

# 顕微授精支援における精子追尾のための高精度な Multiple Object Tracking モデル

古菅 翔生<sup>†</sup> 濱上知樹<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院 理工学府

## 1 はじめに

生殖医療による出生児の増加 [1] や厚生労働省による不妊治療の保険適用範囲拡充 [2] など、生殖医療への期待が高まっている。顕微授精は生殖医療の1つで、専門家である胚培養士が選別した精子により授精を行う。しかし、精子の選別には高度な技術が必要であり、胚培養士の人材不足などの課題がある。そこで、本研究室では胚培養士の負担軽減や技術伝承を目的とし、顕微鏡動画画像から精子を検出、特定の精子の追尾を行い、追尾済みの精子動画画像から評価を推定するリアルタイム End2End システムを開発している。図1に本研究室で開発中の精子評価自動化システムの概要を示す。

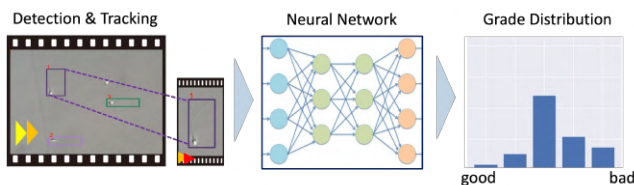


図1: 精子評価自動化システムのフロー

本研究では前段の顕微鏡動画画像からの検出・追尾タスクを扱う。本研究の目的は、顕微授精支援における精子追尾のための高精度な Multiple Object Tracking モデルを構築することである。精子評価自動化システムにおける精子の検出・追尾タスクの精度は後段の評価推定に強く影響するため、重要なタスクとなる。

## 2 物体追尾アルゴリズム・関連研究

### 2.1 カルマンフィルタ

カルマンフィルタは誤差を含む観測値から、時間変化量を推定する際に用いられる手法である。物体追尾では物体検出器から与えられる bbox の情報 (観測値) とカルマンフィルタによって予測される物体の状態ベクトル (予測値) を用いて、次のフレームの状態を予測する。この状態ベクトルは bbox の中心座標、アスペクト比、スケールの4つとそれぞれの時間微分を合わせた8次元のベクトルである。通常、物体追尾におけるカルマンフィルタは次のフレームを予測する際の状態遷移関数に等速度モデルを仮定している。

### 2.2 ByteTrack[3]

従来のカルマンフィルタベースの追尾モデルは一段階のマッチングのため、物体が部分的に隠れている (オクルージョン) と確信度が低いために、未検出となる問題があった。これに対し ByteTrack では低確信度の bbox も考慮できる二段階のハンガリアンによるマッチングアルゴリズムを導入することで低確信度の物体の未検出問題を解決し、高精度な追尾を達成している。

### 2.3 OC-SORT (Observation-Centric SORT)[4]

OC-SORT は観測値の情報を最大限に利用して、より動き推定に特化した追尾アルゴリズムを提案し、ByteTrack よりも高精度な追尾を実現している。提案手法の ORU (Observation-centric Re-Update) では仮想線形軌跡を生成し状態ベクトルに加えることで軌道を補正し、OCM (Observation-Centric Momentum) ではマッチングコストに観測値との角度を考慮したコストを追加することで IoU (Intersection over Union) での関連付けが困難な場合でも関連付けを可能にしている。

## 3 提案手法: Extend BoC-SORT

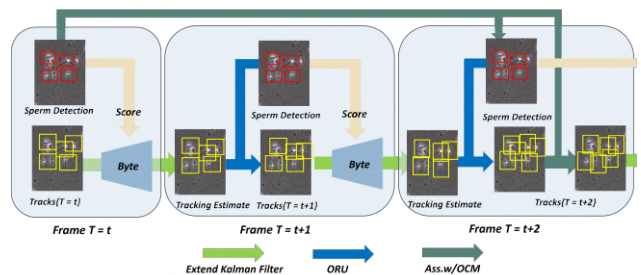


図2: 提案手法 (Extend BoC-SORT) 概要図

提案手法の概要を図2に示す。精子画像は一般物体と比べ、有効な外観特徴が得られにくく、さらに精子は不規則な動きをすることがある。この問題に対し本稿では、物体の動き特徴のみを考慮し、動き予測アルゴリズムに部分的に非線形性を加えた追尾モデルを提案する。

### 3.1 Extend Kalman Filter

従来のカルマンフィルタベースの追尾手法は次のフレームの状態の予測の際に等速度の動きを仮定する。しかし、精子はモデルの予期しない動きをする場合があるため、追尾が外れることがある。この問題に対し、本稿ではカルマンフィルタに部分的に非線形性を追加した Extend Kalman Filter を提案する。具体的にはカルマンフィルタの予測の際に等速度ではなく等加速度を仮

High Accurate Multiple Object Tracking Model for Sperm Tracking in Supporting ART

<sup>†</sup> {Shouji Kosuge, Tomoki Hamagami}, Yokohama National University

定し、状態予測を行う。これにより、従来は予測困難であった精子の動きを予測可能になることが期待される。

### 3.2 BoC-SORT(Byte OC-SORT)

OC-SORTではカルマンフィルタの予測に観測値を利用したマッチングを提案しているが、マッチングは一段階のみである。そこで本稿ではOC-SORTの後段にByteTrackに用いられている二段階マッチングアルゴリズムを追加したBoC-SORTを提案する。ByteTrackと同様に検出が低確信度のbboxも追尾可能になることが期待される。本稿では上記の2つを組み合わせた追尾モデルをExtend BoC-SORTとして提案する。

## 4 実験

### 4.1 目的・実験内容

本実験では精子動画画像からの精子の追尾タスクを行う。実験における検出モデルは以降で説明する精子動画画像で学習済みのYOLOX[5]で固定し、ByteTrackを始め、既存モデルと提案手法の追尾精度の比較を行う。

### 4.2 実験データ

本実験では検出追尾アノテーション済みデータセットとして、VISEM-Tracking[6]を用いる。本データセットは人間の30-180秒の精子動画画像データであり、1秒あたりのフレーム数は45-50枚である。本実験では約30秒の精子動画画像を20本用いた。

### 4.3 評価指標

本実験では、評価指標として追尾モデル評価指標であるHOTA[7]、MOTA、IDF1で評価を行う。

## 5 実験結果

### 5.1 結果と考察

各評価指標における実験結果を表1に示す。Ex KFはExtend Kalman Filterを示す。提案手法が全評価指標でベースラインであるByteTrackを上回る結果となった。この結果より提案手法が精子動画画像からの追尾に有効であることが分かる。さらにByteTrack、OC-SORT単体に対し、Extend Kalman Filterを導入した場合の方が精度が高いことから部分的に非線形性を追加した予測も有効に働いたことが分かる。また、外観特徴を利用するBoT-SORT[8]を上回ることから外観によるマッチングに依存せず、追尾ができていたことも分かる。

表1: 実験結果 各数値は3回の追尾実験結果の平均値を表す

Model	Byte	Ex KF	HOTA	MOTA	IDF1
ByteTrack	✓		37.86	63.62	75.02
ByteTrack <sup>+</sup>	✓	✓	38.46	69.23	75.54
BoT-SORT[8]			35.69	68.65	76.35
OC-SORT			39.00	69.89	78.01
OC-SORT <sup>+</sup>		✓	39.82	69.91	79.03
Ours	✓	✓	<b>40.32</b>	<b>69.99</b>	<b>80.12</b>

### 5.2 追尾軌跡の可視化

ByteTrackと提案手法による追尾軌跡の可視化例を以下図3(a), 図3(b)に示す。図3(a)では赤く線で示した部分で大きく物体が移動した場合に追尾ミスが起きている事が分かる。対して図3(b)の軌跡では赤く線で示した部分で大きく移動した場合でも追尾が続いていることが分かる。しかし、精子同士の重なりによるオクルージョンや激しい動きを伴う交差が起こる動画データでは、精子に付けられたIDが初期化されたり、ID同士が交換されてしまうIDスイッチが多く見られた。

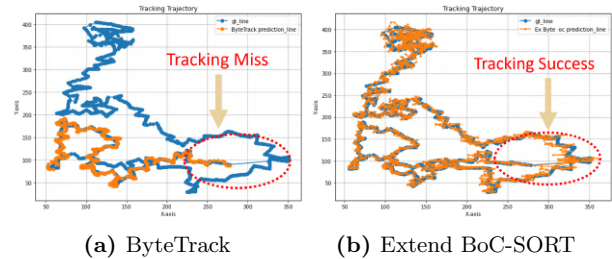


図3: 追尾軌跡の可視化

## 6 おわりに

本稿では、顕微授精支援のための高精度なMultiple Object Tracking手法として、部分的に非線形性を追加した予測手法と観測値を最大限に利用した関連付けを組み合わせた追尾モデルを提案した。また、実験により精子動画データセットでベースラインと比較して、本提案手法の有効性を示した。

今後はより動き推定に特化したモデルの検討、さらに物体検出器にも焦点を当て、検出・追尾性能を向上できる手法を構築したいと考えている。

## 参考文献

- [1] 2020年体外受精・胚移植等の臨床実施成績, 公益社団法人日本産科婦人科学会, 2020. [https://www.jsog.or.jp/activity/art/2020\\_ARTdata.pdf](https://www.jsog.or.jp/activity/art/2020_ARTdata.pdf).
- [2] 不妊治療の保険適用について, 厚生労働省, 2020. <https://www.mhlw.go.jp/content/10808000/000929827.pdf>.
- [3] Yifu Zhang, Peize Sun, Yi Jiang, Dongdong Yu, Fucheng Weng, Zehuan Yuan, Ping Luo, Wenyu Liu, and Xinggang Wang. Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box. 2022.
- [4] Jinkun Cao, Jiangmiao Pang, Xinhao Weng, Rawal Khirodkar, and Kris Kitani. Observation-centric sort: Rethinking sort for robust multi-object tracking. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 9686–9696, 2023.
- [5] Zheng Ge, Songtao Liu, Feng Wang, Zeming Li, and Jian Sun. Yolox: Exceeding yolo series in 2021. *arXiv preprint arXiv:2107.08430*, 2021.
- [6] Vajira Thambawita, Steven A Hicks, Andrea M Storås, Thu Nguyen, Jorunn M Andersen, Oliwia Witzczak, Trine B Haugen, Hugo L Hammer, Pål Halvorsen, and Michael A Riegler. Visem-tracking, a human spermatozoa tracking dataset. *Scientific Data*, Vol. 10, No. 1, pp. 1–8, 2023.
- [7] Jonathon Luiten, Aljosa Osep, Patrick Dendorfer, Philip Torr, Andreas Geiger, Laura Leal-Taixé, and Bastian Leibe. Hota: A higher order metric for evaluating multi-object tracking. *International Journal of Computer Vision*, pp. 1–31, 2020.
- [8] Nir Aharon, Roy Orfaig, and Ben-Zion Bobrovsky. Bot-sort: robust associations multi-pedestrian tracking. *arXiv preprint arXiv:2206.14651*, 2022.