2D 지도 이미지를 사용한
트랜스포머 기반 위치 추정 기법

김현수, 손진우, 금인국, 심병효
서울대학교

{hskim, jinwooson, ikkeum}@islab.snu.ac.kr, bshim@snu.ac.kr

Transformer-based Localization Using Map Image

Hyunsoo Kim, Jinwoo Son, Inkook Keum, and Byonghyo Shim
Seoul National University

요 약

본 논문은 2D 지도 이미지를 활용하여 장애물의 레이아웃을 식별하는 트랜스포머 기반 단말위치 추정 기법을 제안한다. 트랜스포머(Transformer)는 입력과 출력간의 상관관계를 파악하여 입력의 중요한 부분에 집중(attention)할수 있는 최신 딥러닝 기법이다. 본 논문에서는 2D 이미지에서 트랜스포머를 이용하여 장애물을 식별하고, 이로부터 전파 특성을 파악하는 방식으로 단말의 정확한 위치를 추정 할 수 있다.

Ⅰ. 서 론

최근 vehicle-to-everything (V2X) 통신, 도심 공중 모빌리티 (UAM), 증강 현실 (XR)등 다양한 위치 기반 서비스(location-based services; LBSs)가 큰 주목을 받고 있다. 이러한 서비스들의 서비스 품질(QoS)를 충족시키려면 정확한 위치 파악이 중요하다. 정확하지 않으면 서비스 품질이 떨어지고, 심각한 결과(예를 들어, 차량 사고나 항공기 충돌)를 초래할 수 있다.

전통적으로 글로벌 항법 위성 시스템(GNSS) 같은 삼변 측량 기반의 위치 파악 방법들이 많이 사용되었다. 이 방법들에서는 대상 장치와 센서 노드 사이의 거리가 전송 신호의 도착 시간(ToA)이나 수신 신호 강도 지시기(RSSI)를 통해 측정된다. 그리고 측정된 거리와 센서 노드의 위치를 각각 반지름과 중심으로 사용하여 구의 교차점을 찾아 대상 장치의 위치를 추정한다. 삼변 측량 기반 기술의 잘 알려진 단점은 직선(line-of-sight; LoS) 경로가 막혔을 때 실제 거리와 측정된 거리 사이에 오차가 크다는 점이다. 예를 들어, 도시 비시야(non line-of-sight NLoS) 시나리오(예를 들면, 도심 지역이나 숲)에서 GPS 의 위치 오류는 몇십 미터에 달할 수 있다.

최근에는 NLoS 전파 환경에서 위치 파악 성능을 향상시키기 위한 여러 시도들이 있었다. 기존 기법들의 주요 아이디어는 전파 경로를 식별하기 위해 기하학적 채널 파라미터(예: 거리와 각도)를 활용하는 것이다. 구체적으로 식별된 경로들의 교차점(즉, 목표 위치)은 선형 추정기(예: 최소 제곱(least square; LS)이나 선형 최소 평균 제곱 오차(linear mininum mean square error; LMMSE)) 기법으로 얻어진다. 기존 기법들은 , 전파 경로들 사이의 직교성을 보장하기 위해 센서 노드와 대상 장치 사이에 충분하고 독특한 전파 경로가 있다고 가정한다. 하지만 고주파 대역(예: 밀리미터파와 THz 대역)을 사용하는 실제 6G 무선 시스템에서는 채널 경로가 몇 개밖에 없어서 경로들이 선형적으로 의존적이

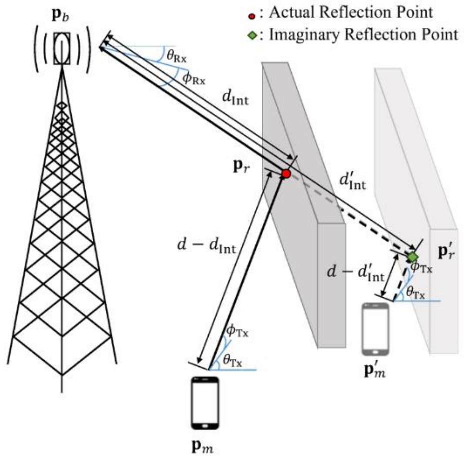

그림 1. NLoS 경로의 상황일 때 장애물의 미지의 배치로 인한 단말 위치의 불확실성

되며, 이는 기존의 위치 파악 기법들에 대해 상당한 위치 오류를 야기시킨다.

이 논문의 목표는 환경 인식을 적극적으로 활용하는 새로운 위치 파악 기술을 제안하는 것이다. 제안된 방식 Map Embedded Localization Transformer (MELT)의 주요 아이디어는 환경의 시각적 감지 정보를 도와 목표 위치를 추정하는 것이다. 우리의 주요 관찰은 대상 장치의 위치가 기하학적 채널 파라미터와 차단 기하학(예: 건물과 벽의 배치)에 의해 결정될 수 있다는 것이다. 환경 이미지와 채널 파라미터 사이의 기하학적 상관관계를 추출하기 위해, 최신 딥 뉴럴 네트워크(DNN), 트랜스포머를 사용한다.

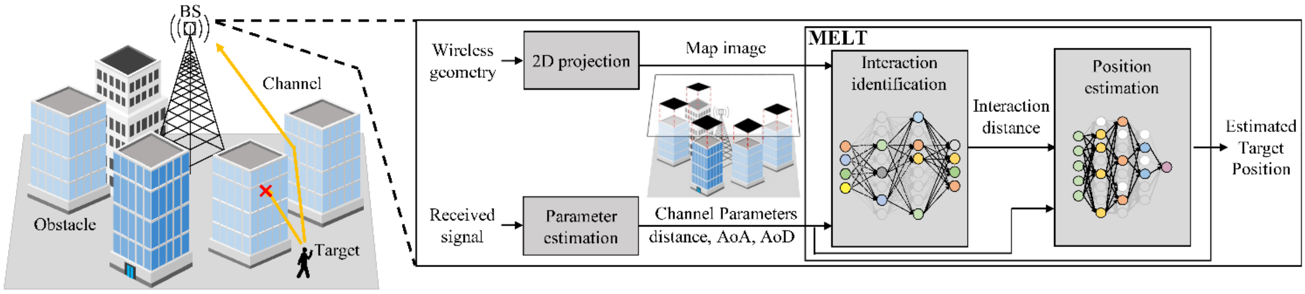

그림 2. 제안된 MELT 기법. 기지국은 무선 지오메트리와 수신된 신호를 사용하여 목표 위치를 추정

Ⅱ. 본론

MELT 의 주요 아이디어는 환경 정보를 활용하여 모바일 기기의 위치를 추정하는 것이다. 이를 위해, 우리는 전파 환경의 이미지에서 상호 작용 지점(우리의 경우, 반사 지점 및 신호 차단이 일어나는 영역)을 추출하는 트랜스포머 기반 DNN 을 활용한다. 제안하는 기법은 무선 신호의 전파 경로가 통신 환경의 구조적 배치(예: 건물과 벽의 배치)에 크게 의존한다는 사실을 이용하여 단말의 위치를 추정한다. MELT 에서 우리는 지도 이미지의 픽셀 사이의 공간적 상관관계를 추출한 다음 주의 메커니즘을 통해 전파 경로에 해당하는 픽셀에 더 높은 가중치를 할당한다. 구체적으로, MELT 는 모바일의 위치 $\hat{\mathbf{p}}_m$과 채널 파라미터 $\mathbf{g}$와 지도 이미지 $\mathbf{M}$의 조합 사이의 복잡한 매핑 f를 학습한다:

$$\hat{\mathbf{p}}_m = \mathrm{f}(\mathrm{p_b}, \mathrm{g}, \mathrm{M}; \Gamma),$$

여기서$\mathbf{p_b}$는 기지국 위치, $\mathbf{\Gamma}$ 는 네트워크 파라미터이다.

MELT 는 3 가지 과정 1) 입력 임베딩, 2) 상호 작용 식별, 3) 위치 추정으로 나뉘어져 있다. 입력 임베딩에서는 별개의 영역(이미지와 스칼라)에서 유래한 입력들을 결합하며, 지도 이미지 행렬 $\mathbf{M}$ 과 채널 파라미터 $\mathbf{g}$ 이 입력으로 사용된다. 두번째 상호 작용 식별에서는 트랜스포머를 이용하여 NloS 경로중에 정확한 반사 지점이 어디인지 파악한다. 그림 1.과 같이 NLoS 경로 방향과 거리를 알아도 반사지점을 알 수 없으면 정확한 단말의 위치를 파악할 수 없는 문제점을 해결하기 위한 과정이다. 세번째 단계인 위치 추정 단계에서는 상호 작용 식별 단계에서 얻은 특징 벡터를 입력으로 받아 정확한 단말의 위치를 출력으로 낸다.

Ⅲ. 결론

표 1 에서 MELT 와 다른 방식들의 평균 제곱근 오차(RMSE)를 요약했다. MELT 는 LS 기반 방법들 [4], [5]에 비해 우수한 위치 파악 성능을 보여준다. 구체적으로, MELT 는 [4]의 평균 (2.22,m, 55.86,m)와 [5]의 평균 (0.91,m, 29.50,m)에 비해 모든 사이트에서 LoS 및 NLoS 우세 채널에서 오차를 줄였다 (0.32,m, 0.77,m 평균). 또한, MELT 는 이미지 없는 MELT 보다 더 높은 위치 정확도를 보여주는데, 이는 MELT 가 지도이미지에서의 기하학적 특징을 추출하여 단말 위치 추정에 이용할 수 있었기 때문이다 (0.75,m, 1.41,m 평균).

TABLE I
THE RMSE OF MELT AND OTHER SCHEMES

	Environment 1		Environment 2		Environment 3	
	LoS	NLoS	LoS	NLoS	LoS	NLoS
MELT	0.29 m	0.79 m	0.37 m	0.68 m	0.31 m	0.85 m
w/o map	1.18 m	1.99 m	0.44 m	0.83 m	0.40 m	1.21 m
Wei [6]	1.80 m	51.98 m	2.23 m	59.05 m	2.55 m	57.22 m
Seow [7]	0.77 m	26.69 m	0.73 m	41.95 m	1.27 m	33.33 m

표 1. MELT 와 다른 방식들의 평균 제곱근 오차

본 논문에서는 통신 환경의 상단 뷰 지도 이미지를 사용한 트랜스포머 기반의 환경 인식 위치 추정 기술을 제안했다. 우리 접근법의 핵심 아이디어는 트랜스 포머의 주의 메커니즘을 활용하여 무선 지오메트리와 채널 파라미터 사이의 상관관계를 활용하는 것이다. 상관관계를 통해 MELT 는 단일 경로의 채널 파라미터로 모바일 위치를 정확하게 추정할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Lee, B. Lee, H. Yang, J. Kim, S. Kim, W. Shin, B. Shim, and H. V. Poor, “Towards 6G hyper-connectivity: Vision, challenges, and key enabling technologies,” Journal of Communications and Networks, vol. 25, pp. 344-354, June 2023.

[2] S. Al-Jazzar, M. Ghogho, and D. McLernon, “A joint TOA/AOA constrained minimization method for locating wireless devices in non-line-of-sight environment,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 58, no. 1, pp. 468-472, 2008.

[3] X. Wei, N. Palleit, and T. Weber, “AOD/AOA/TOA-based 3D positioning in NLOS multipath environments,” in 2011 IEEE 22nd Int. Symp. on Pers., Indoor Mobile Radio Commun., pp. 1289-1293, IEEE, 2011.

[4] C. K. Seow, and S. Y. Tan, “Non-line-of-sight localization in multipath environments,” IEEE Trans. Mob. Comput., vol. 7, no. 5, pp. 647-660, 2008.