شناسایی ترک‌های سطحی روسازی بر اساس پردازش تصویر دیجیتال

رضا شهابیان مقدم[۱]، سید علی صحاف[۲]

چکیده

ترک روسازی مظهر اصلی آسیب‌های اولیه راه به شمار می‌آید. استفاده از تصویربرداری دیجیتالی برای برداشت تصاویر روسازی و سپس تشخیص و طبقه‌بندی ترک‌ها، طی دهه گذشته شاهد پیشرفت‌های مداوم بوده است. پردازش تصویر دیجیتال به دلیل مزایای آن از جمله دارا بودن حجم اطلاعات زیاد و قابلیت خودکارسازی فرآیند ارزیابی خصوصیات خرابی روسازی، به طور گسترده بکار گرفته شده است. کاربردهای پردازش تصویر دیجیتال در شناسایی و ارزیابی ترک سطحی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته و سپس مسائل کلیدی شامل بهبود کیفیت تصویر، تقطیع تصویر و آشکارسازی لبه ترک مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج تجربی بکارگیری الگوریتم‌های استفاده شده، تایید می‌کنند که نویز در تصاویر ترک روسازی به طور موثری با فیلترینگ میانه حذف می‌شود، تکنیک اصلاح هیستوگرام تصویر یک رویکرد تقطیع بسیار کاربردی و مفید بوده و الگوریتم تشخیص لبه کنی یک روش شناسایی ایده‌آل مرزهای ترک روسازی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر دیجیتال، شناسایی ترک، آشکارسازی لبه، تقطیع تصویر.

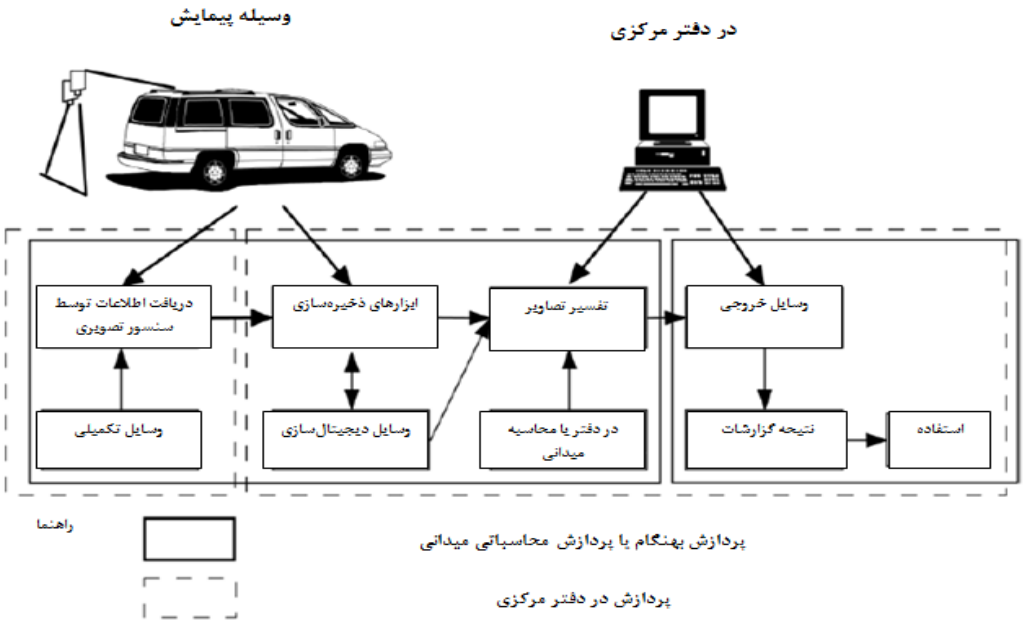
۱- مقدمه

نگهداری روسازی‌ها، یک جنبه بسیار مهم برای دپارتمان حمل و نقل کشورها محسوب می‌شود. اولین گام به سمت نگهداری، شناسایی خرابی‌های روسازی و ثبت آنها برای اقدامات بیشتر می‌باشد. خرابی‌ها، عیوب مشهود سطح روسازی‌ها هستند. ارزیابی‌های دقیق موجب توزیع بهتر منابع مالی و انسانی شده و شرایط سرویس‌دهی بهینه‌ای را برای راه به ارمغان می‌آورد [۱]. وضعیت عملکردی روسازی را می‌توان از طریق انواع مختلف خرابی‌ها مانند ترک‌خوردگی، شیارشدگی و فروپاشی (چاله) ارزیابی کرد. در حال حاضر، روش‌های مختلفی برای پیمایش خرابی‌ها، ثبت و تحلیل داده‌ها وجود دارد [۲]. متخصصین راهسازی از مدت‌ها پیش نسبت به اهمیت اطلاعات خرابی در تعیین کیفیت روسازی آگاهی داشتند. به طور سنتی، جمع‌آوری داده‌های وضعیت روسازی توسط بازرسان که در طول جاده راه می‌روند یا رانندگی می‌کنند و متعاقبا برگه‌های گزارش ارزیابی را تکمیل می‌نمایند، انجام می‌گردید اما این کار هزینه و زمان زیادی به همراه دارد. به علاوه باعث ایجاد مخاطرات ایمنی برای پرسنل شده و اختلافات زیادی در گزارش نهایی به دلیل قضاوت شخصی (subjective) ارزیابان وجود خواهد داشت.

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

به دنبال ارزیابی‌های دستی خسته‌کننده و مسائل ایمنی، انواع مختلفی از روش‌ها برای شناسایی ترک‌ها در روسازی ابداع شده‌اند همچون فنون پردازش تصویر و تکنولوژی‌های اولتراسونیک و مادون‌قرمز. از جمله روش‌های خودکار که بطور گسترده بکارگیری شده است، به نام WiseCrax شناخته می‌شود [۳]. WiseCrax مثالی از یک دستگاه تجاری موجود است که از تصویربرداری مادون‌قرمز برای تشخیص ترک‌های روسازی استفاده می‌کند. یک دوربین بر روی وسیله نقلیه‌ای نصب شده است که به طور پیوسته از روسازی عکس می‌گیرد. سپس تصاویر بطور آفلاین با استفاده از الگوریتم و نرم‌افزار پیشرفته تشخیص تصویر، پردازش می‌شوند. پیکربندی معمول وسیله نقلیه شامل یک یا چند دوربین ویدئویی رو به پایین، حداقل یک دوربین رو به جلو برای پرسپکتیو و تعدادی دوربین اضافی برای ثبت حریم راه، شانه، علائم و سایر اطلاعات بسته به الزامات سازمان است (همانطور که در شکل ۱ آمده است).

روش‌های جدیدی برای شناسایی موثرتر ترک‌ها با دقتی نزدیک به دقت بینایی انسان ابداع شده‌اند و هنوز در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارند. یی و همکاران [۴] یک روش تشخیص پهنای ترک را برای استخراج ترک از تصویر خرابی روسازی و محاسبه عرض ترک ارائه نموده‌اند. لی Li و همکاران [۵] یک رویکرد تحلیل تصویر ترک روسازی را بر اساس dodging تصویر برای بهبود قابلیت اطمینان شناسایی ترک روسازی ارائه نموده‌اند. سیستم‌های ارزیابی خودکار موجود تنها بر روی دقت شناسایی پایین و معضلات الگوریتم کلاس‌بندی تمرکز دارند [۶]. معضل نخست، نویز زیاد ناشی از شرایط محیطی در تصاویر روسازی موجود می‌باشد. دوم، فقدان الگوریتم شناسایی و طبقه‌بندی آسان و موثر است [۷]. اگرچه برخی سیستم‌های بازرسی خودکار در حال حاضر در حال استفاده هستند اما دوربین‌های اسکن سطحی دارای مشکل کنتراست پایین بوده و وضوح تصویربرداری پویا چندان ایده‌آل نیست [۸]. تاکنون هیچ روشی به نتایج کاملا رضایت‌بخشی دست نیافته است [۹].



شکل ۱. عناصر سیستم تصویربرداری روسازی

۲- اهمیت داده‌های خرابی روسازی

خرابی‌ها آسیب‌های سطحی روسازی می‌باشد. آنها نشانه‌هایی از فرسایش ساختار روسازی هستند. سازمان‌هایی که یک سیستم مدیریت روسازی (PMS) را پیاده‌سازی کرده‌اند، بایستی نواقص و خرابی‌های جاده‌ها را به طور دوره‌ای بررسی و جمع‌آوری کنند [۱۰].

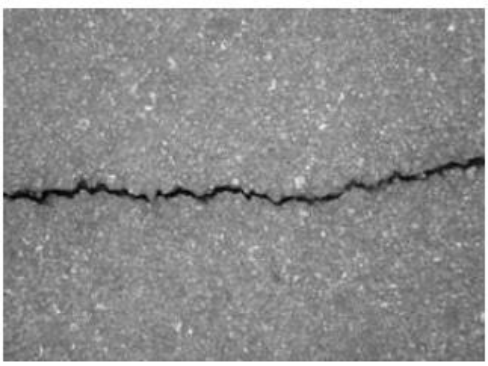
اطلاعات خرابی نسبت به دیگر پارامترهای ارزیابی روسازی، شاخص جامع‌تری در سنجش کیفیت راه ارائه می‌نماید. این اطلاعات برای ثبت شرایط کنونی روسازی، ترسیم تاریخچه گذشته و پیش‌بینی عملکرد آینده روسازی استفاده می‌شود [۱۱]. همچنین داده‌های خرابی روسازی، بعضا به عنوان تنها معیار تعیین کیفیت روسازی در بسیاری از سیستم‌های مدیریت روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر به ویژه برای سیستم‌های مدیریت راه مورد استفاده توسط دولت‌های محلی و در مناطق شهری که در آن اندازه‌گیری‌های اصطکاک و ناهمواری راه به دلیل عدم دسترسی به تجهیزات، هزینه بالا یا عدم کارایی نسبی انجام نمی‌شود، صدق می‌کند.

۳- تحلیل تصویر روسازی

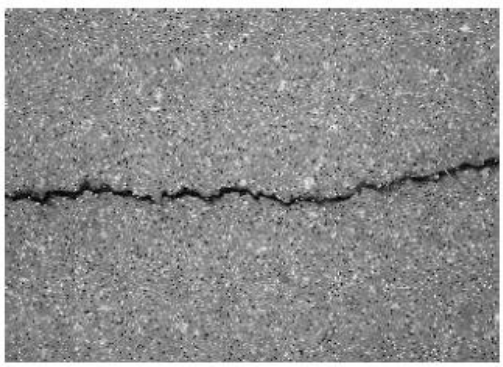
هدف از آنالیز تصویر، استخراج ویژگی‌های خرابی از تصویر روسازی است. پیش‌پردازش با حذف ویژگی‌های خارجی که شدت روشنایی پیکسل بیشتری نسبت به میانگین شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر دارند، انجام می‌شود. در این فرآیند، تمام پیکسل‌های ارائه دهنده خطوط رنگی و بافت سطحی روشن‌تر از متوسط سطوح خاکستری پس‌زمینه، از پس‌زمینه تفکیک می‌گردند.

۳-۱- بهبود (ارتقا) تصویر

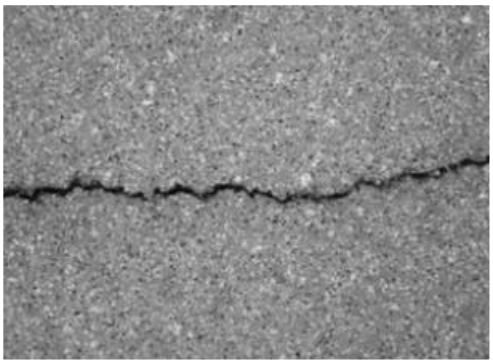
عملیات بهبود تصویر به منظور حذف نویز در تصاویر روسازی بکار برده می‌شود. کاهش نویز یکی از جنبه‌های پیش‌پردازش تصویر در فرآیند شناسایی ترک به شمار می‌رود. فیلترینگ مرسوم‌ترین روش کاهش نویز است. فیلترینگ میانه یکی از رایج‌ترین فنون پیش‌پردازش برای تشخیص ترک بوده که توسط جیت‌پراسیت‌سیری [۱۲] پیشنهاد شد. میانه بسیار کمتر از میانگین به مقادیر پرت حساس است. فیلترینگ میانه بهتر قادر به حذف نقاط پرت بدون کاهش وضوح تصویر است. این ویژگی فیلترینگ میانه، توسط یک مثال کلاسیک از نویز نمک و فلفل (افزودن تصادفی پیکسل های سیاه و سفید در تصویر سطوح خاکستری) در سیگنال تصویر خرابی توضیح داده شده است. نتیجه فیلترینگ میانه (شکل ۷) نشان می‌دهد که نویز توسط فیلتر میانه در مقایسه با سایر عملگرها به طور کامل‌تری حذف شده است.



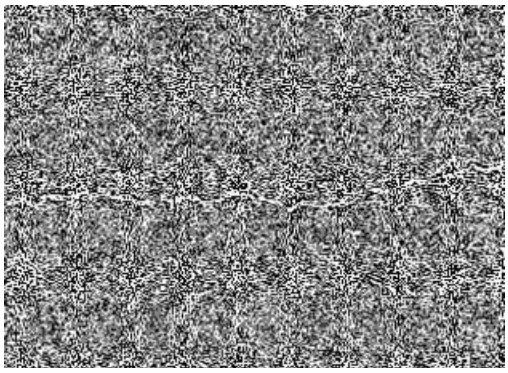
شکل ۲. تصویر خاکستری اصلی روسازی



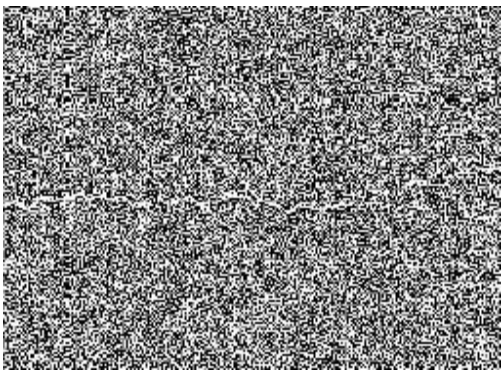
شکل ۳. تصویر خاکستری با نویز نمک و فلفل



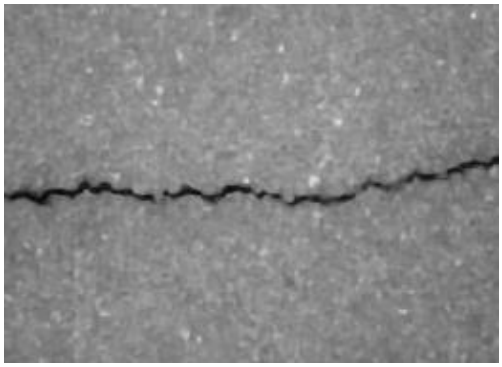
شکل ۴. عملگر گاوسی



شکل ۵. عملگر لاپلاسین



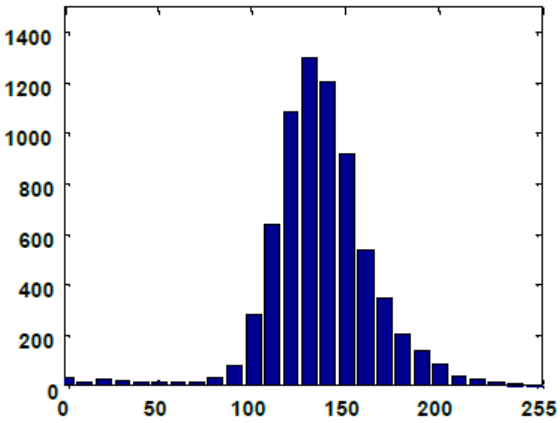
شکل ۶. عملگر لگاریتمی



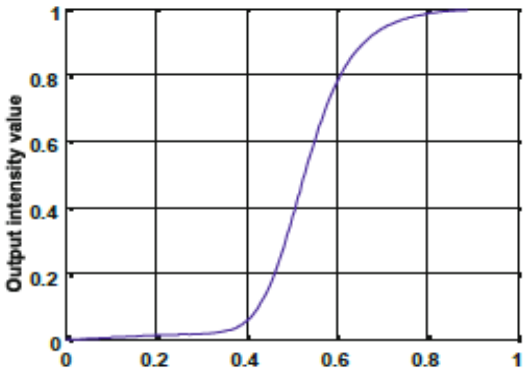
شکل ۷. فیلترینگ میانه

۳-۲- تقطیع تصویر

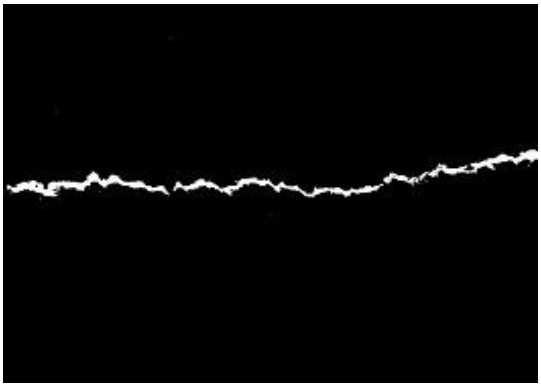
تقطیع (بخش‌بندی) تصویر، مرحله مهمی در تشخیص و طبقه‌بندی خودکار نوع و به ویژه شدت خرابی بوده و کاربرد مهمی برای درزگیری خودکار ترک دارد [۱۳]. از جمله رویکردهای تقطیع تصویر، تکنیک اصلاح هیستوگرام می‌باشد. اصلاح هیستوگرام از طریق برش تکراری بدست می‌آید. در هر مرحله از برش مکرر، پیکسل‌های بیشتری به پس‌زمینه اختصاص داده می‌شوند. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که تنها ویژگی‌های خرابی باقی بمانند. نتیجه نهایی همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، تصویری است که خرابی تفکیک و به راحتی از پس‌زمینه جدا شده است. سپس، یک مقدار آستانه می‌تواند به طور خودکار به منظور جداسازی ویژگی‌های خرابی از پس‌زمینه تعیین شود. تابع تبدیل در شکل ۹ نشان می‌دهد که مقدار آستانه نزدیک به ۰٫۶ است.



شکل ۸. هیستوگرام تصویر اصلی



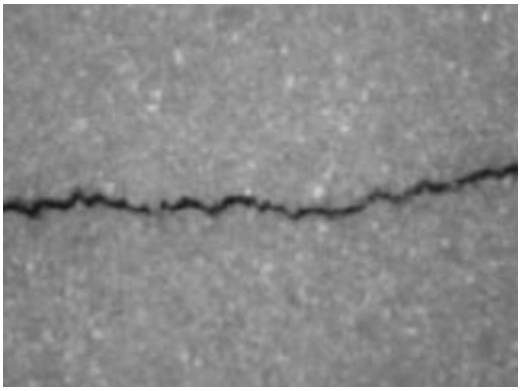
شکل ۹. تابع تبدیل



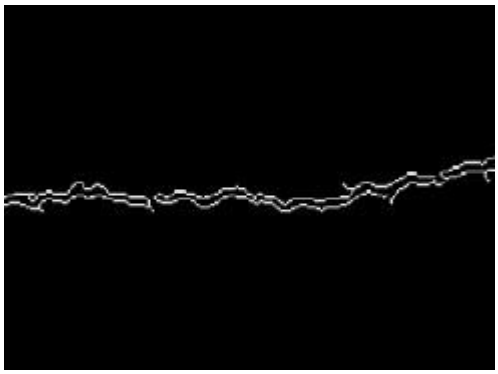
شکل ۱۰. نتیجه اصلاح هیستوگرام

۳-۳- آشکارسازی لبه canny

آشکار ساز لبه کَنی یک آشکار ساز لبه مطلوب در میان الگوریتم‌های رایج تشخیص لبه به شمار می‌رود [۱۴]. تصویر خاکستری روسازی ابتدا با استفاده از یک فیلتر گاوسی با یک انحراف معیار مشخص برای کاهش نویز هموار می‌گردد (شکل ۱۳)، سپس گرادیان‌ها برای تعیین نقاط لبه محاسبه می‌شوند. با استفاده از دو مقدار آستانه ۰,۵ و ۰,۴، نقاط لبه (مرزی) هم‌بسته به هم متصل شدند. قدرت این روش توانایی آن در تشخیص لبه در حضور نویز و آشکارسازی لبه‌های ضعیف است. نتیجه تشخیص لبه کنی ترک روسازی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که شناسایی بهینه مرز خرابی وابسته به پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بوده و پارامترهای بهینه در هر تصویر تغییر می‌کنند. هنگامی که یک انحراف استاندارد بسیار بالا در فیلترینگ گاوسی مورد استفاده قرار گرفت، تشخیص مرز (لبه) خرابی با مشکل مواجه می‌شود. خرابی ممکن است پهن‌تر از واقعیت گردد که در واقع منجر به تشخیص نادرست شدت خرابی می‌شود.



شکل ۱۱. تصویر خاکستری با فیلترینگ گاوسی



شکل ۱۲. نتیجه تشخیص لبه کنی

۳-۴- طبقه‌بندی و ارزیابی خرابی‌های روسازی

پروتکل‌ها و تعاریف بسیاری برای طبقه‌بندی و ارزیابی خرابی‌های روسازی وجود دارد. یکی از پرکاربردترین دستورالعمل‌ها، پروتکل تحقیقی استراتژیک راه با عملکرد بلند مدت (SHRP - LTPP) می‌باشد [۱۵]. پروتکل SHRP – LTPP ابتدا نوع ترک‌ها را با توجه به جهت، مکان و شکل آنها طبقه‌بندی کرده و شدت و وسعت ترک‌ها را با توجه به ویژگی‌های آنها از جمله عرض، طول و مساحت کمیت‌سازی می‌کند.

پروتکل مهم دیگر شاخص ترک‌خوردگی بانک جهانی (UCI) می‌باشد [۱۶]. UCI یک عدد را برای نشان دادن شدت تمامی ترک‌ها در یک قطعه روسازی تعریف می‌کند. برای یک ترک منفرد همچون ترک طولی، عرضی یا مورب، شاخص در واقع حاصلضرب عرض و طول آن تعریف شده است. برای ترک‌های بلوکی و پوست‌سوسماری، شاخص بصورت مساحت دربرگیرنده ترک‌ها تعریف می‌شود. شاخص ترک یکپارچه (ASTM STP ۱۱۲۱) یک پروتکل مشابه با UCI است. چگالی ترک استاندارد را می‌توان به طور خودکار با تقسیم تعداد پیکسل‌های ترک به تعداد کل پیکسل‌های قطعه روسازی تعیین نمود.

۴- نتیجه‌گیری

تصاویر دیجیتال به دلیل توانایی آنالیز تغییرات و توزیع مقادیر سطوح خاکستری پیکسل‌های تصویر خرابی، قادر به تحلیل خودکار روسازی هستند. به همین دلیل، استفاده از تصویربرداری دیجیتال برای ثبت داده‌های سطح روسازی نسبت به تصویربرداری آنالوگ ارجحیت دارد. با پیشرفت تکنولوژی سنسورهای تصویربرداری و فن‌آوری‌های کامپیوتری، اتوماتیک‌سازی فرآیند برداشت و تحلیل داده‌ها، از جمله اهداف اصلی سیستم‌های ارزیابی و مدیریت روسازی نوین می‌باشد. الگوریتم‌های مختلفی در حوزه تحلیل و شرح خودکار خرابی‌های روسازی در حال استفاده بوده و الگوریتم‌های بسیاری نیز در حال توسعه و آزمایش می‌باشند.

مراجع

[1] Kim, J.: Development of a Low-Cost Video ImagingSystem for Pavement Evaluation. Oregon State University. Ph.D. Thesis (1998)

[2] Moghadas Nejad F, Zakeri H, "A comparison of multi-resolution methods for detection and isolation of pavement distress", Expert Systems with Applications, 38(3), 2857-2872 (2011)

[3] T.R.B.E. NCHRP synthesis 334: Automated Pavement Distress Collection Techniques. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. (2004)

[4] Ye, G.R., Zhou, Q.S., Lin, X.W.: Measurement of Surface Crack Width Based on Digital Image Processing. Journal of Highway and Transportation Research and Development 27, 75–78 (2010) (in Chinese)

[5] Li, Q.Q., Hu, Q.W.: A Pavement Crack Image Analysis Approach Based on Automatic Image Dodging 27, 1–5 (2010) (in Chinese)

[6] Wang, R.B., Wang, C., Chu, X.M.: Developments of Research on Road Pavement Surface Distress Image Recognition. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition) 32, 91–97 (2002) (in Chinese)

[7] Zhang, J.: Study on Pavement Crack Identification and Evaluation Technology Based on digital Image Processing. Chang'an University. Ph.D. Thesis (2004) (in Chinese)

[8] Chu, X.M., Yan, X.P.: The Automatic Search of Pavement Surface Distress Image Based on on-line Learning. In: International Conference on Transportation Engineering 2007 (ICTE 2007), vol. 246, pp. 3282–3287 (2007)
[9] Tsail, Y.C., Kaul, V., Russell, M.M.: Critical Assessment of Pavement Distress Segmentation Methods. Journal of Transportation Engineering 136, 11–19 (2010)
[10] Haas, R., Hudson, W.R., Zaniewski, J.: Modem Pavement Management. Krieger Publishing Company, Malabar (1994)
[11] Shahin, M.Y.: Pavement Management for Airport, Roads and Parking Lots. Chapman & Hall, New York (1994)
[12] Jitprasithsiri: Development of a New Digital Pavement Image Processing Algorithm for Unified Crack Index Computation. University of Utah. Ph.D. Thesis (1997)
[13] Mustaffara, M., Lingb, T.C., Puanb, O.C.: Automated Pavement Imaging Grogram (APIP) for Pavement Cracks Classification and Quantification-A Photogrammetric Approach. The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences 37, 362–372 (2008)
[14] Canny, J.: A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8, 679–698 (1986)
[15] Hawks, N.F., Teng, T.P., Bellinger, W.Y., Rogers, R.B., Baker, C., Brosseau, K.L., Humphrey, L.C.: Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project, SHRP-P-338. National Research Council, Washington, D.C. (1993)
[16] Paterson, W.D.: Proposal of Universal Cracking Indicator for Pavements. Transportation Research Record 1455, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.69–76 (1994)