

令和4年度卒業論文

滞留状態と二段階マッチングを追加した  
SORTによる複数小動物の同時追跡

指導教員 棕木雅之

宮崎大学工学部情報システム工学科

長友祐磨

## 概要

本論文では、複数小動物の同時追跡において、複数物体追跡の従来手法である SORT を改良することで ID スイッチの削減を目指す。SORT は物体検出アルゴリズムによって検出した追跡対象を、カルマンフィルタで予測した位置とマッチングさせ、追跡 ID を割り振ることで追跡を行う。しかし、SORT は物体検出の失敗で、追跡が途切れてしまうという問題がある。小動物の追跡では小動物同士の重なりやぶつかり合いなどが頻発するため、小動物の検出に失敗することがある。そのため、SORT による小動物の追跡では ID スイッチが発生しやすい。そこで、本論文では ID スイッチを削減するための手法として提案されている牛用 SORT、BYTE の機能を組み合わせ、SORT に追加した。牛用 SORT からは「滞留」状態の機能を採用することで小動物の滞留に対応する。また、BYTE からは全ての検出結果を用いた「二段階マッチング」を採用することで小動物同士のぶつかり合いに対応する。

評価実験として小動物の動画を用いて、提案手法を SORT、牛用 SORT、BYTE と ID スイッチの数で比較した。結果として、提案手法が最も ID スイッチの数を削減することができていた。しかし、物体検出に失敗し、追跡が途切れてしまった場面も確認した。今後の課題としては、物体検出器の精度の向上が挙げられる。また、今回の実験に用いた動画は小動物を見分けやすい環境であったため、野生環境に近い動画での実験も必要だと考えられる。

# 目次

1	はじめに.....	1
2	複数物体追跡の従来研究.....	3
2.1	複数物体追跡とは.....	3
2.2	SORT.....	3
2.2.1	物体検出.....	5
2.2.2	検出と追跡 ID のマッチング.....	5
2.2.3	追跡 ID の作成と削除.....	6
2.2.4	カルマンフィルタ予測.....	6
2.3	牛用 SORT.....	7
2.4	BYTE.....	7
3	複数小動物の同時追跡.....	9
3.1	複数小動物の同時追跡の特性.....	9
3.2	滞留状態と二段階マッチングを追加した SORT.....	9
3.2.1	滞留状態の導入.....	10
3.2.2	カルマンフィルタ予測の停止.....	10
3.2.3	全ての検出結果の利用.....	11
3.2.4	二段階マッチングの追加.....	11
3.3	提案手法の流れ.....	12
4	評価実験.....	14
4.1	実験データ.....	14
4.2	提案手法の評価.....	16
4.3	実験結果の分析.....	17
4.4	考察.....	20
5	おわりに.....	21
	謝辞.....	22
	参考文献.....	23

## 1. はじめに

複数物体追跡(Multiple Object Tracking ; MOT)は、動画像に写る複数の対象を追跡する問題である。複数物体追跡は、防犯映像での利用、自動運転での利用、動物の行動分析など様々な利用方法が期待されている。複数物体追跡の手法の1つに SORT[1]がある。SORT は、深層学習を用いた物体検出アルゴリズムによって検出した追跡対象を、カルマンフィルタで予測した位置とマッチングさせ、追跡 ID を割り振ることで追跡を行う。深層学習による物体検出技術の向上により、SORT は簡易で高速な手法として盛んに利用されてようになってきている。しかし、SORT は物体検出結果を利用するため、物体検出に失敗すると、追跡が途切れてしまう。特に、物体同士が重なり、一部または全体が隠れてしまうオクルージョンが発生すると、物体検出の精度が低下してしまう。物体検出に失敗して追跡が途切れてしまったり、オクルージョンによって重なった物体と誤ってマッチングをされたりすると、追跡中の物体の追跡 ID が別の ID に入れ替わってしまう ID スイッチが発生し、追跡の精度が低下してしまう。通路上を移動する人の追跡のように、一定方向に一定速度で移動する対象の追跡では、SORT でも ID スイッチはそれ程生じないが、人が立ち止まったり、集団で移動したりするような一般的な場面では、ID スイッチが頻発する問題がある。

これに対して、アミニンは牛を追跡するための牛用 SORT[2]を提案している。牛は群れで行動し、滞留するため ID スイッチが発生しやすい。そこで、「滞留」状態を導入して一時的に追跡対象の検出に失敗してもその位置に滞留し続けているとみなして追跡を続けるように、SORT を改良した。これにより ID スイッチの頻度を低減できている。

また、Zhang らは、信頼度の低い検出結果も全て利用して追跡を行う BYTE[3]を提案している。オクルージョン等が起こると、追跡対象の検出結果の

信頼度が低下する。従来の SORT では、追跡時の誤対応を起こさないよう、信頼度の低い検出結果は削除していた。そのため、検出失敗となり ID スイッチが生じていた。BYTE では、信頼度の高い検出結果によるマッチングを行った後、残りの軌跡に対して信頼度の低い検出結果を利用してマッチングする二段階でのマッチングを行っている。これにより、追跡時の誤対応が増えることを防ぎつつ、追跡が途切れて ID スイッチが起こることを低減できている。

本研究では、複数小動物の同時追跡を行う。対象とする小動物は、数匹で集まって体を寄せ合ったり、ぶつかり合いながら移動したりする。アミノンが対象とした牛と比較すると、集団で滞留する点は似ているが、ぶつかり合い入れ替わりながら比較的高速に移動する点が異なる。そのため、より困難な追跡対象であり、ID スイッチが頻発する。そこで、ID スイッチの削減を実現するために牛用 SORT と BYTE の持つ処理を組み合わせ、SORT を改良する。牛用 SORT の機能である「滞留」状態を追加し、「滞留」状態の対象はカルマンフィルタの予測を停止することで、隠れてしまったままで長時間動かない対象を追跡できる。また、BYTE の機能である全ての検出を利用した二段階マッチングにより、ぶつかり合うことで一時的に検出の信頼度が下がった対象を追跡し続けることが出来る。この提案手法により ID スイッチを削減させる。

以下、2 章では複数物体追跡の従来研究について述べる。3 章では本研究の目的である小動物追跡における ID スイッチに対処するための手法を提案する。4 章では提案手法の効果を実証するために行った実験とその結果について述べる。5 章では本研究の結果を要約し、今後の改善点について述べる。

## 2. 複数物体追跡の従来研究

### 2.1 複数物体追跡とは

複数物体追跡とは入力された動画像内に含まれる人や自動車などの対象を同時に追跡する技術である。複数物体追跡にはバッチ型の処理とオンライン型の処理がある。バッチ型は入力された動画像の全てのフレームを考慮し、追跡を行う。バッチ型は時間的に前後の情報も利用できるため、高精度の追跡を行えるが、実時間での追跡を行うことはできない。一方で、オンライン型は現在読み込んでいるフレームとそれ以前のフレームから得られた情報のみを用いて追跡を行う。オンライン型は処理の高速性を重視し、考慮するフレームが少ないので、バッチ型と比較すると追跡の精度が下がってしまう。

しかし、近年では、物体検出アルゴリズムが発達したことにより、この問題を解決したオンライン型の手法として「Tracking by Detection(検出による追跡)」というアプローチが物体追跡の手法として主流になってきている[4]。Tracking by Detection では動画像の各フレームに対して物体検出を行い、その検出結果と追跡対象の位置や速度パラメータ、外観特徴などを対応づけることで追跡を行う。この Tracking by Detection によりオンライン型でも高精度で高速な追跡を行うことができる。具体的な手法としては SORT[1]や牛用 SORT[2]、BYTE[3]などがある。

### 2.2 SORT

Simple Online and Real Time Tracking(SORT)[1]は Tracking by Detection のアプローチに基づく複数物体追跡手法の1つである。SORTの流れを図1に示す。まず、入力された動画像の各フレームに対して物体検出を適用する。検出の

結果はバウンディングボックス(bbox)と呼ばれる物体を囲う矩形で表現する。生成された bbox を、保持している追跡 ID の移動履歴(軌跡)から割り出した予測位置(後述)を元にハンガリアン法により最善となるように追跡 ID とマッチングさせていく。保持している追跡 ID と対応づいた bbox は、その ID を持つ対象の新たな位置として軌跡のデータを更新する。保持している ID と対応づかなかった bbox は、新規 ID を割り当てて新しい軌跡として登録する。また、数フレームの間 bbox と対応づかなかった軌跡は削除される。次フレームの処理のために、軌跡を元にカルマンフィルタを用いて次フレームでの追跡対象の位置を予測する。

以下に各処理の詳細について述べる。

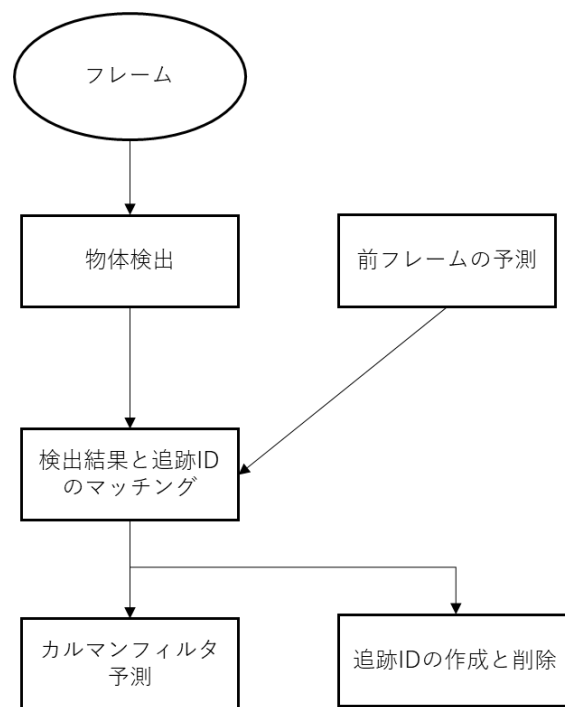


図 1 SORT の処理の流れ

## 2.2.1 物体検出

入力された動画の現フレームに対して追跡対象の位置を特定するために物体検出を行う。YOLO(You Only Look Once)[5]などの物体検出アルゴリズムを用いることで追跡対象の bbox を出力する。YOLO は深層学習を用いた物体検出法で、高速なためオンライン処理に適している。YOLO は画像を入力として、bbox と信頼度スコアを出力とする。信頼度スコアとは「bbox が正確に物体を捉える正確さ」と「クラス分類が正しい確率」を掛け合わせた数値で、1 が最大となる。

この信頼度スコアが予め設定されている閾値よりも低い bbox は背景などの誤検出の可能性があるので、以降の処理では無視される。

## 2.2.2 検出結果と追跡 ID のマッチング

検出された bbox と軌跡から予測された追跡対象の位置(後述)との重なりから、ハンガリアン法を用いて bbox に追跡 ID を割り当てる。ハンガリアン法とは  $n$  人に  $n$  個の仕事を効率よく割り当てることを考える「割当問題」を解くアルゴリズム[6]である。各仕事を 1 つずつ各人に割り当てる時に、スコアの和が最も高くなる組み合わせを求める。SORT でのマッチングにおけるスコアとは bbox と予測位置の重なり部分を IoU スコアで表したものになる。図 2 に IoU の式を示す。IoU とは 2 つの領域がどれだけ重なっているかを示す指標で、2 つの領域の重なり合っている部分を、2 つの領域を足した和集合で割ったものである[7]。



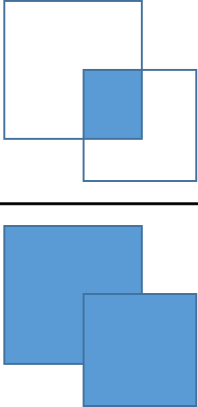
$$\text{IoU} = \frac{\text{領域Aと領域Bの共通部分}}{\text{領域Aと領域Bの和}}$$


図 2 IoU の式

### 2.2.3 追跡 ID の作成と削除

追跡対象が新たにフレーム内に入ってきた場合、新規 ID を作成する。誤検出によって追跡対象でないものを誤って登録することを防ぐために、新規 ID は対象物体が 3 フレーム連続で追跡できた場合のみ登録される。

また、追跡対象が一定時間検出されなかった場合は、追跡対象がフレームから出たとみなしてその ID を削除する。

### 2.2.4 カルマンフィルタ予測

SORT では物体検出の結果と追跡 ID をマッチングさせるために、カルマンフィルタを使用し、追跡中の軌跡の次フレームでの位置とサイズを予測する。カルマンフィルタとは観測した値から見えない「状態」を推定するための手法である。SORT では観測している追跡対象は等速度で移動していると仮定し、次のフレームでの位置とその大きさを予測する。各フレームでの検出結果を利用することで速度パラメータの更新を行う。これを繰り返して随時追跡している対象の情報を更新することで、精度よく予測を行うことができる。

## 2.3 牛用 SORT

物体追跡は人を追跡するために利用されることが多いが、牛を追跡するために機能を追加し改良された牛用 SORT[2]も提案されている。牛は群れで行動することが多く、移動速度も遅いので、重なり滞留の状態が起りやすく、追跡中の牛が長い時間隠れてしまい ID スイッチが発生してしまう。物体追跡では、街頭の歩行者などを追跡することが多く、追跡対象が長時間立ち止まることをあまり想定していない。牛用 SORT はフレーム内で検出できなくなった対象は「滞留」状態とし、ID を削除せずに保持し続け、再検出された際に ID を割り当て直すことで長時間滞留した牛を追跡することを可能にした。また、この他にも「画像の拡大と再検出」や分断された「追跡 ID の結合」などの処理を追加することで、牛を追跡する際に発生する ID スイッチを削減した。

実際に論文[2]の実験結果では SORT の高速性を保ちつつ、外観特徴を用いた追跡と同程度の追跡パフォーマンスを達成することができていた。

## 2.4 BYTE

SORT は先述した通り、物体検出の際に閾値を設けることで信頼度スコアの低い検出を除外し、誤って追跡 ID を登録することを防いでいる。しかし、追跡対象の検出の信頼度スコアがオクルージョンなどによって低くなってしまった場合、信頼度スコアが閾値を満たすことができずに、真の追跡対象の検出を除外してしまうので追跡が途切れ、ID スイッチが発生してしまう。この問題を解決するために BYTE[3]が提案された。

BYTE は全ての検出結果を利用することで、ID スイッチを削減する手法である。検出結果と追跡 ID のマッチングを二段階にすることで、誤検出を SORT と同様に除外できる。具体的には、信頼度スコアの高い検出結果のみを追跡 ID の

新規登録に利用し、信頼度の低い検出結果は追跡中の ID を割り当てる時のみ利用することで、全ての検出結果を利用することによる誤検出の増加を防いでいる。論文[3]の実験結果によると、BYTE は高速な処理を保ちつつ、ID スイッチの削減と追跡精度の向上に成功している。

## 3. 複数小動物の同時追跡法

### 3.1 複数小動物の同時追跡の特性

家畜の感染症対策や医学などの実験において小動物の行動観察は重要な作業になるが手作業で行動観察を行う場合、観察者に負担がかかってしまう。そこで、観察する手間をかけずに小動物の行動を分析できる手法が望まれている。

Tracking by Detection のアプローチにおける複数物体追跡の代表的な手法として、SORT が挙げられるが、小動物の追跡においてはオクルージョンが頻発してしまう。小動物は複数で行動する場合、数匹で集まって体を寄せ合ったり、ぶつかり合いながら移動したりすることで体が隠れてしまうことがある。単一カメラでの複数物体追跡では、カメラから隠れてしまった追跡対象は検出できなくなるため、追跡が困難になる。また、小動物は個体同士が似ているため、外観特徴を用いて識別することも難しい。本研究では、複数小動物の同時追跡において、オクルージョンによる ID スイッチを削減する手法を提案する。

### 3.2 滞留状態と二段階マッチングを追加した SORT

本研究では、小動物の追跡におけるオクルージョンを削減するために、従来手法として前述した、牛用 SORT[2]の機能である、「滞留」状態の導入とカルマンフィルタ予測の停止、BYTE[3]の機能である、全ての検出を利用した二段階マッチングを追加した SORT を使用する。

### 3.2.1 滞留状態の導入

小動物は数匹で集まって固まってしまった場合、そのまま止まっている時間が長い。そのためカメラの視点で障害物や他の個体の後ろに隠れていると、検出されなくなる。先述した通り、一定時間検出されなかった追跡 ID は削除されるので、カメラから隠れている時間が長くなった場合、追跡が途切れる。

隠れていた個体が再度検出された際には新しい ID が割り当てられ、ID スイッチが発生する。そこで、bbox を割り当てられなかった ID には「滞留」という状態を与える。「滞留」状態の ID は、一定時間検出されなくても削除しない。検出結果とのマッチングの際には「滞留」状態の ID も割り当ての対象となる。これにより、「滞留」状態の追跡対象が再度検出された際に、追跡 ID を正しく割り当て直すことができる。ただし、カメラの視野から追跡対象が外れてしまう場合は、滞留状態ではないので、フレーム外側周辺で検出が途切れた場合にはその追跡 ID を削除する。

小動物の追跡においても複数の対象が集まって滞留が発生する。そこで、「滞留」状態を導入することで ID スイッチを削減する。

### 3.2.2 カルマンフィルタ予測の停止

「滞留」状態の軌跡に対して、カルマンフィルタで長期間予測を行うと、滞留している対象の位置から予測位置が外れてしまうことがある。これを防止するために「滞留」状態の軌跡に対してはカルマンフィルタ予測を停止する。

SORT で用いられるカルマンフィルタでは追跡対象が等速運動していると仮定する。物体の移動速度は、それまでの追跡結果によって予測されるが、検出される bbox に多少のずれが発生することで実際には追跡対象が止まっても速度は 0 になっていないことがある。これにより、長時間滞留している追跡対象の軌

跡において、滞留する直前に移動する予測をしていた場合、カルマンフィルタによる予測位置が滞留している位置から大きく外れてしまう恐れがある。そこで、滞留状態の追跡対象はカルマンフィルタ予測を停止する。滞留状態の追跡対象が再度動き出した際に、元の軌跡の近くで再検出されれば、同じ ID を割り振り、追跡を継続することができる。

### 3.2.3 すべての検出結果の利用

従来の複数物体追跡の手法では物体検出の段階で閾値を設け、信頼度スコアの低い検出結果は以降の処理で無視される。これは、背景などを誤検出してしまい不必要な追跡 ID を登録することを防ぐためである。しかし、正しい検出対象が背景や他の追跡対象で隠れてしまうと、検出の精度が下がってしまい、閾値に満たない場合がある。この時、検出は一度途切れたことになってしまい追跡も途切れ、ID スイッチが発生してしまう。これを避けるために全ての検出結果を追跡に利用する。

### 3.2.4 二段階マッチングの追加

全ての検出結果を利用すると、従来の手法では、大量の誤検出の追跡 ID を登録してしまう可能性がある。これを防ぎ、追跡の精度のみを高めるために、検出結果と追跡している軌跡のマッチングを二段階に分ける。図 3 に二段階マッチングの流れを示す。まず、閾値を設け、検出結果を信頼度スコアの高いものと低いものに分ける。信頼度スコアの高いものは、SORT の処理と同じように、追跡中の軌跡とマッチングさせ、ハンガリアン法で ID を割り振る。その後、対応づかずに残った軌跡と信頼度スコアの低い検出結果をマッチングさせる。マッチング終了後、ID を割り振られなかった検出結果は新たな追跡対象として登録される

が、この時、信頼度スコアの高い検出結果のみを登録する。つまり、信頼度スコアの低い検出結果は追跡中の軌跡のみに使用する。これにより、追跡中の小動物の体の一部が重なって検出結果が一時的に低くなっても追跡を継続しつつ、従来手法通り背景などの誤検出を除外することができる。

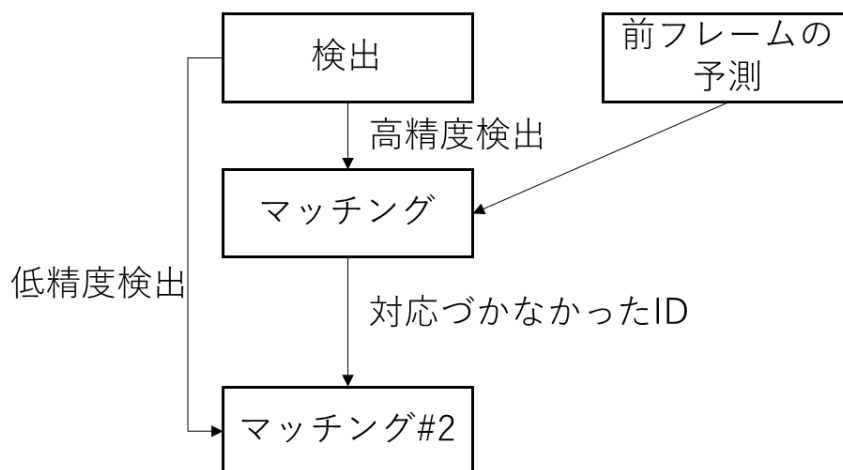


図 3 二段階マッチングの流れ

### 3.3 提案手法の流れ

提案手法の流れをまとめたものを図 4 示す。まず、入力された動画像のフレームに物体検出を適用する。閾値を設け、検出結果を高いものと低いものに分ける。この検出結果と保持している軌跡の予測位置とで、二段階マッチングを行う。予測には、カルマンフィルタを用いる。二段階マッチングでは、まず、信頼度スコアが高い検出結果をマッチングさせる。マッチングにはハンガリアン法を用いる。次に、一度目のマッチングで残っている軌跡の予測位置と、信頼度スコアの低い検出結果でマッチングを行う。二度目のマッチング終了後、軌跡の記録を行う。対応づかなかった軌跡は、「滞留」状態とし、追跡 ID の削除は行わない。ただし、フレーム外側周辺で検出されなくなったものは削除する。ID を割り当てられなかった検出結果は、新規 ID を割り当てられるが、信頼度スコアの高い検出のみを対象と

する。これらの処理の後、次フレームの処理のためにカルマンフィルタで、次フレームでの追跡対象の位置を予測する。「滞留」状態の軌跡については予測を停止しておく。

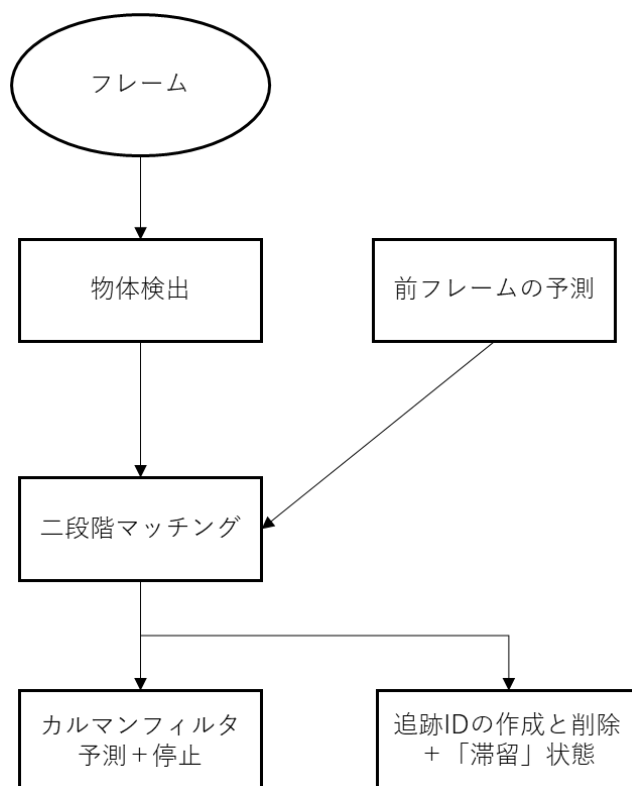


図 4 提案手法の流れ



## 4. 実験評価

### 4.1 実験データ

提案手法の性能を調査するために、実際の小動物の動画像を使用して実験を実施した。実験用の動画は、本学農学部 of 坂本講師より提供頂いた。動画の 1 フレームを図 5 に示す。動画は白い箱の中に 4 匹のマウスを撮影したもので、箱の中には障害物はない。動画は 1~3 の 3 本用意し、それぞれ異なる観察動画の中で滞留やぶつかり合いが発生する部分を切り取っている。動画のサイズはすべて 1280 × 720 となっている。これらの動画は、それぞれ 40 秒程度の長さに切り取っている。



動画1



動画2



動画3

図 5 実験動画の一部

## 4.2 提案手法の評価

実験では、提案手法と、SORT、牛用 SORT、BYTE の 3 つの従来手法を ID スイッチの数で比較した。検出の精度が高かったため、物体検出の際に用いる閾値は 0.7 とした。ID スイッチは、追跡中の ID が別の ID に入れ替わってしまうことなので、ID スイッチの数は追跡中に失敗した数を示すことになる。

入力動画として 3 つの動画を用いた。以下、動画 1~3 と呼ぶ。この追跡結果を表 1~3 に示す。SORT は、小動物の行動を考慮した処理をしないため、動画 1~3 の全てにおいて最も ID スイッチが多くなった。また、動画 1 と動画 3 は滞留の場面が多かったため、牛用 SORT の方が BYTE よりも良い追跡結果を得られている。動画 2 はぶつかり合いの場面が多かったため、BYTE の方が牛用 SORT よりも良い結果が得られていた。動画 1~3 全てにおいて、提案手法が、最も ID スイッチが少なかったため、最も追跡の精度が高かったと言える。

表 1 動画 1 の結果

	IDスイッチ数
SORT	43
BYTE	18
牛用SORT	13
提案手法	9

表 2 動画 2 の結果

	IDスイッチ数
SORT	20
BYTE	8
牛用SORT	12
提案手法	6

表 3 動画 3 の結果

	IDスイッチ数
SORT	50
BYTE	21
牛用SORT	18
提案手法	12

### 4.3 実験結果の分析

追跡結果から提案手法の分析を行う。図 6 には、オクルージョンが発生した際の追跡の様子を示している。(b)で ID 6 のマウスが動いていない ID 3 のマウスの上に乗って検出を途切れさせ、(c)と(d)で ID 3 を割り当てられていたマウスが再度検出されている。分岐しているが、(c)は「滞留」状態を導入していない手法(SORT)で、(d)は「滞留」状態を導入した提案手法である。SORT では検出が途切れてしばらくすると ID が削除される。そのため(c)では、同じマウスに新しい ID 9 が割り当てられ、ID スイッチが発生している。一方で、「滞留」状態を導入している提案手法では、元の ID 3 を保つことができている。

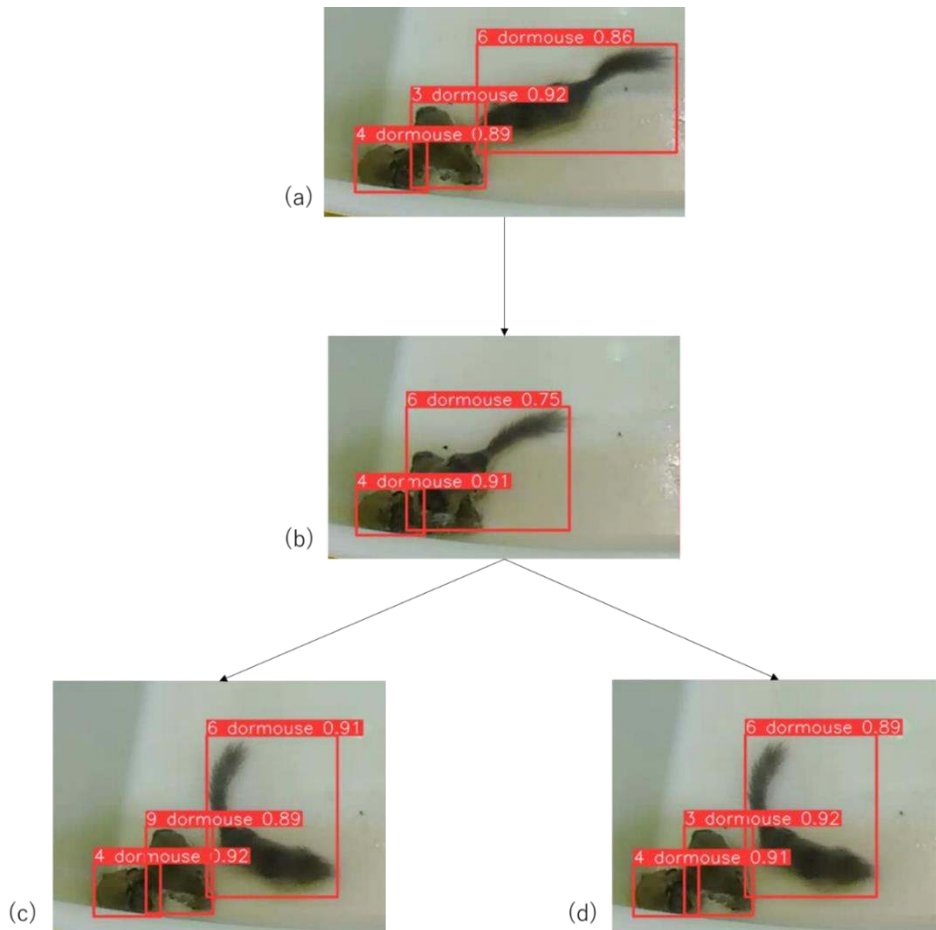
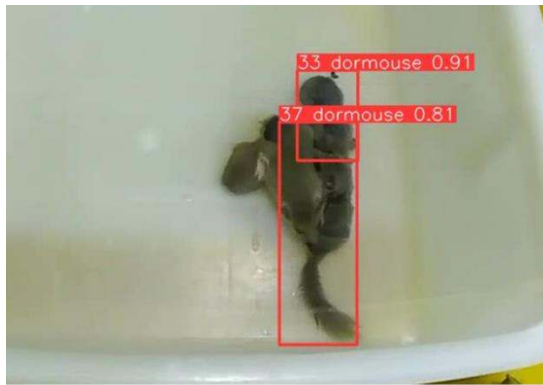
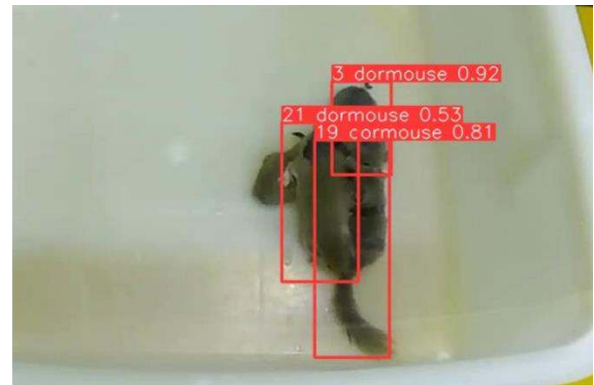


図 6 オクルージョン発生時の追跡の様子(1)

図 7 は 4 匹のマウスが重なり合っている場面である。SORT で追跡を行った (a) では、複雑なオクルージョンが発生しているため、2 匹しか追跡できていない。提案手法で追跡を行った (b) は一番下にいるマウス以外の 3 匹を追跡できている。ID 21 のマウスは、閾値以下の信頼度スコアであるが、スコアの低い検出結果も追跡に用いる提案手法では、ID を割り振ることが出来ている。



(a)



(b)

図 7 オクルージョン発生時の追跡の様子(2)

次に、提案手法で追跡できなかった例を説明する。図 8 は、マウスがすれ違う場面での提案手法の処理の様子である。ID 1 と ID 2 を持つマウスがすれ違った後に(b)で ID 1 のマウスの ID が失われ(c)で ID スイッチが発生している。この原因は検出にあると考えられる。バウンディングボックスに注目すると、二匹のマウスを一匹のマウスとして検出している。マウス同士がぶつかり合う場面のため、二段階マッチングによる処理での対応が必要となるが、単に信頼度スコアが下がることで検出が失われているのではないため、二段階マッチングによる処理でも解決することができない。

この他にも数匹のマウスの上下関係が短時間で何度も変化した場合は、検出の継続に失敗し、ID スイッチが発生した。

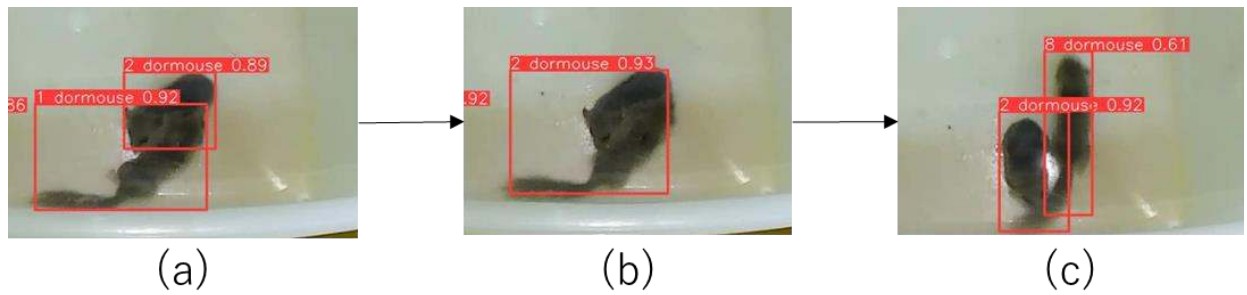


図 8 追跡できなかった例

#### 4.4 考察

実験の結果を考察する。3つ動画を使用して追跡を行ったが、どの動画の追跡結果でも、牛用 SORT と BYTE の ID スイッチの数は従来の SORT と比べて少なくなっていた。さらに、提案手法の ID スイッチの数は2つの手法と比べると少なくなっていた。また、4.3 節でも述べたように、オクルージョンが発生した際にも、追加した機能によりオクルージョンを削減することが確認できた。

これらの結果から、提案手法は、牛用 SORT の「滞留」状態の機能と BYTE の「二段階マッチング」の機能の両方を組み合わせることで、小動物追跡において発生するオクルージョンによる ID スイッチを従来手法よりも削減できたと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、オクルージョンが多く発生する複数小動物の同時追跡のために、SORT に ID スイッチを削減するための処理を追加することで改良を行った。

小動物が長時間重なり合っただけで動かない場合に対応するために「滞留」状態を追加した。また、検出スコアの低下によって検出が途切れることを防ぐために、検出スコアの低い検出も利用し、二段階マッチングを行った。これらの機能を追加することにより、ID スイッチの削減を試みた。実際に実験から、追加した機能がオクルージョンに対応することによって ID スイッチを削減させていることを確認できた。

今後の課題としては、実験で発生したような 2 匹の個体を 1 匹として検出した場合の対応が挙げられる。提案手法では対応できないため、物体検出器の向上や新たな手法による追跡精度の向上が必要になると考えられる。また、本実験の小動物追跡は認識しやすい背景であったため安定した検出結果が得られていたが、実際に小動物が生息する環境では検出精度の低下が考えられる。実用性を検証するためには野生環境に近い状態での実験も必要だと考えられる。



## 謝辞

本論文の作成にあたり、丁寧な対応とご指導を下さった椋木雅之教授に深く感謝致します。実験や調査の際にも適切なアドバイスを頂き、本当にありがとうございました。

また、研究室の皆様には研究について日頃から様々な助言を頂きました。皆様のおかげで充実した時間を研究室で送ることが出来ました。お礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Alex Bewley, Zongyuan Ge, Lionel Ott, Fabio Ramos, Ben Upcroft, "Simple Online and Realtime Tracking", arXiv:1602.00763v2, (2016)
- [2] AHMAD AMINNIN BIN MAT NOOR, "重なり滞留を起こす複数牛個体の高速追跡法", 令和3年度 宮崎大学工学部 卒業論文(2021)
- [3] Yifu Zhang, Peize Sun, Yi Jiang, Dongdong Yu, Fucheng Weng, Zehuan Yuan, Ping Luo, Wenyu Liu, Xinggang Wang, "ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box", ECCV(2022), pp 1-21
- [4] MOT アルゴリズムの歴史について <https://tech.acesinc.co.jp/entry/2021/11/08/133336>
- [5] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection", arXiv:1506.02640 (2016)
- [6] ハンガリアン法 [https://qiita.com/m\\_k/items/8e2cb9067ec5d720c30d](https://qiita.com/m_k/items/8e2cb9067ec5d720c30d)
- [7] IoU について <https://qiita.com/shoku-pan/items/35eae224c59989957623>