**Robust Beamforming Design and Time Allocation for IRS-assisted Wireless Powered Communication Networks**

[**https://arxiv.org/pdf/2105.06226.pdf**](https://arxiv.org/pdf/2105.06226.pdf)

1. **SYSTEM MODEL**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 다음 그림과 같은 **IoT 네트워크에서의 IRS-assisted WPCN**을 도입한다.   * **IRS: intelligent reflecting surface**   이 시스템의 구성은 다음과 같다.   * **N개의 antenna**가 있는 HAP (Hybrid Access Point) * 건물에 배치된 **M개의 reflection element**가 있는 IRS * 1개의 antenna가 있는 **K명의 사용자** (또는 **K개의 IoT device**)   WPCN에서는 HAP이 downlink를 통해 에너지를 전송하고, 사용자는 HAP로부터 수신한 에너지를 이용하여 uplink를 통해 정보를 전송한다.   * HAP의 antenna와 IRS의 배열은 **uniform linear array (ULA)**에 분포되어 있다.  |  |  | | --- | --- | |  | **Downlink**에 있는 IRS의 **energy reflection coefficient matrix** | |  | **Uplink**에 있는 IRS의 **information reflection coefficient matrix** |   여기서 다음 조건을 만족시킨다.   * 매우 큰 path loss 때문에 IRS에 의해 2번 이상 반사된 신호는 ignore될 수 있으므로, 이라고 한다. * **IRS의 phase shift는 HAP에 의해 계산**되고, 피드백 채널을 통해 IRS controller에 의해 전송된다고 하자. |

1. **SYSTEM MODEL (Cont.)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Downlink WET과 Uplink WIT에서는 각각 다음과 같다.   |  |  | | --- | --- | | Downlink WET | **HAP**로부터 **IRS**로의 channel gain :  **IRS**로부터 **k번째 user**로의 channel gain :  **HAP**으로부터 **k번째 user**로의 channel gain : | | Uplink WIT | **IRS**로부터 **HAP**로의 channel gain :  **k번째 user**로부터 **IRS**로의 channel gain :  **k번째 user**로부터 **HAP**로의 channel gain : |  * Channel은 **direct channel (HAP-user channel)과 cascaded channel (HAP-IRS-user channel)**로 각각 구성되어 있다. * 모든 채널이 quasi-static flat fading하다, 즉 각각의 transmission time duration **T, , , 가 모두 constant**라고 가정한다.   HAP과 user 사이의 채널이 blocked될 수 있지만, wireless channel은 scattering이 많이 발생하므로 **HAP과 user 사이의 채널은 Rayleigh fading으로 모델링**될 수 있다. 이것은 으로 표현할 수 있다.   * 의 **각 element가 서로 독립이고 identical하게 분포**되어 있다고 가정한다. (CSCG random variable with mean=0 and unit variance) * 따라서 **HAP과 user 사이의 channel gain**은 다음과 같다.   여기서 은 reference distance 에서의 path loss이고, 는 HAP과 k번째 user 사이의 거리이다.  또한 HAP과 IRS 사이의 채널과 IRS와 user 사이의 채널은 **line-of-sight (LoS) component**를 가지며, 따라서 **Rician channel로 모델링**할 수 있고, 이것은 다음과 같이 나타낸다.  여기서 각 변수는 다음을 나타낸다.   |  |  | | --- | --- | |  | 대응되는 채널의 **Rice Factor** | | , | 대응되는 채널의 **LoS (line-of-sight) component** | | , | 대응되는 채널의 **NLoS (non-line-of-sight) component** | |

1. **SYSTEM MODEL (Cont.)**

|  |
| --- |
| LoS component는 **ULA의 array response**로 나타낼 수 있는데, 이때 ULA (uniform linear array)는 다음과 같다.  여기서 는 signal의 angle of arrival (AoA) 또는 angle of departure (AoD)를 나타낸다. 또한 d는 연속되는 antenna element 간의 spacing을 나타내며, 는 carrier wavelength를 나타낸다.  따라서 LoS component **,** 는 다음과 같이 주어진다.  여기서 는 IRS에서 AoA로부터 ULA로를, 는 HAP에서 ULA로부터의 AoD를, 는 IRS에서 ULA로부터의 AoD를 각각 나타낸다.  따라서 **HAP와 IRS 사이의 channel gain**은 다음과 같이 나타낼 수 있다.  또한 **IRS와 k번째 user 사이의 channel gain**은 다음과 같다.  여기서 은 HAP과 IRS 사이의 거리를, 는 IRS와 k번째 user 사이의 거리를 각각 나타낸다. 또한, 와 o는 각각 HAP-IRS와 IRS-k번째 user 사이의 path loss exponent를 나타낸다.    여기서는 모든 user가 traditional energy supply를 가지고 있지 않으므로, **HAP transmission signal (Downlink)로부터** 에너지를 얻어야 한다.   * **위 그림과 같은 “harvest-then-transmit” 프로토콜**을 사용한다. |

1. **COMPUTATION OF HARVESTED ENERGY**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **k번째 user가 얻을 수 있는 에너지**는 다음과 같이 나타낼 수 있다.  여기서 각각은 다음을 의미한다.   |  |  | | --- | --- | |  | DL phase에서의 time duration | |  | k번째 user의 **Downlink에서의 received power**   * : k번째 user가 수신하는 energy signal * : * : * : 번째 energy beam, | |  | k번째 user의 **harvested power**   * : k번째 user가 harvest할 수 있는 최대 power * : 특정한 circuit specification과 관련된 파라미터 |   여기서 k번째 user의 **DL channel covariance matrix**를 라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.  또한 Uplink에서 k번째 user는 **DL phase에서 energy harvesting을 한 다음 HAP으로 information을 전송**한다. 이때의 transmission signal은 다음과 같다.  여기서 는 k번째 user에 의해 전송된 information signal을 나타낸다. 이때 이다. 또한 는 k번째 user의 transmit power를 나타낸다.  여기서 **k번째 user의 energy harvesting constraint**에 따라 다음과 같다. |

1. **COMPUTATION OF HARVESTED ENERGY (Cont.)**

|  |
| --- |
| 또한 **k번째 user가 얻을 수 있는 에너지** 와, **HAP에 의해 decode된 k번째 user의 information signal의 SINR** 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.   * : 대응되는 HAP-user 채널과 HAP-IRS-user 채널의 total channel estimation error matrix **()** * : k번째 user의 **transmit power** * : information signal 을 디코딩하기 위한 **beamforming vector** * : k번째 user의 **UL channel covariance matrix** |

1. **PROBLEM 1: MINIMIZE THE TRANSMISSION ENERGY OF THE HAP**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **HAP의 transmission energy를 minimize**하는 최적화 문제는 다음과 같이 정의된다.  여기서 각각이 의미하는 바는 다음과 같다.   |  |  | | --- | --- | | (28b) | **Time** allocation constraint | | (28c) | DL phase의 HAP에서의 maximum **transmit power** constraint | | (28d) | Error matrix가 를 만족시킬 때, **k번째 user의 UL에서의 energy constraint가 hold**된다. | | (28e) | Error matrix가 를 만족시킬 때, **k번째 user의 SINR constraint가 만족되어야 한다.** | | (28f), (28g) | 각각 DL과 UL에 있는 IRS의 **reflection coefficient**에 대한 constraint | |