

# 생체신호와 퍼지이론을 이용한 스트레스 평가에 관한 연구

신재우, 윤영로, 박세진\*  
연세대학교 의용전자공학과  
\*한국표준과학연구원  
강원도 원주시 흥업면 매지리 234  
\*대전직할시 유성구 도룡동 1번지

## Estimation of Stress Status Using Biosignal and Fuzzy theory

J. W. Shin, Y. R. Yoon, S. J. Park  
shinjaw@bsplab.yonsei.ac.kr  
yryoon@dragon.yonsei.ac.kr  
sjpark@kriss.re.kr

### 요약(Abstract)

This work presents an estimation for stress status using biosignal and fuzzy theory. Stress is estimated by 'coin-build' experiment with two type, relax and stress status. The estimator uses five biosignals, fuzzy logic to combine these signals and physiological knowledge.

The system was tested in 10 records of healthy individuals and achieved a template of a stress progress.

한 감성 평가 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 생체 신호들의 종합적인 분석으로 감성에 대한 정량적 평가 기법을 개발하고자 하며 이를 위해 스트레스에 대한 5가지의 생체 신호(근전도, 호흡, 말초체온, 심박율, 피부 전도도)의 반응을 이용하여 퍼지이론으로 스트레스의 정도를 추론·평가하고자 한다.

### 지식 기반 퍼지 시스템

인간 감성의 경우 의도적인 조작의 실행이 어렵고 정신·주관에 의한 작용에 의존하는 성격 때문에 본 연구에서는 감성 판단을 위해 감성 상태의 반응으로써 나타나는 객관화된 생체 신호를 이용하여 감성 상태의 일종인 스트레스(stress)에 대한 생리적 지식을

### 서론

인간의 감성 상태를 평가하기 위하여 설문조사, 체액분석, 생체 신호 분석 등의 연구가 진행 되어왔으며 특히 생체 신호 분석을 통

IF-THEN 규칙으로 퍼지 시스템을 구성하고 스트레스의 정도를 추론하도록 하고자 한다.

본 연구에서는 좀 더 퍼지 규칙의 구성이 직관적이고 따라서 무엇보다 인간의 지각·감성의 추론에 적합한 Mamdani 방법을 사용하였고, 비퍼지화(defuzzification) 방법으로는 COG(center of gravity) 방법을 사용하였다.

## 연구 방법

스트레스를 평가하기 위해 '동전쌓기'방법을 택하였다. 긴장상태를 측정하기 위한 이 방법의 장점은 다음과 같다.

- ① 비교적 짧은 시간 안에 긴장 상태를 유발시킬 수 있다.
- ② 주관에 의해 긴장 정도를 느끼는 개인차가 적다.
- ③ 시간의 변화에 따른 긴장 상태의 변화의 단계를 구분짓기 용이하다.

이 방법은 4 단계로 구분되며 그 단계는, 이완 단계(STEP 1), 긴장 초기 상승단계(STEP 2), 긴장 지속단계(STEP 3), 긴장 최고조 단계( STEP 4, 쌓은 동전이 무너지는 순간) 이다.

피검자에 대한 실험은 실험 A와 실험 B로 나누어 시행된다. 먼저 실험 A를 하게 되는데 이는 동전 쌓기 모의 동작 시행으로써 동전을 쌓지는 않고 동전을 들어 쌓을 위치에 가져다 놓는 동작을 하도록 지시한다. 이는 동전 쌓는 동작 자체로 인해 발생할 수 있는 생체 신호의 변화를 측정하기 위한 것으로 실제 쌓는 실험 B와의 비교를 위한 대조군 실험이다.

긴장 상태의 평가를 위한 대상 입력 생체 신호 5가지와 그 부착 위치는 다음과 같다.

- ① EMG - 전두근(frontalis muscle)의 긴장 정도를 검출하기 위한 것이다.

- ② Respiration (호흡계) - 호흡율을 검출하기 위한 것으로 피검자에게 전극 부착으로 인한 스트레스를 최대한 줄이기 위해 코 밑에 써미스터를 부착하여 호흡을 검출하는 방식을 택하였다.
- ③ Temperature (체온계) - 손가락 끝에 부착하여 말초체온을 검출한다.
- ④ PPG (Photoplethysmograph, 맥파계) - 심박율을 검출하기 위하여 엄지 손가락에 적외선 센서를 부착한다.
- ⑤ SCL (Skin conductance level) - 피부 전도도의 변화를 검출하기 위한 것으로 왼손 약지와 검지손가락 기부의 손가락에 전극을 부착한다.

생체 신호 측정을 위한 계측 장비로는 본 연구실에서 개발한 바이오피이드백 시스템(Biofeedback system - 본 장비는 보건복지부의 보건 의료기술 연구개발사업의 지원에 의해 개발되었음)을 사용하였고 본 연구의 수행을 위해 피검자 상태를 모니터하고 데이터를 수집하기 위한 별도의 프로그램을 개발하였다. (그림 1)

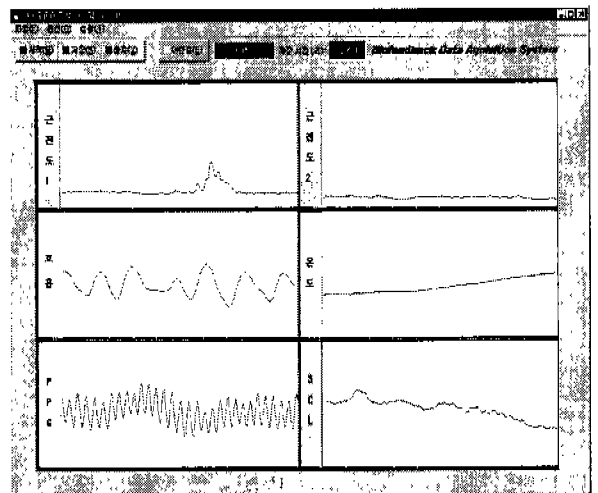


그림 1. 긴장 상태의 평가를 위한 데이터 수집 프로그램

바이오피이드백 시스템을 통하여 12bit, 120samples/sec로 수집된 5가지의 생체 신호들은 다음의 그림 2 과 같이 구성된 퍼지 추론 시스템에 의해 긴장 상태의 정도를 종합적으로 추론·분석된다.

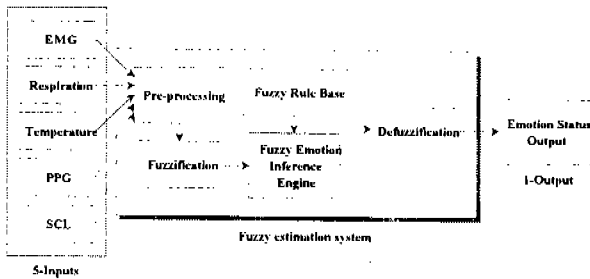


그림 2. 긴장 상태 평가를 위한 퍼지 감성 추론 시스템

먼저 pre-processing 과정을 통하여 다음과 같은 신호처리를 수행한다.

- 고주파 노이즈 제거
- 호흡 파형으로부터 분당 호흡수를 검출
- PPG로부터 심박율(heart-rate) 검출
- 신호값의 정규화(normalization)

여기서 신호값의 정규화는 EMG를 제외한 나머지 4가지의 신호에 대해서 적용되는 처리 과정으로써 실험 A와 실험 B의 실행시 처음 몇 초 동안은 동작을 하지 않은 채로 이완 상태에 있게 하도록 지시하는데 이 때에 검출된 신호 각각의 초기값을 0으로 하여 정규화 시키는 것이다. 이렇게 함으로써 피검자마다 각기 다른 초기 상태(호흡수, 온도, 심박율, 피부 전도도)를 갖게 하여 퍼지 추론 엔진으로의 입력시에는 실험 진행에 따른 감성 변화 상태만이 입력되도록 하였다.

여기서 언어변수(linguistic variable)의 값은,

VS (Very Small), S (Small),

M (Medium), B (Big), VB (Very Big)

의 5가지로 구분하였으며, 삼각형(triangular)

모양의 소속함수를 사용하였고 최종적인 긴장 상태의 평가값은 0~1까지로 추론되어 0에서 1로 갈수록 긴장의 정도가 크음을 의미한다. 추론 규칙의 다음과 같은 생리적 지식 기반을 바탕으로 작성되었다.

- 긴장 상태는 전두근(frontalis muscle)의 수축력을 증가시켜 근전도의 레벨을 증가시킨다.
- 긴장 상태는 호흡수를 증가시킨다.
- 긴장 상태는 혈관을 수축시키고 이것은 말초체온(손가락 등)을 감소시킨다.
- 긴장 상태는 심박율을 증가시킨다.
- 긴장 상태는 땀샘 분비의 증가로 피부 전도도를 증가시킨다.

### 결과 및 분석

실험은 10명(20대 남6, 여4)의 피검자를 대상으로 하였으며 처음에 실험 A를 시행하여 생체 신호를 측정하고 3분간 휴식을 취한후 실험 B를 시행하여 신호를 수집한 후 두 데이터를 퍼지 추론하여 그 결과를 비교하였다.

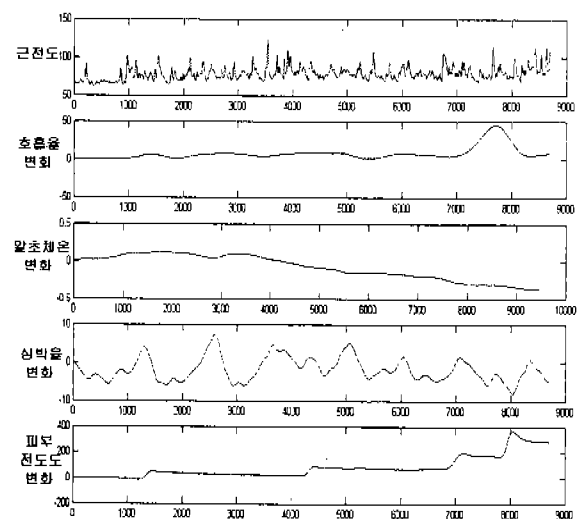


그림 3. 실험 B를 통해 얻어진 생체신호

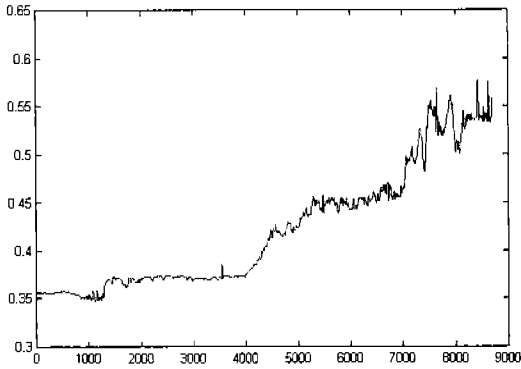


그림 4. 그림 3의 신호로부터 추론·평가되어진 긴장도 결과값

위의 그림 3에서 동전 쌓기를 시작한 위치는 1000(x축 참조)이다. 근전도의 전체적 상승, 호흡율의 증가, 말초체온의 감소, 피부 전도도의 증가를 보여준다. 이는 심리적 긴장 상태로 인해 전두근의 긴장과 혈관 수축으로 인한 말초체온의 감소, 땀샘 분비의 증가로 인한 피부 전도도의 상승 때문이다. 이러한 생체 신호의 변화로 인해 그림 4의 결과에서 피검자는 동전을 쌓아가면서 지속적으로 긴장 상태가 증가하고 있음을 알 수 있다.

다음의 그림 5는 피검자 3명으로부터 추론·평가된 실험 B의 스트레스의 변화를 나타낸다. 그림 5에서 보면 앞서 언급한 긴장 4 단계를 구분지을 수 있다.

- STEP 1 (이완 단계) - 아무런 동작도 행하지 않은 휴지(resting)기
- STEP 2 (긴장 초기 상승 단계) - 동전 쌓기를 시작 하면서 긴장 상태가 상승
- STEP 3 (긴장 지속 단계) - 동전 쌓는 높이가 높아지면서 상승된 긴장 상태가 지속
- STEP 4 (긴장 최고조 단계) - 쌓았던 동전이 무너지면서 긴장이 최고조에 도달

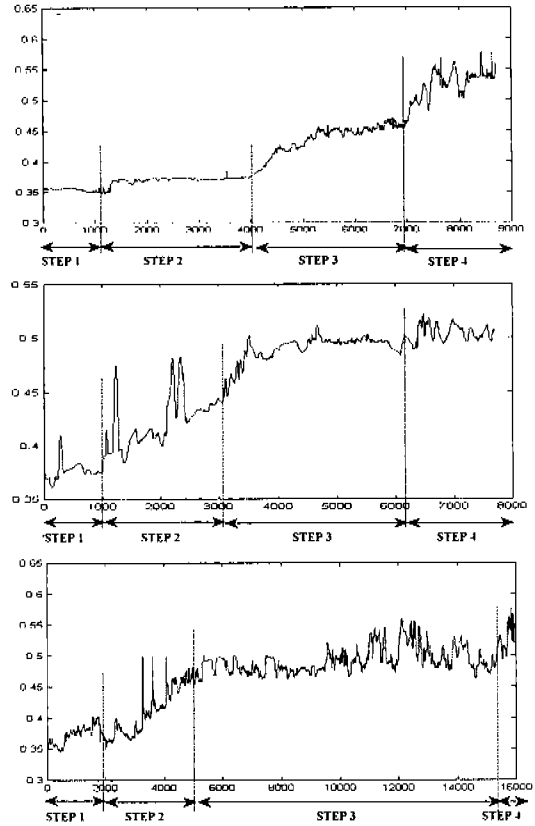


그림 5. 3명의 피검자로부터 추론·평가된 실험 B의 긴장도 결과값

위의 결과를 바탕으로 다음과 같은 스트레스 상태 진행의 템플릿(template)을 얻을 수 있다.(그림 6)

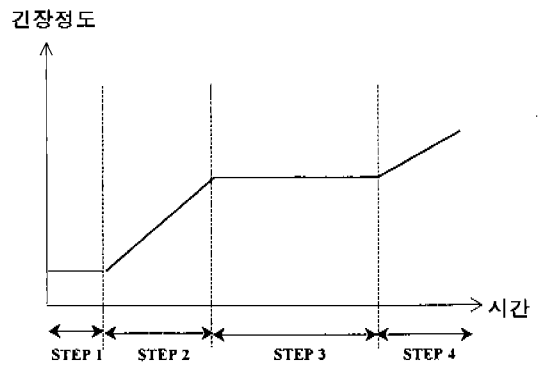


그림 6. 스트레스 상태 진행 템플릿

## 결 론

본 연구에서는 스트레스 상태의 평가를 위해 5가지의 생체 신호를 이용하여 긴장도를 퍼지 이론으로 추론·평가하였다. 선형적인 모델링 방법으로는 평가하기 어려운 감성 평가를 비선형적인 퍼지 모델링 방법으로 수행하였으며 하나 또는 두 개의 생체 신호를 이용하여 감성 상태를 평가할 때의 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 5가지의 생체 신호 파라미터를 사용하여 상호간의 생리 현상을 고려한 지식 기반의 종합적인 분석이 가능하였다.

긴장 상태에 대해 인공지능 알고리즘으로 지식 기반의 종합적인 판단을 수행함으로써 긴장 상태 뿐 아니라 오감, 감정 등에 대한 다양한 감성 평가에도 기여할 수 있을 것이며 평가 수행 시간이 빠르기 때문에 실시간(real-time) 감성 모니터로도 응용할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] Li-Xin Wang, "A course in fuzzy systems and control", Prentice-Hall, pp. 150-180, 1997
- [2] Jhon L. Andreassi, "Psychophysiology : Human Behavior and Physiological Response Third Edition", Lawrence Erlbaum Associate, pp. 155-280, 1995
- [3] Ned Gulley, J. S. Roger Jang, "Fuzzy Logig Toolbox for use with MATLAB", pp. 50-160, 1995
- [4] Sherman Luciano, "Human Physiology the mechanisms of body function sixth edition", McGraw-Hill, pp. 890-1290, 1993
- [5] Rosenzweig Leiman, "생리심리학", 교

육출판사, pp. 510-522, 1995

- [6] Earl Cox, "Fuzzy Systems Handbooks", AP, pp. 480-491, 1995
- [7] Arakelov G., Svergun O., Fedorovskaya E., Zhdanova G., "Stress Induced by a Threat Increases Catecholeamins Contents in Human Saliva", 1995
- [8] 윤영창, 황익근, "Biofeedback에 의한 피부 온도 상승에 관한 예비연구", 신경정신의학, 23:363-367, 1984
- [9] 정도연, 이주호, "근전도 바이오피이드 백을 이용한 불안장애 환자 및 정상인의 근육긴장도에 관한 비교연구", 신경정신의학, 26(2):210, 1987