

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۶/۸

بزرگ‌نمایی تصویر با استفاده از تقریب بهترین صفحه

علی محمد اسمعیلی زینی^{۱*}، علی محمد لطیف^۲، قاسم برید لقمانی^۳

^۱ دانشجوی دکتری ریاضی کاربردی، دانشکده علوم ریاضی، پردیس علوم دانشگاه یزد، یزد، ایران

esmailizaini@stu.yazd.ac.ir

^۲ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی دانشگاه یزد، یزد، ایران

alatif@yazd.ac.ir

^۳ استاد دانشکده علوم ریاضی، پردیس علوم دانشگاه یزد، یزد، ایران

loghmani@yazd.ac.ir

چکیده

بزرگ‌نمایی تصویر یکی از مسائل موجود در بحث پردازش تصویر می‌باشد که در آن فرد علاقه‌مند است تصویر موردنظر را بزرگ و متناسب با سطح قابل نمایش دستگاه کند. در بزرگ‌نمایی لازم است که پیکسل‌های اضافی در اطلاعات تصویر قرار داده شود. اضافه کردن اطلاعات به تصویر، باید با بافت موجود در تصویر سازگار باشد و بلوک‌های مصنوعی ایجاد نکند. در این پژوهش، با استفاده از تقریب بهترین صفحه، پیکسل‌های موردنیاز تخمین زده می‌شوند. برای سنجش توانایی این روش، نتایج حاصل روی چند تصویر با روش‌های دیگر مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. متوسط زمان اجرای برنامه برای تصویر 512×512 برابر $13/95$ ثانیه است. همچنین میانگین PSNR مربوط به تصویر اصلی و بزرگ‌نمایی شده $31/29$ است که نشان می‌دهد تصویر بزرگ‌نمایی شده به تصویر اصلی شباهت زیادی دارد و روش پیشنهادی از کارایی مطلوبی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: بزرگ‌نمایی تصویر، تقریب بهترین صفحه، درون‌یابی.

۱. مقدمه

یکی از تکنیک‌های پردازش تصویر، نمونه‌برداری از آن است که در تصاویر پزشکی و دیجیتال کاربرد دارد [۱]. روش استاندارد برای نمونه‌برداری تصویر در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا داده‌های گسسته توسط یک تابع پیوسته درون‌یابی شده و پس از آن، با نرخ نمونه‌برداری مناسب، نمونه مطلوب موردنظر انتخاب می‌شود. در بحث بزرگ‌نمایی، چند پارامتر اساسی بر کیفیت تصویر اثر می‌گذارد [۲]:

۱. روش بزرگ‌نمایی باید لبه‌ها و مرزهای تصویر را حفظ کند.

۲. روش بزرگ‌نمایی نباید تکه‌های ثابت نامطلوب یا بلوک‌های نواحی دیگر را تولید کند.

۳- روش بزرگ‌نمایی باید محاسبات کارآمدی داشته باشد و بیش از حد به پارامترهای داخلی تصویر وابسته نباشد.

در روش‌های قبلی، بزرگ‌نمایی تصویر به کمک روش‌های درون‌یابی و از طریق کانونولوشن تصویر با یک هسته انجام شده است. روش‌های تکرار پیکسل‌ها^۱، درون‌یابی دوخطی^۲، درون‌یابی درجه دو^۳، درون‌یابی درجه سه^۴ و درون‌یابی اسپلاین^۵ از این جمله‌اند [۳-۵]. این روش‌ها به هموار کردن لبه‌ها تمایل دارند و در بعضی موارد، لبه‌های پلکانی تولید می‌کنند. بنابراین در خروجی این روش‌ها، تصاویر تاری تولید می‌شود.

از ویژگی‌های روش درون‌یابی دوخطی، آن است که در نسبت بزرگ‌نمایی بالا، بلوک‌های مصنوعی و اثرات بصری نامطلوب ظاهر می‌شوند و لبه‌ها در حد قابل‌قبولی محفوظ می‌مانند. در روش درون‌یابی درجه سه با نسبت بزرگ‌نمایی بالا، بلوک‌های مصنوعی و اثرات بصری نامطلوب کمتر است و از طرفی، لبه‌ها محفوظ می‌مانند. هرچند تعیین کیفیت تصویر در این روش‌ها کار آسانی نیست، روش درون‌یابی درجه دو از دوخطی، روش درون‌یابی درجه سه از درجه دو و روش درون‌یابی اسپلاین

از درون‌یابی درجه سه برای بزرگ‌نمایی تصویر بهتر است [۶]. در سال‌های اخیر، برای بهبود کیفیت تصاویر و حل مشکل تاری، روش‌های درون‌یابی غیرخطی گوناگونی پیشنهاد شده است که ساختار لبه‌ها حفظ می‌شود [۷-۹]. در این روش‌ها برای حفظ کیفیت تصویر و لبه‌های آن، از روش‌های برآورد یک زیرمجموعه از پیکسل‌های لبه [۸]، نمونه‌برداری مجدد و بهینه‌سازی پارامترها، درون‌یابی ضمنی و مستقیم لبه استفاده شده است [۱۰-۱۳].

در مرجع [۱۰]، با استفاده از روش‌های آماری، ساختار لبه‌ها تنظیم می‌شوند و از روش اصلاح درون‌یابی دوخطی و قضیه خطای درون‌یابی [۱۱] در روش لبه-توافقی^۱ بهره می‌برد. مرجع [۱۴] در روش درون‌یابی غیرخطی لبه-مستقیم^۷، از روش فیلترکردن جهت و آمیختگی داده‌ها استفاده می‌کند و یک پیکسل از دست‌رفته را در جهت‌های مختلف درون‌یابی و سپس نتایج درون‌یابی مستقیم را با برآورد خطی کمترین مربعات ترکیب می‌کند و حاصل را به دست می‌آورد.

در این مقاله، روش دیگری به نام تقریب بهترین صفحه پیشنهاد می‌شود که در آن، پیکسل‌های موردنیاز با استفاده از معادله صفحه و محاسبه فاصله نقاط از آن محاسبه می‌شود.

ساختار مقاله به صورت زیر بخش‌بندی شده است: در بخش دوم، به معرفی معادله صفحه و فاصله نقطه از آن پرداخته می‌شود؛ در بخش سوم، تقریب بهترین صفحه، الگوریتم پیشنهادی و معیارهای سنجش ارائه خواهد شد؛ در بخش چهارم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی با روش‌های دیگر مقایسه می‌شود و در بخش پایانی، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه خواهد شد.

۲. معرفی معادله صفحه و فاصله نقطه از آن

یک صفحه در فضا مکان هندسی نقاطی است که وقتی به یک نقطه ثابتی وصل می‌شوند، پاره‌خط‌هایی را به وجود می‌آورند که بر بردار ثابتی عمودند. معادله صفحه که از نقطه $p_1 = (x_1, y_1, z_1)$ می‌گذرد و بر بردار $n = (a, b, c)$ عمود است، طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

6. Edge-Adaptive
7. Edge-Directed

1. Pixel Replication
2. Bilinear Interpolation
3. Quadratic Interpolation
4. Bicubic Interpolation
5. Spline Interpolation

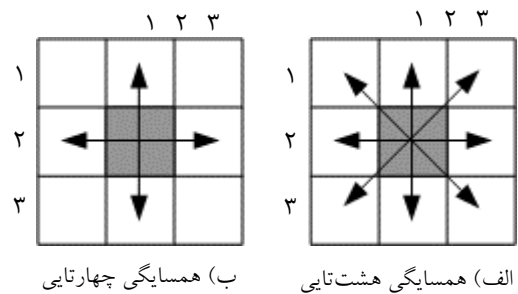
که در آن، $d = -ax_1 - by_1 - cz_1$.

همچنین فاصله نقطه p_1 از صفحه از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$D = \frac{|ax_1 + by_1 + cz_1 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (2)$$

۳. بزرگ‌نمایی تصویر و تقریب بهترین صفحه

در بزرگ‌نمایی تصویر، تعدادی پیکسل جدید در بین پیکسل‌های اصلی تصویر قرار می‌گیرند. در بزرگ‌نمایی، هدف تخمین مقدار پیکسل‌های جدید است که بر مبنای پیکسل‌های همسایگی آن تعیین می‌شوند. در تصاویر دوبعدی، دو نوع همسایگی وجود دارد که به همسایگی‌های چهارتایی و هشت‌تایی معروف‌اند. این همسایگی‌ها در شکل (۱) نمایش داده شده است. در بیشتر روش‌های ارائه‌شده سعی می‌شود نسبت بزرگ‌نمایی توانی از دو باشد؛ اما گفتمنی است که این الگوریتم برای هر نسبت بزرگ‌نمایی کاربرد دارد.



شکل (۱): همسایگی در تصاویر دوبعدی

وزن دار تخمین زده می‌شود. از آنجاکه تمام همسایه‌ها از نظر فاصله با پیکسل مرکزی با هم برابرند، به تمامی آن‌ها وزن یکسان نسبت داده می‌شود. نتیجه این عمل در شکل (۳) نشان داده شده که علامت ■ جایگزین پیکسل‌های تخمین زده شده است. در مرحله بعد، پیکسل‌هایی که با شماره ۰۱ مشخص شده، توسط چهار همسایه کناری آن‌ها، تخمین زده می‌شوند. این پیکسل‌ها دو پیکسل اصلی در همسایگی چپ و راست و دو پیکسل تخمین زده شده در همسایگی بالا و پایین دارند. در تخمین پیکسل‌ها با شماره ۰۱، به پیکسل‌های اصلی وزن ۱ و به پیکسل‌های تخمین زده شده وزن ۰/۵ نسبت داده می‌شود. پیکسل‌ها با شماره ۱۰ نیز به همین ترتیب تخمین زده می‌شوند. نتیجه این کار در شکل (۴) نشان داده شده که در این مرحله، علامت □ و ◇ جایگزین پیکسل‌های تخمین زده شده است.

●	01	●	01	●	01
10	11	10	11	10	11
●	01	●	01	●	01
10	11	10	11	10	11
●	01	●	01	●	01
10	11	10	11	10	11

شکل (۲): کپی کردن مقادیر در تصویر بزرگ‌نمایی شده

●	01	●	01	●	01
10	■	10	■	10	■
●	01	●	01	●	01
10	■	10	■	10	■
●	01	●	01	●	01
10	■	10	■	10	■

شکل (۳): درون‌یابی پیکسل‌های همسایه

برای دوبرابر کردن اندازه تصویر، یک ماتریس به اندازه دوبرابر تصویر ایجاد می‌شود و سپس مقدار پیکسل‌های تصویر اصلی در مکان‌های یک‌درمیان از تصویر جدید قرار می‌گیرد. نتیجه این کار در شکل (۲) نشان داده شده است. پیکسل‌های تصویر اصلی با علامت ● و پیکسل‌های دیگر که باید در سه مرحله تخمین زده شوند، با شماره‌های ۱۱ و ۱۰ و ۰۱ مشخص شده است. برای تخمین مقادیر این پیکسل‌ها از روش درون‌یابی چندمرحله‌ای استفاده می‌شود.

در این الگوریتم، مقدار پیکسل جدید با چهار همسایه در گوشه‌های آن (پیکسل‌های با شماره ۱۱) با روش درون‌یابی

گام ۶: گام‌های ۱ تا ۵ را سه مرحله براساس الگوریتم بزرگ‌نمایی تکرار کرده تا تمام پیکسل‌های موردنیاز تخمین زده شوند.

۲.۳. معیارهای ارزیابی

برای مقایسه شباهت دو تصویر با یکدیگر از معیارهای PSNR^۱ و SSIM^۲ استفاده می‌شود که هرچه مقدار PSNR بزرگ‌تر و مقدار SSIM به یک نزدیک‌تر باشد، انطباق دو تصویر بیشتر است [۱۵-۱۶]. معیار PSNR براساس رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شود:

$$PSNR = 10 * \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (4)$$

که در آن، $I(i, j)$ و $K(i, j)$ به ترتیب مقدار پیکسل‌های تصویر اصلی و تصویر تخمین زده شده و MAX_I حداکثر مقدار پیکسل‌های تصویرند.

معیار SSIM که دربرگیرنده عناصر ساختاری تصویر است و کیفیت محتوای ساختاری و شباهت بین دو تصویر را اندازه‌گیری می‌کند، عددی بین صفر و یک است (یک به معنی بیشترین و صفر به معنی کمترین شباهت می‌باشد) و از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (5)$$

که در آن μ ، σ^2 و σ_{xy} به ترتیب میانگین، واریانس و کوواریانس پیکسل‌ها در تصویرند و ثابت‌های c_1 و c_2 دو متغیر برای جلوگیری از صفر شدن مخرج کسر هستند.

۴. نتایج شبیه‌سازی

برای ارزیابی روش پیشنهادی، ابتدا یک تصویر دیجیتال را به عنوان تصویر اصلی در نظر گرفته، آنگاه اندازه آن را با حذف یک‌درمیان سطر و ستون‌هایش به نصف کاهش داده، سپس سعی می‌شود با استفاده از روش پیشنهادی و سایر روش‌های موجود،

گفتنی است برای تخمین پیکسل‌های سطر و ستون اول، از تکرار سطر و ستون بعدی و برای تخمین پیکسل‌های سطر و ستون آخر، از تکرار سطر و ستون قبلی استفاده می‌شود.

●	□	●	□	●	□
◇	■	◇	■	◇	■
●	□	●	□	●	□
◇	■	◇	■	◇	■
●	□	●	□	●	□
◇	■	◇	■	◇	■

شکل (۴): درون‌یابی پیکسل‌های همسایه

۱.۳. الگوریتم پیشنهادی

در این الگوریتم، منظور از نقاط، مختصات پیکسل‌هایی از تصویرند که شماره سطر و ستون و میزان روشنایی آن به عنوان یک نقطه در فضای سه‌بعدی در نظر گرفته می‌شوند. برای تخمین پیکسل‌های لازم در بزرگ‌نمایی تصویر براساس همسایگی‌های چهارتایی، ابتدا با انتخاب سه نقطه، معادله صفحه محاسبه شده و فاصله نقطه دیگر از آن به دست می‌آید. با تکرار این روند، فاصله چهار نقطه از چهار صفحه به دست می‌آید. با انتخاب کوچک‌ترین فاصله، معادله بهترین صفحه انتخاب شده و پیکسل موردنظر تخمین زده می‌شود. گام‌های الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر است:

گام ۱: معادله صفحه‌ای که از سه نقطه می‌گذرد، محاسبه می‌شود.

گام ۲: فاصله نقطه دیگر از این صفحه محاسبه می‌شود.

گام ۳: گام یک و دو با نقاط مشابه دیگر، سه بار تکرار می‌شود.

گام ۴: کمینه فاصله نقاط گام دو و معادله بهترین صفحه انتخاب خواهد شد.

گام ۵: پیکسل موردنظر با معادله بهترین صفحه تخمین زده

می‌شود.

1. Peak Signal-to-Noise Ratio
2. Structural Similarity Index Modulation

آن است که حداقل اختلاف از میانگین ۰/۲۰ و حداکثر آن ۰/۵۱ می‌باشد.

شکل (۵) تصاویر Lifting body است که تصویر اصلی، تصویر کوچک‌شده و تصویر بزرگ‌نمایی‌شده را به روش پیشنهادی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، از نظر بصری اختلاف محسوس و تازی مشاهده نمی‌شود. اگر تصاویر (الف. و ج.) پیکسل به پیکسل مورد مقایسه قرار گیرند، حداکثر اختلاف آن‌ها ۱۴۵ است که اکثر این اختلاف در نقاط کناری یا لبه اتفاق می‌افتد. به‌طور میانگین، اختلاف پیکسل‌ها ۲/۲۸ است.

شکل (۶) تصاویر Airplane است که تصویر اصلی، تصویر کوچک‌شده و تصویر بزرگ‌نمایی‌شده را به روش پیشنهادی نشان می‌دهد. اگر تصاویر (الف. و ج.) پیکسل به پیکسل مقایسه شوند، حداکثر اختلاف آن‌ها ۱۶۴ و میانگین اختلاف پیکسل‌ها ۳/۸۴ است. همان‌طور که ملاحظه شده، تصویر بزرگ‌نمایی‌شده به‌صورت تار دیده می‌شود.

نتایج آزمایش بر روی هشت تصویر دیگر در شکل‌های (۷) تا (۱۴) دیده می‌شود. اگر تصاویر اصلی و بزرگ‌نمایی‌شده را پیکسل به پیکسل مقایسه کنیم، نتایج حاصل از آن در جدول (۳) ارائه شده که حداکثر اختلاف پیکسل‌ها در تصاویر منتخب با تصاویر بزرگ‌نمایی‌شده، ۱۹۱ و حداقل اختلاف ۷۹ است. همچنین بیشترین میانگین اختلاف پیکسل‌ها در تصاویر منتخب ۶/۱۸ و کمترین آن ۰/۷۸ است.

جدول (۲): مقایسه روش تقریب بهترین صفحه با معیار SSIM			
اسم تصویر	روش دوخطی	روش درجه‌سه	روش پیشنهادی
Lifting body	۰/۹۶۷۵	۰/۹۶۳۱	۰/۹۶۵۱
Airplane	۰/۹۶۲۸	۰/۹۶۲۹	۰/۹۶۹۰
House	۰/۹۷۷۱	۰/۹۷۶۳	۰/۹۸۳۴
Fruit	۰/۹۴۹۶	۰/۹۴۱۴	۰/۹۴۹۹
Elaine	۰/۹۵۳۶	۰/۹۴۷۹	۰/۹۴۱۱
Tree	۰/۹۳۴۲	۰/۹۲۷۰	۰/۹۳۳۶
Disk	۰/۹۹۰۸	۰/۹۹۰۸	۰/۹۹۵۳
Fire	۰/۹۷۷۰	۰/۹۷۶۷	۰/۹۸۲۳
Balloons	۰/۹۸۱۵	۰/۹۸۰۸	۰/۹۸۷۴
Lena	۰/۹۵۰۴	۰/۹۴۶۹	۰/۹۵۷۷
میانگین	۰/۹۶۴۵	۰/۹۶۱۴	۰/۹۶۶۵

اندازه تصویر دوبرابر گردد. انتظار می‌رود هرچه میزان شباهت تصویر بزرگ‌شده به تصویر اصلی نزدیک‌تر باشد، الگوریتم از کارایی بهتری برخوردار است.

اجرای نتایج الگوریتم پیشنهادی که در محیط MATLAB پیاده‌سازی شده، در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است. در جدول (۱) که از معیار PSNR استفاده شده است، در بزرگ‌نمایی تصویر، ده تصویر مختلف و استاندارد [۱۷] به‌کار گرفته شده که ابعاد همه آن‌ها ۵۱۲×۵۱۲ است. نتایج حاصل از روش پیشنهادی با روش درون‌یابی دوخطی و روش درون‌یابی درجه‌سه، مقایسه شده است. کمترین اختلاف PSNR روش پیشنهادی با روش‌های دیگر، ۰/۲۶ و بیشترین آن ۱/۵۹ است. همچنین در سطر آخر جدول میانگین PSNR هر ستون محاسبه شده که حداقل اختلاف ۰/۸۱ و حداکثر آن ۰/۹۱ است.

جدول (۱): مقایسه روش تقریب بهترین صفحه با معیار PSNR

اسم تصویر	روش دوخطی	روش درجه‌سه	روش پیشنهادی	زمان اجرا بر حسب ثانیه
Lifting body	۳۳/۳۴	۳۳/۳۰	۳۴/۵۴	۱۴/۱۱۷
Airplane	۲۷/۵۶	۲۷/۵۳	۲۸/۳۳	۱۴/۷۷۸
House	۳۲/۹۶	۳۲/۹۸	۳۳/۴۰	۱۳/۸۵۵
Fruit	۲۸/۶۸	۲۸/۴۴	۲۹/۷۹	۱۳/۸۲۶
Elaine	۳۲/۲۶	۳۲/۰۸	۳۲/۷۰	۱۳/۸۲۲
Tree	۲۶/۵۶	۲۶/۴۲	۲۶/۸۲	۱۳/۷۸۴
Disk	۳۰/۹۴	۳۰/۸۲	۳۲/۴۱	۱۳/۸۹۶
Fire	۳۱/۶۶	۳۱/۷۱	۳۲/۰۸	۱۳/۸۷۰
Balloons	۳۰/۶۰	۳۰/۴۰	۳۱/۶۴	۱۳/۸۴۰
Lena	۳۰/۲۰	۳۰/۱۱	۳۱/۲۳	۱۳/۷۹۸
میانگین	۳۰/۴۸	۳۰/۳۸	۳۱/۲۹	۱۳/۹۴۹

با مشاهده هر سطر و مقایسه اعداد با هم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش پیشنهادی برای تصاویر منتخب، بهتر از روش‌های دیگر عمل کرده است.

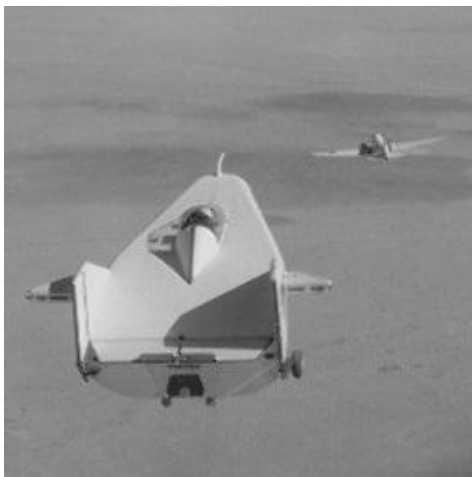
جدول (۲) نتایج حاصل از مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های دیگر را برای ده تصویر منتخب با معیار SSIM نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با تقریب خوبی از روش‌های دیگر بهتر عمل نموده است. سطر آخر جدول (۲) که میانگین SSIM هر ستون را نشان می‌دهد، حاکی از

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش جدید برای بزرگ‌نمایی تصویر معرفی شد. این روش با وجود پیاده‌سازی ساده الگوریتم پیشنهادی، پیچیدگی محاسباتی کم و زمان اجرای مناسب، نتایج رضایت‌بخش نسبت به روش‌های درونیابی دوخطی و درجه‌سه تولید می‌کند. در این پژوهش، از تکنیک‌های بهبود لبه تصویر استفاده نشده است. در مطالعات بعدی می‌توان روش پیشنهادی را با تکنیک‌های بهبود لبه ارتقا داد و یا از روش‌های غیرخطی مانند روش درونیابی دومتغیره یا درونیابی توابع پایه‌ای شعاعی استفاده کرد.

جدول (۳): مقایسه پیکسل به پیکسل تصاویر اصلی و بزرگ‌نمایی شده

اسم تصویر	حداکثر اختلاف	میانگین اختلاف
Lifting body	۱۴۵	۲/۲۸
Airplane	۱۶۴	۳/۸۴
House	۷۹	۲/۲۱
Fruit	۱۷۷	۴/۱۳
Elaine	۱۴۴	۳/۳۵
Tree	۱۸۵	۶/۱۸
Disk	۱۹۱	۰/۷۸
Fire	۱۴۳	۲/۸۹
Balloons	۱۲۹	۲/۵۹
Lena	۱۴۶	۳/۵۳



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۵): تصاویر Lifting body



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۶): تصاویر Airplane



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۷): تصاویر House



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۸): تصاویر Fruit



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۹): تصاویر Balloons



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۱۰): تصاویر Lena



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۱۱): تصاویر Fire



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۱۲): تصاویر Elaine



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

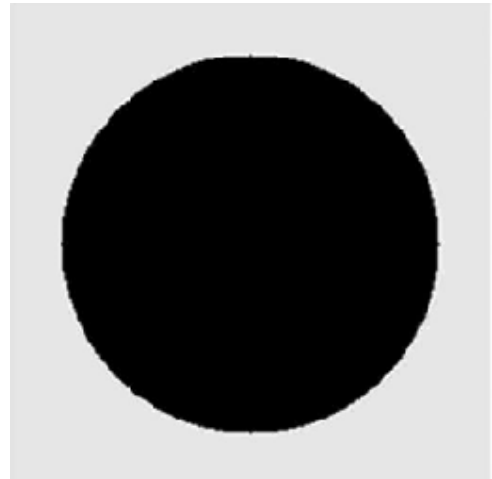
شکل (۱۳): تصاویر Tree



ج. تصویر بزرگ‌نمایی شده



ب. تصویر کوچک‌شده



الف. تصویر اصلی

شکل (۱۴): تصاویر Disk

مراجع

- [1] Lehmann, T., Gönner, C., Spitzer, K., "Survey: Interpolation methods in medical image processing", *IEEE Trans. Med. Imaging*, Vol. 18, No. 11, pp. 1049–1075, 1999.
- [2] Lee, Y. J., Yoon, J., "Nonlinear image up sampling method based on radial basis function interpolation", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 19, No. 10, pp. 2682–2692, 2010.
- [3] Keys, R. G., "Cubic convolution interpolation for digital image processing", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process*, Vol. 29, No. 6, pp. 1153–1160, 1981.
- [4] Hou, H. S., Andrews, H. C., "Cubic splines for image interpolation and digital filtering", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process*, Vol. 26, No. 6, pp. 508–517, 1978.
- [5] Thévenaz, P., Blu, T., Unser, M., "Interpolation revisited", *IEEE Trans. Med. Image*, Vol. 19, No. 7, pp. 739–758, 2000.
- [6] Padmanabhan, S. A., Chandramathi, S., "Image zooming using segmented polynomial interpolation in R^2 space", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 57, No. 3, pp. 447–453, 2011.
- [7] Jensen K., Anastassion, D., "Subpixel edge localization and the interpolation of still images", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 4, No. 3, pp. 285–295, 1995.
- [8] Allebach, J., Wong, P. W., "Edge-directed interpolation", in *Proc. IEEE Int. Conf. Image. Proc.*,

- Vol. 3, pp. 707–710, 1996.
- [9] Carrato, S., Tenze, L., "A high quality 2X image interpolator", *IEEE Signal Process*, Vol. 7, No. 6, pp. 132–135, 2000.
- [10] Li, X., Orchard, T., "New edge directed interpolation", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 10, No. 10, pp. 1521–1527, 2001.
- [11] Cha, Y., Kim, S., "The error-amended sharp edge (ease) scheme for image zooming", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 16, No. 6, pp. 1496–1505, 2007.
- [12] Li, M., Nguyen, T. Q., "Markov random field model-based edge directed image interpolation", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 17, No.7, pp. 1121–1128, 2008.
- [13] Zhang, X., Wu, X., "Image interpolation by adaptive 2-D autoregressive modeling and soft-decision estimation", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 17, No. 6, pp. 887–896, 2008.
- [14] Zhang, L., Wu, X., "An edge-guided image interpolation algorithm via directional filtering and data fusion", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 15, No. 8, pp. 2226–2238, 2006.
- [15] Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P., "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity", *IEEE Trans. Image Process*, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612, 2004.
- [16] Wang, Z., "SSIM index for image quality assessment", <http://www.ece.uwaterloo.ca/126z70wang/research/ssim>
- [17] Online. Available: www.freeimages.co.uk and sipi.usc.edu/database.