

# 소셜네트워크에서 신뢰의 전이성과 결합성에 관한 연구

송 희 석\*

## A Study on Transitivity and Composability of Trust in Social Network

Hee Seok Song\*

### Abstract

Trust prediction between users in social network based on the trust propagation assumes properties of transitivity and composability of trust propagation. But it has been hard to find studies which test on how those properties have been operated in real social network. This study aims to validate if the longer the distance of trust paths and the less the numbers of trust paths, the higher prediction error occurs using two real social network data set. As a result, the longer the distance of trust paths, we can find higher prediction error when predicting level of trust between source and target users. But we can not find decreasing trend of prediction error though the possible number of trust paths between source and target users increases.

Keywords : Trust, Social Network, Trust Propagation, Transitivity, Composability, Trust Path

논문접수일 : 2011년 06월 15일      논문게재확정일 : 2011년 11월 10일

※ 이 논문은 2011학년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 한남대학교 경영정보학과 교수, e-mail : hssong@hannam.ac.kr

## 1. 서 론

최근 소셜네트워크 서비스는 웹 뿐 아니라 스마트폰, 스마트TV 등 다양한 매체의 주요 서비스로 자리매김하면서 사용자층이 급속히 증가하고 있다. 소셜네트워크 서비스는 사용자간 소통의 채널이자 정보와 경험의 공유를 확대한다는 점에서 개인 뿐 아니라 조직에서도 매우 유용한 채널로 활용되고 있다. 그러나 정보의 과다로 인한 정보 탐색의 지연, 거짓정보 또는 타인에 의해 의도된 정보를 이용하여 의사결정을 함으로써 발생하는 위험부담과 같은 다양한 역기능이 동시에 존재하여 이에 대한 보완이 절실히 요구되고 있다[Abdul-Rahman and Hailes, 2000]. 특히 웹2.0과 같이 공유와 개방의 플랫폼을 지향할수록 사용자 참여는 확대될 수 있으나, 폐쇄적 플랫폼에 비해 통제의 부재로 인한 다양한 역기능이 발생하게 된다. 유·무선인터넷으로 호텔을 예약하고자 하는 사용자는 다양한 리뷰들을 얼마나 신뢰할 수 있는지 의문을 던지는 경우가 많다. 이는 간혹 해당 호텔관계자가 고객을 가장하여 사실과 다르게 좋은 평가의 글을 올렸을 수도 있기 때문이다. 주식투자 정보게시판에서는 주가 조작을 시도하는 누리꾼의 왜곡된 기업 정보가 게시될 가능성도 있다. 불편한 증상 때문에 우연히 네이버 지식에서 검색한 결과를 보고 자신의 병명을 증병으로 오인하여 밤잠을 설치는 사용자도 있다. 웹상의 사용자와 사용자가 올린 정보에 대한 막연한 불확실성과 우려는 전자상거래를 위해 개발된 무결성, 인증, 부인방지 등을 위한 기술적 보안만으로는 해결이 불가능하다. 즉 소셜네트워크에서 사용자간 안전한 정보와 경험의 교류를 위한 대안은 사용자간 신뢰도를 활용하여 정보를 필터링하는 것으로, 이를 위해 사용자간 신뢰관계를 추론하는 연구가 최근

주목 받고 있다.

소셜네트워크에서 사용자간 신뢰도 측정모형을 구축하는 접근법 중 가장 많이 시도되고 있는 방법이 신뢰전파(Trust Propagation)에 기반 한 신뢰측정방법이다. 신뢰전파에 기반 한 신뢰측정 방법은 사용자들 간 친구관계를 따라 신뢰는 전파될 수 있다는 점에 착안하여 미지의 사용자에게 대한 신뢰를 추정하는 방법으로 원천사용자로부터 미지의 타겟 사용자에게 이르는 신뢰경로를 탐색하는 문제로 정의되기도 한다. 신뢰전파에 기반 한 신뢰추론 방법에서는 신뢰의 전이성(Transitivity)과 결합성(Composability) 특성을 이용하여 신뢰를 추론하게 된다. 일반적으로 사람들은 친구의 의견을 신뢰하는 경향이 있으며, 원천사용자가 친구로부터 미지의 타겟 사용자를 추천 받았다면, 원천사용자는 친구를 신뢰하고, 친구는 타겟 사용자를 신뢰하기 때문에 원천사용자가 미지의 타겟 사용자를 신뢰할 수 있다는 결론이 유도되며 이러한 성질을 신뢰의 전이성이라 한다. 이러한 전이성 성질에 따라 신뢰관계는 사용자간 연결된 지인관계 즉 신뢰체인을 따라 무한히 전파될 수 있으며(이를 '신뢰경로'라 함) 이를 이용한 계산모형을 구축하여 신뢰를 추론하는 것이 가능해진다[Golbeck, 2005; Guha et al., 2004; Josang et al., 2006; Malhotra et al., 2002; Ziegler and Golbeck, 2007].

한편 미지의 타겟 사용자에게 대해, 그를 알고 있는 특정 개인의 의견만으로 그를 얼마나 신뢰할 수 있는지 판단하기보다는 다양한 사람들의 의견을 종합하여 판단할 때 그에 대한 보다 정확한 신뢰도 평가가 가능하다는 것이 신뢰의 결합성이다. 즉 원천사용자로부터 미지의 타겟 사용자에게 이르는 신뢰경로가 병렬적으로 많이 존재할수록 원천사용자의 타겟 사용자에게 대한 신뢰도 평가가 보다 정확해진다는 것이다. 이는 현

실에서 한 친구의 추천으로 타겟 사용자의 평판을 판단하기보다 다양한 친구의 의견을 종합하여 그에 대한 평판을 판단하는 것이 보다 정확한 것과 동일한 의미를 가진다.

신뢰의 전이성과 결합성 특성에 기반하여 다양한 신뢰 예측모형이 개발되고 있으나, 최근 활성화되고 있는 소셜네트워크에서 신뢰의 전이성과 결합성이 어떻게 작동되고 있는지를 확인한 연구는 찾아보기 어렵다. 먼저 신뢰의 전이성과 관련하여, Golbeck[2005], Golbeck[2008], Guha et al.[2004], Josang et al.[2006], Kim and Song [2011], Song et al.[2005] 등 다수의 연구에 의하면, 원천사용자의 타겟 사용자에 대한 신뢰수준을 예측할 때 두 사용자간 연결된 신뢰경로의 거리가 멀수록 신뢰예측의 정확도가 저하될 것으로 가정하고, 신뢰추론 모형에 할인율(Discount Rate)을 도입하여 멀리 있는 친구의 추천정보를 할인하여 신뢰예측에 사용하고 있다. 즉 친구의 친구가 타겟 사용자를 신뢰한다는 정보보다 친구가 타겟 사용자를 신뢰한다는 정보가 더 정확한 정보일 가능성이 높다는 것이다. 그러나 원천사용자가 미지의 타겟 사용자를 얼마나 신뢰할 수 있는지를 측정하는 연구에서 과연 두 사용자간 연결된 신뢰 경로의 거리가 멀수록 신뢰도 예측의 정확성이 저하되는지를 실제 소셜네트워크에서 실험을 통해 검증한 연구는 찾아볼 수 없다. 마찬가지로 신뢰의 결합성과 관련하여 원천사용자로부터 미지의 타겟 사용자에 이르는 신뢰경로가 병렬적으로 많이 존재할수록 예측된 신뢰도가 보다 정확한지를 검증한 연구 결과는 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구에서는 FilmTrust와 Advogato 두 소셜네트워크 사이트를 대상으로 미지의 두 사용자간 신뢰수준을 예측해 보고, 두 사용자간 신뢰 경로거리가 가까울수록, 그리고 다양한 경로가 병렬적으로 존재할수록 신뢰도에 대한 예측오차가 작아지는지를 검증해 보고자 한다.

## 2. 기존연구

### 2.1 신뢰의 개념

신뢰는 여러 학문분야에서 연구자의 관점에 따라 다양한 개념으로 정의되고 있다. 우선 심리학적 관점에서 신뢰는 ‘개인적 특성’으로, 경제학적 관점에서 신뢰는 ‘개인의 합리적인 선택을 위한 계산된 위험부담’으로, 사회학적 관점에서 신뢰는 개인이 타인과 공유하는 ‘개인수준이 아닌 사회적 관계의 특성 중 일부’로 정의하고 있다. 또한 신뢰를 개념적 성격에 따라 심리적 상태와 행위적 상태로 구분하기도 한다. 심리적 상태의 관점에서 신뢰는 ‘상대방이 선의를 가지고 있으며 선의를 수행할 역량을 가지고 있다고 확신하는 정도’[Cook and Wall, 1980], 또는 ‘사회적 관계속에서 발생하는 상대방에 대한 호의적인 믿음’ [Lewis and Weigert, 1985; Lewicki and Bunker, 1996]으로 정의되며, 행위적 상태의 관점에서는 ‘타인이 충분한 역량(competence)을 가지고 개방적(open)이며 나의 복지에 대해 염려(concerned)하고 의존(reliable)할 수 있다는 신념에 기반 하여 타인에게 기꺼이 자신을 취약한(vulnerable) 상태로 맡겨두는 행동’[Mishra, 1996]으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 신뢰가 사용자의 상호작용 과정을 통해 형성되는 개념으로 인식하여 행위적 상태의 관점에서 신뢰를 정의하고 사용하기로 한다. 한편, 기존연구에 의하면 신뢰는 글로벌(Global) 신뢰와 로컬(Local)신뢰로 구분된다. 글로벌신뢰는 신뢰 평가자를 구분하지 않고 모든 사람들에게 공통되는 객관적인 신뢰를 의미하며, 평판(Reputation)이 대표적인 예이다. 그러나 신뢰는 동일한 타겟 사용자에 대해 사람마다 다른 신뢰수준을 가질 수 있다는 점에서 주관적인 특성을 가진다. 따라서 본 연구에서는 사용자들 간의 주관적인 신뢰인 로컬신뢰를 연구의 대상으로 한다. 신뢰는 사용자에 의해 명시적으로

표현될 수도 있고, 사용자 간 상호작용 행위를 모니터링하여 간접적으로 추론을 통해 측정될 수도 있다.

## 2.2 신뢰전파 기반의 신뢰추론 연구

신뢰에 대한 연구는 조직학, 사회 심리학, 경제학, 마케팅 등 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 이중 신뢰에 대한 계산모형을 구축하기 위한 연구는 1990년대부터 보안 및 암호화, 인증 및 디지털서명, P2P시스템, 게임이론, 에이전트 상호작용, 유비쿼터스 컴퓨팅, 추천시스템 등 컴퓨터 과학의 다양한 분야에서 진행되어 왔다. 그러나 사람들 간의 사회적 관계 측면에서 신뢰를 파악하고자 하는 연구는 소셜네트워크 서비스의 성장과 함께 매우 최근에 시도되기 시작했다. 기존의 신뢰 연구 중 계산모형에 기반한 신뢰연구의 공통된 연구문제는 “직접적으로 연결되어 있지 않은 사용자들 간의 신뢰를 어떻게 측정할 수 있는가?”이다. Golbeck[2008] 또한 사이언스지에 발표한 논문 “Weaving a Web of Trust”에서 소셜네트워크에서 신뢰에 대한 연구의 필요성을 강조하고, 이 분야의 연구가 매우 최근에 시도되기 시작하였으며, 다양한 적용 가능 분야가 있음에도 불구하고 아직 신뢰에 대한 체계적인 연구와 이를 기반으로 한 응용시스템의 개발이 부족함을 지적한 바 있다.

소셜네트워크에서 사용자간 신뢰를 추론하기 위한 접근법은 사용자간 신뢰정보의 명시적 표현이 있는 경우와 없는 경우[Kim et al., 2008]로 구분된다. 이 중 사용자간 신뢰정보가 명시적으로 표현된 소셜네트워크의 경우, 전체 네트워크에서 신뢰정보의 희박성(Sparsity)문제가 발생하며, 이를 해소하기 위해 신뢰전파에 기반 한 신뢰추론 모형을 구성하게 된다. Golbeck[2005]은 원천사용자의 타겟 사용자에 대한 신뢰수준을 예측하

기 위하여 TidalTrust 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 원천사용자가 타겟 사용자를 직접적으로 알고 있는 일차이웃에게 타겟 사용자에 대한 신뢰수준을 질문하여 파악하고 이들을 가중평균하는 방식으로 신뢰수준을 예측한다. 이 때 가중치로 사용되는 값은 원천사용자로부터 타겟 사용자의 일차이웃에 이르는 신뢰경로의 신뢰강도(Strength of Trust Path)이다. 이 값은 신뢰경로상의 각 신뢰링크의 최소 신뢰값으로 결정된다. TidalTrust 알고리즘은 비교적 높은 정확도의 신뢰예측이 가능함을 보여 주었으나 신뢰예측에 사용된 경로를 원천사용자로부터 타겟 사용자에 이르는 최단거리로만 제한하였고, 명시적으로 표현된 신뢰정보가 연속형 값을 취하는 경우만 적용가능하다는 문제점이 존재한다. Guha et al.[2004]은 신뢰와 비신뢰를 결합한 신뢰전파 모형을 제시하였다. 이 모형은 신뢰이성에 의한 신뢰전파 외에 내(A)가 신뢰하는 친구(B)를 동시에 신뢰하는 타인(C)이 신뢰하는 자(D)도 내가 신뢰할 수 있다는 동시 참조성(Co-citation)을 이용하여 신뢰전파가 이루어질 수 있음을 주장하고 이러한 방법으로 신뢰관계망의 희박성을 감소시킬 수 있다고 하였다. 이 알고리즘에서도 상대적으로 높은 정확도의 신뢰예측이 이루어졌으나, 소셜네트워크에서 비신뢰가 명시적으로 표현된 사이트는 거의 없기 때문에 실제 적용가능성은 낮다고 볼 수 있다.

Josang et al.[2006]은 불확실성과 불완전한 지식을 포함하는 상황에서 예측이 가능한 Subjective Logic 프레임워크에 기반하여 신뢰를 유도하는 모형을 제안하였다. 이를 위해 신뢰의 전이성과 결합성을 간단하게 표현하는 체계와 복잡한 신뢰관계망을 단순화시키는 표현체계를 제시하였다. 이들은 기존연구에서 찾아볼 수 없는 색다른 표현체계와 접근법으로 신뢰추론을 시도하였고 부정적인 신뢰도 전파될 수 있음을 보여주었으

나, 수치적 예제(Numerical Example)만 제시함으로써 추론의 정확도에 대한 비교 평가가 되지 않아 유용성 확인이 곤란하고, 신뢰 경로에 싸이클이 존재하는 경우, 이를 해소하기 위한 표현체계가 제시되지 않았다. 본 연구에서는 기존 연구에 제시된 신뢰추론 모형을 기반으로 하여 예측 정확도를 높일 수 있는 신뢰추론모형을 별도로 구성하고 이를 토대로 신뢰전파의 전이성 및 결합성 특성에 따라 신뢰예측의 정확도가 어떻게 달라지는지를 규명해 보고자 한다.

### 3. 신뢰추론 모형의 구축

신뢰전파의 전이성과 결합성 특성에 따라 신뢰도 예측의 정확도가 어떻게 달라지는지 실험

하기 위해서는 신뢰전파 기반의 신뢰예측 모형을 구성하여야 한다. 여기에서는 신뢰전파경로의 탐색 및 신뢰추론 전략을 포함한 신뢰예측 모형을 구성한다. 신뢰전파에 기반 한 신뢰예측 모형은 원천사용자로부터 미지의 타겟 사용자에게 이르는 신뢰경로를 탐색하는 부분과 신뢰도추론 부분으로 구성된다. 먼저 신뢰경로 탐색 부분은 <그림 1>과 같은 알고리즘에 의해 수행된다. 원천사용자로부터 타겟 사용자에게 이르는 신뢰경로탐색 방법은 너비우선탐색(Breadth First Search)에 의해 수행되고, 최단경로만이 아닌 모든 가능한 경로를 포함한다. <그림 1> 알고리즘의 최종 결과는 원천사용자로부터 타겟 사용자에게 이르는 모든 도달 가능한 경로로 구성된 신뢰망 그래프이다. 먼저 1행에서 타겟 사용자를 직접 신뢰하

Input:

*trust\_network*  $G=(V, A)$  where a set  $V$  is a list of all users and a set  $A$  is ordered pairs of users  $(u_i, u_j, \tau(u_i, u_j))$

$\tau(u_i, u_j)$  is a degree of direct trust value from user  $u_i$  toward user  $u_j$

source user  $u_s$ ; target user  $u_t$ ; a minimum trust threshold  $\lambda$

Output:

*trust\_network*  $G_{u_t}$  which starts from a source user; *reachable\_inlink\_neighbors*(target user  $u_t$ )

1. find  $N(u_t)$  = users who directly connect to target user  $u_t$  (i.e. inlink-neighbors of target user  $u_t$ ) from *trust\_network*  $G$
2.  $dist=0$ ; *trust\_neighbors*[ $dist$ ]=source user  $u_s$ ;
3. add source user  $u_s$  to *trust\_network*  $G_{u_t}$ ;
4. Do while (*trust\_neighbors*[ $dist$ ] is not empty)
5.  $dist++$ ;
6. *trust\_neighbors*[ $dist$ ]= users reachable from *trust\_neighbors*[ $dist - 1$ ] and  $\forall_j \tau(u_i, u_j) \geq \lambda$ ;
7. for each *edge*  $(u_i, u_j)$  from *trust\_neighbors*[ $dist - 1$ ] to *trust\_neighbors*[ $dist$ ]
8. if  $(u_i \neq u_j)$  and  $\tau(u_i, u_j) \geq \lambda$ ,
9. then add *edge*  $(u_i, u_j, \tau(u_i, u_j))$  to *trust\_network*  $G_{u_t}$ ;
10. add all users in *New\_visit*={ $u_i | u_i \in \text{trust\_neighbors}[dist]$  and  $u_i \notin \text{trust\_neighbors}[dist - 1]$ };
11. add users in  $\{u_i | u_i \in \text{New\_visit}$  and  $u_i \in N(u_t)\}$  into *reachable\_inlink\_neighbors*(target user  $u_t$ );
12. reset *trust\_neighbors*[ $dist$ ] = users in  $\{u_i | u_i \in \text{New\_visit}$  and  $u_i \notin N(u_t)\}$ ;
13. For each *edge*  $(u_i, u_j)$  from *reachable\_inlink\_neighbors*(target user  $u_t$ ) to target user  $u_t$ ,
14. add *edge*  $(u_i, u_j, \tau(u_i, u_j))$  to *trust\_network*  $G_{u_t}$ ;
15. add target user  $u_t$  to *trust\_network*  $G_{u_t}$ ;

<그림 1> 신뢰경로 탐색 및 구성을 위한 알고리즘

는 모든 1차 이웃을 발견한다. 2행에서는 이웃집합과 관련된 변수를 초기화한다. 3행에서는 원천사용자를 먼저 신뢰망 그래프에 추가하고, 4행부터 원천사용자가 신뢰하는 이웃을 찾아서 신뢰망 그래프에 추가하게 된다. 이 때 신뢰도가 최소 경계값인  $\lambda$  이상인 신뢰경로만을 선별하게 되며 (6행) 7행에서 9행에서는 발견된 신뢰경로를 신뢰망 그래프에 추가한다. 10행부터 12행에서 추가적인 다른 이웃 탐색을 위한 변수값 재설정 이루어지고, 13행부터 15행에서 타겟 사용자를 신뢰하는 1차 이웃으로부터 타겟 사용자까지의 링크를 신뢰망 그래프에 추가함으로써 알고리즘이 종료된다.

원천사용자로부터 타겟사용에 이르는 모든 신뢰경로가 발견되면, 신뢰도에 대한 추론이 이루어진다. 신뢰추론 부분에서는 신뢰추론의 정확성을 향상시킬 수 있는 최적 신뢰추론 전략들을 발견하고 이를 평가하는 것이 필요하다. Golbeck [2005]은 신뢰전파 네트워크상에서 최단 신뢰경로가 신뢰추론에 있어서 가장 바람직한 경로임을 주장하고 TidalTrust 알고리즘을 제시한 바 있다. 이는 원천 사용자로부터 타겟 사용자에 이르는 경로가 길어질수록 신뢰추론의 신뢰성(Reliability)이 저하될 것이라는 사실에 기반하고 있다.

이와는 반대로, Lesani and Montazeri[2009]는 높은 신뢰도를 나타내는 긴 경로가 낮은 신뢰도를 나타내는 짧은 경로보다 신뢰성이 더 높을 것이라고 주장하였다. 한편, 사람들은 여러 다른 경로를 통해 수집된 정보를 종합함으로써 타인에 대한 신뢰도를 평가하는 경향이 있다. 따라서 신뢰전파 네트워크상에서 다양한 신뢰경로들을 종합하는 방법에 따라 신뢰추론의 정확성이 달라질 수 있다. 이와 같은 신뢰경로의 길이와 종합화 방법에 따라 다양한 신뢰경로 발견 전략이 존재하게 된다. 저자들의 선행연구[Kim and Song, 2011]에 의하면 신뢰 경로의 길이 측면에서는 최

단경로를 이용한 신뢰예측보다는 모든 경로를 이용한 신뢰예측 시 예측 정확도가 높았다. 또한, 신뢰경로를 종합하는 방법에는 Min-Max 방법과 가중평균 방법이 있다. Min-Max 방법은 원천사용자로부터 타겟 사용자에 이르는 신뢰경로의 강도(Strength of Trust Path)를 경로상의 여러 신뢰링크의 신뢰값 중 최소 신뢰값으로 결정하고, 신뢰경로의 강도가 가장 높은 값을 신뢰예측치로 사용하는 방법이다. 가중평균 방법은 타겟 사용자의 1차 이웃들의 신뢰도 정보를 원천사용자로부터 1차 이웃에 이르는 신뢰경로의 경로강도 정보로 가중평균하는 방법이다. 신뢰경로를 종합하는 방법에 있어서 선행연구결과 가중평균 방법으로 종합하되 원천사용자로부터 타겟 사용자의 1차 이웃에 이르는 신뢰경로의 강도는 Min-Max 방법을 사용하는 결합방법(Combination Method)이 가장 우수한 예측 정확도를 보여준바 있다. 따라서 본 연구에서는 원천사용자로부터 타겟 사용자에 이르는 모든 가능한 경로로부터 얻어진 신뢰수준을 결합방법에 의해 종합함으로써 최종 신뢰도를 예측하고자 한다.

본 연구에서 사용할 신뢰예측모형은 다음 수식으로 정리될 수 있다. 원천사용자  $u_s$ 의 타겟 사용자  $u_t$ 에 대한 신뢰도  $T(u_s, u_t)$ 는 다음과 같은 식으로 추정한다.

$$T(u_s, u_t) = \frac{\sum_{u_i \in u_s \text{ 신뢰하는 1차 이웃}} ST(u_s, u_i) \times \tau(u_i, u_t)}{\sum_{u_i \in u_t \text{ 신뢰하는 1차 이웃}} ST(u_s, u_i)} \quad (1)$$

식 (1)에서 원천사용자  $u_s$ 의 타겟 사용자  $u_t$ 에 대한 신뢰도  $T(u_s, u_t)$ 는 타겟 사용자를 신뢰하는 모든 1차 이웃의 신뢰도를 원천사용자로부터 1차 이웃까지의 신뢰경로 강도  $ST(u_s, u_i)$ 로 가중평균하여 계산한다. 원천사용자로부터 1차 이웃까지의 신뢰경로 강도  $ST(u_s, u_i)$ 는 식 (2)와

같이 Min-Max 방법을 사용하여 계산한다.

$$ST(u_s, u_t) = \max_{u_j \in u_s \text{가 신뢰하는 1차 이웃}} [\min\{\tau(u_s, u_j), ST(u_j, u_t)\}] \quad (2)$$

식 (2)에서  $\tau(u_s, u_j)$ 는 사용자  $u_s$ 의  $u_j$ 에 대한 신뢰도로 사용자에게 의해 명시적으로 표현된 값이다. 여기서 신뢰경로의 강도는 경로상의 여러 신뢰링크의 신뢰값 중 최소 신뢰값으로 결정하고, 신뢰경로의 강도가 가장 높은 값을 신뢰예측치로 사용하게 된다.

## 4. 실험

본 장에서는 무료 소프트웨어 개발을 위한 온라인 공동체인 Advogato(<http://advogato.org>)와 영화리뷰와 리뷰어간 신뢰정보의 명시적 표현이 담긴 FilmTrust(<http://trust.mindswap.org/Film-Trust>) 두 소셜네트워크 사이트를 대상으로 임의의 두 사용자 간 신뢰전파 기반의 신뢰도를 예측하고, 신뢰전파의 전이성 및 결합성 특성에 따라 예측 정확도의 차이가 나타나는지를 조사한다.

### 4.1 실험 데이터 셋과 실험방법

Advogato는 무료 소프트웨어 개발에 참여하는 사용자들로 구성된 소셜네트워크 사이트이다. Advogato에서는 외부 공격자들로부터 개발자들과 개발 소프트웨어를 보호하기 위해 개발자들 간 신뢰도를 표현하는 체계를 도입하고 있다. Advogato 사용자들은 다른 사용자를 Observer, Apprentice, Journeyer, Master 등의 4가지 수준으로 구분하여 각 각에 대한 신뢰도를 명시적으로 부여하고 있다. Advogato에서 사용자 간에 명시적으로 표현된 신뢰정보는 2000년부터 시계열별로 웹상에 공개되어 있으며, 이 중 2011년 2월 15일 9시 18분에 수집

된 데이터 셋을 이용하여 실험을 진행 하였다. 실험은 Intel Core 2 Duo CPU, 2.33GHz, 1.95 GB RAM, Windows XP 환경의 컴퓨터에서 자바 프로그램(JDK 1.6)을 개발하여 수행하였다.

수집된 데이터 셋은 56,569개의 신뢰링크(원천 사용자, 타겟 사용자, 신뢰도의 세 가지 필드로 구성)를 포함하고 있다. 이 데이터 셋에서 Observer는 0, Apprentice는 6, Journeyer는 8, Master는 10의 신뢰도 값을 부여하여 연속형 척도로 변환하였다. 실험을 위해 이 데이터 셋에서 무작위로 4,000개의 신뢰링크를 추출하고, 이 중 800개의 링크를 다시 무작위 추출하여 신뢰정확도 평가를 위한 시험 데이터 셋을 구성하였다. 시험 데이터 셋의 각 링크에 대해 4,000개의 신뢰링크를 입력으로 하여 <그림 1>의 알고리즘을 적용한 결과 원천사용자로부터 타겟 사용자까지의 모든 가능한 신뢰경로가 발견되었다. 이 신뢰경로를 이용하여 결합방법(Combination Method)에 의해 신뢰도 추론을 수행하였다. 신뢰도 추론의 정확성을 평가하기 위해서 원천사용자  $u_s$ 의 타겟 사용자  $u_t$ 에 대한 신뢰도 예측값  $T(u_s, u_t)$ 을 실제값  $\tau(u_s, u_t)$ 과 비교하여, 그 차이의 절대값  $\Delta = |T(u_s, u_t) - \tau(u_s, u_t)|$ 를 예측오차로 정의하고 예측의 정확성을 평가하는 지표로 삼았다.

FilmTrust는 사용자들이 직접 영화에 대한 평점 및 리뷰를 작성하고, 서로 공유할 수 있는 소셜네트워크 사이트이다. FilmTrust의 참여자는 자신이 직접 영화를 검색하고, 영화 평점(1, 2, 3 또는 4점)을 제공하고, 간단한 리뷰를 작성한다. 이렇게 리뷰를 작성하는 과정에서 사용자는 다른 참여자들이 본 영화에 대해 제공한 평균 점수 및 개별 참여자들이 제공하는 평점을 확인할 수 있다. 즉 사용자는 리뷰를 작성하는 과정에서, 또는 본인이 원하는 영화에 대한 리뷰를 검색하는 과정에서 본인과 비슷한 의견을 가진 사용자 또는 유용한 영화 리뷰를 작성한 사

용자들을 더욱 신뢰하게 된다. FilmTrust에서는 특정 사용자가 다른 참여자에 대해 가지는 신뢰도를 1점에서부터 10점까지 총 10단계로 평가할 수 있는 기능을 제공하며, 본 연구에서는 이 신뢰도 점수를 실험에 이용하였다. 실험을 위해 수집된 데이터 셋은 1,289개의 신뢰링크를 포함하고 있다. 이 데이터 셋은 신뢰링크수가 적은 만큼 모든 신뢰링크를 포함하여 시험 데이터 셋을 구성하였다. 1,289개의 신뢰링크 중 791개의 링크는 우회경로가 없는 경로여서 이를 제외한 498개의 링크에 대해 신뢰도를 예측하여 예측오차를 계산하였다. 여기서 ‘평균예측오차(Min)’는 다음과 같은 방법으로 구하였다.

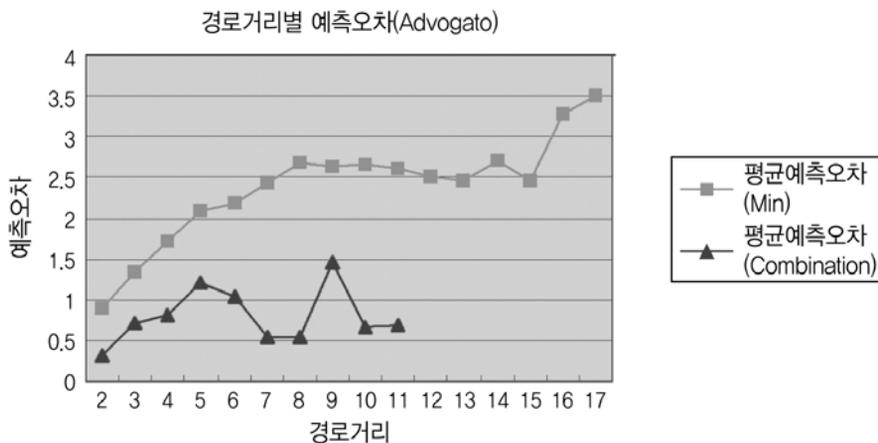
- Step 1 : 시험데이터 셋 내의 각 예측대상 신뢰링크( $r; u_s, u_t, \tau(u_s, u_t)$ )로 구성에 대해 모든 우회 가능한 신뢰경로를 탐색
- Step 2 : 각 우회 신뢰경로별로 경로 상의 여러 신뢰링크의 신뢰값 중 최소 신뢰값을 해당 경로의 추정신뢰값으로 계산하고 예측오차를 구함
- Step 3 : 각 우회 신뢰경로별 계산된 예측오차를 경로거리가 같은 신뢰경로별로 그룹핑하여, 그룹별로 예측오차를 산술평균

한편, 신뢰의 결합성과 관련된 가설을 검증하기 위하여 경로 수(Number of paths)별 예측오차에 대한 실험을 수행하기 위해서 ‘평균예측오차(Min)’를 다음과 같은 방법으로 구하였다.

- Step 1 : 시험데이터 셋 내의 각 예측대상 신뢰링크( $r; u_s, u_t, \tau(u_s, u_t)$ )로 구성에 대해 모든 우회 가능한 신뢰경로를 탐색
- Step 2 : 각 우회 신뢰경로별로 경로 상의 여러 신뢰링크의 신뢰값 중 최소 신뢰값을 해당 경로의 추정신뢰값으로 계산하고 예측오차를 구함
- Step 3 : 각 우회 신뢰경로별 예측오차를 산술 평균하여 예측대상 신뢰링크( $r$ )의 예측오차를 결정
- Step 4 : 우회 경로수가 같은 예측대상 신뢰링크( $r$ )별로 예측오차를 산술평균

#### 4.2 실험결과-Advogato 데이터 셋

먼저 경로거리별 예측오차에 대한 실험결과는 <그림 2>와 같다. ‘평균예측오차(Combination)’는 본문에서 제시된 것처럼 원천사용자로부터 타겟 사용자에게 이르는 모든 가능한 경로를 종합하여



<그림 2> 경로거리별 예측오차

결합방법(Combination)에 의해 신뢰도를 예측한 결과이다. 각 방법의 전체평균 예측오차를 계산한 결과 ‘평균예측오차(Min)’ 방법에 의한 평균 예측오차는 2.19, ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 평균예측오차는 0.69로 나타나 ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 예측 결과가 현저히 낮은 예측오차를 보여주었다(<그림 2> 참조). 경로거리별 평균 예측오차에 있어서도 모든 경로거리에 대해 ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 예측오차가 낮게 나타났다. ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에서는 특정 원천사용자로부터 타겟 사용자에게 이르는 모든 가능한 신뢰 경로를 종합하여 신뢰도를 예측하기 때문에 그래프에 표시된 경로거리는 다양한 경로거리를 가진 우회 신뢰경로의 평균 경로거리라 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 목표로 하는 경로거리에 따른 예측의 정확도를 판단하는 데는 사용될 수 없다. ‘평균예측오차(Min)’ 방법에 대해 경로거리별 예측오차를 살펴보면 경로거리가 멀어질수록 예측오차가 증가하는 경향을 발견할 수 있다. 이는 원천사용자가 타겟 사용자를 얼마나 신뢰하는지 예측할 때 두 사용자간 연결된 신뢰경로의 거리가 멀수록 예측된 정보의 정확도가 저하될 것이라는 가설을 지지하는 결과로 볼 수 있다.

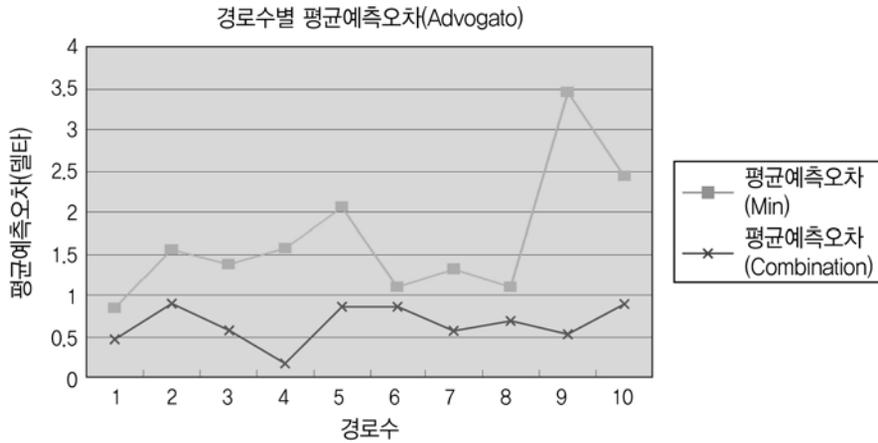
<그림 3>은 경로거리에 따라 ‘평균예측오차(Min)’ 방법에 의한 예측오차가 유의한 차이가 나타나는지를 회귀분석을 이용하여 검증한 결과이다. 경로거리에 따라 예측오차가 선형적으로 증가하는지를 선형회귀모형을 적합시켜 본 결과 경로거리에 대한 베타 계수가 양의 값을 취하고 (0.120), 유의확률이 0.0으로 나타나 경로거리의 증가에 따른 예측오차의 증가가 매우 유의한 정의 상관관계가 있음을 발견할 수 있다.

신뢰의 결합성과 관련된 가설을 검증하기 위

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
	B	표준오차	베타		
1 (상수) 경로거리	1.246	.189	.882	6.607	.000
	.120	.016		7.471	.000

<그림 3> 경로거리에 따른 ‘평균예측오차(Min)’의 회귀분석 결과 Advogato 데이터

하여 경로 수(Number of paths)별 예측오차에 대한 실험을 수행한 결과는 <그림 4>와 같다. ‘평균예측오차(Min)’ 방법에 의한 전체평균 예측오차는 1.58 이었고, ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 전체평균 예측오차는 0.69로 ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 예측 결과가 현저히 예측오차가 낮게 나타났다. 이는 ‘평균예측오차(Combination)’ 방법과 같이 여러 경로를 종합하여 신뢰도를 예측하는 것이 개별 경로별로 신뢰도를 예측하는 것보다 우수함을 의미한다. 한편 보다 자세한 분석을 위해 신뢰도 추정 시 종합하는 경로의 수가 많아질수록 예측오차도 점진적으로 감소되는지를 확인하기 위해 경로 수에 따른 예측오차의 크기를 비교해 보았다(<그림 4> 참조). 그러나 경로 수에 따라 예측오차가 낮아지는 경향을 발견할 수 없었다. 이는 경로거리가 긴 경우, 가능한 경로조합이 많아져서 경로 수도 많아졌기 때문이다. 실제 경로수와 경로거리간의 피어슨 상관계수를 구해본 결과 0.654로 강한 상관관계를 나타내고 있었다(유의확률 : 0.0). 즉 더 많은 경로를 종합하여 예측을 하면 예측오차가 줄어들 것으로 보았으나, 경로수가 많을수록 경로거리도 길어져서 경로거리 증가에 따른 예측오차의 증가와 상쇄되는 효과를 가져왔기 때문에 풀이된다. 결국 개별 경로만으로 신뢰도를 예측한 경우보다 경로를 종합하여 신뢰도를 예측한 경우 예측오차는 낮게 나타나지만 종합되는 경로의 수가 많을수록 예측 오차가 낮아지는 경향은 발견할 수 없었다.



<그림 4> 경로수별 예측오차

4.3 실험결과-FilmTrust 데이터 셋

<그림 5>는 FilmTrust 데이터 셋을 이용한 경로거리별 예측오차를 나타내고 있다. FilmTrust 데이터에서도 ‘예측오차(Min)’ 그래프를 살펴보면 경로거리가 증가할수록 예측오차가 증가하는 경향을 볼 수 있다.

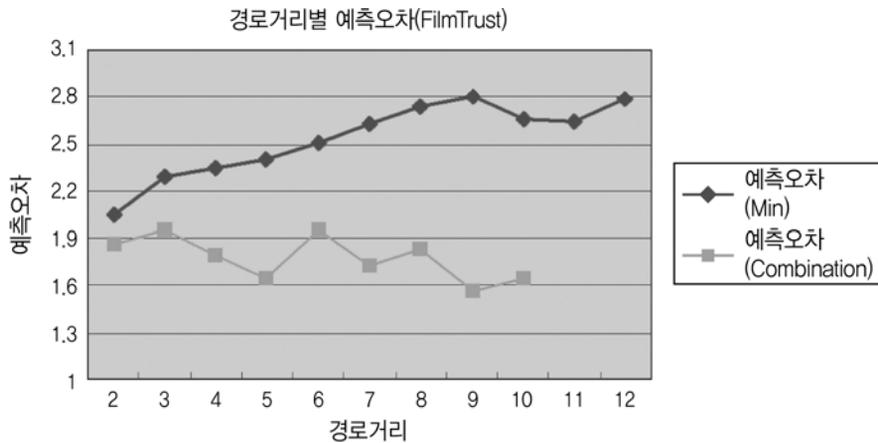
경로거리에 따라 예측오차가 선형적으로 증가하는지를 선형회귀모형을 적합시켜 본 결과 경로거리에 대한 베타 계수가 양의 값을 취하고 (0.065), 유의확률이 0.0으로 나타나 경로거리에 따른 예측오차의 증가가 유의하게 나타남을 발견

할 수 있다(<그림 6> 참조).

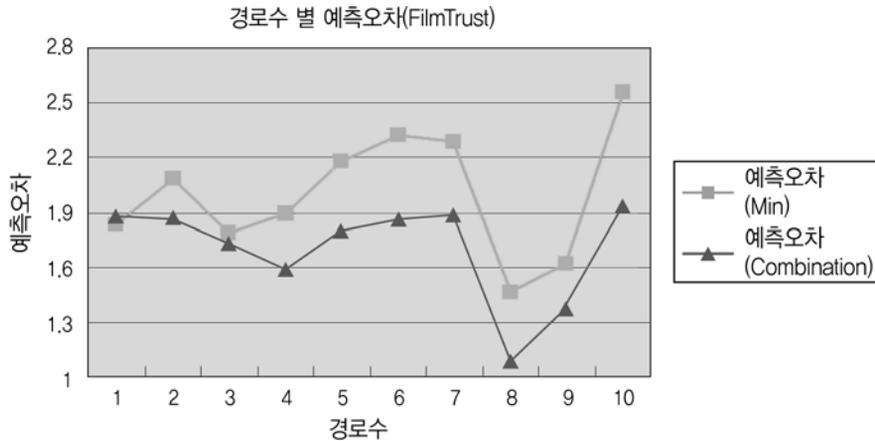
모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
	B	표준오차	베타		
1 (상수) 경로거리	2.080	.078	.903	26.525	.000
	0.65	.010		6.322	.000

<그림 6> 경로거리에 따른 ‘평균예측오차(Min)’의 회귀분석 결과-FilmTrust 데이터

신뢰의 결합성과 관련된 가설을 검증하기 위하여 경로 수(Number of Paths)별 예측오차에 대한 실험을 수행한 결과는 <그림 7>과 같다. 실험결



<그림 5> 경로거리별 예측오차 - FilmTrust 데이터



〈그림 7〉 경로수별 예측오차 FilmTrust 데이터

과 ‘평균예측오차(Min)’ 방법에 의한 전체평균 예측오차는 2.14이었고, ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 전체평균 예측오차는 1.83으로 Advogato 데이터 셋의 경우와 같이 ‘평균예측오차(Combination)’ 방법에 의한 예측오차가 낮게 나타났다. 한편 경로 수에 따라 예측오차가 낮아지는 경향은 FilmTrust 데이터 셋에서도 발견되지 않았다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 원천사용자와 미지의 타겟 사용자간 연결된 신뢰 경로의 거리가 멀수록 신뢰도 예측의 정확성이 저하되는지 여부와 신뢰전과경로가 병렬적으로 많이 존재할수록 원천사용자의 타겟 사용자에 대한 신뢰도 예측이 보다 정확한지를 FilmTrust와 Advogato 두 소셜네트워크 사이트의 데이터를 활용하여 실험해 보았다. 실험 결과 두 데이터 셋에서 동일하게 경로 거리가 증가함에 따라 예측오차도 유의하게 증가하는 경향을 발견할 수 있었다. 이는 신뢰가 친구의 친구 등 지인의 네트워크를 따라 길게 전과될 수는 있지만, 경로거리가 멀어질수록 신뢰전과에 노이즈가 작용함으로써 신뢰경로를 이용한 신뢰도 예측의 정확성이 저하된 것으로

볼 수 있다. 따라서 경로거리가 길어짐에 따라 할인율을 적용하여 신뢰도를 예측하는 것이 보다 바람직한 예측방법이라 할 수 있다.

또한 신뢰전과 경로의 수에 따라 신뢰도 예측의 정확성을 실험해 본 결과, 개별 경로만으로 신뢰도를 예측한 경우보다 여러 우회경로를 종합하여 신뢰도를 예측했을 때 전체 평균 예측오차 관점에서 보다 정확한 신뢰도 예측이 이루어졌으나, 종합하는 경로의 수가 많아질수록 예측오차가 점진적으로 감소되는 경향은 발견되지 않았다. 이는 실제 경로수와 경로거리간의 상관관계가 높아서 경로수가 많을수록 경로거리도 길어져서 경로거리 증가에 따른 예측오차의 증가와 상쇄되는 효과를 가져왔기 때문으로 풀이된다. 즉 개별경로에 기반 한 예측보다는 우회경로를 종합하여 신뢰도를 예측하는 경우 예측의 정확도는 증가하지만, 종합하는 신뢰경로가 무작정 많아진다고 해서 신뢰예측의 정확도가 증가하는 것은 아님을 규명할 수 있었다.

본 연구는 다수의 연구에서 가정을 해 온 신뢰전과의 전이성과 결합성에 관한 두 가지 특성을 실험을 통해 검증한 연구로써 소셜네트워크를 대상으로 신뢰전과에 기반 한 신뢰추론 시 보다 정확성을 제고할 수 있는 가이드라인을 제

시켰다는 점에서 그 의의가 있다. 본 연구의 결과가 보다 일반화되기 위해서는 다양한 데이터셋에 적용하여 그 결과를 확인할 필요가 있으며, 다양한 예측방법을 적용하여 예측 정확도를 평가해 보는 것도 필요할 것으로 보인다. 마지막으로 신뢰는 상황에 따라 달라질 수 있다. 즉 영화 선택에 있어서는 A를 신뢰하지만 자동차 수리 정보 추천에 있어서는 A를 신뢰하지 않을 수도 있기 때문이다. 따라서 상황이라는 차원을 추가하여 신뢰경로의 전이성 및 결합성 특성을 파악하는 연구도 향후연구로 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Abdul-Rahman, A. and S. Hailes, "Supporting trust in virtual communities", *Proceeding of HICSS'00*, 2000, pp. 6007-6008.
- [2] Cook, J. and T. Wall, "New Work Attitude Measures of Trust, Organizational Commitment and Personal Need Non-fulfillment", *Journal of Occupational Psychology*, Vol. 53, 1980, pp. 39-52.
- [3] Golbeck, J. A., "Computing and applying trust in web-based social networks", Doctor of C.S. dissertation, University of Maryland, 2005.
- [4] Golbeck, J. A., "Weaving a Web of Trust", *Science*, Vol. 19, September 2008, pp. 1640-1641.
- [5] Guha, R., Kumar, R., Raghavan, P., and Tomkins, A., "Propagation of trust and distrust", in WWW '04 : *Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web*, 2004, pp. 403-412.
- [6] Jøsang, A., Hayward, R., and Pope, S., "Trust network analysis with subjective logic", in ACSC '06 : *Proceedings of the 29th Australasian Computer Science Conference*, 2006, pp. 85-94.
- [7] Kim, Y. A., Le, M.-T., Lauw, H. W., Lim, E.-P., Liu, H., and Srivastava, J., "Building a Web of trust without explicit trust ratings", *Data Engineering Workshop (ICDEW 2008)*, 2008, pp. 531-536.
- [8] Kim, Y. A. and Song, H. S., "Strategies for predicting local trust based on trust propagation in social networks", *Working Paper*, 2011.
- [9] Lesani, M. and Montazeri, N., "Fuzzy trust aggregation and personalized trust inference in virtual social networks", *Computational Intelligence*, Vol. 25, No. 2, 2009, pp. 51-83.
- [10] Lewicki, R. J. and Bunker, B. B., "Maintaining Trust in Work Relationships", *Trust in Organizations : Frontiers of Theory and Research*, 1996, pp. 114-139.
- [11] Lewis, J. D. and Weigert, A., "Trust as a Social Reality", *Social Forces*, Vol. 63, 1985, pp. 967-985.
- [12] Malhotra, R. and Malhotra, D. K. R., "Differentiating between good credits and bad credits using neuro-fuzzy systems", *European journal of operational research*, Vol. 136, 2002, pp. 190-211.
- [13] Mishra, A. K., "Organizational Responses to Crisis: The Centrality of Trust", *Trust in Organization*, London : Sage, 1996, pp. 261-287.
- [14] Song, S., Hwang, K., Zhou, R., and Kwok, U.-K., "Trusted P2P Transactions with Fuzzy Reputation Aggregation", *IEEE Internet Computing*, Nov-Dec 2005, pp. 18-28.
- [15] Ziegler, C.-N. and J. Golbeck, "Investigating correlations of trust and interest similarity", *Decision Support Systems*, Vol. 43, No. 2, 2007, pp. 460-47.

## ■ 저자소개

**송 희 석**

현재 한남대학교 경영정보학과 교수로 재직 중이다. 고려대학교 경영학과를 졸업하고, 한국과학기술원에서 경영과학 석사를, 한국과학기술원 테크노경영대학원에서 경영공학 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 CRM과 데이터마이닝, 소셜미디어와 비즈니스모델, 린경영 등이다.

◆ 이 논문은 2011년 06월 15일 접수하여 2011년 11월 10일 게재확정되었습니다.