

밀리미터파 하향링크 빔포밍을 위한 비전 기반 다중 사용자 그룹화 및 각도 추정

안혜민, 박현우, 김효원, 김선우

한양대학교 융합전자공학과

{ahm97, stark95, khw870511, remero}@hanyang.ac.kr

Vision-aided Multi-user Clustering and Angle Estimation for Downlink Beamforming in Millimeter Wave Systems

Hyemin Ahn, Hyunwoo Park, Hyowon Kim, and Sunwoo Kim

Department of Electronic Engineering, Hanyang University

요약

본 논문에서는 비전 정보를 활용한 다중 사용자 그룹화 및 각도 추정 알고리즘을 제안한다. 밀리미터파 하향링크 상황에서 기지국과 단말 사이의 beam training 과정이 필요하다. 하지만 기존의 수신신호 기반 beam training 방법은 사용자의 수가 늘어날수록 큰 오버헤드가 발생한다. 제안하는 알고리즘은 비전정보, YOLO(you only look once) 알고리즘을 이용하여 사용자를 인식하고 K -평균 그룹화를 통하여 다중 사용자를 그룹화하고, 그룹 중심(centroid) 좌표를 이용하여 방위각과 고각을 추정하는 순서로 구성된다. 기지국에서 보이는 사용자 그룹의 위치로 빔을 형성하기 때문에 beam training overhead를 줄일 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 성능을 평가한다.

I. 서론

밀리미터파 통신에서 기지국과 단말 사이에 최적의 송수신 링크를 형성하기 위한 beam training 과정이 필수적이다[1]. 기존의 순차적 beam training 방법은 수신신호를 기반으로 하기에 사용자의 수가 늘어날수록 더 큰 오버헤드가 발생한다는 단점을 가지고 있다[2]. 또한 기지국 커버리지 내에 사용자 수가 많은 경우 사용자들 간의 간섭 문제가 발생한다. 본 논문에서는 비전 정보를 활용, YOLO(you only look once)와 K -평균 그룹화 알고리즘을 이용하여 다중 사용자를 그룹화하고, 사용자 그룹의 각도를 추정하는 방법을 제안한다. 이후 기지국에서는 추정된 각도를 이용하여 사용자 그룹을 커버하는 빔을 형성 가능하다.

II. 비전 정보를 활용한 다중 사용자 그룹화 및 각도 추정 알고리즘

본 논문에서는 그림 1과 같이 기지국과 카메라는 같은 위치에 있고, 사용자들은 무작위하게 분포하는 상황을 고려한다[3]. N 개의 선형 배열 안테나(uniform linear array, ULA)를 사용하는 기지국과 단일 안테나를 사용하는 사용자 사이의 하향링크를 가정한다. 카메라가 받아들인 비전 정보를 이용하여 사용자의 각도를 추정하고 기지국은 각도 정보와 그룹 내 사용자 수를 이용하여 빔을 디자인한다.

카메라로 얻은 비전 정보에서 사용자를 인식하기 위해서 YOLO 알고리즘을 사용한다. YOLO는 대표적인 객체 탐지 알고리즘[4]으로, 이미지 전체의 특징을 활용하여 하나의 신경망이 bounding box와 클래스 확률을 예측한다. 기존의 객체 인식 알고리즘보다 빠르고 정확하다는 장점이 있다. 이 알고리즘으로 사용자를 “person”으로 인식하고, bounding box의 중심 좌표 값을 찾을 수 있다. 좌표 값은 이미지의 픽셀 값을 의미한다.

K -평균 그룹화는 데이터를 K 개의 그룹으로 묶는 알고리즘이다. 이 때 K 는 기지국에서 동시에 보낼 수 있는 빔의 수와 같기 때문에 RF(radio frequency) chain의 수가 결정된다. K -평균 그룹화는 비지도학습의 한 종류로, 최소화하려는 목표함수가 존재한다. 목표 함수 J 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

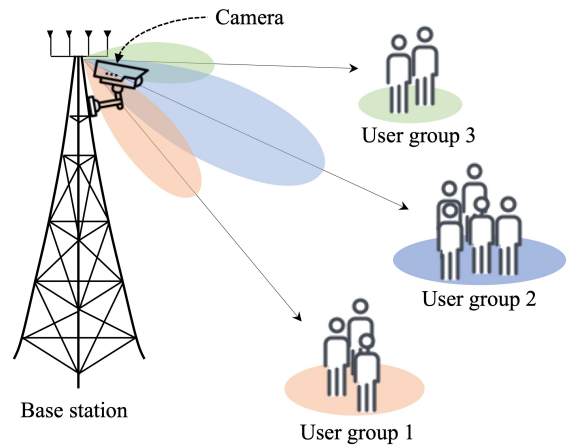


그림 1. 비전 정보로 추정된 각도를 이용하여 사용자 그룹으로 빔포밍 하는 상황을 가정한 모식도

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K r_{nk} \| \mathbf{x}_n - \boldsymbol{\mu}_k \|^2, \quad (1)$$

여기서 $\boldsymbol{\mu}_k$ 는 k 번째 그룹의 중심(centroid), \mathbf{x}_n 는 YOLO 알고리즘에서 얻은 n 번째 사용자 bounding box의 중심 좌표를 의미한다. r_{nk} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{nk} = \begin{cases} 1, & \text{if } \mathbf{x}_n \in \text{Group } k \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

목표 함수 J 를 최소화하는 $\{r_{nk}\}, \{\boldsymbol{\mu}_k\}$ 값을 찾기 위해서 데이터 포인트들을 그룹 중심들 중 가장 가까운 것에 할당하고, 그룹의 평균을 계산하여 $\boldsymbol{\mu}_k$ 를 업데이트 하는 과정을 반복한다. 결과적으로 데이터를 K 개의 그룹으로 나누고, 최종 클러스터의 중심 좌표 $[x_k, y_k], k=1,2,\dots,K$ 를 얻을 수 있다.

이미지의 가로, 세로 픽셀 값 (W, H), 사용자 그룹의 중심 좌표, 그리고 시야각(field of view, FOV) (수평×수직)을 이용하여 기지국과 사용자 그룹간의 각도를 추정할 수 있다. 이미지에 나타난 사용자는 카메라의 시야각 내에 있다는 것을 의미한다. 따라서 픽셀 값과 시야각을 이용하여 각도를

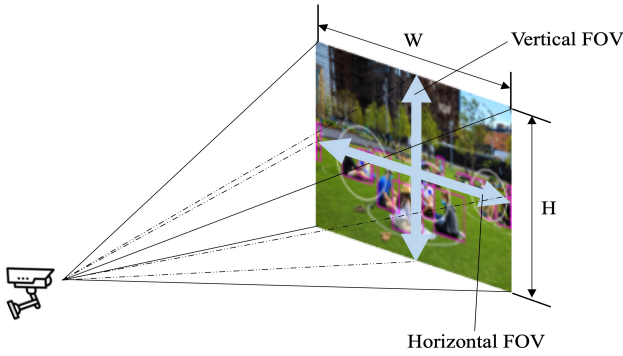


그림 2. 비전 정보와 FOV를 이용하여 사용자 각도를 추정하는 방법

추정할 수 있다. 이미지의 중심을 기준으로 사용자가 오른쪽으로 멀어질수록 각도는 양의 값을 가지며 크기는 커지고, 왼쪽으로 멀어질수록 음의 값을 가지며 크기는 커진다.

x 축 픽셀 값을 이용하여 추정된 방위각(azimuth) $\theta_{k,est}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{k,est} = \left(x_k - \frac{W}{2} \right) \frac{\alpha}{W}, \quad (3)$$

여기서 α 는 수평 시야각이며, $\theta_{k,est}$ 는 $\left[-\frac{\alpha}{2}, \frac{\alpha}{2} \right]$ 내에 위치한다. 같은 원리로 고각(elevation) $\phi_{k,est}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_{k,est} = \left(y_k - \frac{H}{2} \right) \frac{\beta}{H} \quad \left(-\frac{\beta}{2} \leq \phi_{k,est} \leq \frac{\beta}{2} \right). \quad (4)$$

III. 시뮬레이션 환경 및 결과

제안한 알고리즘을 다중 사용자가 있는 이미지에 적용하여 성능을 살펴본다. RF chain의 개수를 3개라고 가정하였다. 이외의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

기지국에 함께 위치한 카메라를 사용하여 비전 정보를 얻고, 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그림 3은 제안한 알고리즘을 비전 정보에 적용한 결과를 나타낸다. 이미지 상에 실제로는 20명 이상의 사용자가 있지만 YOLO는 15명의 사용자를 인식했다. 카메라 근처에 있는 사용자에 대해서는 높은 인식률을 보이는 것을 확인할 수 있다. 15개의 bounding box 중심좌표는 K -평균 그룹화의 입력 데이터로 사용한다.

사용자들은 RF chain 수와 같은 값인 3개로 그룹화가 된다. 각 그룹에 5명의 사용자가 그룹화 되었음을 확인했다. 그림 3에 표시된 3개의 파란 점은 K -평균 그룹화 결과로 얻어진 그룹 중심이다. 각 그룹에 속해있는 사용자들의 분포를 알아보기 위해 표준편차를 구하고, 이를 그룹화의 반지름으로 사용한다.

그룹 중심 좌표, 이미지 픽셀 값과 시야각을 이용해서 기지국과 사용자 그룹 사이의 각도를 추정한다. 카메라의 수평 시야각이 70° 이기에 추정된 방위각은 -35° 부터 35° 까지 표현 가능하다. 왼쪽부터 그룹 1, 그룹 2, 그룹 3이라고 했을 때 그룹 1은 -18.75° , 그룹 2는 5.14° , 그룹 3은 25.97° 의 각도에 위치한다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
W, H	640, 480
FOV(수평×수직)	$70^\circ \times 42^\circ$
K	3



그림 3. 다중 사용자 인식 및 그룹화 시뮬레이션 결과

IV. 결 론

본 논문에서는 비전 정보를 이용하여 다중 사용자를 그룹화하고, 그룹의 각도를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 빔 형성에서 사용자의 위치를 알고 있다면 빔 스위핑 등의 빔 관리 과정이 불필요하기 때문에 beam training overhead를 줄일 수 있다. 기지국에서 사용자의 위치를 직관적으로 추정하기 위해서는 비전 정보를 사용하는 것이 유리하다. 시뮬레이션을 통해 이미지와 K -평균 그룹화를 통해 다중 사용자가 그룹으로 나누어졌음을 확인하였다. 또한 사용자 그룹의 좌표를 이용하여 각도를 추정한다. 추정된 각도는 이후에 사용자 그룹을 커버하는 빔 디자인에 사용 가능하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2018-0-01659, 5G NR 기반 지능형 오픈 스몰셀 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] W. Roh *et al.*, "Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, pp. 106-113, Feb. 2014.
- [2] R. W. Heath *et al.*, "An overview of signal processing techniques for millimeter wave MIMO systems," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 10, no. 3, pp. 436-453, April 2016.
- [3] M. Alrabeiah *et al.*, "Millimeter wave base stations with cameras: vision-aided beam and blockage prediction," in *Proc. IEEE 91st Veh. Tech. Conf.(VTC)*, pp. 1-5, May 2020.
- [4] J. Redmon *et al.*, "You only look once: unified, real-time object detection," *IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 779-788, Jun. 2016.
- [5] N. Garcia *et al.*, "Optimal precoders for tracking the AoD and AoA of mmWave path," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 66, pp. 5718-5729, Nov. 2018.