

가우시안 프로세스를 이용한 신변보호자 경로 학습

신윤지¹, 안희랑², 유재현^{1*}

¹성신여자대학교 AI융합학부, ²성신여자대학교 수리통계데이터사이언스학부

위치 기반 보호 시스템은 신변보호자의 안전 확보를 위해 정상적인 이동 경로로 학습하고, 이상 이동 여부를 정확하게 판단할 수 있어야 한다. 그러나 GPS 신호는 환경에 따라 수신이 누락되거나 왜곡되는 경우가 있어, 실시간 위치 추적과 이상 탐지의 정확도를 저하시킨다. 본 연구에서는 Gaussian Process Regression(GPR)을 활용하여, 사용자의 시간 흐름에 따른 연속적인 위치를 예측하고 이동 경로를 학습하는 방법을 제안한다. GPR 모델은 지하와 같은 GPS 음영구역에서 발생한 결측치를 보간하여 학습한다. 또한, 각 위치는 절대 시간이 아닌 상대 시간 기준으로 변환되어, 평소와 다른 시간대에 이동이 이루어져도 정상 패턴으로 인식할 수 있도록 설계되었다. 제안된 방법을 통해 가상 데이터와 실제 스마트워치로 수집한 데이터로 실험을 수행하였다. 그 결과, GPR 기반의 위치 예측 모델은 누락된 위치의 연속성과 정확도를 향상시키고, 이상 이동 여부를 정밀하게 판단할 수 있음을 확인하였다.

Path Learning for Protected Individuals Using Gaussian Processes

Yoon-ji Shin¹, Hee-Rang An², Jae-Hyun Yoo^{1*}

¹School of AI Convergence, Sungshin Women's University

²School of Mathematics, Statistics and Data Science, Sungshin Women's University

Location-based protection systems must learn normal path patterns and accurately detect abnormal paths in order to ensure the safety of protected individuals. However, GPS signals can be interrupted or distorted depending on the environment, reducing the accuracy of real-time location tracking and anomaly detection. In this study, we propose a method that utilizes Gaussian Process Regression (GPR) to predict continuous positions over time and learn path patterns. The GPR model interpolates missing values that occur in GPS-shadowed areas such as underground environments during the learning process. Additionally, each position is converted from absolute time to relative time, enabling the system to recognize paths occurring at unusual times as normal patterns. We conducted experiments using the proposed method with virtual data and data collected from actual smartwatches. The results confirmed that the GPR-based location prediction model improves the continuity and accuracy of missing locations and can precisely determine the presence of abnormal paths.

Keywords: GPS, GPR, location-based protection

1. 서론

신변보호자용 스마트워치는 GPS 기반 실시간 추적을 제공하지만, 실내·지하 등 음영구역에서 오차·결측이 잦고 지오펜싱은 경계 이탈만 알려 주는 한계가 있다 (Kim et al. 2022). 본 연구는 Gaussian Process Regression (GPR)으로 신변보호자의 정상 경로를 학습하여 경로 기반 이상 이동을 탐지한다. 2장에서는 결측 복원, 상태 기반 이동·정지 판정 그리고 상대시간 알고리즘 설명한다. 3장에서는 알고리즘의 실험 결과를 설명하며, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 본론

2.1 데이터 및 모델 구조

본 연구는 사용자의 다음 위치 예측에 GPR을 사용한다. GPR은 커널을 통해 입력 간 유사도를 학습하여 매끄러운 궤적을 생성하므로, 위치 궤적처럼 데이터의 연속성이 중요한 문제에 적합하다. 스마트워치(Galaxy Watch 7, SM-L300)를 이용해 $\Delta t=5$ 분 간격으로 GPS 데이터를 수집했으며, 실제 4명의 일주일 데이터에는 결측치와 오차가 포함되어 있다. 예측 입력은 시점 i 에서 슬라이딩 윈도우 $W=8(40\text{분})$

구간의 특성으로 구성하고, 출력은 다음 시점의 위치 $y_{i+1} = [\phi_{i+1}, \lambda_{i+1}]$ 이다. 여기서 ϕ 는 위도(Latitude), λ 는 경도(Longitude)를 의미한다.

2.2 결측 복원 및 이동·정지 판정 알고리즘

움직임이 없는 시간대에 발생한 GPS 이상치는 결측으로 전환한다($\Delta t=5$ 분). 결측 복원은 기본적으로 선형 보간, 정지 구간은 이전 시간에 수집된 좌표로 보간한다. Dijkstra 보간은 철도 이동으로 판정된 결측 구간에만 적용한다. 철도 판정은 다음과 같은 경우로 정의하였다. 먼저, 결측 전후의 관측이 역 반경 내에 존재해야 한다. 이후 노선 그래프 최단경로(Dijkstra)로 얻은 선로 길이를 결측 지속시간으로 나누어 추정한 평균 속도가 지하철 운행 범위에 포함되어야 한다. 조건을 충족하지 못하면 선형 보간으로 대체한다.

실제 사용자 일주일 데이터에서는 정지 시간이 이동 시간보다 길다. 전 구간의 데이터를 그대로 GPR 모델 학습에 사용할 경우 학습 시간이 과도하게 증가하고, GPS 이상치가 이동으로 잘못 판단될 경우가 있다. 따라서, 본 연구는 이동·정지 판정을 선행하고 학습을 이동으로 한정한다. 이동·정지는 Haversine 속도에 Exponential Moving Average (EMA)-중앙값 필터를 적용한 뒤, 속도·최근 8개 시점 변위·회전반경을 결합해 결정한다.

2.3 상대시간

스마트 위치로부터 수집된 원본 데이터는 절대시간(timestamp), 위도, 경도로 구성된다. 이러한 절대시간 기반 데이터는 동일한 경로라도 다른 시간대에 이동할 경우 모델이 이를 이상 경로로 잘못 판단할 수 있다는 한계를 가진다.

이러한 문제를 해결하고 이동의 동적 패턴을 모델이 학습할 수 있도록, 원본 데이터로부터 파생변수들을 계산하여 GPR 입력 피처로 활용하였다. 계산된 파생변수는 누적 시간(cumulative time), 누적 거리(cumulative dist), 속도(velocity), 방위각(azimuth)이다. 즉, 정의된 파생변수들은 모델이 절대적인 시간 정보 대신 상대적 시간과 관련된 특성을 학습하도록 하여, 시간대 변화에도 불구하고 일관된 경로 인식을 가능하게 한다. 최종적으로 학습데이터 입력 및 출력은 다음과 같이 정의된다.

$$X_i = [\text{Latitude}, \text{Longitude}, \text{Cumulative Time}_i, \text{Cumulative Dist}_i, \text{Velocity}_i, \text{Azimuth}_i]$$

$$Y_i = [\phi_i, \lambda_i]$$

3. 실험 결과

데이터 결측은 선형 보간을 기본으로 하되, 지하철 게이트를 충족한 경우에만 Dijkstra 보간을 적용하였다. 그 결과 지하 구간은 실제 노선과 일치하도록 복원되고, 비지하철 과적용과 도착 직전 오인 사례가 감소하였다. Fig. 1은 결측 복원 및 이동·정지 알고리즘 적용 후, 동일 경로를 다른 시간대에 실험한 결과로, 학습된 GPR 모델의 추론 위치와 실제 위치가 거의 유사하게 나타났다. 이는 제안한 알고리즘이 효과적으로 적용되었으며, 모델이 절대적인 시간에 의존하지 않고 파생변수들을 통해 상대적인 시간을 학습했다는 것을 의미한다. 대부분 사용자의 사례에서도 이와 유사한 양상을 보였다. 반면 Path 2는 지하철과 같은 GPS 음영구간을 포함하는 사례로, 결측 구간에서 GPR 기반 보간을 수행하였다. 그러나 결측 구간이 길어질수록 보간 예측값의 오차가 누적되는 현상이 발생하여, 실제 이동 궤적과 추론된 경로 간의 차이가 점차 커지는 한계가 관찰되었다.



Fig. 1. Both panels use relative-time features and correspond to user 2 (blue = GPS observations; yellow = model predictions). (a) Path 1: predictions almost coincide with observations; yellow points are occluded by the blue markers. (b) Path 2: segments include GPR-interpolated predictions.

거리 기반 평가 지표를 살펴보면, Mean Absolute Error (MAE) 1.20 km, Root Mean Squared Error (RMSE) 2.98 km으로 나타났다. MAE, RMSE는 비교적 크게 나타났지만, Median error이 0.04 km로 매우 낮은 것을 관찰할 수 있었다. 또한 95th Percentile error 7.4 km, Max error 16.9 km로 예측 오차가 크게 발생했으며, 이는 주로 GPS 음영구간에서 발생한 장기 결측 구간의 영향으로 나타났다

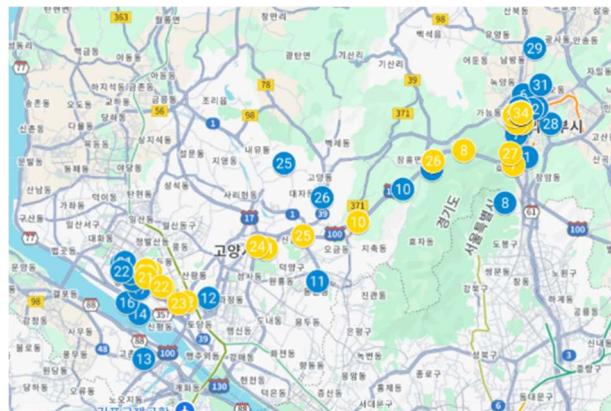


Fig. 2. Predicted and actual trajectories for an unseen route not included in the training data. Blue markers represent predicted GPS coordinates, and yellow markers denote actual observations.

Fig. 2는 사용자가 학습데이터에 없는 이동을 하는 경우에 대한 실험 수행 결과이다. 정상 경로와 달리, 새로운 경로에서는 예측 값이 실제 궤적과 일치하지 않는 양상이 나타났으며, 이는 단순한 위치 오차뿐 아니라 이동 방향 벡터에서도 차이가 확인되었다. 벡터 기반 분석 결과, 평균 Angle error는 약 72°로, 전체 구간의 절반 이상에서 실제 이동과 90° 이상의 방향 오차가 발생했다. 또한 실제 이동 거리의 평균은 1.78 km였으나, 예측 이동 거리 평균은 2.97 km로 더 길게 나타났다. 이는 모델이 정상적인 이동패턴과 달리, 방향성을 크게 벗어나며 불필요한 이동을 예측하는 현상이 발생했기 때문이다. 이러한 불일치는 비정상 이동을 탐지할 수 있는 중요한 근거가 된다.

4. 결론

본 연구의 목적은 신변보호자의 이동 패턴을 예측하고 평소와 다른 경로를 감지할 수 있는 알고리즘을 개발하는 데 있다. 제안한 방법은 일상적인 경로에서는 정상적인 추론 성능을 보였으나,

음영구역에서는 예측 오차가 크게 나타났으며 학습되지 않은 비정상 이동에서는 방향성 또한 일관되지 않게 나타났다. 이는 제안한 알고리즘이 이상치 탐지에는 효과적임을 보여주지만, 지하철과 같은 특수 환경에서의 한계가 존재하며 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 경찰청이 지원한 '사회적 약자 보호 강화 기술 개발(www.kipot.or.kr)'의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다 [과제명: 저전력 복합측위, 근접탐색 기술 기반 범죄피해 안전조치 대상자 위치추적 통합 관제 플랫폼 개발/과제번호: RS-2023-00236101].

REFERENCES

- Kim, H., Park, Y. W., Lee, J. M., & Han, M. K. 2022, Job experiences of police officers in charge of victim care on the "smart watch" scheme: A phenomenological research, Korean Journal of Criminology, 34, 99-136.
<https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002896013>