

운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 system 개발

Development of an analysis system for bio-signal and driving performance data

이원섭¹, 박장운¹, 김수진¹, 윤성혜¹, Xiaopeng Yang¹, 유희천¹,
이용태², 손준우², 김만호²

¹포항공과대학교 기계산업공학부

²대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

ABSTRACT

운전 부하(driving workload)를 경감시키고 운전의 안전함과 편리함을 제공하는 자동차 human-machine interface (HMI) 개발을 위해서는 운전 중 발생하는 생체 신호에 대한 체계적인 분석 및 적용이 필요하다. 본 연구는 실험을 통해 파악된 운전 생체 신호를 처리하고 운전 부하 시의 생체 신호 변화 양상을 분석하는 protocol 및 system 을 개발하였다. 데이터 분석은 운전 시뮬레이터를 사용하여 측정된 20 대와 60 대 남녀 60 명의 생체 신호(심박수, 피부전도, 호흡수)를 대상으로 수행되었다. 분석을 위해 측정된 생체 신호의 잡음제거(noise filtering)와 이상치 검출을 위해 신호 처리(signal processing)를 수행하고, 도시 및 고속도로 환경 주행 시 운전자에게 부여된 난이도별 인지 부하 작업 및 부하 전후의 생체 신호 변화 양상을 파악하였다. 본 연구는 방대한 데이터의 체계적이고 효율적인 분석을 위해 데이터를 filtering 및 신호 처리하고, 통계 분석에 용이하도록 운전 구간별 생체 신호 및 운전 수행도 분석 결과를 출력하는 시스템을 개발하였다.

Keyword: 운전 생체 신호, 생체 신호 분석, 운전 수행도, 분석 protocol, 분석 system

1. 서론

안전하고 편안한 운전을 위한 HMI(human-machine interface) 개발 적용을 위하여 운전 부하(driving workload) 시의 생체 신호 변화에 대한 체계적인 측정과 분석이 요구된다. 운전 부하는 운전자의 집중력이나 상황 파악 능력을 저해하여 안전하고 편안한 운전에 위협요소로 작용된다. 운전 부하 시 심박수(heart rate), 호흡(respiration rate), 피부전기전도(skin conductance), 뇌파(EEG) 등의 생체 신호를 정량적이고 객관적으로 측정 및 분석하는 연구가 진행되고 있다. 운전 부하 시의 생체 신호 변화 양상에 대한 분석은 생체 신호 기반의 운전 부하 평가에 유용하게 적용될 수 있다.

인간공학적 HMI 설계를 위해 운전 작업에서의 생체 신호를 측정하고 평가하는 연구가 수행되고 있다. Verwey and Veltman (1996)은 자동차 운전 작업에 대한 작업부하 평가 방법 개발을 위해 실제 운전 상황에서 시각적 자극과 청각적 자극에 따른 생체 신호 변화를 분석하였다. 또한, Boucsein et al.(2007)은 비행 시뮬레이터를 사용하여 48 명(평균 연령: 26 세, 표준편차: 5.3 세)에 대한 비행 작업 시 heart rate, heart rate variability, 그리고 skin conductance 를 측정하였다. Perala and Sterling (2007)은 장갑차 운전 작업 수행 시 주행 환경에 따른 skin conductance 변화를 분석하였다.

보편적인 HMI 설계를 위해서는 다양한 운전자, 운전 환경, 그리고 운전 작업에 대한 생체 신호 분석을 효과적으로 수행할 수 있는

평가 protocol 및 system 개발이 필요하다. 생체 신호 분석은 주로 특정 환경 및 특정 상황에 대해 수행되어 보편적인 HMI 설계 적용에는 한계가 있다. 따라서 다양한 운전자, 운전 환경, 그리고 운전 작업 수행 시의 생체 신호 변화 및 운전 수행도 정보를 체계적으로 수집하는 평가 protocol 개발이 요구된다. 또한 수집된 방대한 data 를 효과적으로 분석하기 위해서는 평가 및 분석 과정이 system 화 될 필요가 있다.

본 연구는 driving simulator 로 측정된 방대한 양의 생체 신호 및 운전 수행도를 효과적으로 분석하기 위한 system 을 구축하였다. 평가를 위해 20 대와 60 대의 남녀 60 명에 대해 driving simulator 를 활용하여 heart rate, respiration rate, skin conductance 등의 생체 신호와 운전 속도, 속도 유지, 차선 유지 등의 운전 수행도가 측정되었다. 측정된 생체 신호 및 운전 수행도 data 는 data quality 분석, filtering, 그리고 data transformation 되었으며, 통계분석이 용이한 형태의 data 로 저장되었다.

2. 실험 방법

2.1 실험 참여자

운전 시 발생하는 운전 부하 정도를 측정하기 위해 총 60 명의 피실험자가 모집되었다. 연령에 따른 운전 부하의 차이를 파악하기 위해 피실험자의 나이는 20-29 세와 60-69 세로 구분하여 모집되었다. 또한 주당 2 시간 이상 운전을 수행하며, 이전에 본 실험과 유사한 실험에 참여한 경험이 없는 사람을 대상으로 하였다.

2.2 실험 장비

본 실험은 가상 운전 환경 조성 및 운전 수행도를 측정할 수 있는 simulator 와 생체 신호 측정 장비를 이용하여 수행되었다. Simulation 차량은 주행 거리, 속도, 조향 장치 조정(steering), 급정거(breaking input) 등의 운전 수행도를 20-30 Hz 의 sampling rate 로 측정되도록 설비되었다. 그리고 heart rate, skin conductance, respiration rate 등의 생체 신호는 60 Hz 와 250 Hz 로 측정되었다. 가상 운전 환경 시스템으로 사용된 STISIM Drive™는 운전

환경 및 주행 시나리오를 제공하여 실제 운전과 유사하게 주행할 수 있도록 하며, simulation 차량과 연동되어 주행 시간 및 거리에 따른 생체신호와 운전 수행도가 기록되었다.

2.3 운전 시나리오 및 인지 부하 작업

본 연구는 실제 주행 환경 재현 및 운전 작업 부하 측정을 위해 운전 시나리오가 개발되었다. 개발된 시나리오는 크게 2 가지 (도시에서 고속도로로 진입, 고속도로에서 도시로 진입)로 구분되며, 64 km 거리를 주행하도록 설계되었다. 개발된 시나리오는 세부 이벤트들(예: 신호 대기, 건설구간 주행, 커브길 주행)로 구성되어 특정 상황에 따른 생체신호 변화를 분석할 수 있도록 설계되었다. 한편, 운전자의 인지 작업에 따른 생체 신호 변화를 분석하기 위해 주행 시 실험참여자에게 인지 부하 작업(cognitive load task)을 수행하도록 하였다. 인지 부하를 제공하기 위한 task 는 인지 부하의 난이도에 따라 세가지 수준(예: 0, 1, 2-back)으로 구분하였다 (Mehler et al., 2008). 예를 들어 0-back task 의 경우 실험참여자가 현재 제시된 숫자를 소리 내어 말하는 것이고, 2-back 의 경우 두 단계 이전에 제시된 숫자를 기억해서 말하는 작업이다.

3. 생체 신호 및 운전 수행도 분석 시스템

3.1 시스템 구조

본 연구에서는 운전자 생체 신호 및 운전 수행도를 분석하기 위한 system 을 개발하였다. 본 system 은 2 가지 subsystem(예: 생체 신호 분석, 운전 수행도 분석)으로 구성되며, 각 subsystem 은 입력/분석/출력 기능을 수행하는 module(예: signal processing, data filtering, event data segmentation, output)로 구성되었다.

본 시스템은 운전 생체 신호 및 수행도 분석을 위해 입력/분석/출력 기능을 가진다. 첫째, 입력 부분은 분석에 사용되는 실험 참여자 정보(예: 성별, 연령), 분석 구간(예: 전체 운전 구간, 인지 부하 작업 구간), 그리고 분석 data 정보(예: 생체 신호 data, 운전

수행도 data)를 설정하는 단계이다. 둘째, 분석 부분은 입력된 분석들을 바탕으로 그림 1 과 같이 생체 신호 data 의 경우 signal processing 및 filtering 작업을 거치며, 운전 수행도 data 의 경우 각 변수를 분석하는 data transformation 작업을 거친다. 마지막으로, 분석 결과물은 추후 시스템 사용자가 다른 분석 시스템(예: SPSS, SAS)과 연계하여 통계분석(예: ANOVA)할 수 있도록 출력된다.

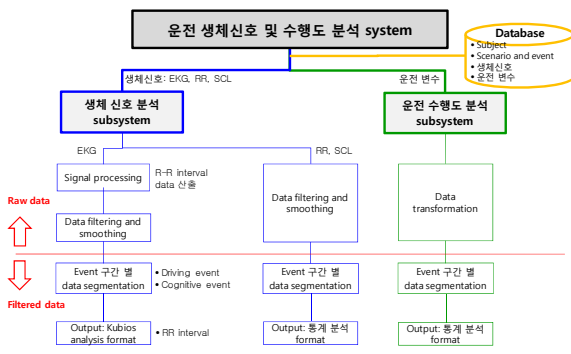


그림 1. 시스템 구조

3.2 Data 입력

3.2.1 Electrocardiogram (ECG)

ECG 는 용이한 분석을 위해 신호 처리를 통해 새로운 변수들로 변환하여 분석된다. 측정된 ECG 신호 자체는 심층적인 분석이 제한적이므로 용이한 분석을 위해 신호 처리되고(Berntson et al., 1997), heart rate(HR)나 standard deviation of normal to normal(SDNN)와 같은 새로운 변수로 변환된다. 분당 심장박동수(beat/min)를 나타내는 HR 은 휴식 시에 비해 작업 부하 시에 값이 크며(Roscoe, 1992), 분당 심박수의 분산을 분석하기 위한 변수인 SDNN 은 휴식 시에 비해 작업 부하 시에 값이 작은 것으로 알려져 있다(Malik et al., 1996). 또한, 시간 영역(time domain)의 ECG 신호의 주파수 영역(frequency domain) 변환을 통해 파악된 low frequency(LF; 0.04 ~ 0.15 Hz)와 high frequency(HF; 0.15 ~ 0.4 Hz)의 비율(LF/HF) 분석으로 작업 부하 여부를 파악할 수 있으며(Malik et al., 1996), 작업 부하 시 LF/HF 가 증가하는 것으로 알려졌다(Berntson et al., 1997).

3.2.2 Respiration rate

작업 부하의 정도를 측정하기 위한 생체 신호로 분당 호흡 수(respiration rate; RR)가 활용되었다. Respiration rate 는 휴식 시 대비 작업 부하가 높을 수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Wientjes, 1992). Yao et al. (2008)은 비행 경험이 적은 조종사의 경우는 11 개 비행 단계 중 3 개 단계에서 측정된 respiration rate (25.4±2.9, 24.6±3.5, 24.8±3.5)가 휴식 시 (21.0±2.7) 보다 높은 것을 파악하였다.

3.2.3 Skin conductance level

본 연구에서는 기존 skin conductance level(SCL) 관련 연구의 분석 기법을 참조하여 특정 주행 구간에서 측정된 data 의 기초통계량(평균값, 표준편차, 최소값, 최대값)을 분석하였다. 예를 들어, 특정 주행 구간에서 관측된 raw SCL data 의 평균값과 표준편차를 계산하여 각 주행 구간에서의 전반적인 SCL 변화를 분석하였다(Perala and Sterling, 2007; Gould et al., 2009; Shimomura et al., 2008).

3.3 Data 처리 및 Filtering

3.3.1 생체 신호 data

ECG 신호는 측정 환경 및 측정 장비의 영향으로 인해 오측정(예: 잡음, 누락)될 수 있으므로 정확한 분석 결과를 위해 data filtering 작업이 필요하다. Friesen et al. (1990)에 따르면, 오측정은 신체에 부착한 electrode의 적절한 접지, 측정 장치와 저장장치간 연결선이 다른 기기에 의해 충격을 받는 정도, 근육 수축에 따른 ECG 신호 변동, 신호 처리 기기의 오류에 의해 발생하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 LIBROW™사에서 개발된 R-peak detection은 방법을 사용하여 raw ECG data를 filtering하고 R-R interval(IBE)을 도출하였다.

Respiration rate 는 data filtering 과정을 거친 후 분석되었다. Papp et al. (1997)은 respiration rate 의 data filtering 을 위해서 80 이상의 값을 가지는 data 와 평균으로부터 표준편차와 3 배 이상 차이가 나는 data 제거하였다. 본 연구는

유사한 방법으로 측정값이 평균 대비 크거나 작은 data 를 파악하여 filtering 하였다.

본 연구에서는 SCL 의 이상치를 검출하기 위해 SCL 관련 기존 연구를 조사하여 유효 data 범위를 설정하였다. 특정 구간에서의 SCL 의 유효 범위는 2 ~ 30 microsiemens(El-Sheikh, 2006; Lim et al., 1996; Mehler et al., 2008; Shimomura et al., 2008; Storm et al., 2002)으로서, 이를 벗어난 경우 분석에서 제외하였다.

3.4 분석 결과 출력

본 연구에서 개발된 시스템은 실험 참여자(성별, 연령별), 시나리오 구간(도시 구간, 고속도로 구간), data 형태(생체 신호 data, 운전 수행도 data)에 따라 다양한 분석 결과물을 출력할 수 있다. 예를 들어, 20 대 남성의 cognitive event 구간의 생체신호 data(예: HR, SCL, RR)가 SPSS 통계 분석 프로그램에서 ANOVA 분석을 수행할 수 있도록 출력된다.

4. 토의

본 연구는 다양한 운전 환경과 운전 상황에 대하여 종합적으로 평가된 data 를 체계적이고 효과적으로 평가하는 분석 protocol 과 system 을 개발하였다. 성별과 연령대가 다양한 운전자를 대상으로 측정된 운전 data(예: 생체 신호 data, 운전 수행도 data)를 유용하게 활용하기 위해서는 체계적인 분석 protocol 이 요구된다. 또한 방대한 양의 운전 data 를 효과적으로 분석하기 위해 system 화 하였다.

본 연구는 측정된 생체 신호(heart rate, skin conductance, respiration rate)를 보다 정확하고 효과적으로 분석하기 위한 분석 protocol 을 개발하였다. 생체 신호 분석을 위해 15 편의 기존 문헌을 참조하여 분석 방법을 정의하였다. 정확한 분석을 위해 생체 신호 data 는 신호처리(signal processing)되었으며, 유의오차(예: 표준편차 x 3)를 벗어난 경우 filtering 되었다. 측정된 생체 신호는 운전 환경 및 운전 상황에 따른 비교를 위해 운전 구간별로 평균값 차이를 통계 분석하였다.

본 연구에서 개발된 운전 생체 신호 분석 protocol 은 향후 자동차 HMI 의 설계에 활용될 수 있다. 예를 들어, 운전석의 steering wheel,

TGS lever, radio button 과 같은 물리적 설계에 대한 인간공학적 평가뿐만 아니라 driving information system(DIS)의 인지적 설계에 대한 인간공학적 평가에도 유용하게 활용될 수 있다.

참고문헌

- Boucsein, W., Haarmann, A., Schaefer, F. (2007). Combining skin conductance and heart rate variability for adaptive automation during simulated IFR flight. *Lecture Notes in Computer Science*, 4562 LNAI, pp. 639-647.
- Friesen, G.M., Jannett, T.C., Afify Jadallah, M., Yates, S.L., Qu int, S.R., Troy Nagle, H. (1990). A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 37 (1), pp. 85-98.
- Berntson, G.G., Bigger JR, J.T., Eckberg, D.L., Grossman, P., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., Van Der Molen., M.W. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interetive caveats. *Psychophysiology*, 34, pp. 623-648.
- Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A.J., Kleiger, R.E., Malliani, A., Moss, A.J., and Schwartz, P.J. (1996). Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, pp. 354-381.
- Papp, L.A., Martinez, J.M., Klein, D.F., Coplan, J.D., Norman, R.G., Cole, R., De Jesus, M.J., Ross, D., Goetz, R., Gorman, J.M. (1997). Respiratory psychophysiology of panic disorder: Three respiratory challenges in 98 subjects. *American Journal of Psychiatry*, 154 (11), pp. 1557-1565.
- Verwey, W.B., Veltman, H.A. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2 (3), pp. 270-285.
- Wientjes, C.J.E. (1992). Respiration in psychophysiology methods and applications. *Biological Psychology*, 34 (2-3), pp. 179-203.
- Yao, Y.J., Chang, Y.M., Xie, X.P., Cao, X.S., Sun, X.Q., and Wu, Y.H. (2008). Heart rate and respiration responses to real traffic pattern flight. *Psychophysiology Biofeedback*, 33 (4), pp. 203-209.