バドミントンのシャトルのシミュレーション

(物体の軌道の計測方法について)

2022/2/9

明治大学 総合数理学部 現象数理学科卒業研究レポート2610180037 馳川侑奈

目次

- 第1章 はじめに
- 第2章 スーパースローモーションを撮影
- 第3章 動画を静止画に分解
- 第4章 ImageJを用いて物体の動きを数値化
- 第5章 物体の動きの解析について
- 第6章 まとめ
- 第7章 参考文献

第1章 はじめに

私の卒業論文の目的はバドミントンのシャトルがショットの違いによってどのような軌 跡を描くのか(どのように空気からの抵抗を受けるか)知ることである。この卒業論文を 選定した理由としては私自身バドミントンをしており、野球やテニスのような球体のボー ルとは異なる動きをするシャトルに興味を持ち、実際にシャトルの動きを数値化して研究 したいと思ったからである。以下ではいかにして物体の軌道を計測して数値化したのかに ついて詳しく説明していくことにする。一般化された説明とともに私が実際に行った実験 のデータも含めて解説しようと思う。

第2章 スローモーションの動画を撮影

シャトルの軌道のデータを得るためにスローモーションの動画を撮影する。

○スローモーションの動画撮影について

今回は SONY の DSC-RX100M6 というデジタルスチルカメラを利用した。このカメラ にはスローモーションの動画を撮影できるスーパースローモーションと呼ばれる機能が搭 載されている。

スーパースローモーションの動画撮影は以下の機種に対応している。

- DSC-RX0
- DSC-RX100M4, DSC-RX100M5, DSC-RX100M5A, DSC-RX100M6, DSC-RX100M7
- DSC-RX10M2, DSC-RX10M3, DSC-RX10M4

○撮影方法

1.カメラの電源を入れて、ダイアルを「HFR」に合わせる。

2.メニュー画面から「撮影設定」→「ハイフレームレート設定」を選択する。

3.「記録設定」、「フレームレート」、「優先設定」の項目をそれぞれ設定する。

「フレームレート」: 240fps/480fps/960fps から選択

- ・1秒間に何回撮影できるかを示す値のことを撮影速度という。単位は「コマ/秒」あるい
- は「fps(frames per second)」で表記される。

・(ちなみに映画:24fps, テレビ番組:30fps, 最新ゲームなど:60fps)

・フレームレートを高くするとイメージセンサーからの読み出し有効画素数が少なくなり、
 その分映像が粗くなることに注意する。

撮影	優先設定	記録フォーマット				
ノレー ムレー ト	(イメージセンサーか らの読み出し有効画 素数)	24p (1920x1080)	30p (1920x1080)	60p (1920x1080)		
240fps	画質優先 (1824x1026)	10位2日	8/#7 □	4倍20-		
240105	撮影時間優先 (1824x616)	TORXE				
480fps	画質優先 (1824x616)	20倍スロー	16倍スロー	8倍スロー		
	撮影時間優先 (1292x436)	LOILAH				
960fps	画質優先 (1244x420)	40倍スロー	32倍スロー	16位フロー		
	撮影時間優先 (912x308)		52870			

[DSC-RX10M4/DSC-RX100M5/DSC-RX100M5A/DSC-RX100M6/DSC-RX100M7]

この設定の組み合わせで何倍スローになるかが決まる。(例えば 960fps で約4秒間撮影す ると再生速度は 40 倍スローとなることから、再生時間は約 160 秒になる。)

今回は以下の設定で撮影した。 記録設定:24p, フレームレート:960fps, 優先設定:画質優先

4.設定が終わったら MOVIE(●)ボタンを押し、コントロールホイールの中央ボタン[●]を 押す。

5.「撮影スタンバイ」と表示されたら、被写体にピントを合わせコントロールホイールの 中央ボタン[●]を押す。

6. MOVIE(●)ボタンを押すと撮影開始される。

7.撮影が終了すると自動的に動画が記録される。

○「ハイスピードカメラ」について

たまにテレビ等で使われ耳にすることがあるハイスピードカメラについて説明する。ハ イスピードカメラとは、スローモーション動画を撮影できる特殊なビデオカメラのことで ある。一般的なビデオカメラが1秒間に30コマの撮影を行うのに対して、高速度カメラ は1秒間に数千、数万コマもの超高速撮影をすることができる。また、目的の計測・解析 に適した多くの周辺機器や解析ソフトウェアを組み合わせることで、一つの「スローモー ション解析システム」として導入することが多くある。



[撮影における注意点]

・出来るだけ明るいところで撮影する。

撮影速度・シャッター速度を高くすればするほどイメージセンサが受け取る光の量は減 り、撮影画像は暗くなる。そのため、ハイスピードカメラの撮影では一般に高明度の照明 が必要になる。

・研究対象の物体と異なる色の背景で撮影する。

似た色の背景で撮影すると背景処理(物体の動きを数値化するために必要な工程)が困難 になる。

・風のないところで撮影する

今回は質量が軽く風の影響を受けやすいシャトルの動きを撮影するため、より風のない撮 影場所が必要になる。 ○今回は約2mの高さからシャトルを落下させた様子を撮影した。



カメラを横向きにして撮影したため、右から左の方向に落下していく。

第3章 動画を静止画に分解

シャトルの軌道を数値化するために ImageJ を用いるがその前準備として動画を静止画 に分解しなければいけない。

C0038.MP4 があったとして、

mkdir c0038

ffmpeg -i C0038.MP4 c0038/c0038_%06d.jpg

とすると、c0038 というフォルダの下に静止画のファイルが作れます。

第4章 ImageJを用いて物体の動きを数値化

ImageJを用いて物体の動きを数値化する方法について説明する。動画をコンピュータに 取り込み静止画に変換するところまで完了しているので、まずは ImageJ をダウンロード し立ち上げる。

https://imagej.nih.gov/ij/download.html

ImageJ はここからドウンロードできる。私が使用した ImageJ はバージョン 1.50i である。



1.動画の読み込み

(1)「File → Import → Image Sequence」で、解析する画像を選択する。
 Number of Image:読み込む画像の数
 Starting Image:読み込み開始の画像番号
 Increment:何枚ごとに読み込むか

*「重ね書き画像」を作成するときは、Incrementを調節して、物体が重ならないよう にする。

🛓 ImageJ		-	×	
File Edit Image Pr New Open Open Next Ctrl-	ctri+O er types)	s Window Help Dev Set Lut 2 3 3	Sequence Op	otions
Open Samples Open Recent	:		Number of images: 7	750
Import	Image Sequence	uence	Starting image: 4	10
Close Save	Ctrl+W Raw Ctrl+S LUT		Increment: 1 Scale images: 1	10 100 %
Save As Revert	Ctrl+R Results	Las -	File name contains:	
Page Setup Print	URL Ctri+P Stack From	n List	(enclose regex	in parens,
Quit	TIFF Virtua AVI	I Stack	Sort names num Dise virtual stack	erically «
	Analyze Animated 0	Gif	1920 x 1080 x 72	(569.5MB)

"Increment: 10" について、

今回は10枚ごとに読み込んだ。1枚ずつ読み込んだ場合、重ね書き画像においてシャト ルが重なり合ってしまい動きの変化が読み取りづらくなってしまうからである。

(2)「Image → Color → Split Channels」で画像をRed, Green, Blueの成分に分ける。
 ノイズが少なく、物体が鮮明に映っている画像を選択する。
 *重ね書き画像を作成する場合はこの処理は飛ばして良い。



今回の私の実験では Green を選択した。

2.重ね書き画像の作成

(1)「Image → Stacks → Z Project」を選択する。



(2)Projection Type の中から、「Min Intensity」を選択する。 Average Intensity:各ピクセルにおいて、連続画像の平均値を取る Max Intensity:各ピクセルにおいて、連続画像の最大値(白い値)を取る Min Intensity:各ピクセルにおいて、連続画像の最小値(黒い値)を取る



(3)得られた画像を、「File → Save As → 適切な画像タイプ」で保存する。

これは動画中の一部画像である。



Min Intensity を選択するとシャトルの黒いラベル部分だけの重ね書き画像が浮かび上がる。



3.粒子解析により物体の座標を取得する。

【スケールの設定】

(1)長さが分かっている物体の長さ(pixel)を測る。 ボタンを選択し、既知の長さの線 を引き、"M"ボタンを押す。

(2)結果の"Length"の値が線分の長さ(pixel)となる。

(3)「Analyze → Set Scale」を選択する。

 (4)「Distance in Pixels」にpixel数、「Known Distance」に実際の長さ、「Unit of Length」に長さの単位を入力し、「Global」にチェックを入れて「OK」ボタンを押 す。



黒いラベル部分の縦幅が 6mm

🔴 🔘 👘 Set Sca	le						
Distance in nixels:	4						
Known distance:	6						
Pixel aspect ratio:	1.0						
Unit of length:	mm						
Click to Remove Scale							
🕑 Global							
Scale: 0.6667 pixels/mm							
Help Cancel	ОК						

今回は黒いラベルの動きによってシャトルの動きを測定することにする。よって Known distance:6とする。

[測定するパラメーターの設定]

(5)「Analyze → Set Measurements」を選択する。

(6)「Area」、「Center of Mass」、「Slice Number」のチェックを入れ、それ以外の チェックを外す。

*設定は保持されるので、この操作は一度行えばよい。



[背景処理]

(7)「Image → Stacks → Z Project」を選択する。

(8)Projection Type の中から、「Max Intensity」を選択して、背景画像を作成する。



(9) (8)で作成した背景画像を選択し、「Edit → Invert」を選択して白黒反転させる。

(10)同様の作業を、連続画像についても行う。



- (11)「Process → Image Calculator」を選択する。
- (12)「Image 1」に連続画像を、「Image 2」に背景画像を、「Operation」にSubtract(引き算)を選択して、連続画像から背景画像を引き算する。

今回、連続画像から背景画像を引き算したもの



[粒子解析]

(13)「Image → Adjust → Threshold」を選択する。

(14)ダイアログ内の上のスライドバーで下限を、下のスライドバーで上限を設定し、解 析したい物体が赤く塗られるように調節する。

(15)「Apply」ボタンを押す。(ダイアログが出たら「yes」を選択する)



(16) 🤍を選択して、測定したい物体の輪郭を囲い、"M"ボタンを押す。

(17)結果の"Area"の値をメモする。

(18)「Analyze → Analyze Particles」を選択する。

(19)「Size (mm²)」に、(17)で得た値が入るように計測する物体の大きさ範囲を設定する。また、Display Results, Clear Results, Exclude on Edges, Induced Holesにチェックを入れる。

	🛓 Analyze Par	ticles
	Size (mm^2):	500-2000
	Circularity:	0.00-1.00
	Show:	Nothing -
_	 ✓ Display Res ✓ Clear Resu ✓ Summarize ✓ Add to Mana 	sults I Exclude on Edges Its I Include Holes I Record Starts ager
		OK Cancel

今回、Size は 500-600 に設定した。

4

(20)得られた結果のダイアログ内にある「File → Save As」でデータを保存する。

₫ R	esults			-	-		x
File	Edit	For	ıt				
Save As Ctrl+S				1	Slice	*	
					593	79	
0	ptions			578	80		
81	752	953	.670	1016	.77	781	
82	712	953	.528	1035	.25	882	
83	732	954	.027	1053	.72	183	-
•							+
-			11	-		_	

[解析]

(1)保存したxlsファイルを開き、「Time (s)」、「Distance (mm)」、「Speed (m/s)」 と列のタイトルにつける。

(2)時間はSlice number×1/240,移動距離は2点のX,Y座標から算出、速さは移動距離を 時間差で割ることで求める。

下が今回の結果である。

1	Α	В	С	D	E	F	G	Н	
1		Area	XM	YM	Slice	Time(s)	Distance(mm	Speed(mm/s)	
2	1	572	1043.694	268.274	1	0.00416667	125.602933	30144.704	
3	2	550	918.131	265.107	1	0.00833333	801.548101	192371.544	
4	3	511	229.823	675.852	1	0.0125	930.207023	223249.686	
5	4	522	927.151	60.207	2	0.01666667	181.647297	43595.3512	
6	5	512	1044.93	198.496	2	0.02083333	142.824362	34277.8468	
7	6	530	918.334	264.619	2	0.025	911.670616	218800.948	
8	7	541	332.378	963.045	2	0.02916667	912.263023	218943.126	
9	8	525	918.321	263.835	3	0.03333333	572.035643	137288.554	
10	9	537	525.23	679.412	3	0.0375	341.919977	82060.7944	
11	10	518	333.99	962.849	3	0.04166667	911.771663	218825.199	
12	11	508	917.906	262.585	4	0.04583333	714.330988	171439.437	
13	12	501	1049.544	964.682	4	0.05	716.93087	172063.409	
14	13	508	883.88	267.154	5	0.05416667	710.57108	170537.059	
15	14	600	1041.081	960.118	5	0.05833333	835.436495	200504.759	
16	15	514	205.663	965.677	5	0.0625	974.199945	233807.987	
17	16	597	893.42	275.709	7	0.06666667	875.59409	210142.582	
18	17	538	1367.375	1011.937	14	0.07083333	2.83210258	679.704618	
19	18	590	1366.912	1014.731	17	0.075	769.948377	184787.611	
20	19	520	596.973	1018.531	18	0.07916667	820.076705	196818.409	
21	20	508	885.682	250.955	20	0.08333333	71.8210917	17237.062	
22	21	502	957.149	258.078	20	0.0875	841.62429	201989.83	
23	22	563	597.646	1019.057	20	0.09166667	818.335597	196400.543	
24	23	522	885.469	253.008	21	0.09583333	72.2797634	17347.1432	
25	24	512	957.598	257.674	21	0.1	839.410635	201458.552	
26	25	508	1397.022	972.878	21	0.10416667	800.885767	192212.584	
27	26	540	597.415	1018.118	21	0.10833333	817.728435	196254.824	
28	27	557	885.526	252.826	22	0.1125	946.571666	227177.2	
29	28	506	173.626	876.682	22	0.11666667	447.137019	107312.885	
30	29	500	597.506	1019.01	22	0.12083333	844.012464	202562.991	
0.4	00	500	057.000	055 574		0.105	71 0010005	17007 0000	



縦軸:Speed[mm/s] 横軸:Time[s]

第6章 まとめ

ボールとは異なりシャトルの場合、シャトルが白と黒で構成されているため ImageJ での [背景処理]と[粒子解析]の段階で正しく処理することが困難であることがわかった。また スケールを設定する段階でもミスがあったのだろうと予想される。

第7章 参考文献

〇スーパースローモーション撮影のやり方について
 https://www.sony.jp/support/cyber-shot/enjoy/dialogue/highframerate/

 1.サイトの管理者・団体名の名称:SONY (該当ページの著者名:不明)
 2.そのページの更新年(月日):不明
 3.参照ページのタイトル:スーパースローモーション撮影をしてみたい
 4.参照日:2022年2月28日
 5.「スーパースローモーション とは」で検索した ○ハイスピードカメラとは https://www.photron.co.jp/solution/20200413.html

1.サイトの管理者・団体名の名称:株式会社フォトロン

(該当ページの著者名:不明)

- 2.そのページの更新年(月日):不明
- 3.参照ページのタイトル:ハイスピードカメラの基礎知識と選び方
- 4.参照日:2022年2月28日
- 5.「ハイスピードカメラ とは」で検索した

○ImageJを用いた物体の運動解析についてhttp://www.isc.meiji.ac.jp/~suematsu/school/analysis.html

 1.サイトの管理者・団体名の名称:Nobuhiko J. Suematsu(明治大学 末松先生) (該当ページの著者名:Nobuhiko J. Suematsu)
 2.そのページの更新年(月日):不明
 3.参照ページのタイトル:解析技術の解説
 4.参照日:2022年2月28日