

시맨틱 웹 애플리케이션의 시스템 프레임워크 및 도전 과제에 관한 연구

유 동 회*

A System Framework and Research Challenges for the Semantic Web Applications

Donghee Yoo *

요 약

웹의 등장 이후 급속도로 증가하는 정보를 효율적으로 처리하기 위하여 시맨틱 웹이 등장하였다. 시맨틱 웹은 기계가 사람을 대신하여 정보의 의미를 이해하고 사용자가 원하는 정보를 자동으로 처리하는 웹을 의미한다. 본 연구에서는 시맨틱 웹 기술을 기반으로 구현된 애플리케이션들을 조사하여 차세대 웹으로 주목 받고 있는 시맨틱 웹의 이해를 돕는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 시맨틱 웹 애플리케이션의 전반적인 분석에 사용되는 시스템 프레임워크를 제안하였다. 제시된 프레임워크를 이용하여 최신의 시맨틱 웹 애플리케이션들을 분석하였고 분석 결과를 바탕으로 향후 보다 실제적인 시맨틱 웹 구현을 위한 도전 과제들을 언급하였다.

Abstract

The Semantic Web has appeared to handle information on the web effectively, which has been increasing very rapidly since the web emerged. It refers to the machine, which understands the meaning of information on behalf of human and handles the information automatically that users want. The objective of this research is to help people to understand the Semantic Web as the next generation web by surveying the applications of Semantic Web technologies. To that end, this paper suggests a system framework which can be used for analyzing most of the Semantic Web applications. Using the suggested the framework, the recent Semantic Web applications are analyzed. And then research challenges are discussed to be overcome for the practical Semantic Web based on the analyzed results.

▶ Keyword : 시맨틱 웹 애플리케이션(Semantic Web application), 시스템 프레임워크(system framework), 온톨로지(ontology)

• 제1저자 : 유동회

• 투고일 : 2009. 11. 16, 심사일 : 2009. 11. 18, 게재확정일 : 2009. 12. 24.

* 육군사관학교 전자정보학과 전임강사

I. 서론

1990년대 초 Tim Berners-Lee가 월드 와이드 웹(World Wide Web)을 창시한 이후, 웹 기술은 지속적인 발전을 거듭해 왔으며 누구나 쉽게 정보에 접근하고 생산할 수 있는 새로운 시대를 맞이하게 해 주었다. 초기의 웹 기술은 웹 정보를 표현하는 HTML(Hypertext Markup Language)과 웹 정보들을 연결해 주는 하이퍼링크를 중심으로 발전하였다. 하지만 웹 애플리케이션들이 초기 웹 기술만을 이용하여 급속도로 증가하는 대량의 웹 정보를 자동으로 처리하기에는 여러 가지 한계점이 발생하였다. 이는 인터넷 상의 정보 또는 문서가 인간 위주로 구성되어 컴퓨터가 이해하기에는 부적합한 형태로 만들어져 있기 때문이다(9). 이에, 1998년 Tim Berners-Lee는 현재의 웹이 가지고 있는 한계를 극복하기 위해 컴퓨터가 이해할 수 있는 의미를 지닌 정보의 웹인 시맨틱 웹(Semantic Web)에 대한 그의 구상을 발표하였다(8). 다시 말해, 인간 위주의 정보 공간에서 컴퓨터가 이해할 수 있는 정보의 공간으로의 전환을 생각한 것이다.

W3C(World Wide Web Consortium)에서는 "시맨틱 웹은 현재의 웹을 확장한 것으로, 잘 정의된 의미를 사용함으로써 사람과 컴퓨터 간의 협력을 높일 수 있는 웹"이라고 정의하고 있다. 즉, 시맨틱 웹은 컴퓨터끼리 정보를 주고받을 때 기존의 웹 정보에다가 잘 정의된 정보를 추가로 활용하여 정보에 대한 해석력을 높이고, 이를 기반으로 사람의 개입 없이 정보를 자동으로 처리하는 웹을 나타낸다. 따라서, 시맨틱 웹이 구현될수록 사람이 하는 일은 점차 줄어들고 대부분의 일은 기계들끼리 자동으로 처리하는 웹이 만들어진다(12). 기계가 자동으로 웹 정보를 처리하기 위해서는 두 가지 요구사항이 필요하다. 첫 번째는 기계가 이해할 수 있는 표준화된 언어로 웹의 정보가 표현되어야 하며, 두 번째로 표현된 정보에서 사용된 다양한 개념들에 대한 의미(semantics)를 명확하게 정의한 온톨로지(ontology)(13)가 필요하다. 이와 관련하여 현재 W3C를 중심으로 표준화된 웹 언어에 대한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 시맨틱 웹 언어에는 웹상의 정보를 표현하는 RDF(Resource Description Framework)(18, 23)와 RDF의 표현 방법을 기반으로 온톨로지를 표현하는 OWL(Web Ontology Language)(3, 24)이 있다. 앞서 언급한 두 가지 요구사항이 모두 만족되면 기계는 자동으로 웹 정보를 처리할 수 있으며 온톨로지를 이용한 추론이 가능하다. 따라서 현존하는 웹 애플리케이션들이 시맨틱 웹 기술을 이용한 다양한 서비스를 개인 또는 기업에게 제공한다면 초기 웹의 등장에 이은 새

로운 변화를 안겨 줄 것이다.

시맨틱 웹에서 정보를 생성하고 이를 활용하는 방법은 기존의 웹과는 차이점을 가진다. 따라서 시맨틱 웹 기술을 현재의 웹 애플리케이션에 적용하기 위해서는 지금까지 개발된 시맨틱 웹 애플리케이션들에 대한 전반적인 이해가 필요하다. 즉, 시스템 구현에 사용된 필수 항목들이 무엇이며 그것들 간의 관련성이 명확하게 이해되어야 한다. 또한 보다 효과적이고 실제적인 시맨틱 웹 애플리케이션을 구현하기 위하여 현재까지 개발된 시맨틱 웹 애플리케이션들의 문제점을 파악하고 이를 기반으로 향후 해결해야할 도전 과제들이 도출되어야 한다.

이에 본 연구에서는 시맨틱 웹 기술을 기반으로 구현된 애플리케이션을 전반적으로 이해할 수 있는 시스템 프레임워크를 제안하고 이를 이용해 향후 시맨틱 웹 애플리케이션이 해결해야할 도전 과제들을 언급하는 것을 목적으로 한다. 그 과정을 요약하면 다음과 같다. 첫 째, 현재까지 개발된 다양한 시맨틱 웹 애플리케이션들을 조사하였다. 둘째, 조사된 애플리케이션들의 시스템 구조를 분석하여 각 시스템에서 공통적으로 사용하고 있는 주요 특징들을 이용해 시스템 프레임워크를 제안하였다. 셋 째, 시맨틱 웹 애플리케이션에 관한 이해를 돕기 위해 제시된 시스템 프레임워크를 중심으로 각 애플리케이션에서 사용된 기술들과 제공된 서비스들을 구체적으로 살펴보았다. 마지막으로 보다 실제적인 시맨틱 웹 애플리케이션 구현을 위해 향후 해결해야할 도전 과제들을 시스템 프레임워크에서 제시된 구성 요소 별로 구분하여 언급하였다.

II. 시맨틱 웹 애플리케이션 조사

현재까지 학계 및 기업을 중심으로 다양한 시맨틱 웹 애플리케이션들이 개발되고 있다. 개발된 애플리케이션들의 공통된 특징을 두 가지로 요약하면 다음과 같다. 첫 번째로 각각의 애플리케이션들은 서로 다른 개발 목적에 따라 다양한 형태의 서비스를 사용자에게 제공하고 있지만 그 기술의 핵심 온톨로지와 이를 기반으로 생성된 정보의 활용에 있다. 두 번째로 시대의 발전과 함께 새롭게 등장한 집단 지성, Ajax, Open API, Mashup 등과 같은 현상 및 기술들을 시맨틱 웹과 접목시켜 애플리케이션을 구현하려는 노력이 진행되고 있다. 따라서 지금까지 개발된 시맨틱 웹 애플리케이션들을 잘 이해하기 위해서는 앞서 언급한 두개의 특징을 지닌 애플리케이션들을 중심으로 조사가 진행되어야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 시맨틱 웹 환경에 최신 현상 및 새로운 기술들을 적용시켜 구현된 애플리케이션들의 아이디어와 성능을 평가하는 세계적인 대회인 Semantic Web

Challenge[36]에 출판된 시스템들을 중심으로 조사를 진행하였다. 그 이유는 최신 기술로 구현된 시맨틱 웹 애플리케이션들을 살펴봄으로써 현재 시맨틱 웹 기술의 적용 및 활용 가능성을 이해하고 이를 기반으로 향후 해결해야 할 도전 과제들을 살펴보기 위해서이다. 본 장에서는 조사된 시맨틱 웹 애플리케이션들에 관하여 영역별로 분류하여 설명하고자 한다.

2.1 e-Culture

MuseumFinland는 여러 박물관들의 데이터베이스에 흩어져 있는 유물 정보에 관한 시맨틱 정보 검색 서비스를 제공한다[17]. 여기에서 시맨틱 정보란 정보와 정보가 서로 관련성 있게 연결되어 있고 각 정보에서 사용된 개념들이 온톨로지에 정의된 개념을 이용하여 표현된 것을 나타낸다. 시스템에서는 박물관의 유물 정보의 표현을 위해 유물, 작가, 연대, 위치 등에 관한 7종류의 도메인 온톨로지를 이용한다. 서로 다른 위치에 있는 유물 정보를 동일한 XML 형태로 변형하였고, 변형된 XML 정보를 도메인 온톨로지를 이용해 RDF로 변형하였다. 도메인 전문가들로부터는 특정 유물과 관련 있는 유물을 찾아주는 규칙을 파악하여 검색 및 탐색에 활용하였다. 시스템에서는 온톨로지 기반의 패싯(facet) 검색, 특정 유물과 관련된 정보 검색, 검색된 유물과 동일 지역 또는 동일 연대에 제작된 유물 추천 서비스를 제공한다.

MultimediaN E-Culture는 박물관들의 유물과 미술품 정보를 수집하여 통합된 검색 서비스를 제공하고 있다[29]. 온톨로지인 예술 및 건축에 관한 시소러스(AAT), 예술가들의 이름 리스트(ULAN) 그리고 지명에 관한 시소러스(TGN)를 이용하였고 다국어 서비스를 지원하기 위해 WordNet을 이용하였다. Artchive, ARIA, RMV의 정보를 파싱(parsing) 기술과 수동의 색인 작업을 통하여 RDF로 변형하였다. 이 시스템에서 제공되는 서비스는 크게 기본 검색, 전문 검색, 패싯 검색, 관계 검색, 나의 수집품 서비스로 나눌 수 있다. 기본 검색 창에 특정 키워드를 입력되면 키워드가 포함된 정보가 검색된다. 전문 검색에서는 특정 예술가의 초기 작품 등과 같이 특정 시기에 관한 질의가 가능하다. 패싯 검색은 온톨로지 기반의 탐색 서비스를 제공하고 있다. 관계 검색은 사용자가 두 명의 예술가를 선택하면 선택된 예술가들간의 관계성이 추론되는 서비스이다. 나의 수집품 서비스는 현재 개발 중인 기능으로 사용자가 수집한 유물 정보들에 대한 관계성을 추론하여 알려주는 서비스이다.

2.2 개인화된 정보 시스템

CHIP 프로젝트에서는 박물관 예술품을 관람하는 사용자

의 선호도를 파악하여 개인화된 추천 서비스를 지원하는 시스템을 개발하였다[5]. 추천 서비스는 예술품에 대한 사용자 평가 정보를 바탕으로 제공된다. 평가 정보는 5점 척도로 평가 되는데 선호하지 않는 예술품은 1~2점, 선호하는 예술품은 3~5점으로 평가된다. 예를 들어, 사용자가 '고호'의 작품을 선호하면 시스템은 RDF로 표현된 예술품 정보에서 '고호'와 관련된 작품들을 추천한다. 이때, 사용자가 '식물'에 관한 작품을 선호하지 않을 경우 추천된 '고호'의 작품들 중에서 '식물'과 관련 없는 작품들만 새롭게 추천한다. 이와 같이, 시스템에서는 특정 사용자의 선호도에 대한 평가 정보를 많이 수집할수록 사용자가 원하는 예술품을 정확하게 추천할 수 있다.

iFanzys는 개인화된 TV 프로그램을 추천해 주는 시스템이다[7]. 사용된 온톨로지에는 OWL Time, Geo 온톨로지, TV Anytime 장르 분류, WordNet이 있다. BBC 데이터와 XMLTV로부터 방송 프로그램 정보를 수집하였고 IMDB로부터 영화 정보를 수집하여 RDF로 변형하였다. 시스템에서 제공되는 서비스에는 특정 날짜, 장르, 장소 정보에 대한 패싯 검색, 키워드 검색, 고급 정보 검색이 있다. 고급 정보 검색은 시간, 장소, 장르별로 결과를 재정렬할 수 있는 기능과 온톨로지를 이용한 키워드 확장 검색을 지원한다. 또한 사용자 프로필 정보와 프로그램에 관한 선호도를 이용하여 프로그램들을 추천하는 기능을 제공한다[4].

Personal Publication Reader는 사용자가 웹에서 수집한 논문 정보에 대한 통합관리 기능을 제공하는 시스템이다[2]. 시스템에서는 구조화되지 않은 웹 정보를 추출하여 XML 형태로 변형하는 기능, 변경된 정보를 통합하는 기능, 그리고 통합된 정보를 RDF로 변환하는 기능을 제공한다. 시맨틱 웹 연구 커뮤니티 온톨로지(SWRCO)를 확장한 REVERSE-온톨로지를 구현하였다. 개인화된 규칙 정보를 활용하여 추론 서비스를 제공하고 있다. 예를 들어, WC가 클래스 워킹그룹의 인스턴스이고 인스턴스 M을 구성원으로 가질 경우, WC는 워킹그룹의 구성원으로 인스턴스 M을 가진다는 관계성이 추론된다[6]. 시스템에서는 사용자가 수집한 논문 정보와 개인화된 규칙 정보를 이용하여 다양한 검색 서비스를 제공한다.

2.3 소셜 네트워크

CS AKTive Space는 영국의 컴퓨터 과학자들의 위치 정보, 소속 기관, 관심 연구 분야 등에 대한 정보를 제공해 주는 시스템이다[30, 31]. AKT 참조 온톨로지를 구현하였고 초기 정보 수집은 개별 학자들이 Hyphen[37]을 방문하여 개인의 정보를 등록하는 방법을 이용하였다. 수집된 정보는 온톨로지 형식에 따라 표현되며 동시에 온톨로지 기반의 네트워

크 분석이 진행된다. 예를 들어, A와 B가 동일한 논문을 작성했을 경우 공통의 관심사를 가지는 것으로 추론한다. 사용자는 CS AKTive Space에서 제공되는 지도 정보를 이용하여 해당 지역에 속한 연구자들의 세부 정보를 검색할 수 있다.

Flink는 시맨틱 웹을 연구하는 학자들에 관한 소셜 네트워크 서비스를 제공한다[25]. 학자들에 대한 정보는 웹 페이지, FOAF 프로파일, 이메일, 논문 정보로부터 수집하였다. 수집된 정보는 RDF 형태로 Sesame 데이터베이스에 저장된다. 이때, Flink 시스템에서 정의한 도메인 규칙에 해당하는 정보가 있을 경우 새롭게 추론된 정보도 함께 저장된다. 예를 들어, 이름은 다르지만 동일한 이메일 주소를 사용하는 사람이 있을 경우, 두 사람을 동일 인물로 추론된다. Flink 시스템은 시맨틱 웹 분야의 학자 검색, 네트워크 분석 기반의 관련 연구자 검색, 학계에서의 중요도 계산 등의 서비스를 제공한다.

2.4 웹 2.0

Revyu.com은 여행 장소, 책, 음악, 영화, 상품 등에 관한 평가 정보를 제공하는 사이트이다[14]. 시스템에서는 FOAF와 태그(tag) 온톨로지를 이용하였다. 사용자들은 자신이 평가하고 싶은 정보에 대한 제목, 해설, 점수, 태그를 입력한다. Revyu.com에서는 사용자가 입력한 평가 정보들이 RDF로 변형되어 누구나 그 정보를 이용 가능하게 하였으며 태그를 이용한 정보 검색을 지원한다. 시스템에서는 평가 정보를 입력할 때 DBpedia의 영화 정보, RDF Book Mashup의 책 정보, Geonames의 호텔 정보 등과 같은 외부 정보를 이용할 수 있으며 현재 보다 많은 외부 자원의 이용을 시도하고 있다.

CONFOTO는 컨퍼런스 사진에 대한 탐색과 색인 서비스를 제공해 주는 시스템이다[27]. CONFOTO는 웹 콘텐츠 관리 시스템(WCMS)을 확장하여 만든 시스템으로, 사진을 등록할 때 입력된 사진의 제목, 유형, 날짜, 등장 인물, 태그 등과 같은 색인 정보가 자동으로 RDF로 표현된다. 온톨로지에는 사진의 색인 정보를 시맨틱 정보로 표현할 때 필요한 개념들이 정의되어 있다. CONFOTO는 관심 있는 사진들을 수집하는 장바구니 기능을 제공한다.

Wikipedia는 사용자들의 협업을 통해 만들어진 백과사전이다. 현재의 Wikipedia의 문서 정보는 하이퍼링크를 중심으로 연결되어 있기 때문에 기계가 연결된 각 정보간의 관계성을 의미적으로 이해할 수 없다. 이러한 문제점의 해결을 위해 개발된 것이 Semantic Wikipedia이다[20]. Semantic Wikipedia는 문서를 작성할 때 문서에 관한 색인 정보를 의미 있게 정의하는 기능을 제공한다. 즉, 사용자가 특정 문서를 작성할 때 문서가 속할 클래스를 선택할 수 있고 문서에

입력된 단어의 의미를 정의할 수 있다. Semantic Wikipedia는 키워드 기반의 문서 검색 서비스와 사용자가 입력한 시맨틱 색인 정보를 이용한 패킷 서비스를 제공한다.

GroupMe!는 여러 웹 2.0 커뮤니티에 흩어져 있는 정보들을 쉽게 수집하고, 수집된 정보를 그룹화하여 관리하는 시스템이다[1]. 시스템에서 온톨로지로는 FOAF, RSS, DCMI, GroupMe! 용어사전을 이용하고 있다. 사용자는 자신이 만들 그룹의 이름, 이에 관한 서술 정보, 그리고 태그 정보를 입력한다. 웹 상의 정보를 검색하여 그룹화할 지식들을 수집한다. 현재 Flickr, Google, RSS 등에서 정보를 검색할 수 있다. 검색된 정보 중 자신이 원하는 정보를 마우스로 선택하여 정보를 수집하는 창 영역에 끌어 떨어뜨리기(drag & drop)를 하여 정보들을 그룹화한다. 수집된 개별 정보들에 대해서도 태그 정보를 입력할 수 있다. 수집된 정보들은 하나의 통합된 RDF 정보로 자동 변환된다. GroupMe!에서는 <사용자, 태그, 그룹, 정보>의 관계를 기반으로 정보가 검색된다. 따라서 특정 정보에 대한 태그 정보가 없더라도 정보가 속한 그룹의 태그 정보를 이용한 정보 검색이 가능하다.

2.5 기존 시맨틱 정보의 활용

최근 들어 기존에 만들어진 시맨틱 정보들을 이용하여 통합 검색 서비스를 제공하는 시맨틱 웹 애플리케이션들이 등장하고 있다. DBpedia Mobile은 모바일 장치에서 시맨틱 정보 검색과 정보 등록을 지원하는 시스템이다[10]. 시스템에서 사용하는 시맨틱 정보에는 Wikipedia 정보를 구조화된 정보로 변환한 DBpedia의 정보, Flickr의 사진 정보, Revyu의 평가 정보, YAGO의 위치 정보 등이 있다. 시스템에서 특정 지역이 선택되면 선택 지역에 관한 다양한 관광 정보들이 아이콘 모양으로 표시된다. 이때 사용자가 특정 아이콘을 선택하면 관련 정보들이 DBpedia에서 검색되고 Revyu로부터 평가 정보가 제공된다. 시스템에서 제공되는 온톨로지 기반 필터링 서비스는 사용자가 호텔, 레스토랑과 같은 온톨로지 개념을 선택하면 관계된 정보들이 아이콘 모양으로 표시되는 기능이다. 이외 SPARQL[28]의 세부 작성을 이용한 필터링 서비스와 모바일 장비를 이용한 사진 및 평가 정보 등록 서비스가 지원된다.

이와 유사하지만, 대용량 시맨틱 정보들에 대한 실시간 웹 검색을 지원하기 위해 개발된 SemPlore가 있다[34]. 시스템에서 제공하는 지도를 이용하여 특정 지역의 시설물과 사진 정보를 탐색할 수 있다. 또한, 제시된 정보들을 위치, 작성자, 태그, 시기별로 구분하여 검색하는 서비스를 제공한다.

III. 시스템 프레임워크

3.1 상향식(bottom up) 설계 방법

시맨틱 웹 애플리케이션의 이해를 돕기 위해 제시된 기존의 시스템 프레임워크들은 주로 특정 영역에 속한 애플리케이션들을 분석하기에 적합하도록 설계되었다. Lausen 등은 시맨틱 포털(semantic portal)에서 사용되는 시맨틱 웹 기술들을 정보 접근, 정보 처리, 배경 기술의 관점에서 구분하여 설명하였다[21]. Stojanovic과 Handschuh의 연구에서는 지식 관리 시스템에 관한 프레임워크를 제안하였고, 이를 기반으로 지식 처리 과정에서 고려되어야 할 사항들을 지식 수집, 지식 표현, 지식 처리, 지식 공유, 지식 사용으로 구분하여 기술하였다[33]. Kouroupetroglou 등은 시맨틱 웹에서의 효과적 협업을 지원하기 위한 방법으로 지식 표현, 시맨틱 색인, 지식 사용, 정보 저장으로 구분된 프레임워크를 제안하였다[19]. 이와 같이 기존의 시스템 프레임워크들은 제한된 영역의 시스템을 설명하기에 적합한 구조로 설계되었기 때문에, 시맨틱 웹 애플리케이션들의 전반적인 시스템 구조를 파악하기 위해서는 좀 더 포괄적이고 새로운 시스템 프레임워크가 개발되어야 한다. 또한 기존 연구들에서는 시스템 프레임워크를 구성하는 각 구성 요소에 대한 선택 기준을 명확하게 제시하지 못하였다.

이에 본 연구에서는 전반적인 시맨틱 웹 애플리케이션 분석에 적용 가능한 새로운 시스템 프레임워크를 상향식 설계 방법을 이용하여 제안하고자 한다. 이를 위해 앞서 조사된 각각의 시맨틱 웹 애플리케이션들의 시스템 구성 요소들을 분석하고, 그것들의 공통된 특징을 도출하여 시스템 프레임워크의 구성 요소들을 설계하였다. <표 1>은 각 애플리케이션에서 사용된 시스템 구성 요소를 설명하고 있다. 각 시스템의 구성 요소들은 사용된 기술을 중심, 사용된 기능 중심, 그리고 기술 및 기능 중심으로 구분된다. 이러한 구성 요소들을 이용하여 그들의 공통된 특징을 도출하였다. 예를 들어, OWL, RDFS, 도메인 지식 등은 온톨로지, RDF-DB, 데이터 저장소, 애플리케이션 서버, RDFS 저장소 등은 정보 보관으로 도출하였다. 여기에서 사진 업로더와 같이 특정 애플리케이션에만 필요한 구성 요소들은 프레임워크에서 제외하였다. 조사된 애플리케이션들에 대한 추가 정보들은 논문 홈페이지[39]에서 확인할 수 있다.

표 1. 시맨틱 웹 애플리케이션들의 시스템 구성 요소

Table 1. System Components for the Semantic Web Applications

이름	시스템 구성 요소
Museum Finland	도메인 지식, 색인 데이터, 도메인 규칙, 시맨틱 브라우저, 시맨틱 검색
Multimedia N E-Culture	RDF-DB, C, RDFS, OWL, Prolog, HTTP Server, SeRQL/SPARQL, 애플리케이션 로직, 정보 변환, 브라우저
CHIP Project	데이터 저장소, 데이터 갱신, 예술품 추천, 여행 마법사, 검색 및 선택, Web Client
iFanzzy	컨텐츠 검색 및 제공, 패킷 처리, 모델 관리자, 개인화, 애플리케이션 서버, 정보 제공, 정비 탐지, 접속 관리, 사용자 인증
Personal Publication Reader	사각화, 개인화, 연결 서비스, XML, RDF, JSP, XML-based-RPC
CS AKTive Space	실시간 정보 수집, 지속적 정보 수집, RDFS 저장소, 질의 서비스, 온톨로지 기반 서비스, 사용자 화면
Flink	정보 획득, 저장, 추론, 브라우징, 사각화, 네트워크 분석
Revyu	웹서버, MySQL, PHP, RDF 저장소, 정보 등록, 정보 연결, 온톨로지
CONFOTO	데이터 저장소, 온톨로지 저장소, 색인 정보 저장소, 사진 저장소, 시스템 DB, 색인, 브라우징, 데이터 접근, 래퍼, RDF/XML 로더, 사진 업로더
Semantic Wikipedia	웹 서버, Wiki 페이지 관리, 미디어위키 DB, 시맨틱 저장소, 파싱, 렌더링, 내부 질의, 데이터 처리, JavaScript+CSS
GroupMe!	정보 통합, 데이터 접근, 정보저장, 온톨로지, 검색, 제어, API, 정보 제공
DBpedia Mobile	검색 엔진, Marbles 엔진, 캐시 공유, Linked Data, 모바일 장비
SemPlore	RDF 저장소, RDF 저장소 관리, 웹 서버, KAT 플러그인, 플러그인 관리자, GUI 도구, 분산 질의 관리

이와 같이 상향식 설계 방법을 기반으로 제안된 시스템 프레임워크를 <그림 1>에서 확인할 수 있다. 시스템 프레임워크는 다음과 같이 3가지 부문으로 구성하였다. 첫 번째는 기계가 이해할 수 있는 형태인 시맨틱 정보의 생성, 관리 및 서비스 접근에 관한 정보 처리 부문이다. 두 번째는 정보 참조 부문으로 애플리케이션에서 사용하는 시맨틱 웹 기술을 의미하며 온톨로지와 온톨로지를 통해 만들어진 추론 지식으로 구분된다. 세 번째 정보 이용 부문에서는 사용자 화면의 사용 편리성, 시맨틱 정보 제공의 적절성, 그리고 사용 기술을 파악하고자 하였다.

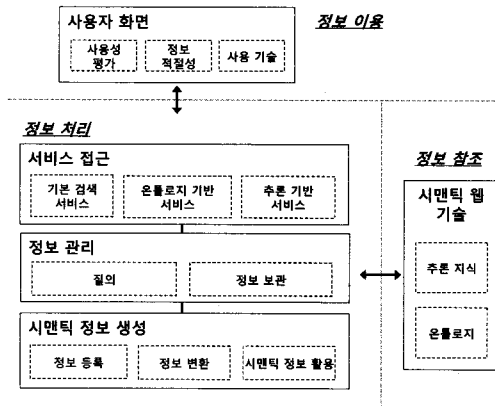


그림 1. 시맨틱 웹 애플리케이션에 관한 시스템 프레임워크
 Fig. 1. A System Framework for the Semantic Web Applications

3.2 정보 처리

시맨틱 웹 애플리케이션에서는 RDF로 표현된 정보를 이용한다. 여기에서 RDF란 웹 정보를 트리플(triple) 형태로 표현하여 개념간의 관계성을 기계가 이해할 수 있도록 도와주는 표준화된 서술 방식이다[18, 23]. 정보 처리 부분의 구성 요소는 RDF로 표현된 시맨틱 정보의 처리 과정에 따라 시맨틱 정보 생성, 정보 관리, 그리고 서비스 접근으로 구분된다.

시맨틱 정보 생성은 애플리케이션에서 사용하는 RDF 형태의 정보를 만드는 단계를 의미한다. 정보 생성 방법에 따라 분석 영역을 정보 등록, 정보 변환, 그리고 시맨틱 정보 활용으로 구분하였다. 정보 등록은 사용자가 애플리케이션에서 제공하는 입력 시스템을 이용하여 새로운 시맨틱 정보를 작성하고 등록한다. 정보 변환은 웹, 파일, 데이터베이스 등에 존재하는 기존 정보를 시맨틱 정보로 변환하는 방법이다. 변환 방법은 자연어 처리 및 텍스트 마이닝 기법 등을 활용하여 자동으로 정보를 변환하는 방법과 사용자가 특정 프로그램을 이용하여 수작업으로 정보를 변경하는 방법으로 구분된다. 마지막으로 시맨틱 정보 활용은 이미 만들어진 시맨틱 정보를 이용하는 방법이다.

정보 관리에서는 정보 보관과 질의 영역을 분석한다. 정보 보관 영역은 시맨틱 웹 애플리케이션에서 사용하는 시맨틱 정보를 비롯한 온톨로지 정보, 사용자 정보 등 다양한 정보들을 보관하는 물리적 장소를 의미한다. 일반적으로 이러한 정보들은 데이터베이스 또는 파일 형식으로 보관된다. 질의 영역은 저장소에 보관된 정보를 검색 때 사용하는 질의 방법을 분석하는 부분이며, 대표적인 질의어에는 SPARQL이 있다.

서비스 접근은 사용자에게 제공되는 서비스 영역을 구분한

다. 첫 번째 서비스 종류에는 키워드 검색 중심의 기본 검색 서비스가 있다. 두 번째로 온톨로지 기반 서비스에는 온톨로지 개념을 이용한 탐색 서비스와 온톨로지의 특정 개념과 관련된 정보를 찾는 검색 서비스가 있다. 그리고 마지막으로 온톨로지를 이용하여 추론된 새로운 정보들을 이용하여 의미 있는 정보 검색을 제공하는 추론 기반 서비스가 있다.

3.3 정보 참조

정보 참조는 시맨틱 웹 기술에 관한 부문으로 온톨로지 및 추론 지식 영역으로 구성된다. 각 애플리케이션에서 사용하는 온톨로지는 특정 분야의 지식 표현에 사용하는 도메인 온톨로지, Dublin Core와 같이 웹 정보에 관한 내용 기술에 필요한 어휘를 제공하는 메타데이터 온톨로지, 사물에 대한 일반 개념을 나타내는 일반 온톨로지 등으로 구분된다[12]. 대표적인 웹 온톨로지 표현 언어에는 RDFS(RDF Schema)[11]와 RDFS를 확장한 OWL이 있다. OWL의 경우 클래스, 오브젝트형 속성, 데이터형 속성, 개체를 이용하여 온톨로지를 표현한다. 추론 지식의 경우 추론 엔진이 온톨로지와 시맨틱 정보에 표현된 정보를 이용하여 새로운 지식 정보를 유추하는 것을 의미한다. 즉, 기존 정보에서는 찾을 수 없었던 다양한 추론 지식이 만들어지기 때문에 시맨틱 웹에서는 의미적 정보 탐색과 검색의 기반 환경을 제공한다.

3.4 정보 이용

사용자의 정보 이용 측면 또한 시맨틱 웹 애플리케이션 분석에 필요한 중요 부분이다. 이에 관하여 본 연구에서는 사용자 화면을 중심으로 사용성 평가, 정보 적절성, 사용 기술 영역을 분석하고자 한다. 사용성 평가 영역에서는 시맨틱 웹 애플리케이션을 이용하는 사용자가 얼마나 편리하게 시스템을 이용할 수 있는가에 대해 평가한다. 정보 적절성 영역에서는 시맨틱 정보 활용 관점으로 사용자에게 보여지는 시맨틱 정보들이 적절한 형태로 제공되는가를 분석한다. 마지막으로 시스템 화면 구현에 사용된 다양한 기술들을 살펴보고자 한다.

IV. 시스템 프레임워크를 이용한 시맨틱 웹 애플리케이션 분석

시스템 프레임워크를 이용하여 앞서 설명한 각각의 애플리케이션들을 분석한 결과를 <표 2>와 <표 3>으로 요약하였다. 기존의 웹 정보들을 시맨틱 정보로 변환하는 과정에서 다양한 파싱 기법들과 변환 프로그램이 활용되었다. 시맨틱 정보를

생성하는 애플리케이션의 경우 사용자가 시맨틱 웹에 대한 사전 지식이 없어도 쉽게 정보 등록을 할 수 있고, 내부 프로그램에 의해 입력된 정보가 자동으로 시맨틱 정보로 만들어지는 것을 알 수 있다. 또한 미리 만들어진 대량의 시맨틱 정보를 활용한 애플리케이션들이 등장하고 있다. 이러한 시맨틱 정보에 사용된 개념들은 RDF의 트리플 구조로 표현되기 때문에 트리플 구조를 기반으로 정보를 저장하고 질의하는 방법이 필요하다. Sesame의 경우 트리플 형태의 시맨틱 정보를 관계형 데이터베이스 또는 객체 지향형 데이터베이스에 저장하고 질의할 때 필요한 기능들을 API(Application Programming Interface)로 제공하고 있다. SPARQL 또한 트리플 구조 기반의 질의어이다.

온톨로지의 경우 도메인 온톨로지, 메타데이터 온톨로지, 일반 온톨로지 등 다양한 형태의 온톨로지가 사용되고 있다. 여기에서 주목할 것은 각 애플리케이션에서 특정 온톨로지를 공통으로 이용하는 경향이 증가하고 있다는 점이다. 이는 Dublin Core, FOAF와 같이 널리 사용되는 온톨로지를 이용하여 온톨로지를 정의하는데 소요되는 시간과 비용을 절약하고 동시에 서로 다른 애플리케이션에서 사용되는 시맨틱 정보간의 상호 운용성을 높이는 장점을 제공한다. 대부분의 시맨틱 웹 애플리케이션에서 주로 온톨로지 개념의 ISA 관계 추론 및 이행 추론(transitive inference)을 기반으로 생성된 추론 지식을 활용하고 있다. 그리고 Museum Finland와 같은 몇몇 애플리케이션에서 도메인 규칙을 정의하여 사용하고 있지만 아직까지 그 사용 범위가 제한적임을 알 수 있다. 사용자에게 제공되는 서비스는 온톨로지 기반 탐색 및 검색 서비스와 추론 기반 서비스로 요약할 수 있으며, 최근 연구에서 시맨틱 정보들이 서로 의미적으로 연결된 Linked Data[38]를 이용한 검색 서비스가 제공되고 있다.

Nielsen은 사용성 평가를 실시할 평가자들의 전문성의 중요성을 강조하면서, 5명을 전후한 평가자만 있더라도 효과적인 평가를 수행할 수 있다고 언급하였다[26]. 이에 본 연구에서는 사용자 화면의 사용성 평가 및 정보 적절성 부분은 시맨틱 웹 분야를 연구하는 대학원생 5명(석사과정 3명, 박사과정 2명)을 대상으로 실시하였다. 분석에 참여한 평가자들은 시맨틱 웹 관련 프로젝트에 참여 경험이 있는 학생들로 구성되었다. 분석 방법은 각각의 애플리케이션들을 사용해본 후 사용 편의성에 대해 정량적 평가와 정성적 평가를 실시하였다. 정량적 평가의 경우 5점 척도를 이용하여 사용하기 편할수록 5점에 가까운 점수를 선택하도록 설정하였다. 정성적 평가의 경우 각 시스템 사용 후 느낀 점 또는 개선 사항에 대한 개인 의견을 수집하였다. 사용성 평가에서 최근 구현된 시스템

일수록 높은 평가 결과를 얻었는데 이를 통해 시맨틱 웹 애플리케이션에서 사용자 이용의 편리성 부분이 점차 강조되고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 시맨틱 웹 애플리케이션의 도전 과제 도출

본 장에서는 향후 성공적인 시맨틱 웹 구현을 위해 필요한 도전 과제들을 시스템 프레임워크의 구성 요소들을 중심으로 살펴보고자 한다. 각 구성 요소에서 도출된 도전 과제들은 앞서 살펴본 시맨틱 웹 애플리케이션의 분석 결과를 토대로 작성되었으며, 시스템 관점에서 관련 연구들을 언급하였다.

기존 웹 정보를 시맨틱 정보로 변환하여 사용하는 애플리케이션의 경우 서로간의 유기적인 상호 작용이 필요하다. 현재 대부분의 시맨틱 웹 애플리케이션에서 일회성으로 변형된 시맨틱 정보를 이용하고 있기 때문에, 웹 정보가 추가되거나 변경되더라도 이에 관한 내용이 시맨틱 정보에 반영되지 않는다. 따라서 웹 정보와 시맨틱 정보간의 상호 작용을 기반으로 최신의 시맨틱 정보를 이용 가능하게 하는 연구가 필요하다.

시맨틱 정보 검색에 사용되는 질의어 확장을 통한 효과적인 질의 환경이 구축되어야 한다. Siberski 등의 연구는 SPARQL을 확장하여 사용자의 선호도에 관한 다양한 질의가 가능함을 보여주었다[32]. 이와 같이, 질의어가 확장되면 좀 더 다양한 검색 결과를 사용자에게 제공할 수 있으며 추가적인 검색 기능 구현에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있다.

시스템에서 사용되는 추론 지식은 온톨로지 기반 탐색에서부터 시맨틱 정보 검색에 이르기까지 다양한 서비스 제공에 활용되고 있다. 현재 시스템에서는 사용자 질의가 입력되는 순간 새로운 정보를 추론하여 검색 결과를 제공하는 것이 아니라 이미 만들어진 추론 지식을 데이터베이스 안에 저장하여 활용하고 있다. 그 이유는 현재 추론 엔진들이 실시간으로 추론하고 그 결과를 사용자에게 제공하기까지 많은 시간이 소요되기 때문이다. 향후 증가하는 시맨틱 정보에 대한 정확한 검색을 위해 추론 엔진의 성능 개선과 실시간 추론 기반 서비스에 관한 연구가 필요하다.

사용자가 서비스에 접근하는 가장 쉬운 방법 중 하나는 키워드가 아닌 자연어로 질의를 입력하는 것이다. Lopez 등의 연구에서는 사용자가 입력한 자연어 질의를 온톨로지를 활용해서 트리플 형태로 변형한 후 검색에 사용하였다[22]. 이와 같이, 향후 시맨틱 웹 애플리케이션에서는 자연어 질의를 처리할 수 있는 기반 환경 구현과 사용자의 개입을 최소화하여 자동으로 자연어를 처리하는 연구가 진행되어야 한다.

표 2. 시맨틱 웹 애플리케이션 요약: 정보 처리 부문
 Table 2. Summary for Semantic Web applications: Information processing section

이름	시맨틱 정보 생성	정보 관리		서비스 접근
		질의	정보 보관	
Museum Finland	정보 변환: Espoo, Helsinki, Lahti의 박물관 DB	Ontodella, Ontogator (XML/RDF form)	Single uniform repository	키워드 검색, Facet 검색, 유물 추천
Multimedia N E-Culture	정보 변환: Archive, ARIA, RMV의 박물관 DB	SeRQL, SPARQL, SWI-Prolog	RDF-DB (Local copy)	기본/전문 검색, Facet 검색, 관계 검색
CHIP Project	정보 변환: ARIA 박물관 DB	SeRQL	Sesame	사용자 선호도 기반 예술품 추천, 투어 가이드 제시
iFanzzy	정보 변환: BBC, IMDB, XMLTV	SeRQL	Sesame	Facet 검색, 키워드 검색, 프로그램 추천
Personal Publication Reader	정보 생성: 웹에서 사용자가 논문 정보를 추출	RDQL	Lixto Transformation Server	논문 정보 검색, 관련 정보 검색
CS AKTive Space	정보 생성: 웹의 등록 사이트 이용	RDQL	3store (RDFS triplestore)	위치 정보 기반의 과학자 검색
Flink	정보 변환: FOAF, email, Google Scholar, Web page의 정보 추출	Sesame query	Sesame	연구자 정보 및 관련 연구자 검색, 학계의 중요도 분석
Revyu	정보 생성: 사용자의 평가 정보 등록	Revyu SPARQL (RAP SPARQL engine)	MySQL-based triplestore, html	리뷰 정보 검색, Tag Cloud, Top reviewer
CONFOTO	정보 생성: 사용자의 사진 등록	SPARQL-driven components (Sparqllets)	Relational system database, Photo repository	사진 검색, 사진 장바구니 기능
Semantic Wikipedia	정보 생성: Wiki page 작성시 사용자가 등록	SQL, SPARQL	Semantic Store, MediaWiki DB (MySQL)	기본 검색, 시맨틱 색인 정보 기반의 정보 검색
GroupMe!	정보 생성: Flickr, YouTube, Wikipedia, Web site 이용	SQL, Search API	Datastore	키워드 검색, 태그 기반 정보 검색, 작성자 기반 검색
DBpedia Mobile	시맨틱 정보 활용/정보 생성: DBpedia, Flickr, GeoNames, DBLP Berlin, Yage 등, 사용자의 사진 및 평가 정보 등록	SPARQL	MySQL Spatial Extensions, Sesame	위치기반 관광 정보 검색, 평가 정보 제공, 필터링 서비스
SemPlore	시맨틱 정보 활용/정보 변환: DBpedia, GeoNames, WordNet, Swoogle, Flickr 정보 변환	SPARQL, Networked Graphs (SPARQL-based distributed view mechanism)	Amazon's EC2, Amazon's S3, Sesame	위치, 작성자, 태그, 시기별 관광 정보 제공, 이미지 정보 제공

표 3. 시맨틱 웹 애플리케이션 요약: 정보 참조 및 정보 이용 부문
 Table 3. Summary for Semantic Web applications: Information referencing section and information usage section

이름	시맨틱 웹 기술		사용자 화면		
	온톨로지	추론 지식	사용성 평가 요약 (평균)	정보 적절성	사용 기술
Museum Finland	Artifacts, Materials, Actors, Situations, Locations, Time, Collections (RDFS, OWL)	Hierarchy 규칙, Projection 규칙, 도메인 규칙 기반 추론	화면이 다소 복잡 (2.6)	특정 박물관 정보에 대한 다양한 메타 정보 제시	Onto Views-C (cocoon, java, xml, xsl)
MultimediaN E-Culture	AAT, ULAN, TGN, WordNet (RDFS, OWL)	작품간 관계성 추론	화면이 보기 좋음 (3.8)	유물 및 미술품에 대한 다양한 메타 정보 제시	HTML+CSS, SVG, AJAX, JavaScript, Java Applets, Google Map
CHIP Project	AAT, ULAN, TGN, Iconclass (RDFS, OWL)	Hierarchy 규칙, 선호도 기반 추천	화면이 보기 좋음 (4.0)	평가 정보 기반 실시간 추천 정보 제공	HTML+CSS, JSP, AJAX
iFanz	OWL Time, Geo ontology, TV Anytime, WordNet (RDFS, OWL, SKOS)	상하위 개념 추론, User Context 기반 추론	보기에 편안함 (4.2)	개인 정보 기반 TV 프로그램이 추천됨, 추천 이유 설명	HTML+CSS, JSP, JavaScript
Personal Publication Reader	REVERSE (OWL)	개인화된 규칙 기반 정보 추론	텍스트 위주의 사용자 화면 (2.6)	추론 지식이 화면에 제시, 상호 연결된 정보 제시	JSP, XML-based-RPC
CS AKTIVE Space	AKT Reference Ontology (OWL, DAML+OIL)	Transitive closure, ONTOCOPI 기반 추론	지도의 위치 정보 선택 후 느린 반응 시간 (2.8)	위치 기반 과학자 정보 및 온톨로지를 이용한 탐색 기능 제시	XHTML, ECMA-Script web page, Java Applet, mSpace
Flink	Research topics, FOAF (OWL)	RDF closure rules, FOAF 기반 추론	좁은 화면에 복잡한 소셜 네트워크 그래프 표현 (2.4)	학자 중요도 및 메타 데이터 표시, 학자간 관계성이 그래프로 표시	JSP, JSTL, JUNG
Revyu	FOAF, Tag (RDFS, OWL, SKOS)	간단한 추론 가능 (owl:sameAs, rdfs:seeAlso, skos:related)	보기에 편안한 화면 (4.0)	평가 정보가 정확하게 표시, 태그 기반의 검색 지원	HTML, PHP, RDF API for PHP, Web2.0 API
CONFOTO	사진 색인에 관한 도메인 온톨로지 (RDFS, OWL)	간단한 추론 가능 (e.g., rdf:type)	레이아웃 구분이 명확하지 않음 (2.4)	사진에 관한 색인 정보 및 폭소노미 기반 검색 제공	PHP, Web CMS, ARC,
Semantic Wikipedia	사용자가 작성한 wiki를 기반으로 온톨로지가 표현 (OWL DL)	사용자가 작성한 개념과 관계가 서로 연결됨	Wiki 사용자에게 익숙한 환경, 작성법 학습 후 이용가능 (3.0)	사용자가 작성한 내용의 의미를 직접 정의함	MediaWiki, Java Scripts, CSS, XHTML
GroupMe!	FOAF, RSS, DublinCore, GroupMe! Vocabulary (RDFS, OWL)	간단한 추론 가능 (e.g., rdf:type)	검색된 정보의 역동적 배치 (4.2)	실시간으로 웹 2.0 정보 검색 및 그룹화 기능 제공	Ajax, drag-and-drop operations
DBpedia Mobile	Wikipedia Category, YAGO Classification, WordNet Synset Links (SKOS, RDFS, OWL)	Linked Data 기반 추론	모바일 장비에 제공되는 정보가 다소 복잡 (3.0)	지역 관련 관광 정보가 서로 의미적으로 연결됨	JavaScript, DOM, Google Maps API, Yahoo! FireEagle web Service
SemPlore	SKOS Category, FOAF, WordNet (SKOS, OWL)	Transitive closure, Linked Data 기반 추론	지도 기반의 편리한 사용자 화면 (3.8)	대용량 시맨틱 정보가 실시간 제공	KAT Plugins (OpenStreet Map 기반)

시맨틱 웹 기술에서는 온톨로지의 표현 범위의 확대가 필요하다. 앞서 언급한 바와 같이 대부분의 시맨틱 웹 애플리케이션이 간단한 추론 기능(예: ISA 관계)을 제공하는 도메인 온톨로지를 구축하여 사용하고 있다. 따라서 보다 다양한 추론을 할 수 있는 의미적 기반을 제공하기 위하여 풍부한 의미로 구성된 온톨로지 구축과 이에 관한 방법론에 대한 연구가 필요하다[40, 41]. 또한 SWRL(Semantic Web Rule Language)[15, 16]과 같은 규칙 표현 언어를 적용하여 온톨로지의 표현 범위를 확장하는 연구도 필요하다.

사용자 화면에서 검색 결과로 제공되는 시맨틱 정보들은 온톨로지를 중심으로 긴밀하게 연결된 특징을 지닌다. 여기에서 검색 결과로 의미적 연관성을 지닌 정보들이 제공된다는 장점이 있다. 하지만, 대용량의 시맨틱 정보의 경우 사용자가 처리해야 할 시맨틱 정보의 양이 증가하기 때문에 사용 편의성이 낮아지는 문제점이 발생한다. 현재 개인마다 주관적으로 생각하는 개념을 기계가 파악하여 사용자를 대신하여 시맨틱 정보를 검색하는 연구[35]가 진행되고 있다. 이와 같이 사용 편의성을 높이기 위해 개별 사용자의 특성을 고려하여 사용자를 대신하여 자동으로 시맨틱 정보를 검색하는 연구들이 진행되어야 한다.

이러한 도전 과제들이 해결되면 향후 보다 실제적인 시맨틱 웹 구현이 가능하게 되고, 이러한 기술들이 지능형 쇼핑, 상품 추천, 멀티미디어 검색, 의료 정보 관리 등과 같은 분야에 적용되면 사용자에게 보다 새로운 서비스들이 제공될 것으로 기대된다.

VI. 결론

현재까지 개발된 시맨틱 웹 애플리케이션의 이해는 차세대 웹 기반 시스템의 흐름과 새로운 기술을 중심으로 제공될 서비스들을 이해할 중요한 자원이 된다. 이를 위해, 본 연구에서는 시맨틱 웹 애플리케이션의 전반적인 분석에 사용될 시스템 프레임워크를 제안하였고 이를 기반으로 다양한 분석을 진행하였다.

본 연구의 의의는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫 번째 의의는 시맨틱 웹 애플리케이션 분석에 사용되는 시스템 프레임워크를 제안하여 애플리케이션을 분석할 수 있는 기반을 제공하였다는 것이다. 그리고 실제 사용 가능한 시맨틱 웹 애플리케이션들을 조사하여 현재 적용 가능한 기술들과 그 사용 범위를 알 수 있게 한 것이 두 번째 의의라 할 수 있다. 마지막으로, 실용적인 시맨틱 웹 구현을 위해 필요한 여러 도전 과제들을 제안한 것이 본 논문의 마지막 의의이다.

본 논문에서는 Semantic Web Challenge에 출품된 애플리케이션들을 대상으로 조사가 진행되었기 때문에 분석 영역이 다소 제한된 한계점이 있다. 하지만 Semantic Web Challenge가 최신의 기술을 이용하여 구현된 시맨틱 웹 애플리케이션 경진 대회이기 때문에 시맨틱 웹 기술의 적용 및 활용 가능성을 이해하기에는 적합한 영역으로 판단하였다. 그리고 각 애플리케이션에 관한 사용성 평가는 시맨틱 웹 기술에 익숙한 참여자들을 대상으로 평가되었다. 그러므로 시맨틱 웹 기술에 익숙하지 않은 일반 사용자들이 경험하게 될 사용 편의성과는 일부 다를 수 있다는 점이 고려되어야 한다.

참고문헌

- [1] Abel, F., Frank, M., Henze, N., Krause, D., Plappert, D., Siehndel P., "GroupMe! - Where Semantic Web Meets Web 2.0." In Proceedings of ISWC/ASWC 2007, LNCS 4825, pp. 871 - 878, 2007.
- [2] Antoniou, G., Baldoni, M., Baroglio, C., Baumgartner, R., Bry, F., Eiter, T., Henze, N., Herzog, M., May, W., Patti, V., Schaffert, S., Schindlauer, R., Tompits, H., "Reasoning Methods for Personalization on the Semantic Web. Annals of Mathematics," Computing and Teleinformatics 2(1), pp. 1-24, 2004.
- [3] Antoniou, G., van Harmelen, F., "Web Ontology Language: OWL. In: S. Staab and R. Studer (eds.), "Hand book on Ontologies," Springer Verlag, pp. 67 - 92, 2004.
- [4] Aroyo, L., Bellekens, P., Bjorkman, M., Houben, G. J., Akkermans, P., Kaptein, K., "SenSee Framework for Personalized Access to TV Content," In Proceedings of Interactive TV: 5th European Conference, EuroTV2007, Amsterdam, The Netherlands, May 24-25, pp. 156-165, 2007.
- [5] Aroyo, L., Stash, N., Wang, Y., Gorgels, P., Rutledge, L., "CHIP Demonstrator: Semantics-Driven Recommendations and Museum Tour Generation," In Proceedings of ISWC/ ASWC2007, LNCS 4825, pp. 879 - 886, 2007.
- [6] Baumgartner, R., Henze, N., Herzog, M., "The

- Personal Publication Reader: Illustrating Web Data Extraction." Personalization and Reasoning. In Proceedings of ESWC 2005, LNCS 3532, pp. 515-530, 2005.
- [7] Bellekens, P., Aroyo, L., Houben, G. J., Kaptein, A., van der Sluijs, K., "Semantics-Based Framework for Personalized Access to TV Content: The iFanzy Use Case," In Proceedings of ISWC/ASWC 2007, LNCS 4825, pp. 887 - 894, 2007.
- [8] Berners-Lee, Tim., "Semantic Web Road Map," 1998.
<http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>
- [9] Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O., "The Semantic Web," Scientific American 284(5), pp. 34-43, 2001.
- [10] Bizer, C., Lehmann, J., Kobilarov, G., Auer, S., Becker, C., Cyganiak, R., Hellmann, S., "DBpedia-A crystallization point for the Web of Data," Journal of Web Semantics 7(3), pp. 154-165, 2009.
- [11] Brickley, D., Guha, R. V., "RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema," W3C Recommendation 10 Feb. 2004,
<http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>
- [12] Fensel, D., "Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce," Berlin:Springer-Verlag, 2001.
- [13] Gruber, T. R., "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications," Knowledge Acquisition 5(2), pp. 199-220. 1993.
- [14] Heath T., Motta, E., "Revyu.com: A Reviewing and Rating Site for the Web of Data," In Proceedings of ISWC/ASWC 2007, LNCS 4825, pp. 895 - 902, 2007.
- [15] Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Bechhofer, S., Tsarkov, D., "OWL rules: A proposal and prototype implementation," Journal of Web Semantics 3(1), pp. 23-40, 2005.
- [16] Horrocks, I., Patel-Schneider, P.F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, b., Dean, M., "SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML," W3C Member Submission 21 May 2004.
<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [17] Hyvönen, E., Mäkelä, E., Salminen, M., Valo, A., Viljanen, K., Saarela, S., Junnila, M., Kettula, S., "MuseumFinland - Finnish museums on the semantic web," Journal of Web Semantics 3(2/3), pp. 224-241, 2005.
- [18] Klyne, G., Carroll, J. J., "Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax," W3C Recommendation 10 Feb. 2004,
<http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>
- [19] Kouroupetroglou, C., Salampasis, M., Manitsaris, A., "A Semantic-Web based Framework for Developing Applications to Improve Accessibility in the WWW," In Proceedings of the 2006 International Cross-Disciplinary Workshop on Web Accessibility(W4A): Building the Mobile Web: Rediscovering Accessibility?, pp. 98-108, 2006.
- [20] Krotzsch, M., Vrandečić, D., Volkelt, M., Haller, H., Studer, R., "Semantic Wikipedia. Journal of Web Semantics," Vol. 5, No. 4, pp. 251-261, 2007.
- [21] Lausen, H., Ding, Y., Stollberg, M., Fensel, D., Hernández, R. L., Han, S., "Semantic web portals: state-of-the-art survey," Journal of Knowledge Management, Vol. 9, No. 5, pp. 40-49, 2005.
- [22] Lopez, V., Uren, V., Motta, E., Pasin, M., "AquaLog: An ontology-driven question answering system for organizational semantic intranets," Journal of Web Semantics Vol. 5, No. 2, pp. 72-105, 2007.
- [23] McBride, B., "The Resource Description Framework (RDF) and its Vocabulary Description Language RDFS. In: S. Staab and R. Studer (eds.)," Handbook on Ontologies, pp. 51 - 66, 2004.
- [24] McGuinness, D. L., Harmelen, F. V., "OWL Web Ontology Language Overview," W3C Recommendation 10 Feb. 2004, <http://www.w3.org/2004/02/27/owl/>

- w3.org/TR/owl-features/
- [25] Mika, P., "Flink: Semantic Web technology for the extraction and analysis of social networks," *Journal of Web Semantics* 3(2-3), pp. 211-223, 2005.
- [26] Nielsen J., "Why You Only Need to Test With 5 Users," 2000, <http://www.useit.com/alertbox/20000319.html>.
- [27] Nowack, B., CONFOTO: Browsing and Annotating Conference Photos on the Semantic Web. *Journal of Web Semantics* 4(4), pp. 263-266, 2006.
- [28] Prud'hommeaux, E., Seaborne, A., 2008. SPARQL Query Language for RDF. W3C Recommendation 15 Jan. 2008, <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- [29] Schreiber, G., Amin, A., van Assem, M., de Boer, V., Hardman, L., Hildebrand, M., Hollink, L., Huang, Z., van Kersen, J., de Niet, M., Omelayenko, B., van Ossenbruggen, J., Siebes, R., Taekema, J., Wielemaker, J., Wielinga, B., "MultimediaN E-Culture Demonstrator," In Proceedings of ISWC 2006, LNCS 4273, pp. 951 - 958, 2006.
- [30] Shadbolt, N., Gibbins, N., Glaser, H., Harris, S., Schraefel, M. C., "CS AKTive Space: or How We Learned to Stop Worrying and Love the Semantic Web," *IEEE Intelligent System* 19(3), pp. 41-47, 2004.
- [31] Shadbolt, N., Gibbins, N., Glaser, H., Harris, S., Schraefel, M. C., "Walking through CS AKTive Space: a demonstration of an integrated Semantic Web application," *Journal of Web Semantics* 1(4), pp. 415-419, 2004.
- [32] Siberski, W., Pan, J. Z., Thaden, U., "Querying the Semantic Web with Preferences," In Proceedings of ISWC 2006, LNCS 4273, pp. 612-624, 2006.
- [33] Stojanovic, N., Stojanovic, L., Handschuh, S., "A framework for knowledge management on the Semantic Web," In Proceedings of 11th World Wide Web Conference, poster track, Hawaii, 2002.
- [34] Wang, H., Liu, Q., Penin, T., Fu, L., Zhang, L., Tran, T., Yu, Y., Pan, Y., "Semplore: A Scalable IR Approach to Search the Web of Data," *Journal of Web Semantics* 7(3), pp. 177-188, 2009.
- [35] Yoo, D., Kim, G., Suh, Y., "Hotel-Domain Ontology for a Semantic Hotel Search System," *Journal of Information Technology and Tourism*, 11(1), pp. 67-84, 2009.
- [36] Semantic Web Challenge, <http://challenge.semanticweb.org>
- [37] Hyphen, <http://hyphen.info>
- [38] Linked Data, <http://linkeddata.org>
- [39] Article Homepage, <http://donghee.info/SWA>
- [40] 나민영, 양경용, "6단계 상향식 방법에 의한 국방 온톨로지 추출," *한국컴퓨터정보학회논문지*, 제 14권, 제 6호, 17-26쪽, 2009년 6월.
- [41] 윤보현, 서창호, "시맨틱웹을 위한 효율적인 온톨로지 객체 모델," *한국컴퓨터정보학회논문지*, 제 11권, 제 2호, 7-13쪽, 2006년 5월.

저자소개



유동희

2002년 8월 고려대학교 경영학사.

(MIS 전공)

2009년 2월 고려대학교 경영학박

(MIS 전공).

현재 : 육군사관학교 전자정보학과

전임강사

관심분야 : 시맨틱 웹, 온톨로지, 정보 검색, 정보 통합