ビジョンチップのための1次元動きベクトル検出法

正員 山田 啓一 (豊田中央研究所)

非会員 曾我 峰樹 (豊田中央研究所)

A 1-D Motion Measurement Method for Vision Chips

Keiichi Yamada, Member, Mineki SOGA, Non-member (Toyota Central R&D Labs. Inc.)

The idea of vision chip is integrating photodetectors with processors on a VLSI. Vision chips are expected to provide many advantages compared with conventional vision systems. These include high speed, small size, low power consumption, wide brightness range, and low-cost. This paper proposes a motion measurement method for pixel-parallel vision chips. The method reports one-dimensional motion vector of local motion on a focal plane with three photodetectors. The method detects the motion from a relation of two binary signals each of which represents the existence of a spatial edge between adjacent photodetectors. Computer simulation at an image processing level showed that the method detects the motion accurately in wide speed range. The method has been implemented on an experimental vision chip using standard CMOS process and confirmed that the chip stably detects the motion by experiments.

キーワード：ビジョンチップ，動きベクトル，マシンビジョン，CMOS VLSI

1. ま え が き

画像入力と処理を一体化して VLSI 上に実現するビジョンチップ^{(1)~(3)}は、小型、高速、低消費電力、低コストなビジョンシステムの実現技術として期待されている。物体の動きベクトルの検出は、マシンビジョンの基本処理の1つであり、物体衝突までの時間 (Time-To-Collision) の検出⁽⁴⁾など、より高次の情報を求めるための基ともなる。しかし動きベクトル検出は、テレビカメラ画像のデジタル画像処理による方法では、大きな処理コストが必要な上、テレビカメラのフレームレートの存在により高速な動きの検出が困難である。このような背景から、動きベクトルを検出するビジョンチップが数々研究されている。

物体の像の動きの方向や速度を検出する方法は、微分法と相関法に分類される。微分法に基づくビジョンチップとして、局所的導関数から大域的な2次元速度を検出する動きセンサ⁽¹⁾が報告されている。しかし微分法は相関法に比べ、対象物の明るさやコントラストに検出速度が依存したり⁽⁵⁾、精度の高い計算が必要でインプリメントが難しいという問題点が指摘されている⁽⁶⁾。この他、微分法に基づく高い時間空間分解能の運動検出センサの実現法として、局所最小2乗法を用いた方法が提案されている^{(12) (13)}。一方、相関法はさらに、像が一定時間で移動する距離を検出することによる方法と、像が一定距離を移動する時間を検出することによる方法とに分類できる。ビジョンチップで

は、局所的で高速な処理の実現が容易であることから、像の濃淡エッジや2次微分のゼロクロス点、ブロックパターンなどが、一定距離を移動する時間を検出することによる方法が幾つか報告されている。具体的には、ディレイラインを用いた特定の1次元速度の検出⁽⁷⁾、時間エッジの相関から1次元動きベクトルを検出するFS (Facilitate-and-Sample) 法⁽⁸⁾、FT (Facilitate-and-Trigger) 法⁽⁸⁾およびFTI (Facilitated-Trigger-and-Inhibit) 法⁽⁹⁾など⁽¹⁰⁾が提案されている。また、濃淡の空間2次微分のゼロクロス点の相関から1次元動きベクトルを検出するTDOFM (Temporal Domain Optical Flow Measurement) 法⁽⁶⁾がある。さらに、空間エッジのブロックマッチングによる2次元動きベクトルの検出チップも研究されている⁽¹¹⁾。これらのうちFS、FT およびFTI 法は、簡単な回路構成で実現できる特長があるが、時間に関する定数を必要とするため、検出できる速度レンジが制限されることになる。TDOFM 法は、時間に関する定数が不要なため広い速度レンジの動きを検出できるが、像の空間2次微分のゼロクロス位置を検出することが必要となる。ブロックマッチングによる方法は、2次元の動きベクトルが検出しやすいが、メモリや高速なクロックレートでの処理が必要となる。

本研究は、屋外を含む実環境下に適用できるビジョンチップの開発を目的としている。本論文では、対象物の動き情報を検出するビジョンチップへの適用を目的に、像面での1次元動きベクトルの新たな検出法を提案する。これは、像

図1 ビジョンチップ
Fig. 1. Vision chip.

の空間エッジの存否をトークンとして用い、その相関から動きの方向および速度を検出するものである。本方法の特長として、検出できる速度レンジが広いこと、検出できる像の明るさレンジが広いこと、処理のためのクロックが不要であることなどが挙げられる。

以下、第2章では提案する動きベクトル検出法を示し、第3章では画像処理レベルの計算機シミュレーションによりその性能を評価する。第4章では本方法によるテストチップを試作して本方法の有効性を示す。

2. 1次元動きベクトルの検出法

(2・1) 方式 提案する1次元動きベクトル検出法を図2に示す。また、図3には、この検出法による単位セルのブロック構成を示す。図1に示したように、このような単位セルをVLSIに多数集積することにより、ビジョンチップが実現される。提案する検出法は、隣接する2箇所における像の濃淡エッジの存否の関係に基づいて、像の1次元の動きベクトル（動きの方向と速度）を検出するものである。図2および図3において、PD1、PD2およびPD3はフォトディテクタであり、間隔 L で一列に配置されているものとする。 S_1 、 S_2 および S_3 は、それぞれフォトディテクタPD1、PD2、PD3の出力値を示す。 D_1 および D_2 は2値信号であり、それぞれ S_2 と S_1 の比(S_2/S_1)および S_3 と S_2 の比(S_3/S_2)を所定の閾値 C で2値化したものである。 D_1 および D_2 はそれぞれ、フォトディテクタPD1とPD2およびPD2とPD3の出力値の比を2値化した信号であるので、PD1とPD2の間およびPD2とPD3の間に像の濃淡エッジ（空間エッジ）が存在するか否かを表わしている。

右方向(PD1からPD3)への動き			左方向(PD3からPD1)への動き		
	event			event	
	D1	D2		D1	D2
(1)	low→high	low	(1')	low	low→high
(2)	high	low→high	(2')	low→high	high
(3)	high→low	high	(3')	high	high→low
(4)	low	high→low	(4')	high→low	low

$v = \frac{L}{(3) \text{ から } (4) \text{ までの時間}}$
 $v = \frac{L}{(3') \text{ から } (4') \text{ までの時間}}$

(c)

図2 像面での1次元動きベクトルの検出法

Fig. 2. Proposed method for measuring 1-D vector of local motion on a focal plane.

本方法では、各フォトディテクタの受光領域を接近させて設けることにより、図2(b)に示すように D_1 と D_2 の間に時間的重なりを持たせるようにする。

いま、図2(a)に示したように、3個のフォトディテクタ上に像の濃淡エッジが左方向から右方向に移動していくとする。このとき、 D_1 および D_2 は、図2(c)の左側に示した(1)(2)(3)(4)の順序で推移する。さらに、(3)から(4)までの時間 T は濃淡エッジがフォトディテクタPD2とPD3の間を通過するのに要した時間 T であることから、フォトディテクタPD2とPD3の間隔 L を(3)から(4)までの時間 T で割ることで、像の速度 v が求められる。一方、上記とは反対に、像が右方向から左方向に移動した場合には、 D_1 および D_2 は図2(c)の右側に示した(1')(2')(3')(4')の順序で推移する。また、先程と同様の理由により、フォトディテクタ間隔 L を(3')から(4')までの時間で割ることで、像の速度 v が求められる。

以上のことから、 D_1 および D_2 が以下の順序で変化したとき、像が右方向に動いたと判定される。

図3 単位セルのブロック構成

Fig. 3. Composition of a unit cell by the proposed method.

- (1) D_2 がローレベルのときに D_1 が立上り,
- (2) D_1 が立下がる前に D_2 が立上り,
- (3) D_2 が立下がる前に D_1 が立下がり,
- (4) D_1 が再度立上がる前に D_2 が立下がる。

さらに、フォトディテクタ間隔 L を (3) から (4) までの時間 T で割ることで、像の速度 v が求められる。

一方、 D_1 および D_2 が以下の順序で変化したときには、像が左方向に動いたと判定される。

- (1') D_1 がローレベルのときに D_2 が立上り,
- (2') D_2 が立下がる前に D_1 が立上り,
- (3') D_1 が立下がる前に D_2 が立下がり,
- (4') D_2 が再度立上がる前に D_1 が立下がる。

さらに、フォトディテクタ間隔 L を (3') から (4') までの時間 T で割ることで、像の速度 v が求められる。

〈2・2〉 特 長 本方法の特長として、検出できる速度レンジが広いこと、検出できる像の明るさレンジが広いこと、処理のためのクロックが不要であること、および空間サンプリングによる折り返しの影響を受けにくいことが挙げられる。

本方法は、 D_1 と D_2 との間に時間的重なりを持たせたことにより、時間に関する定数を必要としないので、検出速度レンジは原理的には無限大であり、広い速度レンジの動きが検出できる。本方法はまた、フォトディテクタの光電流を、蓄積することなく直接読み出して D_1 と D_2 を求めるので、像が明るい場合にも飽和することがない。したがって、広い明るさレンジで像の動きが検出ができる。本方法は、時間軸に対して連続的な処理を行うようにしてインプリメントできる。このため、高速な動きまで検出でき、処理のためのクロックが不要であり、消費電力も小さくできる。本方法はさらに、前述の (1)~(4) および (1')~(4') の一連の条件によって動きを検出するので、フォトディテク

図4 D_1 と D_2 の関係の分類

Fig. 4. Classification of the relation between D_1 and D_2 .

タの空間サンプリングによる折り返しの影響を受けにくい。一般に動きの検出において誤検出の原因となるのは、像に含まれている空間波長 $2L$ 以下の成分が、フォトディテクタの空間サンプリングにより折り返しを生じることである。ある空間波長以下の成分をシャープにカットするような光学ローパスフィルタが現実的には実現困難であるので、これが問題となる。図4に、本方法の動作を、対象物の像の空間波長 λ が、 $2L$ 以上の場合 (a) と、 $2L$ 以下の3通りの場合 (b)(c)(d) に類別して示した。(a) のように $\lambda > 2L$ の場合には、本方法は動きを正しく検出する。一方 $\lambda < 2L$ の場合のうち、(b) および (c) のように $l > L$ または $l < \lambda - L$ の場合には、本方法は反応せず、動きを検出しない。しかし、(d) のように $\lambda - L < l < L$ の場合には、本方法は誤った動きを報告する。(d) の条件が生じる割合は対象物に依存するので一概にはいえないが、本方法が誤検出するのは $\lambda < 2L$ の場合のうちの一部の場合のみであるので、本方法は折り返しの影響を比較的受けにくい。

〈2・3〉 検出可能な対象物 次に、本方法が適用できる対象物についての制約について述べるとともに、他の方法との得失を示す。本方法は、像の濃淡を空間微分して閾値

で2値化したエッジをもとに動きを検出するので、動きが検出できるのは像に明瞭なエッジがある場合に限られる。これに対し微分法に基づく方法⁽¹⁾⁽¹²⁾は、濃淡の導関数をもとに動きを計算するので、濃淡変化が滑らかでないエッジに対しては検出できないが、滑らかな濃淡変化の像の動きが検出できる。また、濃淡の空間2次微分のゼロクロス点をもとに動きを検出する方法⁽⁶⁾は、実装が複雑になるが、コントラストがより小さいエッジの動きまで検出できる。像の時間微分を閾値で2値化した時間エッジをもとに検出する方法⁽⁸⁾⁽⁹⁾は、簡単な回路構成で実装できるが、検出できる対象がエッジの強さと速度に依存して制限される。また、本方法も含め像の局所的な速度を検出するいずれの方法^{(6)~(9)}とも、像が2次元的に動く場合には、個別の検出力からは像の速度を一意に決定できないという窓枠問題⁽¹⁾がある。

次に、本方法で動きが検出できるための像のエッジに対する条件について述べる。ここでは、像の動き方向(x 軸上)のエッジの明度プロファイルが、図5の上段に示したような場合を扱う。すなわち、エッジのコントラストが1:A(但し $A > 1$)、幅が b 、勾配が A/b とする。図の奥行き方向の明度は均等なものとする。3個のフォトディテクタは x 方向に間隔 L で配置され、開口の x 方向の長さは w とする。図5(a)に示したようにエッジ幅 b が $2L-w$ より短い場合、 D_1 と D_2 を得るための S_2/S_1 と S_3/S_2 に対する最大の閾値 C は、 $S_2(P2)/S_1(P1) = C$ 、 $S_3(P3)/S_2(P2) = C$ となる。また、 $S_1(P1)/S_3(P1) = A$ である。よって $b < 2L-w$ の場合、閾値が C であるときに検出できるエッジの最小のコントラスト A は C^2 となる。一方、図5(b)に示したように $b \gg L$ の場合、 $S_3(P5)/S_2(P4) = (b+2(A-1)L)/(b+(A-1)L) = C$ であるので、閾値が C であるときに検出できるエッジの最小のコントラスト A は $((C-1)b/L + (2-C))/(2-C)$ となる。図6は、 $C = 1.5$ 、 $w = L$ の場合について、エッジ幅のフォトディテクタ間隔に対する比 b/L と検出できるエッジの最小のコントラスト A との関係を、計算により求めた結果である。同図から分かるように、本方法で動きが検出できるのは、エッジ幅が概ねフォトディテクタ間隔以下のエッジについてである。

3. シミュレーションによる評価

〈3・1〉 方 法 提案した検出法の性能を、画像処理レベルでの計算機シミュレーションにより評価した。従来のFTI法⁽⁹⁾およびTDOFM法⁽⁶⁾についても同様にシミュレーションを行い、本方法をこれらと比較した。評価に用いた画像は、図7に示したような、道路上の自動車をテレビカメラで撮像した実画像である。検出するのは、対象物の1次元方向(図7における上下方向)の動きの方向および速度である。シミュレーションでは、本方法、FTI法およびTDOFM法について、方向の正当率および検出速度の精度を求めた。対象物の速度は計算機上で約3桁の範囲で変化させた。画像サイズが 640×480 画素であるのに対

図5 動きが検出可能なエッジ

Fig. 5. A spatial edge whose motion can be detected by the proposed method.

図6 動きが検出可能なエッジのコントラスト

Fig. 6. Minimum contrast of an edge whose motion can be detected by the proposed method when $C = 1.5$, $w = L$.

し、フォトディテクタの受光領域は 5×5 画素とした。また、フォトディテクタの間隔は7画素とした。

〈3・2〉 結 果 シミュレーションの結果を図8に示す。同図(a)は検出方向の正当率を、(b)は検出方向が正しかった場合における検出速度の精度を、それぞれ真の速度との関係で示す。同図から分かるように、本方法は、対象物の速度によらず、動きの方向を97%の正当率で検出できた。また方向が正しく検出された場合には、速度を $\pm 1\%$ 以下の誤差で検出できた。TDOFM法の方方向正当率は、対象物の速度によらず91%であった。また方向が正しく検出された場合には、速度を $\pm 1\%$ 以下の誤差で検出できた。FTI法による方向の正当率および速度の精度は、対象物の速度に依存して大きく変化した。この理由は、FTI法が時間に関する定数を用いているためと考えられる。本方法およびTDOFM法は、時間に関する定数を用いていないので、方

図7 評価に用いた画像の例

Fig. 7. An example of the images used for the evaluation by computer simulation.

向正答率および検出速度の精度は、原理的に速度によらず一定である。本方法における誤検出は、前述の図4(d)の条件の場合に生じたものと考えられる。本方法の方向正答率がTDOFM法よりも約6%高いのは、本方法が一連の4つの条件によって動きを判定している効果と考えられる。

以上のように、実画像を用いた計算機シミュレーションにより本方法の性能を評価した結果、物体の速度によらず、動きの方向を97%の正答率で、速度を±1%以下の誤差で検出できることが確認され、本方法が方向と速度を広い速度レンジで精度良く検出できることが示された。

4. チップ試作による評価

〈4・1〉方法 提案した方法を検証するために、テストチップを試作して評価した。テストチップの製作には、最小線幅 $1.5\mu\text{m}$ 、nウェル、2-poly、2-metalの標準的CMOSプロセスを用いた。図9に単位セルのレイアウトを示す。単位セルの面積は $570\mu\text{m} \times 135\mu\text{m}$ である。単位セルあたりの消費電力は約 $50\mu\text{W}$ （計算値）である。各フォトディテクタの開口サイズは $26\mu\text{m} \times 63\mu\text{m}$ 、フォトディテクタ間隔 L は $40\mu\text{m}$ である。フォトディテクタは、p基板/nウェル/p++を利用したフォトリソスタである。

図10に、試作チップの空間エッジ検出器の基本原理を示す。同図において、 W_1/L 、 W_2/L 、 W_3/L は、各MOSFETのゲート幅/ゲート長を示す。また、 S_1 、 S_2 、 S_3 は各フォトリソスタの光電流を示す。試作チップは、 W_2/W_1 および W_2/W_3 が1.5となるように設計した。これにより、 D_1 および D_2 はそれぞれ、 $S_2/S_1 > 1.5$ および $S_3/S_2 > 1.5$ の場合にハイレベルになる。

単位セルから出力される信号は、像の左方向および右方向の動きに対応した電圧信号 V_{left} および V_{right} である。さらに、空間エッジ検出器の出力 D_1 および D_2 もセルから出力される（出力は負論理）。 V_{left} および V_{right} は、図2における時間 T （すなわち、フォトディテクタ間隔 L /速度 v ）に対応した電圧である。時間 T は、電圧 V_0 でプリチャージされたキャパシタを定電流 $-i_0$ で時間 T だけ積分することにより、 $V_{\text{left}} = V_0 - i_0 \cdot T$ （左方向への動きの場合）また

(a) 検出された動きの方向の正答率

(b) 検出速度の精度

図8 シミュレーションによる評価結果

Fig. 8. Evaluation results by computer simulation.

図9 単位セルのレイアウト

Fig. 9. Layout design of a unit cell.

は $V_{\text{right}} = V_0 - i_0 \cdot T$ （右方向への動きの場合）に変換され、セルから出力される。

〈4・2〉結果 コントラストが1:4.8の濃淡エッジの像をチップ表面に結像させ、これを様々な速度で動かして、そのときの出力信号 $\bar{D}_1$ 、 $\bar{D}_2$ 、 V_{left} および V_{right} を観測した。図11に観測された信号波形の例を示す。同図において、(a)と(c)は右方向、(b)と(d)は左方向への動きの場合であり、(a)と(b)は像面速度 3.6 mm/s 、(c)と(d)は

図 10 空間エッジ検出器の基本原理
Fig. 10. Spatial edge detector.

図 11 測定結果の例

Fig. 11. Examples of the response from the unit cell.

16 mm/s の場合の出力信号を示す。同図より、空間エッジ信号 $\bar{D}_1$ と $\bar{D}_2$ が重なりをもって良好に得られていることが分かる。また、像の移動方向に応じて、 V_{left} および V_{right} に信号が実時間で出力されていることが分かる。さらに、像の速度に応じて、 V_{left} および V_{right} の電圧が変化していることが分かる。

図 12 に、対象物の像面速度とチップの検出速度の関係の測定結果を示す。図の横軸は真の速度の逆数を、縦軸はチップ出力電圧 V_{left} と V_{right} の差を示す。同図から、動きの方向が正しく検出され、さらに速度の逆数に比例した出力電圧が得られていることが分かる。実験の結果、像面照度 50 lx から少なくとも 30,000 lx まで試作チップが動作することを確認した。像面照度 50 lx 以下では、空間エッジ信号 D_1 , D_2 が正しく検出されなかった。この原因としては、製作誤差による素子のばらつきや洩れ電流の影響などが考えられる。30,000 lx 以上の場合については、実験に用いた照明装置の限界により測定できなかった。また実験では、像面速度が 3.5 mm/s から少なくとも 125 mm/s まで試作チップが動作することを確認した。遅い方の速度の検出限

図 12 検出速度特性

Fig. 12. Evaluation result by the test chip.

界は、チップ内の時間/電圧変換回路の出力バッファのダイナミックレンジ (約 0.5V から 4.5V) により制限された。この検出限界は、時間 T の出力方法の改良などにより広げることが可能であると考えられる。125 mm/s 以上の場合については、実験装置の限界により測定できなかった。

以上のように、提案した検出法によるテストチップを試作評価した結果、少なくとも 50 lx から 30,000 lx の明るさレンジ、3.5 mm/s から 125 mm/s の速度レンジでチップが安定に動作することが確認され、本方法の有効性が示された。またこれらの性能は、本方法のチップへのインプリメント方法や製造プロセスの改良により、さらに向上させることができると考えられる。

5. む す び

本論文では、ビジョンチップへの適用を目的に、像面での 1 次元動きベクトルの検出法を提案した。これは、空間エッジの存否をトークンとして用い、その相関から動きの方向および速度を検出するものである。空間エッジの存否を示す信号間に時間的加重を持たせることで、時間に関する定数を用いることなく、像の動きの方向と速度を検出する。この方法は、広い速度レンジの動きを検出でき、検出できる像の明るさレンジも広い特長がある。また、処理のためのクロックが不要であり、消費電力も小さくできる。

実画像を用いた計算機シミュレーションにより本方法の性能を評価した結果、物体の速度によらず、動きの方向を

97%の正答率で、速度を±1%以下の誤差で検出できることが確認され、本方法が方向と速度を広い速度レンジで精度良く検出できることが示された。さらに提案した検出法によるテストチップを試作して評価した結果、少なくとも50 lxから30,000 lxの明るさレンジ、3.5 mm/sから125 mm/sの速度レンジでチップが安定に動作することが確認され、本方法の有効性が示された。これらの性能は、提案した検出法自体の限界によるものではないと考えられるので、本方法のチップへのインプリメント方法の改良により、さらに向上させることができると考えられる。今後の課題としては、インプリメント法の改良による性能向上、単位セルをVLSI上に多数配列したビジョンチップの試作、2次元の動きベクトル検出への拡張などが挙げられる。

(平成11年9月2日受付、同12年1月27日再受付)

文 献

- (1) C. Mead: *Analog VLSI and Neural Systems* (アナログVLSIと神経システム, 臼井支朗, 米津宏雄 訳), Addison-Wesley (1989).
- (2) A. Moini: *Vision Chips*, Kluwer Academic Publishers (1999).
- (3) C. Koch and H. Li, ed.: *Vision Chips: Implementing Vision Algorithms with Analog VLSI Circuits*, IEEE Computer Society Press, California (1995).
- (4) N. Ancona, and T. Poggio: "Optical Flow from ID Correlation: Application to a simple Time-to-Crash Detector", *Fourth Int. Con. on Computer Vision, IEEE*, pp. 209-214 (1993).
- (5) C. Koch, A. Moore, W. Bair, T. Horiuchi, B. Bishofberger, and J. Lazzaro: "Computing motion using analog VLSI vision chips: An experimental comparison among four approaches", *Proc. IEEE Workshop Visual Motion*, pp. 312-324 (1991).
- (6) R. Etienne-Cummings, J. Van der Spiegel, and P. Mueller: "A focal plane visual motion measurement sensor", *IEEE Trans. Circuits and Systems-I*, Vol. 44, No. 1, pp. 55-66 (1997).
- (7) T. Horiuchi, J. Lazzaro, A. Moore, and C. Koch: "A delay-line based motion detection chip", *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 3, pp. 406-412 (1991).
- (8) J. Kramer, R. Sarpeshkar, and C. Koch: "Pulse-based analog VLSI velocity sensors", *IEEE Trans. Circuits and Systems II*, Vol. 44, No. 2, pp. 86-101 (1997).
- (9) J. Kramer: "Compact integrated motion sensor with three-pixel interaction", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 18, No. 4, pp. 455-460 (1996).
- (10) R. A. Deutschmann, and C. Koch: "Compact Analog VLSI 2-D Velocity Sensor", *1998 IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, pp. 359-364 (1998).
- (11) Zheng Li, K. Aizawa, M. Hatori: "Motion vector estimation on focal sensor plane by block matching", *Proc. SPIE*, Vol. 3410, p. 215-221 (1998).
- (12) 山田, 安藤: 「アナログ電子回路運動センサ」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 27, No. 7, pp. 729-734 (1991).
- (13) H. Yamada and S. Ando: "Analog electronic motion sensor", *Tech. Digest 8th Sensor Symposium*, pp. 127-130 (1989).

山 田 啓 一 (正員) 1986年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年(株)東芝入社。1991年(株)豊田中央研究所入社。以来、工業用画像計測、走行環境認識や交通システムのためのビジョンシステム、ビジョンチップに関する研究開発に従事。現在、同所センシングシステム研究室所属。工博。電子情報通信学会、IEEEなどの会員。

曾 我 峰 樹 (非会員) 1995年東京工業大学大学院物理情報修士課程了。同年(株)豊田中央研究所入社。以来、マシンビジョンおよびビジョンチップに関する研究開発に従事。現在、同所センシングシステム研究室所属。電子情報通信学会会員。