

Kick_detector-0.0.3 Report

실험일자: 2025.10.29

SW개발실
이승희 선임매니저

0. 요약

가) Kick_detector-0.0.3

- 알고리즘 개발 및 검증을 위해 사내데이터(275 개; ADL 212, 전도 63), 연세대데이터(509 개; ADL 395, 전도 110), 현대데이터(93 개; ADL 14, 전도 79), KFall 데이터(2729 개; ADL 2729)를 활용함 (총 데이터 수; ADL 3354, 전도 252)
- 일상생활 동작 특이도는 99.64 % (3342/3354)로 나타났으며 KFall 일상 데이터 중 일어나려다 의자에 털썩 앉기 2 건, 매트릭스에 누웠다 일어서기 동작에서 4 건의 오검출 발생.
- 전동킥보드 탑승 중 급정지하여 킥보드에서 내리는 경우 6 건의 오검출이 발생하였지만, 해당 동작은 센서 위치를 허리(S2)로 변경한 뒤 오검출이 발생하지 않았으며, 실제 도로 상황에서 주행하여 검증하였음.
- KFall 데이터셋에는 포함되어 있지 않지만, 점프하며 몸을 회전하는(숙이는) 동작, 빠르게 앉았다 일어서기를 반복하는 동작에서 오검출이 발생하였으며, 이는 실제 전도와 유사한 동작을 빠르게 취한 것으로 전도 가능성이 높은 동작을 짧은 시간 내에 발생시킨 것이 주된 원인이었음.
- 전도 검출 민감도는 100 % (252/252) 리드타임은 273.7 ± 185.2 ms로 모든 전도 동작을 성공적으로 조기에 검출하였으며, 센서 위치가 허리로 변경한 뒤 측정된 데이터인 사내 전도 데이터(63 개)의 리드타임은 151.75 ± 99.78 ms이며, 100ms 미만의 동작은 총 19 개(전방 4 개, 측방 8 개, 후방 7 개)로 측방, 후방으로 넘어지는 동작에서 낮은 리드타임이 관찰됨. 사내 전도 데이터는 매트릭스의 영향으로 약 40ms ~ 100ms의 리드타임 손해가 발생한 것으로 실제 지면에 넘어지는 경우에는 리드타임이 100ms 이하로 낮은 경우가 더 적을 것으로 판단됨.

나) 결론

- 본 알고리즘은 전동킥보드 주행 중 전도, 전방 충돌 후 전도되는 상황 및 킥보드 위에서 균형을 잃고 전도되는 상황을 검출할 수 있으며, 대부분의 일상생활 동작 및 주행 상황에서도 안정적으로 작동함을 확인하였음
- 급격한 움직임(예: 의자에 털썩 앉기, 눕기, 빠른 앉았다 일어서기, 점프하며 회전하기 동작 등)에서 일부 오검출이 발생할 수 있으며, 이에 대한 설명은 사용자 매뉴얼 내 면책사항으로 명시하는 것이 바람직함

가) 검출 알고리즘

□ 지표 계산

1. 기본 지표

구분	설명
rASVM	가속도 크기
ASVM	가속도 크기(sampling 50Hz·cut-off 1Hz LPF)
rGSVM	각속도 크기
rGSVM_ver	수직 각속도 크기 (전후 측방 성분 각속도만 반영)
ROLL	좌우 기울기
PITCH	전후 기울기 (양수가 후방, 음수가 전방)
VV	수직 속도 (vertical velocity)
jump_count	점프 카운트
Jerk	가속도 크기의 변화량 (sampling 50Hz·cut-off 1Hz LPF)

2. 지면 충격 감지 (foot_impact)

- (rASVM > 350 && abs(AY) > 300)이 만족되는 경우
25 샘플 동안 foot_impact_window 활성화

3. jump_count (점프 카운트)

- rASVM > 130인 연속 구간의 길이를 카운트(연속 카운트)
- 점프 구간이 7샘플 이상 끊기면 리셋
- jump_acc와 ASVM을 통해 점프가 끝나는 시점 구분한 뒤 이후 40 샘플 동안 유지

```
if (rASVM > 130) {  
    if ((pObj->last_jump_index >= 0)  
        && ((pObj->data_counter - pObj->last_jump_index) >= 7)  
        && (pObj->jump_count > 0))  
    {  
        pObj->jump_count = 0;  
        pObj->jump_acc = 0.0f;  
        pObj->jump_window = 0;  
    }  
    if (pObj->jump_count == 0) {  
        pObj->jump_acc = 0.0f;  
    }  
    pObj->jump_count += 1;  
    pObj->jump_acc += (ASVM - 100);  
    pObj->last_jump_index = pObj->data_counter;  
}
```

4. jump count from fall detector 추락 점프 카운트

- 점프 기준 검출 무시 구간이 설정된 점프 카운트
- 추락 검출 알고리즘 (FallDetector-2.2.3)에서 사용하는 지표
- ASVM을 통한 추락 카운트에서 임계값 강화를 위해 적용

5. rGSVM_ver (수직 각속도 크기)

- 전방(GX), 측방(GZ) 성분의 각속도의 제곱근합
- $\text{float rGSVM_ver} = \sqrt{\text{GX} * \text{GX} + \text{GZ} * \text{GZ}};$

6. rASVM_window 추락 상태 감지

- $\text{rASVM} < 80$ 조건이 만족되는 경우 이후 50 샘플 동안 rASVM_window 검출 활성화

7. 머신러닝 추론 값 (TF)

- 20 샘플 동안의 3축 가속도, 3축 각속도를 입력으로 받아 전도 확률을 출력
- 모델 훈련 및 검증에는 ADL 892,644개, Fall 55,460개의 window 데이터가 사용됨
(측방, 후방 데이터에 좌우 방향(X축)을 대칭하는 증강 기법이 적용됨)
- 모델 구조

```
Model: "model"
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_1 (InputLayer)	[None, 20, 6]	0
flatten (Flatten)	(None, 120)	0
dense (Dense)	(None, 32)	3872
dropout (Dropout)	(None, 32)	0
dense_1 (Dense)	(None, 64)	2112
dropout_1 (Dropout)	(None, 64)	0
dense_2 (Dense)	(None, 2)	130

```

Total params: 6,114
Trainable params: 6,114
Non-trainable params: 0

```

- 모델 훈련 파라미터

항목	내용
Optimizer	Adam (learning_rate=0.0001)
Loss	BinaryFocalCrossentropy (alpha=0.4, gamma=3.0, apply_class_balancing=True)
Metrics	['acc']
Epochs	1000 (EarlyStopping으로 조기 종료)
Batch size	128
Validation split	0.2
Callbacks	EarlyStopping (monitor='val_loss', patience=30, restore_best_weights=True)

8. TF_window (머신러닝 윈도우)

- (TF > 0.9f) && ((abs(PITCH) < 30) && (abs(ROLL) < 30) 조건 만족 시 5 샘플 동안 TF_window 검출 활성화

9. rASVM_fall_count (rASVM 조건의 추락 카운트)

- (AY > -60) && (rASVM < 80) 조건 연속 만족 시 rASVM_fall_count 1씩 증가
- 연속 조건 스킵 카운트(consecutive_skip)로 연속 조건 불만족 경우 2번까지 허용

```
if ((AY > -60) && (rASVM < 80)) p0bj->rASVM_fall_count++;  
else {  
    if (p0bj->rASVM_fall_count > 0)  
    {  
        p0bj->consecutive_skip++;  
        if (p0bj->consecutive_skip > 2)  
        {  
            p0bj->rASVM_fall_count = 0;  
            p0bj->consecutive_skip = 0;  
        }  
    }  
}
```

10. ASVM_fall_count (ASVM 조건의 추락 카운트)

- (ASVM < 60) 연속 만족 시 ASVM_fall_count 1 씩 증가

□ 킥보드 전도 검출

모드 1, 2, 3 검출 (rASVM_window):

일반적으로 검출되는 조건으로 전체 252개의 데이터 중 168개를 검출 (66.6%)

모드 1 (TF 연속 조건)

- rASVM_window 활성화 이후 (TF > 0.8f) && (abs(PITCH) < 30) && (abs(ROLL) < 30)) 연속 조건 만족 시 rASVM_TF_count 1씩 증가

rASVM_window_TF_GX 검출

```
if ((pObj->rASVM_TF_count >= 2) && (TF > 0.85) && ((rGSVM > 200)
&& abs(rGSVM - abs(GY) > 10)) || (GX < -100) || GX > 150) && (AY > -60)
&& (rASVM < 300) && (pObj->foot_impact_window < 10)
&& ((abs(PITCH) < 15) || (abs(PITCH) > 15 && VV > 6)) && (jump_count < 10))
    모드 1 검출
```

rASVM_window_TF_AZ 검출

rASVM_TF_count 가 2이상일 경우 AZ(전후 방향 가속도) 조건과 함께 검출

```
if ((pObj->rASVM_TF_count >= 2) && (TF > 0.9) && ((rGSVM > 200)) && (abs(AZ) > 100)
&& (abs(AZ) < 300) && (pObj->foot_impact_window < 10)
&& ((abs(PITCH) < 15) || (abs(PITCH) > 15 && VV > 6)) && (jump_count < 10))
    모드 11 검출
```

모드 2 (각속도 조건)

- rASVM_window 활성화 이후 (rGSVM > 400) 만족 시 rGSVM_count 1씩 증가
rASVM_window가 다시 활성화 되면 0으로 초기화
rASVM_window_rGSVM (각속도 조건 만족 or 각속도와 가속도 조건과 함께 만족)

```
if (pObj->rGSVM_count >= 3 && (pObj->foot_impact_window < 1)
or (pObj->rGSVM_count >= 1 && rGSVM > 500 && (AX > 250 || AZ > 250) && (AY > -60)
&& (AY < 200)))
    모드 2 검출
```

모드 3 (수직각속도 연속 조건)

- rASVM_window 활성화 이후 (rGSVM_ver > 100) && (AY > -60) && (rASVM < 80) && (GX < 0) 연속 만족 시 rGSVM_ver_count 증가
rASVM_window_rGSVM_ver (수직 각속도 조건 + TF 값 만족 시 검출)

```
if (((pObj->rGSVM_ver_count == 2) && (TF > 0.85) && (rGSVM_ver > 150))
or ((pObj->rGSVM_ver_count >= 3) && (TF > 0.7) && (VV > 6)))
&& (AY > -60) && (rASVM < 80))
    모드 3 검출
```

모드 4 검출 (TF_window):

- 64개로 전체 중 약 25 %의 경우를 검출하며 rASVM_window가 나타나지 않는 동작들을 주로 검출
(충격 등 노이즈가 발생하는 경우 rASVM_window 조건을 만족 못하는 것으로 추정)
- TF_window 활성화 이후 (TF > 0.8f) && ((abs(rGSVM - abs(GY)) > 10) || (VV > 6)) 조건 연속 만족 시 TF_count 1씩 증가

TF_window (TF 조건 + 각속도 조건 만족 시 검출 or
각속도가 낮은 경우 각도와 수직속도 조건 추가)

```
if (((pObj->TF_count >= 2) && (rGSVM > 200)) ||  
    ((pObj->TF_count >= 3) && (rGSVM > 100) && (abs(pObj->km_obj.pitch) > 20)  
    && (VV > 9)))  
{  
    모드 4 검출  
}
```

모드 5, 51, 52, 53 검출 (rASVM_fall_count):

- 12개 데이터가 검출되었으며 측방, 후방으로 넘어지는 경우를 검출하였음

rASVM_fall_count 연속 조건 만족 시 전방 각속도(GX 음수) 조건으로 조기 검출
(스킵 조건 비허용)

```
if ((p0bj->rASVM_fall_count >= 8) && (TF > 0.6) && (rGSVM_ver > 200) && (GX < -150)
&& (p0bj->consecutive_skip == 0))
{
    모드 5 검출
}
```

- rASVM_fall_count 조건 만족 시 검출

점프카운트가 10 이상이면 rASVM_fall_count 임계값 강화

rASVM_fall_count_rGSVM_ver: TF 조건 + 수직 각속도 (후방 배제)

rASVM_fall_count_AY : TF 조건 + 전방 배제 + AY 조건 (지면에 발이 닿았는지 여부)

rASVM_fall_count_TF: 높은 TF 조건 + 수직 각속도 + 전방 각속도 + 연속카운트

```
if ((p0bj->jump_count > 10))
{
    p0bj->rASVM_fall_count_threshold = p0bj->jump_count_from_fall_detector;
}

if ((p0bj->rASVM_fall_count >= (10 + p0bj->rASVM_fall_count_threshold))
&& (TF > 0.7) && (rGSVM_ver > 150) && (GX < 150))
{
    모드 51 검출
}

if ((p0bj->rASVM_fall_count >= (10 + p0bj->rASVM_fall_count_threshold))
&& (TF > 0.6) && (GX < -100) && (AY > -60))
{
    모드 52 검출
}

if ((p0bj->rASVM_fall_count >= (10 + p0bj->rASVM_fall_count_threshold))
&& (TF > 0.9) && (AY > -60) && (rGSVM > 100) && (GX < -50)
&& (p0bj->consecutive_skip == 0))
{
    모드 53 검출
}
```

모드 6, 61 검출 (ASVM_fall_count):

- 28개의 데이터를 검출하였으며, 모드 6, 61의 검출 동작들은 대부분 무릎 혹은 발이 지면에 먼저 닿으며 넘어진 동작.
- ASVM_fall_count 조건 만족 시 검출
jump_count_from_fall_detector가 15 이상이면 ASVM_fall_count 임계값 강화
rASVM > 80 && PITCH < 35 조건 발생시 ASVM_fall_count 초기화

ASVM_fall_count: ASVM_fall_count 조건 만족 + TF 값 + 수직 각속도

ASVM_fall_count_TF: ASVM_fall_count 조건 만족 + 높은 TF 값 + 수직 각속도

```
if (pObj->ASVM_fall_count >= (12 + pObj->rASVM_ASVM_fall_count_threshold)
    && TF > 0.8 && rGSVM > 200)
{
    모드 6 검출
}

if (pObj->ASVM_fall_count >= (6 + pObj->rASVM_ASVM_fall_count_threshold)
    && TF > 0.95 && rGSVM > 200 && pObj->foot_impact_window < 10)
{
    모드 61 검출
}
```

모드 7 검출 (rASVM_Impact)

- 8개 데이터를 검출하였으며 전방으로 넘어지거나 크게 구르는 동작들을 검출
갑작스럽게 발생하는 충격을 감지한 뒤 10 샘플(0.2s) 이후 검출 로직 활성화
rASVM_Impact: 각속도 조건 + TF 조건 + foot_impact 조건으로 검출

```
if ((rASVM > 400) && (abs(AY) < 300)
    && ((abs(PITCH) < 30) && (abs(ROLL) < 30)))
{
    pObj->rASVM_count = 20;
}

if ((pObj->rASVM_count > 0) && (pObj->rASVM_count < 10))
{
    if (AY > -60 && rASVM < 80 && rGSVM > 200 && TF > 0.8
        && pObj->foot_impact_window < 10)
        모드 7 검출
}

if (pObj->rASVM_count > 0) pObj->rASVM_count--;
```


나) 데이터셋 검증 결과

가) 전체 데이터셋 결과

데이터셋	특이도	민감도	리드타임
KFall 일상 데이터	99.8 % (2723/2729)	-	-
사내 데이터 (60Hz)	100 % (32/32)	100 % (28/28)	162.2 ± 121.5 ms
사내 데이터 (50Hz)	100 % (180/180)	100 % (45/45)	150.7 ± 91.2 ms
현대 모비스 데이터	85.7 % (12/14)	100 % (79/79)	408.1 ± 223.3 ms
연세대학교 데이터	99.0 % (395/399)	100 % (110/110)	245.6 ± 122.5 ms
전체 데이터	99.6 % (3342/3354)	100 % (252/252)	273.7 ± 185.2 ms

검출 모드별 검출 통계

모드	설명	전도 동작	일상생활 동작
1	rASVM_window_TF_GX	13.0 % (33/252)	8.3 %
11	rASVM_window_TF_AZ	5.2 % (13/252)	16.7 %
2	rASVM_window_rGSVM	22.6 % (57/252)	8.3 %
3	rASVM_window_rGSVM_ver	13.5 % (34/252)	25.0 %
4	TF_window	27.0 % (68/252)	25.0 %
5	rASVM_fall_count	0.8 % (2/252)	-
51	rASVM_fall_count_rGSVM_ver	1.6 % (4/252)	-
52	rASVM_fall_count_AY	2.0 % (5/252)	-
53	rASVM_fall_count_TF	0.4 % (1/252)	-
6	ASVM_fall_count	3.2 % (8/252)	-
61	ASVM_fall_count_TF	7.5 % (19/252)	8.3 %
7	rASVM_Impact	3.2 % (8/252)	8.3 %

전도 유형 별 검출 통계

전도 유형	검출 모드	검출 비율
주행 중 전방 전도	1	19.6 % (11/62)
	11	12.5 % (7/62)
	2	14.3 % (8/62)
	3	37.5 % (21/62)
	4	3.6 % (2/62)
	61	3.6 % (2/62)
	7	8.9 % (5/62)
전방 충돌 후 전방 전도	1	18.8 % (28/159)
	11	34.9 % (52/159)
	2	11.4 % (17/159)
	3	23.5 % (35/159)
	4	4.0 % (6/159)
	6	2.7 % (4/159)
	61	1.3 % (2/159)
	7	3.4 % (5/159)
주행 중 측방 전도	1	43.8 % (7/22)
	3	12.5 % (2/22)
	4	12.5 % (2/22)
	5	12.5 % (2/22)
	52	6.3 % (1/22)
	61	6.3 % (1/22)
	7	6.3 % (1/22)
주행 중 후방 전도	1	15.4 % (2/13)
	2	7.7 % (1/13)
	3	38.5 % (5/13)
	4	15.4 % (2/13)
	51	7.7 % (1/13)
	7	15.4 % (2/13)
킥보드 위에서 측방 전도	1	11.1 % (1/9)
	3	55.6 % (5/9)
	4	11.1 % (1/9)
	52	11.1 % (1/9)
	61	11.1 % (1/9)
킥보드 위에서 후방 전도	1	33.3 % (3/9)
	3	55.6 % (5/9)
	4	11.1 % (1/9)

나) KFall 일상 데이터셋

- 실험대상자: 32 명의 20 대 성인 남성
- 센서: 허리위치(S2)의 센서로 관성 데이터(6-axis) 측정 (100Hz)
- 검증 결과
특이도: 99.78 % (2723/2729)
- 동작 목록 및 동작별 성능

번호	Activities	Accuracy (%)
D01	Stand for 30 seconds	100 % (32/32)
D02	Stand, slowly bend the back with or without bending at knees, tie shoe lace, and get up	100 % (157/157)
D03	Pick up an object from the floor	100 % (157/157)
D04	Gently jump (try to reach an object)	100 % (160/160)
D05	Stand, sit to the ground, wait a moment, and get up with normal speed	100 % (156/156)
D06	Walk normally with turn (4m)	100 % (151/151)
D07	Walk quickly with turn (4m)	100 % (154/154)
D08	Jog normally with turn (4m)	100 % (156/156)
D09	Jog quickly with turn (4m)	100 % (151/151)
D10	Stumble while walking	100 % (159/159)
D11	Sit on a chair for 30 seconds	100 % (32/32)
D12	Sit on the sofa (back is inclined to the support) for 30 seconds	100 % (32/32)
D13	Sit down to a chair normally, and get up from a chair normally	100 % (149/149)
D14	Sit down to a chair quickly, and get up from a chair quickly	100 % (155/155)
D15	Sit a moment, trying to get up, and collapse into a chair	98.72 % (155/157))
D16	Stand, sit on the sofa (back is inclined to the support), and get up normally	100 % (152/152)
D17	Lie on the bed for 30 seconds	100 % (32/32)
D18	Sit a moment, lie down to the bed normally, and get up normally	99.34 % (151/ 152)
D19	Sit a moment, lie down to the bed quickly, and get up quickly	97.99 % (146/149)
D20	Walk upstairs and downstairs normally (5 steps)	100 % (137/137)
D21	Walk upstairs and downstairs quickly (5 steps)	100 % (149/149)

다) 사내 데이터셋 (총 275개 데이터)

60Hz 데이터셋 (총 50 개 데이터)

- 실험대상자: 1 명의 성인 남성
- 센서: 허리위치(S2)의 센서로 관성 데이터(6-axis) 측정 (60Hz)
- 검증 결과
 - 특이도: 100% (32/32)
 - 민감도: 100% (28/28)
 - 리드타임: 162.2 ± 121.5 ms
- 데이터 동작 목록

분류	번호	Activities
ADL	D01	서있기 (5 초)
	D02	신발끈 묶기
	D03	허리 굽혀 물건 줍기
	D04	제자리 점프
	D05	바닥에 앉았다 일어서기
	D06	의자에 일상속도로 앉았다 일어서기
	D07	의자에 빠르게 앉았다 일어서기
	D08	의자에 털썩 앉기
	D09	소파에 앉고, 기대고, 일어서기
	D10	매트리스에 일상속도로 누웠다 일어서기
	D11	매트리스에 빠르게 누웠다 일어서기
	D12	앉았다 일어서기 (빠르게 5 번 반복)
	D13	일상속도로 걷기 (10 걸음)
	D14	빠르게 걷기 (10 걸음)
	D15	일상속도로 달리기 (10 걸음)
	D16	빠르게 달리기 (10 걸음)
	D17	건다가 발 걸리고 균형잡기
	D18	일상속도로 계단 오르내리기 (5 칸)
	D19	빠르게 계단 오르내리기 (5 칸)
	D20	세게 발 구르며 가속하기
	D21	세게 발 구르며 멈추기
	D22	벽에 부딪치며 멈추기
전도	F01	주행 중 전방 전도
	F02	주행 중 측방 전도
	F03	주행 중 후방 전도

50Hz 데이터셋 (총 225개 데이터)

- 실험대상자: 3 명의 성인 남성
- 센서: 허리위치(S2)의 센서로 관성 데이터(6-axis) 측정 (50Hz)
- 데이터 측정: 각 피험자별 3 번씩 동작 측정
- 검증 결과
 - 특이도: 100% (180/180)
 - 민감도: 100% (45/45)
 - 리드타임: 150.7 ± 91.2 ms
- 데이터 동작 목록

분류	번호	Activities
ADL	M01	서있기 (5 초)
	M02	신발끈 묶기
	M03	허리 굽혀 물건 줍기
	M04	제자리 점프
	M05	바닥에 앉았다 일어서기
	M06	의자에 일상속도로 앉았다 일어서기
	M07	의자에 빠르게 앉았다 일어서기
	M08	의자에 털썩 앉기
	M09	소파에 앉고, 기대고, 일어서기
	M10	앉았다 일어서기 (빠르게 5 번 반복)
	M11	일상속도로 걷기 (10 걸음)
	M12	빠르게 걷기 (10 걸음)
	M13	일상속도로 달리기 (10 걸음)
	M14	빠르게 달리기 (10 걸음)
	M15	걷다가 발 걸리고 균형잡기
	M16	일상속도로 계단 오르내리기 (5 칸)
	M17	빠르게 계단 오르내리기 (5 칸)
	M18	세게 발 구르며 가속하고 멈추기
	M19	세게 발 구르며 가속하고 벽에 부딪치며 멈추기
	M20	커브 주행 시 미끄러지기
전도	M21	주행 중 전방 전도
	M22	주행 중 측방 전도
	M23	주행 중 후방 전도
	M24	킥보드 위에서 측방 전도
	M25	킥보드 위에서 후방 전도

라) 현대 모비스 데이터 (총 93개 데이터)

- 실험대상자: 4 명의 성인 남녀 스텐트맨 (남 3 명, 여 1 명)
- 센서: 등 위치의 센서로 관성 데이터(6-axis) 측정 (60Hz)
- 검증 결과
특이도: 85.7% (12/14)
민감도: 100% (79/79)
리드타임: 408.1 ± 223.3 ms
- 다양한 형태의 전도 동작 포함 (79 개 전도 동작)
 - 과속 방지턱 밟고 전방 전도: 40 개
 - 전방 충돌 후 전방 전도: 39 개

분류	번호	Activities	데이터 개수
ADL	-	주행 중 급정지 후 킥보드에서 뛰어내리기	14
전도	S001 ~ S014	주행 중 전방 전도	40
	B001 ~ BA02	전방 충돌 후 전방 전도	39

마) 연세대학교 데이터 (총 509개 데이터)

- 실험대상자: 20 명의 성인 남녀 (남 18 명 여 2 명)
- 센서: 등 위치의 센서로 관성 데이터(6-axis) 측정 (60Hz)
- 데이터 측정: 각 피험자별 5 번씩 동작 측정
- 검증 결과
특이도: 99.0% (395/399)
민감도: 100% (110/110)
리드타임: 245.6 ± 122.5 ms

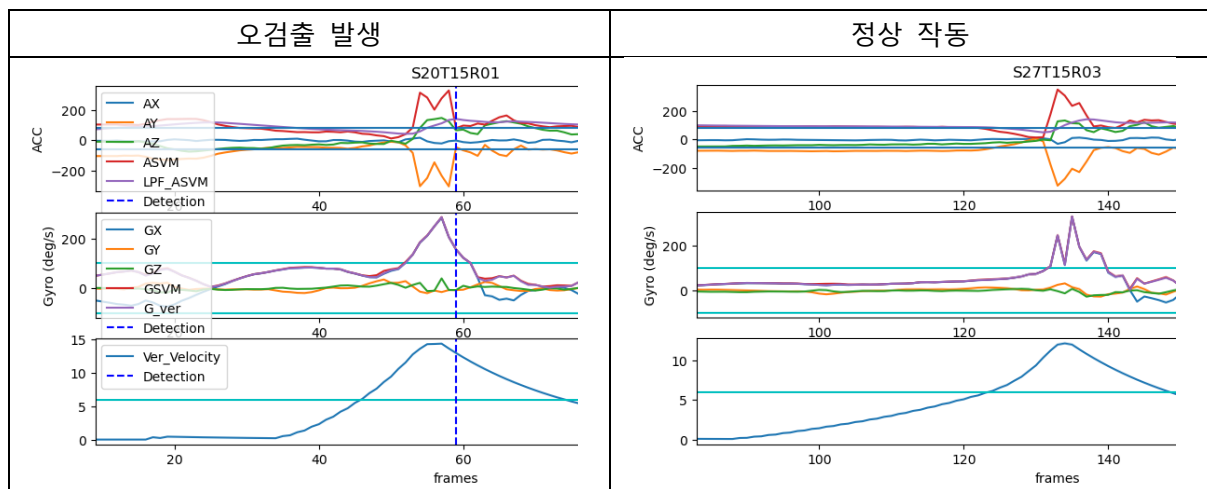
분류	번호	Activities	데이터 개수
ADL	M1	직진 주행 → 발 구르며 멈추기 → 다시 주행	100
	M2	직진 주행 → 방지턱 넘기 → 발 구르며 멈추기	100
	M3	회전 주행 (시계 방향)	100
	M4	회전 주행 (반시계 방향)	99
전도	M5	전방 충돌 후 전방 전도	110

바) 오검출 동작

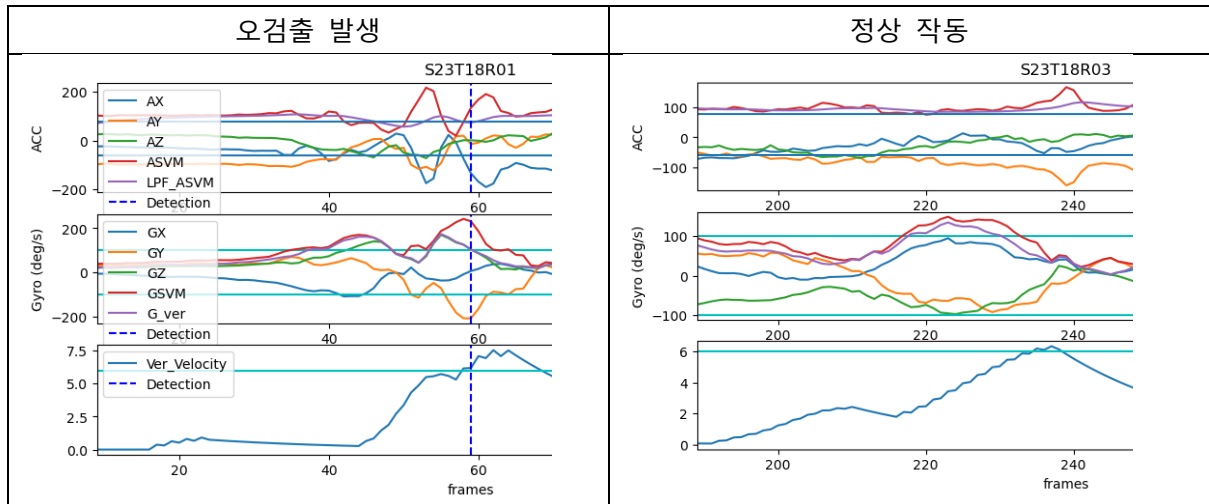
- 일상동작 유형 별 오검출 통계

전도 유형	검출 모드	검출 비율
일어나려다 의자에 털썩 앉기	11	100 % (2/2)
메트릭스에 눕기	1	25 % (1/4)
	3	50 % (2/4)
	4	25 % (1/4)
급정지 후 발구르며 내리기	1	25 % (1/4)
	3	25 % (1/4)
	4	50 % (2/4)

- 일어서려다 의자에 털썩 앉기 (2 건)
 - 2 건 모두 mode 11 로 검출 (KFall 데이터셋 중 2 개 2/157)
 - 빠르게 움직이는 경우 각속도와 수직속도가 크게 나타나 오검출 발생
 - 전도, 낙상과 유사한 동작으로 사용자 주의가 필요



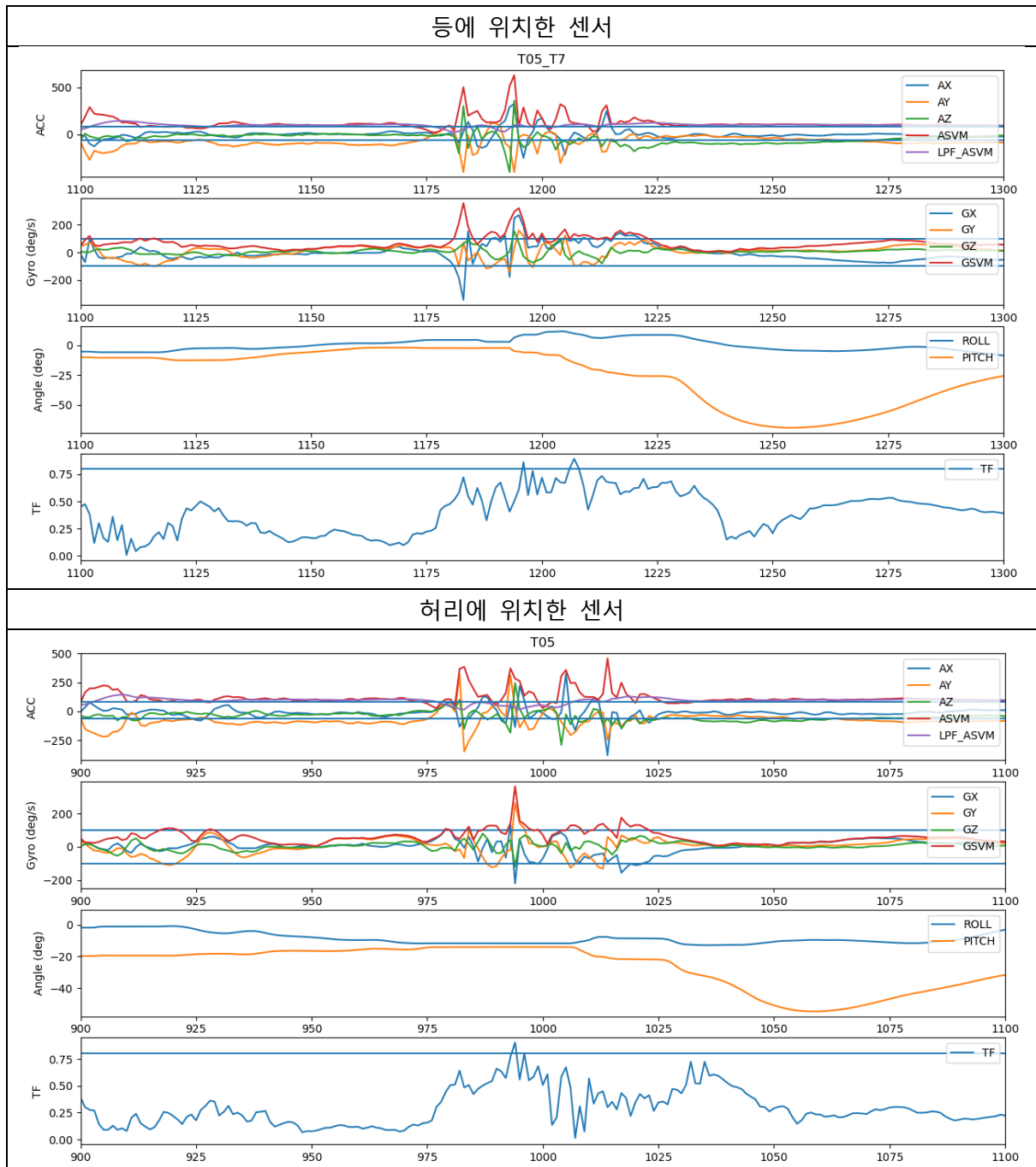
- 눕기 (KFall 데이터셋 중 4 개 4/301)
 - 빠르게 눕는 과정에서 가속도 값이 떨어지며 전도와 유사하게 각속도 값도 크게 나타나오검출 발생
 - 야외에서 착용하는 제품으로 눕는 동작은 사용자 주의가 필요



○ 주행 중 발 구르며 멈추기 (6 개)

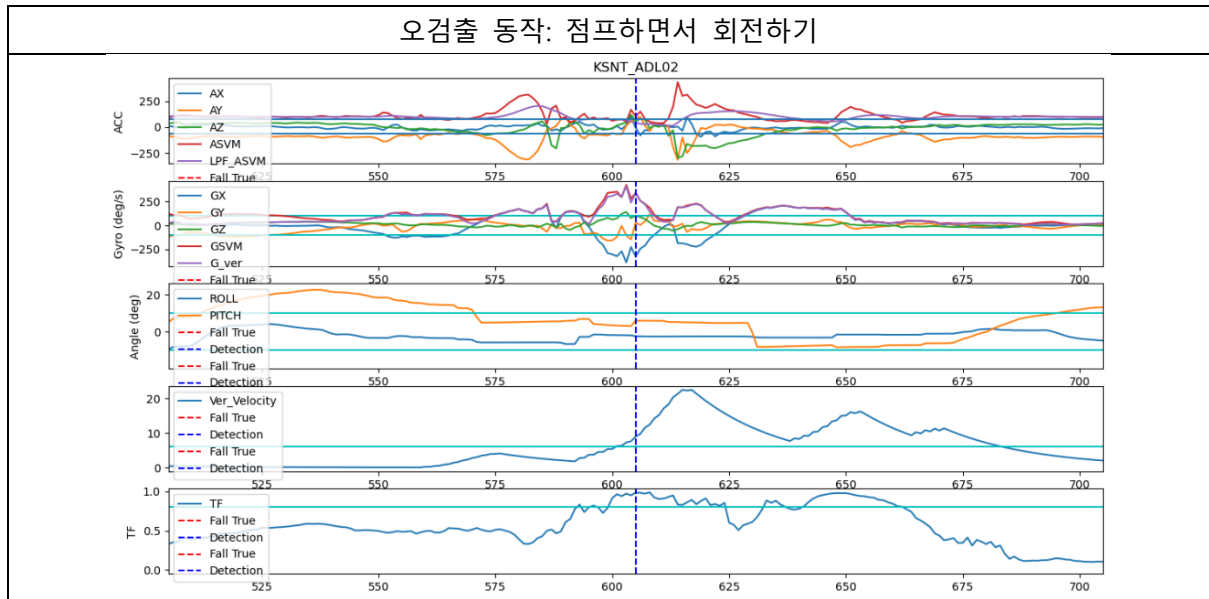
- 등에 센서가 위치한 경우 허리에 있는 경우보다 각속도에서 잡음이 많이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 허리 위치로 센서를 옮긴 후 오검출이 발생하지 않음
- 일반 도로 주행 중 발 구르며 멈추기, 사내 데이터 측정 후 검증 완료 (수직속도 및 각도 지표를 통해 전도 동작과 구분)

< 실험 동작: 세게 발 구르며 멈추기 >

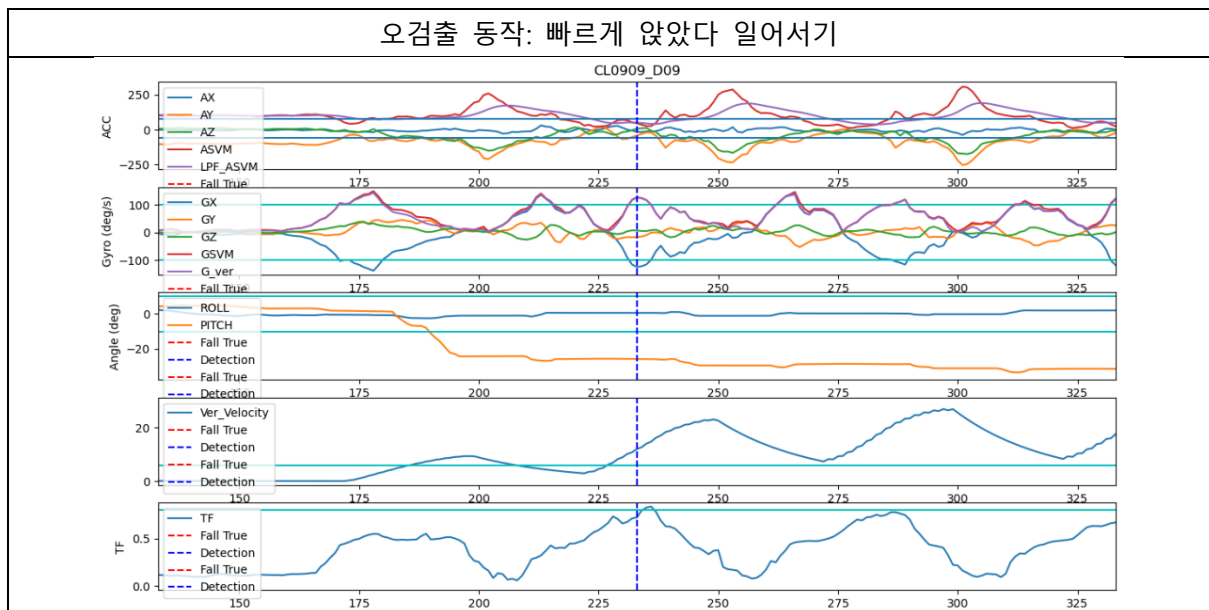


추가 오검출이 확인된 동작

- 점프하면서 회전하기(숙이기): (높은 확률로 오검출 발생)
 - 점프하는 동안 가속도 값이 낮아지며 회전 동작으로 각속도 값이 매우 커지는 순간 오검출 발생
 - 점프 이후에도 착지 직전에 발생하는 가속도값과 수직속도 값으로 오검출 발생
 - 실제 제품을 사용하는 상황에서는 거의 나타나지 않는 동작



- 빠르게 앉았다 일어서기
 - 보유중인 데이터상 16% 정도의 확률로 오검출 발생 (2/12)
 - 빠르게 앉는 과정에서 가속도 값이 떨어지며 수직 속도가 매우 크게 나타남



□ 검출 동작

가) 사내 데이터 분석 (전도 데이터 63 개)

- 매트릭스 높이에 따른 리드타임 감소

매트릭스 높이로 인해 30cm 정도의 리드타임 손해를 보게 됨

→ 충돌 시 닿는 면적이 커지면 매트릭스에 가해지는 압력이 줄어들고,

매트릭스의 압축률이 낮아져 리드타임의 손해가 커짐

→ 전방, 측방 전도의 경우 후방(영덩방아)에 비해 닿는 면적이 커지게 되어 리드타임 손해가 더 커짐

※ GPT 계산 결과: 30cm 매트릭스로 인해 약 20 ~ 90 ms 의 리드타임 손해가 발생할 수 있음

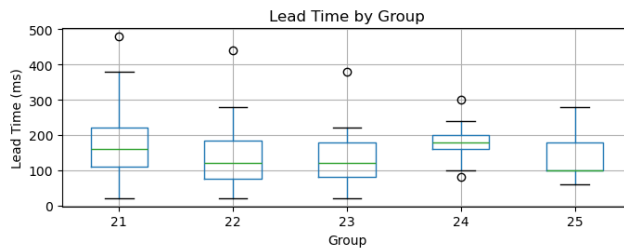
→ 전방, 측방의 경우 매트릭스가 거의 압축되지 않음

<매트릭스로 인해 손해보는 리드타임 표>

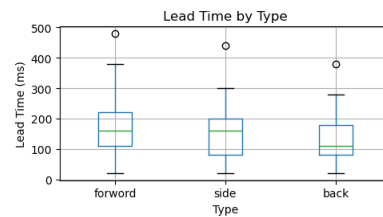
유효 낙하 높이 h	딱딱(0.30 m)	1/3 압축(0.20 m)	압축 덕에 줄어든 손해
0.5 m	117 ms	72 ms	≈ 45 ms
0.7 m	92 ms	58 ms	≈ 34 ms
1.0 m	74 ms	48 ms	≈ 26 ms
1.2 m	66 ms	43 ms	≈ 23 ms
1.5 m	58 ms	38 ms	≈ 20 ms

- 기존 매트릭스 높이에 따른 리드타임 계산 결과는 매트릭스가 대부분 압축되는 경우를 상정하였으나 데이터(비디오)를 더 확인해본 결과 매트릭스의 압축이 거의 발생하지 않음
- 매트릭스 높이로 인해 전방, 측방의 경우 최소 60ms ~ 100ms 의 리드타임 손해가 발생
(후방의 경우 압축률이 높아 40ms ~ 80ms 손해 발생)

나) 데이터 통계



M21 주행 중 전방 전도: 178.75 ± 118.31 ms (n=16)
M22 주행 중 측방 전도: 143.75 ± 110.33 ms (n=16)
M23 주행 중 후방 전도: 135.38 ± 94.57 ms (n=13)
M24 키보드 위에서 측방 전도: 180.00 ± 67.08 ms (n=9)
M25 키보드 위에서 후방 전도: 137.78 ± 68.88 ms (n=9)



전방 전도: 178.75 ± 118.31 ms (n=16)
측방 전도: 156.80 ± 97.07 ms (n=25)
후방 전도: 136.36 ± 83.18 ms (n=22)

다) 검출 결과

- 전방 전도의 경우 측방, 후방 전도에 비해 리드 타임이 더 크게 나타났으며 후방 전도의 경우 가장 낮은 리드타임을 나타냄. 실제 주행 시 전도가 발생할 경우 후방 전도보다는 전방, 측방 전도가 더 자주 발생할 것으로 사료됨
- 리드타임이 낮은 동작들이 19 건 존재하지만(전체 63 건 중) 이는 매트릭스 높이에 대한 손해를 계산하지 않은 경우로 실제 지면에 넘어지는 경우 최소 40ms 이상의 리드타임이 추가로 확보될 것으로 계산됨
- 리드타임이 100ms 미만인 동작들 목록
 - 전방(4 건): K02_M21_T03(20ms), K02_M21_T02(40ms), K03_M21_T01(80ms), K02_F01_01 (80ms)
 - 측방(8 건): K03_M22_T01(20ms), K03_M22_T03(20ms), K01_M22_T01(60ms), K01_M22_T02(60ms), K01_M24_T01 (80ms), K01_F02_02 (80ms), K02_F02_02 (80ms), K02_F02_05 (80ms)
 - 후방(7 건): K01_F03_02(20ms), K03_M23_T02(40ms), K02_M25_T01 (60ms), K02_F03_02(60ms), K01_M23_T01 (80ms), K01_M25_T02(80ms), K01_F03_01 (80ms),

□ 결과 분석

- 일상생활 데이터에서 대부분 정상작동
 - 허리 숙이기, 바닥에 앉기 등 급격하게 각도가 변하는 동작의 경우 수직 속도가 낮게 나타나는 특성이 존재
 - 일어나려다 털썩 앉기, 매트릭스에 누웠다가 일어서기, 빠르게 앉았다 일어나기의 동작의 경우 급격한 움직임과 전도와 유사한 동작이 포함되어 있으며 수직 속도도 크게 나타나 오검출이 발생할 확률이 존재하므로 사용자의 주의가 필요
- 키보드 주행 중 급정지 후 키보드에서 내리는 동작
 - 등에 부착된 센서를 통해 측정된 경우 해당 동작에서 6 건의 오검출이 발생하였으나, 센서 위치를 허리로 옮긴 후 오검출이 발생하지 않음
 - 같은 동작을 등과 허리에서 동시에 측정한 결과 두 센서의 각속도 신호가 매우 상이하게 나타나는 것을 확인하였으며, 등에서의 각속도 신호는 잡음 신호가 발생하여 허리에 센서를 부착한 경우가 더욱 안정적인 센서 위치로 판단됨
- 점프하며 회전하기(숙이기) 동작에서 오검출
 - 현재 알고리즘 상 점프하며 회전하기(숙이기) 동작에서 높은 확률로 오검출 발생
 - 점프 중간 각속도 값이 매우 크게 나타나는 경우로 오검출이 발생되며 착지 직전에도 수직 속도와 추락 카운트로 인해 오검출이 발생됨
 - 키보드 주행을 비롯한 일상생활 동작에서는 발생하지 않을 동작으로 판단됨
- 센서 위치에 관계없이 전도 상황에서 모두 검출
 - 등, 허리의 센서 위치에 관계없이 모든 전도 동작 검출
 - 등과 허리의 센서 위치에 따라 각속도 신호에서 상당히 다른 양상을 보여주지만 각도, 수직 속도 등의 추가적인 지표들을 통하여 모든 상황에서 검출하였음
- 사내 전도 데이터 분석 결과
 - 전도 방향에 따른 결과로 전방 전도가 리드타임이 가장 크게 나타났고 후방 전도에서 가장 낮게 나타났음. 실제 키보드 주행 시 전도 상황에서는 전방과 측방으로의 전도가 더 빈번하게 발생할 것으로 생각됨.
 - 사내 전도 데이터의 리드타임 평균은 약 150ms 지만 이는 실험 환경 특성상 매트릭스의 높이에 의해서 낮게 계산된 결과로 매트릭스가 아닌 지면으로 전도가 발생했을 경우 최소 40ms의 리드타임이 추가로 확보될 것으로 계산됨