

## 研究速報

### 液晶空間光変調素子を用いる凍結路面の強調

三浦 則明<sup>†a)</sup>石田 直也<sup>†</sup>曾根 宏靖<sup>†</sup> (正員)原田 康浩<sup>†</sup>

Enhancement of Iced Area on Roads Using Liquid-Crystal Spatial Light Modulator

Noriaki MIURA<sup>†a)</sup>, Naoya ISHIDA<sup>†</sup>, *Nonmembers*,  
Hiroyasu SONE<sup>†</sup>, *Member*,  
and Yasuhiro HARADA<sup>†</sup>, *Nonmember*<sup>†</sup> 北見工業大学, 北見市Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho, Kitami-shi,  
090-8507 Japan

a) E-mail: miura@cs.kitami-it.ac.jp

あらまし 車載カメラから路面上の凍結部分を検出するため、偏光情報をもとに凍結部分を強調する手法を提案している。提案手法は、液晶空間光変調素子を用いて偏光の空間的な分布を制御する方法と得られた画像の処理方法を含んでいる。実験によって、凍結路面の強調が実現できることを確認している。

キーワード 凍結路面強調, 偏光, 空間光変調素子

#### 1. まえがき

寒冷地では、特に冬期間には路面状況がめまぐるしく変化するため、進路前方の路面状況を検出・判定し、運転者の判断を補助するシステムが有用である。ただし、前方の凍結路面を検出するには専用光源からの光を路面に投射するような能動的な手法は使えず、自然光下での検出を実現する必要がある。

自然光下で路面湿潤状況の検出を行う方法として、路面からの反射光の偏光情報を使う方法 [1] や輝度情報を使う方法 [2] が提案されている。寒冷地では、視認 (つまり輝度情報) では凍結していることが分からないブラックアイスバーンと呼ばれる状況が生じることがあり、本研究では偏光情報を用いることを前提とした。ただし、論文 [1] の方法では、2種類の偏光情報を取得する際に時間差が生じてしまうため、移動車両で利用することはできない。

これを克服するため、本論文では液晶空間光変調素子 (以下、液晶素子) を用いて空間的な偏光分布を制御し、2種類の偏光情報を同時に記録した1枚の画像から凍結部分の強調を行う手法を提案する。このような強調処理は、凍結部を非凍結部から区別するための前処理として重要である。

提案手法では、ある瞬間の偏光情報を記録した画像1枚だけを処理するため、カメラが移動しているか否かは処理する画像にはほとんど影響を与えない。この

ため、本研究では定点カメラによるシステムを開発し、実際に凍結路面を撮影して実験を行う。実験で提案手法の効果を確認できれば、車載の場合でも有効であるという見通しが得られる。

## 2. 提案手法

### 2.1 凍結路面による偏光特性

道路面が乾燥している場合、路面上の細かな凹凸により光は散乱するため、反射光の偏光特性には顕著な特徴は出ない。一方、路面に水がたまった冠水状態では、水面で光が鏡面反射を起こし、偏光特性に変化が現れることが指摘されている [1]。凍結路面の場合も、冠水状態と同じ性質をもつと考えてよい。

凍結路面に対する入射光と反射光を考え、両者を含む面を入射面とし、入射面に平行に振動する偏光を水平偏光、入射面に垂直に振動する光を垂直偏光と呼ぶ。反射面 (路面) における水平偏光及び垂直偏光のエネルギー反射率  $R_p$ ,  $R_s$  は、入射角が鉛直入射よりある程度大きい場合には、常に  $R_s > R_p$  となる。つまり、路面上で  $R_s > R_p$  となる領域を検出すれば、鏡面反射している領域、すなわち凍結している部分が特定できる。

### 2.2 液晶素子による偏光制御

液晶素子は液晶の分子配向を工夫することで、素子に旋光性をもたせてある。また、電極に電圧を印加すると、分子配向が変化し旋光性が消失する。この性質を用いれば、素子に入射する光の偏光状態を調節することができる。

路面からの反射光を画像として見た場合、水平偏光成分は画像では縦方向の振動に、垂直偏光成分は横方向の振動に対応している (図1)。この光が液晶素子の電圧が印加されていない部分を通過すると、偏光面が90度回転し、垂直偏光成分が縦方向の振動となる。一方、電圧を印加した部分では振動面が変化せず、そのまま水平偏光成分が縦方向の振動となる。液晶を透過

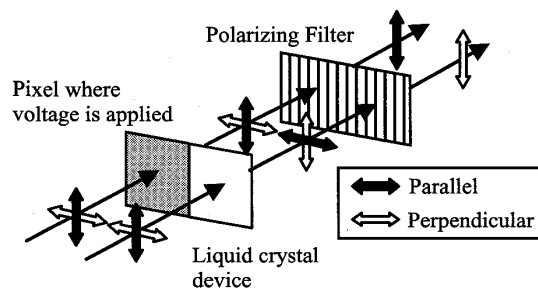


図1 液晶素子による偏光の制御

Fig. 1 Polarization control by a liquid crystal device.

した後、縦方向の偏光のみを透過する偏光フィルタを通すと、電圧を印加した部分では水平偏光成分、印加しない部分では垂直偏光成分が検出される。

### 2.3 提案手法の原理

液晶素子を用いて、水平偏光と垂直偏光の情報を空間的に交互に、1枚の画像中に同時に記録することを提案する。偏光の配置パターンとして簡単でかつ効果的なのは、電圧をかける/かけない画素を1画素ごとに市松模様状に配置するものである。こうすると、注目画素とその4近傍の画素は異なる偏光情報をもつことになる。注目画素の値を  $x$ 、4近傍画素の平均値を  $y$  として、以下のフィルタを用いて、注目画素での水平偏光と垂直偏光の輝度の差異を評価する。

$$r = a\{1 - \min(x, y) / \max(x, y)\} \times 255 \quad (1)$$

ここで、 $\max$  と  $\min$  はそれぞれ要素の大きい方と小さい方を表す。 $a$  は画像を見やすくするための scaling factor であり、実験的に決定する。水平偏光と垂直偏光の明るさに差がなく、 $x = y$  となる場合には、このフィルタの出力は  $r = 0$  となり、両者に差がある場合は、 $r > 0$  となることが分かる。つまり、 $r$  の値が大きな領域を凍結部分とみなすことができる。

このフィルタは非常に簡単な演算のみを含んでいるので、容易にハードウェアで実装可能という利点をもつ。一方、注目画素とその4近傍の値の違いを評価する点がラプラシアンフィルタに類似しており、画像中のエッジなどにも反応してしまう。ただし、注目領域を路面部だけに限定すればエッジは多量には存在しないため、実用上は問題ないと考えている。

### 2.4 提案システム

提案手法を実現するための光学系において本質的に必要な条件は、液晶素子上と撮像素子上で結像すること、及び両者の間に偏光フィルタを置くことであり、光学系そのものの構成には様々な形態が考えられる。

車載を考えた場合最も望ましい形態は、光学系が簡単で小型化が容易なように、液晶素子、偏光フィルタ及び撮像素子を空間的に密着させて配置するものである。通常のカメラと同様に素子の前面にレンズを置いて撮像するだけでよい。ただし、三つの素子を密着させることに新たな技術開発が必要となる。

現行の技術で実現可能な構成の一例は、第1のレンズで液晶素子上に結像し、この像を更に第2のレンズによって撮像素子上に結像するものである。このとき、偏光制御素子と撮像素子の間の任意の場所に偏光フィ

ルタを置く。ここでは、この構成のシステムを実現し、提案手法の原理を実証するための実験を行う。

## 3. 実験

### 3.1 実験装置

図2に実験に用いたシステムを示す。第1のレンズには  $f = 50 \text{ mm}$  の標準レンズ、第2のレンズには倍率が  $0.75 \sim 0.08$  で可変なマクロレンズを用いた。液晶素子は透過型の Holoeye 社製 LC2002、テレビカメラは Sony 社製の白黒 CCD カメラ XC77 である。それぞれの画素サイズは  $32 \mu\text{m}$ 、 $9.9 \mu\text{m}$  であり、液晶面に対する撮像面上の像の比がほぼ  $9.9/32$  になるように、マクロレンズを調節した。テレビカメラから出力される信号を画像ボードを用いて取得した。

### 3.2 実験結果

実験は北見工業大学のキャンパス内で行った。実験システムを校舎内の2階に固定し、構内のアスファルト路面を撮影した。図3(a)はフィルタリング前の画像である。画像中央付近にある2色のポールの根元とカメラを結ぶ線が、路面に対する垂線となす角はおよそ  $80$  度であった。撮影日時は、2009年12月14日午前11時20分で、うす雲はあるがおおむね晴れの天気だった。図ではほぼ横から太陽光が差し込んでいる。画像には写っていないが、右手に大きな建物がありそ

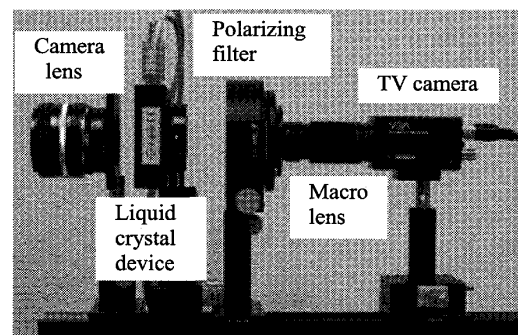


図2 実験装置

Fig. 2 Experimental setup.

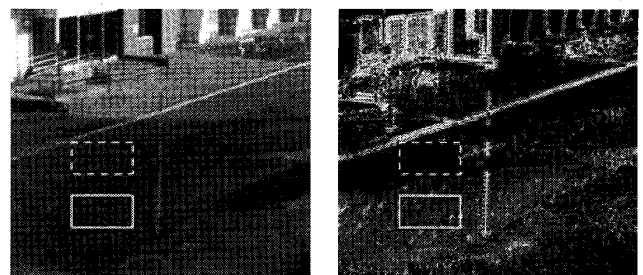


図3 フィルタリング (a) 前と (b) 後に得られた結果

Fig. 3 Results (a) before and (b) after filtering.

表 1 非凍結部と凍結部の画素値の比

Table 1 Ratios of mean pixels-values on iced area to those on non-iced area.

Filtering	Fig.3	Fig. 4	Fig. 5
(a) Before	0.90	1.10	0.87
(b) After	2.36	2.43	1.98

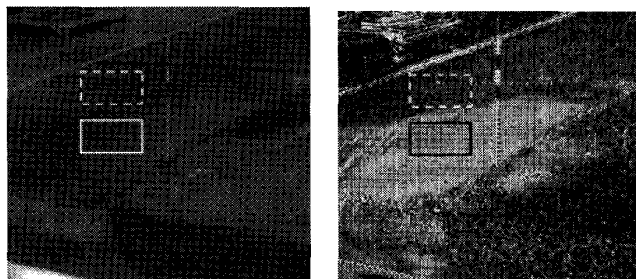


図 4 フィルタリング (a) 前と (b) 後に得られた結果  
Fig.4 Results (a) before and (b) after filtering.

の影が画像の下半分に見えている。現場で確認したところ、この影中の下側の部分は凍結していたのであるが、画像を見た限りでは乾燥面との区別はつかない。

図 3 (b) はフィルタリングして得られた画像 ( $a = 4$ ) である。凍結部分が周りより明るくなっているのが分かる。表 1 には、乾燥部 (破線四角) に含まれる画素の平均値に対する凍結部 (実線四角) の平均値の比を示した。フィルタリングする前は凍結部と乾燥部の値はほぼ同じであったのに対し、フィルタリング後は凍結部の値が 2 倍以上大きくなっており、凍結路面の強調に成功していることが分かる。

ここでは、1 画素おきではなく 4 画素おきに市松模様になるように液晶素子に電圧を印加するとともに、 $y$  の平均計算においても、隣接画素ではなく上下左右に 4 画素離れたものを使用した。これは、4 画素より小さくすると良好な結果が得られなかったためである。また、4 画素に設定した場合でも、図 3 (b) のように凍結部分がまだらに明るくなっている。これらの原因は、液晶素子の画素の像が CCD 上で結像する位置とカメラの画素の位置がずれていたこと、及び用いた液晶素子では電極からの電場の「もれ」があり、隣の画素に影響を及ぼしてしまうことの二つと考えている。

画像の冗長性を活用するには、偏光状態が変化する周期をなるべく細かくすることが重要であり、1 画素ごとに市松模様配置をするのが理想的である。しかし、今回の実験において 4 画素程度の大きさにしても十分に凍結路面の強調が可能であることが確認できた。

図 4 (a) は図 3 と同日の午後 3 時 8 分頃に撮影され

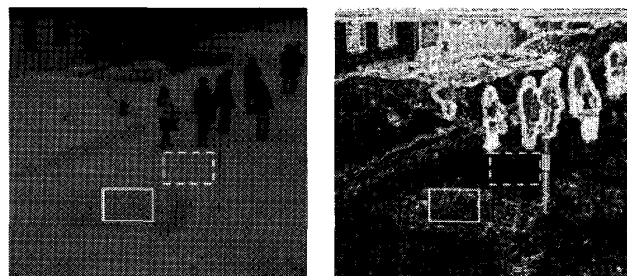


図 5 フィルタリング (a) 前と (b) 後に得られた結果  
Fig.5 Results (a) before and (b) after filtering.

た画像である。かなり日没に近く、画像右手前から日光が差しているはずであるが、明確な影は確認できない。フィルタリング後の出力が (b) であり ( $a = 4$ )、凍結部分が明確に現れているのが分かる。図 3 (b) と凍結部分の現れ方が異なるのは、太陽の位置と空からの散乱光の関係、画像の明るさなど撮影条件の違いによるものである。

図 5 (a) は 2010 年 1 月 20 日午後 2 時 32 分に撮影した画像である。天候は曇りであった。中央左下に見える楕円形状の暗い領域は、水をまいて作っておいた圧雪上での凍結部分である。(b) はフィルタリング後の画像であり ( $a = 10$ )、凍結部分は明るくなってはいるが、比の値が前二者に比較して小さくなった。これは、撮影条件の違いだけでなく、雪が混ざった透明度の低い氷であり散乱の影響が大きいこと、凍結面にかなりの凹凸があることなどが原因と考えている。

#### 4. むすび

液晶素子を用いて空間の偏光分布を制御し、水平偏光と垂直偏光の情報を同時に取得して凍結路面強調を行う手法を提案した。定点カメラに基づくシステムによって凍結路面の強調が実現できることを確認し、提案手法を車載システムに適用できるという見通しを得た。今後の課題は、車載システムで提案手法の効果を実証すること、及び照明条件や路面状況の影響を詳細に調査することである。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構シーズ発掘試験 (01-082) の支援により行われた。

#### 文 献

- [1] 上田浩次, 堀場勇夫, 池谷和夫, 大井史倫, “画像処理を用いた路面湿潤状況検出方式,” 情処学論, vol.35, no.6, pp.1072-1079, June 1994.
- [2] 久野徹也, 杉浦博明, 吉田潤一, “車載カメラによる路面状態検出方式の検討,” 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.10, pp.2301-2310, Oct. 1998.

(平成 22 年 5 月 7 日受付, 7 月 23 日再受付)