

낙상 검출 알고리즘 성능 구체화를 위한 실험 및 분석 결과 보고서

<목차>

1. 최종 낙상 검출 알고리즘	2
2. 알고리즘 성능평가 (KFall)	3
3. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험1: 더미 후방낙상	5
4. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험2: 더미 수직낙상	7
5. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험3: 사람 대상 수직낙상	10
6. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험4: 사람 대상 다양한 낙상 유형 테스트	11
7. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험5: 사람 대상 앉다가 낙상 추가 테스트	13
8. 결론	14
9. 부록	15

0. 요약문

- Redy 노인 낙상 검출 알고리즘을 개발하였으며, **KFall 데이터셋으로 최종 성능을 확정함**
 - 정확도: 99.01% (5025/5075), 민감도: 98.12% (2302/2346), 특이도: 99.78% (2723/2729), 리드타임: $229.37 \pm 168.11\text{ms}$
- 낙상검출 조건을 구체화하기 위하여 5차례 걸쳐 실험을 진행했으며, 결과는 다음과 같음
 - **낙상이 충분한 리드타임(100ms 이상)으로 제대로 검출되는 상황**
 - 1) 서 있는 상태에서 측방 또는 후방으로 낙상이 발생하는 상황
 - 2) 걸거나 뛰다가 미끄러져 측방 또는 후방으로 낙상이 발생하는 상황
 - 3) 의자에 앉아있다가 측방 또는 후방으로 낙상이 발생하는 상황
 - 4) 의자에서 일어서다가 측방 또는 후방으로 낙상이 발생하는 상황
 - **낙상 검출이 어렵거나 충분한 리드타임(100ms 이상) 확보가 어려운 상황**
 - 1) 전방으로 낙상이 발생하는 상황
 - 2) 수직방향으로 낙상이 발생하는 상황
 - 3) 낙상 도중 외력(충격 또는 회전)이 발생하는 상황
 - 4) 앉다가 낙상이 발생하는 상황
- 앉다가 발생하는 낙상은 휠체어 사용자들에게서 나타날 수 있을 것으로 보이며, 검출이 필요하지만 지금의 기술력으로는 어려우며, 추후 시간을 투자하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단됨

1. 최종 낙상 검출 알고리즘

가. 1차 검출 조건 (조건01)

- 배터리 소모를 줄이기 위한 로직
- 1차 검출 조건이 만족되지 않으면 딥러닝 모델을 돌릴 필요 없음

```
if (ptc->vel_v > 1.0f && ptc->raw_acc < 90 && ptc->jerk < 0) {
    // 새로운 검사 구간 추가
    if (pObj->active_window_count < MAX_WINDOWS) {
        pObj->active_windows[pObj->active_window_count].delay_count = 25;
        pObj->active_windows[pObj->active_window_count].checkcount = 0;
        pObj->active_window_count++;
    }
}
```

나. 2-1차 검출 조건 (조건02)

- 회전이 없는 낙상을 검출하기 위한 조건
- 회전을 감지하는 조건을 넣지 않은 대신, 수직속도(vel_v)와 가속도(raw_acc) 경계조건을 강화함
- 회전이 없는 프레임들에서 down 수치가 비교적 작았기 때문에, 조건03보다는 down 경계조건을 약하게 설정함
- 리드타임을 조금 더 확보하기 위하여, 수직속도가 느리더라도 down값이 큰 경우, 검출되도록 설정함

```
bool condition02 = (
    (ptc->vel_v > 6.0f || *ptf > 0.850f) && ptc->raw_acc < 60
    && ptc->jerk < -1 && *ptf > 0.625f
);
```

다. 2-2차 검출 조건 (조건03)

- 회전이 있는 낙상을 검출하기 위한 조건
- 회전을 감지하는 조건을 추가하고, 수직속도(vel_v)와 가속도(raw_acc) 경계조건을 약화함
- 리드타임을 조금 더 확보하기 위하여, 수직속도가 느리더라도 down값이 큰 경우, 검출되도록 설정함

```
bool condition03 = (
    (ptc->vel_v > 5.0f || *ptf > 0.850f) && ptc->raw_acc < 100 &&
    (ptc->pitch > 20 || abs(ptc->roll) > 20 || ptc->raw_gyro > 20) &&
    ptc->jerk < -1 && *ptf > 0.835f &&
    ((ptc->pitch - ptc->pitch_before) >= 0 || (abs(ptc->roll) - abs(ptc->roll_before)) >= 0)
);
```

4) 최종 낙상 판단 조건

- 조건 01을 만족한 뒤, 25프레임 이내에 조건 02 또는 조건 03을 3회 만족할 것

```
// 조건이 만족되면 checkcount 증가
if (condition02 || condition03) {
    pObj->active_windows[i].checkcount++;
}

// CHECKCOUNT 만족 시 낙상 검출
if (pObj->active_windows[i].checkcount >= 3) { // checkcount = 3
    if (condition02 && !condition03) {
        return 2; // Condition02 검출
    }
    if (!condition02 && condition03) {
        return 3; // Condition03 검출
    }
    if (condition02 && condition03) {
        return 5; // 둘 다 검출
    }
}
```

2. 알고리즘 성능평가 (KFall)

가. KFall 데이터셋

- 실험대상자: 32명의 20대 성인 남성
- 센서: 100Hz sampling rate로 측정된 3축 가속도와 3축 각속도
- 실험동작: 일상생활동작(Activities of Daily Living: ADLs) 21종, 낙상동작(Falls) 15종

Task ID	Activities
ADLs	D01 Stand for 30s, D02 Stand, slowly bend at knees (full squat), tie shoe laces, and get up, D03 Pick up an object from the floor, D04 Gently jump (try to reach an object), D05 Stand, sit to the ground, wait a moment, and get up with normal speed, D06 Walk normally with turn (4m), D07 Walk quickly with turn (4m), D08 Jog normally with turn (4m), D09 Jog quickly with turn (4m), D10 Stumble while walking, D11 Sit on a chair, D12 Sit on the sofa (back is inclined to backward), D13 Sit down to a chair normally, and get up from a chair normally, D14 Sit down to a chair quickly, and get up from a chair quickly, D15 Sit a moment, trying to get up, and collapse into a chair, D16 Stand, sit to the sofa, and inclined the back to the support, and get up with normal speed, D17 Lie on the bed, D18 Sit a moment, and lie down to the bed normally, wait a moment, and get up normally, D19 Sit a moment, and lie down to the bed quickly, wait a moment, and get up quickly, D20 Walk upstairs and downstairs normally (5 steps), D21 Walk upstairs and downstairs quickly (5 steps)
Falls	F01 Forward fall when trying to sit down, F02 Backward fall when trying to sit down, F03 lateral fall when trying to sit down, F04 Forward fall when trying to get up, F05 lateral fall when trying to get up, F06 Forward fall while sitting, caused by fainting, F07 lateral fall while sitting, caused by fainting, F08 Backward fall while sitting, caused by fainting, F09 Vertical(forward) fall while walking caused by fainting, F10 Fall while walking, with use of hands in a table to dampen fall, caused by fainting, F11 Forward fall while walking caused by a trip, F12 Forward fall while jogging caused by a trip, F13 Forward fall while walking caused by a slip, F14 Forward lateral fall while walking caused by a slip, F15 Backward fall while walking caused by a slip

- 데이터 수: 총 5,075개

	Training-set	Test-set
낙상동작(Falls)	1,902	444
일상생활동작(ADLs)	2,222	507

- 낙상 유형

	List
Forward Fall	F01(T20). Forward fall when trying to sit down F04(T23). Forward fall when trying to get up F06(T25). Forward fall while sitting, caused by fainting F09(T28). Vertical(forward) fall while walking caused by fainting F11(T30). Forward fall while walking caused by a trip F12(T31). Forward fall while jogging caused by a trip F13(T32). Forward fall while walking caused by a slip
Lateral Fall	F03(T22). Lateral fall when trying to sit down F05(T24). Lateral fall when trying to get up F07(T26). Lateral fall while sitting, caused by fainting F14(T33). Forward lateral fall while walking caused by a slip

Backward Fall	F02(T21). Backward fall when trying to sit down F08(T27). Backward fall while sitting, caused by fainting F10(T29). Fall while walking, with use of hands in a table to dampen fall, caused by fainting F15(T34). Backward fall while walking caused by a slip
---------------	---

나. 낙상 검출 성능

1) 전반적인 성능

- 정확도: 99.01% (5025/5075)
- 민감도: 98.12% (2302/2346)
- 특이도: 99.78% (2723/2729)
- 리드타임: $229.37 \pm 168.11\text{ms}$

2) 낙상유형별 성능

[전방] 정확도: 96.60% (1052/1089), 리드타임: $226.37 \pm 187.74\text{ms}$

[측방] 정확도: 99.68% (629/631), 리드타임: $251.64 \pm 154.96\text{ms}$

[후방] 정확도: 99.20% (621/626), 리드타임: $211.92 \pm 141.07\text{ms}$

3) 동작별 성능

Code	Motion	Accuracy (%)	Lead-time (ms)
T20	Forward fall when trying to sit down	97.48% (155/159)	162.97 ± 167.24 ms
T21	Backward fall when trying to sit down	98.14% (158/161)	107.09 ± 141.57 ms
T22	Lateral fall when trying to sit down	100.00% (161/161)	223.48 ± 175.16 ms
T23	Forward fall when trying to get up	100.00% (155/155)	274.06 ± 157.34 ms
T24	Lateral fall when trying to get up	100.00% (157/157)	335.16 ± 164.02 ms
T25	Forward fall while sitting, caused by fainting	90.51% (143/158)	146.15 ± 224.54 ms
T26	Lateral fall while sitting, caused by fainting	98.71% (153/155)	203.66 ± 110.77 ms
T27	Backward fall while sitting, caused by fainting	98.73% (156/158)	238.72 ± 114.71 ms
T28	Vertical(forward) fall while walking caused by fainting	99.35% (153/154)	287.58 ± 150.69 ms
T29	Fall while walking, with use of hands in a table to dampen fall, caused by fainting	100.00% (152/152)	254.34 ± 127.37 ms
T30	Forward fall while walking caused by a trip	98.04% (150/153)	307.73 ± 135.37 ms
T31	Forward fall while jogging caused by a trip	92.67% (139/150)	172.95 ± 233.25 ms
T32	Forward fall while walking caused by a slip	98.12% (157/160)	224.84 ± 160.71 ms
T33	Forward lateral fall while walking caused by a slip	100.00% (158/158)	243.80 ± 125.27 ms
T34	Backward fall while walking caused by a slip	100.00% (155/155)	250.19 ± 122.48 ms

4) 오검출 ADLs

- S38T05R05, S16T15R01, S16T15R03, S27T15R01, S27T15R04, S27T15R05
- 바닥에 앉았다 일어서기 1건, 의자에 털썩 앉기 5건
- 리드타임 확보를 위해서 낙상 발생 초기에 검출해야되며, **낙상 발생 초기와 유사한 수직 변위 이동이 있을 경우 오검출될 가능성**이 있는 것으로 추정됨

5) 분석

- 전방낙상은 고려대상이 아니었기에 **임계값 최적화 과정에서 측방낙상과 후방낙상에 초점을 둠**
- 그 결과, 전방낙상에 비하여 **측방낙상과 후방낙상의 정확도가 높고, 리드타임이 길게 나타남**
- 리드타임이 상대적으로 짧아, **앞는 도중 낙상이 발생될 경우는 온전한 보장이 어려움**
- 서있는 상태에서의 전방낙상 비중이 크기 때문에, 전방낙상 리드타임이 길어보이지만, 유사 동작간 비교할 때는 리드타임이 짧으며, 전체적인 편차도 크게 나타남

3. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험1: 더미 후방낙상

가. 목적

- 사람이 직접 넘어지는 것으로는 일정한 높이에서 넘어지도록 구현이 어려움
- 더미를 사용해서 후방낙상을 유도하여 높이별 리드타임을 확인해보고자함

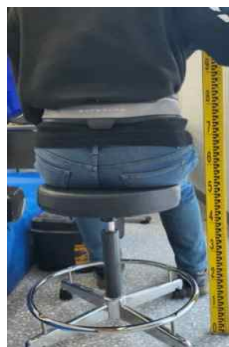
나. 실험 방법

1) 실험 높이 정의

- 선정된 센서 높이: 40cm~100cm
 - 40cm: 실험 가능한 최소 높이 (더미에 착용시켰을 때의 센서 높이)
 - 70cm: 의자에 앉았을 때의 센서 높이 (참고용)
 - 100cm: 서 있을 때의 센서 높이



<40cm>



<70cm>



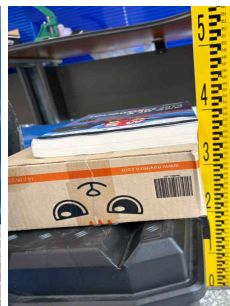
<100cm>

2) 실험환경 셋팅

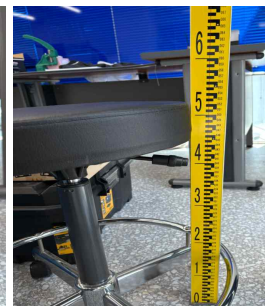
- 매트리스(높이 30cm), 등받이 없는 의자, 공구상자(높이 30cm), 책, 박스 등을 사용하여 셋팅
- 매트리스 기본 높이가 30cm 있으며, 더미에 착용 시, 디폴트로 40cm 높이 차가 발생하므로, 40cm~100cm 실험을 위해서는 지면 높이 30cm~90cm를 만들어줘야함



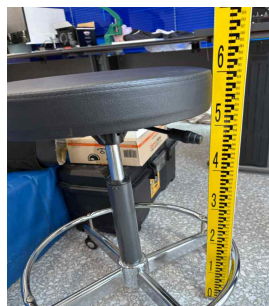
<30cm>



<40cm>



<50cm>



<60cm>



<70cm>



<80cm>



<90cm>

3) 실험 프로토콜

- 각 높이별 20회씩 더미를 후방낙상시켜 데이터를 측정한 뒤, PC에서 리드타임을 분석
(※ 80cm는 실험 데이터를 더 측정해서 총 24회 실험함)

다. 높이별 리드타임

센서높이 (cm)	리드타임 (ms)		
	평균±표준편차	최소, 최대	전체 리스트
40	116.2±40.29	40, 180	[60, 140, 120, 120, 160, 140, 160, 180, 140, 120, 160, 140, 140, 80, 140, 120, 100, 60, 80, 40, 40]
50	191.0±44.49	80, 260	[220, 220, 200, 80, 160, 140, 240, 200, 160, 120, 200, 260, 180, 220, 220, 260, 160, 180, 220, 180]
60	175.0±48.94	80, 300	[80, 140, 180, 160, 140, 180, 160, 240, 140, 200, 140, 200, 140, 120, 160, 200, 300, 260, 180, 180]
70	245.0±57.92	120, 360	[120, 260, 160, 280, 240, 260, 300, 220, 240, 300, 220, 360, 280, 300, 220, 160, 240, 180, 320, 240]
80	257.5±45.21	160, 320	[300, 260, 260, 240, 280, 200, 320, 200, 300, 320, 300, 300, 320, 260, 260, 220, 280, 160, 220, 260, 240, 260, 160, 260]
90	244.0±55.71	140, 320	[140, 320, 280, 300, 320, 320, 280, 160, 260, 240, 200, 160, 200, 260, 260, 200, 300, 180, 240, 260]
100	306.0±59.36	200, 460	[320, 460, 360, 240, 340, 280, 280, 260, 280, 360, 300, 320, 260, 320, 320, 320, 380, 320, 200, 200]

라. 결과 분석

- 사람 대상 실험에 비하여 낙상 높이 컨트롤은 쉬우나, 초기 속도 컨트롤이 어려움
- 최대한 자연스럽게 뒤로 넘어갈 수 있도록 컨트롤 했으나, 초기속도가 리드타임 편차를 만들
- 초기속도의 영향으로 높이에 따른 리드타임 변화량이 온전한 선형성은 보이지 않으나, 전반적으로 센서 높이가 증가하면서 리드타임이 증가하는 경향은 보임
- 센서 높이 70cm 이상(앉아서 후방낙상)에서는 100ms 이상의 리드타임을 보이지만, 건장한 성인 남성 기준으로 노인의 경우 더 짧아질 가능성도 있음
- 센서 높이 100cm 이상(서서 후방낙상)에서는 200ms 이상의 리드타임을 보이지만, 마찬가지로 건장한 성인 남성 기준으로 키가 더 작은 노인들의 경우, 더 짧아질 수 있음

4. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험2: 더미 수직낙상

가. 목적

- 낙상의 유형 중 가장 검출이 어려운 동작은 수직낙상으로 판단됨
- Drop-test기를 활용하여, 더미가 엉덩방아를 찌는 형태의 수직낙상을 할 수 있도록 유도함
- 수직낙상이 발생하는 높이에 따른 리드타임을 분석하고자함

나. 실험 방법

1) 낙상 실험 높이 정의

- 더미에 제품을 착용시켰을 때, 지면으로부터의 센서 높이는 약 20cm
- 후방낙상 실험에서 의미있는 수치들을 보였던 범위는 70cm~100cm이며, 더 열악한 조건인 수직 낙상에서는 리드타임이 더 짧아질 것으로 예측됨
- 그러므로, 후방낙상과 동일구간(70cm~100cm)을 실험하기로 결정

2) 실험 환경 및 실험 프로토콜

- 더미를 수직으로 떨어질 수 있도록 끈으로 유압기로 매달아 올림
- 레이저 거리측정기로 지면부터 더미의 엉덩관절까지의 높이를 50cm~80cm가 되도록 셋팅
- 원하는 높이에 도달하면, 회전하지 않도록 더미를 잘 고정해 둔 뒤, 유압기를 풀어 자유낙하시킴
- 검출 여부를 확인한 뒤, 시스템을 재부팅시킴
- 높이별로 5회씩 반복 측정



<센서높이: 20cm>



<서있을 때 높이: 100cm>



<레이저 거리측정기로 실험 높이 셋팅>

다. 높이별 리드타임

센서높이 (cm)	리드타임 (ms)		
	평균±표준편차	최소, 최대	전체 리스트
70	-195.0±21.79	-220, -160	[-220, -200, -200, -160]
80	-272.0±107.03	-460, -140	[-220, -140, -300, -460, -240]
90	-245.0±145.17	-380, 0	[-300, 0, -380, -300]
100	-168.0±165.70	-380, 120	[-180, -380, -140, 120, -260]

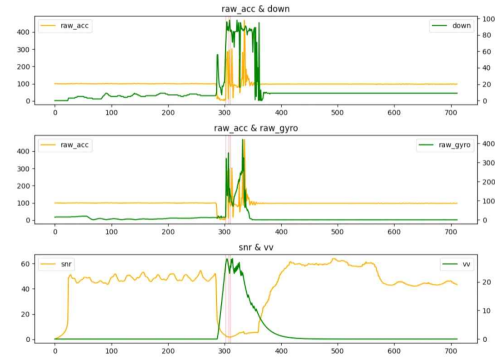
※ 특이사항: 지면으로부터의 충격으로 전원단자가 빠져서 70cm와 90cm에서 데이터 1건씩 손실됨

라. 리드타임 세부 분석

1) Case 1: 70cm / 리드타임 -160ms

- raw_acc가 매우 작은 값까지 떨어지지만, **down값이 작아서 검출 안 됨**
- 수직으로 떨어지는 동안은 검출이 안 되고, **충격 후 몸이 뒤로 넘어가면서 검출됨**

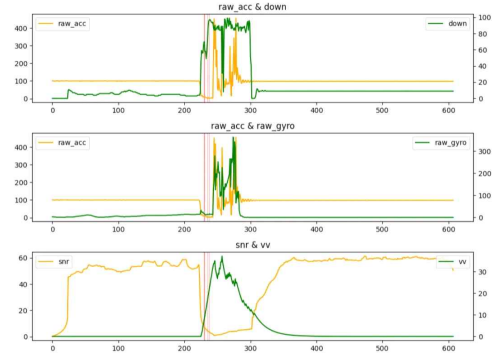
```
File name: Koo-20250417104227-333-333_DSV.csv
-----
max of vv: 28.16
  down raw_acc raw_gyro snr vv pitch roll detected_modes
289 37 20 20 11.06 2.30 -8 0 [1]
290 23 10 16 9.59 4.28 -8 0 [1]
292 16 5 14 7.63 7.76 -8 0 [1]
293 16 4 12 6.80 9.21 -8 0 [1]
296 18 6 13 5.08 15.01 -8 0 [1]
297 17 4 14 4.61 16.55 -7 0 [1]
300 22 2 13 3.48 22.47 -7 0 [1]
302 67 8 15 2.91 26.15 -7 0 [1, 2]
307 85 12 351 1.76 25.45 0 -2 [1, 2]
310 85 95 130 1.73 25.61 7 0 [3]
Predict as Fall motion: True
Lead time: -160 ms
Impact: 302
detect: 310
```



2) Case 2: 100cm / 리드타임 +120ms

- 유일하게 리드타임이 양수가 나옴 → 그래프상 충격 이전에 잘 검출됨
- 원인은 잘 모르겠지만, **down값이 일부 높게 나타나서 충격 이전에 검출됨**

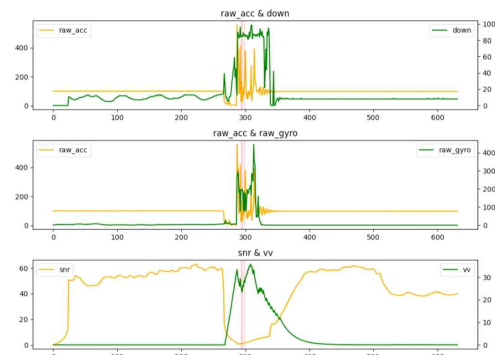
```
File name: Koo-20250417111858-340-340_DSV.csv
-----
max of vv: 37.17
  down raw_acc raw_gyro snr vv pitch roll detected_modes
226 59 15 25 12.25 1.43 -8 -6 [1]
228 56 9 24 9.25 4.60 -8 -6 [1]
230 70 8 17 7.36 8.15 -7 -6 [1, 2]
232 58 7 12 6.05 11.67 -7 -6 [1]
233 49 5 11 5.47 13.03 -7 -6 [1]
235 73 1 14 4.47 16.69 -7 -6 [1, 2]
237 96 3 13 3.67 20.49 -7 -6 [1, 2]
Predict as Fall motion: True
Lead time: 120 ms
Impact: 243
detect: 237
```



3) Case 3: 100cm / 리드타임 -260ms

- raw_acc가 매우 작은 값까지 떨어지지만, **down값이 작아서 검출 안 됨**
- 수직으로 떨어지는 동안은 검출이 안 되고, **충격 후 몸이 뒤로 넘어가면서 검출됨**

```
File name: Koo-20250417112007-341-341_DSV.csv
-----
max of vv: 35.76
  down raw_acc raw_gyro snr vv pitch roll detected_modes
269 13 13 28 11.50 2.13 -8 -4 [1]
270 9 10 12 9.88 3.03 -7 -4 [1]
273 6 7 9 7.26 8.88 -7 -5 [1]
276 11 14 12 5.84 13.15 -7 -5 [1]
277 12 4 5 5.28 15.65 -7 -5 [1]
278 19 1 4 4.75 16.75 -7 -5 [1]
284 35 4 6 2.65 27.94 -7 -5 [1]
285 45 2 6 2.38 30.52 -7 -5 [1]
290 83 82 181 0.92 27.32 -7 -7 [1]
293 84 27 194 1.10 25.82 -5 -6 [1, 2]
295 84 28 200 1.27 23.30 0 -5 [1, 2]
298 85 77 184 1.51 28.60 5 0 [1, 3]
Predict as Fall motion: True
Lead time: -260 ms
Impact: 285
detect: 298
```



마. 결과 분석

- 현재의 알고리즘으로서는 수직낙상시에는 충분한 리드타임 확보가 어려움
- 대부분의 실험 데이터에서 충격 이후 낙상이 검출됨
- 이러한 주요한 원인은 down값이 작게 나타나는 것임
 - 토르소의 기울기 변화 없이 수직으로만 내려앉히는 관련 데이터가 훈련시킨 낙상 데이터셋에 없었음
 - 구조상 전방, 후방, 또는 측방으로 기울 수 밖에 없으며, 사람의 낙상 동작으로 부자연스럽다고 판단됨
 - 오히려, 뒹꾸기와 같이 수직방향 변위가 심한 일상생활동작 데이터와 더 유사한 양상
- Down값이 작더라도, raw_acc가 매우 작다면(<10 or <20) 낙상으로 검출하도록 로직 개선 가능하나, 수직방향 변위가 심한 동작(뛰기, 계단에서 뛰어내리기, 계단에서 완충없이 쿵 찍고 내려오기 등)에서 오검출증가 가능성 있음
- 해당 낙상동작의 발생 가능성에 대한 판단이 필요하며, 발생되지 않을 사항은 알고리즘 검토할 필요 없을 것으로 보임

5. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험3: 사람 대상 수직낙상

가. 목적

- 수직낙상이 실제로 자연스럽게 발생 가능한 동작인지 확인하기 위하여 사람 대상으로 실험 진행

나. 실험 방법

- 서있다가 엉덩방아 찍는 상황 (100cm)과 앉아있다가 엉덩방아 찍는 상황 (70cm)을 연출
- 각 상황을 20회씩 측정하여 리드타임 분석



다. 실험 결과

센서높이 (cm)	리드타임 (ms)		
	평균±표준편차	최소, 최대	전체 리스트
70	174.0±44.77	100, 260	[180, 120, 260, 140, 160, 100, 220, 220, 240, 160, 220, 200, 160, 140, 120, 120, 140, 200, 160, 220]
100	172.0±51.92	100, 300	[140, 100, 160, 140, 220, 120, 160, 120, 200, 140, 160, 160, 160, 180, 300, 100, 260, 220, 240, 160]

라. 결과 분석

- 서있다가 엉덩방아 찍는 상황과 앉아있다가 엉덩방아 찍는 상황 두 실험 동작 모두에서 100ms 이상의 리드타임이 확보됨
- 두 동작 모두에서 몸의 무게중심이 뒤로 이동되면서, 온전히 수직으로 떨어지지 않고 후방낙상에 가깝게 구현되기 때문으로 생각됨

6. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험4: 사람 대상 다양한 낙상 유형 테스트

가. 목적

- 현 알고리즘의 낙상검출 조건을 좀 더 명확하게 확인하기 위하여, 초기 개발 당시에 고려되지 못했던 실제 발생 가능한 상황들을 더 많이 가정하고 낙상 검출 여부를 테스트해보고자함

나. 실험 방법

- 사내 인증부서의 협력을 구하여, **실생활에서 발생 가능한 낙상 유형 16가지를 선정**
- 초기 개발 당시에 고려되지 못 했던 **1) 낙상 도중 회전에 대한 이슈, 2) 보호를 위한 반사반응에 대한 이슈, 3) 수직낙상에 대한 이슈, 4) 낙상 도중 충격에 대한 이슈**를 포함시킴
- **스마트폰 영상**과 함께 **시제품의 관성센서 데이터**를 획득하였으며, 실험 도중 특정 동작에 대해서 좀 더 확인이 필요한 경우에는 데이터를 추가로 획득하였음

〈실험 프로토콜 & 저장된 파일명〉

Code	Experiments	File name
SF01	서서 똑바로 낙상(후방)	20250424_141220(416+), 20250424_142918(435+)
SF02	서서 똑바로 낙상(좌)	20250424_141308(417+)
SF03	서서 똑바로 낙상(우)	20250424_141330(418+)
SF04	서서 똑바로 회전낙상(후방 -> 좌)	20250424_141601(422+), 20250425_135926(439+)
SF05	서서 허리 구부리며 낙상(후방)	20250424_141407(419+)
SF06	서서 허리 구부리며 낙상(좌)	20250424_141437(420+)
SF07	서서 허리 구부리며 낙상(우)	20250424_141503(421+)
SF08	서서 허리 구부리며 회전낙상(후방 -> 좌)	20250424_141650(423+)
SF09	앉아서 똑바로 낙상(후방)	20250424_141836(424+)
SF10	앉아서 똑바로 낙상(좌)	20250424_141919(425+)
SF11	앉아서 수직으로 낙상(후방)	20250424_142021(426x), 20250424_142054(427x)
SF12	앉으면서 낙상(후방)	20250424_142158(428+)
SF13	앉다가 의자에 부딪히고 낙상	20250424_142639(434x)
SF14	쓰러지며 벽에 박고 튕겨 낙상	20250424_142253(429x), 20250424_142336(430+), 20250424_142411(431+)
SF15	쓰러지며 벽에 손 잡고 낙상	20250424_142441(432+)
SF16	쓰러지며 벽에 박고 붙어 낙상	20250424_142513(433x)

다. 실험 결과

- 각 실험 동작에 따른 리드타임은 다음과 같이 나타남
- 세부 데이터는 **부록** 참고

〈낙상 동작별 리드타임〉

Code	Experiments	Lead time (ms)
SF01	서서 똑바로 낙상(후방)	420, 420
SF02	서서 똑바로 낙상(좌)	320
SF03	서서 똑바로 낙상(우)	300
SF04	서서 똑바로 회전낙상(후방 -> 좌)	NaN, 0
SF05	서서 허리 구부리며 낙상(후방)	240
SF06	서서 허리 구부리며 낙상(좌)	260
SF07	서서 허리 구부리며 낙상(우)	260
SF08	서서 허리 구부리며 회전낙상(후방 -> 좌)	240
SF09	앉아서 똑바로 낙상(후방)	300
SF10	앉아서 똑바로 낙상(좌)	240
SF11	앉아서 수직으로 낙상(후방)	-380, -160
SF12	앉으면서 낙상(후방)	-700
SF13	앉다가 의자에 부딪히고 낙상	-440
SF14	쓰러지며 벽에 박고 튕겨 낙상	NaN, -220, 340
SF15	쓰러지며 벽에 손 잡고 낙상	420
SF16	쓰러지며 벽에 박고 붙어 낙상	40

라. 분석 결과

- 로직상으로도 결과상으로도 좌우 낙상방향 차이는 유의하지 않음
- 서서 똑바로 넘어갈 때에 비하여, 엉덩이를 뒤로 빼면 리드타임이 감소될
-> 그래도 서서 낙상되면, 리드타임은 200ms 이상
- 앉아서 똑바로 넘어가면, 리드타임 200ms 이상, 수직으로 주저앉으면 후검출
- 앉으면서 낙상되는 경우, 리드타임 확보 어려움
 - 미리 대비하고 보호동작 나타남 -> 실험이 원하는대로 구현 제대로 안 될
- 낙상 도중 외력(회전, 충격)이 발생하면 검출 안 됨
 - 리드타임이 충분한 케이스는 외력을 받기 이전에 낙상이 검출된 케이스
 - 현재의 알고리즘으로는 극복이 어려우며, 유의사항에 표기 필요

7. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험5: 사람 대상 앉다가 낙상 추가 테스트

가. 목적

- 이전 실험에서 **시각을 차단**한 뒤, 의자에 앉다가 발생하는 낙상을 실험하였으나, **소리와 인기적으로 낙상 상황을 미리 대비**하게 되어, 자연스러운 동작을 측정하기 어려웠음
- **청각을 차단**하여 미리 대비하지 못 하도록 하여, **좀 더 자연스러운 동작을 유도**하려함
(뒤에서 의자를 빼는 상황이므로, 시각과는 무관하여, 청각만 차단함)

나. 실험 방법

- **실험대상자**는 **노이즈 캔슬링 헤드셋**을 착용하고, **의자에 앉았다 일어서기를 반복** 수행함
- **실험진행자**는 **실험대상자** 뒤에서 **대기**하며, 실험대상자가 적응되어 편하게 의자에 앉을 수 있게 되었을 때, 의자에 앉는 **타이밍에 맞게 의자를 빼서 낙상을 유도**함

다. 실험 결과

- 2명에 실험대상자에 대해서 각각 3회씩 데이터를 획득함 (**총 6건의 낙상데이터**)
- 세부 데이터는 부록 참고

〈측정 데이터의 리드타임〉

실험대상자	Lead time (ms)
subject01	NaN, 0, 40
subject02	NaN, NaN, NaN

라. 분석결과

- **대부분의 데이터를 낙상으로 검출 못하며, 낙상으로 검출되더라도, 리드타임이 부족함**
- 낙상으로 검출 못 하는 원인은 딥러닝 모델을 훈련시킬 때 사용된 **훈련데이터셋에 지면과 수직방향으로 넘어지는 낙상동작이 없었기 때문임**
- 극복 방안
 - 1) 데이터 분석을 통한 오검출을 최소화하면서 수직방향 낙상을 검출하기 위한 **추가 임계값 적용**
 - 장점: 비교적 **빠른 시간** 내에 적용 가능
 - 단점: down값이 낮으므로 일상동작과 구분이 어려우며, **오검출 증가할 가능성 높음**
 - 2) **훈련 데이터셋에 수직방향 낙상동작을 추가**하여, **딥러닝 모델을 새롭게 훈련**시키는 방안
 - 장점: **down값 자체가 높아질 가능성**이 있으며, **오검출 증가를 최소화**하며 개선 가능
 - 단점: **시간이 오래 걸림**,
개선될 것이라는 보장 없음 (지금 모델의 분류 성능 자체가 떨어지므로 개선 어려울 수도 있음)
모든 임계값 새롭게 조정 필요 (물리량 기반으로 잡아놓은 특성값들이므로, 지금 구성 그대로 가져갈 수는 있겠지만, 모델 입력에 따른 출력값이 전반적으로 변화될 수 있으므로 세부조정은 필요)

8. 결론

- 개발 초기 고려된 일반적인 회전을 동반하는 낙상동작(서서, 걸다가, 뛰다가 발생하는 동작 & 앉아서 발생하는 동작)에 대해서는 대부분 200ms 이상의 충분한 리드타임으로 낙상 검출 가능
- 제품의 보호범위를 벗어나서 개발 도중 우선순위에서 밀린 전방낙상에 대해서는 검출율과 검출속도가 측방과 후방낙상에 비하여 떨어짐
- 낙상 도중에 외력(충격 또는 회전)이 발생하는 경우는 낙상으로 검출할 수 없음
- 사전에 고려되지 못하여, 낙상 훈련데이터에 포함되어있지 않았기에, 수직으로 발생하는 낙상은 검출할 수 없음
- 앉는 도중 발생하는 낙상은 충분한 리드타임으로 검출이 어려움
 - 의자에 앉는 도중 발생하는 낙상은 휠체어 사용자들에게서 주로 나타날 것으로 예상됨
 - 의자에 앉는 도중 발생하는 낙상은 다음 두 과정이 결합되어있는 형태임
 - 1) 의자에 앉는 과정, 2) 의자가 없어 지면에 낙상되는 과정
 - 의자에 앉는 과정은 일상생활동작에 해당되므로 이 부분에서는 낙상으로 검출되면 안 됨
 - 그 다음으로 이어지는 의자가 없어 지면에 낙상되는 과정에서 낙상을 검출해야됨
 - ↳ 이 부분은 두 가지 문제를 내포하고 있음
 - (1) 주로 수직낙상 형태로 이루어짐, (2) 낙상 구간 자체가 짧아 리드타임 확보가 어려움
- 의자에 앉는 도중 발생하는 낙상을 검출하기 위한 방안들은 다음과 같음
 - 1) 추가적인 임계값 조건 고려
 - down값이 작으므로, 일상동작과 차별화를 줄 수 있는 다른 특성값을 있는지 조합 탐색
 - 가장 빠르게 적용해볼 수 있는 방안
 - 애초에 일상동작과 구분이 어려운 동작이며, 이를 극복하기 위한 기술이 딥러닝이었으나, 그 딥러닝 모델의 판단력이 못 받쳐주는 상황이므로, 핸드메이드 특성벡터로 극복이 될지 의문
 - 2) 딥러닝 모델 새롭게 훈련
 - down값 자체가 작게 나오는 것을 크게 나올 수 있도록 모델 자체를 개선하는 방안
 - 시행착오가 많이 필요한 프로세스이므로 개발 기간이 길어짐
 - 수직낙상 데이터들을 추가해서 모델을 새롭게 훈련
 - 성능이 개선된리라는 보장이 없음
 - ↳ 다음과 같은 2가지 이유 때문
 - (1) 모델 자체 분류 성능의 한계
 - 데이터를 추가해서 새롭게 훈련한다고 해서, 의자에 앉는 동작이나 바닥에 앉는 동작과 제대로 구분을 할 수 있을지 의문 → 이게 안 되면, 일상동작 오검출 크게 증가할 수 있음
 - (2) 물리적으로 짧은 낙상 구간
 - 앉다가 측후방낙상의 경우, 훈련데이터가 있음에도 리드타임이 충분하지 않음
 - 데이터를 추가해서 새롭게 훈련한다고 해서, 제때 낙상으로 검출할 수 있을지 의문임
- 지금까지의 성능을 정리해서 제품을 출시하고, 다음 버전을 출시하면서 수직낙상 데이터를 추가하고, 더 높은 분류 성능의 모델을 고안하여 시간을 들여서 개선하는 방안이 현실적이라고 판단됨

9. 부록

가. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험4_세부결과

1) P01SF01R01. 서서 똑바로 낙상(후방) - 1회차

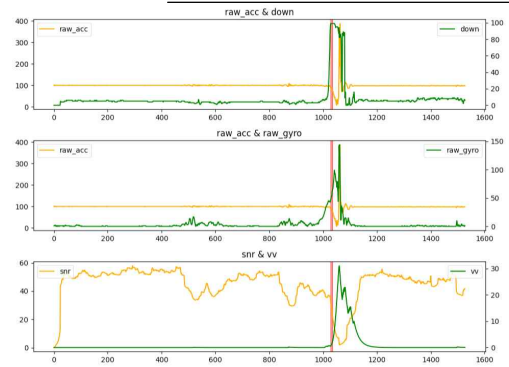


File name: P01SF01R01_DSV.csv

max of vv: 31.06

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerkA	detected_modes
1027	95	93	43	0.54	23	0	-3.0	[3]
1028	99	88	46	0.51	24	0	-5.0	[3]
1030	99	87	51	0.84	25	0	-1.0	[3]
1032	99	84	53	1.27	27	0	-4.0	[1, 3]
1033	99	78	58	1.65	28	0	-6.0	[1, 3]
1034	99	77	62	1.85	29	0	-1.0	[1, 3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 400 ms
Impact: 1054
detect: 1034



2) P01SF01R02. 서서 똑바로 낙상(후방) - 2회차

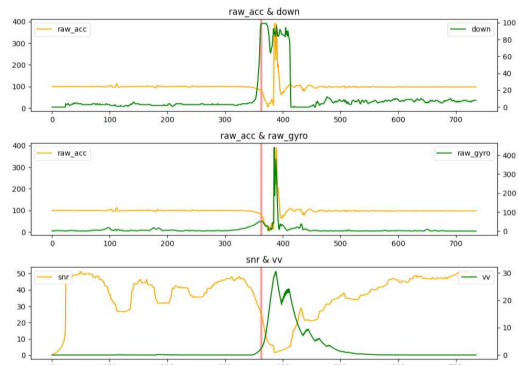


File name: P01SF01R02_DSV.csv

max of vv: 30.55

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerkA	detected_modes
357	33	89	45	1.10	13	0	-1.0	[1]
358	43	88	47	1.34	13	0	-1.0	[1]
359	51	87	49	1.49	14	0	-1.0	[1]
360	68	86	50	1.77	15	0	-1.0	[1]
361	91	84	51	1.96	15	0	-2.0	[1, 3]
362	98	82	51	2.29	16	0	-2.0	[1, 3]
363	99	79	51	2.53	17	0	-3.0	[1, 3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 420 ms
Impact: 384
detect: 363



3) P01SF02R01. 서서 똑바로 낙상(좌)

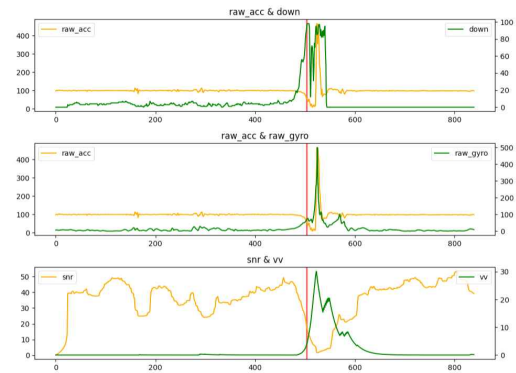


File name: P01SF02R01_DSV.csv

max of vv: 30.11

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
495	54	87	45	1.07	-4	2	-2.0	[1]
497	55	87	50	1.48	-3	3	-1.0	[1]
498	57	85	50	1.66	-3	4	-2.0	[1]
499	61	83	50	1.98	-3	5	-2.0	[1]
500	70	78	52	2.19	-3	6	-5.0	[1]
501	81	75	57	2.59	-3	6	-3.0	[1]
502	87	68	61	2.95	-2	7	-7.0	[1, 3]
503	90	59	67	3.52	-2	8	-9.0	[1, 2]
504	97	55	71	4.10	-1	10	-4.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 320 ms
Impact: 520
detect: 504



4) P01SF03R01. 서서 똑바로 낙상(우)

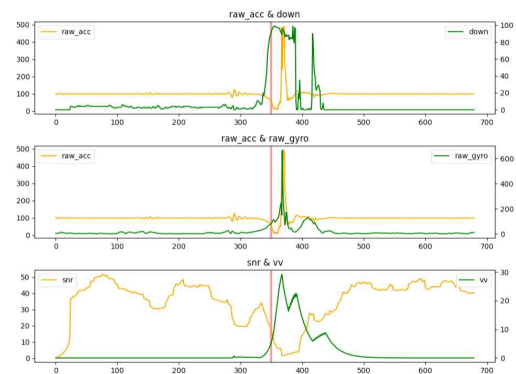


File name: P01SF03R01_DSV.csv

max of vv: 29.23

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
339	21	86	41	1.10	-3	-7	-3.0	[1]
341	33	84	46	1.56	-3	-8	-2.0	[1]
342	40	82	48	1.77	-3	-9	-2.0	[1]
343	52	78	53	2.14	-3	-10	-4.0	[1]
344	66	75	59	2.43	-3	-10	-3.0	[1]
346	79	73	68	3.27	-3	-13	-2.0	[1]
347	84	71	72	3.81	-3	-14	-2.0	[1]
348	88	68	75	4.25	-3	-15	-3.0	[1, 3]
349	89	63	77	4.88	-3	-16	-5.0	[1, 3]
350	91	58	81	5.44	-2	-18	-5.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 300 ms
Impact: 365
detect: 350



5) P01SF04R01. 서서 똑바로 회전낙상(후방 -> 좌) - 1회차

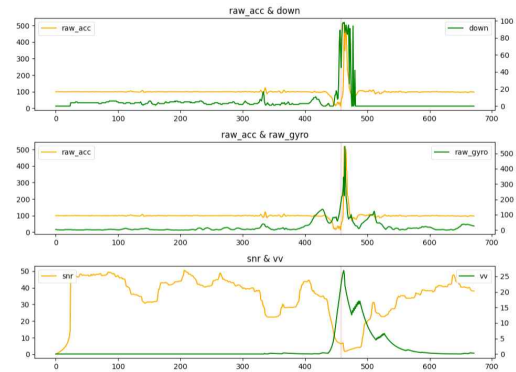


File name: P01SF04R01_D5V.csv

max of vv: 26.96

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerKA	detected_modes	
440	0	76	46	1.12	-2	-1	-3.0	[1]
441	0	71	47	1.39	-2	0	-5.0	[1]
442	0	68	53	1.97	-2	0	-3.0	[1]
443	0	63	58	2.39	-2	0	-5.0	[1]
444	0	55	71	3.13	-2	1	-8.0	[1]
445	0	40	83	3.77	-2	2	-15.0	[1]
446	1	22	82	4.84	-2	3	-18.0	[1]
447	6	20	83	5.96	-2	4	-2.0	[1]
449	13	15	83	9.02	-2	7	-11.0	[1]
454	28	23	87	16.76	-3	13	-14.0	[1]
457	65	13	164	21.07	-3	18	-21.0	[1, 2]
475	0	68	80	12.60	50	46	-29.0	[1]
479	2	87	42	14.11	67	47	-3.0	[1]
480	42	81	33	15.34	69	48	-6.0	[1]
482	0	77	28	15.98	71	48	-4.0	[1]
513	0	86	79	4.73	54	63	-5.0	[1]
520	0	88	46	5.23	36	68	-5.0	[1]
522	0	88	40	5.55	35	70	-1.0	[1]

Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
impact: 457
detect: -1



6) P01SF04R02. 서서 똑바로 회전낙상(후방 -> 좌) - 2회차

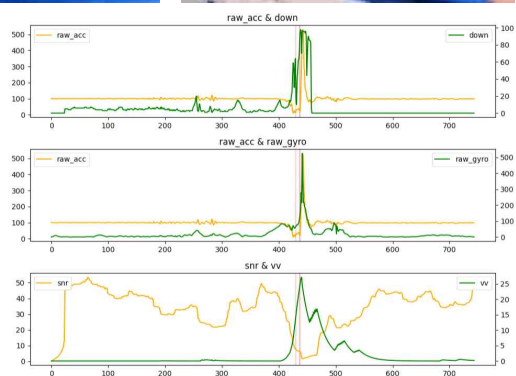


File name: P01SF04R02_D5V.csv

max of vv: 27.11

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerKA	detected_modes	
419	15	64	69	2.59	-2	5	-17.0	[1]
420	13	54	59	3.14	-2	6	-10.0	[1]
423	25	53	44	5.18	-2	8	-16.0	[1]
424	44	25	63	6.09	-2	9	-28.0	[1]
425	59	10	72	7.17	-2	10	-15.0	[1]
428	49	15	56	11.73	-1	12	-10.0	[1]
429	64	12	64	13.25	-1	13	-3.0	[1, 2]
431	10	28	72	16.54	-1	15	-4.0	[1]
436	74	26	111	23.43	2	21	-13.0	[1, 2]
437	94	20	138	24.75	3	22	-6.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 0 ms
impact: 437
detect: 437



7) P01SF05R01. 서서 허리 구부리며 낙상(후방)



File name: P01SF05R01_DSV.csv

max of vv: 28.29

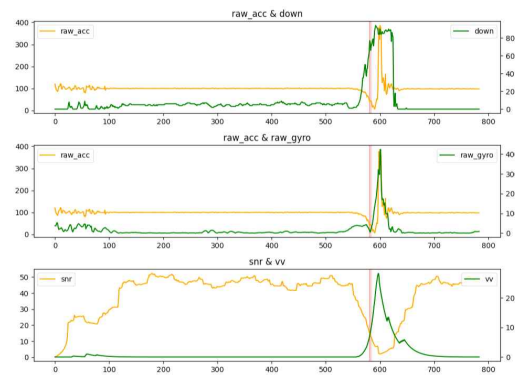
	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
569	35	84	38	1.44	-29	-6	-3.0	[1]
570	39	83	38	1.80	-30	-7	-1.0	[1]
572	50	82	40	2.37	-32	-7	-3.0	[1]
574	40	78	41	3.00	-33	-7	-5.0	[1]
575	37	70	43	3.27	-34	-7	-8.0	[1]
576	45	62	38	3.84	-35	-7	-8.0	[1]
578	56	63	30	5.02	-37	-7	-5.0	[1]
579	59	59	24	5.58	-37	-7	-4.0	[1]
580	64	47	18	6.40	-38	-7	-12.0	[1, 2]
581	77	40	9	7.16	-38	-7	-7.0	[1, 2]
583	66	42	16	8.18	-38	-7	-2.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True

Lead time: 240 ms

Impact: 595

detect: 583



8) P01SF06R01. 서서 허리 구부리며 낙상(좌)



File name: P01SF06R01_DSV.csv

max of vv: 27.75

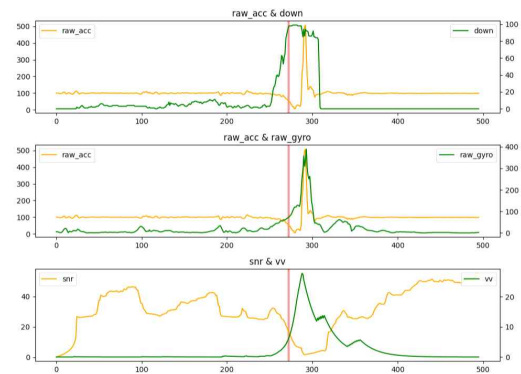
	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
257	32	89	43	1.04	-13	-11	-4.0	[1]
258	39	88	44	1.28	-14	-11	-1.0	[1]
263	53	83	56	2.17	-17	-11	-7.0	[1]
264	63	78	56	2.50	-18	-11	-5.0	[1]
267	61	77	61	3.37	-20	-10	-10.0	[1]
268	65	75	60	3.80	-21	-10	-2.0	[1]
269	83	67	63	4.15	-21	-9	-8.0	[1]
270	88	65	67	4.74	-22	-8	-2.0	[1]
271	92	60	69	5.26	-23	-8	-5.0	[1, 3]
272	97	53	72	6.01	-23	-7	-7.0	[1, 2]
273	98	47	75	6.71	-24	-6	-6.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True

Lead time: 260 ms

Impact: 286

detect: 273



9) P01SF07R01. 서서 허리 구부리며 낙상(우)

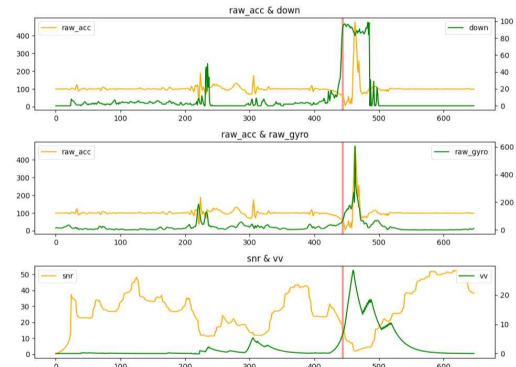


File name: P01SF07R01_DSV.csv

 max of vv: 38.53

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes	
430	13	89	34	1.16	-13	2	-3.0	[1]
431	9	84	34	1.27	-13	2	-5.0	[1]
434	11	84	31	2.10	-14	2	-3.0	[1]
435	11	83	34	2.20	-14	2	-1.0	[1]
436	16	77	36	2.68	-15	2	-6.0	[1]
438	26	75	41	3.42	-15	1	-3.0	[1]
439	30	72	45	3.76	-15	1	-3.0	[1]
440	32	67	46	4.32	-16	0	-5.0	[1]
442	66	65	53	5.43	-16	0	-5.0	[1]
443	84	62	60	5.96	-16	-1	-3.0	[1, 3]
444	93	57	70	6.70	-16	-2	-5.0	[1, 2]
445	96	55	83	7.36	-16	-3	-2.0	[1, 2]

 Predict as Fall motion: True
 Lead time: 260 ms
 Impact: 458
 Detect: 445



10) P01SF08R01. 서서 허리 구부리며 회전낙상(후방 -> 좌)



File name: P01SF08R01_DSV.csv

 max of vv: 16.51

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes	
1226	82	84	76	1.05	-32	-7	-6.0	[1]
1229	89	93	78	1.57	-35	-8	-12.0	[3]
1230	76	77	75	1.51	-36	-9	-16.0	[1]
1234	25	83	57	2.56	-40	-9	-9.0	[1]
1235	28	75	50	3.00	-41	-10	-8.0	[1]
1236	34	74	47	3.19	-41	-10	-1.0	[1]
1238	57	73	42	4.06	-42	-10	-1.0	[1]
1242	70	72	48	5.95	-43	-10	-6.0	[1]
1243	82	61	56	6.62	-43	-10	-11.0	[1]
1244	82	57	64	7.06	-42	-10	-4.0	[1, 2]
1246	88	48	88	8.53	-41	-8	-10.0	[1, 2]

 Predict as Fall motion: True
 Lead time: 340 ms
 Impact: 1258
 Detect: 1246



11) P01SF09R01. 앉아서 똑바로 낙상(후방)



File name: P01SF09R01_DSV.csv

max of vv: 21.39

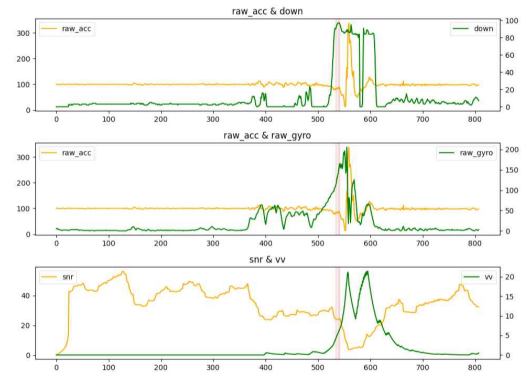
down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerka	detected_modes	
527	56	89	93	2.17	25	4	-2.0	[1]
529	59	81	97	2.54	29	5	-8.0	[1]
531	85	78	102	3.13	32	6	-3.0	[1]
534	90	78	113	4.27	38	7	-5.0	[1, 3]
538	97	82	138	5.58	48	7	-4.0	[1, 3]
541	97	86	164	6.40	57	6	-3.0	[1, 3]

Predict as Fall motion: True

Lead time: 388 ms

Impact: 556

detect: 541



12) P01SF10R01. 앉아서 똑바로 낙상(좌)



File name: P01SF10R01_DSV.csv

max of vv: 25.16

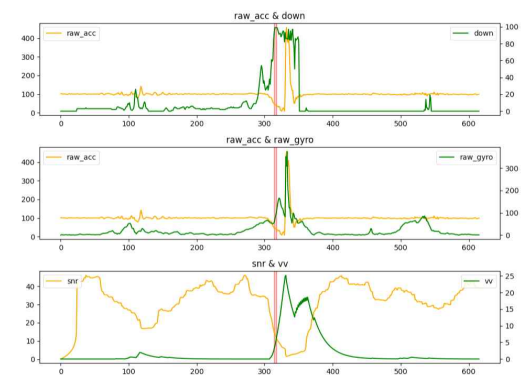
down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerka	detected_modes	
311	59	66	51	1.15	-9	26	-10.0	[1]
312	61	57	51	1.77	-10	27	-11.0	[1]
313	84	52	53	2.28	-10	28	-5.0	[1]
314	94	45	58	3.20	-10	29	-7.0	[1, 2]
315	99	44	74	3.97	-9	30	-1.0	[1]
316	99	41	88	5.10	-8	31	-3.0	[1, 2]
317	99	36	99	6.04	-7	33	-5.0	[1, 2]

Predict as Fall motion: True

Lead time: 248 ms

Impact: 329

detect: 317



13) P01SF11R01. 앉아서 수직으로 낙상(후방) - 1회차

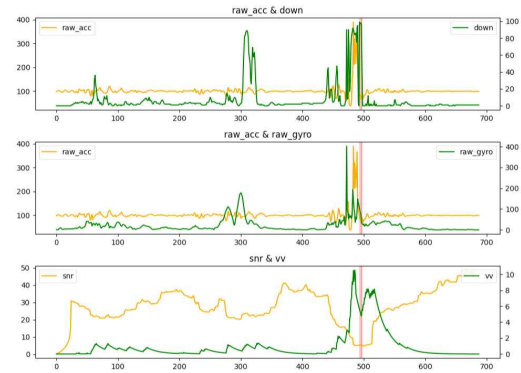


File name: P01SF11R01_DSV.csv

max of vv: 10.52

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
478	5	58	36	1.76	0	-36.0	[1]
476	61	50	74	2.65	16	-103.0	[1]
477	17	39	59	4.52	16	-11.0	[1]
483	99	92	104	5.58	32	-17.0	[5]
484	97	88	86	5.38	38	-12.0	[1, 5]
486	96	65	47	4.78	26	-18.0	[1, 5]

Predict as Fall motion: True
Lead time: -388 ms
Impact: 477
detect: 496



14) P01SF11R02. 앉아서 수직으로 낙상(후방) - 2회차

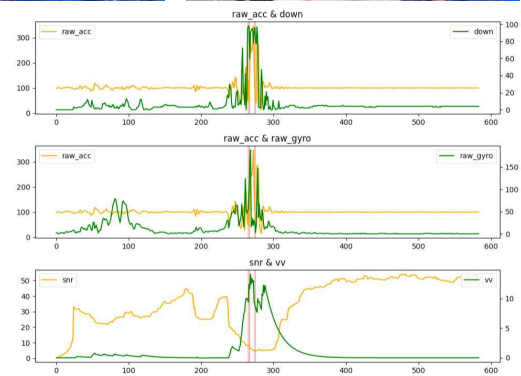


File name: P01SF11R02_DSV.csv

max of vv: 14.12

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
251	5	86	39	1.21	6	-4.0	[1]
252	7	72	19	1.15	5	-14.0	[1]
253	7	51	24	1.80	5	-21.0	[1]
254	11	36	31	2.19	5	-15.0	[1]
259	19	87	15	7.46	2	-34.0	[1]
260	6	28	70	7.86	2	-59.0	[1]
264	95	51	51	9.98	4	-49.0	[1, 2]
265	96	41	99	12.39	4	-88.0	[1, 2]
274	96	92	25	8.94	11	-112.0	[3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: -168 ms
Impact: 266
detect: 274



15) P01SF12R01. 앉으면서 낙상(후방)

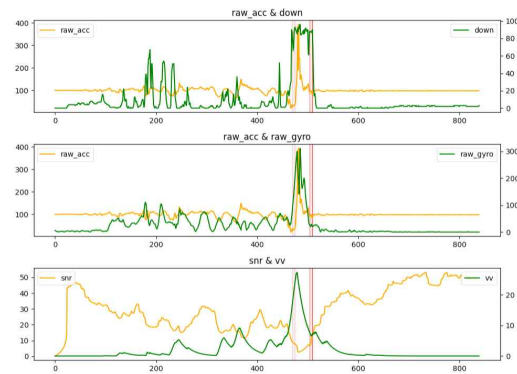


File name: P01SF12R01_DSV.csv

 max of vv: 27.31

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenka	detected_modes
466	29	24	28	12.86	-35	-8	+28.0 [1]
467	38	21	38	13.57	-35	-8	+3.0 [1]
470	78	27	91	17.36	-33	-8	+10.0 [1, 2]
474	92	33	184	22.01	-24	-8	+2.0 [1, 2]
503	88	96	29	7.98	84	18	-15.0 [3]
504	87	89	26	7.59	84	18	-7.0 [1, 3]
508	87	85	27	6.97	87	9	-13.0 [1, 3]
509	90	82	21	6.73	87	9	-3.0 [1, 3]

 Predict as Fall motion: True
 Lead time: -700 ms
 Impact: 474
 Detect: 509



16) P01SF13R01. 앉다가 의자에 부딪히고 낙상

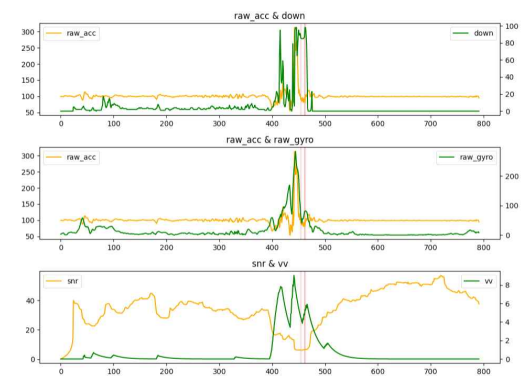


File name: P01SF13R01_DSV.csv

 max of vv: 9.83

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenka	detected_modes
434	2	54	140	3.41	-5	26	-2.0 [1]
436	2	84	84	5.01	-7	30	-2.0 [1]
437	0	69	71	6.49	-8	31	-15.0 [1]
438	6	64	89	6.63	-8	33	-5.0 [1]
440	31	83	188	7.85	-7	36	-44.0 [1]
454	86	90	66	4.49	-125	86	-16.0 [3]
456	85	85	41	4.05	-168	81	-9.0 [1]
458	85	89	54	4.37	-176	79	-7.0 [1]
459	85	81	57	4.23	-180	78	-8.0 [1]
461	87	87	79	4.73	172	78	-7.0 [1, 3]
462	98	80	81	5.33	168	79	-7.0 [1, 3]

 Predict as Fall motion: True
 Lead time: -440 ms
 Impact: 440
 Detect: 462



17) P01SF14R01. 쓰러지머 벽에 박고 튕겨 낙상 - 1회차

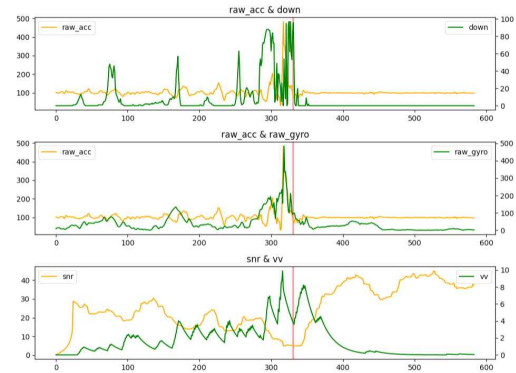


File name: P01SF14R01_DSV.csv

max of vv: 9.0

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
291	77	59	152	2.75	3	-7	-5.0	[1]
292	81	52	150	3.78	4	-7	-7.0	[1]
307	22	86	119	4.02	13	6	-51.0	[1]
308	49	64	182	3.82	15	8	-22.0	[1]
310	37	81	180	5.38	17	13	-19.0	[1]
311	38	79	196	5.08	17	16	-2.0	[1]
312	27	73	216	6.76	18	19	-6.0	[1]
313	22	30	212	6.52	19	23	-43.0	[1]
339	86	89	91	3.46	91	78	-13.0	[3]
331	96	71	97	3.77	95	79	-28.0	[1, 3]
335	0	87	66	5.04	107	85	-6.0	[1]
336	11	76	65	4.96	118	86	-11.0	[1]

Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
Impact: 299
detect: -1



18) P01SF14R02. 쓰러지머 벽에 박고 튕겨 낙상 - 2회차

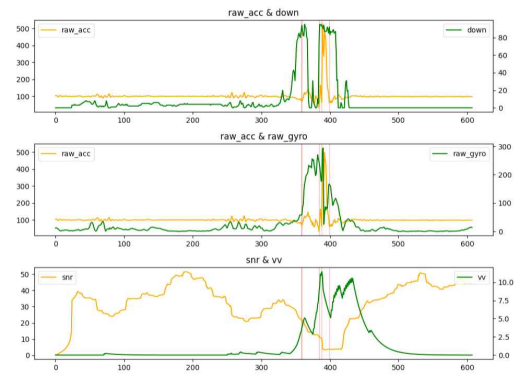


File name: P01SF14R02_DSV.csv

max of vv: 11.45

	down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jenkA	detected_modes
356	81	86	58	2.59	10	-6	-1.0	[1]
358	88	79	58	3.26	12	-7	-7.0	[1, 3]
359	94	67	58	3.70	13	-7	-12.0	[1, 3]
374	11	70	256	2.00	32	13	-24.0	[1]
376	8	62	253	3.56	38	19	-24.0	[1]
377	4	59	233	3.70	41	22	-3.0	[1]
381	1	89	242	5.91	55	33	-5.0	[1]
382	10	66	270	6.95	61	33	-23.0	[1]
383	5	62	257	7.36	67	33	-4.0	[1]
384	70	32	246	9.62	72	32	-30.0	[1, 2]
388	93	65	177	11.45	94	43	-58.0	[1, 3]
399	92	62	167	5.66	110	47	-54.0	[1, 3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: -220 ms
Impact: 388
detect: 399



19) P01SF14R01. 쓰러지며 벽에 박고 튕겨 낙상 - 1회차

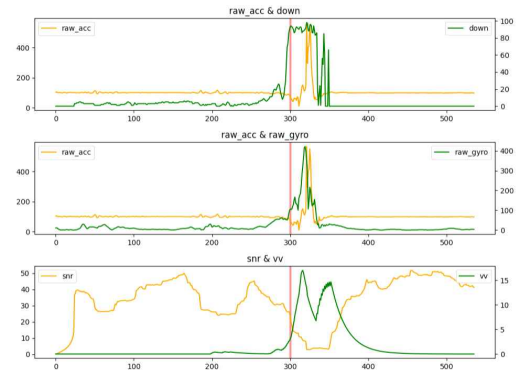


File name: P01SF14R01_DSV.csv

max of vv: 17.01

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerka	detected_modes
292	13	85	55	1.21	14	-7	-5.0 [1]
293	22	86	58	1.24	15	-7	-2.0 [1]
295	49	84	52	1.67	16	-8	-3.0 [1]
299	90	83	58	2.68	19	-9	-7.0 [1, 3]
300	93	71	100	3.12	21	-9	-12.0 [1, 3]
301	94	58	105	3.44	22	-9	-13.0 [1, 2]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 340 ms
Impact: 318
detect: 301



20) P01SF15R01. 쓰러지며 벽에 손 잡고 낙상

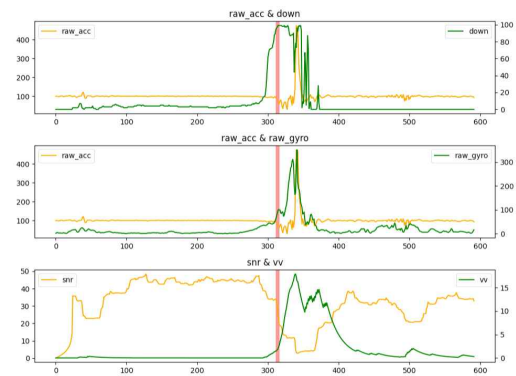


File name: P01SF15R01_DSV.csv

max of vv: 17.09

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerka	detected_modes
311	94	92	62	1.51	16	0	-6.0 [3]
312	96	90	73	1.54	16	0	-2.0 [3]
313	97	84	85	1.76	17	1	-6.0 [1, 3]
314	99	72	97	1.92	18	3	-12.0 [1, 3]
315	99	62	102	2.37	19	3	-10.0 [1, 3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 420 ms
Impact: 316
detect: 315

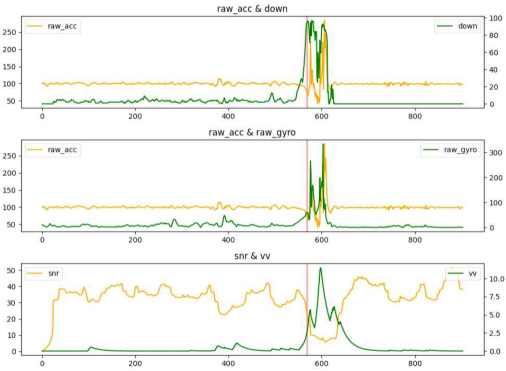


21) P01SF16R01. 쓰러지며 벽에 박고 붙어 낙상



File name: P01SF16R01_DSV.csv

max op vv: 11.49
down raw_acc raw_gyro vv pitch roll jerKA detected_modes
564 59 89 43 1.49 7 -7 -2.0 [1]
565 69 86 45 1.61 7 -8 -3.0 [1]
566 82 84 51 1.88 8 -8 -2.0 [1]
567 91 80 58 2.08 8 -9 -4.0 [1, 3]
568 94 78 59 2.45 9 -10 -1.0 [1, 3]
569 95 75 59 2.76 10 -10 -3.0 [1, 3]
Predict as Fall motion: True
Lead time: 48 ms
Impact: 571
detect: 569



나. 낙상검출 조건 구체화를 위한 실험5_세부결과

1) subject01_1

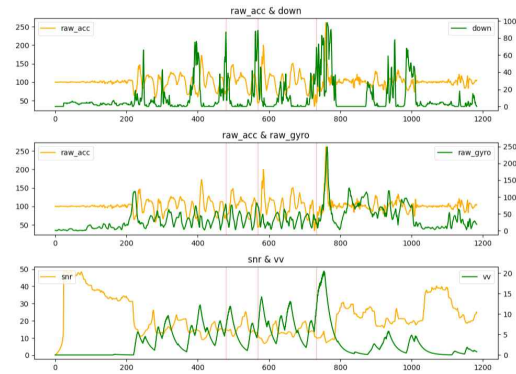


File name: Koo-20250428135157-443-443_D5V.csv

max of vv: 20.52

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerKA	detected_modes	
787	18	64	50	3.28	-12	-2	-3.0	[1]
789	2	62	49	4.42	-10	-2	-2.0	[1]
725	28	74	48	6.34	-15	0	-25.0	[1]
726	38	48	47	6.02	-15	-1	-26.0	[1]
727	28	34	43	5.72	-16	-1	-14.0	[1]
732	47	57	21	11.13	-19	-2	-9.0	[1]
733	69	44	21	11.09	-19	-2	-13.0	[1]
735	59	75	16	15.89	-20	-3	-10.0	[1]
744	48	89	29	17.76	-21	-4	-11.0	[1]
745	55	80	34	17.06	-21	-4	-9.0	[1]
746	37	74	41	18.16	-21	-5	-6.0	[1]
753	80	87	75	19.49	-16	-5	-9.0	[1]

Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
Impact: 753
detect: -1



2) subject01_2

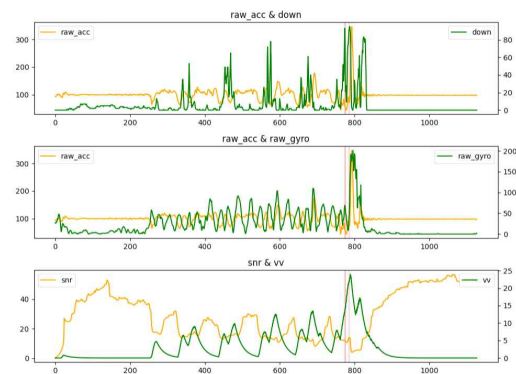


File name: Koo-20250428135228-444-444_D5V.csv

max of vv: 23.92

down	raw_acc	raw_gyro	vv	pitch	roll	jerKA	detected_modes	
760	6	89	46	5.82	-19	0	-22.0	[1]
761	5	69	48	5.53	-20	0	-20.0	[1]
762	2	54	56	5.25	-21	0	-15.0	[1]
763	2	44	58	6.35	-22	-1	-10.0	[1]
767	22	67	34	9.36	-25	-1	-6.0	[1]
768	26	61	21	9.46	-26	-1	-6.0	[1]
772	43	83	44	12.02	-29	-1	-1.0	[1]
773	67	69	62	13.02	-29	-1	-14.0	[1]
774	93	59	69	13.08	-30	-2	-10.0	[1, 2]
775	73	57	66	14.19	-32	-2	-2.0	[1, 2]
776	21	34	57	14.39	-33	-2	-3.0	[1]
777	28	47	47	15.76	-34	-3	-7.0	[1]
778	14	44	45	16.12	-35	-3	-3.0	[1]
785	89	72	30	21.89	-38	-2	-18.0	[1, 3]

Predict as Fall motion: True
Lead time: 0 ms
Impact: 785
detect: 785

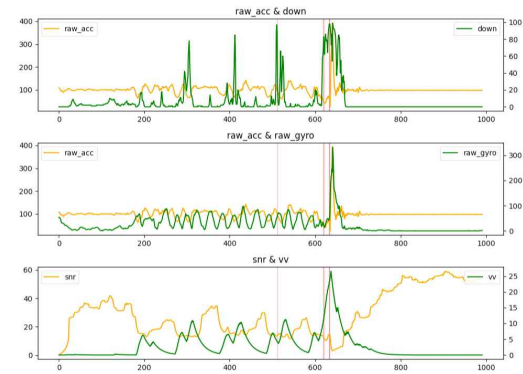


3) subject01_3

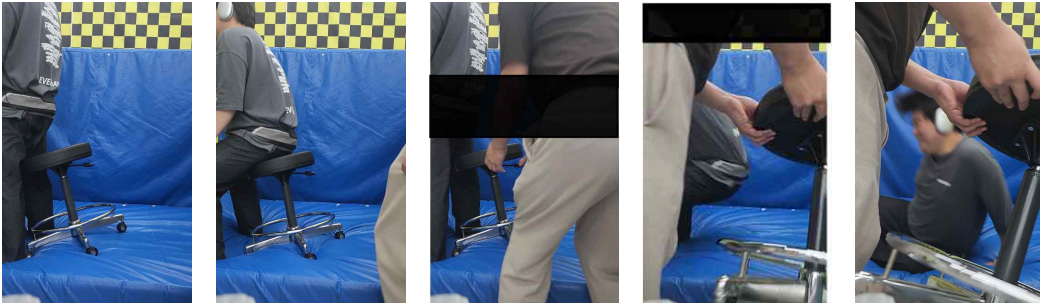


File name: Koo-20250428133304-445-445_D5V.csv

```
max of vv: 16.53
-----
down raw_acc raw_gyro vv pitch roll jerk detected_modes
609 3 73 27 5.16 -22 -7 -1.0 [1]
612 3 73 44 6.04 -24 -8 -4.0 [1]
613 2 66 38 6.90 -25 -8 -7.0 [1]
614 1 63 24 7.08 -26 -8 -3.0 [1]
617 58 63 29 9.39 -28 -8 -5.0 [1]
618 60 56 34 9.09 -28 -8 -7.0 [1]
619 70 51 31 10.82 -29 -9 -5.0 [1, 2]
620 83 43 24 11.29 -29 -9 -8.0 [1, 2]
621 64 42 18 12.62 -30 -9 -1.0 [1]
624 86 42 25 15.40 -31 -10 -1.0 [1]
628 76 60 48 19.35 -30 -11 -1.0 [1]
630 81 65 49 20.86 -28 -11 -5.0 [1]
633 90 67 48 23.16 -26 -11 -6.0 [1, 3]
Predict as Fall motion: True
Lead time: 40 ms
Impact: 635
Detect: 633
```

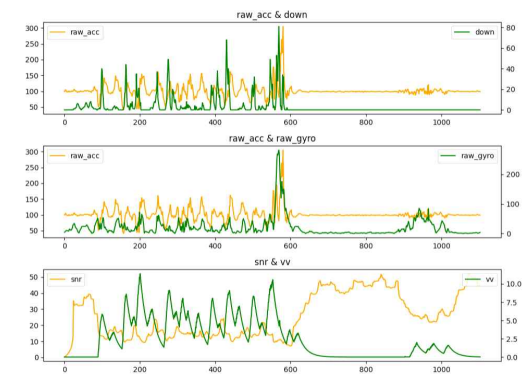


4) subject02_1



File name: Koo-20250428133456-450-450_D5V.csv

```
max of vv: 11.4
-----
down raw_acc raw_gyro vv pitch roll jerk detected_modes
490 0 79 14 2.49 -7 -3 -4.0 [1]
491 0 79 12 3.04 -7 -3 -8.0 [1]
492 0 64 13 3.28 -7 -2 -6.0 [1]
532 0 78 49 3.26 -10 -5 -23.0 [1]
533 1 67 49 3.10 -10 -6 -11.0 [1]
535 1 68 39 3.99 -12 -7 -4.0 [1]
536 4 50 36 3.94 -12 -7 -10.0 [1]
539 4 70 12 6.36 -13 -7 -10.0 [1]
540 4 67 28 6.43 -13 -7 -3.0 [1]
542 7 72 40 7.52 -13 -7 -5.0 [1]
550 22 78 38 9.53 -5 -2 -12.0 [1]
557 3 79 61 8.30 -4 -1 -82.0 [1]
558 0 74 55 7.88 -5 0 -5.0 [1]
569 81 81 282 4.48 12 16 -9.0 [1]
587 0 81 85 1.97 27 61 -17.0 [1]
Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
Impact: 569
Detect: -1
```

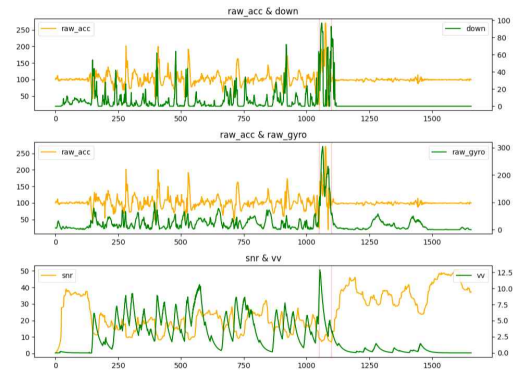


5) subject02_2



File name: Koo-20250428135541-451-451_05V.csv

```
max of vv: 12.85
-----
down raw_acc raw_gyro vv pitch roll jerkA detected_modes
1033 1 52 57 1.67 -16 -3 -14.0 [1]
1035 2 70 59 1.51 -18 -6 -12.0 [1]
1036 4 57 44 2.24 -19 -6 -13.0 [1]
1045 6 76 10 4.72 -21 -9 -14.0 [1]
1046 11 55 19 4.48 -21 -9 -21.0 [1]
1047 25 33 26 5.57 -21 -9 -22.0 [1]
1049 54 33 71 7.27 -20 -9 -5.0 [1, 2]
1050 55 23 101 9.00 -19 -8 -10.0 [1]
1082 68 88 205 3.14 0 52 -2.0 [1]
1085 69 66 232 2.69 8 63 -27.0 [1]
1086 42 19 211 2.56 13 67 -47.0 [1]
1089 1 84 194 4.54 52 73 -24.0 [1]
1090 93 96 58 3.62 115 57 -3.0 [3]
Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
Impact: 1086
detect: -1
```



6) subject02_3



File name: Koo-20250428135700-452-452_05V.csv

```
max of vv: 12.5
-----
down raw_acc raw_gyro vv pitch roll jerkA detected_modes
805 68 29 50 9.13 -19 -3 -96.0 [1, 2]
818 0 87 11 5.11 -10 0 -11.0 [1]
819 5 82 9 4.86 -10 0 -5.0 [1]
820 2 78 6 4.61 -10 0 -4.0 [1]
886 0 82 16 1.06 -14 -2 -2.0 [1]
887 0 78 13 1.50 -14 -2 -4.0 [1]
888 1 74 11 1.69 -13 -2 -4.0 [1]
889 2 67 11 2.27 -13 -2 -7.0 [1]
890 5 66 12 2.63 -13 -1 -1.0 [1]
929 1 80 68 1.40 -19 -5 -25.0 [1]
930 0 60 60 1.33 -21 -6 -20.0 [1]
931 2 47 55 1.27 -22 -6 -13.0 [1]
932 13 39 35 2.47 -22 -6 -8.0 [1]
936 12 64 16 6.26 -24 -7 -4.0 [1]
937 7 50 25 6.56 -24 -7 -5.0 [1]
941 13 84 49 9.11 -21 -7 -3.0 [1]
942 47 76 64 9.99 -20 -7 -8.0 [1]
945 73 68 72 9.95 -19 -6 -8.0 [1]
948 91 74 169 12.17 -8 3 -32.0 [1, 3]
954 81 86 260 9.95 0 21 -62.0 [1]
955 50 68 257 9.46 1 23 -18.0 [1]
Predict as Fall motion: False
Lead time: nan ms
Impact: 932
detect: -1
```

