

プログラム名：セレンディピティの計画的創出による新価値創造

PM名：合田 圭介

プロジェクト名：細胞同定技術開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成27年度

研究開発課題名：

セレンディピター用の細胞検出アルゴリズムの高速化

研究開発機関名：

千葉大学大学院工学研究科

研究開発責任者

下馬場 朋禄

## I 当該年度における計画と成果

### 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本年度はプロジェクト3から得られる画像情報や分光情報から得られる知見をもとにアルゴリズムの選定やGPU/FPGAへのハードウェア実装を目標とする。具体的には、プロジェクト3の計測装置の1つであるSTEAMの画像再構成・細胞同定処理のGPU/FPGA実装、および、分光イメージング装置(SRS)の成分分離の信号処理の高速化をプロジェクト3と連携しながら検討を行う。具体的な目標は以下のとおりである。

- (1) STEAM用の画像再構成・細胞同定処理のGPU/FPGAへの実装方法の検討
- (2) 細胞サイズの変化を高速かつ正確に検出可能なアルゴリズムの選定もしくは開発
- (3) 分光イメージング計測装置(SRS)で使用されている成分分離のための信号処理の高速化
- (4) 試験的に細胞サイズ変化検出のGPU実装を行い、秒間1,000個程度のスループットで細胞を同定可能かどうか検証
- (5) FPGAへの実装方法を検証
- (6) プロジェクト4とプロジェクト5間でのインターフェースの検証
- (7) セレンディピターの試作機(セレンディピター・ミニ)へ向けたシステムの検討

### 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

#### 2-1 進捗状況

プロジェクト3・チーム1で開発を行っているSTEAMに関して、昨年度に引き続きその画像再構成回路のFPGA実装を行った。FPGAにはSP Devices社製のADQ108ボードを使用している。このボードにはSTEAMのフォトディテクタからくる信号を7GHzでサンプリングできるADコンバータとそのデジタルデータを信号処理するためのFPGA(Xilinx社製Virtex6)が搭載されており、昨年度までに画像再構成回路はできていたがコントラストの悪い再構成画像であった。本年度はSTEAM信号を外部アンプで増幅することやFPGA内部の回路構成を変更することで、コントラストを大幅に上げている。また、昨年度の回路に採用した画像再構成アルゴリズムでは長時間運転時に原理的に再構成画像が乱れてしまうが、今年度の回路ではこの問題点もクリアしている。このFPGAに画像再構成回路の実装を行い、流路内を流れる細胞をSTEAMで計測しFPGAで実際にリアルタイム再生することに成功している。セレンディピターの試作機に組み込むため、画像再構成回路以外に、分取を正確に行うためのタイムスタンプ方式の回路や分取信号出力回路も実装し、現在、調整を行っている。

FPGAで画像再構成を行ったあとに、流路内を流れる細胞をある基準に沿って高速に分取する必要があるが、その細胞同定アルゴリズムの検討、CPU/GPU(Graphics Processing Unit)上への実装も行っている。ここでは、同定基準として細胞サイズの大小を検出するアルゴリズムの検討を行っている。高速化に適しており、正確に細胞分取をできることができる方式として、下記の3方式を検討した。

- 輪郭抽出アルゴリズム：細胞の輪郭を抽出することで細胞サイズを計測。

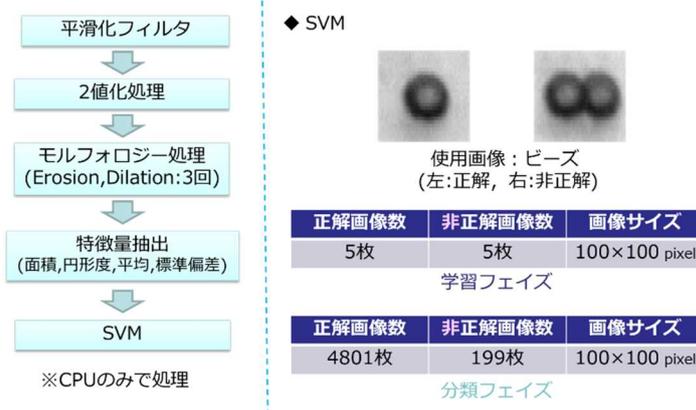
- 回転不変位相相関法：再構成画像に対して、Log-Polar 変換を行い、その後、位相限定相関法を適用することで、細胞のサイズや角度の変化を検出することができるアルゴリズム。
- AdaBoost およびサポートベクトルマシン：機械学習アルゴリズムで高精度な分別が可能。

プロジェクト 3・チーム 1 で開発を行っている SRS についても、GPU 上での成分分離のための信号処理の高速化を検討した。成分分離のためには計測分光画像にあらかじめ求めた基底関数の擬似逆行列をかければよい。本年度はこの計測分光画像と擬似逆行列の乗算を GPU 上で高速化する検討を行っている。GPU には NVIDIA 社の GPU を使用しており、行列計算を高速に行えるライブラリを利用した。

## 2-2 成果

本年度に開発を行っている STEAM 信号を FPGA で画像再構成を行い細胞同定を行うシステムの概略を述べる。流路を流れる細胞を STEAM で計測し、FPGA で画像再構成を行い CPU もしくは GPU で細胞同定処理を行う。分取結果を元に分取信号をプロジェクト 5 の装置に渡す。本年度は FPGA 部の開発と細胞同定部（CPU および GPU 上への同定アルゴリズム実装）を行った。

開発したシステムでは FPGA で STEAM 信号を常に見ておき、STEAM 信号に細胞が存在するときのみ FPGA を動作させる細胞検出回路が実装されている。細胞が存在する場合は、画像再構成回路が起動する。STEAM 信号が 1 次元信号であるため、画像再構成回路によりリアルタイムで 2 次元画像データへ変換する。この際、細胞検出時の時間情報を保持し、画像データを PC に送信する。このデータを元に、CPU もしくは GPU で同定アルゴリズムを用いて識別し、識別結果を FPGA に戻す。保持してある時間情報と識別結果を使って分取信号を生成し、流路を流れてきた細胞を分取する構造となっている。



細胞同定アルゴリズムを幾つか選定し実装を行っているが、上図は STEAM 信号から再構成された流路内を流れるビーズ画像を機械学習アルゴリズムの一つであるサポートベクトルマシンを使って分類（シングルビーズかダブルットかを識別）したときの結果である。識別率は 9 割以上で、処理速度は 0.3ms となったため、1,000 細胞以上で分類ができることを見込んでいる。

STEAM 以外の計測装置では、SRS 顕微鏡の成分分離アルゴリズムの GPU 実装を行った。成分分離はおおよそ正しく行われており、処理速後は GPU 上で行った場合、おおよそ 0.3ms で処理を終えることができる。

### 2-3 新たな課題など

STEAM と FPGA を組み合わせたリアルタイム再構成システムはおおよそ完成したと考えている。ただし、まだ細胞検出のトリガ部分などの作りこみが甘いところもあり、細胞を取り逃がしてしまうことがありそうなので改善を行う。また、現在、各プロジェクトの要素技術を組み合わせて STEAM によるセレンディピターの試作機の開発を行っており、今後結合テストを行う予定である。現時点では分取がうまくいく前提は、流路内を流れる細胞の速度が一定であることとなっており、これを前提に FPGA の回路が組み上がっている。結合テストにより分取がうまく行けばよいが、うまくいかない場合は流路内の細胞速度の分散が大きいことが考えられるため、この分散を考慮した分取信号の生成手法を考える必要があるだろう。

### 3. アウトリーチ活動報告

なし