

사용자 중심의 상황정보 활용 서비스를 위한 상황정보 관리 모델 및 아키텍처

서신석^{1,0}, 강준명², 한윤선³, 홍원기³

¹ 포항공과대학교 컴퓨터공학과

²Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto

³ 포항공과대학교 정보전자융합공학부

¹sesise@postech.ac.kr, ²joonmyung.kang@utoronto.ca, ³{seon054, jwkhong}@postech.ac.kr

요 약

특정 사용자와 관련이 있는 다양한 형태의 상황정보를 제공할 수 있는 기기들 및 센서들이 증가하고 있다. 이러한 상황정보는 현재 스마트폰, 태블릿, 스마트홈, 스마트카, 스마트빌딩, Social Networking Services (SNSs)와 같이 매우 다양한 영역에서 개별적으로 생성되고 있다. 다수의 영역에서 생성되는 상황정보들은 사용자를 중심으로 보았을 때 상호 연관되어 서로 영향을 미치거나 새로운 상황정보를 추론하는데 사용될 수 있다. 사용자를 중심으로 상황정보를 관리하고 활용하면 새롭고 유용한 상황정보 활용 서비스가 가능해진다. 그러나, 최신의 상황정보 관리와 관련된 연구들은 대부분 하나의 영역에 존재하는 상황정보에 대해서만 이루어지고 있다. 본 논문은 사용자 중심의 상황정보 관리를 위하여 상황정보를 나타낼 수 있는 정보 모델 및 아키텍처를 제안한다.

1. 서론

네트워킹, 센서 및 휴대 단말 기술들의 발전에 따라 사용자와 관련이 있는 상황정보(context)를 생성할 수 있는 장비 및 장치들이 증가하고 있다. 이러한 장비 혹은 장치들은 스마트폰, 태블릿, 노트북, 스마트홈, 각종 센서들 및 Social Networking Services (SNSs) 등과 같은 특정 영역 내에 포함되어 있다 (그림 1). 또한 특정 사용자와 사회적으로 관련이 있는 다른 사용자들의 상황정보도 매우 유용한 정보를 제공한다. 이러한 상황정보는 다양한 상황정보 활용 서비스들을 위하여 사용될 수 있다. 상황정보 활용 서비스의 대표적인 예로는 생물학적 센서들을 활용한 건강상태 점검 [1]과 이중의 이동 네트워킹 서비스 환경에서 개인화된 핸드오버 결정 [2] 등이 있다.

상황정보의 관리 수준은 다음과 같은 세 단계로 구분될 수 있다.

- **영역 수준:** 상황정보를 특정한 한 영역에서만 수집하고 활용한다.
- **사용자 수준:** 특정 사용자와 관련이 있는 다양한 영역들에서 상황정보를 수집하고 종합적으로 관리한다.
- **사회적 수준:** 사용자 수준의 관리뿐만 아니라 사용자가 사회적으로 관계를 맺고 있는 다른 사용자의 상황정보까지 고려한다.

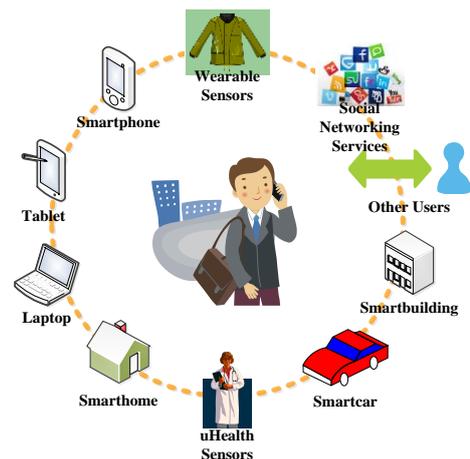


그림 1. 사용자 주변의 다양한 상황정보 영역

현재 대부분의 상황정보 관리를 위한 연구들은 하나의 영역만을 고려하는 영역 수준에 머물러 있다 [3-5]. 하지만 다양한 상황정보 영역들이 특정 사용자와 관련이 있다는 것을 고려하면, 사용자 수준 이상의 상황정보 관리가 필요하다는 것을 알 수 있다. 사용자 수준의 상황정보 관리는 사용자 주변의 다양한 영역들에서 생성되는 상황정보를 종합적으로 수집하여 추론하는 기능을 제공하여야 한다. 더욱이, 사회적 수준의 상황정보 관리는 사용자와 관련하여 매우 가치 있고 중요한 상황정보를 제공해주기 때

* "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2012-H0301-12-3002)과 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)으로부터 지원받아 수행되었습니다 (R31-2010-000-10100-0)."

문에 상황정보 관리 연구의 최종적 목표가 되어야 한다 [4]. 사용자 혹은 사회적 수준의 상황정보 관리를 통하여 보다 유용하고 새로운 서비스의 제공이 가능해진다. 예를 들어, 다음과 같이 스마트폰, u-Health 센서들 및 가족들의 상황정보를 종합적으로 활용하는 u-Health 서비스를 생각해 볼 수 있다. 이 서비스에서 스마트폰은 응급 상황에서 메시지를 보내고 사용자의 정확한 위치정보를 제공하는 기능을 한다. U-Health 센서들은 사용자의 건강 상태 정보를 제공하며, 가족들의 상황정보는 사용자와의 거리 정보를 제공한다. 만약 사용자에게 건강상의 위급한 문제를 u-Health 센서가 발견하면, 이와 관련된 건강 상태 정보와 사용자의 정확한 위치 정보가 가까이 있는 가족에게 스마트폰의 메시지 전송 기능을 통하여 전달될 수 있다. 이렇게 다양한 영역의 상황정보를 동시에 활용하는 서비스는 영역 수준의 상황정보 관리만으로는 불가능하며, 사용자 혹은 사회적 수준의 상황정보 관리를 필요로 한다.

본 논문에서는 사용자 및 사회적 수준의 상황정보 관리를 위하여, 다양한 영역에서 매우 다른 형태로 발생하는 상황정보를 종합적으로 표현할 수 있는 유연하고 확장 가능한 기술 중립적인 정보 모델과 다수의 상황 정보 개체들의 복잡한 상호 관계를 이해 및 관리할 수 있는 계층적인 상황정보 관리 아키텍처를 제안한다.

2. 관련 연구

컴퓨터를 이용하여 자동화된 방식으로 상황정보를 표현하고 저장하기 위해서는 상황정보 모델이 필수적이다. 따라서 상황정보를 모델링하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. Henricksen [6]은 객체기반의 상황정보 모델을 제안했다. Strang [7]은 상황정보를 보다 정형적인 형태로 표현하기 위하여 온톨로지 기반의 상황정보 모델을 제안했다. 제안된 온톨로지 상황정보 모델은 *aspect*, *scale*, *context* 의 세 가지 핵심 요소로 구성되었다. 그러나, 이러한 상황정보 모델링 방법들은 기술 종속적이며, 다양한 영역에서 서로 다른 형태로 생성되는 모든 상황정보를 표현할 수 있을 만큼 일반적이고 유연하지 못하다.

Sinderen [8]은 Unified Modeling Language (UML) 클래스 다이어그램을 이용하여 상호 운용이 가능한 일반적인 상황정보 모델을 제안했다. 실제로 상황정보를 관리하는 요소들은 이 일반적인 상황정보 모델을 구체화시켜 사용하게 된다. Dobslaw [9]는 Sinderen 이 제안한 것보다 유연하고 정교한 상황정보 모델을 제안했다. 제안된 모델은 크게 *Sensed Context*, *Internet of Things*, *Context Meta Data* 로 나뉘어진다. 하지만, 이러한 모델링 방법들은 상황정보의 품질 및 보안과 같은 상황정보와 관련된 중요한 개념들을 간과하고 있다. 본 논문에서는 기존 연구들이 제대로 다루지 않았던 상황정보와 관련된 여러 개념들을 포함하는 기술 중립적이고 유연한 상황정

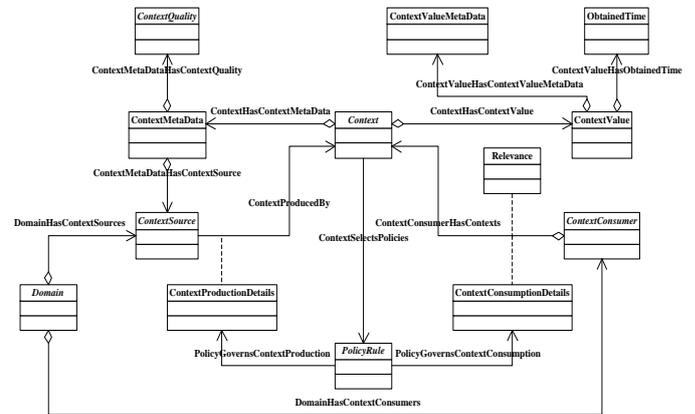


그림 2. 상황정보 및 관련 개념을 위한 모델

보 모델을 제안한다.

포괄적이고 효율적인 상황정보 관리 아키텍처는 상황정보와 관련된 다양한 형태의 개체들 사이에 발생하는 복잡한 상호작용을 이해하는데 필수적이다. Chen [10]은 중개인 (broker) 중심의 상황정보 관리 아키텍처를 제안했다. 이 연구에서 중개인은 에이전트를 대신하여 공유된 상황정보 모델을 유지하고 관리한다. Hofer [11]는 모바일 단말들을 위해 *Adaptor, Management, Application* 계층으로 구성된 상황정보 관리 아키텍처를 제안했다. Korpipaa [12]는 *Resource server, Context recognition service, Change detection service, Security* 로 구성된 상황정보 관리 프레임워크를 제안했다. 위의 네 가지 구성 요소들은 *Context manager* 에 의해 중앙집중 형식으로 관리된다. Riva [13]는 스마트폰의 상황정보를 관리하기 위한 시스템 플랫폼과 응용프로그램 프로토타입을 개발했다. 제안된 플랫폼은 *Registration and Profiling, Context Management, Proactive and Reactive Service Provisioning, Context Matching, Security and Trust* 의 핵심 기능들로 구성된다. 이상의 상황정보 관리 아키텍처를 제안한 기존 연구들은 대부분 사용자를 중심으로 다양한 영역에 걸쳐 분산되어 있는 상황정보를 획득하고 다루는 부분에 대한 과정이 부족하다. 본 논문에서는 사용자 중심으로 상황정보를 관리할 수 있는 새로운 관리 아키텍처를 제안한다.

3. 상황정보 표현 정보 모델

다양한 영역에서 서로 다른 형태로 생성되는 상황정보를 효율적으로 나타낼 수 있는 상황정보 모델은 사용자 중심의 상황정보 관리를 위해서 필수적이다. 이번 장에서는 사용자 주변에서 다양한 형태로 생성되는 상황정보를 표현할 수 있는 기술 중립적인 정보 모델을 제안한다.

그림 2 는 본 논문에서 제안하는 상황정보 모델을 나타낸다. *Context* 는 *ContextSource* 에 의해 생성되고 *ContextConsumer* 들에 의해서 소비된다. *ContextSource* 는 다양한 종류의 센서들 및 사용자 혹은 관리자가 직접 입력하는 정보에 해당한다.

ContextSource 는 특정 *Domain* (영역)에 위치하게 되며 이 *Domain* 은 다수의 *ContextSource* 를 가질 수 있다. 예를 들어, 스마트폰이라는 *Domain* 은 가속도 센서, WiFi 네트워크 인터페이스, 디지털 나침반, GPS 등의 *ContextSource* 를 갖는다.

ContextConsumer 는 상황정보 활용 서비스를 제공하거나 추론을 통하여 새로운 상황정보를 생성하는 개체를 의미한다. *Relevance* 는 *ContextConsumer* 와 *Context* 사이의 관련성을 정량적으로 나타낸다. 즉, *Relevance* 는 *Context* 의 *ContextConsumer* 에 대한 중요도, 영향도, 유용성, 우선 순위, 시간적 및 지역적 근접도, 적용 가능성 등이 종합적으로 고려되어 계산된 값이다. 예를 들어, 사용자 홍길동과 관련된 *ContextConsumer* 는 홍길동과 지역적으로 가까이 있고 최신의 정보를 포함하는 *Context* 에 보다 높은 *Relevance* 를 부여할 것이다. *ContextConsumer* 도 *ContextSource* 와 마찬가지로 특정 *Domain* 에 위치하며, *Domain* 은 다수의 *ContextConsumer* 를 포함할 수 있다.

ContextMetaData 는 상황정보의 종류, 인증 관련 정보, 권한이 있는 *ContextConsumer* 의 목록 등과 같이 연관된 *Context* 의 주변 정보를 나타내며, *ContextSource* 와 *ContextQuality* 를 별도의 클래스로 갖는다. *ContextQuality* 는 상황정보로 활용되는 정보의 품질을 기술하는 모든 정보를 의미한다 [14]. 이러한 상황정보의 품질을 나타내는 지표에는 *precision*, *probability of correctness*, *trustworthiness*, *resolution*, *up-to-dateness* 등이 있다. *ContextQuality* 는 *Relevance* 와 밀접한 관련이 있는데, 전자는 *Context* 자체의 품질을 나타내어 다소 정적인 반면에, 후자는 *Context* 와 *ContextConsumer* 사이의 동적인 상호작용에 의해 영향을 받고 결정된다는 차이가 있다.

ContextValue 는 연관된 *Context* 의 실제 값을 갖는다. 예를 들어, 스마트폰의 GPS *Context* 는 (37.77, -122.41)이라는 위도와 경도로 구성된 좌표 형태의 *ContextValue* 를 가질 수 있다. *ContextValue* 는 단위, 표본 추출 주기, 설명 등의 정보를 포함하는 *ContextValueMetaData* 를 갖는다. *ContextValue* 는 또한 *ObtainedTime* 을 갖는다. *ContextValueMetaData* 와 *ObtainedTime* 을 구분한 이유는 전자는 *ContextValue* 와 관련된 정적인 정보를 포함하여 자주 바뀌지 않는 반면, 후자는 *ContextValue* 가 갱신될 때마다 같이 바뀌어야 하기 때문이다.

Context 는 *ContextSource* 로부터 들어오는 입력과 *ContextConsumer* 의 요청에 대한 출력을 통제하기 위하여 *PolicyRule* 들을 선택하게 된다. *PolicyRule* 은 *ContextProductionDetails* 를 통하여 인증된 *ContextSource* 로부터 공급되는 상황정보만을 취하도록 입력을 통제한다. 또한 *PolicyRule* 은 *ContextConsumptionDetails* 를 통하여 권한이 있는 *ContextConsumer* 만이 상황정보를 획득할 수 있도록 통제하는 역할을 한다. 상황정보는 매우 민감하고 개인적인 정보를 포함할 수 있기 때문에, 인증되지

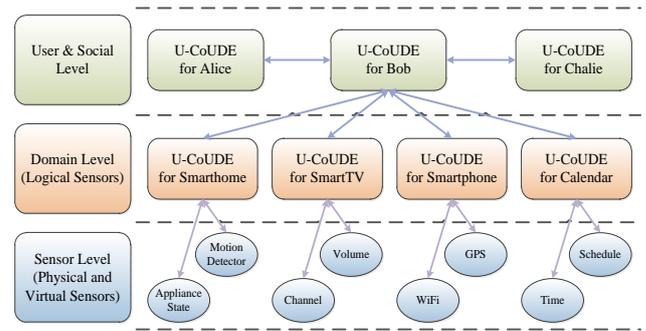


그림 3. 상황정보 관리 계층도

않은 갱신이나 권한이 없는 요청에 대해 보호되어야 한다. 이러한 보안적인 요소는 기존의 상황정보 모델들이 간과한 중요한 측면들 중의 하나이다.

4. 상황정보 관리 아키텍처

이번 장에서는 다양한 영역에 걸쳐 분산되어 있는 상황정보를 사용자 중심으로 관리하기 위한 아키텍처를 제안한다. 우리는 본 논문에서 제안하는 아키텍처를 U-CoUDE (User-centric Context manager for Ubiquitous and Distributed Environments)로 명명하였다. 그림 3 은 사용자 중심의 상황정보 관리를 위해 세 계층으로 구성된 상황정보와 관련된 개체들의 상호작용의 예시를 보이고 있다. 최 하단의 센서 수준 (Sensor Level)에는 Motion detector, Volume, GPS, Schedule 등과 같이 다양한 종류의 물리 (Physical) 혹은 가상 (Virtual) 센서들이 위치한다. 물리 센서는 물리적인 하드웨어를 통하여 상황정보를 수집하고 제공하는 것으로 상황정보 수집에 가장 널리 쓰인다. 가상 센서는 가상 공간에 존재하는 소프트웨어 응용 프로그램 혹은 서비스를 통하여 상황정보를 수집하고 제공한다. 영역 수준 (Domain Level) U-CoUDE 는 해당 영역에 포함되어 있는 센서들로부터 상황정보를 수집하고 종합한 후 새로운 추상적인 상황정보를 추론하여 제공한다. 영역 수준 U-CoUDE 의 추론 기능은 같은 수준에 위치한 상황정보 활용 서비스 혹은 상위 수준의 사용자 및 사회 수준 (User & Social Level) U-CoUDE 에 대하여 논리 (Logical) 센서의 역할을 한다. 사용자 및 사회 수준 U-CoUDE 는 해당 사용자와 관련이 있는 다수의 영역들에 존재하는 영역 수준 U-CoUDE 들로부터 상황정보를 종합하고 서로 연관시켜 보다 높은 수준의 추상적인 상황정보를 추론하고 제공하는 역할을 한다. 그림 3 에서는 사용자 Bob 과 관련된 영역들로 스마트 홈, 스마트 TV, 스마트폰, 전자 달력 등이 예시되어 있다. 사용자 & 사회 수준 U-CoUDE 는 또한 해당 사용자와 관련이 있는 다른 사용자의 U-CoUDE 와 상호작용을 통하여 사회적 수준의 상황정보를 획득하고 제공하기도 한다.

그림 4 는 그림 3 에 표현된 U-CoUDE 들 각각의

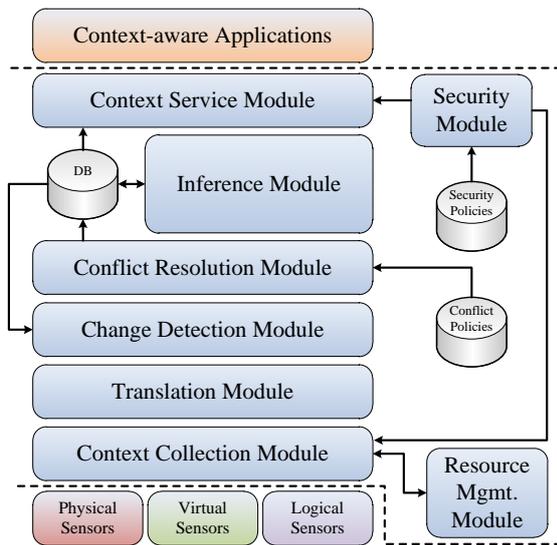


그림 4. U-CoUDE 아키텍처

세부 아키텍처를 나타낸다. 그림과 같이 U-CoUDE는 세 가지 종류의 센서와 상황정보 활용 응용 프로그램 혹은 서비스 사이에 위치하며, *Context Collection*, *Resource Management*, *Translation*, *Change Detection*, *Conflict Resolution*, *Inference*, *Context Service*, *Security*의 8개 모듈들로 구성된다.

Context Collection 모듈은 다양한 종류의 센서들과 직접적으로 통신하여 상황정보를 수집하는 역할을 한다. 이 모듈이 사용할 수 있는 통신 기술에는 Ethernet, WiFi, 3G/4G, Power Line Communication (PLC), Bluetooth, Ultra WideBand (UWB), Zigbee 등 매우 다양하다. 이들 기술 중 어떤 것을 선택할 것인지는 상황정보를 제공하는 센서의 종류 및 상황정보의 특성에 따라 달라진다. 이 모듈은 *Resource Management* 모듈과 협력하여 새로운 센서를 발견하거나 등록되어 있는 센서의 가용성을 점검하는 역할도 병행한다.

Resource Management 모듈의 목적은 상황정보 수집을 위하여 가용한 센서의 리스트를 *Context Collection* 모듈에 제공하는 것이다. 이를 위하여, 이 모듈은 정해진 규약을 통해 자동적으로 새로운 센서를 발견하여 추가되거나 사용자 혹은 관리자의 직접적인 입력을 통하여 추가되는 가용한 센서들의 리스트를 유지한다. 또한, 리스트에 존재하는 센서들의 가용성을 주기적으로 점검하여 최신의 상태로 유지한다.

Translation 모듈은 다양한 영역에서 서로 다른 형태로 생성되는 상황정보를 공통된 형태로 변환하여 상위 모듈들이 표준화된 동작을 수행할 수 있도록 한다. U-CoUDE는 특정 사용자와 관련이 있는 다양한 영역의 상황정보를 종합적으로 다루어야 하기 때문에, 이 모듈이 필수적이다. U-CoUDE에서는 그림 2에 나타난 상황정보 모델을 활용해 도출된 공통된 온톨로지 모델을 유지함으로써 이러한 기능을 제공한다. 즉, *Context Collection* 모듈로부터 전달

받은 상이한 형태의 상황정보 데이터들을 표준화된 형태의 온톨로지 모델로 변환함으로써 상호 운용성을 확보한다.

Change Detection 모듈은 데이터 베이스 (DB)에 저장되어 있는 상황정보와 새롭게 전달된 상황정보 사이에 의미 있는 차이가 있을 경우에만 상위 모듈을 호출함으로써 오버헤드를 경감시키는 역할을 한다. 이러한 역할은 대부분의 경우 임계치 (threshold) 기반의 방법만으로 충분히 수행될 수 있다. 이 모듈은 긴급한 상황정보 갱신 시에는 거치지 않도록 설정될 수 있다.

사용자와 관련이 있지만 서로 다른 영역에서 생성되고 확보된 상황정보들 간에는 충돌 (conflict)이 발생할 수 있다. 예를 들어, 스마트 홈에서 확보된 온도가 28 도인데, 현재 스마트 홈에 위치한 스마트폰으로부터 확보된 온도가 -5 도라면 둘 중에 하나는 잘못된 상황정보를 제공하여 충돌이 발생한 것으로 볼 수 있다. *Conflict Resolution* 모듈은 이러한 충돌을 해결하는 역할을 한다. U-CoUDE는 서로 다른 영역에서 다양한 종류의 상황정보를 획득하여 활용하기 때문에, 이러한 역할을 하는 모듈이 필수적이다. *Conflict Resolution* 모듈은 상황정보가 갱신되면 우선 *Translation* 모듈에 의해 정규화된 다양한 상황정보들을 종류별로 구분한다. 같은 종류의 상황정보 값들은 서로 비교되며, 그 차이가 임계치 이상으로 커지면 충돌이 발생한 것으로 간주된다. 발생한 충돌은 두 가지 방식 중 하나로 해결될 수 있다. 첫 번째 방식은, 충돌이 발생한 상황정보 중 가장 품질이 좋은 하나의 값만 취하는 것이다. 두 번째 방식은, 충돌이 발생한 상황정보들을 종합적으로 활용하여 새로운 값을 만들어내는 것이다. 예를 들어, 충돌이 발생한 상황정보들 전체의 평균을 내어 새로운 값을 만들어낼 수 있다. 이러한 충돌의 탐지 및 해결은 모두 *Conflict Policy*의 통제를 받는다.

Inference 모듈은 다른 상황정보들을 활용하여 새로운 추상 상황정보를 추론하는 역할을 한다. 상황정보를 추론하는 기법에는 단순한 분류 [12, 15]를 포함하여 Fuzzy logic [2, 12], 기계 학습 (Machine learning) [12, 15], 온톨로지 [16] 기반의 방법들이 널리 활용되고 있다. U-CoUDE는 다양한 영역의 상황정보를 다루어야 하기 때문에 특정 추론 기법을 활용하는 것으로 한정하지 않고, 모든 형태의 추론 기법들을 plug-in 형태로 활용할 수 있도록 한다.

Context Service 모듈은 DB에 저장되어 있는 상황정보를 상황정보 활용 응용 프로그램에 제공하는 역할을 한다. 이 모듈에 가장 적합한 형태의 기술은 Simple Object Access Protocol (SOAP) [17]과 같은 웹 서비스 기반의 방법들이다.

Security 모듈은 민감한 상황정보를 인증되지 않은 갱신 및 권한이 없는 요청으로부터 보호하는 역할을 한다. 즉, 센서들로부터 상황정보를 획득할 때 인증과정을 거쳐 위·변조되지 않은 상황정보만을 선별하여 취하며, 권한이 있는 상황정보 활용 응용

프로그램에만 상황정보를 제공하여 개인정보 유출을 방지한다. 이러한 역할은 *Security Policy* 에 의해 조정되며, 이는 우리가 3 장에서 제안한 상황정보 모델의 *PolicyRule* 에 상응한다 (그림 2).

5. 결론

사용자 주변에 그 사용자와 관련된 상황정보를 제공해 줄 수 있는 장비들이 증가함에 따라, 그들을 종합적으로 관리해 줄 수 있는 방법의 필요성도 증가하고 있다. 하지만, 이제까지의 상황정보 관리와 관련된 연구들은 하나의 영역에서 발생하는 상황정보만을 고려하고 있어 보다 새롭고 유용한 상황정보 활용 서비스의 제공을 어렵게 하고 있다. 본 논문에서는 사용자 중심의 상황정보 활용 서비스를 위하여 다양한 형태의 상황정보를 유연하고 확장 가능하게 표현할 수 있는 기술 중립적인 상황정보 모델을 제안하였다. 또한, 다수의 상황정보 개체들의 복잡한 상호 관계를 이해 및 관리할 수 있는 계층적인 상황정보 관리 아키텍처를 제안했다.

향후 연구로 우리는 제안된 상황정보 관리 아키텍처의 각 모듈들을 상세 설계하고 구현할 것이다. 또한 제안된 상황정보 모델 및 아키텍처를 활용하여 새롭고 유용한 상황정보 활용 서비스를 개발하고 제공할 계획이다.

6. 참고 문헌

- [1] N. Roy, S. K. Das, and C. Julien, "Resource-optimized quality-assured ambiguous context mediation framework in pervasive environments," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 218–229, Feb. 2012.
- [2] J.-M. Kang, J. Strassner, S. Seo, and J. W.-K. Hong, "Autonomic personalized handover decisions for mobile services in heterogeneous wireless networks," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1520–1532, May 2011.
- [3] M. Baldauf, S. Dustdar, and F. Rosenberg, "A survey on context-aware systems," *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 2, no. 4, pp. 263–277, 2007.
- [4] P. Lukowicz, A. S. Pentland, and A. Ferscha, "From context awareness to socially aware computing," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 11, no. 1, pp. 32–41, Jan. 2012.
- [5] Y.-B. Kang and Y. Pisan, "A survey of major challenges and future directions for next generation pervasive computing," in *Proc. 21st International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS '06)*, ser. LNCS, vol. 4263, Istanbul, Turkey, Nov. 1–3, 2006, pp. 775–764.
- [6] K. Henriksen, J. Indulska, and A. Rakotonirainy, "Modeling context information in pervasive computing systems," in *Proc. 1st International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '02)*, ser. LNCS, vol. 2414, Zurich, Switzerland, Aug. 26–28, 2002, pp. 167–180.
- [7] T. Strang, C. Linnhoff-Popien, and K. Frank, "CoOL: A context ontology language to enable contextual interoperability," in *Proc. 4th IFIP International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS '03)*, ser. LNCS, vol. 2893, Paris, France, Nov. 17–21, 2003, pp. 236–247.
- [8] M. J. van Sinderen, A. T. van Halteren, M. Wegdam, H. B. Meeuwissen, and E. H. Eertink, "Supporting context-aware mobile applications: An infrastructure approach," *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 9, pp. 96–104, Sep. 2006.
- [9] F. Dobsław, A. Larsson, T. Kanter, and J. Walters, "An object-oriented model in support of context-aware mobile applications," in *Proc. 3rd International ICST Conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications (Mobilware '10)*, ser. LNICST, vol. 48, Chicago, USA, Jun. 30–Jul. 2, 2010, pp. 205–220.
- [10] H. Chen, T. Finin, and A. Joshi, "An ontology for context-aware pervasive computing environments," *The Knowledge Engineering Review*, vol. 18, no. 3, pp. 197–207, Sep. 2003.
- [11] T. Hofer, W. Schwinger, M. Pichler, G. Leonhartsberger, and J. Altmann, "Context-awareness on mobile devices - the hydrogen approach," in *Proc. 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '03)*, Island of Hawaii, Hawaii, USA, Jan. 6–9, 2003, pp. 1–10.
- [12] P. Korpipää, J. Mantyjärvi, J. Kela, H. Keränen, and E.-J. Malm, "Managing context information in mobile devices," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 2, no. 3, pp. 42–51, 2003.
- [13] O. Riva and S. Toivonen, "The DYNAMOS approach to support context-aware service provisioning in mobile environments," *The Journal of Systems and Software*, vol. 80, no. 12, pp. 1956–1972, Mar. 2007.
- [14] T. Buchholz, A. Kupper, and M. Schiffers, "Quality of context: What it is and why we need it," in *Proc. 10th International Workshop on the HP OpenView University Association (HPOVUA '03)*, Geneva, Switzerland, Jul. 2003, pp. 1–14.
- [15] A. C. Santos, L. Tarrataca, J. M. Cardoso, D. R. Ferreira, P. C. Diniz, and P. Chainho, "Context inference for mobile applications in the UPCASE project," in *Proc. 2nd International ICST Conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications (Mobilware '09)*, ser. LNICST, vol. 7, Berlin, Germany, Apr. 28–29, 2009, pp. 352–365.
- [16] J. Kim, H. Choi, H. Wang, N. Agoulmine, M. J. Deen, and J. W.-K. Hong, "POSTECH's U-Health smart home for elderly monitoring and support," in *Proc. 2nd International Workshop on Interdisciplinary Research on E-Health Services and Systems (IREHSS '10)*, Montreal, Canada, Jun. 14, 2010, pp. 1–6.
- [17] SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition), W3C Recommendation 27, Apr. 2007.