

機関番号：13501

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：平成21～22年度

課題番号：21760354

研究課題名 (和文) 舗装路面の健全度評価のための高精度画像処理システムの構築

研究課題名 (英文) An image processing system for health monitoring of road pavement

研究代表者

吉田 純司 (JUNJI YOSHIDA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：90345695

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、画像処理を応用し舗装路面の健全度を評価するシステムの構築を行った。具体的には、舗装路面からクラックを抽出する画像フィルタを構築した。さらに舗装の種別を自動で分類し、フィルタを適用する領域を自動認識するアルゴリズムを構築した。これらの画像処理を統合し、舗装画像から全自動で路面クラックの位置やレベルを抽出することで、健全度評価と損傷箇所の特定を行うものである。本システムにより、これまで専門員が目視で行っていた作業を全自動で行うことが可能となるため、手間・コストの大幅な削減に繋がるものと考えられる。

研究成果の概要 (英文)：

This research presents an image processing system for health monitoring of road pavements. As the first step, an image filter to detect cracks accurately from various kinds of images of road pavement. Then, in order to utilize the filter effectively, we propose two methods as pre-processes for applying the filter. One is a method to classify type of pavement (concrete or asphalt) by using maximum likelihood classifier. Another is a method to recognize the region where cars might mainly pass from the images. Finally, these methods are combined into one system and it enables us to automatically evaluate health level of the pavement from the images and indicate points where maintenance is required.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：道路舗装, 画像処理, 健全度評価, アスファルト舗装, コンクリート舗装

## 1. 研究開始当初の背景

20世紀後半の建造物や交通ネットワークの建設ラッシュに見られるハードウェアの発展の時代を経て、21世紀は情報化技術に代表されるソフトウェアの確立が中心の時代となりつつある。また、近年、地球環境の抱える様々な問題はその進行を留めるところか、危機的状況へ向かう速度をより一層速めており、社会基盤を取り巻く世界的なトレンドは、「生産」の時代であった20世紀にとって代わり、確実に「再生」や「保全」にそのウェイトを移行している。このような状況下において、これからは、長期再生型の社会基盤を確立するために、ハード的な長寿命化を可能にする新設技術と新材料の開発とともに、ソフトウェアの面から建造物の長寿命化を支えるメンテナンス技術が期待されている。

我が国では、産業、経済、社会の安定と発展を推進すべく、全国的な交通ネットワークの整備が発展の途上にある。例えば高規格幹線道路網は、1987年に策定された第四次全国総合開発計画によって計画されてから、今日まで継続的に急速な整備が進められている。今後、新たな道路網の整備については不透明な部分があるものの、2008年4月現在で、供用下にある道路は、高速道路が7,300km、一般国道が54,300kmにも及んでおり、安全で安定した道路ネットワークを提供するためには既設道路網の合理的かつ効率的な維持・管理を行うことが重要な課題となっている。

特に舗装路面については、路面に生じるひび割れや、わだち漏れなどの損傷が車両走行に悪影響を及ぼし事故原因となる可能性が高い。そのため、利用者に高い安全性を提供することを目的として、道路管理者は日常的に路面状態の検査を行い、その結果に基づいて損傷部の補修や、新たな舗装路面の敷設が行われている。この日常的な検査では、パトロール車などを走行させ専門員が損傷状態を目視で確認して健全度を判定することが通常であるが、非効率的であることから近年では路面を画像撮影しその後、複数の専門員により記録した膨大な画像を判定する方法などが採用されている。しかし、この方法でも損傷を同定する手間が大きな負担となっており、加えて損傷の判定が客観性に欠けるという問題点を有している。

## 2. 研究の目的

本研究では、アスファルト舗装およびコンクリート舗装を対象に、路面画像から損傷を自動抽出し、その健全度を評価するための画像処理システムの構築を目的とする。具体的には、

- (1) 舗装路面画像から損傷を安定して抽出するための画像フィルタの構築、
  - (2) 画像フィルタを適用する領域を撮影画像から自動認識するための画像処理手法の構築、
  - (3) 抽出された損傷から健全度を評価するための指標の提案、
  - (4) 各処理手法の統合と、実舗装路面の画像を用いたシステムの性能確認、
- を企図するものである。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず、遺伝的プログラミングを応用した並列型画像フィルタ自動探索システムを用いて道路舗装画像からクラックを抽出するための画像フィルタを構築する。

次いで、実舗装画像に対してクラック抽出能力の向上と、演算時間の短縮を目的として、上述した並列画像フィルタを効率的に適用する方法を提案する。

次に、評価システムの自動化のために必要な、「路面の評価範囲の自動的に指定する方法」と、「路面の種類を自動的に判別する方法」とを構築する。

最後に、これらの画像処理手法を統合し、舗装路面の健全度を全自動で診断・評価するシステムの構築を行う。

## 4. 研究成果

### (1) クラック抽出のための画像処理手法

#### ① 画像フィルタの自動探索システム

多様な舗装画像に対して、目的の効果を頑健に達成するため、図1に示すような、木構造状の画像フィルタ<sup>1)</sup>を構築することとした。木構造の適切な組み合わせの探索には、遺伝的プログラミング（以下、GP）を用いたシステム<sup>2)</sup>（以下、木構造状画像フィルタ生成システム）を応用した。GPによって探索される複合画像フィルタの評価に用いる画像（原画像）とそれに対応する目標画像および重み画像（以下、これらを教師画像セットと呼ぶ）の一例を、図-2に示す。さらに、複数の教師

画像セットを木構造状画像フィルタ生成システムに入力し、複合画像フィルタの評価を統合的に行う。また、短期間でより良好な探索解を得るため、二段階に分けフィルタの探索を行った。

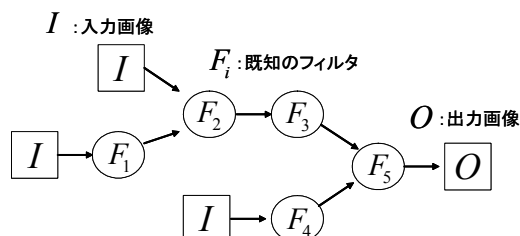
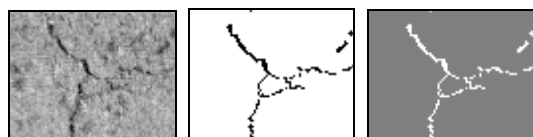
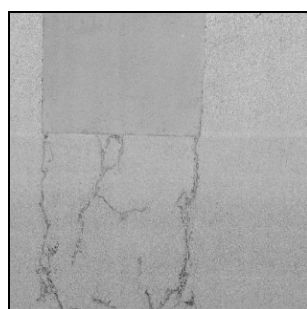


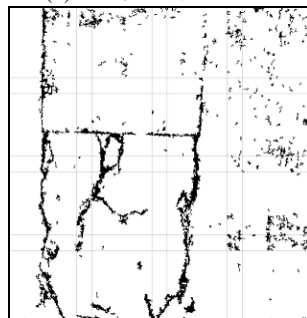
図1 GPによる木構造状の画像フィルタ



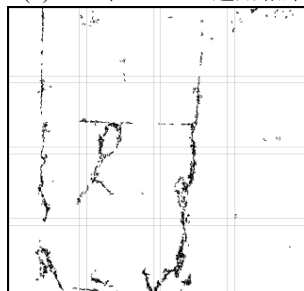
(a) 原画像 1 (b) 目標画像 1 (c) 重み画像 1  
図2 画像フィルタ探索のための教師画像の例



(a) 舗装画像の一例



(b) フィルタAの適用結果



(c) フィルタBの適用結果

図3 アスファルト舗装を対象とした2種類の画像フィルタ

## ② 画像フィルタの構築

本研究では、木構造状画像フィルタ生成システムを用いて、まず、アスファルトを対象とした画像フィルタ 2 種類を探索した。1 種類目は、細部にわたりクラックを良好に抽出する「フィルタ A」であり、2 種類目は、ノイズを最小限に抑え、明らかなクラックのみを抽出する「フィルタ B」である。さらに、コンクリートを対象とした「フィルタ C」の探索も行った。これは、ノイズを最小限に抑え、道路進行方向に伸びるクラックを優先的に抽出するものである。

図 3(a)の舗装画像にフィルタ A、フィルタ B を適用した結果を、それぞれ図 3(b),(c)に載せる。図 3 より、フィルタ B の方がノイズが非常に少ないと分かる。従って本研究では、アスファルト舗装用の画像フィルタとしてフィルタ B を用いる。

## ③ 画像フィルタの適用方法

本研究では、道路舗装に発生するクラックを基に、路面の健全度を診断するシステムの第一ステップとして、道路舗装の診断対象画像から、高い精度でクラックを抽出するための画像処理手法の構築を行った。具体的には、図 4 のように、舗装画像に正方形のグリッドを作成し、適用範囲を細かく分けた後にブロックの境界付近のみが重なるように、フィルタの適用範囲を定める。さらに個々の領域にフィルタ適用後、オーバーラップ部分を重ね合わせ、各領域の統合を行う。この時、片方の領域にでもクラックがあると、その部分はクラックと判定する。

本研究で構築した適用方法を用いた結果を、図 5 に示す。図 5(a)は、フィルタを適用した結果を重ね合わせる場合、図 5(b)は結果を重ね合わせない場合である。両者を比較すると、重ね合わせを行う場合の方が、特に丸枠内において、細かいクラックがより抽出できていることが分かる。なお、計算時間は 50m 舗装分の画像一枚あたり約 150 秒である。

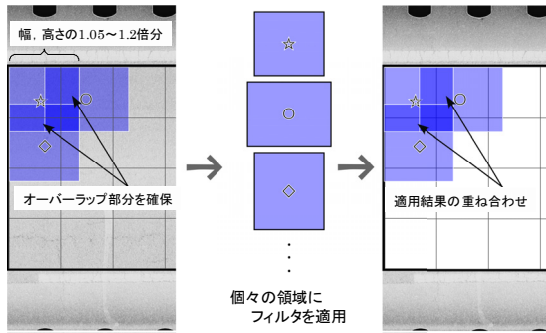
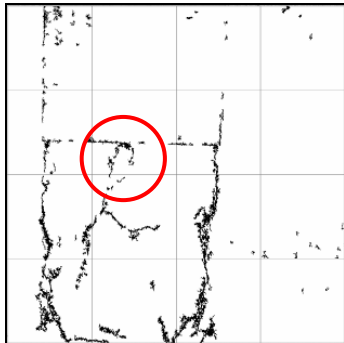
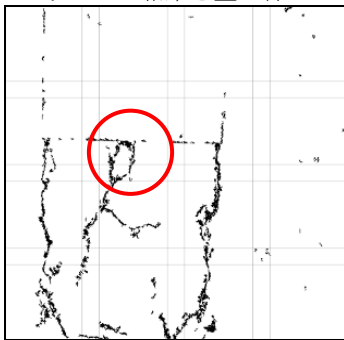


図4 画像フィルタ適用方法



(a) 各ブロックでの結果を重ね合わせない場合



(b) 各ブロックでの結果を重ね合わせる場合

図5 画像フィルタの適用例

## (2) 画像フィルタ適用のための前処理

### ① コンクリート舗装への画像フィルタの適用方法の検討

本研究で対象としている舗装画像には、図6のようなコンクリート舗装も含まれる。コンクリート舗装画像へ画像フィルタを適用する際に、ノイズの原因となる縦方向の無数の切り込み（以下、グルーピング）の除去を周波数フィルタを用いて行った。具体的には離散コサイン変換(DCT)によって得られた周波数成分のうち、グルーピングを表す周波数部分を除去する。図7に示した除去後の舗装画像より、グルーピングが低減されていることが分かる。除去後、この画像にアスファルト用の画像フィルタを適用したが、グルーピング部分に起因するノイズが現れた。よって、

本研究ではアスファルト舗装およびコンクリート舗装を分類し、各々の舗装に対応したフィルタを適用する。

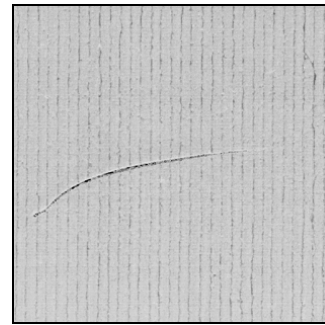


図6 コンクリート舗装の例

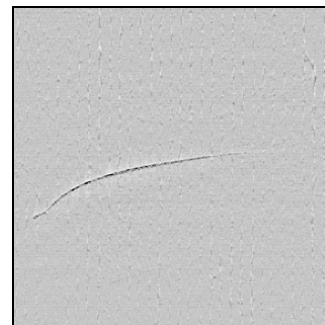


図7 グルーピング除去後の例

### ② 画像フィルタを適用する領域の自動指定方法

本研究において構築を行う健全度評価システムは、白線内を診断の対象としている。そこで、入力画像から白線を自動的に認識し、白線内部を自動指定できる手法を構築した。白線部の認識には、画像をある閾値を境に白と黒の二色に分け（二値化）、白線部を抜き出すことが有効な手段であると考えられた。

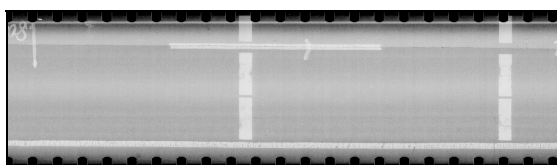
二値化の前に、各画像の階調値分布の平均値および分散を、白線と他の部分の明るさ差が大きな画像の値に、統一する処理を施した。これにより、各画像で同一の閾値を使用できる。また、舗装画像中央部の明るい箇所が原因のノイズを防ぐために、画像中央部を一定値で置き換えた。さらに、計算時間短縮のため舗装画像を縦横1/4に縮小する。

この後、二値化を行いノイズ除去処理を行うことにより白線を抽出する。白線を抽出した画像を図8(b)に示す。図8(b)より、中央部にかかる白線部分が残ってしまったことが分かる。この後、最小二乗法を用いて白線の内側を示す上下2本の直線を求めるのだが、このまま求めた場合、直線の算出に影響を及ぼ

す恐れがある。そこで、画像中央部にかかる白部分の除去を行った。

上下2本の直線の決定するには、画像中央部から上下方向に白画素の走査を行い、白画素の座標値を記憶し、この座標値を基に上下の直線を最小二乗法を用いて直線近似する。さらに、走査によって得られた白画素と算出された直線との差の二乗平均値だけ直線を中央部に平行移動させる。これにより、白線の内側を指定した画像を図8(c)に示す。

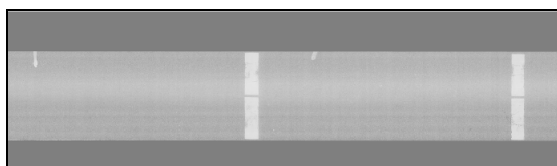
一方で、白線抽出が上手くいかない画像もある。その場合、直線を推定する必要がある。例えば、下部の白線が抽出できており、上部の白線の一部しか抽出できていない時には、下部の直線式を最小二乗法により算定した後、上部の直線式の傾きは下部と同じであると仮定し、切片のみを最小二乗法により求める。また、下部の白線が抽出できており、上部の白線は全く抽出できていない時には、上部直線の切片も推定する必要がある。具体的には、下部直線の切片値から、入力画像の高さの0.57倍の値を引くことにより求める。本研究で用いる舗装画像の高さは統一されており、白線間の距離は画像の高さの約0.57倍であるため、この値を用いた。さらに、上下の白線共に上手く抽出できない時は、一つ前の画像より導き出した直線式を用いることとした。これらの手法により、最終的に94.8[%]の舗装画像で画像フィルタの適用範囲を正しく自動認識できた。



(a) 舗装画像の一例



(b) 白線を抽出した結果



(c) 白線内部を切り抜いた画像

図8 白線内部の自動指定

### ③ アスファルト舗装とコンクリート舗装の自動識別法

本研究で対象としている舗装路面には、アスファルト舗装とコンクリート舗装の2種類がある。これまで、各舗装に対応した画像フィルタを構築し、コンクリート舗装に見られるグルージングの除去方法を提案した。

そこで、各舗装路面に合った処理を自動で行えるように、路面の種類を自動で判別する手法を構築する。具体的には各画像の明るさの違いと、コンクリート舗装特有のグルージングの有無を表す2種類の「特徴量」と呼ばれる値を用いて、最尤推定法にて舗装の分類を行った。各画像の明るさの違いについては、入力画像の階調値の平均をとり求める。さらに、グルージングを検出する特徴量の計算には、Sobel フィルタの水平方向微分値<sup>3)</sup>を用いた。このフィルタは、水平方向に階調値が急激に変化する部分、すなわち縦方向の線やエッジでの値が大きくなる性質がある。2つの特徴量である入力画像の階調値の平均と水平方向微分値を算出するにあたり、舗装画像全体から8つの小さな領域を切り取り、これらの領域から特徴量を算出する。また、水平方向微分値のみ、各領域を縮小及び補正した後に算定する。最後に、各領域の値を求めた後に階調値平均についてソートし、その中央値の平均を画像全体の特徴量とした。

50 m 相当のアスファルトおよびコンクリート舗装画像 23 枚に対し、2つの特徴量を求めた図(特徴空間)を図9に示す。図9に示した特徴空間を基に、各特徴量のバラツキを考慮したマハラビノス距離により、未知画像の識別を行う。図中の点線より左側はアスファルト、右側はコンクリート舗装として識別される。なおこの手法の識別率は、99.5[%]であったことを記しておく。

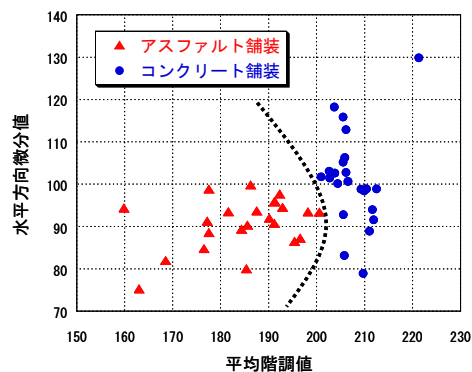


図9 各舗装画像の水平方向微分値と画像の平均階調値

### (3) 各画像処理手法を統合した健全度評価システム

これまでの自動化手法を統合し、複数の舗装画像に並列画像フィルタを自動で適用する手法を構築した。手順としては、アスファルトやコンクリートの舗装画像が混在する録データから、対象画像を読み込み、アスファルトかコンクリートかを判定する。次いで画像フィルタの適用領域を自動で定めた後に、画像フィルタを適用するものである。

さらに、この手法にクラック診断機能を加えることにより、健全度評価システムの構築を行う。具体的には、まず、グリッド内でクラックと判定された画素の数の和を求め、グリッド内の総画素数に対する割合を算出する。次に、その割合が、ある閾値より大きな値をとるか判定し、閾値より大きな値をとった場合、そのグリッドにはクラックが存在するとして判定する。そして、対象区間全体のグリッド数に対するクラックありと判定されたグリッド数の割合によって、概算的なひび割れ率を算出するという手法である。

閾値の設定を行うために、現行の評価が行われた 50m 相当のアスファルト舗装画像 44 枚と、コンクリート舗装画像 6 枚を用いて、現行の評価基準により求められたひび割れ率と、算出したひび割れ率との差を比較した。その結果、アスファルト舗装の場合、閾値を 0.415[%]にすると平均誤差が約 9[%]となった。さらに、コンクリート舗装の場合、閾値を 0.2[%]とした時に、平気平均が約 2[%]と最も小さくなった。よって、これらの閾値によりグリッド単位でのクラックの有無を判定し、システムにおける概算的なひび割れ率を算出する。

最後に本システムの有効性を確認するため、100km 分の舗装画像に対し、本システムを適用した。その結果、全画像に対し定性的には問題ない結果が得られていることを確認した。また全処理を、24 時間程度で終わることができた。

以上のような研究成果を受け、本研究では、システムの実用化に向け、GUI を装備し、一般のエンジニアが利用できるような形式のプロトタイプを開発した。現在、道路の維持・管理を行う現場において、システムの利便性などを確認している段階である。

### 参考文献

- 1) 西川貴文, 吉田純司, 杉山俊幸, 斉藤成彦, 藤野陽三: 木構造状フィルタを用いたコンクリートのクラック抽出のためのロバストな画像処理システム, 土木学会論文集A, Vol.63. No.4, pp.599-616, 2007.
- 2) 長尾智晴: 進化的画像処理, 昭光堂, 2002.
- 3) 田村秀行: コンピュータ画像処理, オーム社出版局, pp.46-48, 2002.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 舗装路面のクラック抽出と損傷レベルの評価方法

発明者: 吉田純司, 七五三野茂, 神谷恵三, 熊田一彦, 風戸崇之

権利者: NEXCO 総研

種類: 特許

番号: 特願 2010-042247

出願年月日: 2010 年 2 月 26 日

国内外の別: 国内

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

吉田 純司 (JUNJI YOSHIDA)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部

・准教授

研究者番号: 90345695

#### (2) 研究分担者

なし

#### (3) 連携研究者

なし