

相関型動き検出アナログ電子回路による三次元奥行き計測

Relative-depth sensing from egomotion with analog velocity-sensing circuits

浅井 哲也 (PY), 雨宮 好仁

Asai Tetsuya and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

Abstract

移動視のアルゴリズムに基づいて、空間の相対的な奥行きを計測するアナログ電子回路を提案する。本回路は、大規模集積化に適したコンパクトな構成になっており、集積化の阻害要因となる大きな容量を必要としない。本稿では、提案した電子回路の基本特性と実画像に対する応答を、計算機シミュレーションによって示す。

1 はじめに

三次元空間の奥行きを計測する方法は、昔から研究されてきた [1]。例えば、両眼立体視のアルゴリズムにおける観測点の対応問題については、いまだに活発な議論が行われている。一方、対応問題が簡略化できる移動視のアルゴリズムは、実際の距離計算に膨大な数の入力画像を必要とするため [2], [3]、いまだ研究段階にとどまっている。距離の計算にあたって、生体に範を求めたハードウェア構成を用いれば、実時間で動作するコンパクトな奥行き計測システムを実現できる可能性がある。そこで本研究では、移動視の基本アルゴリズムを実時間で演算するアナログ電子回路の開発を目的とした。

2 移動視に基づく三次元奥行き検出

カメラを平行移動させながら視覚対象を連続撮影すると、一連の時空間画像が得られる [図 1(a), (b) のセンサ上に投影された二次元画像群]。カメラの移動に伴い、任意の観測点 A は、この時空間画像の一枚の水平断面 (エピポーラ面) に直線軌跡を描く [図 1(c)]。この直線の傾きは、カメラと観測点 A の距離に比例する。この直線は、三角測量の対応点に相当するため、直線の傾きと空間位置から三次元情報を得ることができる [2], [3]。

図 1(c) のエピポーラ面 ($x-t$) に描かれた直線の傾きは、その空間位置における局所速度の大きさに他ならない。しかし、直線の傾きや局所速度の演算は、計算機に高い負荷をかける。その結果、高い時空間分解能で局所速度や距離を測定することが困難になっている。もし、高時空間分解能を持つ局所速度検出デバイスが撮像のレベルで具現できれば、上述した三次元情報獲得プロセスにおける計算負荷を大幅に低減できる可能性が高い。次節では、この目的に沿って考案した局所速度検出アナログ電子回路を示す。

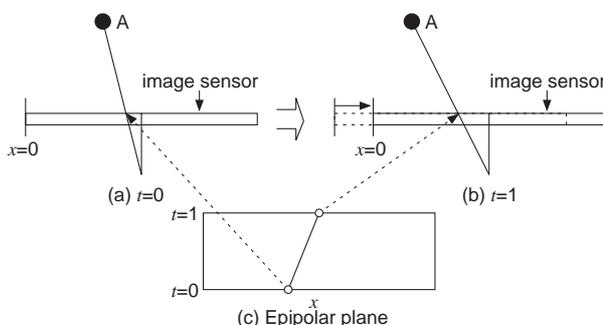


図 1 カメラの移動 [(a) (b)] とエピポーラ面 (c)。

3 局所速度検出アナログ電子回路

図 2 に、局所速度検出のための「相関型ニューラルネットワーク [4]」に基づいた動き検出アナログネットワークの単位回路を示す。ここで示す単位回路は、過去に筆者らが提案した速度検出回路 [5] を改良したものであり (電流-電圧モードで動作し、大容量を必要としない)、大規模集積化を目指したコンパクトな構成になっている。

単位回路は、単利得アンプ (M1 ~ M10), ソース接地型アンプ (M11, M12) およびプルアップ用 MOS トランジスタ (M14) から構成されている。入力光電流 (I_{in}) は、M1 ~ M4 のカレントミラーにより、差動対 (M5, M6) のソース電流になる。光電流が与えられたとき、単利得アンプの出力 (V_{out}) はアンプの入力 (D_{in}) に等しい。光電流が与えられていないとき、アンプの出力 (V_{out}) はプルアップ・トランジスタ (M14) により、電源電圧 (V_{DD}) に等しくなる。また、単利得アンプ内のカレントミラーは、トランジスタの微細化に伴うチャネル長変調効果を抑制するために、カスコード接続されている。

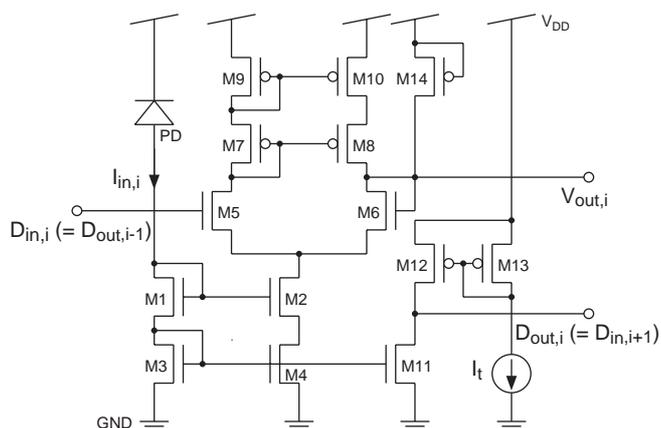


図 2 動き検出アナログネットワークの単位回路。

光電流は M11 にも転写される。光電流の増加に伴い M11 のゲート電位が変化すると、M11 のゲート-ドレイン間の寄生容量 (C_{gd}) は、ミラー効果により見かけ上 $(1+g_m R_L)$ C_{gd} になる。ここで、 g_m は M11 の伝達コンダクタンス、 R_L は M12 を負荷抵抗と見たときの抵抗である。この見かけの容量の増加により、ソース接地型アンプは入力電圧を遅らせた電圧 (D_{out}) を出力する。

複数の単位回路を一次元状にカスケード接続する。二番目の単位回路内の単利得アンプは、一番目の単位回路の遅れ信号 ($D_{out,1}$) を $D_{in,2}$ で受ける。スポット光が一番目の単位回路に与えられると、 $D_{out,1}$ が電源電圧よりも低くなる。スポット光が隣へ移動すると、制御電流 I_t で決まる時定数で、 $D_{out,1}$ は電源電圧に戻る。スポット光が二番目の単位回路に移動したときに、 $D_{out,1}$ がまだ電源電圧に戻っていないければ、二番目の単位回路の出力電圧 ($V_{out,2}$) は電源電圧より低くなる。スポット光の速度が増加すると、二番目の単位回路が $D_{in,2}$ で受ける遅れ電圧 ($D_{out,1}$) は (電源電圧に戻りきれずに) 低くなるため、 $V_{out,2}$ は低くなる。したがって、カスケード回路の出力電圧は速度の増加に伴って減少し、その電圧から速度を見積もることができる。

提案した回路では、ソース接地アンプが高い利得で光電流を増幅しつつ、同時に遅れ信号をつくる。撮像の極めて初期の段階での信号増幅により、後段へのノイズの影響の低減が期待できる。また、遅れ信号をつくるための大容量が不要なので、チップ上の占有面積が小さくなり、高集積化が可能である。さらに、出力が電圧で表されるため、実際の測定も容易になる。

4 動作シミュレーション

以下のシミュレーションでは、フォトダイオードの面積を $100 \mu\text{m}^2$ 、フォトダイオード間隔を $10 \mu\text{m}$ 、スポット光が照射されたときのフォトダイオードの光電流を 100 nA と想定した。また、MOS トランジスタは、VDEC より配付されたモトローラ $1.2 \mu\text{m}$ プロセスパラメータ (LEVEL3 版) を用い、ゲート幅およびゲート長はそれぞれ $3.6 \mu\text{m}$ および $2.4 \mu\text{m}$ とした。この場合、単位回路の面積は約 $128 \mu\text{m}^2$ になり、 5 mm 角チップ上に (パッド部分の面積を除いて) 35×35 の単位回路を実装できる。シミュレーションは、HSPICE による。

図 3 に、速度の変化に対する単位回路の出力電圧の最小値 (V_{min}) を示す。電源電圧 (V_{DD}) と制御電流 (I_t) は、それぞれ 5 V 、 $100 \text{ pA} \sim 50 \text{ nA}$ とした。 I_t の制御により、検出可能な速度範囲がシフト可能であることが確認できた。また、出力電圧が約二桁の速度にわたり応答することが確認できた。

図 4 に、二次元状に配置した回路に実画像を与えた場合の出力電圧分布を示す。 35×35 の回路上に静止画像が投影され [図 4(a)]、回路自身が速度 10 m/s で縦および横方

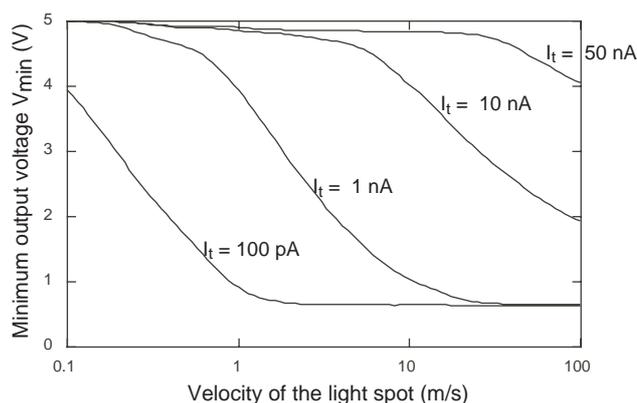


図 3 速度の変化に対する単位回路の最小電圧.

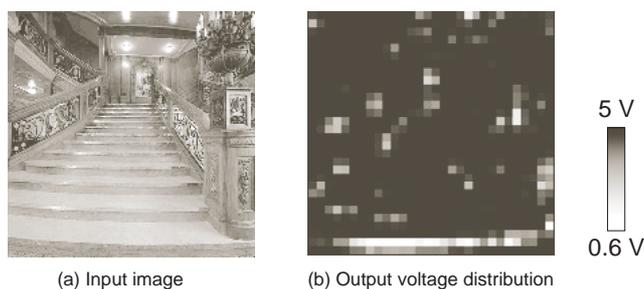


図 4 入力画像 (a) と 35×35 pixel の出力電圧分布 (b).

向に移動することを想定してシミュレーションを行った。図 4(b) より、遠い位置にある観測点に相当するほとんどの単位回路の出力電圧が大きく ($\approx 5 \text{ V}$)、近い位置にある観測点に相当する単位回路の出力電圧が小さくなることが確認できた。しかし、画像内の極端に明るい部分 (図 4(a) のランプやその反射光など) では、距離が「近い」と誤認識されてしまった。これは、局所相関ネットワークの輝度依存性により生ずるエラーであり、初段の光入力分布の局所ゲインコントロールにより回避できる。

5 まとめ

空間の相対的な奥行きを計測するためのコンパクトなアナログ電子回路を提案した。今後は、エラーを抑制するためのゲインコントロール機構を取り入れる予定である。また現段階では、回路自体を移動させることにより奥行きを計測しているが、今後はマイクロレンズを導入し、電気的に視点を切り替えるシステムを検討する予定である。

参考文献

- [1] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer vision*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1982.
- [2] 山本 正信, "連続ステレオ画像からの三次元情報の抽出," 信学論, vol. J69-D, pp. 1631-1638, 1986.
- [3] C. R. Bolles, H. H. Baker, H. D. Marimont, "Epipolar-plane image analysis: an approach to determining structure from motion," *Int. J. Computer Vision.*, vol. 1, pp. 7-55, 1987.
- [4] W. Reichardt, *Principles of Sensory Communication*. Wiley, New York, 1961.
- [5] T. Asai, M. Ohtani, and H. Yonezu, "Analog MOS circuits for motion detection based on correlation neural networks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 2256-2261, 1999.