

🏀 이중 분석 접근법



로고/마크 있는 볼

직접 회전 추적 방식

로고나 마크를 특징점으로 활용

⚙️ 분석 방법

- ✓ 로고/마크 패턴 인식
- ✓ 특징점 추적 (Feature Tracking)
- ✓ 회전 각도 직접 계산

VS



로고/마크 없는 볼

다중 추정 융합 방식

볼 경로, 딴플 패턴, 물리학 법칙 융합

⚙️ 분석 방법

- ✓ 볼 궤적 분석 (40%)
- ✓ 딴플 패턴 추출 (30%)
- ✓ 물리학 기반 추정 (20%)
- ✓ 모션블러분석 (10%)

볼 데이터 (6개)

- 볼스피드
- 방향각
- 사이드스핀
- 발사각
- 백스핀
- 스핀축

클럽 데이터 (6개)

- 클럽스피드
- 클럽패스
- 페이스투패스
- 어택앵글
- 페이스앵글
- 스매쉬팩터

🎯 로고/마크 볼 분석 방법

🔄 회전 추적 프로세스

1 로고/마크 검출

특징점 검출 알고리즘으로 로고나 마크의 특징점을 추출

```
feature_points = SIFT.detectAndCompute(ball_roi)
```

2 프레임간 추적

광학 흐름으로 연속 프레임에서 이동 벡터 계산

```
flow_vectors = cv2.calcOpticalFlowPyrLK(prev, curr, points)
```

3 3D 회전 복원

스테레오 비전으로 3D 위치 복원 및 회전축 계산

```
rotation_matrix = cv2.solvePnP(obj_pts, img_pts, K)
```

4 회전 속도 계산

각변위를 시간으로 미분하여 각속도(rpm) 계산

```
angular_velocity = delta_angle / delta_time * 60 / (2π)
```

📊 볼/클럽 데이터 풀이 해법

🔍 볼 데이터 계산

1. 볼스피드: 로고 중심점 3D 좌표 변화량

```
ball_speed = |Δposition| / Δt × 2.237 (mph)
```

2. 발사각/방향각: 볼 속도 벡터 각도 분해

```
launch_angle = arctan(v_z / √(v_x² + v_y²)) × 180/π  
direction_angle = arctan(v_y / v_x) × 180/π
```

3. 스핀: 로고 회전 각속도 → 스핀축 분해

```
backspin = total_spin × |spin_axis.y|  
sidespin = total_spin × |spin_axis.x|
```

🔍 클럽 데이터 계산

1. 클럽스피드: 클럽 헤드 추적 → 임팩트 순간 속도

```
club_speed = |Δclub_position| / Δt × 2.237 (mph)
```

2. 각도: 클럽 헤드 궤적 → 어택앵글, 클럽패스

```
attack_angle = arctan(Δy / Δx) × 180/π  
club_path = arctan(Δz / Δx) × 180/π
```

3. 효율성: 볼/클럽 데이터 조합

```
smash_factor = ball_speed / club_speed
```

🔍 무로고 볼 분석 방법

📁 다중 추정 융합 방식

1 볼 궤적 분석 (40%)

3D 공간에서 볼의 궤적을 추적하여 마그누스 효과에 의한 곡률을 분석

```
// 마그누스 효과 기반 스핀 추정  
F_magnus = 0.5 * ρ * A * C_L * v² * ω  
total_spin = F_magnus / (0.5 * ρ * A * C_L * v²)
```

2 딥플 패턴 분석 (30%)

저해상도에서도 딥플 패턴을 추출하는 고급 이미지 처리 기술을 적용

3배 확대 바이큐빅 보간
과노출 볼 적응형 보정
다중 필터링 (라플라시안, DoG, Sobel)

3 물리학 기반 추정 (20%)

골프 물리학 법칙에 기반한 스핀 추정 모델을 적용합니다.

```
// 클럽-볼 충돌 물리학  
backspin ≈ 0.4 * club_speed * sin(attack_angle)  
sidespin ≈ 0.2 * club_speed * sin(face_to_path)
```

4 모션 블러 분석 (10%)

회전에 의한 모션 블러 패턴을 분석하여 회전 속도를 추정합니다.

```
// 블러 정도에서 회전 속도 역산  
blur_magnitude = laplacian_variance(ball_image)  
spin_rpm ≈ k * blur_magnitude / exposure_time
```

볼 데이터 측정 공식



볼스피드 (Ball Speed)

연속 프레임에서 볼의 3D 위치 변화량을 시간으로 나눈 값

$$\text{Ball Speed} = \frac{\Delta d_{3D}}{\Delta t} \quad (\text{mph})$$

Δd_{3D} : 3D 공간에서의 거리 변화 (m)

Δt : 프레임 간 시간 간격 (s)



발사각 (Launch Angle)

볼 속도 벡터와 수평면 사이의 각도

$$\text{Launch Angle} = \arcsin\left(\frac{v_z}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (^\circ)$$

v_z : 수직 방향 속도 성분

v_x, v_y : 수평면 속도 성분



방향각 (Direction Angle)

볼 속도 벡터의 수평 성분과 목표 방향 사이의 각도

$$\text{Direction Angle} = \arccos\left(\frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}\right) \quad (^\circ)$$

양수: 우측 방향 (페이드/슬라이스)

음수: 좌측 방향 (드로우/훅)

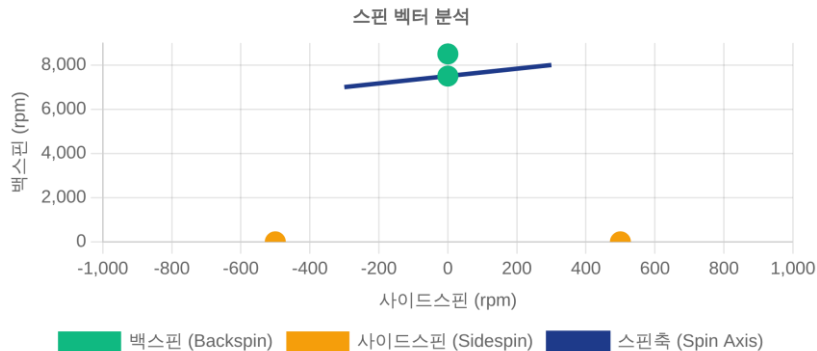


볼 데이터 측정 정확도 향상 기법

- 칼만 필터: 노이즈 제거 및 궤적 예측 정확도 향상
- 다중 프레임 융합: 임팩트 전후 프레임 정보 통합 분석
- 물리학적 제약 조건: 공기역학 법칙 기반 데이터 검증

볼 데이터 측정 공식

스핀축 (Spin Axis) 3D 벡터 분석



스핀축 계산 공식:

$$\text{Spin Axis} = [ax, ay, az] \text{ (단위벡터)}$$

로고/마크 있는 볼:

특징점 추적으로 직접 계산
연속 프레임 회전 행렬 분석

로고/마크 없는 볼:

궤적 곡률에서 역산
마그누스 효과 기반 추정



백스핀 (Backspin)

볼의 수평축을 중심으로 한 회전 속도

$$\text{Backspin} = \text{Total Spin} \times |\text{spin_axis_y}| \text{ (rpm)}$$

Total Spin: 전체 스핀량

spin_axis_y: 스핀축의 Y성분 (단위벡터)



사이드스핀 (Sidespin)

볼의 수직축을 중심으로 한 회전 속도

$$\text{Sidespin} = \text{Total Spin} \times |\text{spin_axis_x}| \text{ (rpm)}$$

양수: 우측 회전 (페이드/슬라이스)

음수: 좌측 회전 (드로우/훅)



클럽 데이터 측정 공식



클럽 스피드 (Club Speed)

클럽 헤드가 볼에 임팩트하는 순간의 속도

$$\text{club_speed} = \Delta d / \Delta t \times 2.237 \text{ (mph)}$$

여기서 Δd 는 연속 프레임 간 클럽 헤드의 이동 거리(m), Δt 는 시간 간격(s)



페이스 앵글 (Face Angle)

임팩트 순간 클럽 페이스와 목표선 사이의 각도

$$\text{face_angle} = \arccos(\hat{n} \cdot \hat{t}) \times (180/\pi)$$

여기서 \hat{n} 은 클럽 페이스의 법선 벡터, \hat{t} 는 목표 방향 벡터



어택 앵글 (Attack Angle)

클럽 헤드가 볼에 접근하는 수직 각도

$$\text{attack_angle} = \arctan(\Delta y / \Delta x) \times (180/\pi)$$

양수: 위쪽에서 아래로 내려치는 각도

음수: 아래쪽에서 위로 올려치는 각도



페이스 투 패스 (Face to Path)

페이스 앵글과 클럽 패스 사이의 차이

$$\text{face_to_path} = \text{face_angle} - \text{club_path}$$

양수: 페이스가 패스보다 우측으로 열림 (페이드/슬라이스)

음수: 페이스가 패스보다 좌측으로 닫힘 (드로우/훅)



클럽 패스 (Club Path)

클럽 헤드의 수평 이동 방향과 목표선 사이의 각도

$$\text{club_path} = \arctan(\Delta z / \Delta x) \times (180/\pi)$$

양수: 인-투-아웃 스윙 (우측으로 향하는 패스)

음수: 아웃-투-인 스윙 (좌측으로 향하는 패스)



스매쉬 팩터 (Smash Factor)

볼 스피드와 클럽 스피드의 비율

$$\text{smash_factor} = \text{ball_speed} / \text{club_speed}$$

일반적 범위: 드라이버 1.45~1.5, 아이언 1.2~1.4