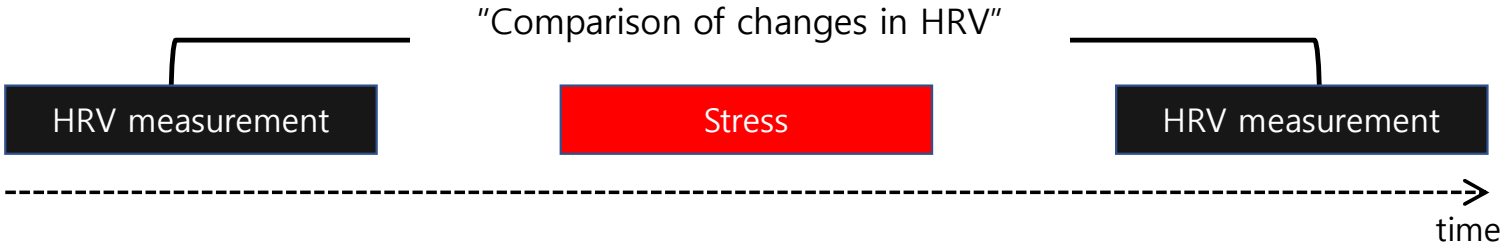
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB Radar

신호처리특론

2022.12.12

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- Overview
  - **목적** IR-UWB radar에서 추출한 HRV (Heart Rate Variability) 를 이용한 스트레스 measurement가 가능하다는 것을 보이기 위함
  - **실험 방법** STRESS 상황 전/후의 HRV를 측정하여 비교함



  - 기존 계획 : Stress 발생 방법에 따른 2종류의 실험 진행 예정

실험1) Daily Stress :: 직장인/대학원생의 출근 전과 퇴근 후 HRV 비교
실험2) 인위적 Stress :: 암산테스트(MAT), 색읽기테스트(SCWT)

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

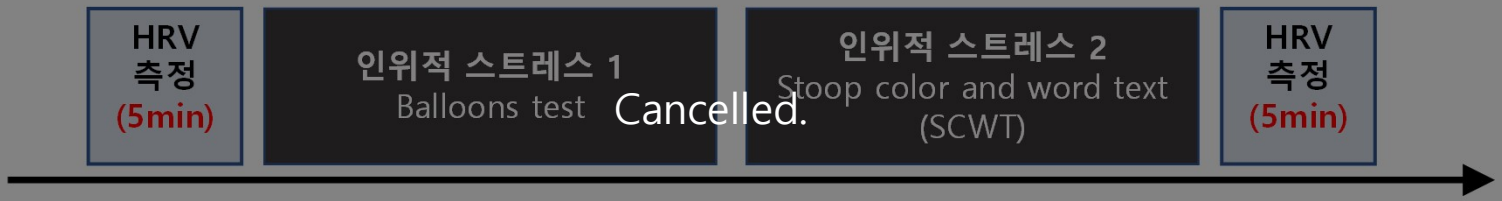
- 세부 실험 방법

■ : 실험1, Daily Stress Measurement (평일 매일 측정)



- 매 주 월요일(혹은 화요일) STAI Questionnaire 검사 ▶ 장주기 변동 트렌드 관찰
- HRV 측정 전 3분간 휴식

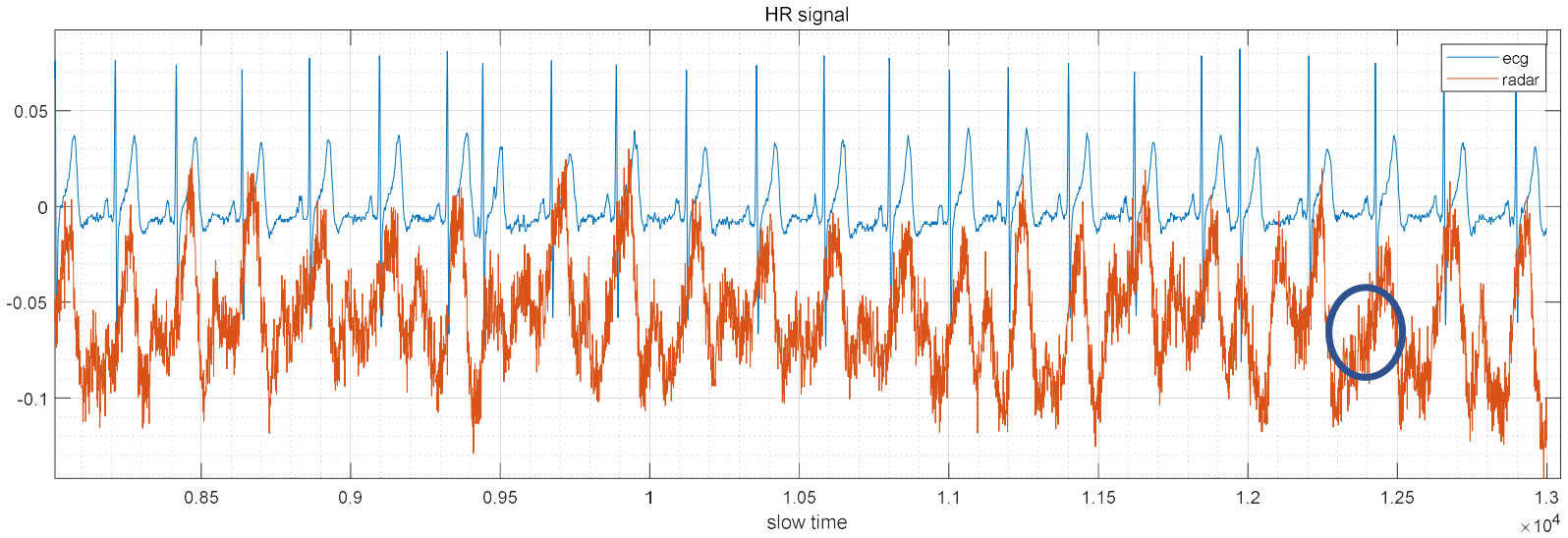
■ : 실험2, 인위적 Stress (2주에 1회)



- 실험 전후로 간단히 **인지적 스트레스 정도(0-10점)**에 대한 설문조사

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 과정에서 확인한 문제 -1. Low SNR (1/2)
  - 테스트 결과 큰 문제는 없으나, 기존 세팅 값으로 실험 시 SNR이 매우 낮음.



  - 원인
    - Radar의 측정 Frame per second는 250 times/sec으로 매우 높음
    - 따라서 Iteration/ pulse per step 등의 파라미터의 특성이 매우 저하됨.

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 과정에서 확인한 문제 -1. Low SNR (2/2)
  - X4 module의 경우, 실험적으로 0.7m 안쪽 range
  - X4 module의 bandpass filtering 오류
    - Center frequency – KCC 대역으로 설정 되어있음 (EU로 변경)

SNR 개선

C:₩Users₩casp₩Desktop₩Stress_HRV₩20220223₩AutoMulti_X4_GetRawData_original.m

```
% AvailablePortsName = getAvailableComPort();
% COM = AvailablePortsName(2);
COM1 = 'COM52'; %Carotid
% COM2 = 'COM34'; %Chest
% COM3 = 'COM22';
% COM4 = 'COM47';
% COM5 = 'COM21';
% COM = serialInfo.AvailableSerialPorts(2);
FPS = 250;
MaxDataLength = FPS*60*6;
Alpha = 0.95;

TxPower = 3; % Default: 2, 1 ~ 3
TxCenterFreq = 4;
% 3: EU  6.0 - 8.5
```

C:₩Users₩casp₩Desktop₩Stress_HRV₩20220223₩AutoMulti_X4_GetRawData_e1.m

```
% AvailablePortsName = getAvailableComPort();
% COM = AvailablePortsName(2);
COM1 = 'COM52'; %Carotid
% COM2 = 'COM34'; %Chest
% COM3 = 'COM22';
% COM4 = 'COM47';
% COM5 = 'COM21';
% COM = serialInfo.AvailableSerialPorts(2);
FPS = 250;
MaxDataLength = FPS*60*6;
Alpha = 0.9702;

TxPower = 3; % Default: 2, 1 ~ 3
TxCenterFreq = 3; %% do not change
% 3: EU  6.0 - 8.5
```

C:₩Users₩casp₩Desktop₩Stress_HRV₩20220223₩AutoMulti_X4_GetRawData_original.m

```
% Chip settings
% PPS = 4*100;

DACmin = 849+50;
PPS = 1;
Iterations = 64;

SamplingFreq = 23.328; % GHz
if(TxCenterFreq==3)
    CutOff_Low = 6.0;
```

C:₩Users₩casp₩Desktop₩Stress_HRV₩20220223₩AutoMulti_X4_GetRawData_e1.m

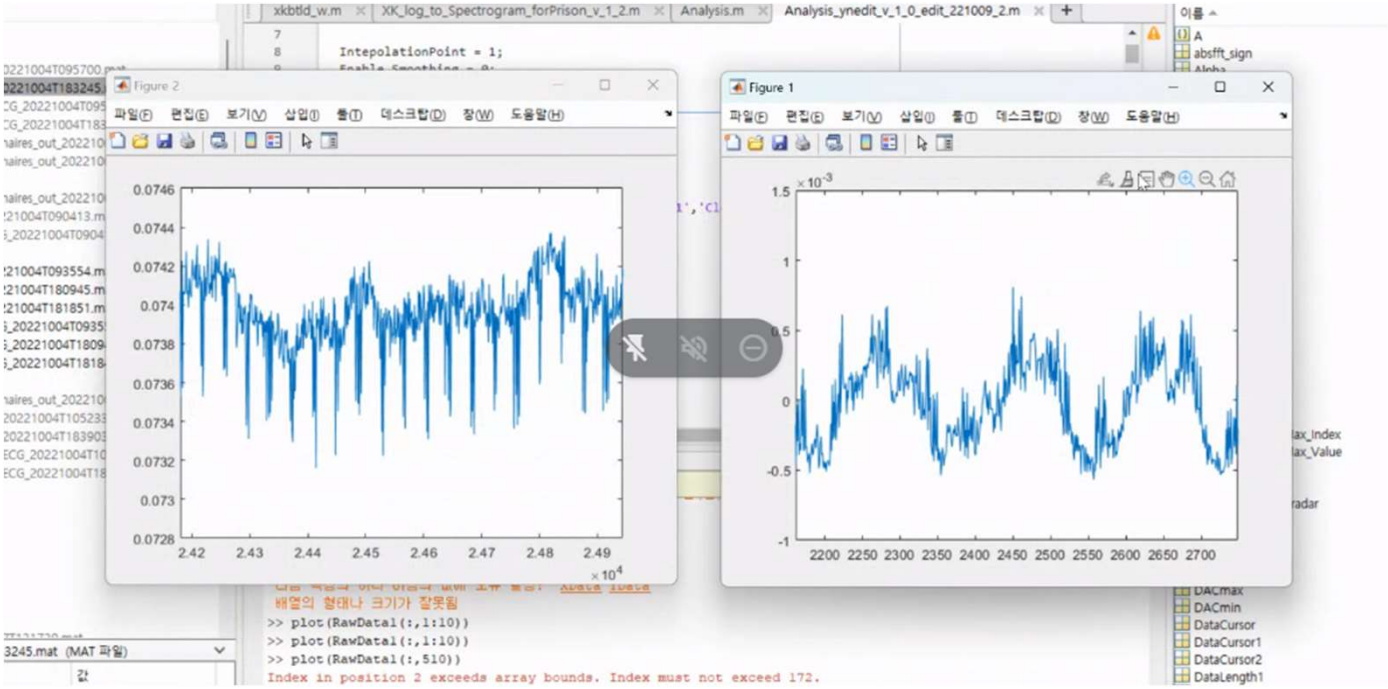
```
% Chip settings
% PPS = 4*100;

DACmin = 849+50;
PPS = 32;
Iterations = 4;

SamplingFreq = 23.328; % GHz
if(TxCenterFreq==3)
    CutOff_Low = 6.0;
```

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 과정에서 확인한 문제 -2. 심한 Phase noise (1/3)
  - 1주차 실험 결과 분석
    - Radar phase 노이즈가 매우 심함



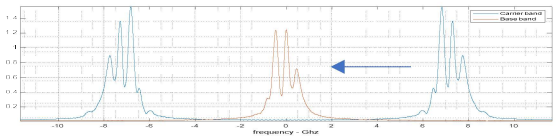
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 과정에서 확인한 문제 -2. 심한 Phase noise (2/3)
  - Phase 보정 process

real

수집한 Raw Data
(Center = 7.29Ghz
/ sampling = 23.328Ghz)

Frequency Shift



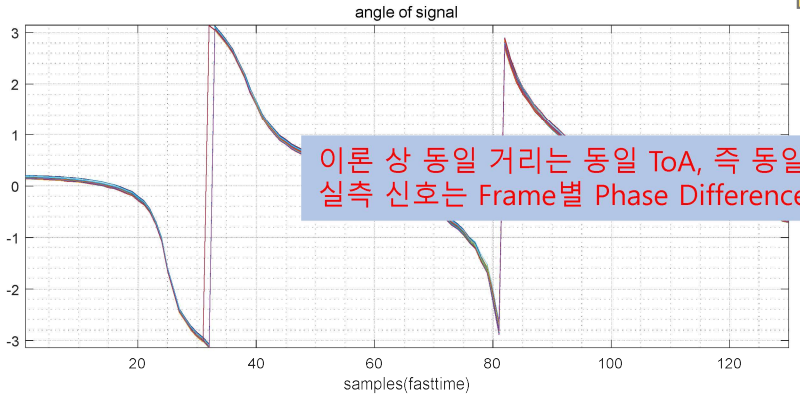
IQ

Baseband Signal
(Center = 0.0 Ghz
BW ~= 1Ghz)

Low Pass Filtering
(+- 1Ghz)

Check Phase
Difference

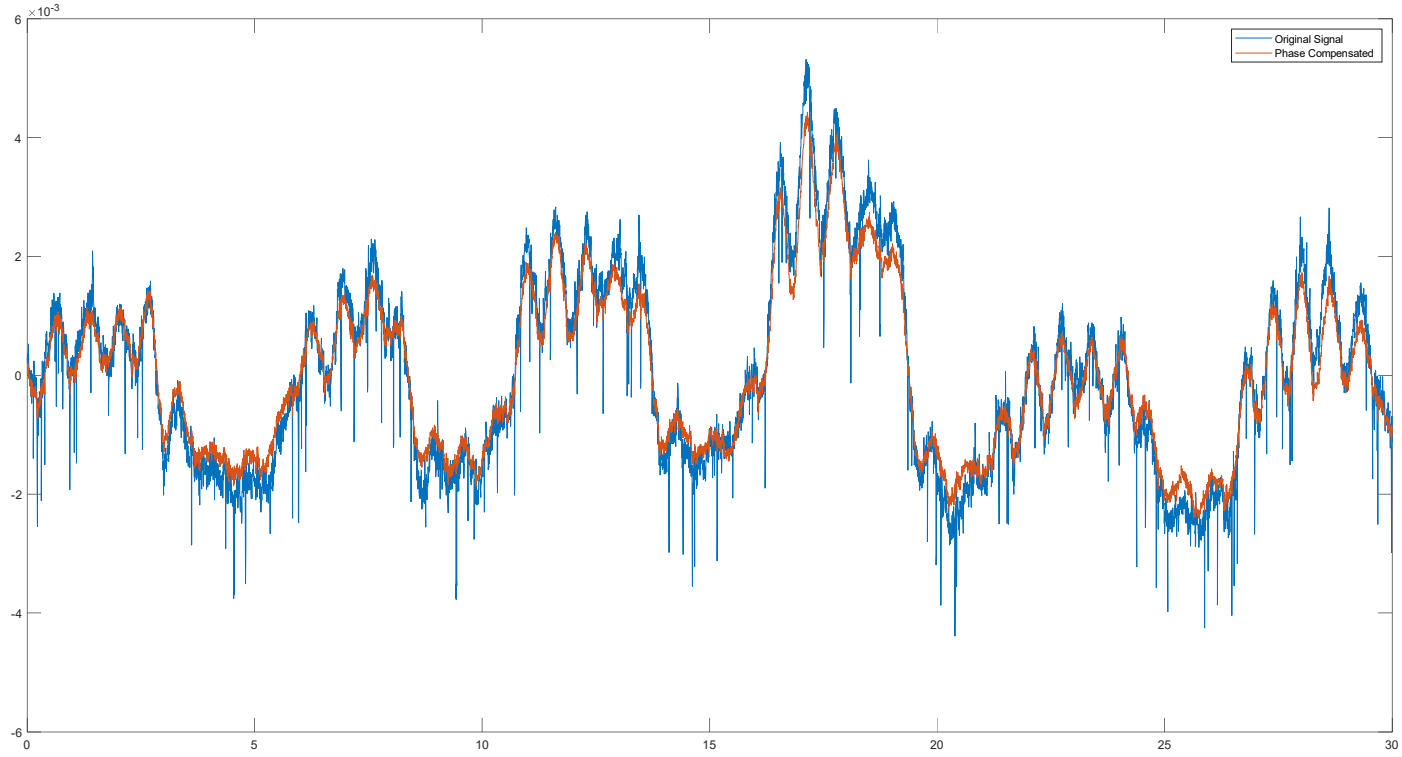
Compensation



이론 상 동일 거리는 동일 ToA, 즉 동일 Phase를 가지지만,
실측 신호는 Frame별 Phase Difference가 있음.

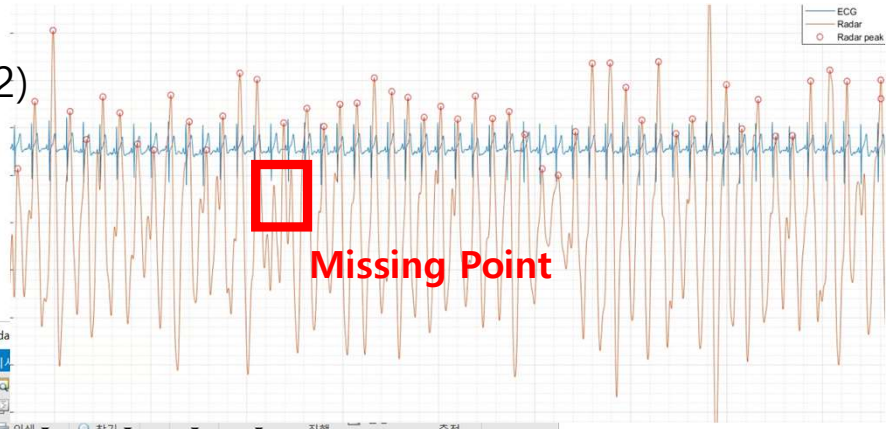
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

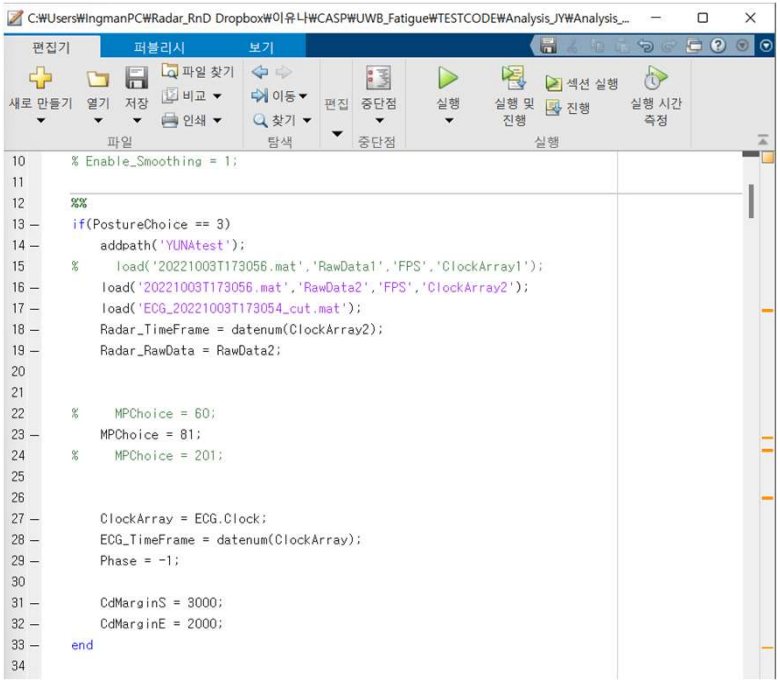
- 실험 과정에서 확인한 문제 -2. 심한 Phase noise (3/3)
  - Phase 보정 결과

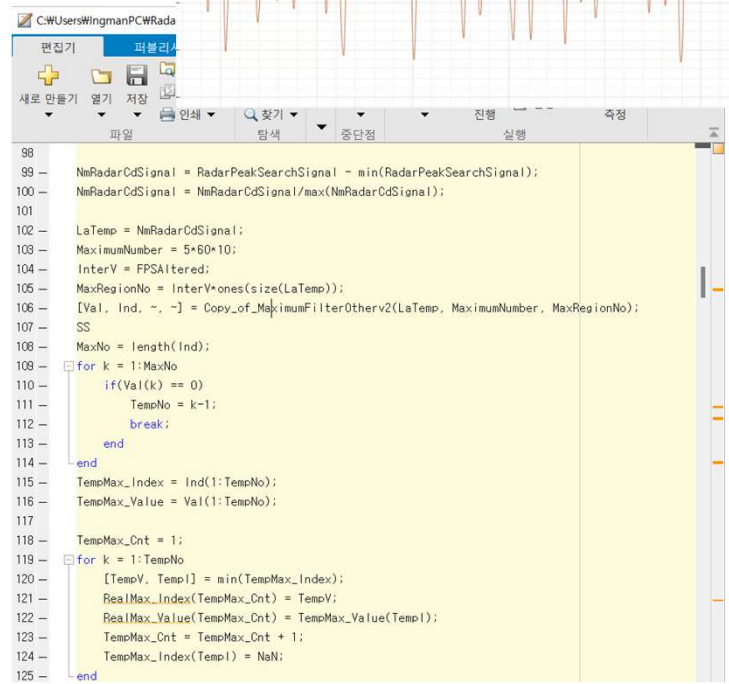


Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 과정에서 확인한 문제 -3. 알고리즘 자체 문제 (1/2)
  - MP (위치) manually select 하게 되어있음.
  - Radar HRV Peak 찾는 알고리즘이 부실함.
  - 하모닉의 발생



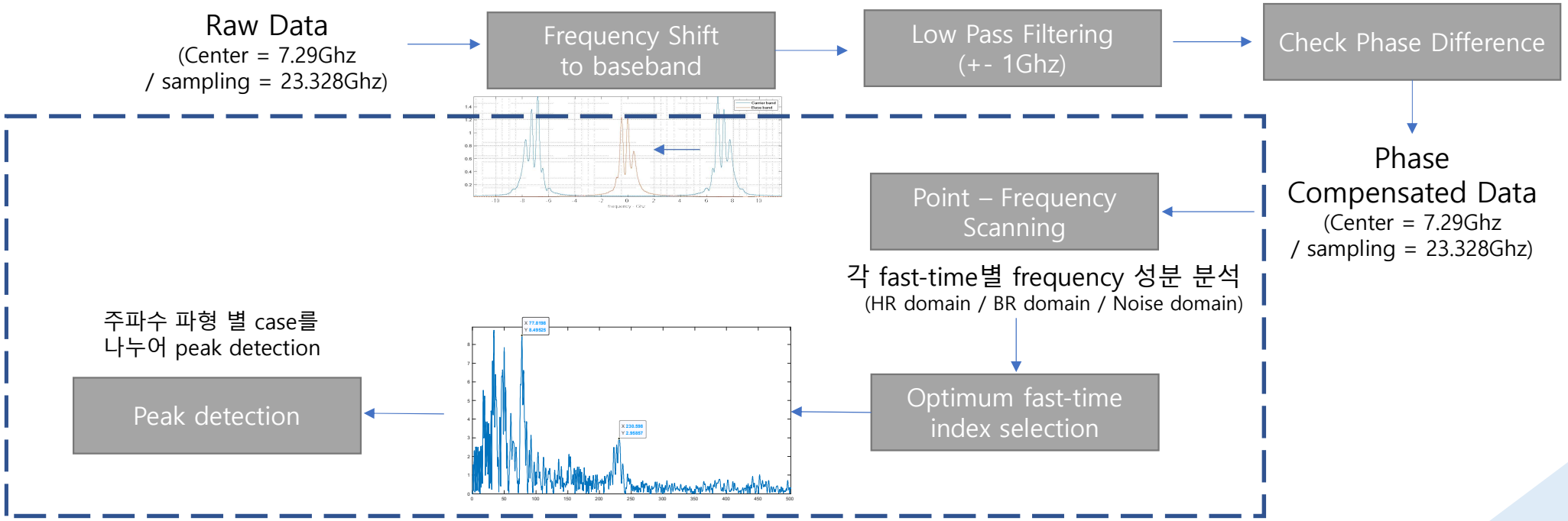




Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

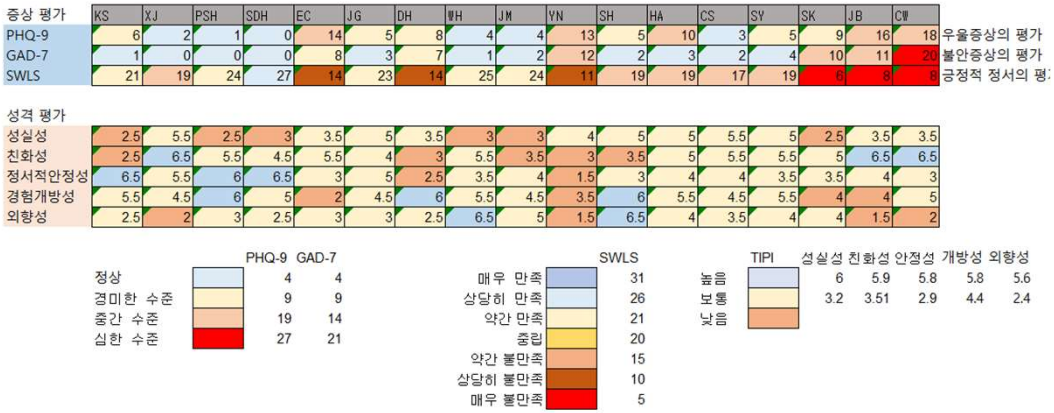
- 실험 과정에서 확인한 문제 -3. 알고리즘 자체 문제 (2/2)

  - Peak detection 및 harmonic 대처 알고리즘



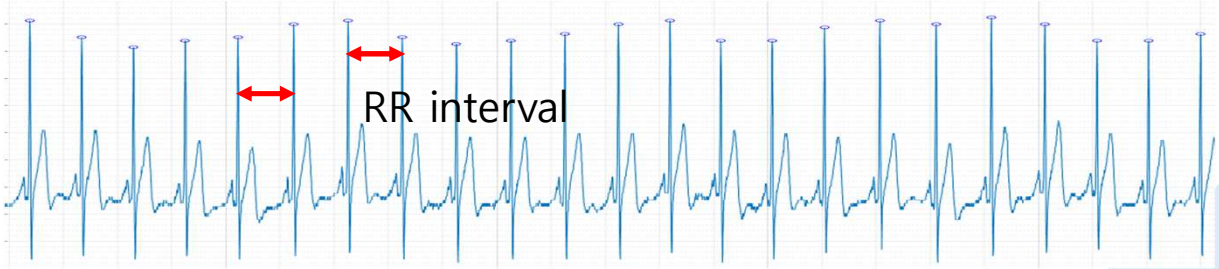
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (1/10)
  - Stress와 HRV(ECG) 간 상관도 분석 – 사용 지표
    - 설문조사지
      - 상태불안
      - 특성불안
      - VAS (Visual analog scale :0 – 10)



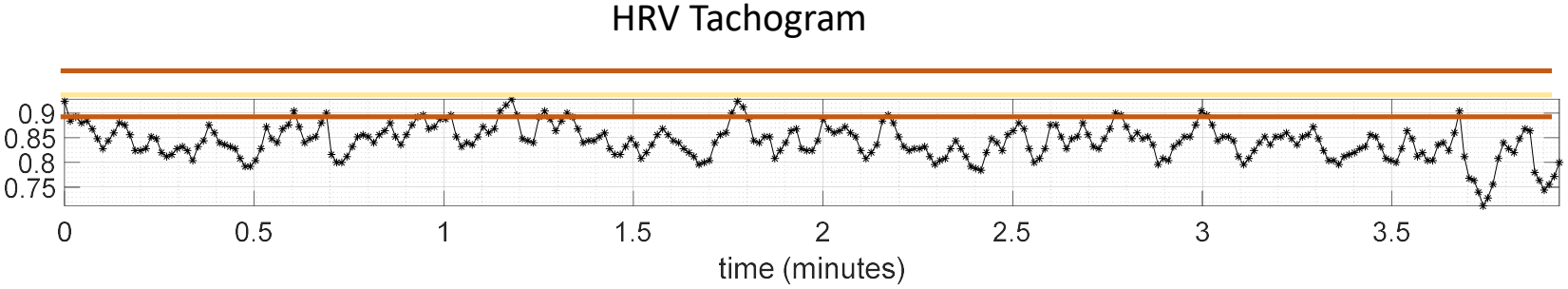
증상 평가	KS	XJ	PSH	SDH	EC	JG	DH	WH	JM	YN	SH	HA	CS	SY	SK	JB	CW	
PHQ-9	6	2	1	0	14	5	8	4	4	13	5	10	3	5	9	16	18	우울증상의 평가
GAD-7	1	0	0	0	8	3	7	1	2	12	2	3	2	4	10	11	20	불안증상의 평가
SWLS	21	19	24	27	14	23	14	25	24	11	19	19	17	19	6	8	5	긍정적 정서의 평
성격 평가																		
성실성	2.5	5.5	2.5	3	3.5	5	3.5	3	3	4	5	5	5.5	5	2.5	3.5	3.5	
친화성	2.5	6.5	5.5	4.5	5.5	4	3	5.5	3.5	3	3.5	5	5.5	5.5	5	6.5	6.5	
정서적안정성	6.5	5.5	6	6.5	3	5	2.5	3.5	4	1.5	3	4	4	3.5	3.5	4	3	
경험개방성	5.5	4.5	6	5	2	4.5	6	5.5	4.5	3.5	6	5.5	4.5	5.5	4	4	5	
외향성	2.5	2	3	2.5	3	3	2.5	6.5	5	1.5	6.5	4	3.5	4	4	1.5	2	

    - HRV
      - Mean - RR interval의 평균
      - SDNN – HRV interval의 standard deviation
      - RMSSD – 인접한 RR interval의 차이를 제곱한 값의 평균의 제곱근
      - **LF/HF Ratio**

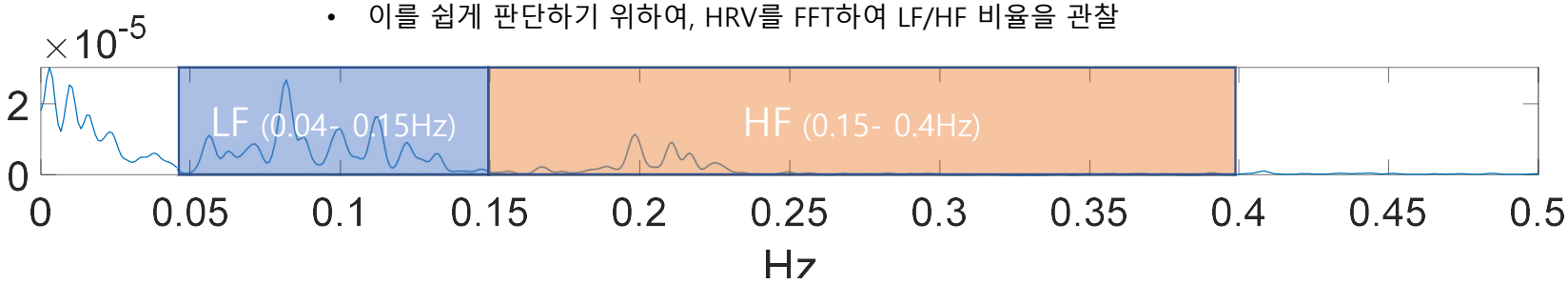


Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (2/10)
  - Stress와 HRV(ECG) 간 상관도 분석 – 사용 지표
    - HRV
      - LF/HF Ratio : 피로도 등 부교감신경과 교감신경 활성화 정도를 판단하는데 사용
      - 건강한 사람일수록 HRV의 변동성이 크다. Tachogram의 variance 바깥으로 벗어나는 경우가 많음.



- 이를 쉽게 판단하기 위하여, HRV를 FFT하여 LF/HF 비율을 관찰



Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

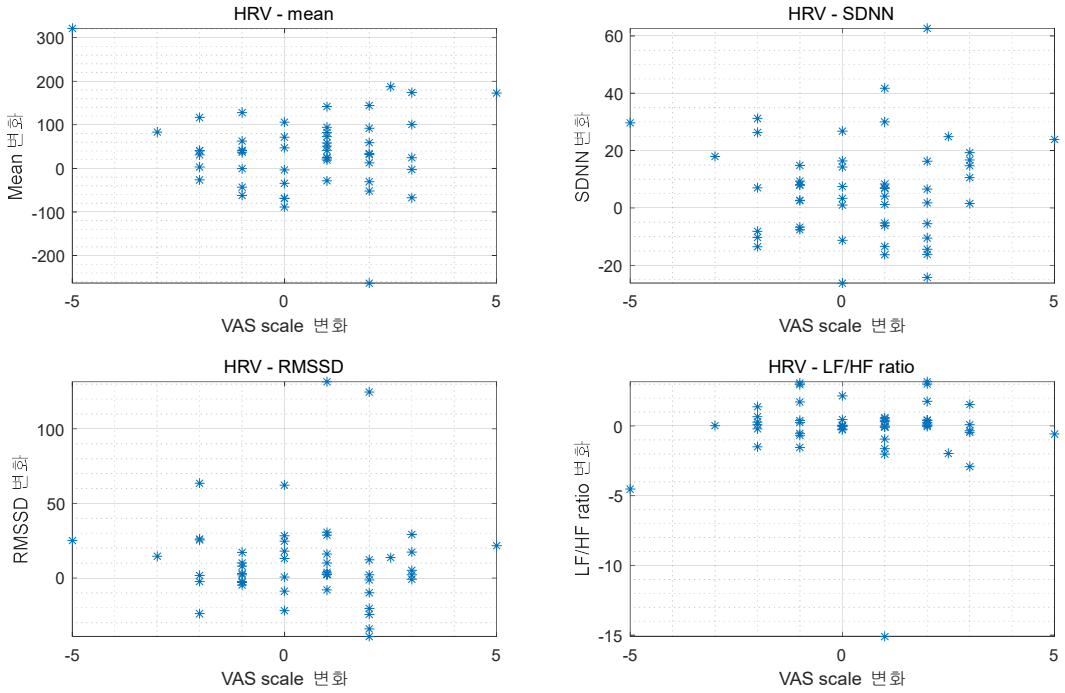
- 실험 결과 분석 (3/10)
  - 각 시험 별로 실험자/상관지표 등 상관성 분석

실험자	주차	상태불안	특성불안	VAS오전	VAS오후	Mean (M)	SDNN (M)	RMSSD (M	LF/HF Ratio (M)	Mean (E)	SDNN (E)	RMSSD (E)	LF/HF Ratio (E)	vas와 상관성	퇴근늦	저녁/아침
A	4	47	55	6	8	820.2621	80.0061	3101.208	0.71548	852.3728	69.4992	2387.7588	0.86219	1	1	1.205051
A	5	56	60	5	5	770.8479	45.7306	1678.08	0.42694	702.2065	53.1924	2277.4512	0.88213	0	1	2.066169
A	6	65	59	7	5	797.4094	57.2285	1869.019	0.91747	800.5791	88.4231	2959.6486	0.71263	1	0	0.776734
A	7	40	47	3	4	788.5033	40.7238	480.3499	1.5167	807.5254	82.4677	2730.9486	0.577559	0	0	0.3808
B	4	52	54	4	5	783.7368	53.362	526.057	1.8226	807.2109	39.8992	379.3257	2.4196	1	1	1.327554
B	5	58	63	6	8	767.3376	48.0678	598.3444	1.5107	859.7101	33.6005	397.7939	1.5573	1	1	1.030847
B	6	54	60	6	4	801.1313	47.7993	505.8695	1.0467	842.0709	34.2953	453.6607	2.4289	0	1	2.320531
B	7	52	59	6	4	714.0958	31.4894	969.8825	0.63664	755.0603	38.5565	517.4399	0.92638	0	1	1.455108
C	4	33	34	5	3	790.9467	72.1893	996.4336	0.25546	907.5878	64.0709	1354.1994	0.35068	0	1	1.372739
C	5	38	33	5	4	707.003	25.5371	458.7461	0.56648	645.1568	34.9222	435.2471	3.652	0	1	6.44683
C	6	43	36	5	5	737.0279	25.6296	427.0457	0.4929	648.6104	42.0208	1647.5242	0.55051	0	1	1.11688
C	7	34	33	4	5	726	67.7914	705.2375	0.69571	808.6803	51.5287	710.5153	1.2048	1	1	1.731756
D	6	33	36	6	8	763.7179	21.2515	259.5689	3.5097	776.4052	23.0704	235.8644	6.5249	1	1	1.859105
D	7	27	32	3	6	733.1692	20.3855	282.078	4.1583	907.1908	37.0914	534.5203	1.2521	0	0	0.301109
E	4	32	38	4	4	887.9401	58.1075	1647.762	0.4995	884.6543	59.1506	1664.4182	0.23865	0	0	0.477778
E	7	46	48	5	6	1007.39	65.4956	1690.647	0.17541	978.8926	60.1842	1772.4198	0.17875	1	1	1.019041
F	4	32	35	4	2	841.7527	44.4361	567.3094	1.9915	815.1918	34.1745	605.4684	0.50181	1	0	0.251976
F	5	27	30	2	4	766.4823	25.185	547.138	0.53715	503.2489	8.9478	141.7604	3.7104	1	1	6.907568
F	6	26	33	2	5	785.901	28.8385	598.1304	0.68768	810.6259	39.4504	573.7735	0.79271	1	1	1.152731
F	7	31	35	3	3	808.381	56.3012	814.3022	1.4332	773.7532	30.0825	451.1142	1.2132	0	0	0.846497
G	4	33	36	4	6	845.8648	36.4291	579.8345	0.33345	904.5038	42.9708	592.7698	0.75835	1	1	2.274254
G	5	35	37	5	6	871.2967	34.6508	490.3387	2.1343	929.4118	4					
G	6	34	37	3	5	1056.179	63.7065	1505.058	0.11057	1004.5424	5					
G	7	35	35	5	5	1027.913	53.5411	1059.373	0.18982	959.3226	4					
H	4	40	35	3	5	786.8742	25.6561	1132.085	0.28153	821.2042	4					
H	5	41	38	6	7	811.299	50.7413	2276.671	0.21472	836.6479	5					
H	6	39	33	6	7	835.7465	29.5883	572.7547	0.36543	877.3875	3					
H	7	40	37	6	7	824.625	31.799	589.101	0.53903	875.5588	2					
I	4	25	24	2	5	856.3899	43.6258	694.3774	1.2995	853.6403	5					
I	5	23	23	1	3	858.446	50.1792	1013.722	0.52794	1002.3729	1					
I	6	20	22	0	2	865.8618	64.0613	971.5637	0.56164	835.0541	3					
I	7	25	22	2	5	771.2208	34.532	556.877	1.0313	871.8235	5					
J	5	67	54	8	7	651.3115	22.5149	405.2653	1.0721	691.9186	2					
J	6	44	48	6	7	600.4232	17.001	166.0361	17.9806	694.7638	2					
J	7	52	50	5	6	684.3103	20.1835	395.0899	2.721	826.1742	5					

실험자	PHQ-9	GAD-7	SWLS	성격-성실성	성격-친화성	성격-정서안정성	성격-경험개방성	성격-외향성
A	13	12	11	4	3	1.5	3.5	1.5
B	8	7	14	3.5	3	2.5	6	2.5
C	5	3	23	5	4	5	4.5	3
D								
E	14	8	14	3.5	5.5	3	2	3
F	4	2	24	3	3.5	4	4.5	5
G	1	0	24	2.5	5.5	6	6	3
H	3	2	17	5.5	5.5	4	4.5	3.5
I	0	0	27	3	4.5	6.5	5	2.5
J	6	1	21	2.5	2.5	6.5	5.5	2.5
K	4	1	25	3	5.5	3.5	5.5	6.5
L	2	0	19	5.5	6.5	5.5	4.5	2
M	5	2	19	5	3.5	3	6	6.5
N	10	3	19	5	5	4	5.5	4

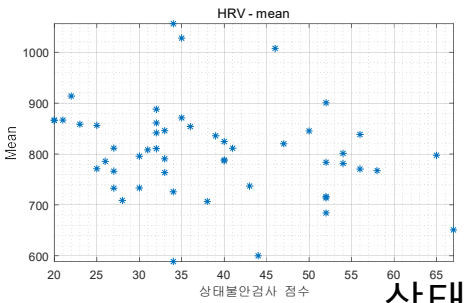
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

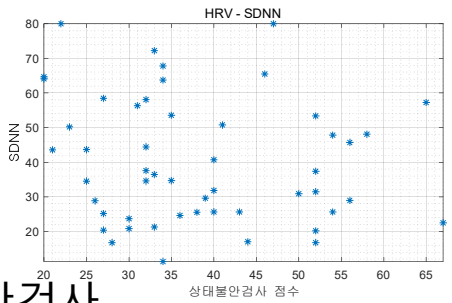
- 실험 결과 분석 (4/10)
  - 일간 **VAS(visual analogue scale)** 변화와 HRV parameters
    - 51회 실험의 VAS scale 변화량과 각 HRV parameter의 변화량 간 상관성 확인



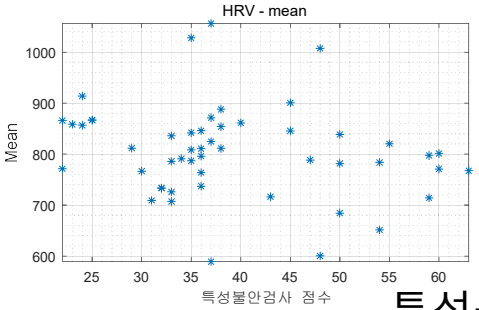
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

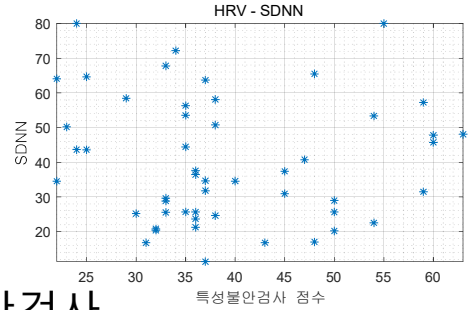
- 실험 결과 분석 (5/10)
  - 일간 **STAI questionnaires(상태불안/특성불안)점수**와 HRV parameters
    - 51회 실험의 STAI questionnaires점수와 각 HRV parameters 간 상관성 확인



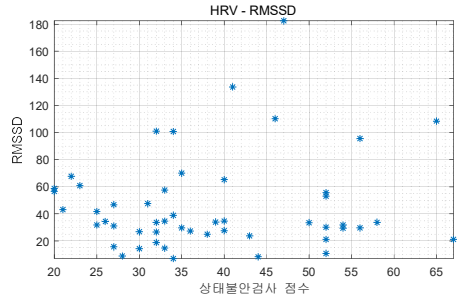


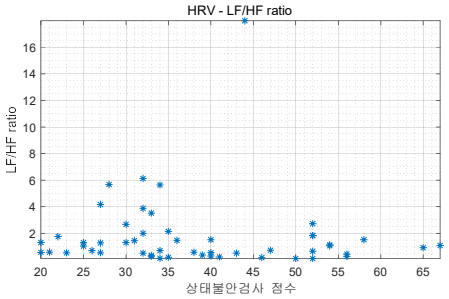
상태불안검사

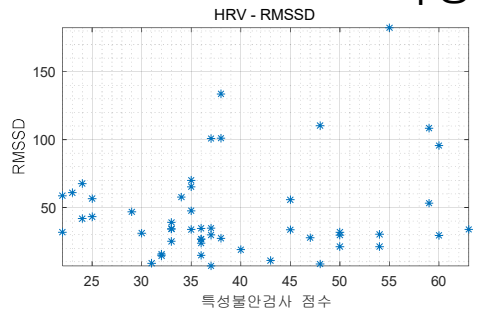


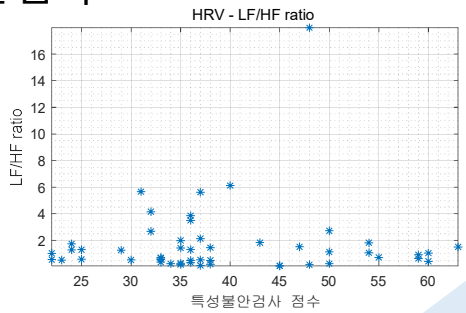


특성불안검사



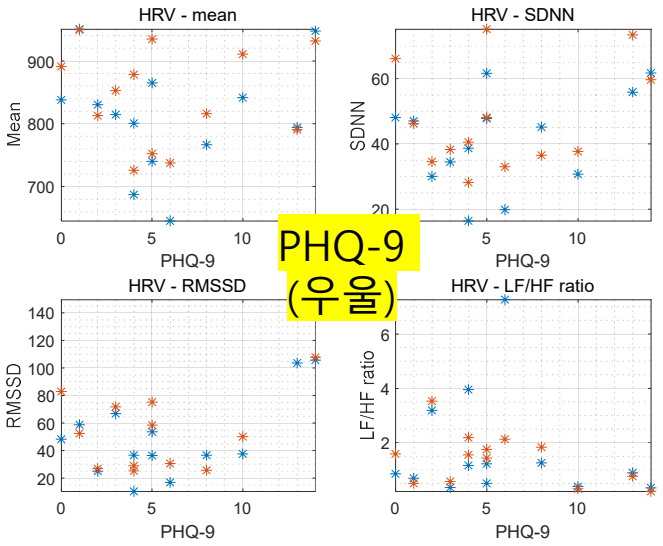




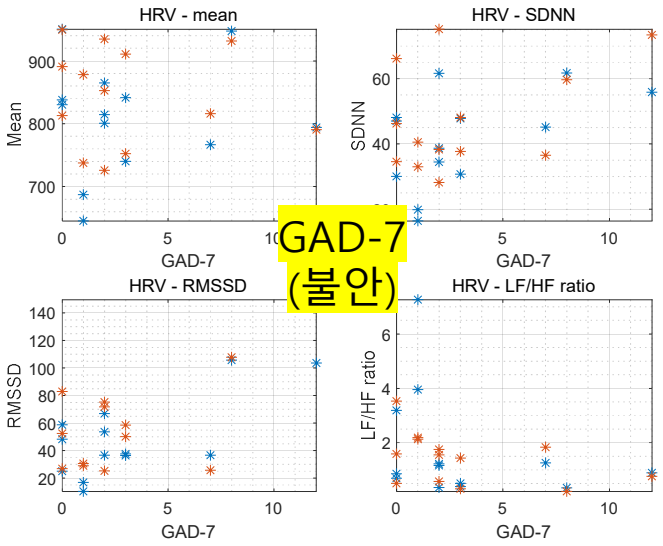


Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

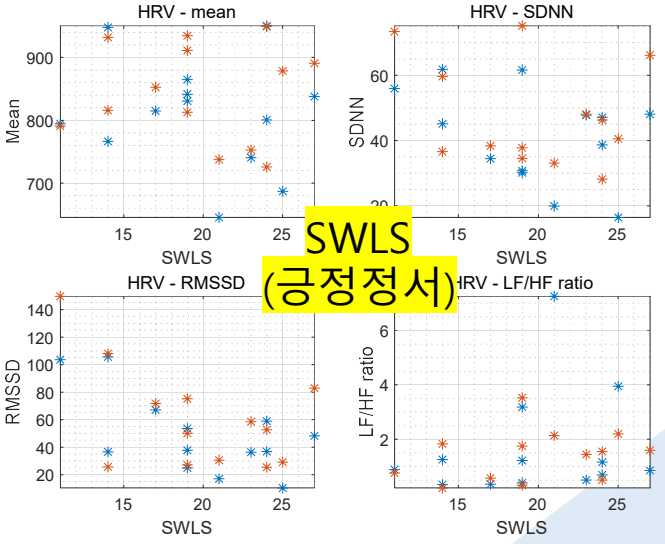
- 실험 결과 분석 (6/10)
  - 개인별 특성에 따른 HRV parameter의 특성 확인
    - 개인이 수행한 N회의 실험 결과 parameters를 평균하여 개인 특성과의 연관성 확인
      - HY-stress rating
        (PHQ-9, GAD-7, SWLS, 성격- 성실성/친화성/정서안정성/경험개방성/외향성)



PHQ-9 (우울)



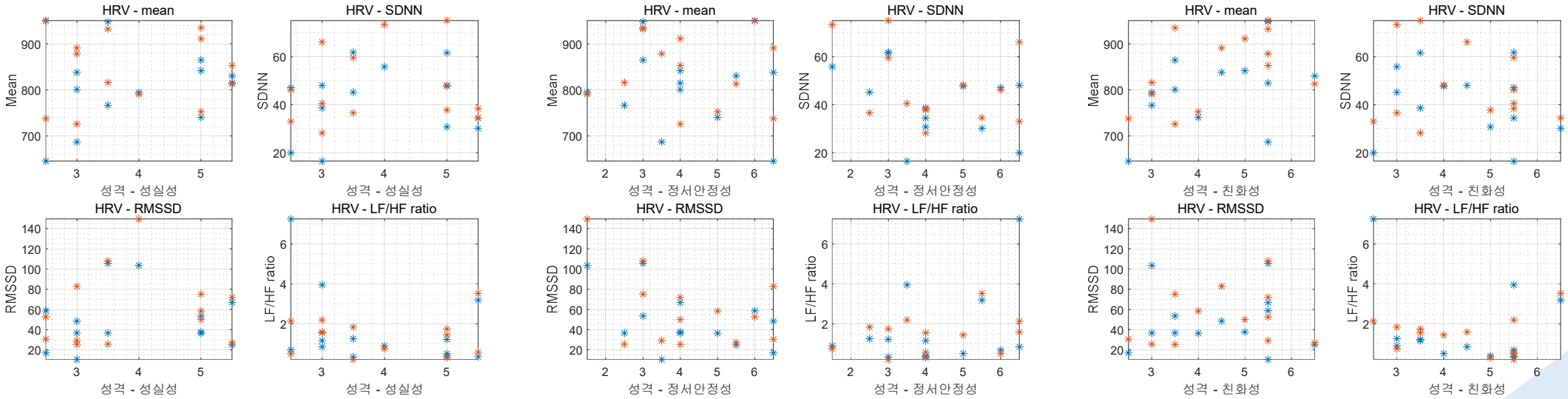
GAD-7 (불안)



SWLS (긍정정서)

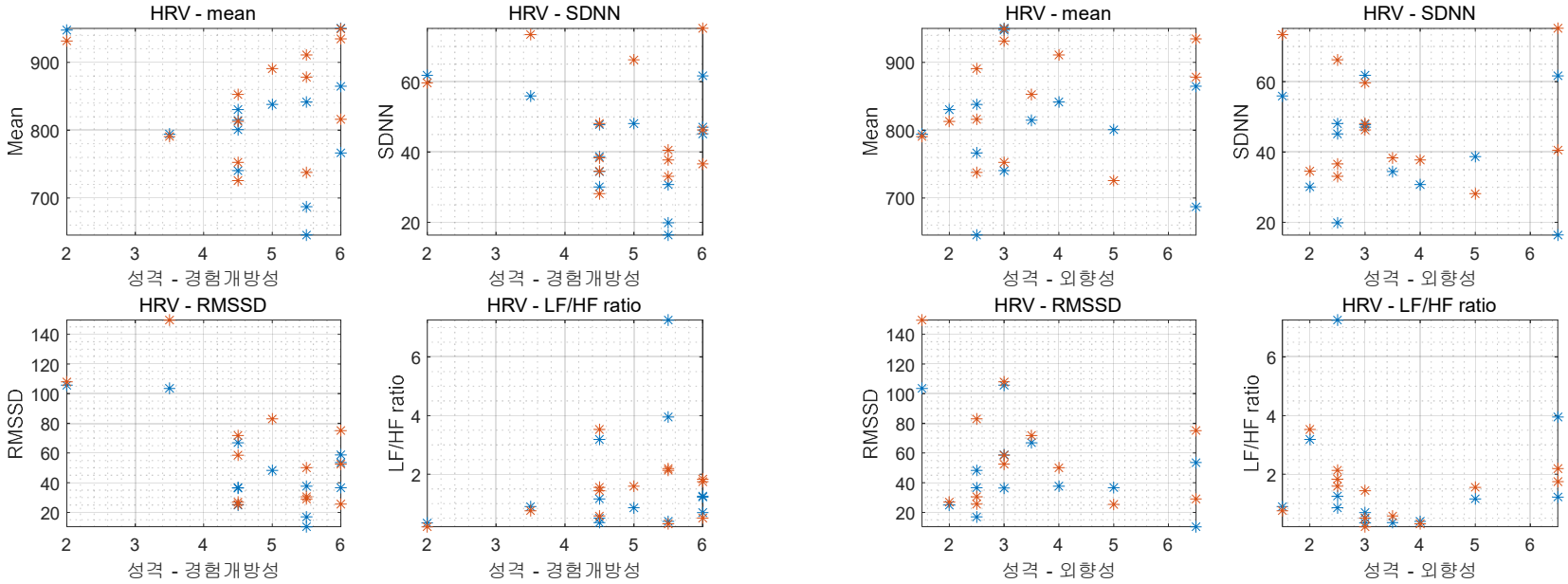
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (7/10)
  - 개인별 특성에 따른 HRV parameter의 특성 확인
    - 개인이 수행한 N회의 실험 결과 parameters를 평균하여 개인 특성과의 연관성 확인
      - HY-stress rating
        (PHQ-9, GAD-7, SWLS, 성격- 성실성/친화성/정서안정성/경험개방성/외향성)



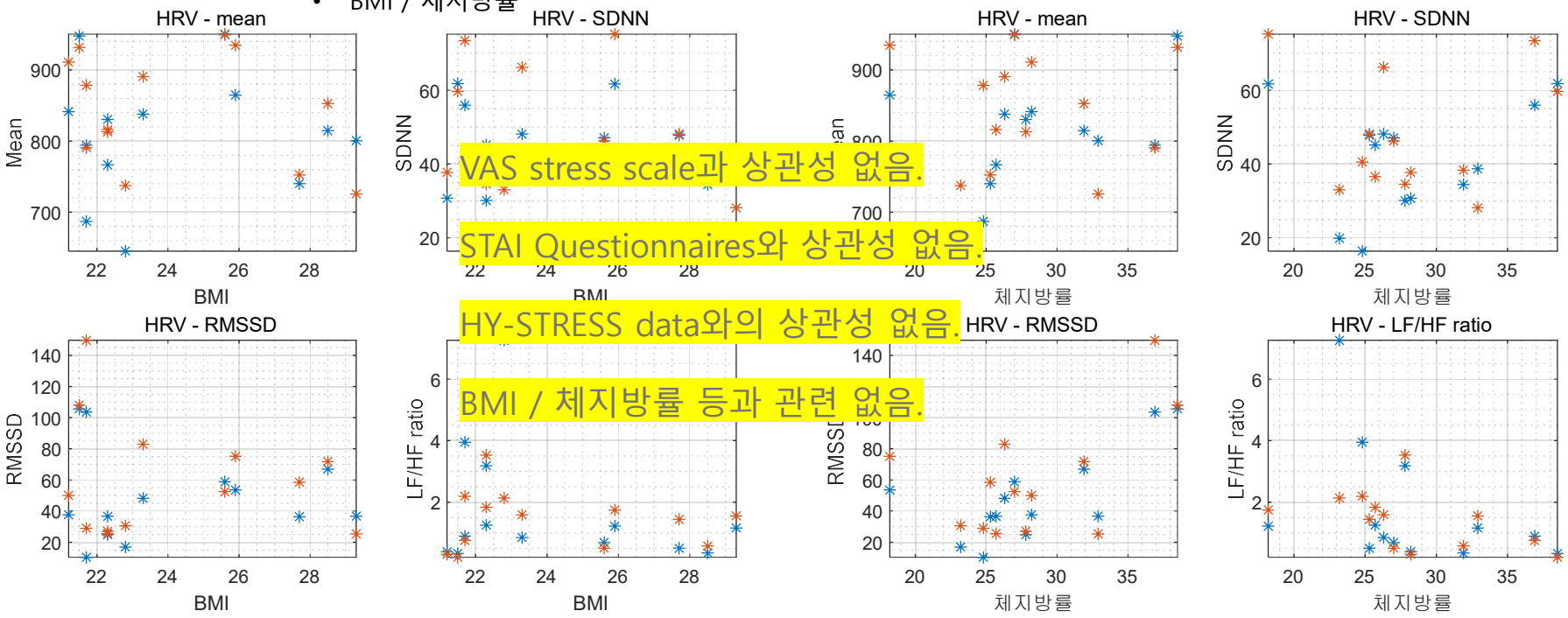
Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (8/10)
  - 개인별 특성에 따른 HRV parameter의 특성 확인
    - 개인이 수행한 N회의 실험 결과 parameters를 평균하여 개인 특성과의 연관성 확인
      - HY-stress rating
        (PHQ-9, GAD-7, SWLS, 성격- 성실성/친화성/정서안정성/경험개방성/외향성)



Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (9/10)
  - 개인별 특성에 따른 HRV parameter의 특성 확인
    - 개인이 수행한 N회의 실험 결과 parameters를 평균하여 개인 특성과의 연관성 확인
      - BMI / 체지방률



VAS stress scale과 상관성 없음.

STAI Questionnaires와 상관성 없음.

HY-STRESS data와의 상관성 없음.

BMI / 체지방률 등과 관련 없음.

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- 실험 결과 분석 (10/10)

  - 출근/퇴근 – 측정 시점에 따른 상관성

    - 퇴근 시 **LF/HF 비율**값이 증가하는 경우 : 56% (29/51)
    - 퇴근 시 RMSSD 값이 증가하는 경우 : 70% (36/51) – 높을수록 좋은 값이라 확인 필요..
    - 퇴근 시 SDNN 값이 증가하는 경우 : 68% (35/51)
    - 퇴근 시 mean 값이 증가하는 경우 : 70% (36/51)

  - 상관성 추가 확인 필요
    - Factor 몇 가지를 묶어서 재 분석
    - 키/나이 등과의 연관성 확인

  - HRV Algorithm / Validation 방향으로도 변경 가능

Stress Measurement based on HRV using IR-UWB radar

- Summary of the semester

  - **프로젝트 내용 :** IR-UWB radar에서 추출한 HRV (Heart Rate Variability) 를 이용한 스트레스 measurement가 가능하다는 것을 보임.

  - 부족했던 점
    - 기존 계획 대로 진행되지 않은 실험
    - Plan B, C, D 에 대한 충분한 고려가 부족했음.
    - 실험 셋팅 환경을 사전에 충분히 고려하지 못함.
    - 불필요한 개별 미팅으로 인한 시간 낭비.

  - 좋았던 점 :
    - 실험 데이터 분석을 통한 실험 환경 변경
    - 실험 계획 변경 사항을 적절하게 적용.
    - 분야 전문가 등 다양한 의견 수렴.

  - 앞으로 계획
    - 실험 데이터 분석
    - 논문 writing