

감성 평가를 위한 전문가 시스템의 긴장도 평가 알고리즘 개발

정순철, 민병찬*, 민병운*, 김소영*, 김철중*

건국대학교 의과대학 의학공학부, *한국표준과학연구원 인간정보그룹

Development of Arousal Level Estimation Algorithm of Expert System for Sensibility Evaluation

S.C. Chung, B.C. Min*, B.W. Min*, S.Y. Kim*, C.J. Kim*

Dept. of Biomedical Engineering College of Medicine, KonKuk University

*Ergonomics Lab, Korea Research Institute of Standards and Science

Abstract

본 연구는 객관적인 생리 신호로부터 인간의 감성을 추론할 수 있는 감성 평가 전문가 시스템을 개발하기 위한 첫 번째 단계로, 측정된 생리 신호를 이용하여 인간의 긴장도를 판단하는 알고리즘의 개발이 목표이다. 감성 평가에 관련된 애매함을 수리적으로 취급하기 위해 퍼지 이론을 적용하여 임의의 감성 영역에 속하는 정도를 소속 함수로 정량화 함으로써 감성 평가를 가능하게 하고자 하였다. 소속 함수의 결정은 상상을 통해 유발된 긴장/이완의 생리 신호 데이터 베이스 결과를 사용하였다. 그리고 두 가지 이상의 생리 신호 측정 결과와 각 생리 신호의 소속 함수로부터 하나의 최종 결과 (긴장도)를 유추하기 위해서 Dempster-Shafer 증거합 법칙을 적용하였고, 이를 통해 최종적인 긴장도를 도출할 수 있도록 하였다.

Keyword : arousal level estimation algorithm, expert system, sensibility evaluation

1. 서론

다양한 생리 신호들이 그 동안 의학 분야에서 인체 생리 변화의 지표로서, 인간 공학 분야에서는 작업 부하 평가나 심리 평가 등의 측면에서 다양하게 사용되어 오고 있다. 그러나 아직까지 감성 평가 분야에서는 뚜렷한 연구 결과를 내지 못하는 형편이다. 이는 감성의 구조와 발생 과정에 대한 명확한 규명이 이루어지지 않았고, 또한 생리적 신호 변화를 측정하는 기술의 한계 때문이라 할 수 있다. 특히 인간의 감성은 매우 주관적이므로 구체적인

수치로 규정하기에는 많은 문제점이 있을 수 있다. 즉, 감성이라는 모호성 혹은 불확실성을 생리 신호의 정량적인 값으로 이진법적인 논리로 표현하고 판단하는 것은 효과적이지 못할 것이다. 그러나 인간의 감성을 평가하고 판단하는데 있어서 정량적 데이터를 기초로 한 논리적인 추론 방법이 강구될 필요가 있으며, 이러한 추론은 체계적인 수학적 모델을 기반으로 형성되는 것이 바람직하다.

이를 위해서는 이미 구축된 데이터와 지식을 바탕으로, 확실하지 않은 퍼지한 인간의 감

성을 추론하여 평가할 수 있는 퍼지 전문가 시스템 (Expert System)이 필요할 것이다.

본 연구는 생리 신호의 결과로부터 인간의 감성을 추론하는 감성 평가 전문가 시스템을 개발하기 위한 첫 번째 단계로, 측정된 생리 신호를 이용하여 인간의 긴장도를 판단하는 알고리즘의 개발이 목표이다. 이를 위하여 본 논문은 다음의 두 부분으로 구성된다. 먼저 감성 평가에 관련된 애매함 (fuzziness)을 수리적으로 취급하기 위해 퍼지 이론을 적용하여 인간의 감성이 어떤 영역에 속한다 또는 속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 그 영역에 속하는 정도를 '소속 함수 (membership function)로 정량화 함으로써 감성 평가를 가능하게 하고자 한다. 특히 본 연구에서는 안정적인 감성 구조로 알려진 "쾌-불쾌", "각성-수면 (이완)"의 이차원 구조에서 지금까지 생리 신호로 신뢰로운 데이터를 얻어온 감성의 한 축인 긴장(각성)-이완 생리 신호의 데이터 베이스 결과를 이용하여 각 생리 신호로부터 긴장도를 평가하기 위한 소속 함수를 결정하고자 한다. 다음으로 두 가지 이상의 생리 신호 측정 결과와 각 생리 신호의 소속 함수로부터 하나의 최종 결과 (긴장도)를 유추하기 위해서 Dempster-Shafer 증거합 법칙을 적용하여 최종적인 긴장도를 추론하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 긴장도/이완도 평가 소속함수 결정을 위한 데이터 베이스 구축

선행 연구에서 감성 유발 요인이 개인마다 차이가 있다고 가정하고, 각 감성 영역에 해당하는 상상을 피험자마다 자유롭게 하게 함으로써 목적된 영역의 감성 변화를 유도하였고, 이를 주관적 평가와 생리 신호를 통해 객관적으로 감성을 변별할 수 있다는 사실을 밝혔다. 이들 데이터 중에서 20대의(평균 23세) 성인 남·여 32명의 긴장도/이완도 평가 데이터를 긴장도/이완도 평가 소속함수를 개발하는데 사용하였다. 본 연구에서 데이터 처리는 안정에 비해 각 실험 상황으로 유발되는 생리 신호의 변화를 관찰하기 위하여 아래 수식을 이용하여 Normalized Sensitivity (NS)를 계산하였다.

$$NS = (\text{각 실험 상황} - \text{안정 상황}) / \text{안정상황} \quad (1)$$

2.2. 소속 함수 (Membership Function)

측정된 생리 신호의 결과는 퍼지한 값이 아니고 Crisp한 값이다. 이를 이용하여 인간의 감성 (긴장도)을 평가하기 위해서는 먼저 측정된 Crisp한 결과 값을 퍼지 양으로 바꾸어 줄 수 있는 변환 장치가 필요하다. 즉, 측정된 생리 신호의 결과가 어떤 감성 영역에 속하게 될 가능성에 관한 함수가 존재해야하는데 이를 소속 함수라고 정의한다.

본 연구에서는 가로축 (x축)은 각 생리 신호의 NS를 나타내도록 하였고, 세로축 (y축)은 소속 함수 값을 나타내도록 정의하였다. 또한 소속 함수의 값은 퍼지집합에 포함될 가능성을 나타내도록 한다. 예를 들어 소속 함수 값이란 감성 자극에 의한 생리 신호 변화량 ((각 실험 상황 - 안정 상황) / 안정상황)이 긴장과 이완이라는 감성 영역에 속할 수 있는 가능성을 나타낸다.

모든 피험자의 생리 신호 데이터 베이스로부터 하나의 정규화 된 소속 함수를 구하기 위해서는 먼저 각 피험자들의 데이터의 관계를 나타낼 수 있도록 삼각형 함수로 곱한 후 정규화 시켜야한다. 이때 분포함수를 이용하는 것이 가장 이상적이나 우선적으로 계산이 단순하고 일반적으로 사용되는 삼각형 함수를 선택하였다. 아래 그림 1과 같이 삼각형 함수의 꼭지점의 x축의 위치는 계산하기 위한 특정점 (한 피험자의 생리 신호의 NS)의 위치와 일치시키고, 특정점이 다른 점 (다른 피험자의 생리 신호의 NS)과의 관계를 나타낼 수 있도록 정규화 시킨다. 삼각형의 폭은 x축에 나타나는 최소값과 최대값의 차를 이용하였고 높이는 1로 하였다.

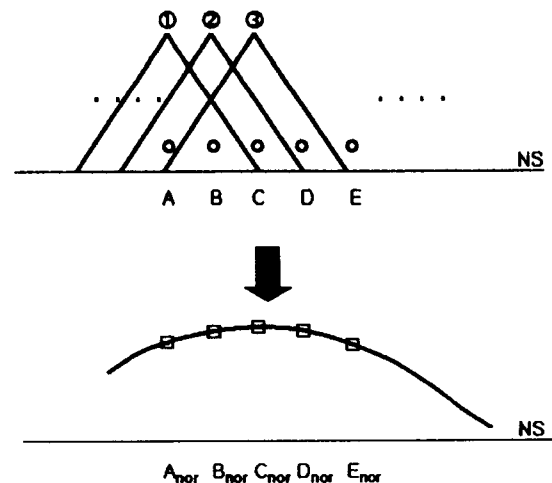


그림 1. 각 피험자의 생리 신호의 NS를 구한 후 삼

각형 함수를 곱하여 정규화 시킨 곡선.
 A, B, C, D, E : 각각의 피험자
 A_{nor}, B_{nor}, C_{nor}, D_{nor}, E_{no}: 정규화 된 각각의 피험자
 O : 각 피험자의 생리 신호의 NS 값
 □: 삼각 함수를 곱한 후 정규화 된 각 피험자의 생리 신호의 NS 값

다음은 위에 결정된 소속 함수의 판단율을 증가시키기 위하여 전문가 Rule과 결합한다. 즉 정규화 된 생리 신호 곡선으로부터 결정된 소속 함수와 아래와 같은 여섯 개의 전문가 Rule를 Or로 결합하여 최종적인 소속 함수를 결정한다.

- a. 긴장을 하면 GSR의 진폭이 증가한다.
- b. 긴장을 하면 R-R 간격이 감소한다.
- c. 긴장을 하면 RSP의 분당 호흡수가 증가한다.
- e. 이완을 하면 GSR의 진폭이 감소한다.
- f. 이완을 하면 R-R 간격이 증가한다.
- g. 이완을 하면 RSP의 분당 호흡수가 감소한다.

위 여섯 개의 전문가 Rule은 지금까지 여러 감성 평가 연구에서 얻은 신뢰성 있는 전문가 지식 베이스이다.

2.3. Dempster-Shafer 증거합 법칙

Dempster-Shafer 증거합 법칙은 불확실성을 나타내는 신뢰도에 의존하고 있다. 어떤 가설에 신뢰도를 규정할 때, 주어진 증거에 의하여 어떤 가설에 대한 신뢰도로 0에서 1사이의 숫자를 사용한다. 이 숫자는 어떤 가설을 찬성하는 증거의 정도를 나타내는 것이다. Dempster-Shafer 이론에서는 모든 원인 또는 상태를 전체집합(H)으로 정의하고, 이 전체집합(H)의 부분집합(subset)에 대한 증거를 신뢰도 (또는 지지도) (bpa : Basic Probability Assignment)로 나타낸다. A를 2^H 개 중의 한 부분집합이라고 한다면 $m(A)$ 는 A라는 부분집합에 주어진 신뢰도를 나타내게 된다. 이때 모든 부분집합에 대한 m 값의 합은 1이 된다. 같은 전체집합(H) 내에 있는 두 개의 신뢰함수에 대하여 Dempster-Shafer 증거합 규칙은 결합된 증거를 나타내는 새로운 신뢰함수를 만들어 내도록 한다. Rule1과 Rule2 각각의 bpa를 가정했을 때, Dempster의 결합이론에 의하면 새로운 bpa (Rule1 ⊕ Rule2)는 각각의 m 값이 결합된 효과를 나타낸다. 이것은 아래 식 (2)와 같이 표현되며, 교집합 테이블에 의해 쉽게 계산된다.

$$m_{1,2}(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C)}{1 - K}, A \neq \emptyset$$

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C), m_{1,2}(\emptyset) = 0$$

(2)

위 식에서 B, C는 각 상태에 해당하며, $m_1(B)$ 는 상태 B에 대한 첫 번째 룰에서의 지지도이다. A는 상태 B와 C가 공유하는 상태가 되며, $m_{1,2}(A)$ 는 결합된 지지도가 된다.

3. 연구 결과

3.1. 소속 함수 (Membership Function)의 결정

데이터 베이스로부터 산출된 긴장/이완의 감성 상태에 따른 각 생리 신호의 결과 값과 전문가 Rule을 결합하여 긴장도 및 이완도를 판단하기 위한 소속 함수를 구축 하고자 한다. 소속 함수를 구하는 자세한 순서는 다음과 같다.

- ① 각 감성 상태의 실험에서 측정되고 계산된 각 생리 신호의 NS 값을 x 좌표 상에 기입한다.
- ② 기입된 값 중 최대값과 최소값으로 x축의 폭 (최대값 - 최소값)을 구한다.
- ③ 각 생리 신호 값 위에 삼각형 함수를 곱하고 최대값이 1이 되도록 정규화 (Normalize) 시킨다.
- ④ 전문가 Rule과 위의 ③과정에 구해진 곡선식을 Or 결합하여 각 감성상태 (긴장/이완)에 따른 긴장도 및 이완도의 소속 함수를 구한다. 본 연구에서 도출된 ECG, GSR, RSP 생리 신호들의 최종 긴장도 및 이완도의 소속 함수는 그림 2와 같다.

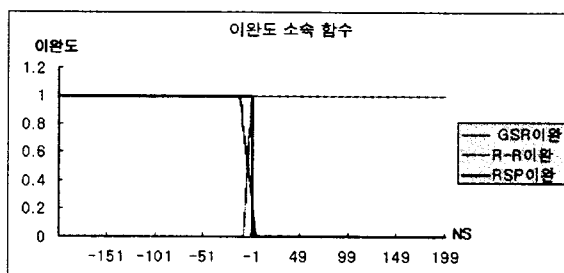
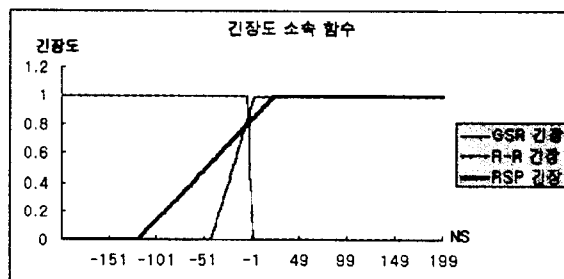


그림 2. ECG, GSR, RSP 생리 신호들의 최종 긴장도 및 이완도의 소속 함수

3.2. Dempster-Shafer 증거합 법칙을 이용한 긴장도 평가 방법

위에서 구한 긴장도 및 이완도 소속 함수를 사용하여 이제부터는 실제 측정된 생리 신호를 이용한 긴장도 및 이완도를 평가하는 방법에 대하여 논의하고자 한다. 자세한 순서는 아래와 같다.

- ① 식 1을 이용하여 측정된 각 생리 신호 데이터의 NS를 구한다.
- ② 계산된 NS 값을 소속 함수에 대입하여 긴장도 및 이완도의 값을 구한다.
- ③ Dempster Shafer 증거합 법칙을 적용하기 전에 먼저 각 생리신호로부터 추론한 긴장도와 이완도의 값을 아래 식 (3)을 이용하여 정규화 시킨다.

$$\text{긴장도의 정규화} = \text{긴장도} / (\text{긴장도} + \text{이완도})$$

$$\text{이완도의 정규화} = \text{이완도} / (\text{긴장도} + \text{이완도}) \quad (3)$$

- ④ 다음은 ③의 과정에서 정규화 된 세 가지 생리 신호의 결과로부터 추론된 감성 값으로부터 하나의 최종 결과를 유도해야 한다. 즉, 세 가지 생리 신호의 정규화 된 긴장도 및 이완도의 결과로부터 Dempster-Shafer 증거합 법칙 (식 2)을 이용하여 하나의 최종 결과를 추론한다.

4. 토의

본 연구는 이미 구축된 데이터와 지식을 바탕으로, 확실하지 않은 퍼지한 인간의 감성을 추론하여 평가할 수 있는 퍼지 감성 평가 전문가 시스템을 개발하기 위한 첫 번째 단계로, 측정된 생리 신호를 이용하여 인간의 긴장도를 판단하는 알고리즘의 개발이 목표이다. 이를 위하여 선행 연구 결과인 긴장도/이완도 평가 데이터를 긴장도/이완도 평가 소속함수를 개발하는데 사용하였다. 즉, 감성 평가에 관련된 애매함을 수리적으로 취급하기 위해 퍼지 이론을 적용하여 임의의 감성 영역에 속하는 정도를 소속 함수로 정량화 함으로써 감성 평가를 가능하게 하고자 하였다. 그리고 두 가지 이상의 생리 신호 측정 결과와 각 생리 신호의 소속 함수로부터 하나의 최종 결과(긴장도)를 유추하기 위해서 Dempster-Shafer 증거합 법칙을 적용하여 최종적인 긴장도를 추론하였다.

향후 본 연구의 부족한 사항들을 보완하고,

이차원의 감성 영역의 다른 한 축인 쾌/불쾌 축의 감성 변화를 변별하는 신뢰로운 생리 신호 파라미터를 선별하여 데이터 베이스를 구축한 후, 쾌/불쾌를 판단할 수 있는 소속함수를 결정한다면, 객관적인 생리 신호로부터 이차원의 인간 감성을 추론할 수 있는 감성 평가 전문가 시스템을 완성할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 참고문헌

- [1] 김태운 (1992), 퍼지이론과 응용, 정익사
- [2] 김화수, 조용범, 최종욱 (1995), 전문가 시스템, 집문당
- [3] 손진훈, Estate M. Sokhadze, 이임갑, 이경화, 최상섭 (1998), 정서시각자극에 의해 유발된 자율신경계 반응패턴: 유발정서에 따른 피부전도반응, 심박률 및 호흡률 변화, 한국감성과학회지, 1(1), 79-90
- [4] 양선모, 안범준, 이순요 (1998), 프로토타입 감성제품개발 전문가 시스템 개발에 관한 연구, 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 112-118
- [5] 정순철, 민병찬, 김상균, 민병운 (1999), 동적 시각자극과 도로 굴곡 변화에 따른 자율신경계 반응, 한국감성과학회지, 2(2), 75-82
- [6] 정순철, 민병찬, 전광진, 김유나, 성은정, 신미경, 김철중 (2001), 심상 자극에 의해 유발된 감성변화의 평가, 한국감성과학회 춘계학술대회 논문집, 182-185
- [7] 정순철, 민병찬, 민병운, 김유나, 신미경, 김철중 (2001), 디지털타이저를 이용한 실시간 주관적 평가 시스템, 대한인간공학회지, 20(1), 1-13
- [8] 한국표준과학연구원 (1998), 종합적 생리신호 측정 해석 시스템 개발 최종보고서, 과학기술부
- [9] 황민철, 임좌상, 김혜진, 김세영, 한문성 (2001), 각성의 유형이 생리신호에 미치는 영향, 한국감성과학회 추계학술대회 논문집, 59-63
- [10] George J. K. and Tina A.F (1988), Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice-Hall
- [11] Yang J.B (1994), An Evidential Reasoning Approach for Multi-Attribute Decision Making with Uncertainty, IEEE Trans. on Sys, Man, Cybern., 24(1), 1-18