
저자 (Authors)	와자한 알리 칸, 사이드 임란 알리, 무하마드 비랄 알리, 수жат 후세인, 허태호, 이승룡
출처 (Source)	한국통신학회지(정보와통신) 35(2) , 2018.1, 73-84 (12 pages) The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences 35(2) , 2018.1, 73-84 (12 pages)
발행처 (Publisher)	한국통신학회 Korea Institute Of Communication Sciences
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07337158
APA Style	와자한 알리 칸, 사이드 임란 알리, 무하마드 비랄 알리, 수жат 후세인, 허태호, 이승룡 (2018). 헬스케어 표준 상호운용성. 한국통신학회지(정보와통신), 35(2), 73-84.
이용정보 (Accessed)	경희대학교 국제캠퍼스 163.***.116.67 2018/11/12 18:16 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

헬스케어 표준 상호운용성

와자하트 알리 칸, 사이드 임란 알리, 무하마드 비랄 알리, 수자트 후세인, 허태호, 이승룡
경희대학교

요약

의료 커뮤니티에서 추구하는 목표 중 하나는 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 구축하는 것이며, 이는 전자 건강 기록(Electronic Health Records, EHR)을 사용함으로써 달성할 수 있다. 통합 EHR은 사용자가 어떤 장소에 있어도 원격 환경에서 클릭 한 번으로 건강 기록의 내용을 열람할 수 있는 것으로 정의된다. 통합 EHR 구축의 가장 큰 난관은 데이터, 처리, 지식 단계에서 존재하는 이질성 문제로 다양한 기관들이 통일되지 않은 형식을 사용함으로써 발생한다. 이러한 이질성 문제를 해결하기 위해선 다양한 헬스케어 시스템들 간의 상호운용이 가능한 헬스케어 서비스를 제공하는 방안이 필요하며, Health Level 7 (HL7) FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), Systematized Nomenclature of Medicine - Clinical Terms (SNOMED CT), Medical Logic Module (MLM) 등의 헬스케어 표준들을 사용함으로써 해결할 수 있다. 상호운용성을 달성한다면 전 세계의 병원에 근무하는 의료진들이 시간과 장소에 구애받지 않고 환자의 건강 기록을 열람할 수 있게 된다.

I. 서론

병원들 간의 EHR 통합과 연결을 이루기 위해서는 중재 서비스가 반드시 제공되어야 한다. 각 지역 병원의 전자 의료 기록(Electronic Medical Record, EMR)은 해당 지역 표준을 준수하거나 고유의 설계에 따라 개발되었으며, 헬스케어 표준 역시 메시징, 용어, 의사 결정 등 여러 가지 요소에 따라 새롭게 생성되고 있다[1][2]. 따라서 끊임없이 변화하고 증가하는 EMR과 헬스케어 표준을 지원하기 위해서는 중재 서비스 역시 지속적으로 이루어져야 할 필요가 있다. 이들을 하나의 연결된 플랫폼에서 관리하기 위한 방법들은 여러 가지가 있으며, 보다 더 나은 헬스케어를 이루기 위해서는 원활한 소통이 필수적이다. 그 중 하나는 특정한 의료 표준을 선택하고 모든 EMR들이 해당 표준을 따

르도록 하는 것이 있다. 이는 시스템 구축과 관리 측면에서 볼 때는 용이하지만 비용적인 면에서 보면 현실적이지 않다. 또한 기존의 기관들은 자신들이 사용하던 기술이 아닌 새로운 기술을 배우고 이를 적용하는 것에 대한 부담감을 느껴 주저하는 경향이 있다. 뿐만 아니라 몇몇 기관들은 이 같은 전세계적인 통합 건강 관리의 흐름에 참여하는 것을 주저하기도 한다. 따라서 EMR의 이질성 문제를 해결하는 것은 상호운용 솔루션 구축에 있어 제일 먼저 해결해야 될 과제이다[3].

의료 표준을 사용하는 것은 상호운용을 이룩하기 위한 최선의 수단이지만 너무 많은 수의 표준으로 인해 단점도 발생한다. 일반적으로 기관들은 사용이 쉽고 비용이 저렴한 의료 표준을 사용하길 원한다[4]. 그러나, 이러한 표준들을 어떻게 상호 이해시키는지에 대한 방법은 해결되지 않았다. 많은 수의 표준은 선택의 폭을 넓혀주지만 그만큼 상호운용의 어려움도 따른다. 서로 다른 범주에 속한 표준은 문제 없이 연관될 수 있지만 같은 범주에 속할 경우에는 상호운용 서비스가 필요하다. HL7¹⁾과 openEHR²⁾은 동일하게 메시징 표준이지만 서로 다른 방법으로 상호운용성을 다룬다[5]. SNOMED CT³⁾와 Logical Observation Identifiers Names and Codes (LOINC)⁴⁾은 용어 표준이며, 서로 겹쳐지는 부분이 있지만 완전히 동일하지는 않다. Clinical Information Modeling Initiative (CIMI)⁵⁾은 동일한 플랫폼 상에서의 표준을 개설하기 위해 HL7과 openEHR 등과 같은 표준에서 최적의 특징만을 추출하는 방안을 추진하였으나 실제 진행 상황은 미비하다[6]. 따라서 통합 EHR을 달성하기 위해서는 서로 다른 이기종 헬스케어 표준이 서로를 이해할 수 있어야 한다.

헬스케어 표준은 그 목적에 따라 <그림 1>과 같이 서로 다른 범주로 분류될 수 있다. 여기에는 메시징 (HL7), 용어 (SNOMED CT), 임상 정보와 환자 기록 (openEHR 및 HL7 CDA), 이미지 (Digital

1 <http://www.hl7.org/>

2 <http://www.openehr.org/>

3 <https://www.snomed.org/snomed-ct/>

4 <https://loinc.org/>

5 <https://www.opencimi.org/>

Imaging and Communications in Medicine (DICOM)⁶⁾ 등과 관련된 표준들이 있다. 처리 단계의 상호운용은 기존의 표준들을 이용한 Integrating the Healthcare Enterprise (IHE)⁷⁾에 의해 제공된다. 표준화의 핵심은 이기종 헬스케어 시스템 간의 상호운용을 다루는 것에 있다^[7]. 예를 들어 어느 한 기관이 HL7을 준수하며 SNOMED CT 용어를 사용하고, 다른 기관은 openEHR을 준수하며 LOINC 용어를 사용한다고 가정해 보자. 이들 간에 상호 통신을 위해서는 HL7, openEHR, SNOMED, LOINC 표준 모두에 대한 이해가 필요하다^[8]. 또 다른 예로는 비표준 EMR이 표준 EMR과의 통신을 해야 할 경우이다. 가장 어려운 경우는 비표준 EMR끼리의 통신을 위해 프로토콜을 정의하는 것이다.

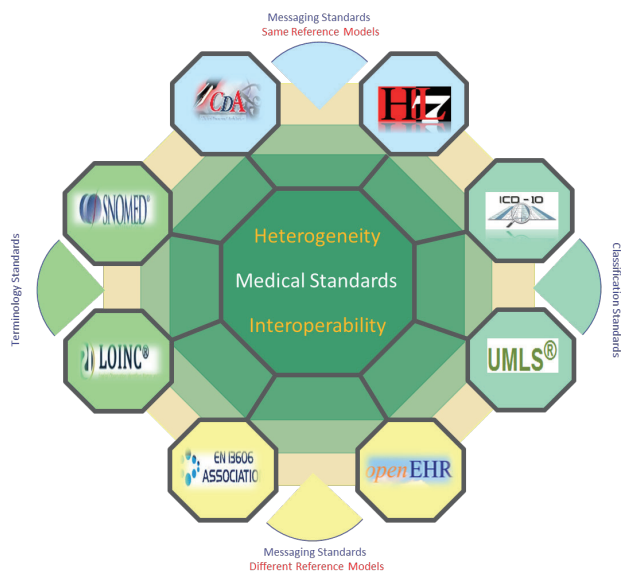


그림 1. 의료 표준 온톨로지 [7]

이질성 문제를 해결하기 위한 또다른 방법은 EMR을 위한 중재 서비스 [9]를 사전에 준비하는 것이다. 중재 서비스는 비표준 EMR 간의 소통, 표준을 따르는 EMR과 비표준 EMR 간의 소통 및 표준을 따르는 EMR 간의 소통을 잇는 가교 역할을 수행한다. 이는 서로 다른 시스템 간에 상호 이해를 가능하게 만들어 통합 EHR 기반의 연결된 헬스케어를 이룰 수 있게 한다.

II. 서비스 범주로서의 상호운용성

상호운용성을 이루기 위해서는 시스템 간의 통신 정보를 해석

할 수 있는 중재 시스템이 필요하다. 이러한 중재 시스템은 매핑을 토대로 통신 시스템 간의 계약을 생성한다. 브리지 온톨로지는 중개 온톨로지의 한 종류이며 [10][11]에서 처음 소개되었다. 시멘틱 브리지는 브리지 온톨로지의 구조를 설명하기 위해 제안되었으나 브리지의 일부분만을 제한적으로 제공하기 때문에 실제로 구현되지는 않았다. 상호운용성을 위한 시스템들은 서로 다른 범주로 나뉠 수 있다. 상호운용 시스템이 이해할 수 있도록 온톨로지 매칭 시스템은 매칭 과정 이후에 생성되는 결과물을 번역한다. 생체의학 온톨로지에서 동작하는 특정한 온톨로지 매칭 시스템은 상호운용성을 위해 온톨로지 간의 공통성과 차별성을 통합한다. 또 다른 범주는 중재 시스템으로 이기종 시스템 간의 상호운용을 목표로 한다. 이러한 시스템들 역시 온톨로지 매칭 기법에 의존하며, 이를 통해 이질성을 해결하고 온톨로지 설계 패턴을 이용하여 개발하는 사례가 증가하고 있다. 또한, 중재 시스템을 이용하여 이기종의 헬스케어 표준을 위한 상호운용을 다루는 논문이 많다. 나열된 범주들을 기반으로 본 고에서는 이기종 건강 관리 표준을 준수하는 의료 시스템 간의 상호운용을 달성하는데 필요한 절차에 대해 논의한다.

III. 온톨로지 매칭 기술과 방법

본 절에서는 현재 존재하는 온톨로지 매칭을 위한 최신의 툴과 기술들을 소개한다. 이들 툴들은 Ontology Alignment Evaluation Initiative (OAEI)의 참여도 및 사용성이 높은 툴들로 선정하였으며, 이외에도 현재의 최신 시스템들에서 사용되는 툴들을 소개한다. 초기 몇 년 동안의 OAEI에서는 Falcon이 온톨로지 매칭 시스템에서 우수한 성능을 선보였다^[12]. Falcon은 온톨로지의 탐색, 정렬, 학습 등 기본적인 기술을 제공하며, 분할 정복 기법을 사용하여 대규모 온톨로지를 1:n의 결과로 출력한다^[13]. 확장성과 재사용성은 이 시스템이 핵심적으로 다루고 있는 사항이나 매칭 기술과 사용자 인터페이스 문제 때문에 아직까지도 온톨로지 정렬단에서 구현되고 있다. 시스템이 해결해야 할 과제로는 매칭 기술과 알고리즘의 향상이 있다.

Agreement Maker는 온톨로지 매칭 툴로서 확장성 문제를 해결한다. 이 툴은 온톨로지를 보여주고, 여러 개의 매핑 계층을 시각적으로 보여주며, 정렬을 생성하기 위한 자동화된 매핑을 보여준다^{[14][15]}. 이는 일반적인 사용자 인터페이스와 함께 유연성 있고 확장성 있는 프레임워크를 제공한다. 이 시스템의 단점은 대규모 온톨로지 매칭에 사용되기에는 적합하지 않다는 것이다. 확장성 문제는 Agreement Maker의 확장 버전인 AgreementMakerLight에서 해결되었다. 이는 기존 프레임워크를 그대로 계승하여 연산의 효율

6 <http://www.dicomstandard.org/current/>

7 <https://www.ihe.net/>

성은 유지하되 대규모 온톨로지를 처리할 수 있게 되었다[16]. 또한, OAEI의 최신 시스템인 GOMMA와 LogMap과의 대규모 온톨로지 처리 수준과도 경쟁이 되는 수준이나 매핑 표현 부분에서는 떨어지는 모습이 보여진다. GOMMA [17]는 온톨로지를 관리하는 인프라를 제공한다. 이는 온톨로지 매칭과 진화 및 매핑에 끼치는 영향을 지원한다. LogMap은 또 다른 온톨로지 매칭 툴로서 대규모 온톨로지 매칭이 가능하여 깔끔한 매핑을 출력한다[18]. GOMMA와 LogMap은 현재 존재하는 다른 툴보다 높은 정확도를 보이며 YAM++와 동급의 수준을 보인다. YAM++은 여러 가지 개별적인 매칭 기술들을 결합하여 자가 설정, 유연성, 확장성을 지원한다[19]. YAM++에서는 매핑을 위해 정보 검색 기술을 사용하며 다중 언어 온톨로지 매칭을 지원한다[20]. Semantic Information Layer (SIL) [21]는 Enterprise Information Systems (EIS) 간의 데이터 상호운용을 위한 온톨로지 중재 방법이다. SIL은 프레임워크의 한 부분으로써 데이터 소스로부터 데이터 추출, 매핑 정보의 쿼리 및 기업들에게 매핑 서비스를 제공하기 위해 상위 계층에 정보를 제공한다. CroMatcher [22]는 온톨로지 매칭 시스템으로 기반 프레임워크는 자동화된 가중치 집합과 반복적인 최종 정렬에 기반한다. CroMatcher는 적용될 수 없는 매칭을 위해 대체값을 채용하고 임계점을 사용하여 확률이 낮은 정렬들은 제외시킨다. Matchers는 온톨로지 정렬들의 비교 및 유사한 정렬들을 생성하는 역할을 갖고 있다. 다른 정렬들과 구분되는 독특한 정렬을 생성하는 Matchers들에게는 더 많은 가중치가 할당된다. COGOM은 인지 이론에 기반한 온톨로지 매칭 시스템으로 의미론적 이질성 문제 해결과 온톨로지 공유 및 재사용을 지원한다. COGOM에서의 개념들은 지식의 인지 단위에 의해 모델링 된다. 지식 단위는 객체, 속성, 관계 등의 특성으로 구성된다. 시스템은 의미적으로 연관된 개념들을 식별할 수 있다. 이러한 점에서 매칭 기술의 집합이 사용되어 속성과 구조적 유사성 및 의미론적 개념을 집합시킨다[23]. LYAM++은 경량의 교차 언어 온톨로지 매칭 시스템으로 온톨로지 이질성 문제 해결을 위해 교차 언어 온톨로지 정렬과 관련된 문제를 해결한다. 시스템은 대규모의 다언어 의미망인 BabelNet을 사용하여 온톨로지 매칭 작업의 사전 지식을 제공한다. BabelNet은 기계 변환 기법에 기반한 전통적인 방법을 이용한 대체 방안을 제공한다[24].

IV. 생체의학 온톨로지 매칭 시스템 및 방법

생체의학 분야에서는 생체의학 온톨로지 간의 이질성 문제를 해결하여 상호운용성을 이룩하였다. System for Aligning and

Merging Biomedical Ontologies (SAMBO)와 Automated Semantic Matching of Ontologies with Verification (ASMOV)는 생체의학 온톨로지를 매칭하는 방법에 기반한다. SAMBO [25]의 온톨로지 병합 시스템은 관계와 개념을 정렬하는 방식으로 동작한다. 사용자 개입은 생체의학 온톨로지를 다룰 때 필요한데, SAMBO는 생성되는 모든 정렬에 대해 사용자의 개입을 필요로 하여 이는 자동화된 온톨로지 생성 시스템이라는 목표를 달성하지 못한다. 이러한 시스템들의 경우 온톨로지 진화를 조절하는 유연성이 부족하다. 생물 정보학 분야에서 정보 통합을 위한 온톨로지 매칭 접근법으로는 ASMOV [26]이 있으며, 유사성 계산과 의미 검증의 두 단계로 동작한다. 유사성 계산의 WordNet과 UMLS를 사용하여 정확도 수준을 향상시켰다. 위의 두 시스템은 생체의학 응용[13]을 중점으로 하고 있으며 온톨로지 매핑 표현에 대해서는 다루지 않고 있다. virtual Clinical Data Repository (vCDR) [27]는 하이브리드 온톨로지 통합 기법으로 DebugIT Core Ontology (DCO)가 다수의 의미론적 flat data description ontology (DDO)을 위해 의미론적 중재 온톨로지로서 동작한다. vCDR은 실시간 향균 내성 관찰 모니터링을 제공하는데, 이는 각국의 미생물학 연구소 데이터베이스들을 연동하여 국가간 구분 없이 공동으로 정보 공유가 가능한 초국가적 감시 시스템으로써 시멘틱 웹 기반 모델에 기반하여 상호운용성을 지원한다[28]. ServOMap는 수천 수만의 개체를 가진 대규모 온톨로지로서 Ontology Server를 가지며 정보 검색 기술을 지니고 있다. ServOMap은 서로 다른 응용 프로그램 간에 시간 효율적인 상호운용을 제공하기 위해 만들어졌다. 이들이 언급하는 해결해야 할 사항으로는 언어 형식 및 형식주의 수준에서 비롯된 이질성 문제이다. ServOMap의 주요 공헌은 대규모 지식 조직 시스템들 간의 유사성을 계산하는 일반적인 방법을 제시하고 있다[29].

V. 패턴 기반 중재 시스템

설계 패턴은 자주 발생하는 문제점들에 대해 고전적이고 현명한 해법을 제공한다. 온톨로지 분야에서의 온톨로지 설계 패턴은 온톨로지 개발 과정을 용이하게 하기 위해 활용되며, 이는 시멘틱 기술에서 잠재성을 가진 분야이다. 설계 패턴의 결합은 의미론적 이질성 문제를 해결하는데 사용되며, 이 때 온톨로지 매칭을 이용하여 개념들 간의 유사성을 찾아낸다. Peigang Xu et al. [30]은 차이성 혹은 유사성 행렬에 기반한 유사성 행렬 생성 기술을 제안하여 서로 다른 유사성 척도를 통합한다. 이 기법에서의 가중치는 매칭 온톨로지의 다양한 개체에 할당된다. 그 후

통합 작업이 수행되어 유사성 척도를 찾아낸다.

Tree Structure Based Ontology Integration (TSBOI) [31]은 온톨로지 매핑을 위해 트리 구조에 기반한 Document Type Definition (DTD)을 이용하여 온톨로지를 통합하며, 매핑 이외에도 데이터 공유에도 활용된다. 이러한 접근법들은 온톨로지 매칭 툴과 시스템 개발의 주요 소스이다. OAEI는 최신의 온톨로지 매칭 툴을 제공하는 플랫폼을 제공한다. 온톨로지 매칭 툴의 연구 방향은 한정된 기간 내의 적용과 확장성, 재사용성, 매핑 표현의 어려움에 의해 결정된다. 온톨로지 매칭 시스템의 중점 사항은 자동화 및 결과의 정확도에 있으며, 일반적으로 온톨로지 정렬 패턴을 이용한 정렬 표현은 무시한다. Zamazal et al. [32]에서 소개된 프레임워크는 온톨로지 패턴 탐색, 소스 온톨로지에서 타깃(목표) 온톨로지로의 변환, 명령의 생성에 중점을 둔다. Scharffe et al. [33]은 이를 개량하여 온톨로지 정렬 설계 패턴 표현을 도입하고 패턴 라이브러리를 제공하여 새로운 패턴을 도입하였는데, 연구 공헌은 온톨로지 정렬 패턴을 이용하여 온톨로지의 변환을 설명하는 것이다.

VI. 헬스케어 표준에 기반한 중재 시스템

다양한 의료 시스템들은 상호운용성을 이루기 위해 다양한 헬스케어 표준을 사용한다. 헬스케어 표준 분야에서 상호운용성과 관련된 의미 있는 논문들을 본 절에서 소개한다.

Artemis [34]는 서로 다른 Health Information Systems (HIS) 간의 시멘틱 중재 시스템으로 OWL-S를 이용하여 시멘틱 웹 서비스를 구현하였으며 통신은 HL7 표준에 기반한다. Artemis에서는 OWL 매핑 툴 (OWLmt)이 송신자와 수신자 간의 통신에서 사용되어 의미론적 상호운용성을 제공하며, 송신자의 온톨로지 인스턴스와 수신자의 온톨로지 인스턴스를 비교하고 중재하여 통신 규약을 보장한다[35]. Artemis에서 중점적으로 다루는 사항은 데이터 상호운용성으로 HL7 표준 V2와 V3 간의 이질성을 다루는 것이다.

Plug and Play Electronic Patient Records (PPEPR)는 시멘틱 SOA 기반 플랫폼으로 SOA, 웹서비스, 시멘틱에 기반한 이기종 Electronic Patient Records (EPRs)의 통합을 목표로 한다. 초기의 PPEPR 프로토타입은 HL7 V2와 HL7 V3 간의 이질성을 다루었으나[36], 이후 이기종 HL7 표준에 기반한 온톨로지의 매핑 방법을 제안하였다[37].

Integrating the Health-care Enterprise (IHE)는 헬스케어 종사자와 산업 전문가가 뭉쳐 헬스케어 시스템 통합에 중점을 둔 표

준을 구현하는 합작 투자 회사이다[38]. IHE 통합 프로파일은 상호운용성 평가 기준을 제시한다. 상호운용성 기준은 인터페이스 단계, 시멘틱 단계, 법률 및 기관 단계, 보안 단계 등의 다양한 단계에 기반한다[39]. IHE 프로파일은 서로 다른 표준을 사용하여 헬스케어 시스템들 간의 상호운용성을 이루는데 일조한다. 그러나 이 시스템의 한계점은 참여 기관들의 니즈에 따른 기관들의 일치점을 찾아내는 것이다[39]. 따라서 상호운용성에 대한 상세 정보를 보유하지 않을 경우 중재 시스템을 필요로 한다.

Jini Health Interoperability Framework (HIF-J) [40]는 SOA 기반 Jini 기술을 사용한다. HIF-J는 의미론적인 상호운용 메시지를 통신하는 역할을 수행하며, 제공되는 변환 서비스는 표준들 간의 중재자 역할을 수행한다. 이러한 변환 서비스는 HL7 V2, HL7 V3, openEHR 메시지 인스턴스를 변환시킨다. 이는 이기종 표준의 메시지 인스턴스 간의 XSLT 변환에 기반한다. HIF-J의 한계점으로는 도메인의 규모가 커질수록 표준 역시 증가하면서 XSLT를 관리하기 힘들어진다는 것이다. XSLT의 한계점으로 통사구조 변환만을 지원하며 시멘틱 변환은 지원되지 않는다.

Ortho-EPR [41]은 치과 교정 환자들의 전자 기록을 위해 HL7과 DICOM 표준을 통합하는 표준이다. 이 표준이 중점으로 다루고 있는 사항은 저장소의 제공과 치과 교정 환자 기록 간의 통신을 관리하는 것이다. Ortho-EPR 표준은 HL7에 의해 관리되는 메시지 부분과 DICOM에 의해 관리되는 이미지 부분으로 통합되어 있다. 이 표준의 한계점으로는 단지 언급한 두 개의 표준만을 통합할 뿐이며 표준들 간의 상호운용은 지원하지 않는다.

변환을 위한 툴을 지원하는 다른 연구로는 LinkEHR (HL7, openEHR, CEN 13606 등의 표준 간의 변환을 지원하는 툴 사용) [42]와 Poseacle Converter (CEN 13606과 openEHR 표준 전형의 변환과 검증 추출) [43]이 있다. LinkEHR-Ed는 Jose A. Maldonado et al. [42]에 의해 개발된 툴로써 다수의 참조 모델에 기반하여 전형의 생성, 처리, 검증을 위해 사용된다. 본 툴은 HL7 CDA, openEHR, CEN 13606 표준 참조 모델을 지원하며 이들의 참조 모델에 기반하여 전형을 생성한다. Catalina Martinez Costa et al. [43]은 이중 모델 아키텍처 표준 변환을 다루었다. CEN 13606 표준, openEHR 표준 전형과 변환 추출이 Poseacle Converter를 이용하여 논의되고 검증되었다[43]. 전형은 모델과 데이터 수준에서 이루어졌다.

[44]에서는 HL7 V3의 상호작용 온톨로지를 이용한 시멘틱 처리 상호운용에 중점을 두고 있다. 서로 다른 헬스케어 기관 간의 이질성 처리는 상호작용 온톨로지에 의해 처리되며, 여기에서는 HL7 V3 표준을 이용한다. 제안하는 기법은 HL7 V3 표준을 이용한 시멘틱 처리 상호운용이며 시멘틱 데이터 상호운용에 대해

서는 다루지 않는다. Ozgur Kilic et al. [45]은 매핑 정의 생성을 위한 매핑 알고리즘을 제안하였다. 매핑 정의는 HL7 임상 표현 인스턴스와 EHRcom 인스턴스 간의 변환을 관리하기 위한 것이다.

본 고에서 언급된 시스템들은 CDSS 시스템의 상호운용성에 대한 중요성을 강조한다. 온톨로지의 역할은 상호운용 CDSS에서 중요한 요소로 떠오르고 있다. 이는 의사결정지원시스템을 위한 지식 관리, 데이터 통합, 상호운용성 및 퓨전에 기반한 생체 의학 온톨로지[46]에 잘 나타나 있다.

SAPHIRE는 다중 에이전트 시스템으로 지능형 의사 결정 지원 시스템에 사용되며 환자를 모니터링하여 향상된 라이프케어를 지원한다. 이는 상호운용을 달성하기 위한 정보의 통신 관리를 위해 의미론적으로 풍부한 웹 서비스를 이용한다[47]. 의사결정 시스템 이외의 다른 시스템들 역시 서로 다른 표준에 따른 상호운용성을 추구한다.

S. Mazouz et. al. [48]는 XML Schema Mediator를 제안하였으며, 이는 서로 다른 헬스케어 기관 간에 가치 있는 임상 지식의 교환을 위해서이다. 제안하는 프레임워크는 공식화 단계, 매핑 단계, 매핑 단계의 3개 단계로 나뉜다.

헬스케어 분야에서 EHR과 표준 용어는 서로 다른 기관간에 데이터와 지식의 교환을 위한 공통의 프레임워크 구축을 위한 매우 중요한 요소이다. EHR 표준은 요구에 따라 환자 데이터의 디지털 방식 저장과 교환을 위한 규약을 정의하며, 이는 표준 용어 미준수, 오래된 기술 및 오래된 표준의 사용에 따른 문제점을 방지하기 위함이다[49].

VII. 상호운용 시스템의 요소

본 논문에서 나열한 시멘틱 조화에 기반한 시멘틱 상호운용성에 관련된 문헌 조사는 헬스케어 분야의 관점에서 봤을 때 세 개의 주요 범주로 요약될 수 있다. 첫번째는 서로 다른 크기의 온톨로지 매칭에 사용되는 일반적인 온톨로지 매칭 기술과 접근법이다. 이러한 온톨로지 매칭 시스템은 요구에 따라 정렬의 결정과 데이터 변환 기법을 이용하여 시멘틱 이질성 문제를 개체 매칭에 의해 해결한다[13]. 두번째는 시멘틱 상호운용성을 위해 의료 온톨로지만을 매칭하는 의료 온톨로지 매칭 시스템이다. 여기에서 중점을 두는 사항은 대규모 생체 의학 온톨로지를 매칭하여 생체 의학 정보를 통합하는 것이다[50]. 마지막 하나는 데이터 변환 메커니즘으로 상호운용성을 위하여 서로 다른 매핑 체계를 사용하여 서로 다른 데이터 포맷을 변환시키는 것으로 서로 다른 의료 시스템 간에 의미 있는 임상 정보의 교환을 개선시키는

것이다[51]. 이렇게 시멘틱 상호운용성을 이루기 위한 서로 다른 세 가지 방법은 전문가 시스템을 더욱 발전시키고 있지만 일반적인 시멘틱 상호운용성 프레임워크 분석을 위해서는 몇 가지 지표가 정의되어야 한다.

시멘틱 상호운용성 프레임워크에 영향을 끼치는 요소로는 매핑 기법, 데이터 변환, 매핑 표현, 매핑 표현의 유연성, 매핑의 정확성, 그리고 매핑의 연속성이 있다. 매핑 기법은 서로 다른 온톨로지를 매칭하는 기술이며, 데이터 변환은 서로 다른 구조를 가진 매핑의 포맷을 변환하는 것이다. 매핑 표현은 생성된 매핑이 저장소에 저장되는 것과 관련이 있으며, 유연성은 매핑 체계와 매핑 구조가 쉽게 변화될 수 있는 요소이다. 매핑의 정확도는 데이터 변환과 통합의 성공 여부에 영향을 끼치며, 연속성은 매핑의 변화를 반영하여 매핑의 정확도를 보완한다. 시멘틱 상호운용성을 위한 범주와 일반적인 프레임워크를 위한 요소는 연구 논문들에 기재된 시스템들의 분석을 토대로 진행되었다.

VIII. 서비스 관점에서의 상호운용성

상호 연결된 헬스케어 서비스의 관점에서 보았을 때 상호운용성은 데이터, 처리, 지식 상호운용성의 세가지 범주로 나눌 수 있다. 데이터 상호운용성은 원 기관과 목표 기관 간의 끊임 없는 통신 통역을 담당하여 목표 기관이 원 기관이 의도했던 대로 데이터를 통합하고 해석할 수 있게 한다. 이와는 반대로 처리 상호운용성은 기관들 간의 작업 처리 능력차를 통제하기 위해 통신 속도를 규제하며, 서로 다른 기관들 간에 처리의 호환이 이루어질 수 있도록 워크플로를 정렬한다. 지식 상호운용성은 다른 기관들 간의 지식 공유를 담당하며, 이에 따라 재사용성의 속성 역시 충족한다. 상호운용 규약을 통해 공유된 기존 지식의 재사용은 새로운 시스템의 개발을 가능하게 한다.

상호운용 서비스 개발의 동기는 <그림 2>에 나타나 있다. 다양한 만성질환을 지닌 환자는 병원 A에 방문하여 의사 A에게 당뇨병 치료를 받았다. 이 후 폐에 합병증이 생겨 B 병원의 B 의사에게 진단을 받았다. 만약 병원에 상호운용 시스템이 존재했다면 의사 B는 전자 기록을 통해 환자에 대한 좀 더 정확한 진단을 내릴 수 있을 것이다. 반면 상호운용 서비스가 없다면 각 병원의 자체적인 의료 개념에 따른 진단과 기록을 통해 환자 기록에 이질성이 발생할 것이다. 따라서 이러한 문제점 해결을 위해 서로 다른 병원의 다양한 EMR에 대한 구조적/의미론적 이질성을 해결할 수 있는 방법이 필요하다.

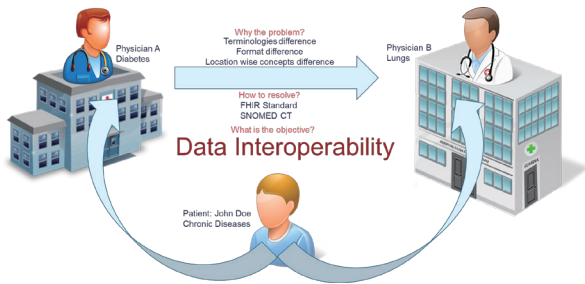


그림 2. 상호운용 서비스의 필요성

이러한 상호운용성 문제를 해결하기 위한 가장기본적인 방법은 헬스케어 표준을 이용하는 것이다. 헬스케어 표준은 메시징 표준 (HL7, openEHR, FHIR 등), 용어 표준 (SNOMED CT, LOINC 등), 분류 및 프로파일 표준 (ICD, IHE 등), 의사결정 표준 (Arden Syntax, MLM, GELLO 등), 문서 표준 (CDA, CCD 등), 이미지 표준 (DICOM) 등의 다양한 범주로 나눌 수 있다. CIMI는 협업 플랫폼으로써 서로 다른 표준과 참조 모델을 조화시켜 동작하며, 이러한 조화 단계는 상호운용 가능한 헬스케어 시스템을 구축하는데 매우 필요한 작업이다. 다만 CIMI는 아직 안정적인 버전이 구현되지 않아 현재 시점에서 다양한 기관에서 사용되기에는 적합하지 않다. 세 개의 상호운용 범주는 이러한 표준들을 사용하는 조화 모델에 의해 구체화될 수 있으며, 데이터, 처리, 지식 범주의 관점에서 상호운용성을 이룩하는데 도움을 준다. 이러한 표준들은 구문론적 및 의미론적 관점에서의 상호운용도 포함한다.

상호운용성의 세 가지 범주는 상호운용을 이루기 위한 최종 목표를 나타내며, 구문론적 및 의미론적 상호운용성은 최종 목표를 이루기 위한 세부 목표가 된다. 예를 들어 기관들 간에 통신되는 메시지는 하나의 구조로 이루어졌으며 이 구조 안에 실제 데이터가 포함되어 있다. FHIR 표준은 메시징 표준으로 이러한 메시징의 구조 구축을 담당하며 이를 구조적 상호운용성이라 한다. 메시지는 서로 다른 기관에서 서로 다르게 사용하는 의료 용어들이 포함되어 있다. SNOMED CT는 용어 표준으로써 의료 개념에 표준적인 의미를 부여할 수 있다. 이 또한 FHIR 메시지의 일부로써 의미론적 상호운용성을 지원한다. SNOMED CT가 포함된 FHIR 메시지는 구문론적 및 의미론적 메시지 통신을 수행하며, 메시지를 수신하는 기관에서 정보를 해석할 때 데이터 상호운용성을 수행한다.

구문론적 및 의미론적 상호운용성을 달성하기 위해서는 조화로운 중재 프레임워크가 필요하다. 이 프레임워크는 다양한 표준의 이해가 가능하며 이기종 시스템 간의 통신을 위한 번역기 혹은 가교로서 동작한다. 프레임워크가 상호운용성을 이루기 위해서는 다수의 가교 서비스가 설계되고 개발되어야 한다. 여기에는 이기종 모델들 사이에서 정렬을 생성하고 저장하는 매핑 서비스, 모든 정보를 표준 기반 설계 및 개발된 저장 체계에 저장하는 표준화 저장 서비스가 있다. 그리고, 기존의 모델에 생기는 변화를 처리하고 이미 저장된 정렬에 반영하는 매핑 진화 서비스, 알려진 정렬 사이들의 충돌을 완화하여 매핑의 정확도를 올리는 매핑 충돌 완화 서비스가 있다. 또한, 호환 가능한 포맷으로의 변환 서비스, 표준화된 저장소에 저장된 특

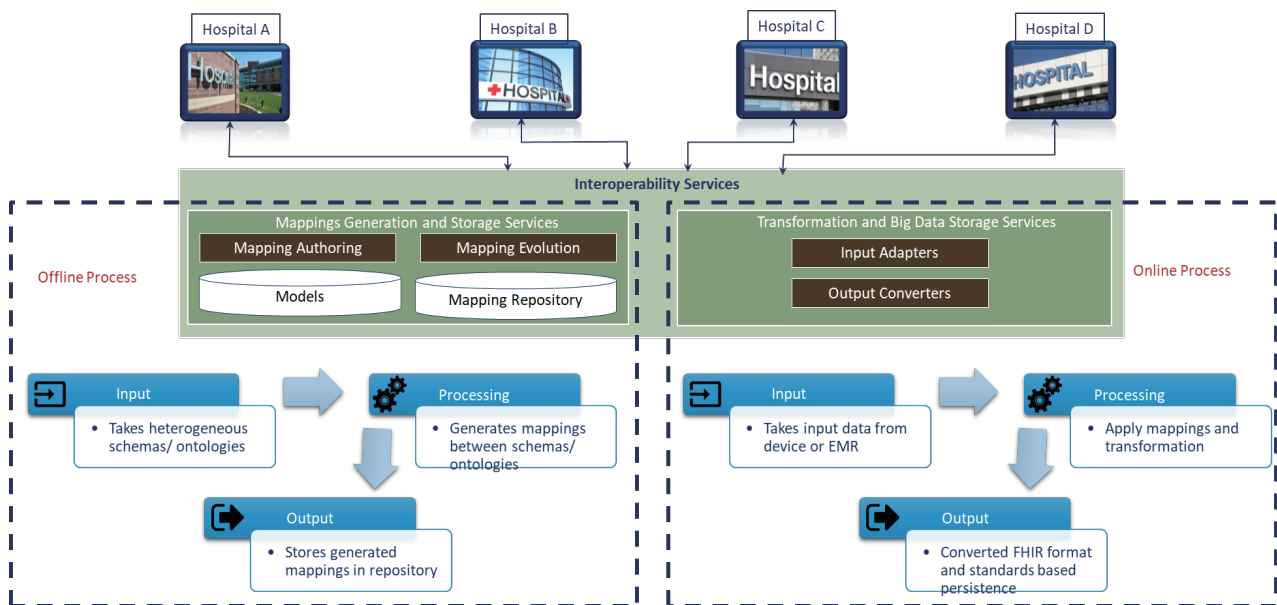


그림 3. 상호운용성 서비스

정 환자에 대한 정보를 전세계 병원 및 의사에게 제공하는 통합 EHR 제공 서비스가 있다. 상호운용 서비스 프레임워크의 추상도는 <그림 3>에 나타나 있으며 크게 Mappings Generation and Storage Services, Transformation and Big Data Storage Services로 구성된다. The Mappings Generation and Storage Services는 오프라인으로 동작하며 Mapping Authoring과 Mapping Evolution으로 구성된다. 이는 이기종 스키마, 모델, 온톨로지를 입력으로 받아들이며 매칭 기술을 적용하여 매핑을 생성하고 저장한다. Transformation and Big Data Storage services는 온라인으로 동작하며 입력 데이터 포맷을 수신자와 호환되는 포맷으로 변환시키며, 메시지가 입력되면 병원으로 출력시킨다. 이러한 메시지들은 표준 포맷으로 변환되거나 반대로 표준 포맷에서 메시지로 변환되며, 이를 위해서 기존에 생성된 매핑을 사용한다. 보다 상세한 서비스에 대한 내용은 이후 절에서 따로 설명한다.

IX. 매핑 생성 및 저장 서비스

본 절에서는 서로 다른 모델들 사이에서 정렬 (alignment)을 생성하기 위한 매핑기술에 대해 논의한다. 헬스케어 표준은 참조 모델을 제공하며 기존의 매핑 체계를 이용하여 매핑을 생성한다. 본 고 저자의 선행 연구에서는 기존에 존재하는 매핑을 이용하여 새로운 매핑을 설계하고 개발하였다[52]. 그러나 아직 높은 수준의 매핑 생성은 이루지 못하였다. 서비스 각각은 매핑 전략으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 전략은 모두 정렬 생성과 저장 기술을 개선시킨다.

모델은 이질적으로 구성되어 있으며, 변환과 번역 체계에 사용될 수 있는 정렬 생성을 위해서는 이러한 문제가 해결되어야 한다. 모델은 개체, 속성, 제약, 부모, 자식, 자손, 주석으로 구성되어 있으며, 이들은 매핑 서비스의 사전 준비를 위해 사용된다. 매핑 서비스는 매핑 전략에 의해 여러 범주로 분류될 수 있다. 구문론적 매핑은 개체 대 개체, 개체 대 속성, 속성 대 속성 매핑을 담당한다. 구조적 매핑은 자식 기반, 자손 기반, 부모 기반, 위치 기반 매핑 전략을 가진다. 정의 매핑은 모델의 주석을 이용하거나 서드파티의 용어들을 사용하여 정렬을 생성하며, 여기에는 모델 안에 포함된 라벨, 주석, 정의나 서드파티 사전의 정의나 정보가 있다. 생성된 매핑은 일 대 일 혹은 일 대 다의 대응으로 구성되며, 이는 변환 체계에 큰 영향을 끼치기 때문에 눈여겨보아야 할 중요한 요소이다.

X. 일반형/사용자 정의형 매핑 서비스

매핑 저장소는 일반적인 EMR을 위한 일반적인 매핑 혹은 특정한 EMR을 위한 특정한 매핑이 저장되어 있다. 일반적인 EMR은 일반형 매핑을, 특별한 EMR은 사용자 정의형 매핑을 사용한다. 매핑을 생성하기 위해서는 헬스케어 표준들에서 중재 개념을 가져와야 한다. 예를 들어 <그림 4>에서는 두 개의 EMR 모델 (EMR A와 EMR B)이 존재하며, EMR A 모델은 목적을, EMR B 모델은 탐색의 서로 다른 개념을 가진다. 두 개념 모두 FHIR 표준의 탐색 개념에 매핑된다. 이 경우 우리는 FHIR 개념이 중재 서비스를 제공한다고 말할 수 있다.

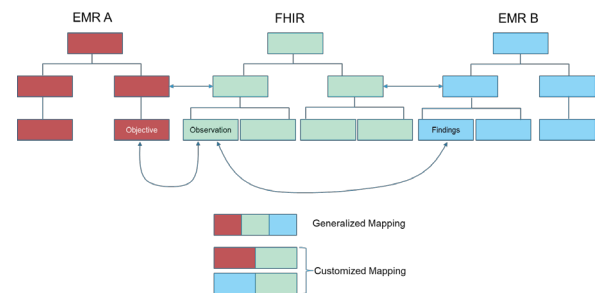


그림 4. 일반형/사용자 정의형 매핑의 예

XI. 매핑 진화 서비스

EMR 모델 혹은 헬스케어 표준 모델에서는 내용의 변화가 언제든지 발생할 수 있으며, 이러한 변화 사항들은 매핑에 반영될 수 있어야 한다. 이러한 모델들에서 개념이 추가, 삭제, 변화되어 매핑에 영향을 끼칠 수 있다. 매핑 진화 서비스는 모델에서의 변화를 감지하고, 이러한 변화가 개념의 추가, 삭제, 변화인지를 파악한다. 개념이 새로 추가될 경우에는 새로운 매핑이 생성된다. 개념의 삭제와 변화가 일어날 경우에는 이에 영향을 받는 모든 매핑이 오래된 매핑 버전으로 재 지정되며 변화된 개념의 내용을 반영한 새로운 매핑이 따로 생성된다.

XII. 표준화된 빅데이터 저장 서비스

다양한 종류의 EMR에 저장된 서로 다른 환자의 데이터는 중앙화된 보관소에 저장되어야 하며, 보관소는 통합 EHR 생성 서비스를 제공해야 한다. 다양한 EMR의 이질성 문제로 인하여 중앙 보관소는 특정 표준에 기반하여 동작하여야 한다. 예를 들어 HL7 RIM 기반 중앙 보관소는 서로 다른 기관들을 위한 통합

EHR을 생성할 수 있게 된다. 본 고의 저자는 이를 빅데이터 저장 서비스라 명명하는데, 이는 다양한 빅데이터를 다루기 위해 빅데이터 플랫폼을 활용하기 때문이다. 다음의 예를 통해 이를 설명한다.

어느 환자가 동일한 혹은 서로 다른 증상 때문에 병원 A와 B를 방문했다고 가정하자. 두 병원은 각자 고유의 EMR을 사용하고 있다. 두 병원 모두 우리의 시스템에 가입되어 있다고 하면 두 병원에 존재하는 동일 환자에 대한 서로 다른 EMR이 우리의 중앙 보관소에 저장된다. 만약 환자가 추후 역시 우리 시스템에 가입되어 있는 병원 C를 방문하였을 경우 우리 시스템이 제공하는 통합 EHR에 의하여 환자의 정보가 병원 C로 제공되어 더욱 정확한 진단이 가능해질 것이다.

XIII. 변환 서비스

변환 처리는 온라인으로 이루어지며 송신자와 수신자의 문서나 메시지가 상호 변환된다. 예를 들어 EMR 포맷을 포함한 메시지는 표준을 준수하거나 준수하지 않을 수 있다. 이러한 메시지는 SNOMED CT 용어를 포함하는 HL7 표준 중 하나인 FHIR로 변환된다. 변환 과정은 매핑 저장소에 저장된 매핑을 통하여 이루어진다[53]. 이러한 변환 과정은 상호운용성에 있어 중요한 요소이나 최종 목표인 통합 EHR에 사용되기에는 아직 한계점이 존재한다.

XIV. 논의 사항

헬스케어 기관들이 설계하고 개발한 독자적인 EMR은 이질성의 문제가 발생한다. EMR 모델과 표준 모델 사이에서 정확도 높은 매핑을 생성하는 것은 아직 해결해야 할 과제가 많이 있다. 현재까지는 신뢰성 높은 절대적인 수준의 매핑 기술은 존재하지 않으며, 이는 전문가들에 의한 수동적인 매핑 검증의 불편함을 초래하고 있다. 전문가들에 의한 수동 검증 역시 많은 문제점을 가지고 있다. 또다른 문제점으로는 EMR 모델과 FHIR 표준 모델 간의 매핑(구문론적 매핑) 및 EMR 모델과 SNOMED 모델 간의 매핑(의미론적 매핑) 등 서로 다른 범주 간의 매핑 문제가 있다. 따라서 신뢰성 높은 매핑을 생성하고 저장하기 위해서는 많은 과제들을 해결해야 한다.

연구 및 의료 기관들에 의해 생성되는 대규모의 데이터를 현재의 인프라에서 처리하기에는 한계가 존재한다[54]. 데이터

는 다양한 경로를 거쳐 획득되며, 이러한 기기와 시스템을 연결하는 것은 매우 어려운 작업이다. 상호운용성을 이루기 위해서는 엄격하게 통제되는 표준과 데이터 대한 정확한 인터페이스가 요구된다[55]. 상호운용성과 빅데이터 사이에 가교를 생성하는 것은 빅데이터 분석과 가치 기반 치료(정밀 의학)를 높일 수 있다[56]. 만약 빅데이터 상호운용성이 지원되지 않는다면 각각의 기관들은 참고 가능한 데이터의 전부를 참고하지 못하고 일부분만을 사용할 수밖에 없게 된다. 빅데이터 상호운용은 환자, 공공 의료 기관 및 연구자들에게 높은 통찰력을 제공할 수 있다.

모델에서 발생하는 작은 변화라도 즉각적으로 매핑에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 변화 관리는 장기적인 관점에서 봤을 때 상호운용 서비스에서 중요한 요소이다. 여기서 어려운 부분은 모델에서 발생하는 변화를 탐지하는 것에 있다. 이는 모델 상의 개념이 추가, 삭제 혹은 변화 났는지를 알아내야 한다는 것이다. 단순히 개념이 추가 났을 경우에는 매핑을 새로 생성하면 해결되며 기존의 매핑에 큰 영향을 주지 않는다. 다만 개념의 삭제와 변화는 기존의 매핑에 큰 영향을 주게 된다. 이를 해결하기 위해서는 먼저 이 개념에 영향을 받는 모든 매핑을 찾아 오래된 매핑으로 재지정하고, 여기에 새로 변화된 정보를 도입하여 새로운 매핑을 재 생성한다. 따라서 어떠한 변화가 발생할 경우 변화의 탐지 및 매핑 생성 재실행이라는 복잡한 과정을 거치게 되며, 이는 매핑의 수리 개념에서도 사용된다.

완성형 매핑의 생성은 달성하기 어려운 또 하나의 어려운 과제 중 하나이다. 매칭 기술로는 완성형 매핑을 생성하기 어려우며, 이를 위한 변환 과정이 구축되어야 한다. 여기에서 많은 질문이 발생하는데, 변환에 필요한 매핑이 저장되어 있지 않을 경우 어떻게 할 것인가, 전문가의 개입이 이 문제를 해결할 수 있는가, 어느 단계에서 전문가가 개입하여야 하는가, 전문가가 매핑 생성, 혹은 변환, 혹은 둘 모두에 개입하여야 하는가 등이다. 이러한 질문에 대한 답의 수준에 따라 상호운용 시스템의 완성도가 결정된다.

XV. 결론

헬스케어의 이질성 문제는 데이터, 처리, 지식 등의 서로 다른 단계에서 발생한다. 헬스케어 표준들은 이러한 이질성 문제를 해결해 주지만 각각의 또다른 문제점을 내포하고 있다. 본 고에서는 이질성 문제를 해결하는 상호운용성 서비스에 대해 다루었으며 이를 구현하는데 발생하는 제약점에 대해 기술하였다.

Acknowledgement

This research was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2017-0-01629) supervised by the IITP (Institute for Information & communications Technology Promotion), it was also supported by the MIST (Ministry of Science and ICT), Korea, under the National Program for Excellence in SW supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Promotion).

참고 문헌

- [1] Geissbuhler, Antoine, et al. "Confluence of disciplines in health informatics: an international perspective." *Methods of information in medicine* 50.6 (2011): 545.
- [2] Kiah, Miss Laiha Mat, et al. "Open source EMR software: profiling, insights and hands-on analysis." *Computer methods and programs in biomedicine* 117.2 (2014): 360-382.
- [3] Peixoto, Hugo, Andréa Domingues, and Bruno Fernandes. "Steps towards interoperability in healthcare environment." *Applying business intelligence to clinical and healthcare organizations* (2016): 1-23.
- [4] Coorevits, Pascal, et al. "Electronic health records: new opportunities for clinical research." *Journal of internal medicine* 274.6 (2013): 547-560.
- [5] da Silva Ferreira, Paulo Roberto. "OpenEHR ontology and Multi-Agent Systems for interoperability in heterogeneous HL7-based systems." (2013).
- [6] Di Martino, Beniamino, Giuseppina Cretella, and Antonio Esposito. "Research Initiatives and Emerging Standards." *Cloud Portability and Interoperability*. Springer International Publishing, 2015. 93-121.
- [7] Khan, Wajahat Ali. "Efficient Semantic Reconciliation for Data Interoperability among Heterogeneous Healthcare systems" PhD diss., Kyung Hee University, 2015.
- [8] Paraiso-Medina, Sergio, et al. "Semantic normalization and query abstraction based on SNOMED-CT and HL7: supporting multicentric clinical Trials." *IEEE journal of biomedical and health informatics* 19.3 (2015): 1061-1067.
- [9] Kaur, Kiranbir, D. R. Sharma, and D. R. Kahlon. "Interoperability and Portability Approaches in Inter-Connected Clouds: A Review." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 50.4 (2017): 49.
- [10] B. Xu, P. Wang, J. Lu, Y. Li, and D. Kang, "Bridge ontology and its role in semantic annotation," in *Cyberworlds, 2004 International Conference on*. IEEE, 2004, pp. 329 - 334.
- [11] P. Wang, B. Xu, J. Lu, Y. Li, and D. Kang, "Theory and semi-automatic generation of bridge ontology in multi-ontologies environment," in *On the Move to Meaningful Internet Systems 2004: OTM 2004 Workshops*. Springer, 2004, pp. 763 - 767.
- [12] W. Hu and Y. Qu, "Falcon-ao: A practical ontology matching system," *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 6, no. 3, pp. 237 - 239, 2008.
- [13] S. Pavel and J. Euzenat, "Ontology matching: state of the art and future challenges," *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, no. 25, pp. 158 - 176, 2013.
- [14] I. F. Cruz, W. Sunna, N. Makar, and S. Bathala, "A visual tool for ontology alignment to enable geospatial interoperability," *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 18, no. 3, pp. 230 - 254, 2007.
- [15] I. F. Cruz, F. P. Antonelli, and C. Stroe, "Agreementmaker: efficient matching for large real-world schemas and ontologies," *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 2, no. 2, pp. 1586 - 1589, 2009.
- [16] D. Faria, C. Pesquita, E. Santos, M. Palmonari, I. F. Cruz, and F. M. Couto, "The agreementmakerlight ontology matching system," in *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Conferences*. Springer, 2013, pp. 527 - 541.
- [17] T. Kirsten, A. Gross, M. Hartung, E. Rahm et al., "Gomma: a component-based infrastructure for managing and analyzing life science ontologies and their evolution." *J.*

- Biomedical Semantics, vol. 2, p. 6, 2011.
- [18] E. Jimenez-Ruiz and B. C. Grau, "Logmap: Logic-based and scalable ontology matching," in *The Semantic Web - ISWC 2011*. Springer, 2011, pp. 273 - 288.
 - [19] D. Ngo, Z. Bellahsene, and R. Coletta, "A flexible system for ontology matching," in *IS Olympics: Information Systems in a Diverse World*. Springer, 2012, pp. 79 - 94.
 - [20] D. Ngo and Z. Bellahsene, "Yam++: a multi-strategy based approach for ontology matching task," in *Knowledge Engineering and Knowledge Management*. Springer, 2012, pp. 421 - 425.
 - [21] F. Song, G. Zacharewicz, and D. Chen, "An ontology-driven framework towards building enterprise semantic information layer," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 27, no. 1, pp. 38 - 50, 2013.
 - [22] Gulic, Marko, Boris Vrdoljak, and Marko Banek. "CroMatcher: An ontology matching system based on automated weighted aggregation and iterative final alignment." *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 41 (2016): 50-71.
 - [23] Saruladha, K., and S. Ranjini. "COGOM: Cognitive Theory Based Ontology Matching System." *Procedia Computer Science* 85 (2016): 301-308.
 - [24] Tigrine, Abdel Nasser, Zohra Bellahsene, and Konstantin Todorov. "Light-weight cross-lingual ontology matching with LYAM++." *ODBASE: Ontologies, DataBases, and Applications of Semantics*. No. 9415. 2015.
 - [25] P. Lambrix and H. Tan, "Sambo-a system for aligning and merging biomedical ontologies," *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 4, no. 3, pp. 196 - 206, 2006.
 - [26] Y. Jean-Mary, E. Shironoshita, and M. Kabuka, "Ontology matching with semantic verification," *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 7, no. 3, pp. 235 - 251, 2009.
 - [27] D. H. Teodoro, R. Choquet, D. Schober, G. Mels, E. Pasche, P. Ruch, and C. Lovis, "Interoperability driven integration of biomedical data sources," *Studies in health technology and informatics*, vol. 169, pp. 185 - 9, 2011.
 - [28] D. Teodoro, E. Pasche, J. Gobeill, S. Emonet, P. Ruch, and C. Lovis, "Building a transnational biosurveillance network using semantic web technologies: requirements, design, and preliminary evaluation." *Journal of medical Internet research*, vol. 14, no. 3, pp. e73 - e73, 2011.
 - [29] Ba, M., and G. Diallo. "Large-scale biomedical ontology matching with ServOMap." *IRBM* 34.1 (2013): 56-59.
 - [30] P. Xu, Y. Wang, and B. Liu, "A differentor-based adaptive ontology-matching approach," *Journal of Information Science*, vol. 38, no. 5, pp. 459 - 475, 2012.
 - [31] J. Xie, F. Liu, and S.-U. Guan, "Tree-structure based ontology integration," *Journal of Information Science*, vol. 37, no. 6, pp. 594 - 613, 2011.
 - [32] O. Svab-Zamazal, V. Svatek, and L. Iannone, "Pattern-based ontology transformation service exploiting owl and owl-api," in *Knowledge Engineering and Management by the Masses*. Springer, 2010, pp. 105 - 119.
 - [33] F. Scharffe, O. Zamazal, and D. Fensel, "Ontology alignment design patterns," *Knowledge and Information Systems*, pp. 1 - 28, 2013.
 - [34] A. Dogac, G. B. Laleci, S. Kirbas, Y. Kabak, S. S. Sinir, A. Yildiz, and Y. Gurcan, "Artemis: Deploying semantically enriched web services in the healthcare domain," *Information Systems*, vol. 31, no. 4, pp. 321 - 339, 2006.
 - [35] E. D. Valle, D. Cerizza, V. Bicer, Y. Kabak, G. B. Laleci, and H. Lausen, "The need for semantic web service in the ehealth," in *In W3C workshop on Frameworks for Semantics in Web Services*, 2005.
 - [36] R. Sahay, W. AKhtar, and R. Fox, "Ppepr: Plug and play electronic patient records," in *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied Computing (SAC)*. Fortaleza, Ceara, Brazil: ACM, March 16-20 2008.
 - [37] R. Sahay, R. Fox, A. Zimmermann, A. Polleres, and M. Hauswirth, "A methodological approach for ontologising and aligning health level seven (hl7) applications," *Availability, Reliability and Security for Business, Enterprise and Health Information*

- Systems, pp. 102 - 117, 2011.
- [38] C. Carr and S. Moore, "The: a model for driving adoption of standards," *Computerized medical imaging and graphics*, vol. 27, no. 2, pp. 137 - 146, 2003.
- [39] F. Wozak, E. Ammenwerth, A. Horbst, P. S. "ogner, R. Mair, T. Schabetsberger, and E.-W. " Center, "The based interoperability for service oriented architectures." in *GI Jahrestagung* (1), 2008, pp. 59 - 64.
- [40] A. Ducrou, "Complete interoperability in healthcare: technical, semantic and process interoperability through ontology mapping and distributed enterprise integration techniques," *Doctor of Philosophy Thesis*, 2009.
- [41] A. Magni, R. de Oliveira Albuquerque, R. de Sousa Jr, M. Hans, and F. Magni, "Solving incompatibilities between electronic records for orthodontic patients," *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 132, no. 1, pp. 116 - 121, 2007.
- [42] J. A. Maldonado, D. Moner, D. Bosca, J. T. Fern ´andez-Breis, C. Angulo, and M. Robles, "Linkehr-ed: A multi-reference model archetype editor based on formal semantics," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 78, no. 8, pp. 559 - 570, 2009.
- [43] C. Mart ´ı nez Costa, M. Menarguez-Tortosa, and J. T. Fern ´andez-Breis, "Clinical data interoperability based on archetype transformation," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 44, no. 5, pp. 869 - 880, 2011.
- [44] W. A. Khan, M. Hussain, K. Latif, M. Afzal, F. Ahmad, and S. Lee, "Process interoperability in healthcare systems with dynamic semantic web services," *Computing*, vol. 95, no. 9, pp. 837 - 862, 2013.
- [45] O. Kilic and A. Dogac, "Achieving clinical statement interoperability using r-mim and archetype-based semantic transformations," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 4, pp. 467 - 477, 2009.
- [46] O. Bodenreider et al., "Biomedical ontologies in action: role in knowledge management, data integration and decision support," *Yearb Med Inform*, vol. 67, p. 79, 2008.
- [47] A. Hein, O. Nee, D. Willemsen, T. Scheffold, A. Dogac, G. B. Laleci et al., "Saphireintelligent healthcare monitoring based on semantic interoperability platform-the homecare scenario," in *1st European Conference on eHealth (ECEH06)*, Fribourg, Switzerland, 2006, pp. 191 - 202.
- [48] Mazouz, Sanae, Mohammed Ouçamah Cherkaoui Malki, and El Habib Nfaoui. "An XML-based mediator for health information systems." *International Journal of Medical Engineering and Informatics* 8.1 (2016): 63-75.
- [49] do Espirito Santo, Jacqueline Midlej, and Claudia Bauzer Medeiros. "Semantic Interoperability of Clinical Data." *International Conference on Data Integration in the Life Sciences*. Springer, Cham, 2017.
- [50] M. Ba and G. Diallo, "Large-scale biomedical ontology matching with servomap," *IRBM*, vol. 34, no. 1, pp. 56 - 59, 2013.
- [51] S. Schulz and C. Mart ´ı nez-Costa, "How ontologies can improve semantic interoperability in health care," in *Process Support and Knowledge Representation in Health Care*. Springer, 2013, pp. 1 - 10.
- [52] Amin, Muhammad Bilal, Rabia Batool, Wajahat Ali Khan, Sungyoung Lee, and Eui-Nam Huh. "SPHeRe." *The Journal of Supercomputing* 68, no. 1 (2014): 274-301.
- [53] Khan, Wajahat Ali, Asad Masood Khattak, Maqbool Hussain, Muhammad Bilal Amin, Muhammad Afzal, Christopher Nugent, and Sungyoung Lee. "An adaptive semantic based mediation system for data interoperability among health information systems." *Journal of medical systems* 38, no. 8 (2014): 28.
- [54] A. Kadadi, R. Agrawal, C. Nyamful and R. Atiq, "Challenges of data integration and interoperability in big data," *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Washington, DC, 2014
- [55] <http://www.ironmountain.com/resources/general-articles/b/big-data-and-interoperability-in-healthcare-is-the-future-now> [Visited on 9 December 2017]
- [56] <https://healthitanalytics.com/news/big-data-interoperability-a-must-for-precision-medicine-progress>[Visited on 9 December 2017]

약 력



와자हत 알리 칸

2010년 NUST 전산학 석사
2015년 경희대학교 컴퓨터공학 박사
2016년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 조교수
관심분야: 헬스 상호운용성, 온톨로지 공학



사이드 임란 알리

2008년 파키스탄 Iqra University 컴퓨터과학 학사
2009년 파키스탄 National University of Computer and Emerging Science 컴퓨터과학 석사
2016년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야: 추천시스템, 기계학습, 진화 알고리즘, 의사결정지원시스템, 서비스 공학



무하마드 비랄 알리

2005년 파키스탄 University of Engineering and technology Lahore 컴퓨터공학 학사
2008년 파키스탄 National University of Sciences and technology 정보기술학 석사
2014년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야: 휴먼 행동 모니터링, 추천시스템



수잣 후세인

2005년 파키스탄 Muhammad Ali Jinnah University 전산학 학사
2009년 Muhammad Ali Jinnah University 전산학 석사
2011년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야: 분산시스템, 헬스케어 빅데이터, 유비쿼터스컴퓨팅



허 태 호

2010년 경희대학교 컴퓨터공학과 공학사
2010년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 석박통합과정
관심분야: 상황인지, 행위인지, 기계학습

약 력



이 승 룡

1978년 고려대학교 학사
1987년 Illinois Institute of Technology 전산학 석사
1991년 Illinois Institute of Technology 전산학 박사
1993년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 유비쿼터스컴퓨팅, 상황인지 미들웨어, 지능형 컴퓨팅, 디지털 헬스케어