

夜間の歩行者認識支援を目的とした重畳画像の構成手法

Image Fusion for Night-time Pedestrian Recognition Assistance

江口 純 司*
Junji EGUCHI

近 藤 いずみ*
Izumi KONDO

小 池 弘 之*
Hiroyuki KOIKE

要 旨

夜間における歩行者事故低減を目的として、近赤外線画像の道路領域を遠赤外線画像に重ね合わせた重畳画像を構成した。これまでに研究されている遠赤外線画像と近赤外線画像全域を用いた重畳画像では、歩行者認識に必要な街灯や対向車の灯火などの画像情報も重畳されるため、これらの影響を低減することで視覚支援の効果を向上させることができる可能性がある。このため本研究では、グラデーションをかけることで近赤外線画像の道路領域のみを遠赤外線画像に重畳し、歩行者と道路領域に限定した部分的な重畳画像を構成した。この重畳画像の視覚支援効果について、被験者を用いた他の画像との比較実験をおこなった結果、歩行者位置の認識精度が向上することを確認した。

ABSTRACT

Fusion images have been generated by combining near infrared images of road areas and far infrared images in order to reduce vehicle-pedestrian accidents at night. In past studies, fusion images were generated by combining the entire area of near infrared images and far infrared images, which resulted in image information unnecessary for pedestrian recognition being fused, such as street illumination and the headlights of oncoming vehicles. It might be achievable to enhance efficiency in providing visual driving assistance by reducing these influences. The current research applied gradation processing to combine only the road area of near infrared images and far infrared images, and generate partial fusion images that primarily provide pedestrian and road area information. The effectiveness of this type of fusion image in providing visual assistance was compared to that of other image types in a volunteer test. Increased accuracy in identifying the location of pedestrians was shown when the new images were employed.

1. はじめに

日本国内で1年間に起こる歩行者の交通死亡事故のうち、夜間に起きた事故がその約7割を占めており、これらの事故について最も多い発生要因が運転者による歩行者の発見遅れであると報告されている⁽¹⁾。このような歩行者事故を低減するために、運転者に対する画像を用いた夜間の歩行者認識の視覚支援システムが有効であるといわれている。これまでに、夜間の歩行者認識の視覚支援システムとしては、夜間において歩行者を検知し、運転者に知らせる視覚支援システムが研究されている^{(2), (3)}。このような機能に加えて、検知機能が作動する以前に、運転者が歩行者の存在に気づくことができる画像を提示することにより、視覚支援効果をさらに高めることができる。

画像提示を用いた視覚認識支援システムにおいては、提示された画像と実際の道路環境を運転者が交互に見比べることで歩行者の存在と位置を把握するプロセスが発生する。夜間において、運転者が短時間で画像から歩行者の存在と位置を把握するには、路面形状や白線などの道路面情報が重要性をもつと考えられるため、歩行者と路面を同時に提示する必要がある。これに関して、夜間における歩行者の認識には人体の温度分布を撮像する遠赤外線カメラの画像が有効である⁽²⁾。一方、道路面などの環境情報は遠赤外線カメラからの情報取得が困難なため、夜間の環境撮像に適した近赤外線カメラを用いる必要がある⁽⁴⁾。これら二つの画像情報を重ね合わせた重畳画像を構成することで、二つの画像情報を一つの画像として表現することができる。このような重畳画像の構成手法として、Herrington らは道路環

*四輪開発センター

境の全域を周波数領域で重畳する手法を提案している⁽⁵⁾。

本研究では、運転者の短時間での歩行者認識における視覚支援効果をさらに高めるため、従来の道路環境の全域を用いて重畳画像を構成する手法に対し、歩行者の存在と位置を把握するのに必要な情報のみに限定した部分的な画像重畳手法を検討した。Herrington らの手法では、離散ハルウェーブレット変換を用いることで、夜間の道路環境全域を比較的明るく提示することができる。しかし、歩行者の周囲環境も同時に明るくなることで相対的に歩行者の存在がわかりにくくなり、かえって認識の精度が低下する可能性がある。このため、夜間における歩行者認識のための画像には、歩行者の周囲は比較的暗く、かつ道路領域は明るく表示するという、相反する性質が求められる。また、同様に歩行者の存在がわかりにくくなる対向車の灯火などの外乱光による画像のハレーションについても低減する必要がある。そこで本稿では、夜間の歩行者認識に必要な道路面の情報を有する近赤外線画像にグラデーション処理を実施することで、道路領域に限定した部分的な重畳画像の構成手法を提案するとともに、その視覚支援効果の確認結果を示す。

2. グラデーション処理を用いた重畳画像の構成

2.1. 従来手法の課題

Herrington らの手法による重畳画像の構成例を Fig. 1 に示す。道路環境の全域を用いて構成したこのような重畳画像(以下、全面重畳画像)では、環境光および外乱光による画像の輝度の飽和によって歩行者認識の視覚支援が十分に機能しない場面があることを確認した。その例として以下の二項目があげられる。

(1) 環境光の例：市街地の街灯付近 [Fig. 2(a)]

(2) 外乱光の例：対向車の灯火 [Fig. 2(b)]

市街地の街灯については、Fig. 2(a) に示すとおり、画像上で歩行者と重なった場合において歩行者の認識が困難になる可能性がある。また、Fig. 2(b) に示すとおり、対向車の灯火が近赤外線カメラに直接的に入射された場合、重畳画像において撮像輝度の上限值付近で表現され、画像にハ

レーションが発生する可能性がある。

市街地の街灯に対しては、近赤外線画像の道路領域のみを抽出し、遠赤外線画像に重畳させる手法が考えられる。しかし、対向車の灯火は路面反射などで道路領域にも明るく映りこむため、ハレーションの低減に対しては効果が低い。また、道路領域の境界前後で輝度が大きく変化するため、視覚的な違和感も生じる。このことから、重畳領域を道路領域に限定し、かつハレーションを低減した重畳画像を、近赤外線画像に対してグラデーション処理を実施することで構成する。

2.2. グラデーション処理

近赤外線画像において、重畳対象とする画像領域(以下、重畳領域)以外の輝度値を0に減衰させるグラデーション処理を構築した。Fig. 3に示すとおり、グラデーション処理においては、重畳領域の境界値 y_b によって重畳の対象とする領域を設定する。式(1)のとおり輝度値 $I(x,y)$ に対してグラデーション係数 $G(y)$ を乗じて輝度値 $I_g(x,y)$ を求める。式(2)に示す $G(y)$ によって輝度値 $I_g(x,y)$ は重畳領域の境

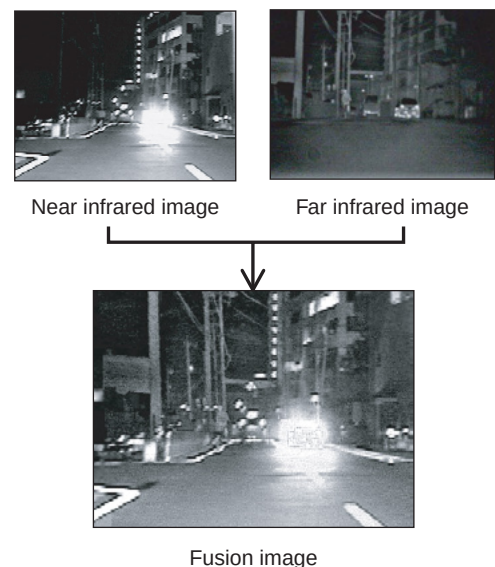


Fig. 1 Fusion image



(a) Surrounding illumination



(b) Headlights of oncoming vehicle

Fig. 2 Examples of halation in all area fusion image

界 $y=y_b$ に近い画素ほど0に近づくように減衰し、境界を超えると0になる。また、グラデーションゲインが大きいほど、輝度値は緩やかに減衰するため、重畳画像を構成した場合、重畳領域の境界 y_b 付近で生じる輝度格差は低減されるが、全体的に近赤外線画像が暗くなるため、重畳画像における近赤外線画像の情報量は低下する。このことから、環境に応じて適切なグラデーションゲインを選択することが必要となる。以降、グラデーション処理を実施して構成した重畳画像をグラデーション重畳画像と呼ぶ。

$$I_g(x, y) = I(x, y) \cdot G(y) \quad (1)$$

$I(x, y)$: 座標 (x, y) における近赤外線画像の輝度値

$I_g(x, y)$: 座標 (x, y) における近赤外線画像の輝度値

$G(y)$: グラデーション係数

$$\begin{aligned} G(y) &= 1 - 1/\exp(A \cdot (y - y_b)) & (y \leq y_b) \\ G(y) &= 0 & (y > y_b) \end{aligned} \quad (2)$$

y_b : y 軸における重畳領域の境界値

A : グラデーションゲイン, $A \geq 0$

3. グラデーション重畳画像の効果確認実験

実車に搭載した遠赤外線カメラ、および近赤外線カメラを用いてグラデーション重畳画像を構成し、その視覚的な効果を確認した。実験に用いたシステムレイアウトを Fig. 4 に示す。車両前方に遠赤外線カメラ、および近赤外線カ

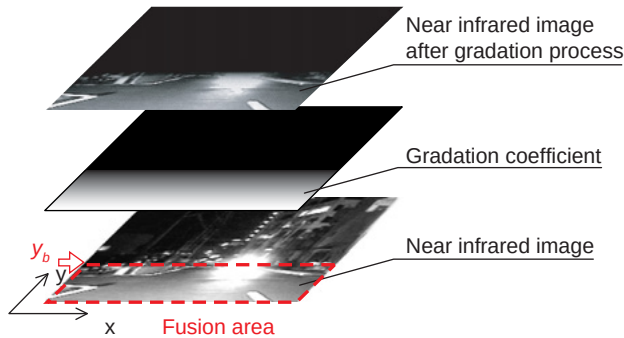


Fig. 3 Gradation process

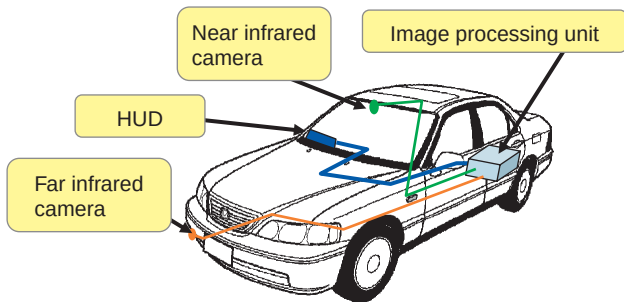


Fig. 4 System layout

メラをそれぞれ1台設置した。これらのカメラより取得した画像を用いて、画像処理ユニットにて重畳画像を構成し、ヘッドアップディスプレイ(HUD)に表示した。遠赤外線画像および近赤外線画像の両方においてサイズが 640×480 ピクセルの画像を用いた。グラデーション重畳画像の構成手順を Fig. 5 に示す。近赤外線画像に対してグラデーション処理を実施した後に、離散ハールウェーブレット変換を用いて周波数領域で画像を重ねた。

3.1. グラデーション処理の効果

グラデーション処理の有無による重畳画像の比較例を Fig. 6(a) および (b) に示す。Fig. 6(a) についてはグラデーションゲイン $A=0$ に設定することにより、グラデーション処理を実施せず、道路領域のみを用いた部分的な重畳画像を構成した。一方 Fig. 6(b) には、 $A=0.05$ に設定しグラデーション処理を実施した重畳画像を示す。両方の場合とも重畳領域の境界値 $y_b=180$ に設定した。グラデーション重畳画像 [Fig. 6(b)] では、Fig. 7 のグラフに示すとおり、重畳領域の境界値 y_b 付近($80 < y < 180$)でグラデーション係数が連続的に小さくなり、重畳境界値 y_b を超えると0になる。これに対して、部分的な重畳画像 [Fig. 6(a)] では、グラデーション係수에連続的な変化はなく、重畳境界値 y_b を超えると1から0になる。

歩行者位置の認識支援効果を確認するため、先述のとおり路面情報と歩行者周辺の明るさに着目した。道路領域のみを重畳領域とした部分的な重畳画像 [Fig. 6(a)] と、グラデーション重畳画像 [Fig. 6(b)] の両方において、白線などの路面情報が歩行者と同時に提示できている。また、歩行者の周囲も比較的暗く提示できている。このことから、歩行者

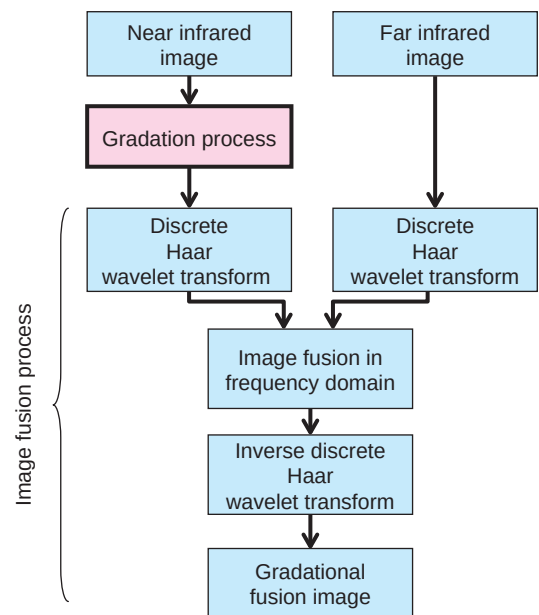


Fig. 5 Flow of construction of gradational fusion image

位置の認識支援効果については、グラデーション処理の有無によらず同等と考えられる。対向車の灯火については、部分的な重畳画像 [Fig. 6(a)] では道路領域に灯火が明るく映りこんでおり、ハレーションが低減されていない。これに対してグラデーション重畳画像 [Fig. 6(b)] では、道路領域において灯火の輝度が減衰しているため、ハレーションが低減されている。このことから、グラデーション重畳画像がハレーションの低減に対して効果的であることが確認できた。



Fig. 6 Comparison of partial fusion image and gradational fusion image

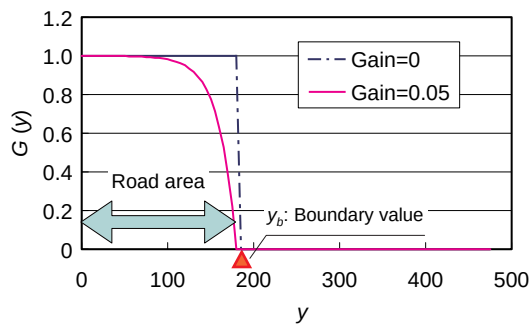


Fig. 7 Gradation coefficient $G(y)$

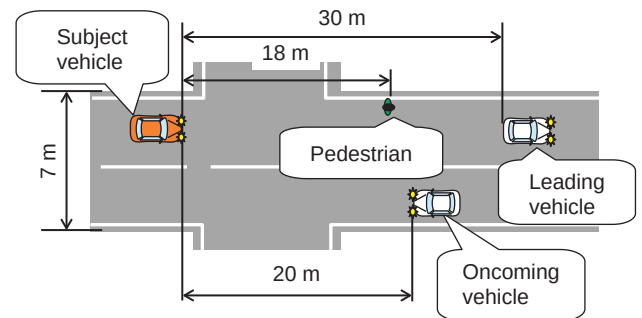


Fig. 8 Road scene

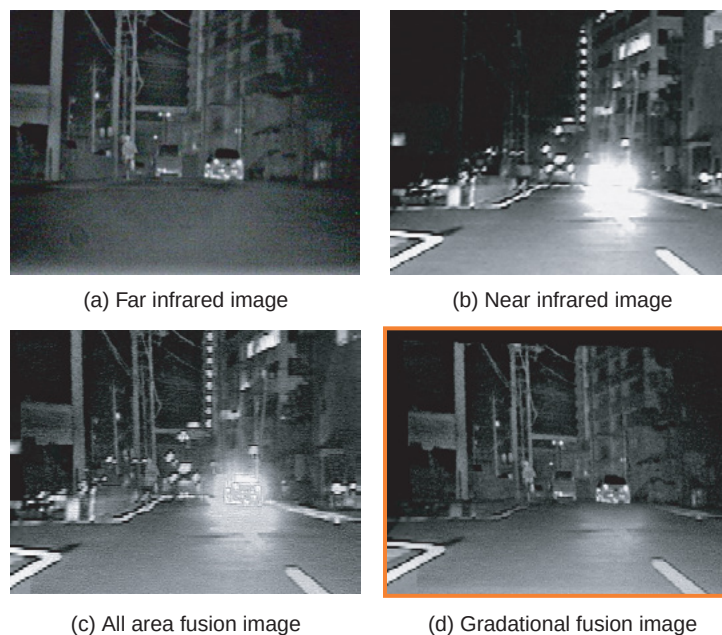


Fig. 9 Comparison of images

者の存在の認識が困難になる可能性がある。また、これらの画像を全体的に重畳した全面重畳画像 [Fig. 9(c)] では、歩行者の存在とその位置を認識できるが、環境光および外乱光の問題が残る。これらと比較して、グラデーション重畳画像 [Fig. 9(d)] では、歩行者と路面情報を提示すると同時に、環境光および外乱光によるハレーションが低減している。以上の結果より、グラデーション重畳画像は他の画像と比較して歩行者認識の視覚支援に対してより高い効果が期待される。

4. 被験者による視覚支援効果の確認実験

構成したグラデーション重畳画像について、歩行者の位置認識精度における視覚支援効果を被験者実験にて確認した。

4.1. 実験方法

4.1.1. 装置

グラデーション重畳画像の視覚支援効果の確認においては、実際の運転環境に近い状況で実施することが望ましいため、実車の運転席を模したシミュレータを構成した (Fig. 10)。歩行者認識の視覚支援のための画像提示には、運転席正面のインストルメントパネル上に設置したヘッドアップディスプレイ (以下HUD) を用いた。また、運転席前方にスクリーンを設置し、一般的なビデオカメラで撮影した走行環境の映像を表示することで実際の運転状況を再現した。

4.1.2. 手順

Fig. 10(a) に示す HUD に遠赤外線画像もしくはグラデーション重畳画像を提示し、歩行者位置の認識時間を測定することで各画像の視覚支援効果を比較した。提示する画像については、それぞれシーンの異なる 10 種類を用意した。この中からシミュレータが提示画像をランダムに選択し、電子音を発することによって被験者に画像の提示を知らせた。また、実際の運転状況では、運転負荷によって HUD の

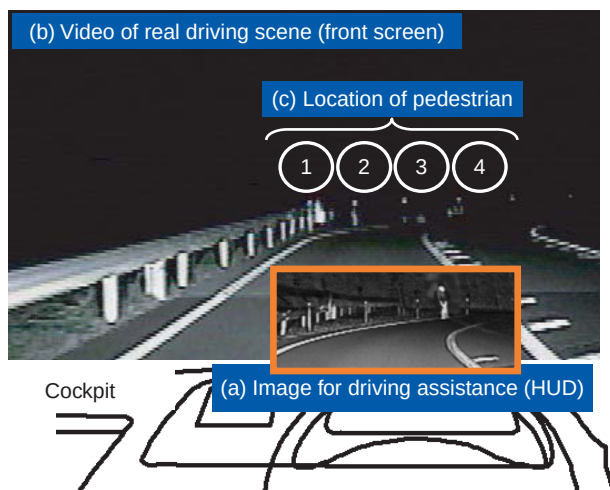


Fig. 10 Outline of experimental set-up

注視時間が変化し、負荷が大きいほど注視時間が短くなる。このことを再現するため、画像の提示時間をそれぞれ以下のように設定した。

運転負荷 大 : 0.3 sec

運転負荷 中 : 0.5 sec

運転負荷 小 : 1.0 sec

視覚支援効果を定量化するため、Fig. 10(b) に示す前方スクリーンに表示した走行映像を 4 領域に分割し [Fig. 10(c)], 各画像、各提示時間に対して歩行者がどの領域に存在するかを回答させ、その正答率を算出した。

4.2. 実験結果

二十代から四十代の、男性 6 名、女性 1 名の被験者に対して実験をおこなった結果について、Fig. 11 に画像提示時間ごとの各被験者の正答率を示す。提示時間 1.0sec の

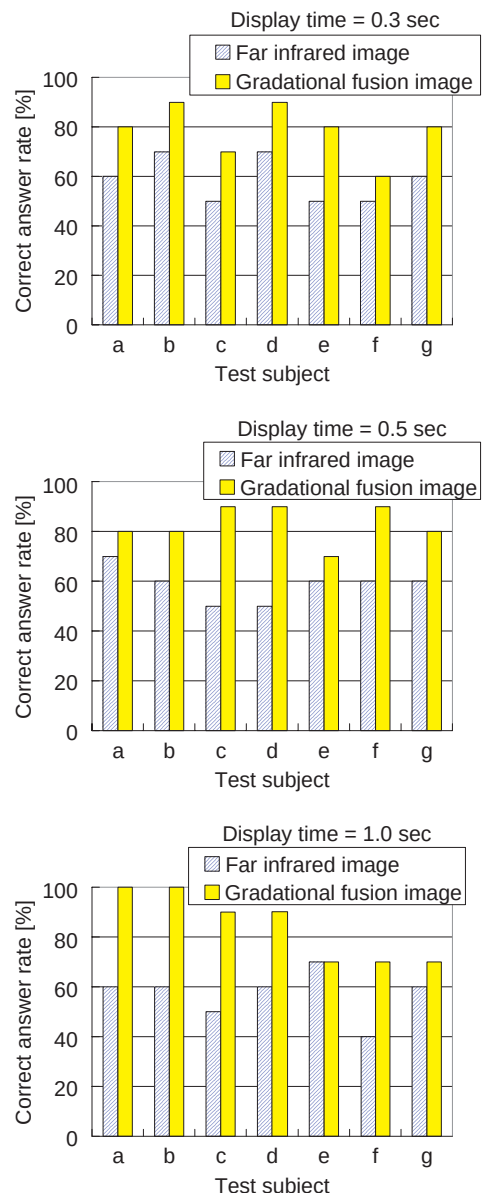


Fig. 11 Location recognition rate of pedestrian

場合の1名(被験者e)を除いて、グラデーション重畳画像では遠赤外線画像に対して正答率が向上した。各画像提示時間におけるグラデーション重畳画像の遠赤外線画像に対する正答率の比を Fig. 12 に示す。すべての画像提示時間において1.4 倍程度の向上が確認できた。このことから、運転負荷によらずグラデーション重畳画像の方が遠赤外線画像よりも歩行者位置の認識において効果的であると考えられる。

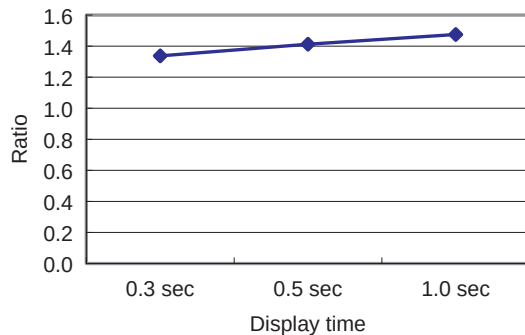


Fig. 12 Correct answer rate for gradational fusion images normalized by that for far infrared images

5. 結論

夜間の歩行者認識の視覚支援のために、道路領域の情報を有する近赤外線画像にグラデーション処理を実施することで、道路領域に限定した重畳画像の構成手法を提案した。従来の重畳手法では、視覚支援が十分におこなわれない状況として、市街地の街灯や対向車の灯火による画像のハレーションを確認した。これらの状況に対して、近赤外線画像の道路領域を重畳領域としてグラデーション重畳画像を構成した結果、歩行者位置の認識に効果的であるとともに、対向車の灯火によるハレーションについても低減できることがわかった。さらに、グラデーション重畳画像の歩行者認識における視覚支援効果についてシミュレータを用いた被験者実験をおこなった結果、実際の運転環境に近い状況においても、運転負荷によらず歩行者の位置認識精度の向上が可能であることが確認できた。このことから、本手法を用いた視覚支援システムにより、夜間の歩行者事故を低減できる可能性が示された。

参考文献

- (1) Traffic accident statistics annual report 2003, Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis(2004)
- (2) Tsuji, T., Hattori, H., Watanabe, M., Nagaoka, N.: Development of Night Vision System, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT

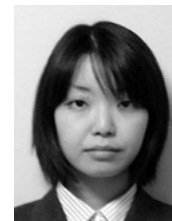
TRANSPORTATION SYSTEMS, Vol.3, No.3, p.203-209 (2002)

- (3) Suard, F., Rakotomamonjy, A., Bensrhair, A., Broggi, A.: Pedestrian Detection using Infrared images and Histograms of Oriented Gradients, IEEE IV2006, p.206-212(2006)
- (4) Toyofuku, K., Iwata, Y., Hagsato, Y., Kumasaka, T.: The "Night View System" Using Near-Infrared Light, SAE Paper 2003-01-0018(2003)
- (5) Herrington, W. F., Horn, B. K. P., Masaki, I.: Application of the Discrete Haar Wavelet Transform to Image Fusion for Nighttime driving, IEEE IV2005, p.273-277(2005)

■ 著 者 ■



江口 純司



近藤 いずみ



小池 弘之