

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：細胞計測技術の開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成果)

平成 2 7 年度

研究開発課題名：

ホログラフィに基づく高速・高精度イメージングフローサイトメトリーに
おけるリアルタイム計測システムの開発

研究開発機関名：

国立大学法人千葉大学

研究開発責任者

角江 崇

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

ホログラフィに基づく高速・高精度イメージングフローサイトメトリーにおけるリアルタイム計測システムの開発が本研究課題の目的である。当該年度においては、システムにおいて必要となる像再生処理計算の高速化するための、高速像再生システムの開発を目標とした。

ホログラフィにおいては、撮影した画像（ホログラム）に対する像再生計算が必要である。従来のホログラフィに基づく計測システムでは、ホログラムの撮影にかかる時間に対して像再生計算にかかる時間の方が支配的であったため、像再生計算の高速化なくして本課題において目標とする Throughput の実現は困難であった。そこで、GPU に基づく高速像再生システムを構築するとともに、さらなる高速化を達成するための像再生処理手法についても検討した。一方で、従来はホログラム 1 枚あたり計 4 回の高速 2 次元フーリエ変換が必要であったが、これを計 2 回にするアルゴリズムを適用することで計算負荷を低減して高速化する手法についても検討した。

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

概ね予定通りに進捗した。GPU として NVIDIA 社の GeForce GTX 980 を 1 台利用して高速像再生システムを構築した。撮影したホログラムデータをリアルタイムに PC へと転送可能なリアルタイム高速度カメラが、水平 1,280×垂直 128 画素にて最大 4,000 frames/sec の速度で撮影、転送可能であるため、本研究課題において目標とする Throughput を 4,000 cells/sec と設定した。また、1,280×128 画素のホログラム 1 枚を、128×128 画素のホログラム 1 枚が 10 枚合わさっているものと捉えることにより、1 frame あたり最大で 10 個の計測対象を撮影可能であるシステムの構築を目指した。また、ホログラム 1 枚あたり計 2 回の高速 2 次元フーリエ変換のみで像再生を実行するアルゴリズムを導入することで、計算処理の高速化も実現した。

2-2 成果

本システムにおける計算処理は、以下の 6 つの処理に分けられる。

1. PC から GPU へのデータ転送

GPU にて計算処理を実施するため、撮影したホログラムのデータを GPU へと転送する。

2. 複素振幅の生成

記録したホログラムは強度分布であるが、ホログラフィにおいては光波の分布（複素振幅分布）が必要となる。ここでは得られた強度分布に基づいて複素振幅分布を再構成する。

3. 高速 2 次元フーリエ変換

4. 空間フィルタリング

5. 逆高速 2 次元フーリエ変換

取得したホログラムには、必要となる計測対象の 3D 情報以外にも不要な情報（直接光、共役像）が含まれるが、ホログラム撮影時に空間キャリアを重畳させておくことにより、周波数空間におけるフィルタリングによって必要な情報と不要な情報とを分離できる。ここでは、高速 2 次元フーリエ変換と空間フィルタリングを利用して必要な情報のみを抽出する。

6. GPU から PC へのデータ転送

計算結果を PC へと転送する。

表 1 に、開発した高速像再生システムにて得られた計算時間を示す。計算時間は 5 万回処理した結果を平均した値である。撮影するホログラムは $1,280 \times 128$ 画素であり、1 画素あたり 12bit のデータを有しており、赤、緑、青の 3 色の色情報を含んでいる場合を想定した。計算結果としては、各色において強度分布と位相分布をそれぞれ 8bit にて階調化したものを想定した。処理時間は、 $1,280 \times 128$ 画素のホログラムから、 128×128 画素のホログラムを 10 枚同時に再生する場合のものである。しかし実際には、 $1,280 \times 128$ 画素の範囲には計測対象が 4 個しか含まれない。したがって表 1 の結果から、本システムによって達成可能な Throughput は

$$\frac{1}{0.891 \times 10^{-3} [\text{frames/sec}]} \times 4 [\text{cells/frame}] \approx 4,490 [\text{cells/sec}] \quad (1)$$

と見積もられた。その結果、計画の時点で目標としていた 4,000 cells/sec の Throughput は達成可能であることが示された。

表 1 開発した高速像再生システムにおける処理時間

計算処理	処理時間 [msec]
PCからGPUへのデータ転送	0.184
複素振幅分布の生成	0.149
高速2次元フーリエ変換	0.070
空間フィルタリング	0.129
逆高速2次元フーリエ変換	0.210
GPUからPCへのデータ転送	0.249
合計	0.891

2-3 新たな課題など

今回は像再生計算において必要となる処理時間のみを評価したが、実際にはリアルタイム高速度カメラからのデータ転送時間も考慮に入れる必要がある。また、リアルタイムのデータ転送を含めた像再生システムを開発する必要がある。

一方で、マイクロ流路中を流れる計測対象が、カメラから見て深度（奥行き）方向に位置ずれが生じることが判明しており、本システムにおいてもそのことを考慮して像再生処理を実装する必要があるが出てきた。この場合、従来と同様に計 4 回の高速 2 次元フーリエ変換が必要となるため、例えば GPU クラスタシステムの導入によるさらなる高速化を検討する必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。