

딥러닝 시티: 스마트 시티의 빅데이터 분석 프레임워크 제안*

김 화 중**

요약

도시 기능이 복합적으로 발전함에 따라 스마트 시티에 대한 관심이 높아지고 있다. 스마트 시티란 정보통신기술을 활용하여 교통, 안전, 복지, 생활 등 도시 문제를 효과적으로 해결하는 것을 말한다. 최근 세계 각국은 빅데이터, 사물인터넷, 인공지능 기술을 스마트 시티에 도입하는 시도를 하고 있으나 종합적인 도시 서비스로는 발전하지 못하고 있다. 본 논문에서는 국내외 스마트 시티 추진 현황을 살펴보고 핵심 문제로 부각된, 데이터 공유문제, 서비스 호환성 문제를 해결하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 딥러닝 기술을 스마트 시티 서비스에 접목한 “딥러닝 시티 프레임워크”를 제안하고 도시 여러 영역의 시공간 데이터를 안전하게 공유하고 여러 도시의 학습 데이터를 융합하는 새로운 스마트 시티 추진 전략을 제시하였다.

주제어: 스마트 시티, 딥러닝, 도시 정보서비스, 인공지능, 빅데이터, 데이터 분석

Deep Learning City: A Big Data Analytics Framework for Smart Cities

Kim, Hwa-Jong

Abstract

As city functions develop more complex and advanced, interests in smart cities are also increasing. Smart cities refer to the cities effectively solving urban problems such as traffic, safety, welfare, and living issues by utilizing ICT. Recently, many countries are attempting to introduce big data, Internet of Things, and artificial intelligence into smart cities, but they have not yet developed into comprehensive urban services. In this paper, we review the current status of domestic and overseas smart cities and suggest ways to solve issues of data sharing and service compatibility. To this end, we propose a “Deep Learning City Framework” that incorporates the deep learning technology into smart city services, and propose a new smart city strategy that safely shares spatial and temporal data in cities and converges learning data of various cities.

Keywords: smart city, deep learning, urban information services, AI, big data, data analysis

2017년 11월 27일 접수, 2017년 11월 28일 심사, 2017년 12월 19일 게재확정

* 본 연구는 2016년도 미래창조과학부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행되었으며 (No. R-20160906-004163, 빅데이터 자동태깅 및 태그기반 DaaS 시스템개발) 또한 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음 (관리번호-520150470)

** 강원대학교 IT대학 교수(hjkim3@gmail.com)

I. 개요

인구의 도시 집중화 현상과 이에 따른 생활, 안전, 교통, 치안 문제 해결 등 도시 서비스 향상에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 정보통신기술이 빠르게 발전하면서 세계 여러 도시에서 “스마트 시티”를 추진하고 있다(R&D 정보센터, 2016). 그러나 각 도시의 여건, 예산, 문화, 정책, 철학이 달라 스마트 시티에 대한 통일된 정의 또는 구축 방법이 아직 제시되지 못하고 있다(박유경·유성민, 2015). 한편 여러 스마트 시티 계획의 공통점은 “도시의 각종 서비스를 정보통신기술(ICT)을 사용하여 개선하는 것”이라고 할 수 있으며 최근 빅데이터, 사물인터넷(IOT), 인공지능(AI) 기술이 스마트 시티에도 다양한 형태로 접목되고 있다(Li Deren, et al., 2014). 특히 사물인터넷 기술 발달로 인해 수집되는 도시 빅데이터가 급격히 늘어나고, 방대한 양의 데이터를 분석하는 새로운 기계학습과 인공지능 기법이 개발되고 있어 스마트 시티를 위한 효과적인 빅데이터 처리 기술이 요구되고 있다(Kim, H. J., 2016).

도시마다 스마트 시티를 주도하는 부서가 다르고 사업마다 관련 부서의 요구사항이 달라서 전국적으로 통일된 방식의 사업 추진이 어렵고 같은 도시 내에서도 각 단위 서비스는 독립적으로 운영되는 경우가 많다. 스마트 시티를 구성하는 사업별 목적에 따라 데이터도 각각 수집하고, 서비스도 개별적으로 운영되는 칸막이 식 사업으로 추진되며 시범사업이 성공적으로 운영사업으로 이어지는 경우가 적었다. 이러한 결과로 각 도시가 추진한 스마트 시티 시범사업은 도시 내 유사 서비스 및 도시 간 서비스 호환성을 만족시키지 못하고 서비스의 전국 확산에 어려움을 겪었다. 향후 스마트 시티 사업이 성공적으로 이루어지려면 지금까지의 폐쇄적인 구축 방식의 한계를 극복하고 영역 간 빅데이터 공유 및 활용, 그리고 인공지능 서비스를 효과적으로 도입할 수 있는 현실적인 방법이 필요하다. 스마트 시티는 점차 가속화하는 도시집

중화 현상과 함께 복합적으로 나타나는 문제를 해결할 수 있어야 한다(서형준, 2017).

우리나라에서 도시 서비스에 정보기술을 접목하려는 시도는 2000년대 초부터 추진된 유비쿼터스도시(Ubiquitous City) 사업에서 폭넓게 이루어졌다. 그러나 유비쿼터스도시 사업성과는 기대에 크게 미치지 못하였는데, 그 핵심 이유 중 하나는 도시의 모든 데이터를 한 곳에 집중하는 통합관계센터를 만들고 여기에서 종합적인 데이터 분석 및 응용 서비스를 제공하려고 한 것이었다. 도시 데이터를 한 곳에 집중하는 것이 이상적이기는 하나 서로 다른 기관에서 생산된 데이터를 한 곳에 모으는 것은 개인정보보호, 데이터보안, 소유권 문제, 데이터 품질 관리 문제 등으로 인해 현실적으로 매우 어렵다. 특히 가공하지 않은 센서 데이터, 에너지 생산 및 사용량 등 원시(Raw) 데이터를 공유하는 것은 거의 불가능하다. 스마트 시티 사업이 성공적으로 이루어지려면 과거 유비쿼터스도시 사업 추진 시에 경험한 한계점 즉, 데이터 수집과 공유에 대한 문제를 극복할 수 있는 방법이 필요하다.

최근 인공지능 기술이 빠르게 발전하고 있으며 음성 인식, 영상 인식, 텍스트 분석 기술은 사람과의 의사소통이 가능한 단계까지 발전하여 머지않아 인공지능 서비스는 현재의 웹이나 인터넷 서비스처럼 보편적인 서비스가 될 것이다. 인공지능 기술은 자율주행자동차와 같은 고도의 기술축약 제품에서부터, 인공지능 스피커 등 생활주변에 다양하게 접목되어 사람들은 점차 편리한 서비스를 기대할 것이다. 주차장 예약, 상세 날씨 정보, 시간대별 정밀한 교통 혼잡 정보 등을 요구할 것이며 CCTV의 자동 분석만으로도 범죄 검거율이 올라갈 것이다. 특히, 자율주행자동차가 상용화되면 그 파급효과는 도시 서비스 전반에 큰 영향을 미칠 것이다.

도시 관리 측면에서도 관리자가 일일이 직접 개입하지 않고도 동작하는 시스템이 점차 늘어날 것이다. 자동화된 교통 신호체계, 에너지 소비 예측과 효율적

인 이용, 범죄발생 예측 등이 점차 정교해지고 사람보다 인공지능이 더 잘 처리할 수 있는 영역이 확대될 것이다.

이와 같이 인공지능 기술이 발전하면서, 도시 서비스는 지금보다 훨씬 스마트한 서비스로 발전할 것으로 예상하고 있으나 인공지능 기술을 도시 서비스 개선에 효과적으로 적용하고 도시 전반 서비스로 확대하는 전략은 아직 제시되지 못하고 있다. 따라서 새로운 도시 빅데이터 분석 시스템 그리고 인공지능 도입 전략이 점차 필요하게 되었다(황종성, 2017).

본 논문에서는 스마트 시티 추진 현황을 간략히 살펴보고 스마트 시티를 효과적으로 구축하기 위해서 인공지능 기술을 적용하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해서 “딥러닝 시티” 개념을 제안하였다. 딥러닝 시티란 인공지능 기술 중에서 딥러닝 기술을 도시 빅데이터 분석에 도입하여 도시 내 여러 영역간의 데이터 융합, 그리고 여러 도시에서 이루어지는 데이터 분석 결과를 효과적으로 공유하는 방법을 말한다. 도시 빅데이터 분석을 도시 간에 협력적으로 수행하는 플랫폼으로 딥러닝 시티 프레임워크를 제안하였다.

서론에 이어 II장에서는 스마트 시티 현황을 소개하고, III장에서는 딥러닝 기술 중 스마트 시티에 적용할 수 있는 전이학습(Transfer Learning) 개념을 소개한다. IV장에서는 딥러닝 시티 프레임워크의 정의와 구현 방안을 소개하고 V장에서 결론 및 향후 과제를 제시한다.

II. 스마트 시티

스마트 시티는 대부분 유사한 목표를 지향하는데 이는 도시 생활의 질과 도시 시스템의 효율성을 증가 시킴으로써 시민의 삶의 질을 높이는 것이다(Ahn, J. Y., 2016). 인구의 도시 집중화는 경제 활동과 문화 생활 측면에서 사람들에게 편리한 삶을 제공한다. 그러나 도시 집중화는 많은 문제를 발생시키는데, 예를 들면 비싼 주택비용, 토지 비용, 물과 식품 공급, 교통

난, 에너지의 안정적인 공급 문제가 발생한다(Akcin, M., et al., 2016). 특히 재난발생시 인구가 밀집될 수록 위험은 더 높아진다. 최근에는 도시화에 따른 문제를 효과적으로 해결하는 방안을 총체적으로 스마트 시티 사업이라고도 부른다(Elias Tabane, et al., 2016).

스마트 시티의 추진 방법과 정책, 그리고 도시가 지향하는 목표는 도시마다 다른 특징을 가지고 있는데 국내외 스마트 시티 현황과 대표적인 특징을 간략히 살펴보겠다.

1. 해외 스마트 시티 추진 사례

1) 미국

미국 국립표준기술연구소(NIST, National Institute of Standards and Technology)와 US Ignite에서 추진하는 GCTC(Global City Teams Challenge) 프로젝트는 도시 간의 정보 및 기술을 교류하고, 상호 협력을 통해 도시 문제를 해결하는 방안을 제시하였다. 여기에는 스마트 시티를 추진하고 있는 미국 내의 도시뿐만 아니라 전 세계의 도시들이 참여하고 있다. 스마트 시티를 추진하는 여러 도시의 스마트 시티 솔루션을 공유하여 효과적인 협력을 이끌어 내기 위한 GCTC 슈퍼 클러스터를 구축하여 운영하고 있다(대통령소속 국가건축정책위원회, 2016).

NIST에서는 또한 2015년부터 스마트 시티 프레임워크를 제정중이다. 현재 스마트 시티 구축의 가장 큰 문제점으로 크게 두 가지를 제시하였는데, 우선 서비스 간에 호환성이 없다는 것이다. 서비스가 도시별로 독자적으로 이루어져 한 도시의 서비스가 타 도시에서 적용되기 어렵고, 기능의 확장성이 부족하다. 또한 ISO/IEC JTC1, IEC, IEEE, ITU 등 여러 국제 표준화 기구가 노력하고 있지만 통일된 스마트 시티 표준이 제정되지 못하고 있다. NIST에서는 이러한 문제를 해결하는 방법으로 스마트 시티를 구축하기 위한 공통의 기준을 제정하는 작업반을 운영하고

있다(NIST, 2017).

백악관에서는 도시 문제를 해결하고 서비스 개선을 위해서 스마트 시티 전략을 발표했는데 각 도시의 여건은 다르지만 공통으로 해결해야 할 영역이 있으며 여기에 정부, 공공, 기업, 학교 등이 공동의 목표를 설정하고 협력해야 한다고 제안하였다. 여기서 제시하는 주요 전략은, IOT 실증단지를 조성하여 여러 영역이 협력하는 사업모델을 만드는 것이다. 즉, 도시 간 협력이 중요하여 도시의 일부 지역의 문제가 도시 전체 및 타 도시에 미치는 영향이 커지고 있기 때문이다. 이는 또한 국가 간의 도시협력으로 확산하는 것을 지향하고 있다(White House, 2017).

2) 영국

2012년 글래스고는 영국 최초의 스마트 시티로 선정되었다. 오픈 글래스고 이니셔티브에서는 개방된 데이터 허브에 사회 각 층의 정보 이용자들이 정보를 수집, 제공할 수 있도록 지원하고 있다. 글래스고에서는 전 지역을 대상으로 도시 빅데이터 수집을 위하여 데이터 센터를 구축하였으며, 교통, 안전, 에너지, 사회적 도시 문제 관리를 위한 통제센터를 설립하였다(대통령소속 국가건축정책위원회, 2016).

3) 중국

중국은 최근 4차 산업혁명으로 인한 도시들의 스마트화가 추진되는 과정에서 2020년까지 500억 위안의 연구개발비와 1조 위안의 인프라 구축비를 지혜도시(智慧城市) 또는 지능도시(智能城市)라고 불리는 스마트 시티 구축을 위해 투입할 계획이다. 특히 항저우 시는 시범지역으로 선정된 277곳 가운데 가장 높은 성과를 거두고 있으며, 다른 새로운 분야의 기술을 접목시키고 다른 스마트 시티로의 기술 확산을 시도하는 기반을 마련하고 있다(노수연·김성욱, 2017). 항저우 시의 경우, 중앙정부와 지방정부의 역할 분담, 산업클러스터 구축과 대표적인 프로젝트 발굴 그리고 이의 확산에서 매우 체계적인 혁신 메커니

즘을 갖추고 있다.

4) 싱가포르

싱가포르에서는 총리 산하의 스마트 네이션(Smart Nation) 프로젝트를 출범시켜 스마트 시티에 대한 솔루션을 구현하고 있으며, 디지털 정보 전략 국가 플랫폼 구축을 통해 국가 디지털 정보 전략을 수립하고 있다. 또한 정부와 기업, 연구기관 등이 협업하기 위한 버추얼 싱가포르(Virtual Singapore) 프로젝트를 추진 중이다(대통령소속 국가건축정책위원회, 2016).

2. 국내 스마트 시티 현황

우리나라는 국토해양부에서 2008년부터 2013년까지 유비쿼터스도시 기술 및 정책 개발에 약 1,400억원의 예산을 투입하였고, 2008년에 유비쿼터스도시의 건설 등에 관한 법률을 제정하였는데 유비쿼터스도시 사업이 바로 스마트 시티 사업의 전신이라고 할 수 있다(김정태, 2008). 유비쿼터스도시 사업 성공의 핵심 요건은 도시통합운영센터를 구축하는 것이었으나 도시 정보를 한 곳에 모으는 작업은 기대와 달리 구현에 난항을 겪었다. 특히 시범사업을 추진하는 사업자마다 각기 다른 모델을 사용하여 구축된 유비쿼터스도시 서비스 간 호환성이 거의 이루어지지 못하였다.

유비쿼터스도시 구축에 관한 기술적인 표준을 만들려고 노력하였으나 기술 적용 범위, 운영 방식 등에 대해 운영자간의 동의를 얻지 못하여 실제적인 표준을 만들지 못하였고, 관련 부서 간 협력의 어려움, 도시 시설에 관한 법제도 정비의 어려움, 새로운 서비스 도입에 필요한 막대한 운영비 발생, 개인정보 유출 및 데이터 관리 및 데이터 품질 유지에 대한 책임 문제 등으로 인해 유비쿼터스도시 사업이 전반적으로 기대에 미치지 못하였다.

특히 도시 서비스는 복합적인 면이 많아서 한 가지 서비스를 위해서 여러 종류의 데이터를 융합해야

한다. 예를 들어 교통, 안전, 방재, 환경 문제는 공기의 품질, 미세먼지, 교통 데이터, 신호체계, 차량이동, 감시카메라, 상하수도 누수, 쓰레기 배출, 인구밀집도, 위성사진 등의 데이터를 같이 분석해야 한다. 이를 위해 원시 데이터를 공유하는 것은 비용이나 정책적인 면에서 효율적이지 못하기 때문에 메타 데이터를 활용하는 등 여러 방법들이 제시되었다. 그러나 대부분의 단위 사업이 독립적으로 추진되었고 관련 데이터 공유가 어려웠다.

스마트 시티와 같은 복합 서비스는 기존의 단일 서비스 중심의 정보화 사업과 달리, 여러 부서 간, 여러 서비스 간 융합이 필수적이며 특히 관련된 빅데이터의 융합 활용이 중요하다. 여러 부서에서 발생하는 빅데이터를 공유할 수 있는 협력방안, 데이터 공개 범위, 공개 방법, 책임소재, 소유권, 관리 문제 등을 실제적으로 해결할 수 있는 방안이 필요하며 단순히 “정보를 공유”하라는 정책적인 방법만으로는 큰 성과를 내기가 어려웠다(전병진 · 김희웅, 2017).

국내 스마트 시티 사업은 과거의 유비쿼터스도시 사업의 전철을 밟지 않아야 한다는 부담이 있으며 이로 인해 지자체 및 기업에서는 스마트 시티의 추진에 있어 외국에 비해 다소 소극적이다. 우리나라가 유비쿼터스도시 사업을 다른 나라에 앞서 추진한 것이 오히려 스마트 시티 추진에서는 신중한 태도를 갖게 하였다. 그러나 스마트 시티 사업은 인공지능 기반의 4차산업혁명과 함께 반드시 성공적으로 추진되어야 할 국가적 사업이며 이로 인한 파급효과는 매우 클 것으로 예상된다.

본 논문에서는 스마트 시티 구축에서 가장 중요한 사항인 정보 공유, 데이터 융합, 신규 서비스 확산을 위한 기술로서, 인공지능에서 널리 사용되는 신경망의 딥러닝 분석 기술을 도시 데이터 분석에 적용하는 방법을 제시하였다. Ⅲ장에서는 딥러닝 기술의 특징을 알아보고 이를 어떻게 스마트 시티에 적용할지를 살펴보고자 한다.

Ⅲ. 딥러닝 기술

딥러닝 기술은 기계학습의 한 방법으로서 신경망(Neural Network) 구조를 가지며 다수의 은닉(Hidden) 계층 파라미터를 학습하여 음성인식, 영상인식 분야에 널리 사용되는 기술이다. 본 논문에서는 스마트 시티의 향후 발전 방향으로, 딥러닝 기술을 도시 빅데이터 분석과 인공지능 서비스 확산에 도입하는 방안을 제시하고자 한다. 먼저 스마트 시티에 적용 가능한 딥러닝 기술을 이해하기 위해서 기계학습과 인공지능 기술을 간략히 소개하겠다.

1. 기계학습과 인공지능

기계학습이란 컴퓨터가 많은 데이터를 바탕으로 학습하여 사람이 찾지 못하는 패턴을 찾아내거나 분류 작업을 자동화하는 기술을 말한다(장운옥, 2014). 기계학습의 응용 분야는 매우 넓어서 많은 정보서비스에서 기계학습을 도입하고 있다. 응용 범위는 도난 카드 사용 감지, 대출 허용 신용도 예측, 그리고 자율주행 자동차까지 광범위하다.

인공지능이란 컴퓨터가 마치 사람처럼 지능적인 동작을 하는 것을 말한다. 인공지능 구현 방법에 대한 연구가 지난 50여 년 동안 큰 성과를 내지 못하였으나 2010년대부터 신경망 모델 기반의 딥러닝 방식이 인공지능 성능을 혁신적으로 개선하였다.

기계학습이 실용적으로 발전하는데 기여한 중요한 요소 중 하나는 공통된 프레임워크를 사용하는 것이다. 예를 들어 구글은 2015년에 기계학습용 범용 소프트웨어인 텐서플로우(Tensor Flow)를 공개했는데, 전 세계 많은 개발자들이 텐서플로우를 이용하여 기계학습과 인공지능 서비스를 만들고 있다. 이와 같이 개발환경을 공동으로 사용함으로써 개발 시간을 단축하고, 기술을 공유하고, 편리하게 통합 서비스를 개발 할 수 있다. 스마트 시티와 같이 협업이 필요하고 다양한 데이터를 융합하여 서비스를 구축하기 위

해서는 공동으로 사용할 수 있는 프레임워크가 필요하다.

2. 딥러닝의 특징

딥러닝은 인공신경망을 모델로 사용하는 기계학습의 한 분야이다(Goodfellow, 2016). 딥러닝이 일반 기계학습 알고리즘과 다른 가장 큰 특징은 기계학습에 필요한 특성(Feature)을 찾아내는 일을 모델이 스스로 수행한다는 것이다. 일반적으로 기계학습에서는 어떤 특성 변수가 결과를 예측하는데 가장 효과적인지를 알아내는 과정이 어렵고 시간이 오래 걸린다. 최적의 특성 변수를 찾아내는 작업을 특성 공학(Feature Engineering)이라고 하는데 딥러닝을 사용하면 특성 공학 과정이 간소화된다. 또한 특성 변수 간에 존재하는 예상치 못한 상호작용을 찾아낼 수 있다. 이를 통해 미리 예견하지 못한, 또는 기존의 다른 기계학습 알고리즘으로 찾지 못한 관계를 파악할 수 있다. 이러한 특징으로 신경망은 현상이 복합적인 문제를 해결하는데 도움이 되었다.

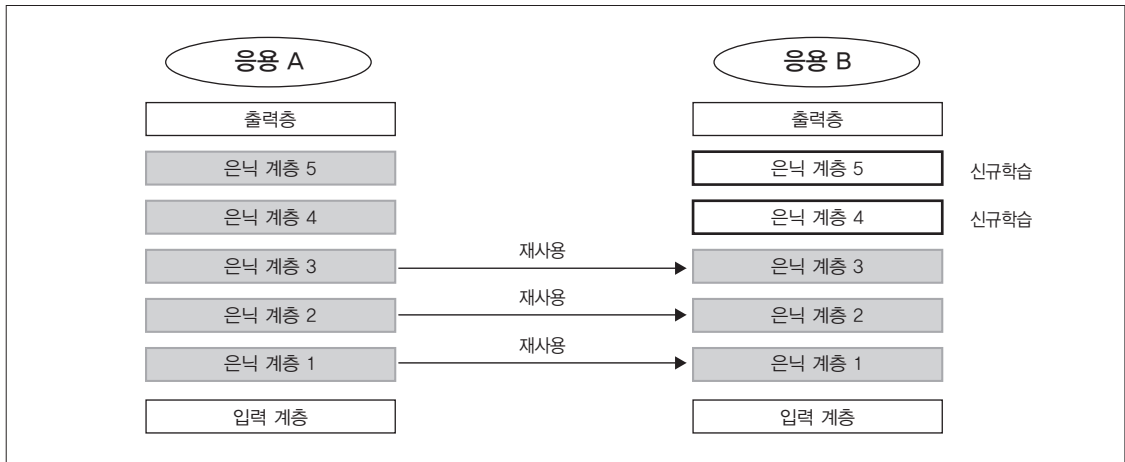
딥러닝의 다른 중요한 장점은 분산처리가 용이하다는 것이다. 모든 데이터를 한 곳에 모은 후에 분석하는 것이 아니라 분석을 여러 장치에서 나누어 병렬로 처리할 수 있다. 이세돌과의 경기를 한 알파고는 1202개의 CPU와 176개의 GPU로 구성된 분산 네트워크를 사용했다. 이러한 특징은 도시 데이터를 분석하는데 매우 유용한 장점을 제공한다. 예를 들어 여러 기관, 여러 도시가 같은 목적의 데이터 분석에 참여하는 모델을 만들 수 있기 때문이다.

딥러닝의 대표적인 활용 분야는 얼굴 인식, 도로 표지판 인식, CCTV 인식 등을 수행하는 컴퓨터 비전인데 이를 위해 합성곱신경망(CNN: Convolutional Neural Network)이 널리 사용된다. CNN은 시각인 지기술 외에 행동 파악, 영상 검색, 공간인지, 스토리 구성, 영상 편집 기술, 영상 캡션 등에도 사용된다. 도시 데이터에는 CCTV 등 시각 데이터, 공간 데이터

가 많으므로 신경망으로 모델링하기에 적합하다.

딥러닝은 자연어 처리 또는 시계열 데이터 처리에도 효과적으로 사용되며 이때는 재귀신경망(RNN: Recurrent Neural Network)을 사용한다. 시간대별 교통량 변화, 에너지 사용변화 등이 대표적인 시계열 데이터이다. 또한 SNS 데이터, 소비자 불만, 신고 내용 등을 이용한 도시 서비스, 관광안내 등이 챗봇 형태로 소개되고 있으며 이는 앞으로 더욱 확대될 것이다(이영진·윤지환, 2014). 딥러닝은 기본적으로 신호를 입력 받아 처리하는 입력층(Input Layer)과 최종적으로 원하는 결과를 출력하는 출력층(Output Layer), 그리고 기계학습 중간 결과를 저장하는 은닉 계층(Hidden Layer)들로 구성된다. 딥러닝은 <그림 1>과 같이 다층 구조를 가지는데 중간의 은닉 계층이 2개 이상일 때를 깊은(Deep) 신경망이라고 하며 이를 이용한 기계학습 모델을 딥러닝 모델이라고 한다. 은닉 계층에는 중간 분석 정보가 들어 있는데 예를 들어 입력신호가 이미지이면, 공간 특성 성분, 색상, 텍스처 등의 속성이 들어있다. 은닉 계층 중에 하위 층에는 기본적인 특성을 포함하고 상위 계층으로 가면서 구체적인 형상 정보를 포함한다.

딥러닝의 중요한 특징 중 하나는 특정 용도로 학습한 내용을 다른 목적에 사용하면 두 번째 학습 속도를 높일 수 있다는 것이다. 예를 들어 고양이를 구분하는데 사용된 데이터를 호랑이를 찾는 데 쉽게 활용될 수 있다. <그림 1>에서, 좌측에는 응용A를 수행하기 위해서 딥러닝 모델을 학습하는 것을 보였다. 여기서 임의로 5개의 은닉 계층을 가지는 딥러닝 모델을 가정하였다. <그림 1>의 우측에는 응용A와 유사하지만 다른 응용인 응용B를 학습하는데 응용A에서 학습한 파라미터를 사용하면 새로운 학습 속도와 정밀도를 크게 개선할 수 있다는 것을 보였다. 이와 같이 서로 유사한 응용 서비스 간에 딥러닝 학습 정보를 공유하기 위해서 사전 훈련된(pre-Trained) 일부 은닉 계층의 파라미터를 다른 응용 서비스에서 재사용할 수 있다. 이러한 인공지능 기술을 전이



〈그림 1〉 유사한 응용 서비스에서 은닉 계층 정보를 재사용하는 전이학습 (Transfer Learning) 개념

학습(Transfer Learning)이라고 하며 향후 여러 분야에서 널리 사용될 것으로 예상된다(Goodfellow, 2016).

IV장에서는 앞에서 설명한 딥러닝의 전이학습 모델을 도시 빅데이터 분석과 인공지능 서비스에 적용하는 방안인 딥러닝 시티 개념을 제안하며 이의 구체적인 구현 방법으로 딥러닝 시티 프레임워크를 제안하겠다.

IV. 딥러닝 시티 프레임워크

1. 배경

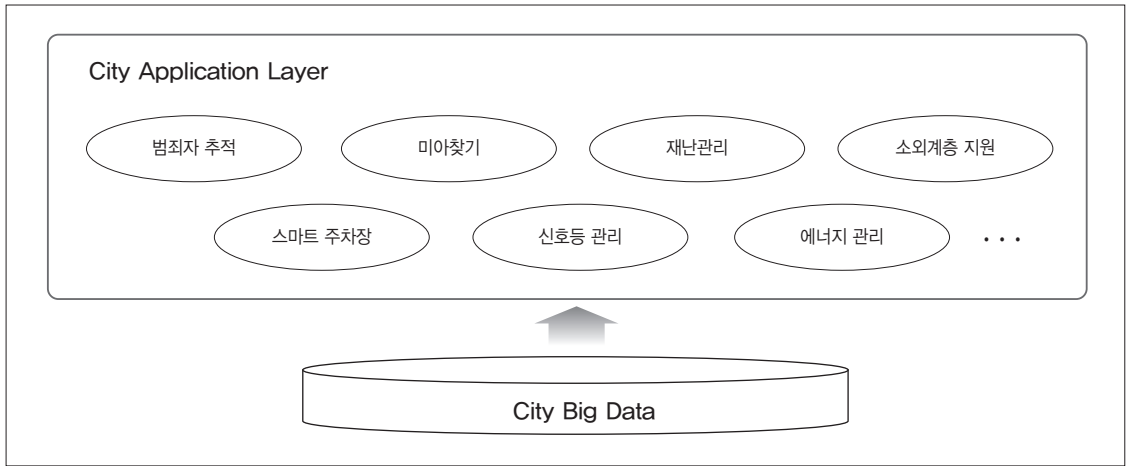
딥러닝의 주요 기술인 사전 훈련된(pre-Trained) 은닉 계층 정보를 재사용하는 기술, 즉 전이학습 모델을 도시의 빅데이터 분석 모델에 적용할 수 있다. 도시 간에 유사성이 큰 데이터 분석에서 저 계층 은닉 계층 정보를 공유하면 유사한 서비스 융합, 예를 들어 택시와 버스의 이동, 자전거 이동, 사람 이동 등의 교통 패턴 예측에 효과적으로 사용할 수 있다. 그리고 여러 도시의 관련 서비스 데이터를 더 빠르고 정확하게 분석할 수 있는데 예를 들어 한 도시의 교통 흐름

분석 결과를 유사한 다른 도시의 분석결과와 융합하여 더 정밀한 교통 관리 시스템을 만들 수 있다.

도시에는 다양한 시각 데이터 및 시간변화 정보가 생산되고 있다. CCTV는 도로, 공공기관, 상가건물에 대부분 설치되어 있고 이 숫자는 점차 늘고 있다. 스마트폰으로 촬영된 이미지와 영상 데이터도 폭발적으로 늘고 있으며 비디오 공유 사이트에 올라오는 영상도 초당 수 시간 분량이라고 한다. 또한 NASA에서는 방대한 위성사진을 공개하고 있다. 이들 영상 데이터를 상호 연계시켜 분석할 수 있다면 교통 혼잡문제, 미세먼지 문제, 관광안내, 범죄예측 등을 더 정교하게 처리할 수 있을 것이다.

이상적으로는 도시 빅데이터 전체를 한 곳에서 모아 분석하는 것이 가장 좋은 방법이다(T. Clohessy, et al., 2014). 〈그림 2〉에 도시 빅데이터를 한 곳에서 분석하여 범죄자 추적, 재난관리, 미아 찾기, 에너지 관리 등 다양한 도시 서비스를 제공하는 모델을 나타냈으며 이를 도시 응용 계층(City Application Layer)이라고 부르겠다.

그러나 〈그림 2〉와 같이 도시 빅데이터를 한 곳에서 모으고 이를 분석하여 서비스를 제공하는 방식은 예전의 유비쿼터스도시 사업에서 시도된 전략으로 실제



〈그림 2〉 도시 빅 데이터를 활용한 스마트 시티 응용 서비스 사례

로는 실현이 거의 불가능하다. 예를 들어 공공기관이 보유한 CCTV 정보는 개인정보보호 등의 문제로 다른 기관과 공유하는 것이 어렵다. 현재 대부분의 도시 정보 응용 서비스에서는 필요한 데이터를 독립적으로 확보하여 분석하고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 딥러닝 시티 프레임워크를 사용할 수 있으며 다음 절에 딥러닝 시티 프레임워크의 정의와 개념을 소개한다.

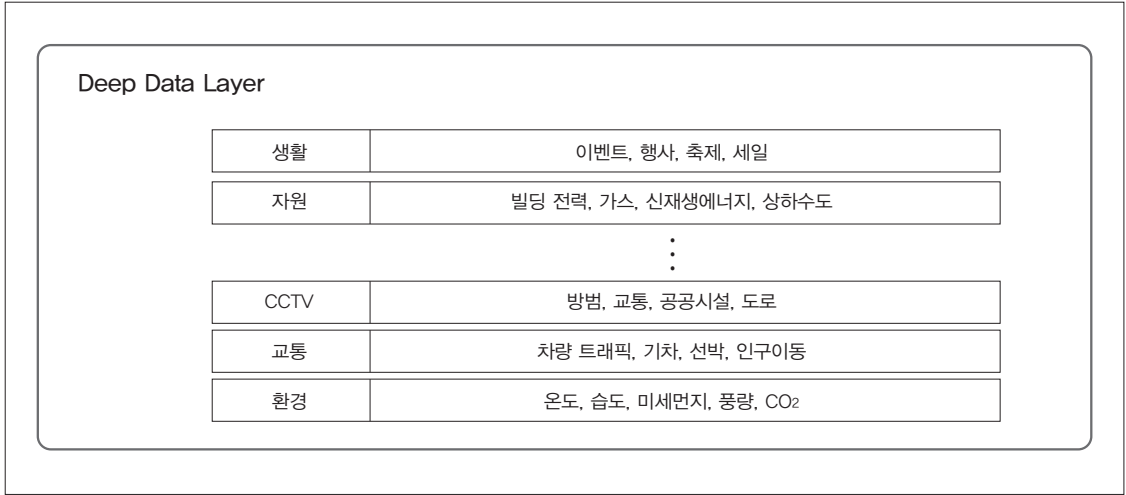
2. 딥러닝 시티 프레임워크 정의

딥러닝 시티 프레임워크(DCF: Deep Learning City Framework)란 인공지능의 딥러닝 기술을 기반으로 구현되는 도시 빅데이터 분석 플랫폼이다. 그러나 DCF는 단순히 소프트웨어적인 구현 기술만을 지칭하는 것이 아니라, 스마트 시티 정책의 융합, 서비스의 융합, 데이터의 융합을 실현하는데 사용할 수 있는 다층 개념의 플랫폼이다.

먼저 정책적인 측면에서 살펴보면, 스마트 시티 사업은 도시의 행정, 산업, 기술, 환경, 문화 등 여러 영역과 관련되므로 행정자치부, 국토교통부, 미래창조과학부, 고용노동부 등 여러 부처 사업들이 서로 연

계되어야 하는 경우가 많다. 또한 지자체의 행정, 복지, 건설, 교통, 관광, 문화 담당 부서의 사업들도 상호 연결되어 있다. 노인문제, 복지문제, 교통문제 등이 한 가지 영역의 데이터 분석으로만 해결될 수 없으며 여러 부서간의 협력을 통한 해결책을 찾아야 한다. 예를 들어 장애인이나 응급환자의 교통 이용 문제를 해결하려면 이와 관련된 정책, 서비스, 데이터가 모두 공유되어야 한다.

스마트 시티 서비스가 성공하기 위해서는 유사한 사업 간 호환성, 유사한 서비스 간 호환성, 그리고 도시 간 서비스 연계가 필요하며 이에 필요한 데이터 수집·분석·활용에 DCF가 효과적으로 사용될 수 있다. DCF를 사용하면 도시에서 수집되는 각종 데이터를 딥러닝 기술을 활용하여 분산된 형태로 나누어 분석하고 이 분석 결과를 실시간으로 여러 도시가 공유함으로써 여러 도시별 특성을 고려한 학습이 가능하도록 한다. 즉, 여러 도시에서의 학습 결과를 공유하면 더 정확한 예측이 가능해질 수 있다. DCF를 사용하면 공공과 민간의 협력 모델을 만들기가 용이하고, 여기에 개인의 참여도 가능해진다. 또한 도시 빅데이터 분석에 필요한 컴퓨팅 프로세스를 줄여 분석 시간과 비용을 감소시킬 수 있다. 예를 들어 지금까지 도



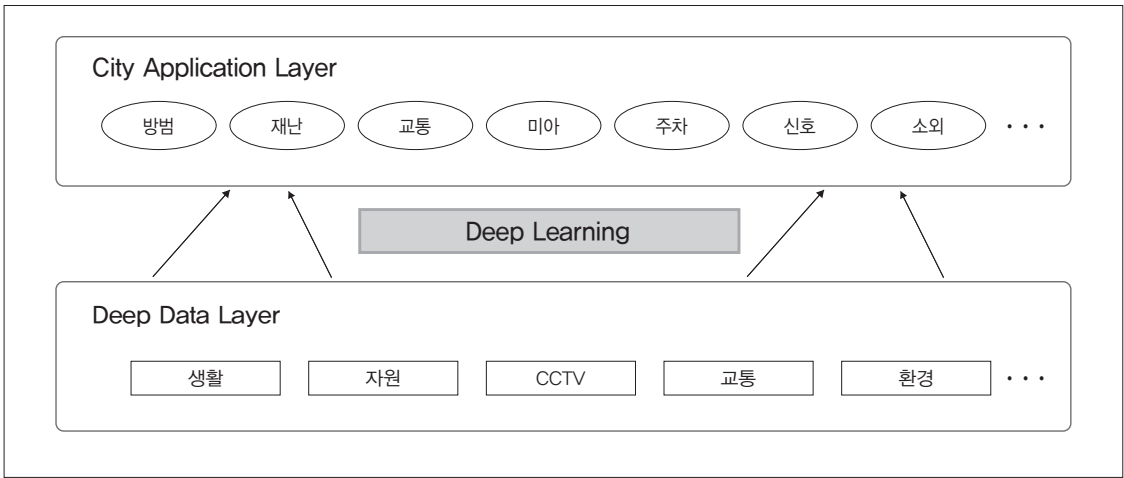
〈그림 3〉 여러 도메인 및 여러 도시의 공간적 및 시간적 빅데이터를 통합하는 딥러닝 시티 프레임워크(DCF)의 딥 데이터 계층

시 데이터는 주로 공공기관 주도로 만들고 운영되었지만 SNS 확산과 함께 시민참여와 피드백이 실시간으로 서비스에 반영되는 비중이 점차 커지고 있으므로 이를 수용할 수 있는 플랫폼으로 DCF와 같은 프레임워크가 필요하다. 딥러닝 알고리즘은 동영상, 이미지와 같은 공간 및 시계열 데이터 분석하는데 효과적으로 사용된다(이은주, 2017). 도시 정보는 대부분 시공간 데이터로 구성되어 있으며 시간 및 공간 데이터를 같이 분석하면 도시의 현상을 종합적으로 이해하고 도시의 동작을 파악하게 할 수 있다. 예를 들어 평일과 주말의 교통량을 지역별로 정교하게 분석할 수 있고, 사고발생 유형에 따라 사고 수습이 얼마나 시간이 걸릴지 예측할 수 있을 것이다. DCF에서는 여러 도시 그리고 여러 영역의 정보를 융합하는 기능이 필요한데 관련 데이터를 최초로 처리하는 계층을 딥 데이터 계층(Deep Data Layer)이라고 정의했으며 이를 〈그림 3〉에 나타냈다.

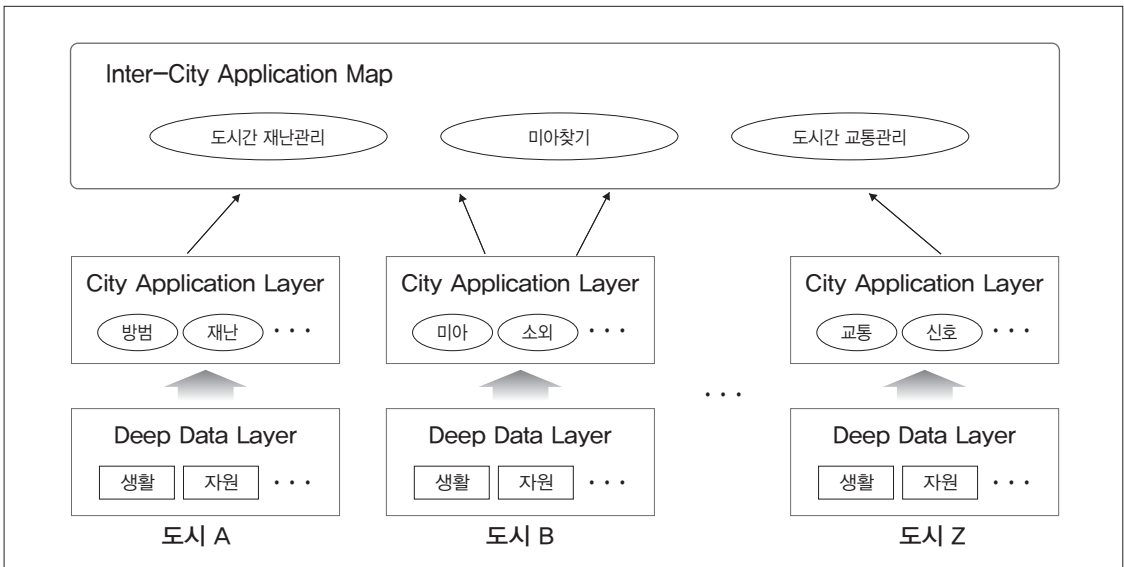
DCF 프레임워크의 중요한 장점은 데이터 제공자가 원시 데이터를 공개하는 것이 아니라 은닉 계층 파라미터 즉, 일차 분석 결과를 공유한다는 것이다. 은닉 계층에는 분석된 중간 결과만 남아 있기 때문에

원시 데이터를 추정할 수 없다. DCF를 사용하면 원시 데이터 공유의 어려움을 극복하고 일차 가공된 데이터, 즉, 분석된 데이터를 공유할 수 있게 한다. 예를 들어 어린이의 이동 정보만 추출하면 개인 정보를 보호하면서 전국 도시들을 연결하는 미아 찾기 서비스가 가능해진다. 〈그림 2〉에서 도시 빅데이터를 한 곳에 모으는 기능을 제거하고 〈그림 3〉의 딥 데이터 계층을 연결하면 〈그림 4〉와 같은 DCF 구조를 정의할 수 있다.

DCF를 사용하는 가장 큰 장점은 여러 도시에서 발생하는 데이터를 학습하여 도시 전체의 기능을 파악하는 능력을 지속적으로 키울 수 있다는 것이다. 이는 마치 한국인 사진만 보고 학습하는 얼굴 인식기보다 중국인이나 일본인 얼굴 인식기능을 합쳐서 학습하면 분별 능력이 향상되는 것과 같은 원리이다. 이와 같이 각 도시에서는 DCF를 사용하여 자신의 도시 정보 뿐 아니라 타 도시의 학습정보를 융합하여 더 빠른 학습과 정교한 서비스가 가능해지며 이러한 기능은 DCF의 도시간 응용 맵(Inter-City Application Map)에서 수행한다고 정의하였다. 〈그림 5〉에 도시 간 응용 맵의 개념을 나타냈다.



〈그림 4〉 딥러닝 시티 프레임워크(DCF) 구조: 딥 데이터 레이어를 이용하여 여러 응용에서 은닉 계층 데이터 융합을 제공하는 개념도



〈그림 5〉 딥러닝 시티 프레임워크(DCF) 구조: 도시 응용 서비스 계층을 융합한 도시 간 응용 서비스 개념도

3. 활용 전략

스마트 시티 서비스가 성공적으로 정착하기 위해서는 두 가지 핵심 문제가 해결되어야 한다. 먼저 여러 도시 간 서비스 연계를 용이하게 지원하기 위해서 공

통으로 동작하는 표준화된 데이터 분석 방법을 구축해야 한다. 또한 각 도시의 특성이 반영된 차별화된 사업 추진을 지원할 수 있어야 하며 이를 위해서는 도시마다 변형된 서비스 구현이 가능해야 한다. 즉, 스마트 시티 사업은 도시 간, 서비스 간 연계를 위한

공통 프레임워크를 지원해야 하고, 동시에 도시별 차별화 전략을 허용해야 한다.

DCF를 사용하면 이 두 가지 목적을 달성하기가 용이하다. 먼저 서비스 간 공통부분은 바로 동일한 DCF를 적용함으로써 가능해지는데 예를 들어 도시 범죄 발생을 분석하는 모델은 어느 도시나 유사한 패턴을 가지고 있고, 범인이 전국을 이동할 수 있으므로 전국을 대상으로 데이터 분석을 해야 한다. 범죄 분석 솔루션은 여러 도시에서 학습하는 내용을 타 도시로 확장하여 성능을 개선할 수 있다. 이는 향후 유사한 규모의 국외 도시들의 범죄발생 패턴을 학습하는 데에도 확대할 수 있다.

도시간 차별화 전략은 은닉 계층 중에 어느 계층까지의 파라미터를 재사용할지 즉, 재사용 수준을 조절함으로써 가능하다. 예를 들어 아파트 밀집지역과 단독주택 밀집지역의 범죄발생 패턴이 다를 것이며 이때에는 전이학습에 사용하는 계층의 수준을 적절히 선택할 수 있다. 이러한 수준 조절은 서비스 간 차이 및 도시 간 환경 차이를 반영하여 정할 수 있다.

한편 빅데이터 분석에서 해결해야 할 가장 중요한 이슈는 프라이버시 정보 보호와 데이터의 안전(Security) 문제이다. 개인과 관련된 정보에서 어떤 데이터까지 수집할 수 있는지, 이 데이터를 누가 볼 자격이 있는지, 이 데이터를 어디까지 활용할 수 있는지 범위를 정하는 것이 현실적으로 매우 어려운 일이다. 왜냐하면 편리한 서비스를 하기 위해서는 그만큼 많은 개인 정보를 수집하고 분석해야 하기 때문이다. 또한 데이터의 안전한 관리를 보장해야 하는데, 일단 한 곳에 데이터가 대량으로 수집되면 외부 공격을 받기 쉽고, 한 번의 공격으로 큰 피해를 볼 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 데이터를 한 곳에 모으는 전략은 분석 효율성을 높일 수 있는 반면 위험에 노출될 가능성도 높아진다. 그러나 본 논문에서 제시하는 DCF를 사용하여 은닉 계층의 데이터를 분산된 형태로 공유하면 프라이버시 정보를 감출 수 있고 데이터를 한 곳에 축적하지 않으면서 딤러닝 분석을 할

수 있다는 장점이 있다.

DCF를 사용하여 제공할 수 있는 도시 간 응용 서비스 예를 몇 가지 소개하면 다음과 같다.

1) 도시 간 재난관리 도시 집중화가 심화되면서 테러, 태풍, 지진과 같은 재해 발생 시 도시의 기능이 더 심각하게 마비될 수 있고 사회 경제적 파급효과가 커질 수 있다. 재해 발생 시 신속한 의사결정과 대응은 매우 중요하다. 적절하게 대응하기 위해서 정확한 정보가 필요하며 여러 관계자가 참여하는 복합적인 의사결정 도구가 필요하다. 비상시에는 모든 정보를 신속히 종합적으로 분석해야 하며, 지자체, 경찰, 병원, 전기, 수도, 교통, 도로공사, 군 등 다양한 기관으로부터 수집되는 정보를 각자의 목적에 맞게 활용하기 위한 정보 공유체제가 필요하나, 원시정보의 제공은 한계가 있다. 그러나 예를 들어 피해자의 신상 정보를 공개하지는 않더라도 피해자 숫자와 위치정보를 공유하고 교통상황을 신속히 공유하는 방안은 필요하다. 총괄 지휘부서가 아닌 관련 기관에서 필요한 정보를 공유하는데 DCF를 사용할 수 있다. 사람이 개입하는 의사결정 결재 라인을 거치면 신속한 대응이 불가능한 경우에도 인공지능 기술을 적용하여 신속한 분석을 하고 효과적인 대응 방법을 찾을 수 있다. 예를 들어 홍수가 나서 독이 무너졌을 때 어떤 파급효과가 나타날지는 사람이 개입하여 분석하는 것보다 시뮬레이션을 통한 신속한 분석이 필요하다. 재난 발생 시에는 여러 부서가 협동하여 일을 처리할 경우가 많다. 최근 우리나라에서는 효과적인 재난 통신망 구축을 위하여 노력하였으나, 물리적인 통신망 구축에 집중하여, 통신망의 지휘 체계나, 어떤 정보를 공유할지 대해서는 아직 뚜렷한 계획을 세우지 못하고 있다. 이는 물리적인 통신망이 없어서가 아니라, 그 통신망을 통해서 어떤 정보를 어떤 방식으로 공유할지에 대한 방안이 없기 때문이다. 지금 도시에는 수많은 감시 카메라와, 센서들이 이미 설치되어 있다. 중·소규모의 도시에도 수백 개 이상의 감

시카메라가 있으며, 경찰이 설치한 것 이외에도, 기업이나 쇼핑몰 등에서 설치한 감시 카메라도 수백 개 이상이 될 것이다. 재난 발생 시에는 이와 같은 센서와 통신 채널들을 총체적으로 활용할 수 있는 대책이 필요하다. 향후 도시에서는 재난관리가 가장 큰 이슈가 될 것이며 평소 시민이 어떻게 이동하는지, 어떤 행동을 취했는지, 또는 취할지를 파악하는 것이 필요하다. 이를 딥러닝을 통해 사전에 학습하는 것이 가능하다. 미아 찾기 서비스도 여러 도시를 걸쳐서 동작하지 않으면 소용이 없다. 미아 신고를 하면 그 이후에 CCTV 내용을 조회해야 하고 관련 동영상을 확보해야만 상세 검색이 가능하다. 그러나 CCTV 데이터를 미리 정한 은닉 계층에서 공유 분석하면 “어린이가 지나간 곳” 데이터를 찾아내어 신속히 대응하는 방안이 가능하다.

2) 도시 간 교통관리 교통 체증에 대한 원인을 종합적으로 파악하여 시간 지연과 에너지 낭비를 줄이는 것, 빠른 우회도로 안내, 신호등 체계의 실시간 관리, 주차장 안내 등은 모두 연관성이 높으며 이와 관련된 데이터를 학습하여 대책을 세우는 것이 가능하다. 자동차의 흐름을 파악하여 왜 정체가 발생하는지, 신호등 체계를 어떻게 바꿀 수 있는지, 실제로 변경하면 어떤 결과가 나타나는지 등을 여러 도로, 여러 건물에서 취합된 동영상 분석 정보를 보고 파악할 수 있을 것이다. 여러 도시의 데이터 또는 같은 도시내 여러 지역의 데이터를 종합 분석하면 1시간 또는 2시간 후의 교통 상황을 정교하게 예측하는 것이 가능할 것이다. 이때에도 촬영된 원시 동영상을 공유하는 것이 아니라, 분산된 형태로 분석 결과를 공유할 수 있다. 스마트 시티 서비스와 관련하여 가장 중요한 기술이 자율주행자동차 기술이다. 자율주행차가 보급되면 도시의 많은 서비스가 바뀔 것으로 예상되며 안전한 자율자동차 운행을 돕기 위한 도로 표지판, 신호등, 보행자 정보 공유가 필요하게 될 것이다.

3) 자원 및 에너지 관리 현재 전력 사용량을 예측하는데 가장 중요한 정보는 기상정보이다. 그러나 수도 사용량, 스포츠 이벤트 정보 등을 같이 분석하면 정교한 에너지 사용 모델을 만들 수 있다. 태양광 등 신재생 에너지 생산과 소비 정보, 전기자동차 이용 데이터도 공유할 수 있다면 더 정확한 에너지 사용 예측 모델을 만들 수 있을 것이다. 빌딩에서는 에너지 사용, 조명, 온도 및 습도 조절, 환기 등을 해야 한다. 이러한 빌딩 관리를 위해서 빌딩 관리 시스템을 필요로 하며 이는 냉난방 관리, 물 관리, 건물 보안관리, 경보 시스템, 감시카메라 정보를 필요로 한다. 이러한 에너지 및 자원 이용 데이터는 상호 밀접한 관련이 있으나 이 데이터를 모두 한 곳에서 취합하여 분석할 수는 없다. DCF를 사용하면 관련된 분야의 전체적인 데이터 분석 모델을 만든 후 세부적인 데이터 분석을 기관별로 수행하고 이들을 은닉 계층에서 교환하여 종합적인 에너지 이용 관리 모델을 운영할 수 있을 것이다.

4) 도시 연계 관광 서비스 관광 산업은 도시의 중요한 수입원이며 관광 서비스를 고도화하기 위해서는 관광 정보를 효과적으로 제공해야 한다. 그러나 관광객은 단순히 어디가 관광명소인지를 아는 것으로는 만족하지 않는다. 관광객이 어디에 관심이 많은지를 정확하게 파악할 수 있고 관광 목적지까지 빠르고 안전한 길안내를 위해서 DCF를 사용할 수 있다. 관광객의 이동 경로를 추적하여 더 편리한 교통수단을 제공하거나 관광객에게 유익한 정보인 가격 할인 정보, 프로모션 정보, 날씨 정보, 교통파업 정보, 택시 운행 정보 등이 입체적으로 분석되어야 한다. 또한 축제나 행사 등의 단기적인 인구 이동 이벤트에서 적절한 동선 배치, 상점 배치, 화장실 배치 등을 할 수 있다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 스마트 시티 서비스에 인공지능 기

법을 도입할 수 있는 방법으로 딥러닝 시티 프레임워크(DCF)를 제안하였다. 이 프레임워크를 사용하면 도시 빅데이터를 소유하고 있는 각 기관이 원시 데이터 공개의 부담 없이 데이터를 일 차 분석한 결과를 공유할 수 있고 이렇게 공유된 분석 데이터를 기반으로 새로운 융합서비스를 구현할 수 있게 된다. 본 논문에서는 DCF를 구성하는 딥 데이터 계층, 도시 응용 계층, 도시 간 서비스 융합 계층 등 3가지 계층을 정의하였고 이를 활용하여 어떻게 융합 서비스를 지원할 수 있을지를 제시하였다. 이 프레임워크가 성공적으로 활용되기 위해서는 도시단위, 지역단위, 전국단위의 시범 서비스를 운영하여 기본적인 기능을 시물레이션을 해보아야 한다. 기본적인 동작을 검증할 수 있는 도시 빅데이터 셋을 정의하고 수집 가능한 데이터부터 계층화 모델을 만들어야 한다. 예를 들어 평상시의 도시 정보를 지속적으로 파악하고 학습하는 과정이 필요하다. 재난은 자주 발생하는 것이 아니므로 재난시의 상세 데이터를 구할 수는 없다. 그러나 유사한 사례의 인구이동, 행동파악을 하는 것과 평상시 동선을 파악하여 학습하는 모델링은 가능하다.

향후 사물인터넷의 발전과 함께 도시 정보를 생산하는 센서는 계속 추가로 설치될 것이다. 예를 들어 CCTV의 설치 밀도가 높아질 것인데 이러한 입력 데이터 추가를 DCF가 지속적으로 수용할 수 있어야 한다. 새로운 데이터가 추가될 때마다 모델을 새롭게 만드는 것이 아니라 점차 정교한 모델을 만들어질 수 있도록 전체적인 도시 딥러닝 모델이 초기에 설계되어야 한다.

DCF가 필요한 또 다른 이유는 도시 서비스의 규모가 복잡적으로 커지면 사람이 이의 처리를 담당할 수 없는 수준으로 복잡해지기 때문이다. 마치 대형 항공기를 사람을 운행하기 어려운 것과 같다. 앞으로는 실시간적인 의사결정을 하는 통합적인 인공지능 시스템이 점차 필요할 것이며 도시 문제 해결에 DCF를 활용할 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안한 DCF 개념은 지금까지 구현

된 사례가 없으며 따라서 실증되지 못하였다는 한계가 있다. 그러나 도시 서비스와 같이 복잡하고, 실시간 반응을 요구하며, 자율주행차와 같은 새로운 서비스를 지속적으로 수용해야 하는 미래의 도시 환경에는 DCF와 같은 분산형 인공지능 솔루션이 필요할 것이다. 본 논문에서 제안한 DCF의 실용성을 검증하기 위해서는 DCF 요구사항 정의, 구체적인 전이학습 모델 정의, 서비스 적용 사례 발굴 등이 필요하며 국제적으로 협력할 수 있도록 표준화 작업도 병행되어야 할 것이다.

■ 참고문헌

- 김정태 (2008). “국토부, U시티 산업에 14000여억원 지원.” 「머니투데이」, 8월 11일.
- 노수연·김성옥 (2017). “항저우시의 스마트도시 건설 메커니즘 연구.” 「중국과 중국학」, (32): 57-86.
- 대통령소속 국가건축정책위원회 (2016). “Smart City 경쟁력 강화를 위한 정책방안 연구.”
- 박유경·유성민 (2015). “IoT 기반의 스마트시티 기술 서비스 분석.” 「한국정보기술학회지」, 13(2): 31-37.
- 서형준 (2017). “국내 공공데이터 개방수준을 통해서 본 OECD의 Open, Useful, Reusable Government Data Index에 대한 비판적 논의: Open Data Barometer와의 비교를 중심으로.” 「정보화정책」, 24(2): 43-67.
- 이영진·윤지환 (2014). “관광분야에서 SNS 빅데이터의 활용 방법 모색.” 「관광연구저널」, 28(3): 5-14.
- 이은주 (2017). “CNN과 RNN의 기초 및 응용 연구.” 「방송과 미디어」, 22(1): 87-95.
- 장윤옥 (2015). “인공지능과 딥러닝이 가져올 변화.” 「철도저널」.
- 전병진·김희웅 (2017). “공공 빅데이터 개방 및 활용 활성화 방안에 대한 연구.” 「정보화정책」, 24(3), 27-41.
- 황중성 (2017). “스마트시티 발전동향과 쟁점을 통해 본 국가전략 연구과제.” 「정보와 통신」, 34(8):

- 14-18.
- R&D정보센터 (2016). 「스마트 시티 관련 산업 분야 별 국내외 기술개발/시장전망동향」. 지식산업정보원.
- Ahn, J. Y., Lee, J. S., Kim, H. J. & Hwang, D. J. (2016). "Smart city interoperability framework based on city infrastructure model and service prioritization." Conference: 2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN).
- Akcin, M., Kaygusuz, A., Karabiber, A., Alagoz, S., Alagoz, B. B. & Keles, C. (2016). "Opportunities for Energy Efficiency in Smart Cities." IEEE Smart Grid Congress and Fair (ICSG).
- Clohessy, T., Acton, T. & Morgan, L. (2014). "Smart city as a service (SCaaS): A future roadmap for e-government smart city cloud computing initiatives." Proc. IEEE/ACM 7th Int. Conf. Utility Cloud Comput., pp. 836-841.
- Goodfellow, Ian, Bengio, Yoshua, Courville, Aaron (2016). *Deep Learning*. Boston: MIT Press.
- Kim, H. J. (2016). "DataCon: Easier Data Sharing, Exploration, and Fusion with Automatic Metadata Generation." AI 2016: Advances in Artificial Intelligence pp 708-713.
- Li Deren, Yao Yuan & Shao Zhenfeng (2014). "Big data in smart city." Geomatics and Information Science of Wuhan University, vol. 39, no. 6, pp. 631-640.
- NIST (2017). "Developing a consensus Framework for Smart City Architectures." <https://pages.nist.gov/smartcitiesarchitecture/>. (Retrieved on Dec. 14, 2017).
- White House (2017). "FACT SHEET: Administration Announces New "Smart Cities" Initiative to Help Communities Tackle Local Challenges and Improve City Services." <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/09/14/fact-sheet-administration-announces-new-smart-cities-initiative-help>. (Retrieved on Dec. 14, 2017).