

u-Office 서비스 추론 기술을 위한 기계학습 기반 알고리즘

김승혜, 홍은재, 박병철*, 박형곤
이화여자대학교, 토론토대학교*

요약

본고에서는 u-Office 서비스를 실현하기 위하여 이동 단말 기기로부터 수신한 사용자의 시간 및 위치 이동 정보를 이용해서 사용자에게 유용한 서비스를 제공하는 데 필요한 사용자 맞춤형 서비스 제공 통합 프레임워크 및 추론 기술 알고리즘에 대해 기술하고자 한다. 사용자 맞춤형 서비스제공 통합 프레임워크는 사용자 이동단말기 및 시간 및 이동 데이터를 저장하는 AP, AP의 데이터를 수집하는 데이터베이스, 사용자 이동 단말 어플리케이션 등으로 구성되어있으며, 사용자의 시간 및 위치 정보를 학습하여 이동 경로를 예측하고 유용한 서비스를 제공하기 위해 사용된 기계학습 기반 추론 알고리즘에 대하여 알아본다. u-Office 서비스를 실현하기 위하여 실제로 캠퍼스 및 교실범위로 구현한 사용자 패턴기반 맞춤형 서비스 프레임워크에 대해 알아보고 제공 가능한 서비스에 대하여 논의한다.

I. 서론

최근 이동 단말기 이용자 수의 증가 및 웨어러블 디바이스(wearable device) 등 다양한 형태의 모바일 기기가 등장함에 따라 사용자가 언제 어디서나 모바일 기기를 이용하여 효율적인 업무를 할 수 있는 스마트 워크 시대를 맞이할 수 있게 되었다. 이를 위하여 모바일 오피스의 구축을 통한 차세대 u-Office (ubiquitous Office) 서비스 연구개발이 활발하게 진행되고 있다[1]. 사용자의 모바일 기기로부터 다양한 데이터를 수집할 수 있게 됨에 따라 수집된 데이터를 기반으로 사용자의 행태를 분석하고, 분석한 데이터를 바탕으로 사용자에게 위치 기반 서비스(Location Based Service, LBS)를 비롯한 유용한 정보를 제시하는 서비스를 제공할 수 있게 되었다.

u-Office 사용자 맞춤형 서비스를 제공하기 위해서는 먼저 사용자의 행동 패턴을 파악해야 한다. 이를 위해 <그림 1>과 같이 사용자의 이동 단말 기기 및 AP(Access Point)로부터 이동 시간

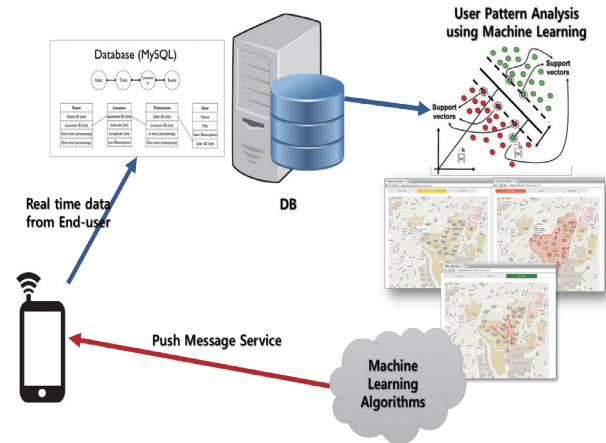


그림 1. 기계학습 기반 사용자 맞춤형 서비스 제공 모식도

및 경로를 추적하는 데 필요한 데이터를 습득하고, 서버에서는 분석 및 추론을 위하여 해당 데이터들을 수집해야 한다. 그리고 서버에서는 분석을 바탕으로 사용자에게 유용한 서비스를 제공하기 위해 서버와 연동한 통합 프레임워크를 필요로 한다.

본고에서는 대학 캠퍼스 및 학습 공간 등의 u-Office Zone으로 이루어진 장소에서 사용자의 행동을 예측하여 유용한 정보를 미리 제시하는 u-Office 추론기술 알고리즘 및 사용자 패턴 기반 맞춤형 서비스 프레임워크에 대하여 알아본다. 지정된 장소의 AP에 수집된 데이터를 이용하여 사용자의 시간에 따른 공간 이동 및 패턴을 파악하고, 이때 기계학습(Machine Learning)[2]을 이용하여 패턴을 분석하였다. 기계학습에서 지도학습(Supervised Learning) 중 하나인 회귀분석(regression)을 통해 사용자의 이동경로를 파악할 수 있고, 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)을 이용하여 최적화된 해법으로 학습모델을 정한다. 그리고 학습 및 예측 정확도를 높이기 위해 K-Fold Cross-Validation 기법을 사용할 수 있다. 또한 실제 캠퍼스를 대상으로 데이터베이스(Database, DB), HTML, Google API, Java, 안드로이드(Android) 운영체제로 구현하여 사용자 패턴기반 맞춤형 서비스를 제시하였다.

II. u-Office 서비스를 위한 추론 기술 및 알고리즘

1. RTFM 기반 사용자 맞춤형 서비스 제공 통합 프레임워크

본고에서는 사용자 위치를 기반으로 유용한 정보를 제공하는 다양한 방안 중 [3]에서 제안한 사용자 패턴기반 맞춤형 서비스 제공 프레임워크를 설명한다. <그림 2>에서 보이는 것과 같이 이 프레임워크는 RTFM(Real Time Traffic Flow Measurement)[4] 구조가 적용되어 각 기기의 통합 및 분산 시스템 구조를 자유롭게 구성할 수 있고, 실시간 데이터의 흐름, 분석 및 제어에 용이하다는 장점이 있다. <그림 2>와 같이 RTFM 구조를 활용하여 특정한 곳에 설치된 AP에서 사용자 k 의 모바일 기기로부터 특정 사용자 정보인 I_k, J_k

$$I_k = \{u_N, u_M, u_d, u_{id}\} \quad (1)$$

$$J_k = \{A_{SS}, A_B, u_{id}, l_{rssi}, f, t_{in}, t_{out}\} \quad (2)$$

를 DB로 전송하여 수집하고 이 데이터들을 실시간으로 모니터링을 할 수 있는 프레임워크를 구성하였다.

I_k 에는 사용자의 정보인 사용자 이름 u_N , 사용자의 기기 MAC 주소 u_M , 사용자의 신분이나 직위에 관한 정보 u_d , 사용자 기기의 ID의 정보 u_{id} 가 포함이 된다. J_k 에는 AP의 SSID (Service Set Identifier)인 A_{SS} , AP의 MAC주소 BSSID (Basic Service Set Identifier)인 A_B , 사용자 기기의 ID인 u_{id} , 신호 레벨 RSSI (Received Signal Strength Indicator)인 l_{rssi} 과 주파수 f , 사용자가 해당 AP에 들어온 시간 t_{in} 과 나간 시간 t_{out} 이 포함된다.

본고에서는 [3]에서 제안한 구조를 바탕으로 <그림 1>과 같이 서버에서 사용자 행동 패턴을 분석하고 예측하는 기계학습 추론 기술 및 분석 결과에 따라 사용자에게 유용한 정보를 제공하는 서비스를 확장하여 기술하였다.

2. 기계학습 기반 추론기법

u-Office 사용자 맞춤형 서비스 제공을 위한 추론기법으로 기계학습을 적용하였다. 기계학습의 목적은 학습모델과 예측 알고리즘을 만드는 것으로 주어진 학습데이터(training set)로부터 최적의 학습모델을 생성하고, 해당 모델을 통해 대용량 데이터를 분석, 귀납 추론 등의 결과를 도출하는 방법을 말한다 [5]. 기계학습은 사용자의 행동 패턴에 관한 데이터를 기반으로 사용자가 필요한 서비스를 미리 예측하여 제공하는 데 적합한 모델이다. u-Office 서비스 추론기술에서는 기계학습의 지도 학습 중 회귀분석, SVM, K-Fold Cross-Validation 기법을 사

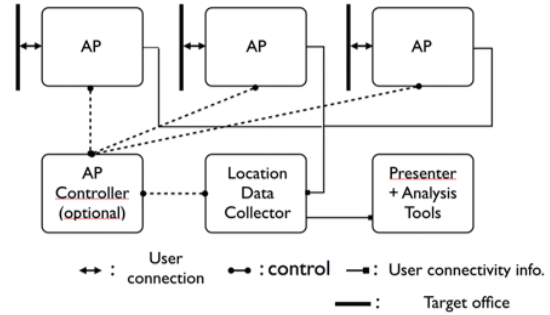


그림 2. RTFM구조가 적용된 프레임워크 구조도 [3]

용하였다. 지도학습이란 학습을 위해 주어진 입력데이터인 학습 데이터의 라벨(label)이 정해진 학습으로서, 입력 데이터와 결과 데이터를 매핑(mapping)하는 학습법이다. 입력 데이터를 사용자의 이동 시간과 사용자의 장소 위치를 나타내기 위해 AP로부터 측정된 신호레벨인 RSSI 를 이용하였고, 결과 데이터로는 참 또는 거짓으로 정하였다. 본고에서는 각 AP별로 같은 범위의 값을 가지는 RSSI를 기계학습에 사용하기 위해 각 구간별로 특정 값을 더해주어 labeled RSSI를 사용하였다.

가. 회귀분석을 이용한 경로 예측

특정 사용자로부터 얻어진 시공간의 데이터 관계를 모델링하여 사용자의 경향을 가시적으로 예측하고 분석하기 위하여 회귀분석 방법을 이용하였다. 회귀분석은 측정된 데이터를 가장 비슷한 직선이나 곡선으로 표현하는 곡선적합(Curve Fitting)의 방식에서 가장 널리 사용되는 방법이다[6]. 선형으로는 예측하기 어려운 사용자 이동 데이터의 특성을 고려하고 정확도 높은 경로예측을 위하여 비선형 회귀분석인 가우시안 프로세스 회귀분석(Gaussian Process Regression, GPR)의 한 방식인 가우시안 커널 회귀분석(Gaussian Kernel Regression)을 이용한다[7][8]. 데이터 집합(data set)에서 데이터간의 관계성이 선형이 아닐 때, 그 관계를 나타내는 함수의 분포를 구할 수 있다. 가우시안 프로세스는 평균 함수(mean function)와 공분산 함수(covariance function)로 기술될 수 있으며, 이때 공분산 함수가 특정한 형태를 갖고 있을 것이라 가정하고, 이 형태의 함수를 커널(kernel)이라고 부른다[8]. 어떠한 커널을 선택하는냐에 따라 회귀 분석의 성능이 큰 차이를 보이게 된다.

가우시안 커널 회귀분석은

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N K(x^*, x_i) y_i}{\sum_{i=1}^N K(x^*, x_i)} \quad (3)$$

과 같이 나타낼 수 있다. x^* 는 회귀분석 값을 예측할 입력 데이터이고, x_i, y_i 는 실제 데이터의 입력, 출력데이터이다.

$K(x^*, x_i)$ 는 커널로 본고에서는 가우시안 커널을 사용하였으므로, 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$K(x^*, x_i) = \exp\left(-\frac{(x^* - x_i)^2}{2h^2}\right) \quad (4)$$

h 는 커널의 폭(bandwidth)으로서 이 값이 작을수록 회귀분석 곡선이 데이터에 더 가까워지기 때문에 에러가 작아지는 반면 복잡한 형태를 그리게 된다[6].

나. SVM

기계학습에서 지도학습 중 하나인 SVM은 학습한 데이터를 바탕으로 최적의 초평면(hyperplane)을 형성하고, 새로운 데이터가 들어왔을 때 이를 바탕으로 추론하는 방식이다. SVM의 목적은 학습데이터에 기반한 테스트 데이터(test set)의 속성을 이용하여 목적값(target value)을 예측하는 학습 모델을 생성하는 것이다. 학습데이터를 이용하여 데이터를 분류하는 SVM 모델을 생성하고, 테스트 데이터로 모델의 오차를 줄이는데, 각 학습데이터는 클래스 라벨(class label)과 같은 목적값을 포함한다. 또한 feature나 관측변수(observed variable) 등과 같은 여러 개의 속성들을 가진다.

학습데이터에서 인스턴스 짝(instance pair)이 $\mathbf{x}_i \in R^n$, $\mathbf{y} \in \{1, -1\}^l$ 인 $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)$, $i = 1, \dots, l$ 로 주어졌을 때 SVM [9]은 다음 식과 같은 최적화 문제로 정의된다.

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{w}, b, \xi} \quad & \frac{1}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w} + C \sum_{i=1}^l \xi_i \\ \text{subject to} \quad & \mathbf{y}_i (\mathbf{w}^T \phi(\mathbf{x}_i) + b) \geq 1 - \xi_i, \quad (5) \\ & \xi_i \geq 0. \end{aligned}$$

(5)에서 $C > 0$ 는 오류 항(error term)에 대한 패널티 파라미터(penalty parameter)이고, $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \equiv \phi(\mathbf{x}_i)^T \phi(\mathbf{x}_j)$ 의 커널함수를 갖는다. 초평면의 형태에 따라 각각 다른 형태의 커널 함수를 사용하고, 선형(linear)의 경우엔 $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j$, 다항(polynomial)의 경우 $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j + r)^d$, $\gamma > 0$, RBF (Radial Basis Function)의 경우 $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp(-\gamma \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2)$, $\gamma > 0$, Sigmoid의 경우 $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \tanh(\gamma \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j + r)$ 형태로 나타낼 수 있다[10]. 여기서 γ , r , d 는 커널 파라미터로서 Cross-Validation을 사용하여 최적의 값을 구할 수 있다. 커널 함수를 이용하면 비선형(nonlinear)의 경우에도 초평면을 찾을 수 있다. 학습데이터 벡터인 \mathbf{x}_i 는 커널 함수 ϕ 에 의해 고차원의 공간으로 매핑되고 SVM은 고차원의 공간에서 최대의 마진(margin)을 갖는 분할 초평면(separating hyperplane)을 찾는다.

본고에서는 시간에 따른 규칙적인 일과를 가진 사용자의 반복

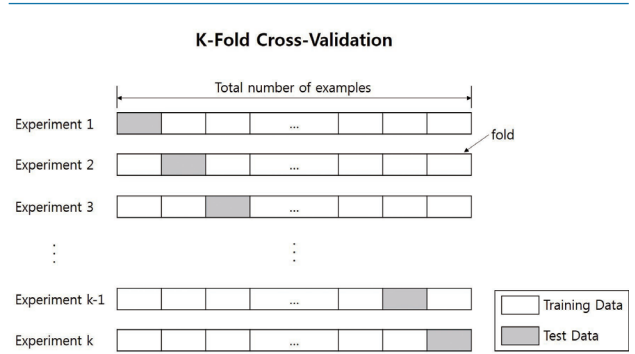


그림 3. K-Fold Cross-Validation 개념도

적인 위치를 학습데이터로 모델을 형성하고, 이후에 들어오는 데이터를 분석하여 사용자의 위치에 대한 목적값을 생성하고, 사용자에게 서비스를 제공한다.

다. K-Fold Cross-Validation

본고에서는 기계학습의 SVM에서 비선형 최적화 문제(non-linear optimization problem)의 추가적인 하이퍼파라미터(hyperparameter)변수를 구하는 과정의 성능 개선과 높은 신뢰성을 제공하기 위하여 K-Fold Cross-Validation 방식에 대하여 알아본다.

K-Fold Cross-Validation은 <그림 3>에서 보는 것과 같이 데이터를 동일한 개수씩 k 개의 집합(fold)으로 나누어 임의의 $k - 1$ 개의 부분 집합으로는 SVM 모델 학습을, 1개의 부분 집합으로는 SVM 모델의 정확성을 평가하는 과정을 k 번 반복함으로써 최적의 파라미터 값을 찾아 오차를 줄이고 정확성을 높이는 방식이다.

일반적으로 좋은 성능을 내기 위해서 k 를 5 또는 10으로 설정한다[10]. 각 부분 집합을 이용하여 학습을 시킬 때마다 각각 다른 SVM 분류 패턴이 생성되는데 이를 이용하면 아래와 같이 에러의 상한선(upper bound)을 설정할 수 있다.

$$\pi \leq v_{KCV} + \sqrt{\frac{-k \ln \delta}{2l}} \quad (6)$$

위 식 (6)에서 π 는 일반화오류(generalization error)를 나타내고, δ 는 신뢰값(confidence value)를 나타내며, v_{KCV} 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{KCV} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_{VAL}^{(j)} \quad (7)$$

위 식(7)에서 $v_{VAL}^{(j)}$ 는 j 번째 집합의 에러율(error rate)이다[11].

K-Fold Cross-Validation을 통하여 데이터의 양이 적더라도 높은 정확도를 가진 결과를 얻을 수 있으며, SVM의 성능을

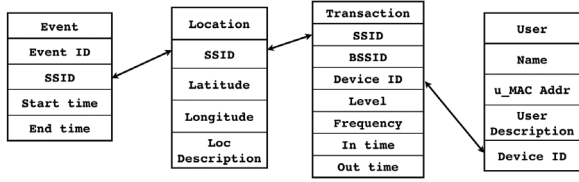


그림 4. DB 구조 다이어그램 [3]

향상시킬 수 있다.

3. 기계학습기반 사용자 맞춤형 서비스 제공 통합 프레임워크 구현

본고에서는 u-Office 서비스에서 [3]에서 제안한 사용자 맞춤형 서비스 제공 통합 프레임워크를 실제 캠퍼스 및 실내공간에서 적용하였다. 프레임워크 구조 및 구현에 관하여 알아 보고 기계학습 알고리즘 분석에 관한 예시와 클라이언트 사용자 서비스 예시 등을 제시한다.

가. 데이터베이스 구성

사용자와 AP로부터 모바일 데이터를 계속해서 전송 받고 데이터를 <그림 4>와 같은 구조의DB에 저장한다. MySQL로 구현하였으며, 각 테이블에는 본론 1의 I_k, J_k 에 관한 정보가 포함된다. 이 테이블에 취합되어 있는 정보를 바탕으로 기계학습 기반의 추론기법을 적용하여 사용자 맞춤형 서비스를 제공한다.

나. 서버 관리자 구성화면

<그림 5>와 같이 웹 서버를 구성하여 u-Office 서비스 캠퍼스 서버 관리자 화면을 구성하였다. 캠퍼스 및 실내 화면의 웹 페이지를 PHP를 이용하여 DB와 연동한다. 이때, DB에서 각 테이블들을 조인(join)하여 해당 AP에 연결되어 있는 사용자수, 사용자의 현재위치, 특정사용자의 이동 경로 등을 파악할 수 있다. 실제 캠퍼스 지도는 HTML5, Javascript 및 Google Map API를 통해 구현하였다. 이는 서버에서 사용자들의 데이터를

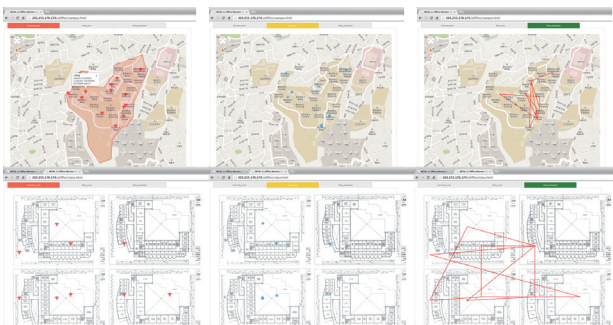


그림 5. 캠퍼스 적용 [3]

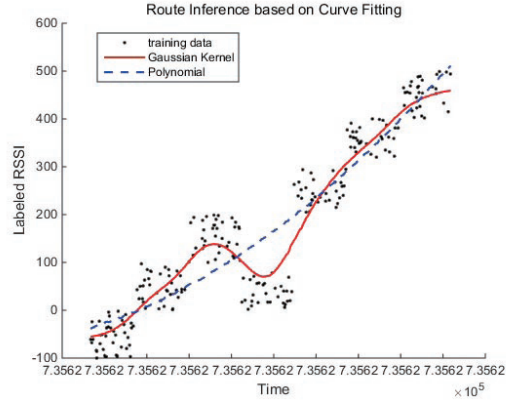


그림 6. 회귀분석 예시 [6]

위한 분석도구이며, 추후 모바일이나 웹 지도 기반 클라이언트 사용자 서비스로도 활용 가능하다.

다. 추론엔진

기계학습 기반의 추론 알고리즘을 DB와 연동하여 적용할 수 있다. <그림 6>은 [6]에서 실제 DB의 데이터를 바탕으로 가우시안 커널 회귀분석을 통하여 사용자의 경향을 분석한 것이다. 본고에서는 가우시안 커널 회귀분석의 식(4)에서 초기의 h 값을 임의로 정하고 변형시켜 실제 데이터와 예측 데이터 간의 오차를 최소화하는 h 값을 찾아 모델을 생성하는 방식을 이용하였다. 이 과정에서 h 는 0.0214로 설정하였다.

회귀분석 이외에도 SVM 등의 다른 기계학습 알고리즘들을 적용하여 사용자의 데이터를 정확도 높게 분석하고 예측 서비스를 제공할 수 있는 알고리즘을 사용할 수 있다.

라. 클라이언트 서비스 어플리케이션

<그림 7>과 같이 사용자에게 서버에서 추론한 결과를 바탕으로 예측 서비스를 제시하는 안드로이드 운영체제의 어플리케이션을 구현하였다. 객체지향 언어인 Java 언어로 구현하였으며 서버와 연동하여 DB 데이터를 바탕으로 사용자의 경로를 예측하여 푸시 알림 서비스(Push Notification Service)를 제공한다. 푸시 알림 서비스는 Google에서 제공하는 GCM (Google Cloud Messaging)[12] 기능을 통해 구현하였으며, Third party 서버에서도 안드로이드 모바일을 통해 푸시 알림 서비스 제공이 가능하다.

캠퍼스의 사용자로 학부생, 대학원생, 교수 등으로 분류하여 각 사용자 별로 필요한 정보를 제공할 수 있도록 메뉴를 구성하였다. 사용자가 특정시간에 해당 공간에서 강의가 있으면 강의 자료나 공지사항을 서버에서 알려주고, 식당이나 카페를 이용한다면 추천 메뉴나 가격을, 연구실에 있다면 스케줄 등을 공지해준다. 또한 주차장이나 체육관 등 캠퍼스 이용자가 갈 수 있



그림 7. 클라이언트 서비스 어플리케이션 화면 예시

는 공간별로 서비스를 구상하였다. 이를 바탕으로 사용자의 행동 패턴에 따른 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

III. 결론

본고에서는 u-Office 실현을 위한 사용자 맞춤형 서비스 제공 통합 프레임워크와 기계학습 기반 추론 알고리즘에 대하여 알아보았다. 기계학습에서 회귀분석을 통하여 사용자의 경로 추적이나 경향성을 분석하였고, SVM이나 K-Fold Cross-Validation과 같은 기법으로 사용자 데이터를 분석하여 예측하는 모델을 생성하는 방법을 알아보았다. 또한 웹 서버 및 DB를 구축하여 사용자의 모바일 데이터를 수집하고, 실제 캠퍼스를 대상으로 구현하여 사용자에게 유용한 서비스를 제공하는 방안에 대하여 제시하였다. 이를 바탕으로 서비스 제공 대상을 확장하여 스마트 워크를 위한 u-Office를 구현할 수 있을 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었으며(IITP-2015-H8501-15-1007), 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2014R1A2A1A11051257). 본 논문은 [16]에서 출판된 내용의 일부를 포함하고 있음.

참고 문헌

[1] 조용수. "u-Office 무선 네트워크 기술." 한국통신학회지

(정보와통신) 31.4, 2014, pp. 107-108.

[2] V. N. Vapnik, and V. Vapnik. Statistical learning theory. Vol. 1, New York: Wiley, 1998.

[3] 김승혜, 박병철, 박형근. "사용자 패턴기반 맞춤형 서비스 제공 프레임워크에 관한 연구." 한국통신학회 학술대회논문집, 2014, pp. 74-76.

[4] N. Brownlee, C. Mills, and G. Ruth, "Traffic flow measurement: Architecture." IETF RFC 2722, October 1999

[5] 이재구, 이태훈, 윤성로. "Big Data 분석을 위한 Machine Learning." 한국통신학회지 (정보와통신) 31.11, 2014, pp. 14-26.

[6] 홍은재, 김승혜, 박병철, 박형근. "사용자 경로 추론을 위한 곡선 적합 성능 비교." 제 25회 통신정보 합동학술대회, 2015년 4월.

[7] 박선호, 최승진. "계층적 가우시안 프로세스 회귀모델." 한국정보과학회 학술발표논문집 37.2A, 2010, pp. 66-67.

[8] C. E. Rasmussen., C. K. I. Williams, Gaussian Processes for Machine Learning. MIT Press, 2006

[9] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V. N. Vapnik. "A training algorithm for optimal margin classifiers." Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory. ACM, 1992.

[10] C. W. Hsu, C. C. Chang, and C. J. Lin. "A practical guide to support vector classification." National Taiwan U., (<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/papers/guide/guide.pdf>), 2003.

[11] D. Anguita, A. Ghio, S. Ridella, D. Sterpi, "K-Fold Cross Validation for Error Rate Estimate in Support Vector Machines." Proceedings of the 2009 International Conference on Data Mining (DMIN), Jan 2009, pp. 291-297

[12] Developers, Android. "Google cloud messaging for Android." Feb 2014. (<http://developer.android.com/google/gcm/index.html>)

[13] W. Wang, Z. Xu, W. Lu, and X. Zhang, "Determination of the spread parameter in the Gaussian kernel for classification and regression." Neurocomputing, vol.55, no. 3, pp. 643-663, 2003.

[14] E. Alpaydin, Introduction to machine learning. MIT Press, 2014.

- [15] H. Motulsky, and A. Christopoulos. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: a practical guide to curve fitting. Oxford University Press, 2004.
- [16] S. Kim, E. Hong, B. Park and H. Park “ A User Customized Service Provider Framework based on Machine Learning,” International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2015) , Jul. 2015.

약 력



김 승 혜

2014년 이화여자대학교 공학사
 2014년~현재 이화여자대학교 석사과정
 관심분야: 기계학습 기반 사용자 패턴 추론
 알고리즘 및 프레임워크 개발



홍 은 재

2015년 이화여자대학교 공학사
 2015년~현재 이화여자대학교 석사과정
 관심분야: 기계학습기반 사용자 데이터 분석 및 추론



박 병 철

2006년 포항공과대학교 공학사
 2012년 포항공과대학교 공학박사
 2012년 포항공과대학교 박사후연구원
 2012년~2014년 프랑스 INRIA 박사후연구원
 2014년 이화여자대학교 박사후연구원
 2014년~현재 토론토대학교 박사후연구원
 관심분야: 클라우드컴퓨팅, SDN, 네트워크 트래픽 분석



박 형 곤

2004년 포항공과대학교 공학사
 2006년 미국 University of California, Los Angeles (UCLA) M.S.
 2008년 미국 University of California, Los Angeles (UCLA) Ph.D.
 2009년~2010년 스위스 Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne (EPFL) 신호처리 연구실 선임연구원
 2010년~현재 이화여자대학교 전자공학과 조교수
 관심분야: 게임이론을 이용한 유/무선/P2P 네트워크 분산적 자원 관리, 네트워크 코딩을 이용한 멀티미디어 전송