

지능형 반사평면 통신을 위한 효율적인 채널추정 기법

김승년, 심병호

뉴미디어통신공동연구소, 서울대학교

snkim@islab.snu.ac.kr, bshim@islab.snu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 지능형 반사평면 통신의 파일럿 오버헤드를 줄이기 위한 효율적인 채널추정 기법을 제안한다.

I. 서론

근래 시스템의 용량(capacity) 증가를 위해 intelligent reflecting surface (IRS)를 사용하는 IRS-aided 통신이 많은 주목을 받고 있다. 이론적으로 IRS 기술은 통신 환경을 지능적으로 제어하여 경로이득이 높은 새로운 전파경로를 생성하기 때문에 송수신기 사이의 direct communication 이 어려운 경우에도 높은 capacity 를 달성할 수 있다. 데이터 전송률을 극대화하는 최적의 IRS 위상변이를 찾기 위해서는 기지국과 IRS 반사평면, 그리고 단말 사이의 back-scattering 채널 정보가 필수적이다 [1].

본 논문에서는 한정된 sample 반사소자들에 대하여 채널을 추정하고 이를 통해 전체 IRS 반사평면의 back-scattering 채널을 복원하는 기법을 제안한다. IRS 반사평면에는 planar array 가 사용되므로 전체 back-scattering 채널은 행렬로 나타나게 되고 최종적으로 IRS back-scattering 채널 추정 문제는 행렬의 일부분 정보로부터 전체 행렬을 복원하는 행렬복원(matrix-completion) 문제로 표현된다. 일반적으로 행렬의 일부 원소가 알려지지 않았을 때에 그 원소들을 알아내는 것은 불가능하지만, 행렬의 rank 가 낮은 경우 행렬완성 기법을 통해서 일부 정보만으로도 전체 행렬을 완벽하게 복원해 낼 수 있다. mmWave 채널은 높은 경로 감쇠와 강한 직진성 때문에 적은 수의 dominant multi-path 들을 가진다. 따라서 back-scattering 채널 행렬은 랭크가 낮은 특성을 가지며 행렬완성 기법을 사용하여 일부 샘플 채널 원소를 통해 전체 IRS back-scattering 채널 행렬을 복원할 수 있다.

II. 본론

본 논문에서는 M 개의 송신안테나를 가지는 기지국이 N 개의 반사소자를 가진 IRS 의 도움을 받아 단일 안테나를 가지는 단말을 지원하는 IRS 통신시스템을 가정한다. 이 때, 기지국과 IRS 사이의 채널은 \mathbf{G} 로 나타내며 IRS 와 단말 사이의 채널은 \mathbf{h}_r , 그리고 기지국과 단말 사이의 채널은 \mathbf{h}_d 로 나타낸다. 이에 따라 기지국과 단말 사이의 합성채널은 아래와 같이 나타난다.

$$\mathbf{H} = \mathbf{G} \text{diag}(\mathbf{h}_r)$$

그러나 합성채널 \mathbf{H} 는 기지국 송신안테나 수와 IRS 반사소자의 개수에 비례하는 차원을 가지기 때문에

합성채널 \mathbf{H} 를 추정하기 위해 매우 많은 수의 파일럿 자원이 필요하다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 밀리미터파의 회소전파특성을 사용한다. 일반적으로 L 개의 전파경로를 가지는 IRS 통신에서 합성채널 \mathbf{H} 는 $\text{rank}(\mathbf{H}) = L$ 인 특성을 가지며 밀리미터파의 회소전파특성 때문에 P 는 매우 적다. 이러한 특성에 기반하여 일부 샘플 채널정보로부터 전체 합성채널 \mathbf{H} 를 복원하기 위한 행렬완성 문제는 아래와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \min_{\{\mathbf{H}\}} & \|\mathbf{H} - \bar{\mathbf{H}}\|_2 \\ \text{s.t.} & \text{rank}(\mathbf{H}) = L \\ & P(\mathbf{H}) = P(\bar{\mathbf{H}}) \end{aligned}$$

이때 $\bar{\mathbf{H}}$ 는 관측된 샘플행렬이고 P 는 샘플행렬의 원소들에 대한 projection operator 이다. 이러한 행렬완성문제는 리만곡면 최적화 기법을 통해 해결할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 IRS 통신의 채널추정 과정에서 발생하는 파일럿 오버헤드를 줄이기 위한 효율적인 채널추정 기법을 제안하였다. 제안하는 기법의 핵심은 밀리미터파의 회소전파특성을 활용하여 관측된 샘플행렬로부터 전체 행렬을 행렬완성기법을 통해 복원하는 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2017-0-01637*)

참 고 문 헌

- [1] Q. Wu and R. Zhang, "Towards smart and reconfigurable environment: Intelligent reflecting surface aided wireless network," IEEE Commun. Mag., vol. 58, no. 1, pp. 106-112, 2019.