



افزایش دقت هندسی تصاویر سنجش از دور با استفاده از بازسازی تصویر با الگوریتم تصویر در مجموعه های محدب

مجتبی منوری^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، محمد جواد ولدان زوج^۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده :

به دلیل کامل نبودن سیستم تصویربرداری، یک نقطه نورانی در تصویر ثبت شده به صورت مجموعه یک دیسک مرکزی و حلقه‌های روشن و تاریک اطراف دیسک مرکزی تشکیل می‌شود. این دیسک با پوشش ۸۴٪ از نور تابیده شده از نقطه ثبت شده، در قالب تابع پخش نقطه‌ای مدل‌سازی می‌شود. تابع پخش نقطه‌ای یک سنجنده معیاری از توان تفکیک مکانی آن به حساب می‌آید. این تابع در واقع اثرات تارشدگی تصویر نسبت به واقعیت مورد انتظار را مدل‌سازی می‌کند. از این رو تابع پخش نقطه‌ای سنجنده و یا معادل آن در فضای فرکانس که تابع انتقال مدولاسیون نامیده می‌شود معیاری مهم از کیفیت هندسی تصویر به شمار می‌آید. این مقاله در ابتدا به تخمین تابع پخش نقطه‌ای و تابع انتقال مدولاسیون در تشکیل تصویر می‌پردازد. سپس با به کارگیری تابع پخش نقطه‌ای برآورد شده، تلاش در بهبود سطح کیفیت هندسی تصویر به روش بازسازی تصویر صورت می‌گیرد. برای بازسازی تصویر، روش تصویر در مجموعه‌های محدب (الگوریتم کچمارز) به کار رفته است. پس از پیاده‌سازی الگوریتم و به دست آمدن تصویر بازسازی شده، به بررسی و آنالیز دقت تصویر بازسازی شده پرداخته شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که بازسازی تصویر باعث افزایش ۱۵٪ در تابع انتقال مدولاسیون به عنوان معیار دقت تصویر می‌شود.

واژه‌های کلیدی : بازسازی تصویر، دقت هندسی تصویر، تصویر در مجموعه‌های محدب، الگوریتم کچمارز



۱- مقدمه

تصاویر اخذ شده از اشیاء، به دلیل محدودیت‌های فیزیکی و تکنولوژی، همیشه دارای اشکالاتی هستند که این اشکالات باعث بوجود آمدن تفاوت‌هایی میان واقعیت شی و تصویر اخذ شده از آن می‌گردد. یکی از این محدودیت‌های موجود در تصاویر، وجود اثر تصویر شدن یک نقطه به صورت یک دیسک می‌باشد که با تابع پخش نقطه‌ای (PSF)^۱ مدل می‌شود. اثر PSF در تصویر به صورت تارشدگی تصویر بروز می‌کند. ارتباط بین شی، تصویر اخذ شده و PSF به صورت زیر بیان می‌شود [۱].

$$g(x, y) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N h(i, j) f(x - i, y - j) + n(x, y) = h(x, y) * f + n(x, y) \quad (1)$$

که g تصویر ثبت شده، f شی، h تابع پخش نقطه‌ای مستقل از مکان، M و N اندازه PSF و n نویز جمع شونده می‌باشد. به عبارت دیگر تصویر ثبت شده از کانولوشن^۲ تصویر شی در PSF به دست می‌آید. هدف بازسازی تصویر به دست آوردن تصویر بهبود یافته (\hat{f}) به عنوان نزدیکترین تصویر به شی (f) است.

روشهای گوناگونی برای بازسازی تصویر به کار برده شده است. با استفاده از فیلتر معکوس^۳ و فیلتر وینر^۴ در بازسازی تصویر مرد عکاس استفاده شده است [۱]. در بازسازی تصویر لِنَا^۵ در سه تصویر با نسبت سیگنال به نویز ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی بل، فیلتر وینر تکرار شونده به کار برده شده است [۲]. برای بازسازی باند ۳ تصویر CBERS-2 از منطقه Ribeirao Petro از ایالت Sao Paulo برزیل از روش تصویر در مجموعه‌های محدب (POCS)^۶ استفاده شده است [۳]. روش فیلتر کالمن برای بازسازی تصویر رادیولوژی و تصویری از کره ماه به کار برده شده است [۴ و ۵]. از روش موجک^۷ برای بازسازی تصویر ماهواره لندست استفاده شده است [۶].

در اینجا ابتدا به منظور بازسازی، MTF تصویر به عنوان برآوردی از تابع تخریب تصویر تعیین گردیده است. برای محاسبه MTF از لبه‌های موجود در تصویر استفاده شده است. سپس با استفاده از MTF محاسبه شده، بازسازی تصویر با استفاده از الگوریتم کاجمارز انجام شده است. سپس با استفاده از لبه‌های تصویر بازسازی شده MTF تصویر بازسازی شده محاسبه گردیده است. در نهایت برای ارزیابی دقت بازسازی، MTF تصویر اولیه و تصویر بازسازی شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲- الگوریتم بازسازی تصویر

در این مقاله نخست برای بازسازی تصویر، روش برآورد PSF تصویر به عنوان تابع تخریب^۸ برآورد شده است. سپس الگوریتم تصویر در مجموعه‌های محدب (الگوریتم کاجمارز^۹) که برای بازسازی تصویر به کار برده شده است، بیان گردیده است. سپس روند انجام این پژوهش و الگوریتم پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج انجام شده است. در نهایت نتایج به دست آمده مورد بررسی و جمع‌بندی قرار گرفته است.

¹ Point Spread Function

² Convolution

³ Inverse Filter

⁴ Wiener Filter

⁵ Lena

⁶ Projection Onto Convex Sets

⁷ Wavelet

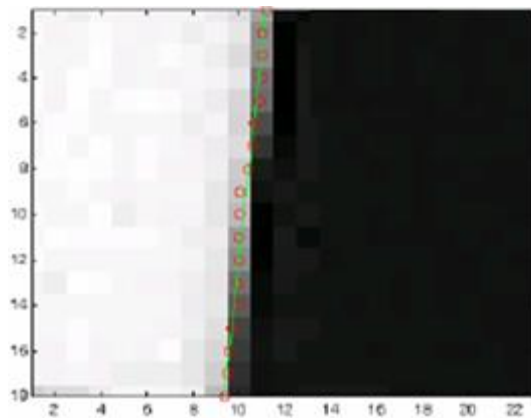
⁸ Degradation Function

⁹ Kaczmarz Algorithm



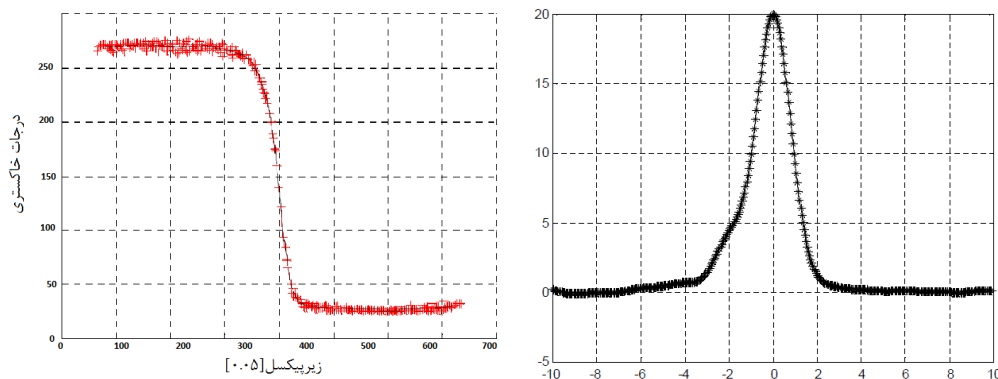
۲-۱- برآورد PSF

برای برآورد PSF از لبه‌های موجود در تصویر، با استفاده از لبه‌های واضح و با کنتراست بالا که توسط سنجنده تصویربرداری ثبت شده است، اقدام به اندازه‌گیری تابع پخش لبه می‌شود، در ادامه با استفاده از تبدیل فوریه، MTF قابل دستیابی خواهد بود. مراحل اندازه‌گیری تابع پخش لبه و MTF در این روش به شرح زیر می‌باشد. ابتدا با استفاده از یک الگوریتم تشخیص لبه اقدام به تعیین موقعیت لبه با دقت زیر پیکسل می‌شود. با تعیین محل دقیق لبه برای چند ردیف از پیکسلها، با استفاده از روش کمترین مربعات، به نقاط خروجی از مرحله تشخیص دقیق لبه یک خط برازش داده می‌شود (شکل ۱) [۷].



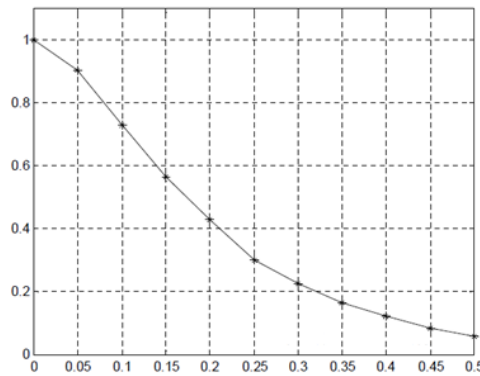
شکل ۱: برازش خط به محل لبه‌های به دست آمده از مرحله تعیین لبه

در مرحله‌ی بعد پروفیل‌هایی عمود بر خط برازش داده شده در نظر گرفته می‌شود و با استخراج مقادیر درجات خاکستری در جهت پروفیل‌های مذکور و میانگین‌گیری از آنها، یک تابع پخش لبه میانگین بدست می‌آید. سپس با مشتق‌گیری از تابع پخش لبه، تابع پخش خطی بدست می‌آید (شکل ۲) [۷].



شکل ۲: تابع پخش لبه (تصویر چپ) و تابع پخش خط (راست)

در نهایت با تبدیل فوریه تابع پخش لبه، MTF بدست می‌آید (شکل ۳).



شکل ۳: تابع انتقال مدولاسیون

۲-۲- بازسازی تصویر

برای بازسازی با فرض کوچک بودن نویز در تصویر، ترم نویز از رابطه (۱) حذف شده و رابطه خطی (۲) به دست می‌آید.

$$g(x, y) = h * f(x, y) \quad (۲)$$

برای حل معادله خطی (۲) و به دست آوردن تصویر بازسازی شده f ، از الگوریتم POCS استفاده می‌شود [۹]. برای به کارگیری این الگوریتم نخست ماتریسهای f و g با پشت سر هم قرار دادن سطرهای ماتریسهای f و g به صورت بردارهای ستونی با ابعاد $MN \times 1$ تبدیل می‌شوند. برای ضرب ماتریس h در تصویر اولیه f ماتریس h باید به یک ماتریس با ابعاد $MN \times MN$ تبدیل می‌شود. این ماتریس دارای M^2 بخش $N \times N$ بعدی است که به صورت رابطه (۳) و (۴) محاسبه می‌شود [۸].

$$H = \begin{bmatrix} H_1 & H_M & \dots & H_2 \\ H_2 & H_1 & \dots & H_3 \\ H_3 & H_2 & \dots & H_4 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_M & H_{M-1} & \dots & H_1 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

هر بخش H_j به صورت زیر از سطر $h(x, y)$ تشکیل می‌شود.

$$H_j = \begin{bmatrix} h(j, 1) & h(j, N) & h(j, N-1) & \dots & h(j, 1) \\ h(j, 2) & h(j, 1) & h(j, N) & \dots & h(j, 2) \\ h(j, 3) & h(j, 2) & h(j, 1) & \dots & h(j, 3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h(j, N) & h(j, N-1) & h(j, N-2) & \dots & h(j, 1) \end{bmatrix} \quad (۴)$$

پس از تشکیل ماتریس H از رابطه (۵) برای حل معادله و به دست آوردن تصویر بازسازی شده استفاده می‌شود [۱۰].

$$\hat{f}^{k+1} = \hat{f}^k + \lambda \frac{g(p) - h_p^T \hat{f}^k}{\|h_p\|^2} h_p \quad (۵)$$

که در آن λ گام تکرار، h_p سطر p ماتریس h ، $g(p)$ بردار g و \hat{f}^k بردار f در تکرار k می‌باشد.



۳- پیاده‌سازی الگوریتم بازسازی

برای انجام بازسازی از یک تصویر هوایی ULTRACAM از شهر تهران (شکل ۴-الف) و یک تصویر ماهواره‌ای IKONOS از شهر شیراز (شکل ۴-ب) استفاده شده است.



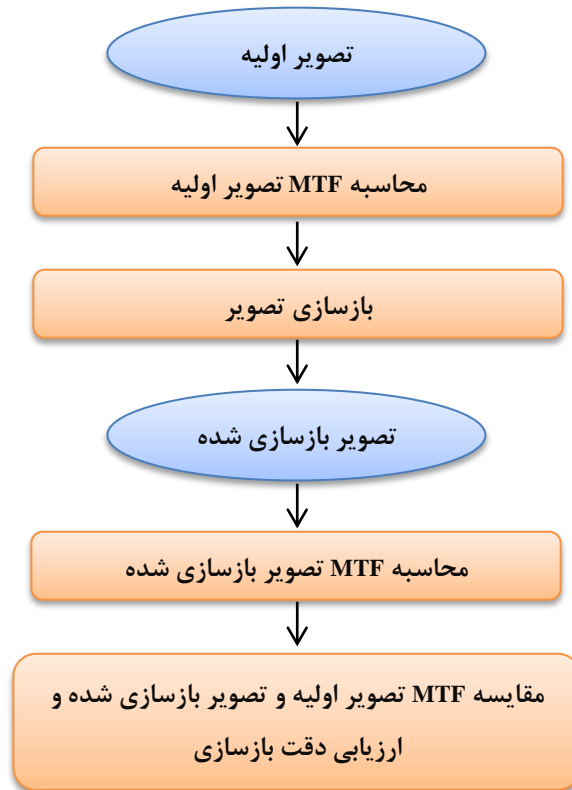
الف



ب

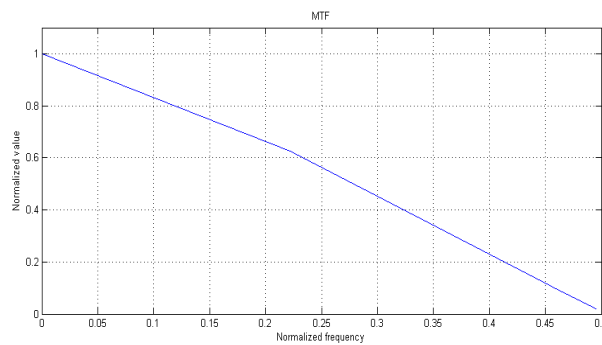
شکل ۴: (الف) تصویر ULTRACAM از شهر تهران، (ب) تصویر IKONOS از شهر شیراز

روند کلی پیاده‌سازی الگوریتم بازسازی تصویر در شکل ۵ به نمایش درآمده است.

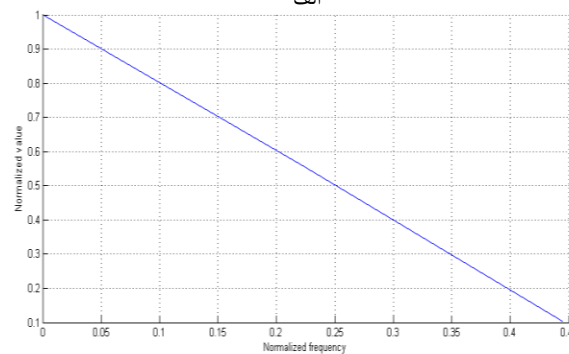


شکل ۵: الگوریتم بازسازی تصویر

ابتدا برای محاسبه تابع تخریب MTF تصویر اولیه محاسبه شده است. MTF تصویر ULTRACAM و IKONOS در شکل ۶ به نمایش درآمده است.



الف

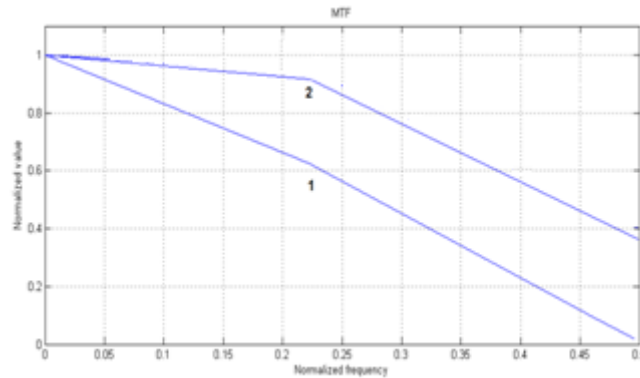


ب

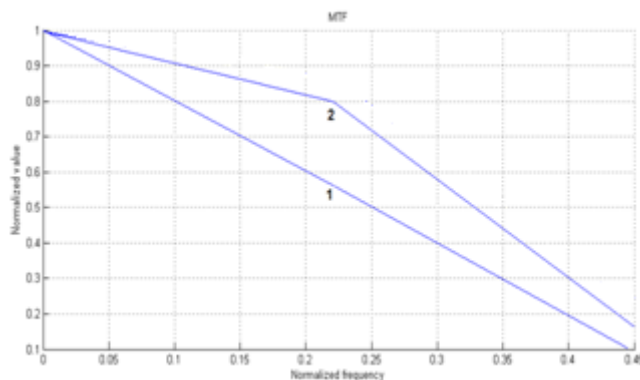
شکل ۶: MTF تصویر اولیه (الف) ULTRACAM، (ب) IKONOS



پس از تعیین MTF، ماتریس H محاسبه شده و با استفاده از رابطه (۴) روند تکرار شونده الگوریتم بازسازی اجرا شده است. در انتها برای ارزیابی بهبود کیفیت تصویر، MTF برای تصاویر بازسازی شده برآورد شده است (شکل ۷ و ۸).



شکل ۷: MTF تصویر بازسازی شده ULTRACAM، نمودار شماره ۱ MTF تصویر اصلی، نمودار شماره ۲ MTF تصویر بازسازی شده



شکل ۸: MTF تصویر بازسازی شده IKONOS، نمودارها به ترتیب شماره MTF تصویر اصلی، MTF تصویر بازسازی شده

در تصاویر نمودار MTF، دو نمودار نشان داده شده است. نمودار شماره یک که نشان دهنده MTF تصویر اولیه می‌باشد. در نمودار شماره ۲ MTF تصویر پس از بازسازی به نمایش درآمده است. برای ارزیابی دقت بازسازی از مساحت زیر نمودار MTF استفاده شده است. مساحت زیر نمودار تابع MTF اولیه تصویر ULTRACAM و IKONOS به ترتیب برابر با ۵۸٪ و ۵۲٪ مساحت زیر نمودار $MTF=1$ می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مساحت زیر نمودار MTF در جدول ۱ به نمایش در آمده است.

جدول ۱: مساحت زیر نمودار MTF تصویر اولیه و تصویر بازسازی شده ULTRACAM و IKONOS

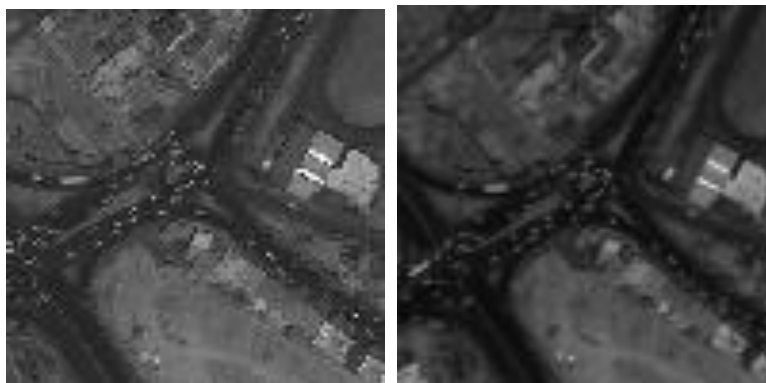
درصد افزایش دقت	مساحت MTF تصویر بازسازی شده	مساحت MTF تصویر اولیه	تصویر بازسازی شده
۱۵٪	۷۳٪	۵۸٪	ULTRACAM
۱۳٪	۶۵٪	۵۲٪	IKONOS

همانطور که مشاهده می‌شود مساحت MTF برای تصویر ULTRACAM ۱۵٪ و تصویر IKONOS ۱۳٪ درصد افزایش یافته است.

نتایج به دست آمده از بازسازی تصویر در شکل ۹ و ۱۰ به نمایش در آمده است.



شکل ۹: برش 100×100 از تصویر ULTRACAM، تصویر راست پیش از بازسازی و تصویر چپ پس از بازسازی



شکل ۱۰: برش 100×100 از تصویر IKONOS، تصویر راست پیش از بازسازی و تصویر چپ پس از بازسازی

با مشاهده تصاویر اولیه و تصاویر بازسازی شده مشاهده می‌شود که انجام بازسازی باعث افزایش وضوح در تصویر شده است.

۴- نتایج و پیشنهادها

در این مقاله به منظور افزایش دقت استخراج اطلاعات هندسی از تصویر، با به کارگیری الگوریتم بازسازی، سعی در کاهش تارشدگی تصویر شده است. با توجه به نامشخص بودن میزان تارشدگی تصویر، با محاسبه PSF و MTF تصویر می‌توان اطلاعاتی از میزان تارشدگی به دست آورد و سپس از MTF به عنوان تابع تخریب تصویر که موجب تارشدگی شده است در الگوریتم بازسازی استفاده نمود. پس از انجام بازسازی، برای ارزیابی کارایی الگوریتم، از MTF تصویر اولیه و بازسازی شده استفاده شده است. مقایسه MTF تصویر اولیه و بازسازی شده نشان می‌دهد که در اثر بازسازی تصویر، MTF تصویر ULTRACAM 15% و MTF تصویر IKONOS 13% افزایش پیدا کرده است. این افزایش بیانگر آن است که اثر تارشدگی ناشی از سیستم تصویربرداری تا حدی کاهش یافته که این امر منجر به افزایش وضوح در تصویر خواهد شد. با مقایسه تصویر بازسازی شده با تصویر اولیه برای هر دو تصویر ULTRACAM و IKONOS نیز کاهش تار بودن تصویر در اثر بازسازی مشهود می‌باشد.

با توجه به فرض اولیه الگوریتم در کوچک و قابل صرف نظر بودن نویز، وجود نویز در تصویر می‌تواند باعث کاهش کارایی الگوریتم و کاهش دقت بازسازی شود. به منظور کاهش اثر نویز و افزایش دقت اطلاعات هندسی تصویر پیشنهاد می‌شود با استفاده از روشهای کاهش نویز کارایی الگوریتم را افزایش داده تا تصویری واضحتر به دست آید.



منابع

- [1] J. Biemond, R. L. Lagendijk, R. M. Mersereau, "Iterative Methods for Image Deblurring", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 78(5), pp. 856-883, 1990.
- [2] A. D. Hillery, R. T. Chin, "Iterative Wiener Filter for Image Restoration", IEEE Transactions on Signal Processing, vol 39(8), pp. 1892-1899, 1991.
- [3] J. p. Papa, N. D. Mascarenhas, L. M. G. Fonseca, "Convex Restriction Sets for CBERS-2 Satellite Image Restoration", International Journal of Remote Sensing, vol. 00(00), pp. 1-20, 2005.
- [4] A. Toprak, I. Guler, "Angiograph image restoration with the use of rule base fuzzy 2D Kalman filter", Expert System with Applications, p1752-1761, 2008.
- [5] B. Suresh, B. A. Shenoi, "New Results in Two-Dimensional Kalman Filtering with Applications to Image Restoration", Transactions On Circuits And Systems, pp. 307-319, 1981.
- [6] Wan Y., Nowak R., WAVELET-BASED STATISTICAL MODEL FOR IMAGE RESTORATION, 2001, IEEE, p598-601
- [7] Taeyoung C., "IKONOS Satellite on Orbit Modulation Transfer Function (MTF) Measurement using Edge and Pulse Method", MSC thesis, South Dakota State University, 2002.
- [8] R. C. Gonzales, R. E. Woods, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 3rd Edition, 2004.
- [9] S. Kuo, R. J. Mammone, "Image Restoration by Convex Projections Using Adaptive Constraints and the L1 Norm", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 40(1), 1992.
- [10] Y. Fung, Y. Chan, "A POCS-Based Restoration Algorithm for Restoring Halftoned Color-Quantized Images", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15(7), 2006.