**Trajectory design and resource allocation for UAV energy minimization in a rotary-wing UAV-enabled WPCN**

[**https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820306098**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820306098)

**0. SYSTEM MODEL**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Rorary-wing UAV-enabled WPCN**을 이용한다. 이때 **K명의 terrestrial user가 UAV를 이용하여 통신**한다.   * 각 user k의 위치는 3D Cartesian coordinate에서 로 고정된다.  |  |  | | --- | --- | | Downlink | Energy storage가 없는 각각의 **terrestrial user** 는 **wireless power transfer (WPT)**를 통해 rotary-wing UAV로부터 에너지를 얻는다. | | Uplink | User k는 harvest된 에너지를 이용하여 UAV에 information을 전송한다. |  * UAV의 flight trajectory는 유동적으로 변화하지만, horizontal position은 로 나타낼 수 있다. * 표현을 쉽게 하기 위해서 **를 N개의 time slot**으로 나누고, 각각의 time slot length는 매우 작게 한다.   + 이때 은 각 time slot의 duration을 의미한다. 이것은 **특정한 값이 아니고, variable로 간주되어 최적화되어야** 한다.   + 서로 다른 time slot에서의 Uplink/downlink 통신을 고려할 때, 은 **K+1개의 subslot**으로 나뉜다.     - 은 UAV가 **n-th time slot의 terrestrial user에게 charge**해 주는 small time duration을 의미한다.     - 는 **user k로부터 UAV로 정보가 전달**되는 small time duration이다.   각각의 time slot **n**에서 각 subslot의 합은 time duration 을 초과할 수 없다. 즉  이와 비슷하게 **UAV path를 N-1개의 충분히 작은 segment로 나누며**, 이것은 N개의 waypoint로 표현된다. 즉 다음과 같다.  **Time slot n에서 User k와 UAV 사이의 거리**는 다음과 같이 나타낼 수 있다. |

**0. SYSTEM MODEL**

|  |
| --- |
| **Line-of-sight (LoS) link**가 UAV-enabled WPCN system의 uplink, downlink communication channel에서 고려된다고 하면, LoS link의 특성상 다음과 같이 **user k와 UAV의 communication channel의 power gain**을 모델링할 수 있다.   * 여기서 은 reference distance가 1m일 때의 reference channel power이다.   또한 Shannon theorem and channel gain에 따르면 **user k에서 UAV로의 uplink의 달성 가능한 information rate**를 다음과 같이 계산할 수 있다.   * 여기서 는 k-th user의 transmit power, **B**는 channel bandwidth, 는 noise power, 는 signal-to-noise ratio (SNR) 를 의미한다.   **User k의 N번째 time slot까지의 uplink 정보량**의 합은 다음과 같다.  **subslot**에서 모든 user는 **UAV로부터 broadcast되는 wireless energy signal을 동시에 harvest**하고, 이것을 linear conversion efficiency로 energy로 변환할 수 있다. **k-th user의 n-th time slot에서의 harvested energy**는 다음과 같이 계산된다.   * 여기서 은 UAV의 transmit power에 대한 behalf이며, **n-th time slot에 terrestrial user들을 charge**할 수 있다.   각 time slot에서 **각 user의 uplink data transmission에서의 에너지 소비는 harvested energy보다 클 수 없으므로**, 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.  한편, rotary-wing UAV에서의 **power consumption function (with speed V)**은 다음과 같다. |

**0. SYSTEM MODEL**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Rotary-wing UAV의 전체 에너지 소비량은 **(communication energy) + (propulsion energy)**이다. 이것은 각각 다음과 같이 계산한다.   |  |  | | --- | --- | | Communication energy |  | | Propulsion energy |  |   **따라서 total energy consumption은 다음과 같다.**   |  | | --- | | 여기서 는 **n번째 time slot**에서의 rotary-wing UAV의 line segment의 flight length를 의미한다. | |

**1. PROBLEMS**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **(P1): UAV energy minimization problem**   |  |  | | --- | --- | |  | (10b): minimum throughput requirement  (10c): flight distance constraint  (10d): rotary-wing UAV flies back to start point  (10f): max transmit power constraint |   이 문제로부터 (P1)의 objective function은 **rotary-wing UAV의 에너지 소비량의 합에 대한 minimization function**임을 알 수 있다.   * 여기에서 **constraint (1)과 (10c)~(10f)가 모두 convex**하지만, **(10b)와 (7)에 의해 이 문제는 non-convex**하다.   따라서 이 문제를 다음과 같이 convex optimization problem으로 변환시킬 수 있다. |

**1. PROBLEMS**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **(P1.1)**   |  |  | | --- | --- | |  | (17c) (17e) (17f) <- (12) (15) (16)  Combination of (17b) and (17c) <- (10a)  Combination of (17d) and (17e) <- (7)  (17f) <- lower boundary of the objective function  (17h) <- (10f) (13)  **(17b)-(17f)가 non-convex constraint이므로 (P1.1)은 non-convex이다.** |   **(P1.2)**   |  |  | | --- | --- | |  | (P1.2)는 objective function의 convex disposal에 의하면 convex optimization problem으로 확인된다. **따라서 (P1.2)는 standard convex를 적용하여 해결할 수 있다.** |   전체 알고리즘 **Algorithm 1**은 다음과 같으며, time complexity는 이다. |

**2. SIMULATION**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 4가지의 서로 다른 설계에 따른 UAV의 에너지 소비량 | 3가지의 서로 다른 throughput requirement에 따른 최적 trajectory |
|  |  |
| UAV 및 사용자의 에너지 및 정보 전송 스케줄링 | 전체 harvested energy와 에너지 소비의 causality |
|  |  |
| UAV의 transmit power의 변화 vs. 최적의 과 fix된 에서의 time | 3가지의 서로 다른 throughput requirement에 따른 Algorithm 1의 convergence |