**Sum-Throughput Maximization in NOMA-Based WPCN: A Cluster-Specific Beamforming Approach**

[**https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9316713**](https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9316713)

**0. User Clustering in NOMA**

|  |
| --- |
| NOMA decoding에는 다음과 같은 몇 가지 issue가 있다.   * NOMA에서는 사용자가 많아질수록 **SIC의 decoding complexity와 implementation complexity**가 증가한다. * **Error Propagation**도 issue이다.   따라서 **BS에 의해 serve되는 사용자의 수가 많을수록, error propagation이 발생할 확률도 커진다.** |

**1. Motivation and Contribution**

|  |
| --- |
| WPCN은 doubly near-far problem을 가지고 있으며, 이것은 user unfairness를 유발한다.   * **Channel harvest가 낮은 사용자들**은 그렇지 않은 채널의 사용자보다 **DL-WET에서 에너지를 적게 가지고, UL-WIT에서 에너지가 많이 필요**하다.   여기서는 **cluster-specific beamforming을 이용하는 NOMA transmission에 기반한 WPCN 시스템**을 생각해 보고, **네트워크의 sum-throughput을 최대화**하는 것을 목표로 한다.   * Cluster-specific beamforming과 resource들을 sum-throughput 최대화를 위해 joint하게 최적화하는 것은 어려우므로, **beamforming을 먼저 설계**하고, 그 다음에 **DL energy beamforming과 같은 resource를 설계**한다.   이 논문은 다음에 기여할 수 있다.   * HAP과 여러 명의 사용자를 포함한 WPCN을 고려하며, 각각은 여러 개의 안테나를 갖는다. **Signal alignment를 포함한 cluster-specific beamforming**을 이용한다. * 각 cluster의 beamforming을 받는 사용자의 수는 **WPCN의 다양한 configuration을 지원할 수 있도록 일반화**된다. * **Beamforming 설계와 sum throughput maximization을 위한 새로운 알고리즘**을 도입한다. |

**2. System Model**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| HAP와 LM 사용자를 포함한 위 그림과 같은 네트워크를 고려한다.   * HAP은 **W개의 transmit 안테나와 M개의 receive 안테나**를 갖고, **모든 사용자는 N개의 안테나**를 갖는다. * 사용자는 재충전할 수 있는 배터리를 가지고 있고, 외부 power source를 가지고 있지 않다. 따라서 **HAP이 전송한 signal로부터 harvest된 에너지만을 이용**한다고 가정한다. * LM user들은 **L개의 group**으로 나뉘며, 각 그룹은 M명의 사용자를 포함한다.   + 각 그룹은 Group 로 나타낼 수 있다.   + 각 사용자는 로 나타낼 수 있다.   + HAP와 사이의 channel은 다음과 같이 정의된다.     - for the **downlink**     - for the **uplink**     - 과 의 entry들은 **서로 독립적이고 identical하게 distribute된 연속된 random variable**이라고 가정한다. * Harvest-then-transmit 프로토콜에 따르면, total transmission time T는 다음과 같이 나누어진다. - * 단순성을 위해 unit transmission time (T=1)을 가정한다.  |  |  | | --- | --- | | During  HAP은 energy signal을 전송 | 의 received signal 은 다음과 같다.  **각 user는 에너지를 harvest**하고, 그 양은 다음과 같다. | | During  각 user는 information을 전송 | **HAP**의 received signal 은 다음과 같다.  이때 **은 다음을 만족시켜야 한다.**  **Signal alignment에 대한 조건**은 다음과 같이 주어진다.  즉, 에 의해 span되는 subspace는 서로 간에 identical해야 한다. | |

**2. System Model (Cont.)**

|  |
| --- |
| Zero-forcing (ZF) matrix 은 수신된 signal을 M개의 서로 독립적인 stream으로 나누기 위해 적용된다. **따라서 은 다음을 만족시켜야 한다.**  이들 stream 중 **m-th stream은 다음과 같이 표현**할 수 있다.  여기서 m-th NOMA cluster에서는 **m-th stream의 각 사용자 의 메시지들은 SIC을 이용하여 디코딩**된다.   * 디코딩 순서는 **user fairness에 대한 채널 상태에 대한 역순**이다. 그렇지 않으면 채널 상태가 좋지 않은 사용자는 매우 낮은 throughput을 달성하게 된다.   ZF matrix에서 **가 정규화**된다고 할 때, **에 대한 SINR**은 다음과 같이 주어진다.  이때 **의 throughput**은 다음과 같이 주어진다.  따라서 **Sum-throughput**은 다음과 같이 주어진다. |
|  |

**3. Optimal Beamforming And Resource Allocation – Beamforming Design**

|  |
| --- |
| 여기서는 signal alignment를 위한 **UL-WIT의 beamforming vector을 설계**하고, **align된 signal의 SNR을 최대화하기 위한 최적화**를 한다.  Beamforming vector 은 **outer precoding matrix 과 inner precoding vector** 을 포함한다. 즉 이다.   * 여기서 outer precoding인 **은 cluster에 있는 사용자들을 같은 direction**으로 정렬한다. * 정렬된 **signal들의 SNR**은 inner precoding인 **과 ZF matrix, 의 joint design**에 의해 최대화된다. * 과 의 크기는 각각 이다. 그 이유는 은 로부터 설계되었기 때문이다. 이것은 다음과 같이 쓸 수 있다. * 따라서 의 크기는 이며, 는 **의 영공간(null space)**으로부터 생성된다. * 또한, 여기서 **을 서로 같은 direction**에 놓아야 하고 이것들은  **dimension**을 차지하므로, 이어야 한다.   또한 System Model에서 이라고 했으므로, 이것은 다음과 같이 쓸 수 있다.  여기서 이라고 했으므로, 을 이용하여다음과 같이 쓸 수 있다.  **Cluster-specific beamforming**의 설계 알고리즘은 다음과 같다. |

**4. Optimal Beamforming And Resource Allocation – Sum-throughput Maximization**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sum-throughput maximization problem**은 다음과 같이 정의된다.   |  | | --- | | **(P1):** |  |  |  | | --- | --- | | (17a) | **sum-throughput** | | (17b) | DL-WET과 UL-WIT의 **제약 조건** | | (17c) | **power의 non-negativity** | | (17d) | UL-WIT 동안에 사용된 에너지가 **DL-WET에서 harvest된 에너지를 초과할 수 없다**. | | (17e) | DL-WET 동안의 **HAP의 최대 transmit power** | | (17f) | **SINR threshold constraint** |   이것을 변형하면 다음과 같아진다.   |  | | --- | |  |   이 문제에 대한 **Optimal Solution**은 다음과 같다.   |  | | --- | |  |   이것을 해결하기 위한 알고리즘은 다음과 같다. |

**5. Simulation Results**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| WPCN에서 SINR threshold 에 따른 **(L, M, N, W) = (2, , 5, 3)** where  **for 4, 6, 8, 10 users**의 **Sum-throughput** | WPCN에서 SINR threshold 에 따른 **(L, M, N, W) = (2,6,4,3), (3,4,4,3), (4,3,4,3) and (6,2,4,3)**일 때의 **Sum-throughput** |
|  |  |
| WPCN에서 SINR threshold 에 따른 **(L, M, N, W) = (2, 4, 4, 3)** (cluster-specific beamforming에 대한 최적화 없음) | WPCN에서 **(L, M, N, W) = (2, 4, 3, 1)**일 때 **SIC error 전파율에 따른 Sum-throughput** |
|  |  |
| **Various QoS threshold**를 적용한 **(L, M, N, W) = (2, 2, 2, 2)**인 WPCN에서 Sum-throughput과 Jain’s fairness index | WPCN에서 제안된 scheme과 최적화 클러스터링이 적용된 scheme의 Sum-throughput의 차이 **(L, M, N, W) = (2, , 3, 2)** where  **for 4, 6, 8 users** |