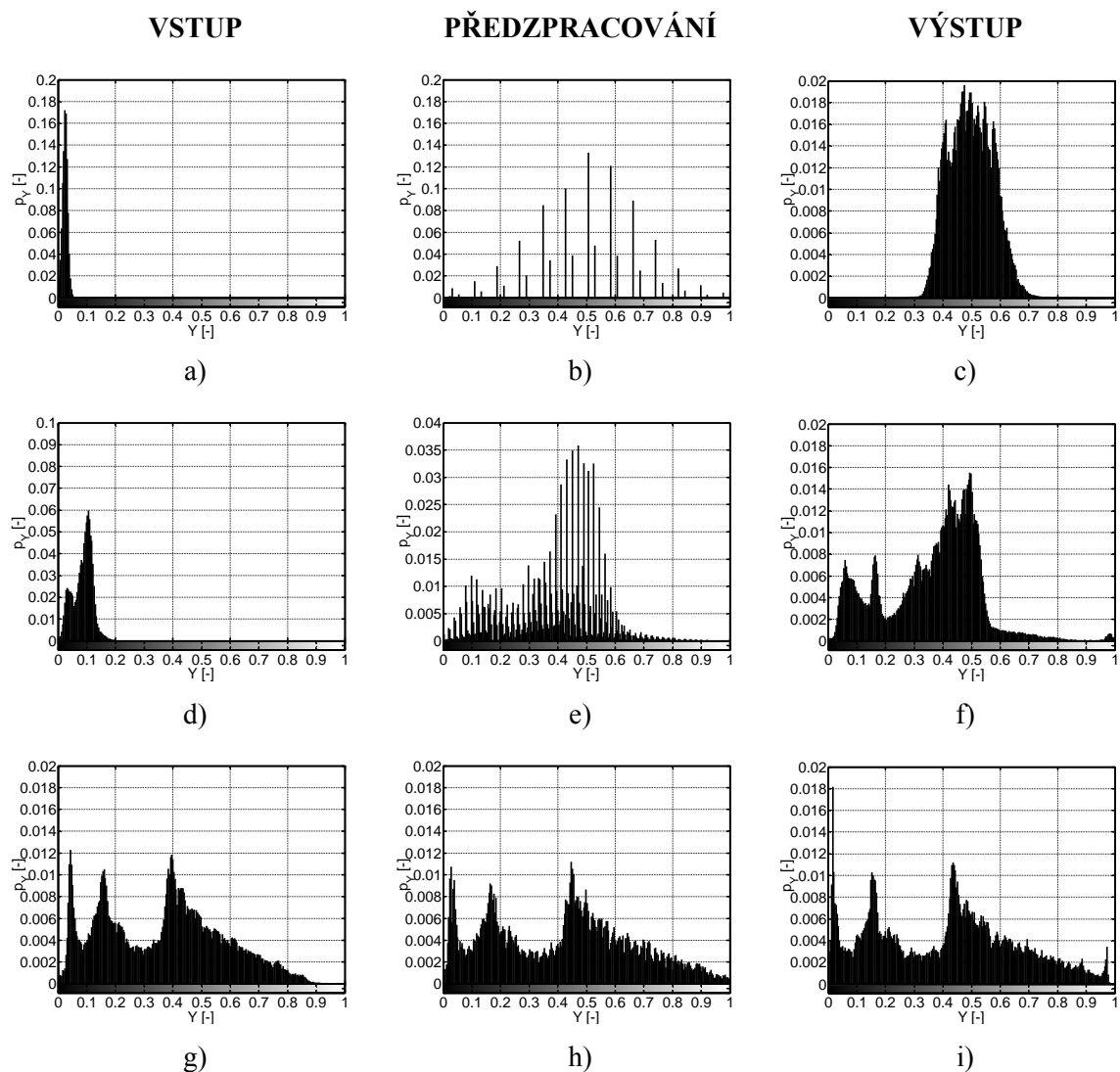


Obr. 5: Testovací snímky z experimentální videosekvence (Vstup, Předzpracování a Výstup), a, b, c) extrémně nízká úroveň osvětlení, d, e, f) nízká úroveň osvětlení, g, h, i) vyhovující úroveň osvětlení.



Obr. 6: Detail snímku z Obr. 5a (extrémně vysoká úroveň šumu)

Snímek získaný z výstupní videosekvence je znázorněn na Obr. 6c. Histogram (Obr. 7c) tohoto snímku je kompaktnější, přičemž posterizace a šum jsou účinně potlačeny. Rovněž subjektivní posouzení snímku ukazuje, že šum, který byl ve vstupní videosekvenci velice rušivý je po zpracování méně patrný.



Obr. 7: Histogramy testovacích snímků z experimentální videosekvence (Vstup, Předzpracování a Výstup),  
 a, b, c) extrémně nízká úroveň osvětlení,  
 d, e, f) nízká úroveň osvětlení,  
 g, h, i) vyhovující úroveň osvětlení.

Další dva vybrané testovací snímky byly sejmuty ze střední (30 - 35s) a závěrečné části (50 - 55s) videosekvence (Obr. 4). Střední úroveň jasu  $Y$  je asi 9% pro druhý (Obr. 5d) a 37% pro třetí snímek (Obr. 5g).

Střední úroveň jasu je přibližně třikrát větší pro druhý snímek (Obr. 5d) než pro snímek nejtmavší (Obr. 5a). Předzpracováním (Obr. 5e) se scéna prosvětlí ovšem na úkor zvýšení úrovně šumu. Pozorovatelé jsou po potlačení šumu schopni úspěšně rozpoznat i malé objekty ve scéně (Obr. 5f).

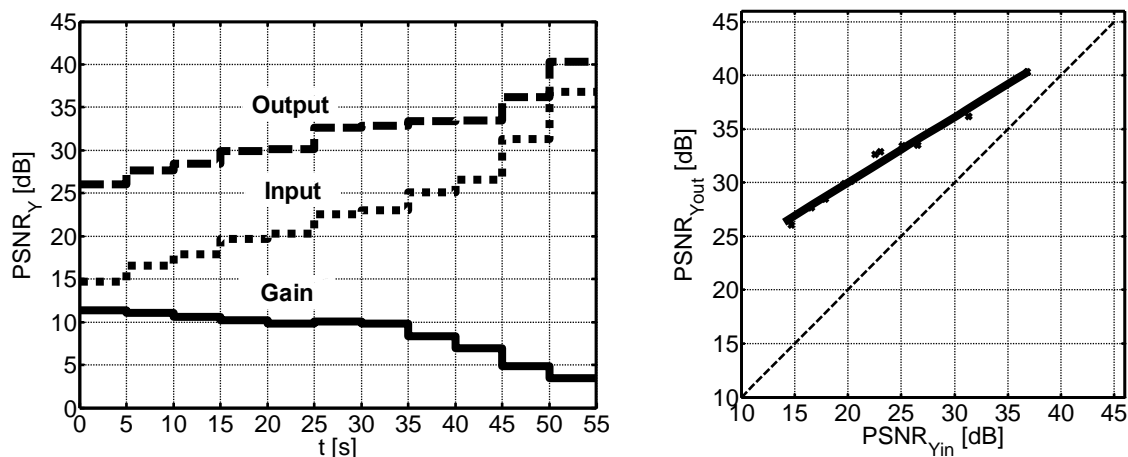
Poslední snímek byl vybrán za účelem demonstrace účinnosti systému v poměrně jasné části videosekvence (50 - 55s), kde je střední hodnota jasu přibližně 37%.

Nejjasnější část testovací sekvence ukazuje účinnost systému pro stále nízkou úroveň osvětlení (střední úroveň jasu 37%), které je však dostatečné pro dosažení jasných barev. Při porovnání histogramů na Obr. 7g a Obr. 7i můžeme pozorovat jen malé rozdíly. Pozorovatelé mohli posoudit jemnější vzhled detailů výstupního snímku Obr. 5i při zachování důležitých podrobností a hran ve scéně.



V našem experimentu bylo použito celkem jedenáct úrovní osvětlení (Obr. 4). Jako měřítko pro objektivní zhodnocení účinnosti jsme zvolili odstup špičkového signálu od šumu  $PSNR_Y$  (peak signal-to-noise-ratio) v jasovém kanálu. Potřebné hodnoty střední kvadratické chyby MSE (Mean Square Error) byly vypočteny jako průměr ze 125  $MSE_n$  hodnot.

Vlastní hodnoty  $MSE_n$  byly vypočteny pro každý snímek v 5s úsecích (125 snímků) ve vztahu k průměrnému vstupnímu snímku. Hodnota jasu pro každý obrazový bod v průměrném snímku byla určena jako střední hodnota odpovídajících obrazových bodů ze 125 snímků bez pohybu ve scéně. Tento průměrný snímek byl považován za snímek bez zkreslení.



Obr. 8: Účinnost algoritmu na potlačení šumu.  $PSNR_Y$  pro vstupní a výstupní videosekvenci. Zisk algoritmu na potlačení šumu vzhledem ke zlepšení úrovně  $PSNR_Y$ .

$PSNR_Y$  vstupní videosekvence se pohybuje v rozsahu 15dB až 36dB pro nejhůrší a nejlepší testované světelné podmínky. Odpovídající hodnoty  $PSNR_Y$  ve výstupní videosekvenci jsou 26dB a 40dB. Zlepšení  $PSNR_Y$  je 11dB v nejtmaší a asi 4dB v nejsvětleší části videosekvence. Ve všech testovaných případech došlo ke zlepšení  $PSNR_Y$  ve výstupní videosekvenci vzhledem k videosekvenci vstupní.

## 7 Závěr

V tomto příspěvku jsme popsali systém pro potlačení šumu záznamu z bezpečnostních kamer. Systém byl navržen pro zpracování videosekvencí zaznamenaných ve velkém rozsahu světelných podmínek snímané scény a odpovídající velký rozsah odstupů signálu od šumu.

Experimentální výsledky ukazují, že navržený systém dosahuje vysoké účinnosti s ohledem na zlepšení PSNR a také na hodnocení pozorovateli. Další úsilí v této oblasti bychom chtěli věnovat návrhu pokročilejších metod pro potlačení šumu ve videu založených na vlnkové transformaci s optimalizovaným Bayesovským estimátorem. Odhad parametrů bude proveden pomocí minimalizace Jeffreyho divergence, která představuje robustnější nástroj než základní momentová metoda popsaná v tomto příspěvku.

## Poděkování

Tato práce byla podporována grantem č. 102/05/2054 Grantové Agentury ČR „Kvalitativní aspekty zpracování audiovizuální informace v multimediálních systémech“.

## Literatura

- [1] S. G. Mallat. *A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation*. [Online], Ecole Polytechnique, Centre de Mathématiques Appliquées, [2005-12-8]. [www:<http://www.cmappolytechnique.fr/~mallat/papiers/MallatTheory89.pdf>](http://www.cmappolytechnique.fr/~mallat/papiers/MallatTheory89.pdf)
- [2] E. P. Simoncelli. Bayesian Denoising of Visual Images in the Wavelet Domain. In *Bayesian Inference in Wavelet Based Models*, eds. P. Müller and B. Vidakovic. Springer-Verlag, Lecture Notes in Statistics 141, 1999.
- [3] A. Papoulis, U. S. Pillai. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*. McGraw-Hill, 2002. ISBN 0071199810.
- [4] E. P. Simoncelli, E. H. Adelson. Noise Removal via Bayesian Wavelet Coring. In *Third International Conference on Image Processing*, Vol. 1, pages 379-382, Lausanne, September 1996. IEEE Signal Proc. Society.
- [5] ŠVIHLÍK, J. Noise Removal Based on MAP Estimator in the Wavelet Domain. In *Technical Computing Prague 2006 - Sborník příspěvků 14. ročníku konference*. Prague: HUMUSOFT, 2006, vol. 1, s. 95. ISBN 80-7080-616-8.
- [6] A. Pizurica. *Image Denoising Using Wavelets and Spatial Context Modeling*. PhD. Thesis, Supervised by prof. W. Philips and prof. M. Achery, Gent University, 2002.
- [7] D. L. Donoho, L. M. Johnstone. Ideal Spatial Adaption via Wavelet Shrinkage. In *Biometrika*, Vol.81, pp 425-455, September 1994.
- [8] J. L. Starck, J. Fadili, F. Murtagh. The Undecimated Wavelet Decomposition and its Reconstruction. In *IEEE Transaction on Image Processing*. Vol. 16, No. 2, 2007.
- [9] A. Bovik. *Handbook of Image and Video Processing, Elsevier Academic Press*. New York, 2005.

---

Karel Fliegel

Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT Praha, Technická 2, 166 27, Praha 6  
tel. +420 224 352 108, e-mail: xrund@feld.cvut.cz

Jan Švihlík

Katedra radioelektroniky, FEL ČVUT Praha, Technická 2, 166 27, Praha 6  
tel. +420 224 352 113, e-mail: svihlj1@fel.cvut.cz