

인터넷 거래에서 신뢰도의 계산적 모델 및 적용[☆]

A Computational Model of Trust and Its Applications in Internet Transactions

노 상 욱*
Sang-uk Noh

요 약

웹 기반의 온라인 커뮤니티가 급속하게 증가함에 따라 사회적인 집단(커뮤니티)에서의 에이전트들은 안전하고 성공적인 상호거래를 위하여 서로의 신뢰도를 계산할 수 있는 형태의 믿음으로 알 수 있어야 한다. 본 논문은 온라인 커뮤니티에서 주어진 피드백으로 형성된 신뢰도의 계산적 모델을 제안한다. 신뢰도는 과거의 상호작용에 기반한 평가수치의 축적으로 정의할 수 있으며, 평균 신뢰도는 믿을 수 있는 값과 믿을 수 없는 값의 분포를 고려한 중심값으로 나타낸다. 온라인 커뮤니티에서의 명성, 신뢰도, 평균 신뢰도의 관계를 구체적인 예를 통하여 설명하며, 정의한 신뢰도 모델이 어떻게 온라인 커뮤니티에서 에이전트의 이성적인 거래를 가능하게 하는가를 보여준다.

Abstract

As Web-based online communities are rapidly growing, the agents in social groups need to know their measurable belief of trust for safe and successful interactions. In this paper, we propose a computational model of trust resulting from available feedbacks in online communities. The notion of trust can be defined as an aggregation of consensus given a set of past interactions. The average trust of an agent further represents the center of gravity of the distribution of its trustworthiness and untrustworthiness. And then, we precisely describe the relationship between reputation, trust, and average trust through a concrete example of their computations. We apply our trust model to online Internet settings in order to show how trust mechanisms are involved in a rational decision-making of the agents.

Keywords : Trust within social networks, consensus aggregation, Dempster-Shafer theory, game theory, adaptive multi-agent systems, 사회적인 집단에서의 신뢰도, 공감대의 축적, Dempster-Shafer 이론, 게임 이론, 적응형 다중 에이전트 시스템

1. 서론

전통적인 시각에서의 신뢰도(trust) [3] 는 다른 에이전트들이 특정한 에이전트에 대하여 정직하고 긍정적인 태도를 보이는가에 대한 에이전트 자신의 믿음(belief)을 의미하며, 일반적으로 직접적인 상호작용을 통하여 형성된다. 인터넷상의 온라인 커뮤니티가 급속히 증가함에 따라 에이전트

들은 직접적인 상호작용 뿐만 아니라 가상의 상호작용에 노출되는 기회가 더 많아지게 되었다. 온라인 커뮤니티에서의 에이전트들은 익명으로 의사전달이 가능하며 제한적으로 상대에 대한 정보를 획득한다. 이러한 온라인 집단의 특성은 에이전트로 하여금 상대 에이전트들이 자신에게 호의적인지 또는 비호의적인지에 대한 결정을 어렵게 한다. 이와 같은 문제점 때문에 상대에 대한 사전적인 지식이 없거나 직접적인 접촉이 불가능한 경우에 안전하고 성공적인 거래를 위하여 신뢰도에 대한 유행적인 모델을 나타내는 것이 필수적으로 되었다. 본 논문은 사회적인 네트워크 - 특

* 정 회 원 : 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 교수
sunoh@catholic.ac.kr

☆ 본 연구는 2006년도 가톨릭대학교 교비연구비와 2006년도 국방과학연구소의 '다중센서 위협데이터 통합기법 연구(UD060072FD)' 용역의 지원으로 이루어졌음.

별히 온라인 커뮤니티 - 에 적용할 수 있는 신뢰도의 계산적 모델을 제안한다. 이러한 계산적 모델은 신뢰도를 측정할 수 있는 형태로 표현할 수 있게 한다.

신뢰도의 계산적 모델에 대한 접근방식은 '죄수의 고민(Prisoner's Dilemma)' [1] 을 반복적으로 실험한게임 이론(game theory)의 'tit for tat' 전략에 기반한다. 'tit for tat'은 상대 에이전트가 호의적이면 호의적인 방식으로 대하며, 반면에 상대 에이전트가 비호의적이면 비호의적인 전략으로 대응하는 방식을 말한다. 이러한 전략을 반복적으로 적용한 실험결과에서는 에이전트들이 서로 협동하는 것을 권장하며, 서로 협동할 때 사회전체의 이익이 최대가 됨을 보여준다. 따라서, 본 논문에서는 에이전트들이 서로 협동하여 서로의 이익을 최대화하는 것을 추구하며, 신뢰도를 상호협동한 결과로 나타난 호의적인 정도로 정의한다. 여러 에이전트들이 존재하는 온라인 커뮤니티에서 상호작용의 결과로 에이전트들이 다른 에이전트들과 협조적이면 다른 에이전트들로부터 긍정적인 피드백을 더 많이 받게 되며, 다른 에이전트들과 비협조적이면 그들로부터 부정적인 피드백을 받을 것이다. 특정한 온라인 커뮤니티에서 에이전트들이 사회적으로 행동하여 발생하는 피드백을 정량적으로 나타내며, 이러한 정량적인 결과를 에이전트의 명성(reputation)으로 해석한다. 본 논문에서 제안하는 신뢰도 모델은 주어진 명성에 대한 수치를 종합하는 규칙을 적용하여 공감대를 형성하며, 신뢰도의 구성 성분인 믿을 수 있는 정도와 믿을 수 없는 정도에 대한 중심값으로써 평균 신뢰도를 계산한다. 온라인 커뮤니티에서 신뢰도 모델은 특정한 에이전트가 다른 에이전트들에 대하여 긍정적으로 행동하는 정도를 나타낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 제안하는 신뢰도 모델과 기존의 관련된 연구들을 비교하며, 3장은 에이전트의 명성, 신뢰도, 평균 신뢰도를 정의하며, 구체적인 예를 통하여 정의한 개념들의 관계를 설명한다. 4장은 신뢰도 모델의 검

증을 위하여 구매자와 판매자의 의사결정 과정에 어떻게 신뢰도 모델이 영향을 미치는가를 보여준다. 결론에서는 본 논문의 내용을 정리하며, 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

2. 관련연구

본 논문은 여러 에이전트들이 존재하는 커뮤니티에서 계산 가능한 사회적 개념의 신뢰도를 연구하는 노력과 공통점을 가진다. 다중 에이전트 분야에서 신뢰도의 계산적 모델에 대한 관련연구가 지속적으로 이루어져 왔다. Marsh [10] 는 신뢰도를 -1부터 1까지의 상대적인 수치로 나타내는 간단한 계산적 모델을 소개하였다. 신뢰도에 대한 계산적 모델을 처음으로 소개한 공헌은 있으나, 신뢰도 값의 음수에 대한 처리와 신뢰도 값의 전파에 대한 문제점을 가진다. Mui [11] 등은 가상의 수학적 표현으로 신뢰도를 서술하며, 예상 유틸리티 값으로 신뢰도를 표현한다. 이들이 제안한 모델은 상호협동한 횟수만을 적립하며, 본 논문과는 긍정적인 반응의 수를 적립한다는 점에서 유사하나 부정적인 반응에 대한 처리가 없다는 것이 다르다. 또 다른 접근 방식으로서의 분산 명성 시스템 [8] 은 신뢰도의 갱신을 위하여 특정한 기간 동안 거래한 정도, 상호관계에 대한 정도 및 새로운 경험 등을 고려한다. 그러나 신뢰도를 위한 이러한 요소들에 대한 가정은 실질적이지 못한 단점을 가지며, 분산 명성 시스템의 다른 문제점은 부정적인 상호작용 또는 경험을 적절히 처리하지 못하는 한계를 나타내는 것이다. 본 논문에서 제안하는 신뢰도 모델은 신뢰도 값의 융합에 대한 문제점 없이 공감대의 축적을 반영하며, 0과 1의 범위 내에서 특정한 에이전트의 믿을 수 있는 정도와 믿을 수 없는 정도를 효율적으로 다룬다. 이러한 신뢰도 값은 실질적인 사회적 네트워크에서의 긍정적인 피드백과 부정적인 피드백을 기초로 하여 형성된다.

신뢰도를 측정이 가능한 믿음의 형태로 나타내

려는 시도 중의 하나는 주관적인 확률(subjective probability) [4, 7] 을 사용하는 것이다. 주관적인 논리에서 에이전트의 의견은 신뢰, 불신 및 중립적인 정도로 나타난다. 이러한 접근 방식에서 신뢰도를 위한 중립적인 정도에 대한 처리는 불명확하며, 주관적인 논리는 신뢰도에 대한 특정한 값 대신에 확률분포함수만을 제공한다. 그러나, 본 논문에서 제안하는 신뢰도 모델은 에이전트의 신뢰 정도와 불신 정도를 동시에 고려하는 평균 신뢰도로써의 특정한 신뢰도 값을 제공한다. 다른 접근방식으로는 긍정적인 피드백의 수에서 부정적인 피드백의 수를 산술적으로 제하는 간단한 e-Bay 피드백 시스템 [13] 이 있다. 또한, Sabater 와 Sierra [14] 는 다중 에이전트 시스템과 전자상거래 시각에서 신뢰도의 개념적 모델, 정보의 유형, 신뢰도의 의존도 및 모델 유형 등에 기반하여 계산할 수 있는 신뢰도와 명성에 대한 모델을 종합적으로 검토하였다. 본 논문의 기여도는 사회적인 호감정도를 계측이 가능한 형태의 신뢰도로 정의하고, 명성과 신뢰도 뿐만 아니라 평균 신뢰도의 관계를 사회적인 다중 에이전트 환경에서 명확하게 서술한 것이다.

3. 측정이 가능한 신뢰도

사회적인 네트워크에서 분류가 가능한 피드백으로부터 에이전트의 명성을 모델링한다. 명성에 대한 모델은 직접적인 에이전트의 경험 뿐만 아니라 제3자에 의한 목격정보 [14] 도 참고한다. 신뢰도는 주어진 명성들의 집합으로부터 축적된 공감대(consensus)로 정의할 수 있으며, 신뢰도를 바탕으로 계측이 가능한 값으로의 평균 신뢰도를 계산한다. 3장에서는 구체적인 예를 통하여 명성의 형성과정을 보이며, 신뢰도와 평균 신뢰도의 계산 및 이들의 관계를 설명한다.

3.1. 명성에 대한 모델

온라인 커뮤니티에서 발생하는 피드백[6, 13] 들은 여러 에이전트가 소속되어 있는 사회적인 집단에서의 명성을 나타낸다. 에이전트에 대한 긍정적인 또는 부정적인 사건들의 축적은 피드백 형태로 표현되며, 이는 에이전트의 명성 [8, 11] 을 형성한다. 에이전트의 명성은 구체적으로 이진 명제 p 에 의하여 나타낼 수 있다. 예를 들면, 인터넷 거래에서 "특정한 판매자(seller)는 오직 양호한 상품만을 판매하며 정확한 시간에 상품을 배송한다" 의 명제로 특정한 에이전트에 대한 명성이 표현될 수 있다. 주어진 이진명제 p 와 이진명제 p 내의 특정한 에이전트를 판단하는 에이전트 집단 i 를 가정하면, 명제 p 에서 에이전트의 명성 ω_i^p 는 다음과 같이 정의할 수 있다:

$$\omega_i^p = \{T_i, U_i\} \tag{1}$$

- $T_i = PF_i/N_i$ 으로 정의하며, $0 < T_i < 1$ 이다
- $U_i = NF_i/N_i$ 으로 정의하며, $0 < U_i < 1$ 이다
- N_i 는 에이전트 그룹 i 에서 명제 p 에 대한 전체 피드백의 수이며, $N_i = PF_i + NF_i + ZF_i$ 이다
- PF_i 는 에이전트 그룹 i 에서 명제 p 에 대한 긍정적인 피드백의수이다
- NF_i 는 에이전트 그룹 i 에서 명제 p 에 대한 부정적인 피드백의수이다
- ZF_i 는 에이전트 그룹 i 에서 명제 p 에 대한 중립적인 피드백의수이다.

식 (1)과 같이 정의된 명성에서, 에이전트 그룹 내의 각각의 에이전트들은 명제 p 를 독립적으로 평가한다. 이때, 전체 피드백 중에서 긍정적인 피드백과 부정적인 피드백 어느 것에도 속하지 않

1) 명성에 대한 명제는 다음과 같은 내용으로 표현될 수 있다. "구매자는 지불하려는 의도와 능력이 있다", "네트워크 시스템은 어떠한 외부침입으로부터 안전하다", "특정한 자동차는 10년 동안 신뢰할 수 있다" 등의 예제로 나타난다.

는 중립적인 피드백이 존재하기 때문에, 명제 p 에 대한 긍정적인 의견에 대한 분류와 부정적인 의견에 대한 분류는 명확하게 나타날 것이다. 전체 피드백 중에서 긍정적인 피드백은 상대에 대한 호감정도 또는 상호협동하려는 신뢰할 수 있는 정도(trustworthiness: T)를 나타내며, 반면에 부정적인 피드백은 상호 비협조적인 관계를 나타내는 신뢰할 수 없는 정도(untrustworthiness: U)를 의미한다. 이와 같이, 에이전트의 명성은 여러 에이전트들의 독립적인 의견에 기초하여 형성된 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도로 표현되며, 중립적인 피드백을 고려하지 않기 때문에 T 와 U 의 합은 반드시 1이 되지 않는다. 또한, 명성에 대한 모델은 상대를 기만(cheating)하지 않는 정직한 평가를 바탕으로 한다.

사회적인 네트워크에서 상호 협동 - 믿을 수 있는 상호작용 - 의 결과로 축적된 긍정적인 피드백은 명제 p 에서의 에이전트에 대한 신뢰할 수 있는 정도를 나타내며, 부정적인 피드백은 에이전트의 신뢰할 수 없는 정도에 영향을 준다. 이와 같이, 에이전트의 신뢰할 수 있는 정도는 에이전트의 미래의 행동에 대한 제3자의 긍정적인 기대감을 나타낸다. 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도는 식 (1)과 같이 정량적인 개념으로써의 명성을 정의하는데 이용된다. 에이전트의 명성은 시간과 사회적인 집단의 크기에 따라 변화하며, 에이전트의 신뢰도에 영향을 준다. 시간과 집단의 크기에 따라 다르게 주어진 명성들의 집합으로부터 대표적인 명성으로 정의되는 신뢰도를 유도할 것이다.

3.2. 축적 규칙을 사용한 신뢰도의 계산

본 논문에서 신뢰도는 명성의 축적을 통한 공감대(consensus)의 형성으로 정의된다. 주어진 명제

p 에서 에이전트의 신뢰도²⁾ ω^p 는 다음과 같다:

2) 신뢰도 모델에 대한 식을 간단히 표현하기 위하여 두 개

$$\omega^p = \omega_i^p \otimes \omega_j^p = \{T, U\} \quad (2)$$

- ω_i^p 와 ω_j^p 는 각각 에이전트 그룹 i 와 에이전트 그룹 j 에서 형성된 명성을 나타낸다
- T 는 명제 p 에서 에이전트의 신뢰할 수 있는 정도(trustworthiness)를 나타내며, $0 \leq T \leq 1$ 이다
- U 는 명제 p 에서 에이전트의 신뢰할 수 없는 정도(untrustworthiness)를 나타내며, $0 \leq U \leq 1$ 이다.

식 (2)와 같이 정의된 신뢰도는 신뢰할 수 있는 정도(T)와 신뢰할 수 없는 정도(U)로 구성된다. 이러한 두 가지 요소는 식(1)에 정의된 명성들의 집합에 의하여 결정된다. 명성으로부터 에이전트의 신뢰도를 정형화하기 위하여 일련의 축적 규칙(aggregation rules)을 제안한다. 명성 ω_i^p 와 ω_j^p 가 주어질 때, 축적을 위한 연산자 $\otimes = \{\Psi_1, \dots, \Psi_n\}$ 는 다음과 같다.

1. Minimum (1):

$$T = \min(T_i, T_j), \quad U = \min(U_i, U_j);$$

2. Maximum (2):

$$T = \max(T_i, T_j), \quad U = \max(U_i, U_j);$$

3. Mean (3):

$$T = (T_i + T_j) / 2, \quad U = (U_i + U_j) / 2;$$

4. Product (4): $T = T_i T_j, \quad U = U_i U_j;$

5. Dempster-Shafer 이론 [5, 15, 16] (5):

$$T = \frac{T_i T_j}{1 - (T_i U_j + T_j U_i)}, \quad U = \frac{U_i U_j}{1 - (T_i U_j + T_j U_i)}.$$

의 에이전트 그룹 i 와 j 에서의 신뢰도를 계산한다. 제안하는 신뢰도 모델은 일반적으로 여러 개의 에이전트 그룹이 관여하는 복잡한 환경으로 확장될 수 있다.

특정한 에이전트를 어느 정도 신뢰할 수 있는가를 나타내는 신뢰도는 명성들의 집합에 축적 연산자를 적용함으로써 얻어진다. 축적의 목적은 에이전트에 대한 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도의 예측 값을 결합하여, 다양한 명성들의 집합을 종합적으로 요약한 하나의 값으로 생성하고자 하는 것이다.

최소(Ψ_1)와 최대(Ψ_2) 축적 규칙은 T 와 U 의 각각을 위하여 하나의 최소값과 최대값을 제공한다. 평균(Ψ_3) 축적 연산자는 단순한 통계적 요약 값으로써 여러 개의 에이전트 그룹으로부터 얻어진 T_k 와 U_k 값들의 평균을 제공한다. 곱(Ψ_4) 규칙은 각각의 T 와 U 의 값에 대하여 여러 개의 에이전트 그룹에서 얻어진 의견이 일치할 수 있는 확률을 요약해 준다. Dempster 규칙³⁾ (Ψ_5) [5, 15, 16]은 여러 의견에 대한 공감대를 나타내는 새로운 분포를 생성한다. Dempster 규칙을 이용하여 생성된 T 와 U 의 결과 값은 각각 명성에 대한 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 동의의 정도를 나타내며, 의견의 불일치 또는 상반된 견해에 대한 정도를 완전히 배제한다. 신뢰도를 구하기 위하여 Dempster 규칙을 사용하는 것에 대한 장점은 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 증거가 각각 독립적일 경우에 적용할 수 있다는 것이다.

신뢰도의 가능한 값들 중에서 특정한 축적 규칙을 사용하여 표현한 공감대로써 신뢰도를 나타내며, 특정한 축적 규칙의 결정은 다음과 같은 함수로 표현된다:

$$\hat{\Psi}(t, u) = \Psi(\Psi_1(t, u), \dots, \Psi_n(t, u)) \quad (3)$$

• Ψ 는 특정한 축적 규칙을 결정하는 함수이며

3) 본 논문에서는 사회적인 네트워크에 존재하는 명성들의 집합이 일관성있게 측정되었다고 가정한다. 이러한 가정은, Lotfi Zadeh [17]에 의하여 처음 지적되었던, 상호 충돌하는 증거가 존재할 경우에 Dempster 규칙을 사용하여 얻은 이윤배반적인 결과를 배제한다.

• $\hat{\Psi}(t, u)$ 는 $t \in T_k$ 와 $u \in U_k$ 인 값으로 선택된 축적 규칙을 말한다.

예제 1. 예를 들어, $\omega_1^p = \{0.80, 0.10\}$ 와 $\omega_2^p = \{0.70, 0.20\}$ 를 가정하자. 이러한 가정은 명제 p 를 평가하는 두 개의 에이전트 그룹이 존재하며, 각 그룹에서 긍정적인 피드백에 대한 수가 부정적인 피드백의 수에 비하여 상대적으로 많음을 의미한다. 주어진 명성들로부터 식 (2)에서 정의된 신뢰도를 얻기 위하여 축적 규칙들이 적용되며, 결과적인 신뢰도는 사회적인네트워크에서의 공감대를 표현한다. 축적 규칙들을 사용한 가능한 신뢰도의 값들은 표1과 같이 정리된다:

표 1. 다섯 가지의 축적 규칙을 사용한 신뢰도의 계산

축적 규칙	$\omega_1^p = \{0.80, 0.10\}$, $\omega_2^p = \{0.70, 0.20\}$
	신뢰도 ω^p
Minimum (Ψ_1)	{0.70, 0.10}
Maximum (Ψ_2)	{0.80, 0.20}
Mean (Ψ_3)	{0.75, 0.15}
Product (Ψ_4)	{0.56, 0.02}
Dempster-Shafer 이론 (Ψ_5)	{0.73, 0.03}

표 1에서 축적 규칙 Ψ_5 는 에이전트의 명성을 이용하여 다음과 같은 과정으로 신뢰도를 계산한다.

$$T = \frac{(0.8)(0.7)}{1 - [(0.8)(0.2) + (0.7)(0.1)]} = 0.73;$$

$$U = \frac{(0.1)(0.2)}{1 - [(0.8)(0.2) + (0.7)(0.1)]} = 0.03.$$

식 (3)에서 정의된 함수에 의하여, 가능한 신뢰도 값들 중에서 $\hat{\Psi}(t, u) = \Psi_1$ 인 경우 신뢰도는 $\omega^p = \{0.70, 0.10\}$ 으로 나타낼 수 있다. 표 1에 나

타난 바와 같이, 최소(minimum), 최대(maximum) 및 평균(mean) 축적 연산자를 적용한 경우에는 결과적인 신뢰도의 분포가 원래 주어진 명성의 분포와 유사하게 나타난다. 그러나, 곱(product)과 Dempster-Shafer 이론을 적용하였을 때, 원래의 명성의 분포 값들에 비하여 신뢰도의 신뢰할 수 있는 정도를 나타내는 $T(0.56$ 과 $0.73)$ 값이 신뢰할 수 없는 정도를 나타내는 $U(0.02$ 와 $0.03)$ 보다 상대적으로 큰 값이 된다. Dempster-Shafer 이론을 적용한 연산자(Ψ_5)를 사용하여 결과적으로 얻은 신뢰도 값은 $\{0.73, 0.03\}$ 이다. 즉, 명제 p 에서의 에이전트에 대한 신뢰할 수 있는 정도는 0.73 이며, 반면에 에이전트가 부정적으로 평가 받을 확률은 0.03 임을 나타낸다. 이와 같이, 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 값들을 정규화

4)하는 과정은 공감대로써의 신뢰도 형성을 가능하게 하며, 상호 대립적인 의견을 신뢰도의 계산에서 제외시키는 역할을 한다. 다양한 명성들의 분포에 대하여 축적 연산자가 어떻게 적용될 수 있는가를 보여주기 위하여 추가적인 명성들의 집합을 고려한다. 두 개의 명성 분포로부터 계산한 결과적인 신뢰도 값을 표 2에 나타낸다.

표 2. 두 개의 명성 집합으로부터 계산한 신뢰도

축적 규칙	$\omega_1^p = \{0.20, 0.80\}$, $\omega_2^p = \{0.30, 0.70\}$	$\omega_1^p = \{0.30, 0.30\}$, $\omega_2^p = \{0.50, 0.50\}$
	신뢰도 ω^p	신뢰도 ω^p
Minimum (Ψ_1)	$\{0.20, 0.70\}$	$\{0.30, 0.30\}$
Maximum (Ψ_2)	$\{0.30, 0.80\}$	$\{0.50, 0.50\}$
Mean (Ψ_3)	$\{0.25, 0.75\}$	$\{0.40, 0.40\}$
Product (Ψ_4)	$\{0.06, 0.56\}$	$\{0.15, 0.15\}$
Dempster-Shafer 이론 (Ψ_5)	$\{0.10, 0.90\}$	$\{0.21, 0.21\}$

4) 정규화는 Dempster-Shafer 이론을 적용하는 계산 식의 분모에 해당한다.

표 2의 첫번째 명성에 대한 분포는 부정적인 피드백이 긍정적인 피드백보다 상대적으로 많은 경우를 보여주며, 두번째 명성에 대한 분포는 긍정적인 피드백과 부정적인 피드백의 수가 동일한 경우이다. 표 2에 나타난 바와 같이, 결과적으로 계산된 신뢰도의 믿을 수 있는 정도와 믿을 수 없는 정도에 대한 분포는 명성들의 분포를 그대로 반영함을 보여준다.

사회적인 네트워크에 존재하는 다양한 에이전트 그룹으로부터 추출된 긍정적인 피드백, 중립적인 피드백 및 부정적인 피드백 중에서 긍정적인 피드백과 부정적인 피드백으로 구성된 명성을 정의하였으며, 다양한 명성으로부터 축적된 신뢰도를 계산하였다. 그러나, 신뢰도를 구성하는 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도는 상호 대립적인 개념이며, 온라인 집단에서의 에이전트에 대한 신뢰성을 표시하는 개념으로써의 신뢰도를 표현하기에는 충분하지 않다. 따라서, 온라인 집단에서 표시할 수 있는 특정한 값으로써의 신뢰도를 제안한다.

3.3. 평균 신뢰도

평균 신뢰도는 에이전트에 대한 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도로 구성된 분포의 중심으로 정의한다. 평균 신뢰도 $\hat{\omega}^p$ 는 다음과 같이 주어진다:

$$\hat{\omega}^p = \frac{T}{T + U} \tag{4}$$

평균 신뢰도는 에이전트의 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 구성 요소를 모두 고려한 값으로, 에이전트가 어느 정도 상호 협력할 것인가에 대한 평균값을 $0 \leq \hat{\omega}^p \leq 1$ 구간 내에서 나타낸다. 평균 신뢰도가 높으면 에이전트가 앞으로의 상호 작용에서 신뢰할 수 있는 정도 또는 협력하는 정도가 높을 것이라는 것을

의미한다. 식 (4)에 의하여 계산한 평균 신뢰도는 에이전트의 신뢰도에 대한 사회적인 견해를 제공한다.

예제 1 (계속). 위의 예제1에서 설명한 세 개의 에이전트 그룹에서 주어진 명성들의 집합들에 대한 평균 신뢰도는 표 3과 같다.

표 3에서와 같이 평균 신뢰도에 대한 계산은 특정한 에이전트의 신뢰도에 대한 하나의 측정값을 제공한다. 최소, 최대, 평균 및 곱과 같은 측정 규칙은 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도를 모두 고려한 총체적인 신뢰도 값을 나타내며, 신뢰도를 사회적인 계측값으로 표현하는데 쉽게 적용할 수 있는 연산자 [9] 가 될 수 있음을 보여준다. 곱과 Dempster-Shafer 이론을 측정 규칙으로 사용한 경우에는 다른 세 가지의 규칙을 사용한 경우보다 에이전트의 평균 신뢰도를 높은 비율로 계산하고 있음을 보여 준다. 다시 말하면, 표 3에서 첫번째 에이전트 그룹에서는 (0.88, 0.80, 0.83)의 평균 신뢰도가 간단한 신뢰도 규칙에 의하여 계산되었으며, 반면에 곱과 Dempster-Shafer 이론을 측정 규칙으로 사용한 경우에는 (0.97, 0.96)의 평균 신뢰도를 얻을 수 있었다. 또한, 두 번째 에이전트 그룹에서 부정적인 피드백이 많은 경우에 평균 신뢰도의 값이 간단한 세 가지의 규

칙을 사용한 경우 보다 상대적으로 낮은 신뢰도 (0.1) 임을 알 수 있다. 이러한 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 상징적인 대조는 곱과 Dempster-Shafer 이론을 적용한 측정 규칙이 특정한 에이전트의 신뢰도를 평가하면서 생성되는 의견의 불일치를 완전히 배제하며, 에이전트에 대한 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도에 대한 의견이 일치하는 정도만을 나타내기 때문에 발생한다.

4. 인터넷 거래에서 신뢰도 모델의 적용

4장에서는 제안한 신뢰도 모델을 인터넷 거래에 적용한다. 사회적인 네트워크에서 여러 에이전트 그룹이 존재하는 경우에 실질적인 피드백을 바탕으로 에이전트의 명성을 정의하였으며, 주어진 명성에 측정 규칙을 적용하여 에이전트의 신뢰도를 계산하였다. 또한, 에이전트에 대한 실질적인 신뢰도를 하나의 계측값으로 나타내기 위하여 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도를 고려한 분포의 중심으로써 평균 신뢰도를 정의하였다. 정형화한 신뢰도 모델이 구매자와 판매자 사이의 이성적인 의사결정과정에 어떻게 영향을 미치는가에 대하여 알아보려고 한다.

인터넷 거래 환경에서 구매자(buyer: M)와 판매자(seller: N)가 있다고 가정하자. 이때, 계약가격

표 3. 세 개의명성 집합에서 계산한 평균신뢰도

측정 규칙	$\omega_1^p = \{0.80, 0.10\}$	$\omega_1^p = \{0.20, 0.80\}$	$\omega_1^p = \{0.30, 0.30\}$
	$\omega_2^p = \{0.70, 0.20\}$	$\omega_2^p = \{0.30, 0.70\}$	$\omega_2^p = \{0.50, 0.50\}$
평균 신뢰도 $\hat{\omega}^p$			
Minimum (Ψ_1)	0.88	0.22	0.50
Maximum (Ψ_2)	0.80	0.27	0.50
Mean (Ψ_3)	0.83	0.25	0.50
Product (Ψ_4)	0.97	0.10	0.50
Dempster-Shafer 이론(Ψ_5)	0.96	0.10	0.50

을 R 계약의 양적인 규모 또는 크기를 s 라고 하자. 특정한 s 가 주어진 경우에, 구매자가 일정한 상품을 구매함으로써 얻는 만족도를 나타내는 함수를 $V(s)$ 라 하고, 판매자가 상품을 생산하기 위하여 소요되는 비용을 나타내는 함수를 $C(s)$ 라고 하자. 구매자의 평균 신뢰도를 $\hat{\omega}^M$ 라고 하면, 구매자의 예상 유틸리티(Expected Utility: EU)는 다음과 같다⁵⁾:

$$EU_M(s) = \hat{\omega}^M V(s) - R \quad (5)$$

구매자의 신뢰도가 높으면 구매자가 일정한 상품을 구매함으로써 얻는 만족도와 곱이 커지므로 구매자의 예상 유틸리티 $EU_M(s)$ 는 높아지게 된다. 유사한 방식으로 판매자의 평균 신뢰도를 $\hat{\omega}^N$ 이라고 하면, 판매자의 예상 유틸리티는 다음과 같이 정의된다:

$$EU_N(s) = \hat{\omega}^N R - C(s) \quad (6)$$

판매자의 신뢰도가 높으면 상품을 판매하여 얻을 수 있는 이윤과의 곱이 커지므로 판매자의 예상 유틸리티 $EU_N(s)$ 는 높아지게 된다. 식 (5)와 (6)에 정의한 예상 유틸리티의 계산에서 평균 신뢰도는 구매자와 판매자의 신뢰할 수 있는 정도 또는 상호협력하는 정도로 이해된다. 인터넷 거래에서 Nash 균형이론(equilibrium) [2, 12]은 구매자와 판매자가 서로 만족할 수 있는 최선의 선택을 유도하며, 이러한 이론에 근거하여 다음과 같이 구매자와 판매자 모두에게 이익이 되는 계약을 가능하게 한다:

$$\arg \max_R (\hat{\omega}^M V(s) - R)(\hat{\omega}^N R - C(s)) \quad (7)$$

식 (7)에 정의된 Nash 균형이론에서 구매자와

판매자의 상호이익이 최대가되는 계약가격 R 을 얻기 위하여, R 에 대한 1차 미분 값을 구한다:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dR}(\hat{\omega}^M V(s) - R)(\hat{\omega}^N R - C(s)) &= 0; \\ \frac{d}{dR}(-\hat{\omega}^N R^2 + (\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) + C(s))R - \hat{\omega}^M V(s)C(s)) &= 0; \\ \therefore R &= \frac{\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) + C(s)}{2\hat{\omega}^N}. \end{aligned}$$

이와 같이, 구매자와 판매자가 서로 동의하는 계약가격 R 이 Nash 균형이론에서 결정될 수 있다. 계산한 R 을 식 (5)와 (6)에 대입하여 정리하면, 구매자와 판매자의 예상 유틸리티는 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} EU_M(s) &= \hat{\omega}^M V(s) - R \\ &= \hat{\omega}^M V(s) - \left(\frac{\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) + C(s)}{2\hat{\omega}^N} \right) \quad (8) \\ &= \left(\frac{\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) - C(s)}{2\hat{\omega}^N} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EU_N(s) &= \hat{\omega}^N R - C(s) \\ &= \hat{\omega}^N \left(\frac{\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) + C(s)}{2\hat{\omega}^N} \right) - C(s) \quad (9) \\ &= \left(\frac{\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) - C(s)}{2} \right) \end{aligned}$$

식 (8)과 (9)와 같이 표현된 구매자와 판매자의 예상 유틸리티를 식 (7)에 적용하면, 각각의 분자가 최대가 될 때 구매자와 판매자 모두가 만족할 수 있는 선택이 이루어짐을 알 수 있다.

예제 2. 가령, 구매자가 특정한 상품을 구입하여 얻을 수 있는 만족도 함수 $V(s)$ 를 $24ln(2s)$ 라 가정하고, 판매자가 특정한 상품을 생산하기 위하여 필요한 비용 함수 $C(s)$ 를 s^2-2s+3 라고 하자⁶⁾. 예를 들어, 구매자와 판매자의 평균 신뢰도가

5) 예상 유틸리티에 대한 식의 표현은 [2]에서 제안한 표기법을 사용한다.

$\hat{\omega}^M = \hat{\omega}^N = 0.8$ 일 때, 계약의 양적인 규모 또는 크기 s 는 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{d}{ds}(\hat{\omega}^M \hat{\omega}^N V(s) - C(s)) = 0;$$

$$\frac{d}{ds}(0.8 \times 0.8 \times 24 \ln(2s) - (s^2 - 2s + 3)) = \left(-2s + 2 + 0.8 \times 0.8 \times 24 \times \frac{2}{s}\right) = 0;$$

$\therefore s = 4.45$

즉, 구매자와 판매자는 서로의 예상 유틸리티를 최대화하며, 구매자의 만족도 함수와 판매자의 비용 함수가 결정되면, 계약의 양적인 규모는 위와 같이 $s=4.45$ 로 결정된다. 이때, 구매자와 판매자의 예상 유틸리티 또한 계산되며, 식 (8)과 (9)로부터 각각의 값은 $EU_M(s) = 19.98$ 과 $EU_N(s) = 15.98$ 이다.

상대적으로 낮은 신뢰도에 대하여 계약의 양적인 규모가 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여, 구매자의 평균 신뢰도는 위의 예와 동일하게 $\hat{\omega}^M = 0.8$ 이라 하고, 판매자의 평균 신뢰도를 $\hat{\omega}^N = 0.2$ 로 가정하자. 위의 계산을 반복하면 $s=2.52$ 가 되며, 예상 유틸리티는 각각 $EU_M(s) = 6.97$ 과 $EU_N(s) = 1.39$ 가 된다. 이러한 계산으로부터 얻을 수 있는 결론은 에이전트의 평균 신뢰도가 커지면 계약의 양적인 규모(예제에서 2.52로부터 4.45로 증가)와 구매자와 판매자의 예상 유틸리티 값이 각각 증가함을 알 수 있다.

5. 결론

사회적인 네트워크에서 신뢰도 모델은 안전하고 성공적인 거래를 위하여 지속적으로 연구되어 왔다. 본 논문은 여러 개의 에이전트 그룹과 연관

된 공감대를 축적 함으로써 얻을 수 있는 신뢰도의 계산적 모델에 기여한다. 신뢰도의 계산적 모델을 위하여 사회적인 상호작용의 결과로 나타난 피드백을 바탕으로 명성을 정형화 하였으며, 명성들의 집합에 축적 규칙을 적용하여 신뢰도를 계산하였다. 또한, 에이전트의 신뢰할 수 있는 정도와 신뢰할 수 없는 정도를 모두 고려한 측정값으로써의 평균 신뢰도를 정의하였다. 구체적인 예제를 통하여 제안한 신뢰도 모델이 어떻게 형성되는가에 대하여 설명하였다. 신뢰도 모델이 실질적으로 어떻게 사용될 수 있는가를 보이기 위하여 인터넷 거래에서 신뢰도가 구매자와 판매자의 의사결정과정에 미치는 영향을 제시하였다. 본 논문을 통하여 계산 가능한 신뢰도 모델과 의사결정 과정이 여러 에이전트가 존재하는 실제 환경에 적용될 수 있기를 기대한다.

현재 진행하고 있는 연구는 신뢰도 모델을 인터넷 상거래에 적용하고 있다. 제안한 신뢰도 모델과 다른 모델과의 비교를 위하여 실질적인 테스트 환경을 구축하고 있으며, 완성된 테스트 환경에서 다양한 신뢰도 모델을 평가할 수 있을 것이다. 다시 말하면, 온라인 환경에서 얻을 수 있는 피드백들로부터 에이전트의 명성을 정의하며, 축적된 결과에 대한 신뢰도 및 평균 신뢰도를 계산할 것이다. 궁극적으로 제안한 신뢰도 모델이 구매자의 만족도와 판매자의 이윤에 어떠한 영향을 미치는가를 실험적으로 검증할 것이다. 또한, 평균 신뢰도가 높은 에이전트 그룹과 평균 신뢰도가 낮은 에이전트 그룹에서의 전체 이득(global profit)을 계산하며, 이러한 계산을 통하여 신뢰도가 바람직한 사회에 중요한 요소가 될 수 있음을 보일 것이다.

참고 문헌

- [1] R. Axelrod, The Evolution of Cooperation, Basic Books, New York (1984)
- [2] S. Braynov and T. Sandholm, Contracting with

6) 일반적으로 구매자의 만족도는 상품을 구매한 양에 정비례하지 않으며, 반면에 판매자가 상품을 생산하는 비용은 상품의 양에 비례적으로 증가한다.

- Uncertain Level of Trust, *Computational Intelligence*, Vol. 18, No. 4 (2002) 501 - 514
- [3] J. Coleman, *Foundations of Social Theory*, Harvard University Press, Cambridge, MA (1990)
- [4] A. Daskalopulu, T. Dimitrakos, and T. Maibaum, Evidence-Based Electronic Contract Performance Monitoring, *INFORMS Journal of Group Decision and Negotiation*, Vol. 11 (2002) 469-485
- [5] A.P. Dempster, A Generalization of Bayesian Inference, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Vol. 30 (1968) 205-247
- [6] J. Golbeck, Generating Predictive Movie Recommendations from Trust in Social Networks, *Proceedings of the Fourth International Conference on Trust Management*, Pisa, Italy (2006)
- [7] A. Josang and S.J. Knapskog, A Metric for Trusted Systems, *Proceedings of the 21st National Information Systems Security Conference*, Virginia, USA (1998)
- [8] M. Kinader and K. Rothermel, Architecture and Algorithms for a Distributed Reputation System, *LNCS Vol. 2692*, Springer-Verlag (2003) 1-16
- [9] L.I. Kuncheva, J.C. Bezdek, and R. Duin, Decision Templates for Multiple Classifier Fusion: An Experimental Comparison, *Pattern Recognition*, Vol. 34 (2001) 299-314
- [10] S. Marsh, Formalizing Trust as a Computational Concept, Ph.D. thesis, University of Stirling, UK (1994)
- [11] L. Mui, M. Mohtashemi, and A. Halberstadt, A Computational Model of Trust and Reputation, *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences* (2002)
- [12] J. Nash, The Bargaining Problem, *Econometrica*, Vol. 28 (1950) 155-162
- [13] P. Resnick and R. Zeckhauser, Trust Among Strangers in Internet Transactions: Empirical Analysis of eBay's Reputation System, *The Economics of the Internet and E-Commerce*, Vol. 11, *Advances in Applied Microeconomics*, Elsevier (2002)
- [14] J. Sabater and C. Sierra, Review on Computational Trust and Reputation Models, *Artificial Intelligence Review*, Vol. 24, No. 1 (2005) 33-60
- [15] G. Shafer, Perspectives on the Theory and Practice of Belief Functions, *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 3 (1990) 1-40
- [16] G. Shafer and J. Pearl, eds., *Readings in Uncertain Reasoning*, Chapter 3 Decision Making, Chapter 7 Belief Functions, Morgan Kaufmann Publishers (1990)
- [17] L.A. Zadeh, Review of Books: A Mathematical Theory of Evidence, *AI Magazine*, Vol. 5, No. 3 (1984) 81-83

● 저 자 소개 ●



노 상 욱

1987년 서강대학교 생명과학과 졸업(학사)

1989년 서강대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)

1999년 텍사스주립대학교(Arlington) 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사)

2000~2002 미조리주립대학교(Rolla) 컴퓨터학과 교수

2002~현재 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 교수

관심분야 : 지식관리, 기계학습, 신뢰도, 지능형 에이전트 시스템, 인공지능, 등

E-mail : sunoh@catholic.ac.kr