

高速イメージングカメラのための

回転不変位相限定相関法に基づく画像の同定

Image identification method based on Rotation Invariant Phase-Only Correlation method for high-speed imaging camera

佐野 麻理恵[†] 老川 稔[†] 檜山 大輔[†] 遠藤 優[†] 長浜 佑樹[†] 岡田 直久[†]
 下馬場 朋禄[†] 角江 崇[†] 杉江 崇繁[†] 伊藤 智義[†]
 Marie Sano Minoru Oikawa Daisuke Hiyama Yutaka Endo Yuki Nagahama Naohisa Okada
 Tomoyoshi Shimobaba Takashi Kakue Takashige Sugie Tomoyoshi Ito

1. はじめに

個々の細胞を高速に解析することができる分析装置として、フローサイトメーターやセルソーターがある。これらは、生命科学や医療・バイオ分野などにおいて重要なツールとして使用されているが解析精度が低いことが課題として挙げられている。内閣府革新的研究推進プログラム (ImPACT) ・「セレンディピティの計画的創出」[1] では、膨大な数の細胞から科学的に大きな意義を持つ稀少細胞を、高速・正確・低コスト・低侵襲に発見・開発する装置を開発し、細胞の優れた能力や未知の現象を効率的に発見することを目標に掲げている。この装置は超効率バイオ燃料や高精度な血液検査技術などへの応用を考えている。装置の模式図を図 1 に示す。

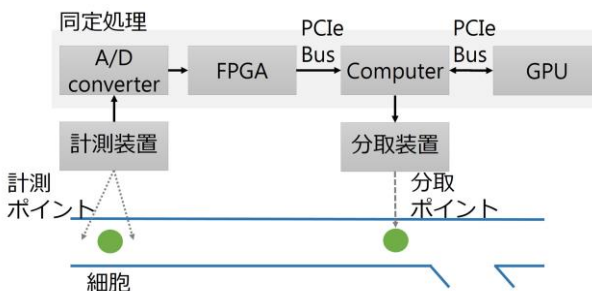


図 1 装置のブロック図

膨大な細胞を高速に調べるため、細胞を流路内へ高速に流し、計測装置によって得られた信号を同定装置で解析することで、その細胞が稀少か否か判定する。稀少細胞であれば分取信号によりその細胞を取り分ける。

流路内を流れる細胞は秒間数万個を想定しており、この細胞を計測するためには、光の分散を利用した超高速カメラ Serial Time-Encoded Amplified Microscopy (STEAM) [2,3]を使用する場合について述べる。STEAM は原理的に流路内を流れる細胞を 1 次元信号の時系列データとして高速 AD コンバータ (7GHz サンプルング) で取得される。この 1 次元信号から画像データを再構成する必要があるが、秒間 7G サンプルの信号を取り扱う必要があるため、一般的なプロセッサでは処理を行うことができない。我々は FPGA (Field Programmable Gate Array) に STEAM の画像再構成回路を実装しリアルタイム処理を行っている[4]。この

細胞画像は PCI Express バスを通してホストコンピュータに送られ、ホストコンピュータの CPU で同定計算を行う。処理時間が間に合わない場合は GPU (Graphics Processing Unit) の利用を想定している。

本研究では、STEAM 信号を FPGA により再構成した細胞画像から、その細胞が稀少細胞か否かを判定する同定処理の基礎的な検討を行った。

2. 細胞画像の相関ピーク検出

細胞を同定するための同定基準として細胞の形状や細胞サイズの大小を検出する。本研究では、位相限定相関法 (Phase-Only Correlation : POC) の改良版である回転不変位相限定相関法 (Rotation Invariant Phase-Only Correlation : RIPOC) [5,6] が周波数空間での相関ピーク検出やスケールパラメータの推定が可能であることに着目し、稀少細胞の判定に応用できるのではないかと考え、検討を行った。

POC は、周波数空間上で特有の一致度評価値の計算手法である。周波数空間上で入力画像とテンプレート画像の相関を取り、各周波数成分を振幅値で除算することで位相成分情報のみを取り出す。画像の位相情報に基づく一致度 (相関値) は、ノイズや輝度値の変化にロバストである特徴を持つ。POC の改良版として、Log-Polar 変換を用いることで回転とスケールパラメータの推定を可能にしたのが、RIPOCである [4]。

3. 細胞同定処理の評価

流路内を流れるビーズ画像を STEAM によって取得し、RIPOC を用いて同定処理を行う。相関値によって稀少細胞か否か判定する手法としての有効性について検討を行う。

3.1 相関の評価

参照画像 (計算したい画像) 及び対象画像 (計測された大量の画像群) には、図 2 に示す STEAM で撮影した流路内を流れるビーズ画像を用いる。

相関ピーク検出は、多量の細胞の中から形態に特徴がある稀少細胞を検出することを想定する。ここでは、大きい個体を検出し、かつ、図 2 の No.9, 12, 15 のような 2 個以上のビーズが連結された個体が撮影された場合を除くことを目標とする。ここでは、No.3 のビーズ画像を登録する参照画像とし、No.1-16 のビーズ画像を対象画像とする。画像のサイズは、128×140 pixel である。目視による評価では、参照画像である No.3 及び No.3 と同等の大きさである No.8 及び No.13 で相関ピーク値が高いと推測される。

図 2 の画像を用いて相関値を求めた結果を図 3 に示す。

[†] 千葉大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Chiba University

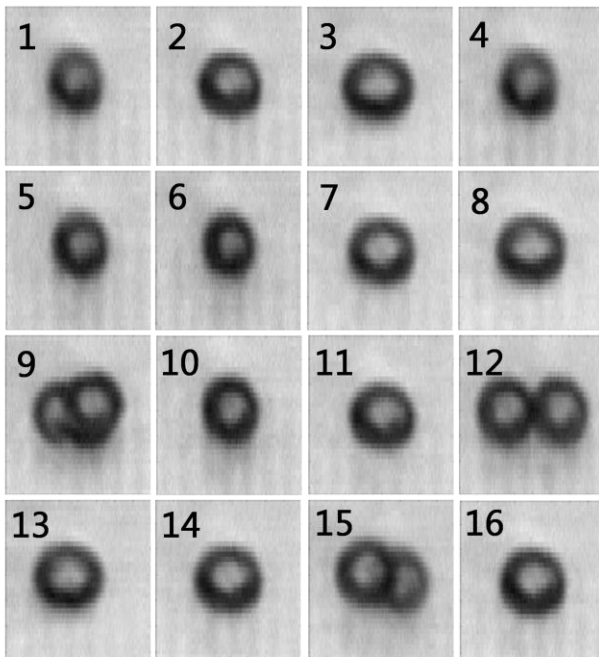


図 2 ビーズ画像

この結果を見ると、No.3 (No.3 は自己相関なので相関値は 1 になる) と No.8, No.13 において相関ピーク値が 0.8 以上となり、想定した結果と一致したことが分かる。また、2 個以上のビーズが写った No.9 と No.12, No.15 の相関ピーク値はいずれも 0.38 以下と低い値であることから、2 個以上の固体が写り込んだ場合は相関ピーク値をあるスレッシュホールドを設定すれば除外できると考えられる。

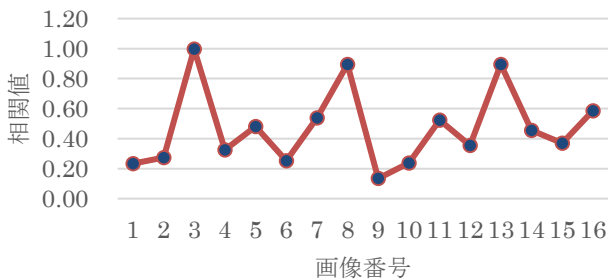


図 3 同定結果

3.2 処理速度の評価

前節において 1 回の相関を求めるために必要な処理時間を求める。処理を行ったコンピュータの構成を表 1 に示す。本論文では開発環境に Python を使用し、CPU スレッドを 1 つ使用した。テストに用いる画像は、図 3 を含めた 100 枚のビーズ画像である。処理時間のばらつきがあるため 100 回処理を行い、その平均値を求める。その結果、ビーズ画像での 1 回あたりの処理時間は 5 msec で行えることが分かった。つまり、流路内を流れる 200 個の細胞を 1 秒間に同定処理することができる。

表 1 コンピュータの構成

OS	Windows 7 Professional
Memory	4 GB
CPU	Intel Core i5-4690(3.5GHz)

4. おわりに

高速イメージングカメラからのデータをリアルタイム処理し、細胞同定を行うためのアルゴリズムについて基礎検討を行った。同定基準として細胞の形状や細胞サイズの大小を検出するアルゴリズムとして回転不変位相限定相関法を採用し、相関値を求め評価を行った。その結果、参照画像と類似すると設定した画像において高い相関ピーク値が得られ、ビーズが 2 個以上の連結した個体が写る画像では低い相関ピーク値が得られた。以上のことから、多量な細胞の中から所望の稀少細胞を分取し、かつ、細胞が連結した個体が写り込んだ場合は除外する手法として有効であると考えられる。また、処理速度については、秒間 200 枚を処理可能という結果が得られた。

今回は Python という低速な実行環境及び 1CPU スレッドのみを使用したが、今後はマルチスレッドや CPU のベクトル演算機能を使い秒間 1,000~2,000 細胞を処理できる高速な実装を行う。また、より高速な処理を目指し、GPU を用いた同定処理の検討などを行っていく。細胞の検出精度や参照画像の作成・選択方法などはまだ改善すべき課題が多いため、併せて検討を行う。

謝辞

本研究は革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) ・「セレンディピティの計画的創出」の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] <http://www.jst.go.jp/impact/serendipity/index.html>
- [2] 中川圭一, 合田圭介, “超高速光学撮像法が拓くフロンティア”, 応用物理, **84**, 409-4014 (2015).
- [3] K.Goda, K.K. Tsia, B. Jalali, “Serial time-encoded amplified imaging for real-time observation of fast dynamic phenomena”, Nature **458**, 1145-1149 (2009).
- [4] M. Oikawa, D. Hiyama, R. Hirayama, S. Hasegawa, Y. Endo, T. Sugie, N. Tsumura, M. Kuroshima, M. Maki, G. Okada, C. Lei, Y. Ozeki, K. Goda, T. Shimobaba, “A computational approach to real-time image processing for serial time-encoded amplified microscopy”. Proc. SPIE 9720, High-Speed Biomedical Imaging and Spectroscopy: Toward Big Data Instrumentation and Management, **97200E** (2016).
- [5] 大槻浩之, 青木孝文, 樋口龍雄, 小林孝次, “回転不変位相限定相関に基づく画像照手法とその評価” 計測自動制御学会東北支部第 194 回研究集会, 194-7 (2001).
- [6] 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋聖, “位相限定相関法に基づく高精度マシビジョン”, IEICE Fundamentals Review, **1**, 30-40 (2007).