

자가 성장하는 상황 기반 사용자 모델을 이용한 개인화 커뮤니티 서비스 자동 제공 방법

(A Method for Automatic
Provision of Personalized
Community Service using
Situation based Self-growing
User Model)

이창열[†] 조규찬^{**}
(Changyeul Lee) (Kyoochan Cho)

김현숙^{**} 조위덕^{***}
(Hyeonsook Kim) (Weduke Cho)

요약 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하기 위해서 사용자 모델은 필수적 요소이다. 기존의 사용자 모델에서는 시스템이 사용자가 원하는 서비스를 자동으로 인지하고 해석하도록 하기 위하여 사용자가 원하는 서비스를 미리 기술한다. 또한, 사용자 모델에 상황 정보가 고려되지 않음으로 인해 상황에 따라 달라지는 사용자의 선호도를 반영할 수 없다. 위와 같은 문제를

해결하기 위하여 본 논문에서는 사용자의 경험을 학습하여 자가 성장 가능한 사용자 모델을 제시 하였으며 상황에 따른 사용자 선호 서비스를 추출하여 자동으로 개인화 커뮤니티 서비스를 제공하는 시스템을 제안한다.

키워드 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 커뮤니티 컴퓨팅, 사용자 모델, 개인화 서비스, 상황 인지

Abstract The user model is an indispensable factor for providing users with personalized services in the ubiquitous computing environment. In general user models, services which users prefer should be described in advance so that the system can recognize and interpret them automatically. Also, user's preferences as to the change of situation are not reflected in general user models due to their ignoring the situation. In this paper, we propose the self-growing user model which learns user experience and the system which automatically provides personalized community services through extracting user preferring services by situation.

Key words : ubiquitous computing, community computing, user model, personalized service, context aware

1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용자에게 최대한의 만족을 줄 수 있는 개인화 서비스를 제공하려면 사용자의 의도, 관심, 선호도, 요구를 인지하는 기술이 필수적이다. 현재의 정보기술 환경에서는 시스템이 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하고자 할 때 사용자의 관심과 선호도를 사용자 모델로 기술하여 이를 참조하는 방법을 사용한다. 여기서 사용자 모델은 개인화 서비스를 제공하는 데 필수적인 입력요소로 작용한다. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 상황 변화에 따라 시스템이 사용자의 의도와 요구를 자동으로 파악하여 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하는 것을 목적으로 한다. 따라서, 상황을 고려하지 않고 사용자의 관심과 선호도를 기술한 현재의 사용자 모델은 적합하지 않다. 본 논문에서는 사용자가 원하는 개인화된 서비스를 자동으로 제공하기 위하여 상황(Situation)에 따른 과업(Task)을 기반으로 사용자의 경험을 학습하는 모델을 정의하였다. 또한, 시스템이 자율적으로 사용자 모델을 학습을 통해 성장시켜 개인화 서비스까지 연결할 수 있는 시스템 구조를 제안한다.

2장에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 적용할 수 있는 사용자 모델과 관련한 연구 동향을 조사하고, 문제점을 도출한다. 3장에서는 시나리오 흐름을 통해 사용자 모델 및 시스템 구조를 검증한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

· 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업의 과제에 지원된 것임

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '자가 성장하는 상황 기반 사용자 모델을 이용한 개인화 커뮤니티 서비스 자동 제공 방법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 비 회 원 : 아주대학교 유비쿼터스시스템연구센터 선임연구원
ivertex@ajou.ac.kr

^{**} 비 회 원 : 아주대학교 유비쿼터스시스템연구센터 선임연구원
netopia@ajou.ac.kr
virtus78@ajou.ac.kr

^{***} 종신회원 : 아주대학교 전자공학부 교수
chowd@ajou.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일
심사완료 : 2008년 8월 1일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제7호(2008.10)

2. 관련 연구

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 시스템이 자율적으로 변화하는 상황에 대응하여 사용자에게 개인화된 서비스를 제공해야 할 것이다. 현재까지 상황 변화에 대응하는 사용자 모델을 정의하기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

사용자의 박물관 관람을 도와주는 박물관 여행 보조 시스템 연구[1,2]에서는 사용자의 컨텍스트 정보를 활용하여 개인화된 서비스를 제공하게 되었다. 이 연구에서 사용자 컨텍스트는 사용자의 관심, 위치, 가용 시간, 재정 상태, 이동 제약 사항, 지역 날씨 등으로 정의를 하고 있으며, 박물관 여행이라는 단일 과업에 대해서만 서비스를 받을 수 있다는 한계가 존재한다.

다른 연구로 다양한 업무에서 적용되는 사용자 모델을 설계하는 시도가 있었다. 병원에서 간호 사고를 피하기 위한 간호 보조 시스템을 개발하였으며[3], 이 시스템은 다양한 간호 업무에 대한 컨텍스트 모델을 구분하여 기술함으로써 사고발생을 예견하고 대응한다. 이 접근법은 다양한 과업에서 사용 가능한 사용자 모델은 포함하지만, 지원되는 컨텍스트의 범위가 제한되어 있고, 미리 정의된 컨텍스트에 대해서만 처리가 가능하다.

다양한 컨텍스트에 대응하기 위하여 전후 관계로 연결된 컨텍스트를 의미하는 상황이라는 요소를 기반으로 사용자를 모델링한 유비쿼터스 사용자 모델[4]이 등장하였다. 그런데, 이 모델은 모든 컨텍스트에 대응할 수는 있지만, 기존에 경험하지 못한 새로운 상황에는 대응하지 못하는 단점이 있다. 기존에 존재하지 않은 새로운 상황에 대응하기 위하여 상황을 상하관계를 가지는 계층 구조로 구분하여 정의함으로써 새로 발생한 상황 추론에 활용하는 방법이 제안되었다[5]. 하지만, 이 방법은 단일 사용자일 경우에는 유효하지만, 다중 사용자가 상황을 공유하여 공통의 개인화 서비스를 제공받을 경우에는 적합하지 않은 단점을 가진다. 따라서, 단일 사용자뿐만 아니라 다중 사용자가 상황을 공유하여 공통의 개인화 서비스를 제공받을 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 다중 사용자에 대응할 수 있는 상황 기반 사용자 모델의 개발이 필수적이다.

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 개인화 서비스를 지원하기 위해 고려해야 할 또 다른 요소는 상황에 따른 서비스 자동 제공이다. 기존에 연구된 방법에서는 서비스 제공자가 특정 상황에서 제공할 서비스를 미리 기술하여야 하는 부담이 발생한다. 또한, 예상하지 못한 상황이 발생하면 서비스를 제공하지 못하게 된다. 따라서, 사용자에게 상황에 따라 필요한 서비스를 자동으로 제공하는 방법이 적용 된다면 많은 노력과 비용을 줄일 수 있을 것이다.

인지된 상황으로부터 어떠한 서비스를 자동으로 연결할 것인지 추론 하는 것은 어려운 일이다. 본 논문은 사용자의 행동으로부터 상황을 수집하고, 수집된 상황으로부터 사용자 모델을 생성하여, 사용자 모델로부터 적절한 서비스를 자동으로 추출하여 제공하는 방법을 제시한다.

3. 모델 및 구조

본 장에서 커뮤니티 컴퓨팅의 개요를 설명하고 자동으로 개인화 서비스를 제공하기 위한 모델을 설명한다. 본 연구에서 사용자의 경험을 학습하는 사용자 모델을 정의 하였고, 사용자 모델로부터 상황에 적합한 서비스를 자동으로 제공하는 시스템 구조를 제안한다. 제안하는 개인화 서비스는 커뮤니티 컴퓨팅 환경의 커뮤니티 서비스를 기반으로 한다[6].

3.1 커뮤니티 컴퓨팅 모델

커뮤니티 컴퓨팅이란 동일한 목적을 달성하기 위해 모인 집단을 일컫는 커뮤니티 개념을 컴퓨팅 환경에 적용한 것으로서 사용자 중심의 서비스를 제공하기 위해 연구되고 있는 접근 방법이다. 환경으로부터 상황정보를 수집하여 사용자의 요구를 분석하고, 목적을 달성하기 위한 역할과 행동을 정의하고, 역할을 담당할 컴퓨팅 자원을 커뮤니티 구성원 즉, 커뮤니티 멤버로 모집하여 멤버들 간의 상호 협력을 통해 공동 목적을 달성하도록 모델링하였다[7]. 공간 내의 다양한 커뮤니티들과 멤버들을 관리하기 위한 시스템이 필요하게 되었으며 이를 구현한 것이 커뮤니티 매니저이다[8].

현재 구현된 커뮤니티 관리 시스템(Community Manager)은 사용자가 공간에서 받으려는 커뮤니티 서비스를 CDL(Community Description Language)이라는 언어를 사용하여 커뮤니티 템플릿(Community Template)에 미리 기술하여야 한다. 발생할 모든 상황을 예상하여 커뮤니티 서비스를 기술한다 하더라도 예측되지 않은 모든 상황에 대처하는 것은 불가능에 가깝다. 커뮤니티 매니저의 위와 같은 문제점을 개선하기 위하여 상황에 적용 가능한 서비스를 자동적으로 제공할 수 있는 방법이 필요하게 되었다.

3.2 개인화 서비스 제공 모델

개인화 서비스를 자동으로 제공하기 위한 전체적인 모델은 그림 1과 같이 구성하였다.

도메인 내의 일반적인 사용자는 접근 가능한 응용 프로그램, 서비스 또는 장치를 사용 및 조작하여 사용자가 필요로 하는 서비스를 받으려고 한다. 이러한 사용자의 행동 패턴을 관찰하여 사용자 컨텍스트를 수집하고 사용자가 조작한 환경으로부터 환경 컨텍스트를 수집하여 사용자 모델을 구축하게 된다.

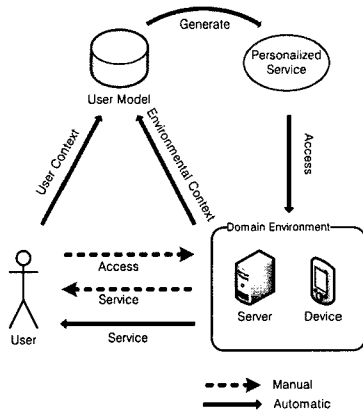


그림 1 개인화 서비스 자동 제공 모델

구축된 사용자 모델은 사용자가 동일한 패턴을 반복하게 되면 빈도수 기록하여 이를 기반으로 특정 상황에 제공해야 할 서비스를 추출하게 된다. 추출된 개인화 서비스들을 자동으로 생성하여 특정 상황이 재 발생되면 사용자에게 제공하는 것이 기본 개념이다.

3.3 모델의 아키텍처

제안된 모델을 커뮤니티 컴퓨팅의 구현체인 커뮤니티 매니저에 적용하기 위한 시스템 아키텍처는 그림 2와 같이 구성된다.

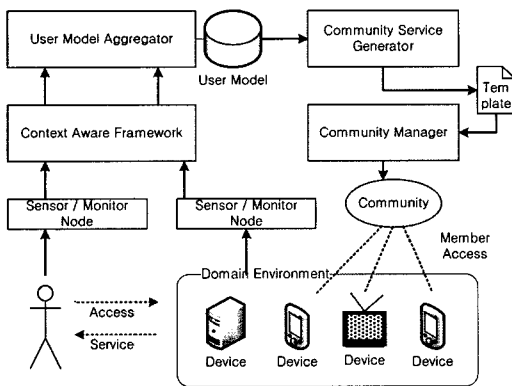


그림 2 커뮤니티 서비스자동생성 아키텍처

사용자의 행동 컨텍스트와 환경의 컨텍스트를 수집하기 위해 상황인지 프레임워크(Context Aware Framework)[9]를 이용하며 수집된 컨텍스트를 사용자 모델로 변형하여 저장하는 User Model Aggregator가 존재하며 사용자 모델로부터 Community Template을 생성하는 Community Service Generator가 존재한다. 생성된 Community Template은 Community Manager가 로딩하여 커뮤니티 서비스를 사용자에게 제공하게 된다.

3.4 사용자 모델과 컨텍스트

사용자의 정보, 선호도, 그리고 행동패턴을 유지하기 위한 사용자 모델이 필요하게 되었으며 사용자 모델은 표 1과 같이 정의 하였다.

사용자 모델은 크게 조건(condition)과 행동(action)으로 구성되어 있으며 사용자가 특정 상황에 처했을 때 특정서비스를 동작 시킨다는 것을 나타낸다.

- 조건 : 사용자가 Action을 수행할 시점의 상황정보. 사용자가 속한 환경에서 사용자가 경험한 조건을 의미한다.

표 1 사용자 모델

대 분류	세부 분류	구성요소	
조건	사용자 컨텍스트	ID	
		Name	
		Birth	
		hasParents	
		hasChild	
		Emotion	
	사용자 상태	Behavior	
		GroupUser	
		환경 컨텍스트	Time
			Location
행동	환경 컨텍스트 (서비스 사용)	ServiceID	
		InputProperty	
		DeviceID	
	환경 컨텍스트 (장치 제어)	ControlProperty	
		환경 컨텍스트 (결과)	Effect
			Output
빈도		Frequency	

- 사용자 컨텍스트 : 사용자와 관련된 상황정보
- 환경 컨텍스트 : 환경과 관련된 상황정보
- 행동 : 사용자가 사용한 서비스, 응용프로그램, 장치의 제어 정보. 환경 하에서 사용자가 수행한 과업을 의미한다.
- 서비스 사용 : 환경 내의 서비스 컴포넌트의 사용
- 장치 제어 : 환경 내의 장치의 제어 정보
- 결과 : 상황에 영향을 준 결과

상태와 행동은 사용자 및 도메인 환경에 존재하는 센서 노드를 통해 수집되며 상황인지 프레임워크 에서 RDF triple[10]형식의 컨텍스트로 변형되어 User Model Aggregator로 전달된다. RDF triple 컨텍스트는 표 2와 같이 정의되었다.

수집된 컨텍스트로부터 사용자 모델을 기록하며, 같은 상황이 발생하면 빈도수를 기록하여 사용자의 행동 패턴을 학습하게 된다. 정해진 임계 값 보다 많은 빈도수가 기록되면 자주 사용하는 서비스라 판단하여 자동으로 제공할 서비스를 추출하게 된다.

표 2 RDF 형식의 컨텍스트 예

	Subject	Predicate	Object
Emotion	\$user	hasEmotion	\$emotion
Behavior	\$user	Engaged	\$behavior
GroupUser	\$user	withGroup	\$userList
Time	Time	timestamp	\$time
Location	\$user	locatedIn	\$location
ID	\$user	accessedService	\$serviceId
Property	\$service	hasProperty	\$property
Value	\$property	hasValue	\$value

커뮤니티 컴퓨팅의 구현체인 Community Manager에서 개인화 서비스를 생성하는 것은 커뮤니티 템플릿을 작성하는 것과 동일하다. 커뮤니티 템플릿은 특정 상황이 발생하면 제공되어야 할 역할(Role)들의 흐름을 기술한 것이며 본 논문에서 제안한 사용자 모델과 많은 부분이 유사하다.

개인화된 서비스의 자동 생성 방법은 수집된 사용자 모델을 학습을 통하여 제공될 서비스를 추출하고 커뮤니티 템플릿 상에 특정 상황에서 제공해야 할 역할, 즉, 서비스들을 자동으로 기술하여 자동 생성을 가능하게 하는 것이다.

3.5 다중 사용자 위한 서비스

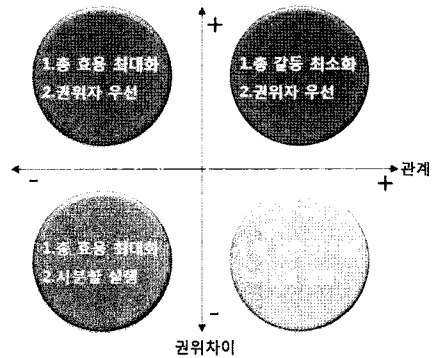
제안한 사용자 모델에서 다중 사용자 간의 의도 충돌 문제를 해결하는 방법은 개인 사용자의 경험을 학습하는 것과 유사하게 다중 사용자를 그룹으로 취하여 그룹의 경험을 학습하는 것이다.

공간에 존재하는 기존 사용자 외에 새로운 사용자도 등장하였을 경우, 그룹 사용자로 간주하여 기존 사용자 모델의 그룹 사용자 요소에 추가적인 사용자들의 리스트를 유지하여 그룹 사용자에 대한 행동 정보를 수집한다. 수집된 그룹 사용자의 경험 정보는 이후 학습을 통하여 그룹에 대한 서비스를 제공할 수 있게 된다.

3.6 서비스 충돌 해결

서비스가 충돌되는 상황은 다음과 같은 두 가지 요소로 이루어진다.

- 사용자 속성 : 사용자 모델에 기입되어 있는 사용자 정보 및 생성된 그룹 모델 정보를 활용하여 사용자 속성을 판단한다. 사용자는 그룹 특성(관계, 권위차이)에 따라 권위 차가 큰 친밀관계, 권위 차가 큰 형식관계, 권위 차가 작은 친밀관계, 권위 차가 작은 형식관계로 분류된다.
- 서비스 속성 : 서비스를 조절할 수 있는 서비스 통제 가능 여부에 따른 분류기준을 적용한다. 서비스는 서비스 통제 가능 여부에 따라 조절가능 서비스(실수 입력 값), 조절불가 서비스(Boolean 입력 값)로 분류된다. 따라서, 서비스 충돌 상황을 해결하는 전략은 사용자



1. 서비스 조절 가능
2. 서비스 조절 불가

그림 3 서비스 충돌 상황 해결 전략 선택 기준

표 3 서비스 충돌 상황 해결 전략

전략	설명
총 효용 최소화 전략	서비스 실행의 결과로 유발되는 효과(Effect)의 합이 최대가 되는 방향으로 서비스 실행을 결정
총 갈등 최소화 전략	모든 서비스가 통제 가능한 서비스 일 때, 서비스 입력 값을 평균으로 계산하여 서비스 수혜자 모두에게 공평한 결과를 발생
권위차 우선 실행 전략	사용자의 권위 차이가 클 때 권위가 낮은 사람을 위한 서비스를 포기하고, 권위가 높은 사람을 위한 서비스를 실행
사분할 실행 전략	사용자의 권위차이가 적을 때 권위 차이가 더 높은 사람을 위한 서비스를 우선 실행 시키고, 권위가 낮은 사람을 위한 서비스를 나중에 실행

속성과 서비스 속성을 모두 고려하여 그림 3과 같은 기준을 반영하여 선택된다.

관계가 (+) 값을 가질수록 관계가 친밀함을 나타내고, 개인적인 성향이 짙은 경우를 의미한다. 또한, 관계가 (-) 값을 가질수록 관계가 형식적임을 나타내고, 공공의 이익을 위한 성향이 짙은 경우를 의미한다. 권위차이가 (+) 값을 가질수록 사회적 지위 차이가 많음을 의미하고, (-) 값을 가질수록 비슷한 수준의 사회적 지위를 가지고 있음을 의미한다. 각 사분 면 내의 두 가지 전략 중 서비스 통제 가능 여부 특성에 따라 적용된다. 전략에 대한 설명은 표 3과 같다.

본 논문에서 제시한 시나리오에 기술된 바 대로 서비스 충돌의 상황이 부부가 취침 상황에서의 취침환경 설정 온도를 달리하는 경우이다. 따라서, 사용자들의 관계성이 높고, 권위 차가 낮을 뿐만 아니라, 서비스 입력 값을 조절 가능하므로 서비스 충돌 상황 해결 전략으로 총 갈등 최소화 전략이 선택된다.

3.7 시나리오를 통한 시스템 흐름

시나리오를 통해 제안한 시스템을 설명하는 흐름은 다음과 같다.

1. A, B씨의 집에는 제안한 시스템이 구축되어 있다. A씨는 평소에 에어컨을 23도로 설정하고 취침 전 26도로 설정한다. B씨는 평소에 25도, 취침 전에는 28도로 설정한다.
2. 집에 존재하는 Context Aware Framework는 위치 센서와 온도센서를 통해 다음과 같이 사용자와 환경 컨텍스트를 수집한다. A씨가 집에 있으면 에어컨서비스를 23도로 설정한다.
3. 수집된 컨텍스트는 User Model Aggregator에게 전달되어 사용자 모델로 변형되어 저장된다.
4. A씨의 경험이 몇 차례 발생하여 정해진 임계값을 넘어서면 Community Service Generator는 반복적인 서비스라 판단하여 실내에 A씨가 위치하는 상황이면 에어컨서비스를 23도로 실행하는 Community Template을 자동으로 생성한다.
5. A씨가 집에 오면 커뮤니티 매니저는 등록된 Community Template에 따라 자동으로 에어컨 서비스를 23도로 실행된다.
6. 절차 2~4를 통하여 취침 서비스도 자동으로 생성된다.
7. B씨도 마찬가지로 사용자 모델이 수집되고 실내 설정온도 및 취침 시 설정온도를 수행하는 커뮤니티 서비스가 자동 생성된다.
8. A씨와 B씨가 거실에 동시에 존재할 경우 총 갈등 최소화 전략을 통하여 서비스 충돌 상황 해결을 하며 (두 사용자 간의 합의를 통해) 평균값인 24도로 설정을 하게 된다.
9. User Model Aggregator는 그룹 사용자로서 그룹의 행동 경험이 25도라고 저장하고 거실에 같이 있을 경우 에어컨서비스를 25도로 자동 실행한다.
10. A씨가 거실에 있고 B씨가 침대에 있을 경우 환경 조건이 다르기 때문에 또 다른 그룹 사용자 모델을 생성하게 되며 학습한다.

이처럼 사용자 컨텍스트가 달라지거나 환경 컨텍스트가 달라지면 다른 경험을 학습하며 저장된 경험을 바탕으로 서비스를 제공한다. 본 논문의 모델은 위와 같은 사용자 경험 학습을 통해 서비스 충돌 문제를 해결한다.

4. 결론

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하기 위해서는 사용자 모델이 필수적이다. 일반적인 사용자 모델에서는 사용자가 선호 서비스를 선택 기술되어야한다. 또한, 사용자 모델에 상황에 대한 고려가 없기 때문에 상황에 따라 변하는 사용자의 선호도를 반영할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 사용자의 경험을 학습하여 자가 성장하는 사용자 모델을 제시하였으며, 상황에 따른 사용자 선호 서비스를 계산하여 자

동으로 개인화 커뮤니티 서비스를 제공하는 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 다중 사용자의 경우에도 그룹 사용자의 경험을 학습하여 그룹 서비스를 제공한다. 현재 원형 시스템이 구현 중이며 향후 이를 이용하여 모델을 검증할 계획이다.

참고 문헌

- [1] Davies, N., Cheverst, K., Mitchell, K., Efrat, A.. "Using and determining location in a context-sensitive tour guide," IEEE Computer Society Press 34(8). (2001).
- [2] Cinotti T.S., Garzotto, F., Muzii, R., Malavasi, M., Galasso, S., Raffa, G., Roffia, L., Varlese, V.. "Evaluating Context-aware Mobile Applications in Museums: Experiences from the MUSE Project," Proceedings of the Eighth Annual Conference on Museums and the Web. (2004).
- [3] Kuwahara, N., Noma, H., Kogure, K., Hagita, N., Tetsutani, N., Iseki, H., "Wearable auto-event-recording of medical nursing," Proceedings of the Ninth IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction. (2003).
- [4] Heckmann, D., "Ubiquitous User Modeling," PhD thesis, Department of Computer Science, Saarland University, Germany. (2005).
- [5] Berkovsky S., Aroyo L., Heckmann D., Houben G.. "Predicting User Experiences through Cross-Context Reasoning," Proceedings of 14th Workshop on Adaptivity and User Modeling in Interactive Systems (2006).
- [6] 김현숙, 조규찬, 이창열, 조위덕. "SOA 기반의 커뮤니티 컴퓨팅 시스템", 정보과학회 종합학술대회 커뮤니티 컴퓨팅 워크샵 발표집. (2007).
- [7] 강경란, 김민구. "커뮤니티 컴퓨팅 : 협업 기반의 환경 자동 적응의 컴퓨팅 모델", 한국 정보과학회지 12월호. (2006).
- [8] Hyeonsook Kim. Community Manager : Dynamic Collaboration Solution on Heterogeneous Environment. Proceedings of IEE ICPS 2006. 39~46. (2006).
- [9] Chen, Harry, Tim Finin, and Anupam Joshi. "An Intelligent Broker for Context-Aware Systems," Adjunct Proceedings of UbiComp 2003, Seattle, Washington, USA, October 12-15. (2003).
- [10] O. Lassila and R. R. Swick. "Resource Description Framework (RDF) model and syntax specification," W3C Working Draft WD-rdf-syntax-19981008. See <http://www.w3.org/TR/WD-rdf-syntax>. <http://citeseer.ist.psu.edu/article/lassila98resource.html>