

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2009-89**
(22) Přihlášeno: **16.02.2009**
(40) Zveřejněno: **25.08.2010**
(Věstník č. 34/2010)
(47) Uděleno: **30.10.2013**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **11.12.2013**
(Věstník č. 50/2013)

(11) Číslo dokumentu:

304 181

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G06T 5/20 (2006.01)
H04N 5/213 (2006.01)
H04N 1/409 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

EP 0794512 B; EP 0710001 B; EP 0698990 B; EP 1289142 A; US 6535860 B.

XP011139131 Chan R H; Ho C W; Nikolova M: Salt-and-Pepper Noise Removal by Median-Type Noise Detectors and Detail-Preserving Regularization. IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, Vol 14, Nr 10, pg 1479-1485, ISSN 1057-7149, 01.10.2005.

(73) Majitel patentu:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních
technologií, Brno, Královo Pole, CZ

(72) Původce:

Sekanina Lukáš Doc. Ing. Ph.D., Brno, CZ
Vašíček Zdeněk Ing., Cetkovice, CZ

(74) Zástupce:

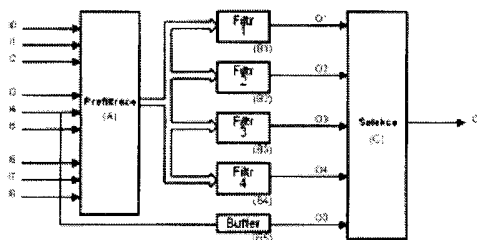
Ing. Václav Kratochvíl, patentový zástupce, Táborská
758/33, Mladá Boleslav, 29301

(54) Název vynálezu:

Nelineární obrazový filtr

(57) Anotace:

Řešení se týká nelineárního obrazového filtru pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř, který se skládá z obvodu (A) prefiltrace, za který jsou připojeny čtyři paralelně pracující nelineární filtry (B1, B2, B3, B4), jejichž výstup společně s výstupem buferu (B5) je připojen na selector (C) pro výběr jednoho ze svých vstupů na primární výstup celého filtru. Jednotlivé filtry (B1, B2, B3, B4) vykazují navzájem odlišnou funkci.



CZ 304181 B6

Nelineární obrazový filtr

Oblast techniky

5

Technické řešení se týká nelineárního obrazového filtru pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř.

Dosavadní stav techniky

10

Při přenosu signálu, poškozenými sensory v kamerách, poškozenými prvky v pamětech apod. mohou vznikat výpadky, šum označovaný jako „sůl–a–pepř“.

15

Nejčastěji prováděnou operací v oblasti zpracování signálů je filtrace. Cílem filtrace je vylepšit požadovanou vlastnost vstupního obrazu. Obr. 1 ukazuje obecný princip filtru, který využívá filtrační okno o velikosti 3x3 obrazové body (pixely). Každá hodnota obrazového bodu na pozici [x,y] výstupního obrazu je vypočtena pomocí obrazového bodu na pozici [x,y] vstupního obrazu a jeho osmi sousedů. Stejný filtr je tedy postupně aplikován na všechny body obrazu. Důležité je, že filtr k výpočtu používá pouze lokální informaci tj. 9 obrazových bodů. Tento koncept je výhodný pro obvodovou realizaci filtrů, kdy je vstupní obraz postupně, tedy sekvenčně čten z paměti, popřípadě přímo z kamery, je filtrován a dále zpracováván. Obvodová realizace má za úkol zajistit urychlení filtrace v porovnání s filtrací prováděnou vhodně vytvořeným programem běžícím na procesoru. Nutnost použití globální informace tj. velkého množství obrazových bodů pro výpočet nové hodnoty jednoho obrazového bodu by výrazně zpomalila celý proces filtrace realizovaný přímo na čipu.

20

25

Pro různé typy šumů byly navrženy různé typy filtrů, které dělíme na lineární a nelineární. Pro potlačení impulzního šumu se používají nelineární filtry. Lineární filtry vůbec nejsou schopny odstranit tento typ šumu. Hlavní nevýhodou lineárních filtrů je sklon k rozmazávání ostrých přechodů, které jsou v obraze ve většině případů žádoucí, neboť určují detaily. Navržené řešení spadá do kategorie nelineárních obrazových filtrů pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř.

30

35

Základní variantou nelineárního filtru, který je použitelný pro potlačení impulzního šumu, je mediánový filtr. Mediánový filtr pracuje tak, že vypočte medián z obrazových bodů, které tvoří filtrovací okno, a hodnota tohoto mediánu přímo představuje novou hodnotu obrazového pixelu na výstupním obrazu. Mediánový filtr je však použitelný pouze pro nízkou intenzitu šumu. Mediánový filtr se v praxi používá nejčastěji, protože jeho implementace zabírá na čipu přiměřené množství logiky viz Tabulka 1. Vylepšením mediánového filtru vzniká adaptivní mediánový filtr, který je schopen potlačit impulzní šum vysoké intenzity. Jeho nevýhodou je vysoká cena při implementaci na čipu viz Tabulka 1. Kvalitu filtrace jak u mediánového filtru, tak i u adaptivního mediánového filtru nejvíce ovlivňuje velikost filtrovacího okna. Tyto filtry se používají s filtračními okny 3x3, 5x5, 7x7 nebo 9x9 pixelů. Větší okno většinou znamená vyšší dosažitelnou kvalitu filtrace.

40

45

Při obvodové realizaci však zvětšování filtračního okna způsobuje mnoho problémů. Větší filtrační okno znamená, že je filtr složitější, zabírá více místa na čipu a má větší zpoždění. Hlavní problémem je ale skutečnost, že většina v dnešní době dostupných zařízení produkujících video signál generuje obrazová data sériově, postupně bod po bodu, řádek po řádku. Filtry tento přístup musí respektovat a data na jedné straně konzumovat a na straně druhé opět generovat. Do filtru sice vstupují postupně jednotlivé obrazové body, ovšem filtrace se provádí nad hodnotami filtračního okna, které se postupně posouvá po obraze. Posouvající se filtrační jádro je možné realizovat s využitím FIFO paměti propojených do kaskády, viz obr. 11, kde M je šířka obrázku, v praxi např. 640 pixelů. Počet FIFO paměti odpovídá počtu řádků filtrovacího okna. Každá paměť FIFO musí mít dostatečné množství položek, aby byla schopna pojmout celý řádek obrazu. Kromě

50

55

paměti je zapotřebí automat, který se stará o jejich správné plnění. Čím je filtrační okno větší, tím je potřeba větší paměť FIFO a tím více místa na čipu spotřebuje.

5 Dále existují i velmi sofistikované filtry, například Chanův filtr, které dosahují kvality filtrace lepší než adaptivní mediánové filtry, ale které je obvodově velmi nevýhodné implementovat a tedy akcelarovat, protože nepoužívají koncept lokálního filtračního okna. Pro výpočet každé hodnoty výstupního obrazu potřebují globální informaci, kterou není možné při rychlém sekvenčním zpracování pixelů poskytnout. Jinými slovy, tyto filtry jsou vhodné pouze jako softwarové a tedy relativně pomalé řešení.

10 Ve spisu EP 0 710 001 B je popsáno potlačení šumu typu sůl a pepř v obraze pomocí obvodové implementace. Využívá, jako drtivá většina ostatních řešení, filtrovací okno 3x3 pixely. Podstatou řešení tohoto dokumentu je, že využívá velmi jednoduchý mediánový filtr F s pouze 3 vstupy a fuzzy obvod pracující na základě principů fuzzy logiky – jde o sadu komparátorů a tabulku realizovanou pamětí, který počítá, do jaké míry, vyjádřeno číslem z intervalu 0 až 1, přispívá filtr F k úpravě hodnoty filtrovaného pixelu. Dá se předpokládat, že toto řešení bude uspokojivě pracovat jen pro nižší intenzitu šumu. Bude ale zřejmě lepší než klasický filtr typu medián.

20 Ve spisu EP 0 794 512 B je popsán filtr, který je vylepšením filtru popsaném v dokumentu D2. Hlavní změny spočívají v tom, že na pozici filtru F z předchozího dokumentu může být libovolný lineární/nelineární filtr, který pracuje s celým filtračním oknem 3x3 pixely. Dokument popisuje dvě různé možnosti pro realizaci fuzzy obvodu – nepoužívá se zde paměť. V tomto dokumentu je výslovně uvedeno, že tato metoda nepracuje správně, pokud jsou poškozeny i jiné pixely filtrovacího okna než je právě zpracováván, tj. středový pixel. Zdá se, že toto tvrzení platí i pro filtr z předchozího dokumentu.

Podstata vynálezu

30 Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny nelineárním obrazovým filtrem pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř, podle tohoto technického řešení. Jeho podstatou je to, že se skládá z obvodu A prefiltrace pro detekci bodů poškozených impulzem s hodnotou 255 a jejich invertování na hodnotu 0, ke kterému jsou paralelně připojeny čtyři nelineární filtry B1 až B4 propojené se selektorem C, ke kterému je připojen primární výstup filtru, přičemž mezi vstupy obvodu A prefiltrace a selektorem C je umístěn buffer B5.

40 Obvod A prefiltrace se s výhodou skládá z osmibitového komparátoru a osmibitového multiplexoru. Jednotlivé filtry jsou ve výhodném provedení synchronní, mají stejný počet stupňů a jsou určeny pro odfiltrování určité úrovně šumu. Selektor C sestává s výhodou z pětivstupové řadičské sítě pro seřazení vstupní hodnoty do stoupající posloupnosti tak, že na výstupu S0 je nejmenší hodnota a na výstupu S4 největší hodnota řazené posloupnosti.

45 Jedná se tedy o nelineární filtr vhodný pro aplikace pracující s obrazem kódovaným pomocí 256ti odstínů šedi, popřípadě pro barevný obraz, který má každou složku kódovanou na 8 bitech, ve kterých je kladen důraz na vysokou kvalitu filtrace, rychlost zpracování, nízkou cenu obvodu a nízký příkon obvodu. Navržený filtr vykazuje v porovnání s doposud známými řešeními nejlepší kvalitu filtrace vzhledem k ploše nutné pro jeho realizaci na čipu. Vstupem filtru je devítice obrazových bodů tj. bod na souřadnici [x,y] a jeho osm okolních bodů a výstupem je hodnota bodu na souřadnici [x,y], která je vypočtena navrženým obvodem. Hlavní inovace spočívá ve vytvořené obvodové architektuře filtru.

55 Nelineární obrazový filtr podle tohoto řešení má efektivnější plnění funkce, tj. stejnou nebo srovnatelnou kvalitu a intenzitu funkce (filtrovat) jako u adaptivního mediánového filtru při nižších vynaložených zdrojích (materiály, energie, menší prostor, čas, práce, cena).

Jinak řečeno totéž, posuzovaná inovace/invence navrhuje efektivnější plnění funkce (filtrovat), výrazně vyšší intenzitu a kvalitu funkce (filtrovat), jako u mediánového filtru při mírně vyšších vynaložených zdrojích.

- 5 Proto má posuzovaný předmět v obou srovnáních vyšší hodnotu (hodnota = funkce / (náklady + problémy).

Přehled obrázků na výkresech

- 10 Nelineární obrazový filtr pro potlačení impulzního šumu podle tohoto technického řešení bude podrobněji popsán na konkrétních příkladech provedení s pomocí přiložených výkresů, kde na obr. 1 je znázorněn stávající koncept filtrace obrazu s filtračním oknem 3x3 body. Na obr. 2 je znázorněna architektura navrženého filtru. Na obr. 3 je znázorněna architektura bloku prefiltrace.
15 Na obr. 4 je znázorněna struktura filtru B1. Na obr. 5 je znázorněna struktura filtru B2. Na obr. 6 je znázorněna struktura filtru B3. Na obr. 7 je znázorněna struktura filtru B4. Na obr. 8 je znázorněna architektura bloku selekce. Na obr. 9 je znázorněna řadičí síť. Na obr. 10 je znázorněn mediánový selektor. Na obr. 11 je znázorněn princip čtení pixelů z paměti. Na obr. 12 je znázorněna závislost kvality filtrace na intenzitě šumu pro různé přístupy. Na obr. 13 jsou příklady poškozených a vyfiltrovaných obrazů.
20

Příklady provedení vynálezu

- 25 Příkladný nelineární obrazový filtr pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř, se skládá z obvodu A, prefiltrace pro detekci bodů poškozených impulzem s hodnotou 255 a jejich invertování na hodnotu 0, ke kterému jsou paralelně připojeny čtyři nelineární filtry B1 až B4 propojené se selektorem C, ke kterému je připojen primární výstup filtru, přičemž mezi vstupem obvodu A prefiltrace a selektorem C je umístěn buffer B5. Obvod A prefiltrace se skládá z osmibitového komparátoru a osmibitového multiplexoru. Jednotlivé filtry jsou synchronní, mají stejný počet stupňů a jsou určeny pro odfiltrování určité úrovně šumu. Selektor C sestává z pětistupňové řadičí sítě pro seřazení vstupní hodnoty do stoupající posloupnosti tak, že na výstupu S0 je nejmenší hodnota a na výstupu S4 největší hodnota řazené posloupnosti.
30

- 35 Devítice obrazových bodů I0 až I8 získaná z filtrovaného obrazu na souřadnici [x,y] vstupuje do obvodu A prefiltrace, jehož úkolem je detekovat body poškozené impulzem s hodnotou 255 a tyto invertovat na hodnotu 0. Tímto způsobem modifikovaných devět bodů paralelně vstupuje do čtyř nelineárních filtrů B1 až B4. Jednotlivé filtry B1 až B4 jsou navrženy tak, aby byly schopny odfiltrovat určitou úroveň šumu a pro různé zašumění vstupní matice dávaly odlišný výsledek, je-li to možné. Výstupem každého filtru B1 až B4 je jedna hodnota, která je odvozena z devítice IF0 až IF8. Hodnota bodu na souřadnici [x,y] (tj. 00) společně s hodnotami O1 až O4 vypočtenými pomocí sady filtrů vstupuje do selektoru C, který na základě určitého principu vybere z této pětičty nejvhodnější hodnotu a předá ji na primární výstup filtru. Tato hodnota je výstupem celého filtru. Úkolem bufferu B5 je vyrovnat zpoždění jednotlivým filtrům tak, aby se hodnota I4 propagovala na vstup bloku selekce ve stejný okamžik jako hodnoty O1 až O4.
40
45

Architektura je navržena s ohledem na maximální možnou propustnost systému a lze ji provozovat v tzv. řetězeném provozu, kdy dostává každý hodinový takt jednu hodnotu pro jedno filtrovací okno.

- 50 Úkolem obvodu A prefiltrace je detekovat body s hodnotou 255 a jejich hodnotu invertovat na 0. Blokové schéma je uvedeno na obr. 3. Hodnota každého bodu filtrovacího okna je zpracována nezávisle pomocí jednoduché logiky, která porovná vstupující hodnotu s hodnotou 255 (0xFF) a v případě shody propustí na výstup hodnotu 0. V ostatních případech je výstupní hodnota rovna

vstupní hodnotě. Smyslem tohoto bloku je nahradit dvě chybové hodnoty jedinou, která bude dále filtrována, a umožnit tím zjednodušení dalšího zpracování.

5 Hardwarová realizace spočívá v implementaci osmibitového komparátoru a osmibitového multiplexoru, pomocí kterého je řízena hodnota na výstupu IFn.

Vstupem filtrů B1 až B4 obr. 4 až 7 je devítice IF0 až IF8, kde vstupní hodnota 0 je považována za poškozený pixel. Filtry B1 až B4 byly navrženy s využitím optimalizačního algoritmu. Filtry jsou synchronní a mají stejné zpoždění tj. stejný počet stupňů, což je důležité pro řetězený provoz. Jeden řádek výpočetních elementů filtru pracuje jako jeden stupeň řetězové linky. S každým taktém hodinového signálu se posouvají vypočítané hodnoty jednoho řádku elementů do dalšího řádku elementů. Kde + je součet dvou hodnot, +’ je součet se saturací je-li hodnota a+b větší než 255, je výsledek 255, >> 1 je bitový posun doprava (celočíslné dělení dvěma), SWP je prohození, horní čtyři bity výsledku odpovídají spodním čtyřem bitům hodnoty vstupu a, spodní čtyři bity horním čtyřem bitům hodnoty b. Komponenta bez popisu představuje registr nutný pro synchronizaci.

Nejdůležitějším blokem z hlediska vlivu na výslednou kvalitu získaného obrazu je blok selekce. Tento blok sestává z pětivstupové řadičích sítě a selektoru pracujícího podle předpisu popsáno dále, který vybere na výstup jednu ze svých pěti vstupních hodnot.

Hardwarová realizace řadičích sítě je uvedena na obr. 9. Mediánový selektor je uveden na obr. 10.

25 Řadičích sít’ je obvod, který seřadí vstupní hodnoty do neklesající posloupnosti tak, že na výstupu S0 je nejmenší hodnota a na výstupu S4 největší hodnota řazené posloupnosti. Řadičích sít’ je sestavena běžně známým způsobem. Blok D kopíruje vstupní hodnotu na výstup. Blok E zamění vstupní hodnoty tak, aby na prvním výstupu byla vždy menší ze dvou vstupních hodnot. V případě, že vstupní hodnoty jsou stejné, oba výstupy dávají též stejnou hodnotu.

30 Mediánový selektor je obvod, jenž má za úkol zvolit na výstup takovou hodnotu, která bude nejlépe aproximovat poškozený pixel. Obvod generuje výstupní hodnoty podle následujícího předpisu.

$$O = \begin{cases} S_4 & \text{pokud } S_3 = 0 \\ S_3 & \text{pokud } S_2 = 0 \\ S_3 & \text{pokud } S_1 = 0 \\ S_2 & \text{pokud } S_0 = 0 \\ S_2 & \text{jinak} \end{cases}$$

35

Hardwarová realizace spočívá v zavedení sady komparátorů na nulovou hodnotu, multiplexoru, který přepíná na výstup jednu ze vstupních hodnot a jednoduché kombinační logiky (f), která na základě stavu jednotlivých komparátorů generuje řídicí signál pro multiplexor.

40 Navržený filtr je nelineární a používá malé filtrační okno o velikosti 3x3 pixely. Je založen na použití třístupňové architektury: předzpracování – paralelní filtrace pomocí banky filtrů – výběr výsledku. Hlavní inovace spočívá v konstrukci banky filtrů a výběru výsledků. V bance paralelně pracují čtyři různé filtry navržené každý zvlášť pro odstranění impulzního šumu. Každý z filtrů, pokud by byl použit samostatně, dosahuje přibližně kvality mediánového filtru s filtračním oknem 3x3. Implementační cena jednoho filtru je v porovnání s mediánovým filtrem v průběhu
45 o 25 % nižší. Jsou-li však filtry banky spojeny vhodným výběrovým obvodem, je získán výstup srovnatelný s obvodově mnohem složitějším adaptivním mediánovým filtrem. Jedná se tedy

o obvod, který by mohl nahradit existující implementace filtrů v čípech. Za relativně malý nárůst plochy na čipu je možné získat podstatně kvalitnější filtraci.

5 Ověření schopnosti potlačit impulzní šum typu „sůl–a–pepř“ různé intenzity bylo provedeno následovně: Byla vytvořena množina 25 různých testovacích obrazů, přičemž každý z obrazů existuje v 15 verzích, které se liší intenzitou aplikovaného šumu (5 až 75%). Navržený filtr byl použit k potlačení šumu ve všech verzích všech obrazů. Kvalita filtrace je vypočtena standardním způsobem jako průměrný odstup signálu od šumu (PSNR) pro každou intenzitu šumu. Výsledné hodnoty PSNR jsou uvedeny na obr. 12 (navržený filtr je označen jako „banka“ – zelená křivka). Stejným způsobem a na stejné množině testovacích obrazů byla vyhodnocena kvalita filtrace pro mediánový filtr (s velikostí filtračního okna 3x3, 5x5 a 7x7 pixelů), adaptivní mediánový filtr (s velikostí okna 5x5, 7x7 a 9x9 pixelů) a sofistikovaný Chanův filtr. Z obr. 12 je patrné, že navržený filtr dosahuje pro intenzitu šumu do 50 % lepšího odstupu signálu od šumu než mediánový filtr a adaptivní mediánový filtr (nezávisle na velikosti filtračního okna). Pro intenzitu šumu vyšší než 50 % je navržený filtr nepatrně horší než adaptivní mediánový filtr s velikostí filtračního okna 7x7 nebo 9x9 pixelů. Nejhorší kvalitu filtrace vykazují mediánové filtry. Naopak nejlepší kvalita filtrace vychází pro Chanův filtr. Na obr. 13 ukazuje příklady obrázků z testovací množiny a výsledky filtrace.

20 Navržený filtr může být implementován buď jako ASIC (aplikačně specifický integrovaný obvod), nebo v FPGA (v programovatelném hradlovém poli). Pro ověření byla zvolena implementace v FPGA Xilinx Virtex XC2VP50. Tabulka 1 srovnává implementační cenu a maximální pracovní frekvenci pro navržený filtr, mediánový filtr (s velikostí filtračního okna 3x3, 5x5 a 7x7 pixelů) a adaptivní mediánový filtr (s velikostí okna 5x5, 7x7 a 9x9 pixelů). Implementační cena je uvedena obvyklým způsobem, tj. v počtu tzv. slices, což je elementární komponenta FPGA. Nejnižší cenu má mediánový filtr s filtračním oknem 3x3 pixely. Tento filtr však nefiltruje příliš kvalitně (viz Na obr. 12). Cena navrženého filtru je výrazně nižší než cena dalších filtrů, které dosahují srovnatelné kvality filtrace. Implementační cena je uvedena bez zahrnutí ceny obvodu pro načítání pixelů (tj. paměti FIFO apod.). Celková implementační cena filtru je potom dána cenou uvedenou v tabulce 1 a cenou za implementaci obvodu pro načítání pixelů. Odhad celkové ceny je proveden v tabulce 2. V případě implementace obvodu jako ASIC dosáhneme obdobné poměry ploch, které budou zabírat jednotlivé filtry na čipu, jako při provedené implementaci v FPGA.

35

Tabulka 1: Cena implementace vyjádřená v počtu FPGA slices

parametry	median			adaptivní median			banka
	3x3	5x5	7x7	5x5	7x7	9x9	
FPGA slices	268	1506	4426	2024	6567	16395	984
max. frekvence [MHz]	305	305	305	303	298	295	305

40

Tabulka 2: Cena implementace včetně FIFO (pro obraz o šířce 640 pixelů)

parametry	median			adaptivní median			banka
	3x3	5x5	7x7	5x5	7x7	9x9	
FPGA slices	2188	4706	8906	5224	11047	22155	2904

Průmyslová využitelnost

- 5 Nelineární obrazový filtr pro potlačení impulzního šumu podle tohoto technického řešení nalezne uplatnění především při restauraci nebo-li obnovení digitalizovaného obrazu značně poškozeného impulzním šumem, který je v obraze viditelný jako bílé nebo černé tečky typu sůl a pepř.

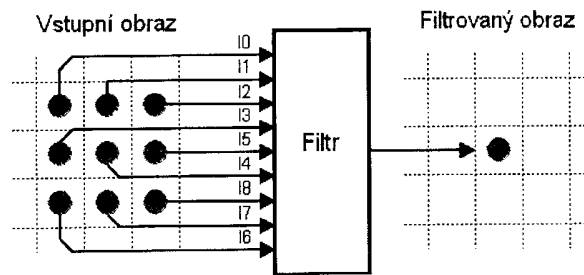
10

PATENTOVÉ NÁROKY

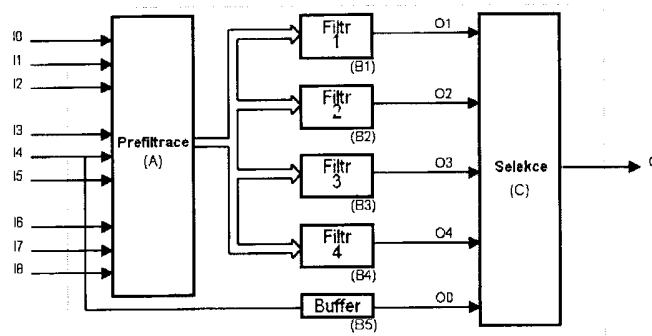
- 15 **1.** Nelineární obrazový filtr pro potlačení impulzního šumu typu sůl a pepř, **vyznačující se tím**, že se skládá z obvodu (A) prefiltrace, za který jsou připojeny čtyři paralelně pracující nelineární filtry (B1) až (B4), jejichž výstup, společně s výstupem zpožďovacího bufferu (B5), je připojen na selektor (C) pro výběr jednoho ze svých vstupů na primární výstup celého filtru.
- 20 **2.** Nelineární obrazový filtr podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je zapojen do synchronního zřetěženého provozu nebo do asynchronního obvodu.
- 3.** Nelineární obrazový filtr podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že jednotlivé filtry (B1) až (B4) vykazují navzájem odlišnou funkci.
- 25 **4.** Nelineární obrazový filtr podle kteréhokoli z uvedených nároků, **vyznačující se tím**, že selektor (C) sestává z pětivstupové řadící sítě, za kterou je připojen obvod pro výběr výstupní hodnoty.

30

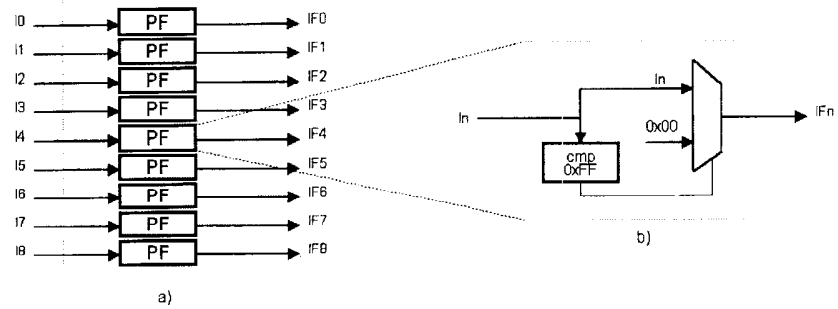
6 výkresů



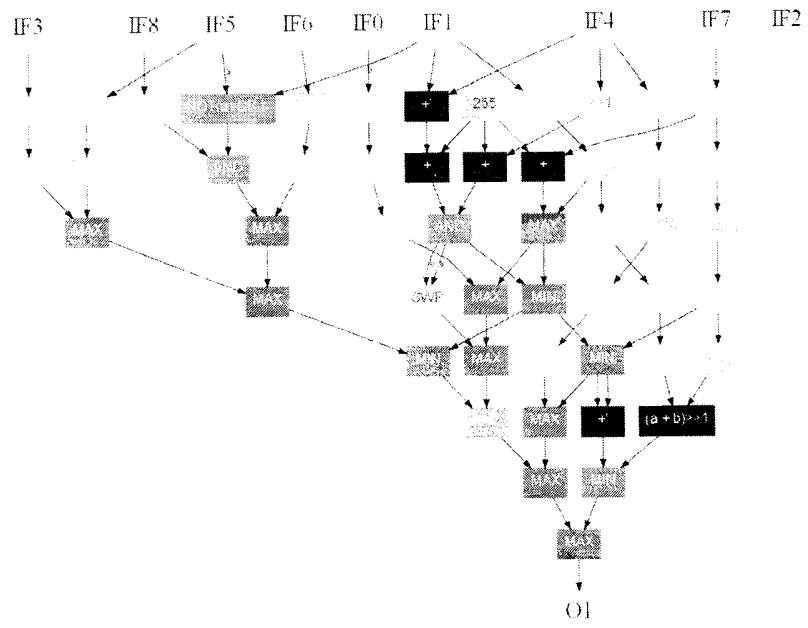
Obr. 1



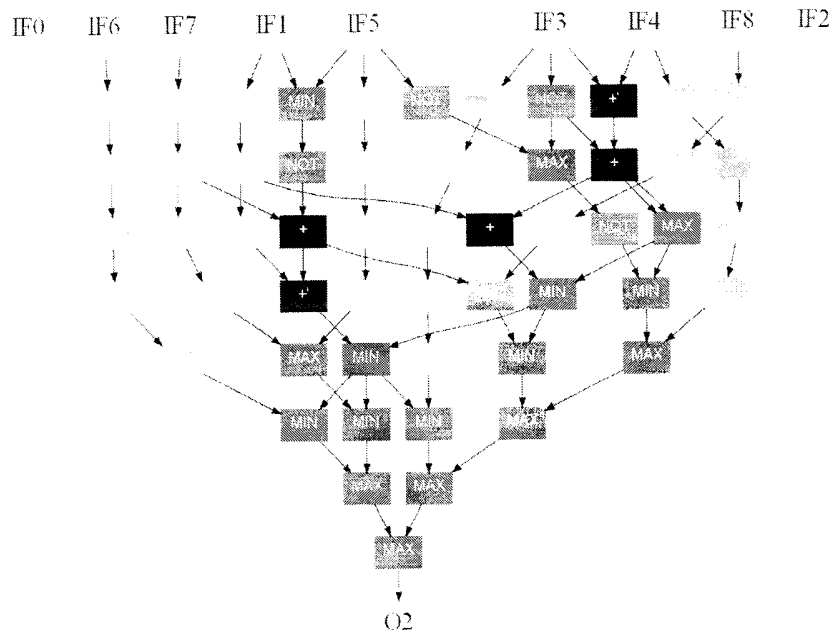
Obr. 2



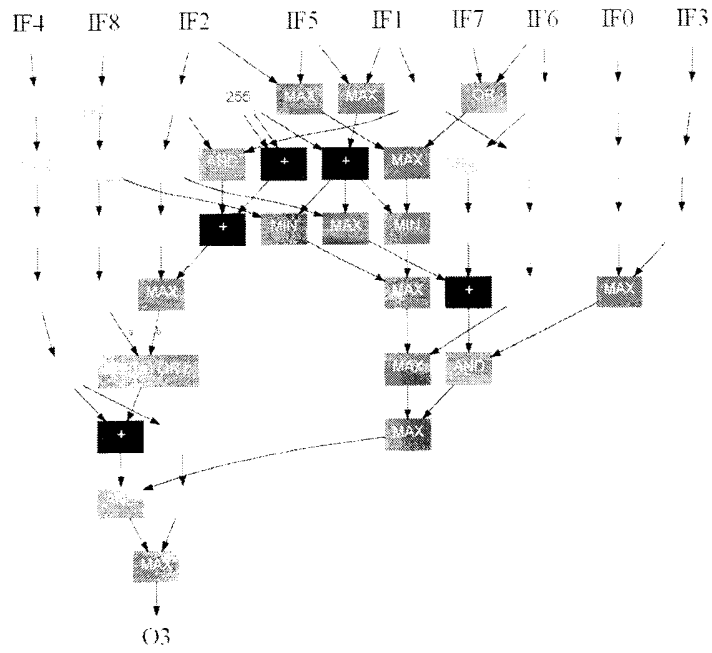
Obr. 3



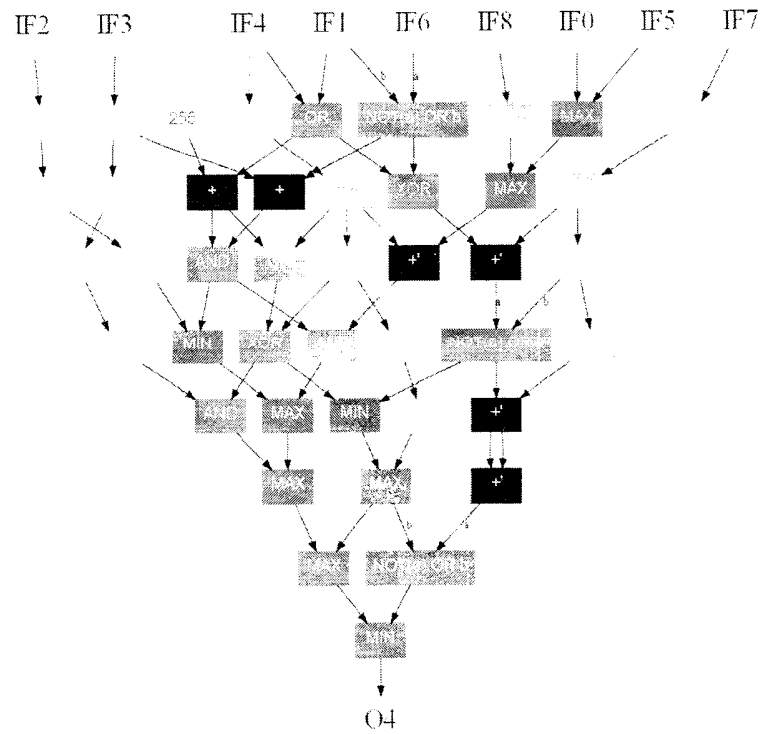
Obr. 4



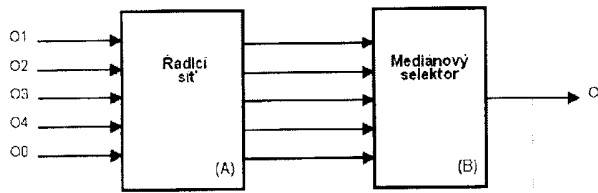
Obr. 5



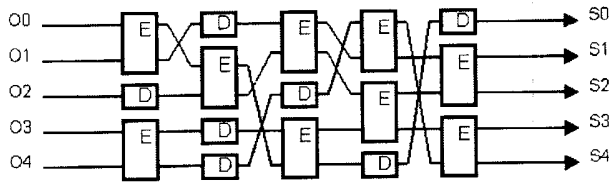
Obr. 6



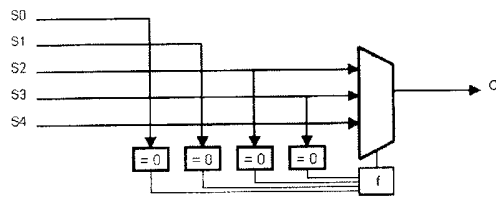
Obr. 7



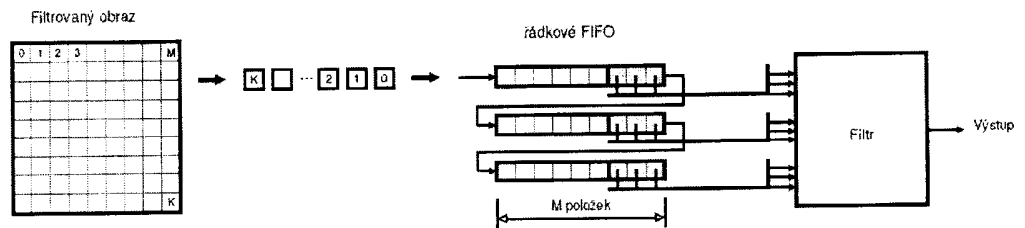
Obr. 8



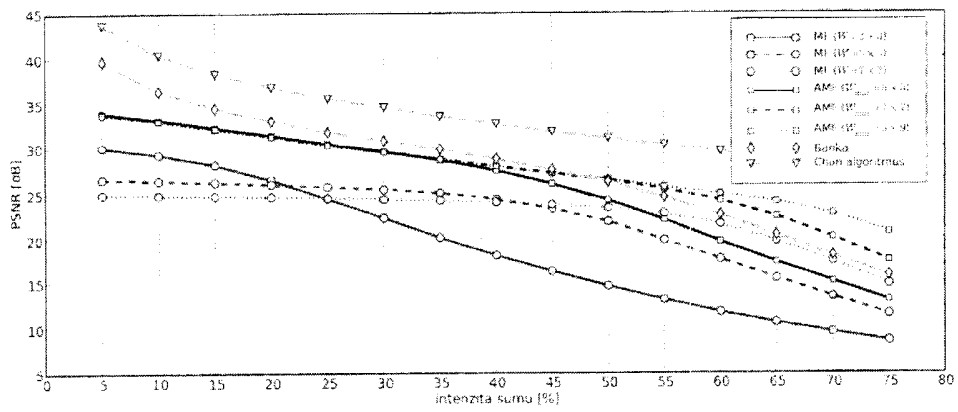
Obr. 9



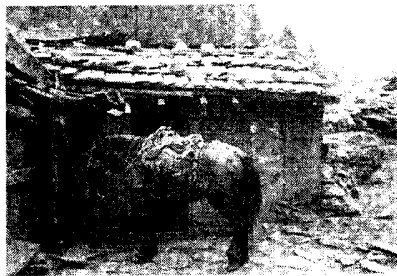
Obr. 10



Obr. 11



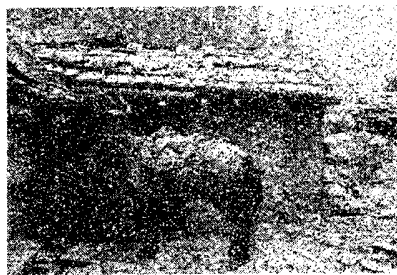
Obr. 12



A) originál



B2) obraz získaný adapt. med. filtrem 5x5



B1) obraz poškozený 20% šumem



B3) obraz získaný vytvořeným filtrem



B4) obraz získaný med.
filtrem 3x3



C4) obraz získaný med.
filtrem 3x3



C1) obraz poškozený 50%
šumem



C2) obraz získaný adapt.
med. filtrem 5x5



C3) obraz získaný
vytvořeným filtrem

Obr. 13

Konec dokumentu
