**Weighted Harvest-Then-Transmit: UAV-Enabled Wireless Powered Communication Networks**

**Available online at** [**https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8540379**](https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8540379)

|  |
| --- |
| **1. SYSTEM MODEL** |
| UAV-enabled WPCN은 **1개의 HAP, 1개의 UAV, 그리고** 로 구성되어 있다.   |  |  | | --- | --- | | HGN | HAP에 대한 **channel power gain**이 크다. | | LGN | HAP에 대한 **channel power gain이 작기** 때문에 Doubly-near-far problem에 의해 문제가 발생한다.  **(개수: )** |   HAP과 HGN 간의 **DL과 UL channel**이 각각 **complex random variable ,** 이라고 가정한다.   * 이때 **DL, UL channel이 quasi-static flat-fading**하다고 가정하므로, **HAP과 node i 간**의 **DL channel power gain**과 이에 대응되는 **reversed UL channel power gain**은 각각 다음과 같다.   이때 과 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.   * 마찬가지로 **UAV와 LGN에 대해서도 complex random variable**을 가정하면 (이것을 각각 **,** 라고 하면 이다.)   HAP과 UAV에서의 DL and UL channel power gain이 서로 같다고 하면, 즉 **이면서** 이라고 하면, **HAP과 UAV에서의 DL과 HL의 channel power gain**은 각각 로 나타낼 수 있다.   * 이때 **block time T**에서 **은 constant**이지만 다른 블럭에서는 가 다를 수 있다. (이때 **HAP은 를 완벽히 안다**고 가정) |

**[NEXT PAGE]**

**[PREVIOUS PAGE]**

|  |
| --- |
| **1. SYSTEM MODEL** |
| 이때 UAV-enabled WPCN에서의 **weighted harvest-then-transmit 프로토콜**을 그림으로 나타내면 오른쪽과 같다. |

|  |
| --- |
| **2. BLOCK STRUCTURE IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| **WHT 프로토콜의 block**은 다음과 같은 정보를 포함하고 있다.   * **: state information (SI) transmission period / : DL period / : UL period**   이때 다음과 같다.  HAP이 UAV와 모든 node들에 **decision 정보를 알리기 위하여 command를 전송**하므로 다음과 같다.  이때 이 값은 무시할 만큼 작으므로 이라고 해도 된다.  DL period에서 HAP과 UAV는 다음의 역할을 수행한다.   |  |  |  | | --- | --- | --- | | DL period | performs | To | | HAP | **DL WET** | **All nodes** (HGNs and LGNs) | | UAV | **Weighted DL WET** | **LGNs** only |   따라서 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.   * 편의를 위해 **UAV는 일정한 속도로 움직인다**고 가정한다. * UAV의 Return flight path는 forward flight path의 reverse라고 가정하므로 **total flight path는** 이다.   UAV의 block time에서의 **total weighted DL WET time**은 다음과 같다. |

**[NEXT PAGE]**

**[PREVIOUS PAGE]**

|  |
| --- |
| **2. BLOCK STRUCTURE IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| UL period에서 UAV가 전송하는 에너지를 수신하는 **LGN 는 return flight phase에서 UAV에 정보를 전송**하므로 은 다음과 같다.  이때 **HGN**은 **return phase**에서 **HAP에 UL WIT을 즉시 수행**하므로 은 다음과 같다.  이때 **은 HGN에서 HAP로의 UL WIT time**을 나타내며, **는 weighted DL WET을 위해 UAV에 할당된 시간 / UL WIT을 위해 LGN에 할당된 시간**을 의미하므로, 다음 수식을 얻게 된다. |

|  |
| --- |
| **3. THE WIRELESS ENERGY TRANSFER IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| DL period에서 **HAP은 모든 node에 에너지를 broadcast**하는데, 이때 **node i에서의 harvested energy**는 다음과 같이 나타낼 수 있다.   * 여기서 은 node i에서의 **energy harvesting efficiency**이다.   **LGN에서의 harvested energy**는 다음과 같이 표현된다.  이때 각 node에 대해 **time of weighted DL**은 다음과 같다.  **UAV의 energy causality**를 위하여 다음 수식을 얻는다.  **UAV가 작동을 시작할 때 가 fully charged**이고  **외에 에너지 소비가 없다**고 가정하므로 라고 할 수 있다. |

**[NEXT PAGE]**

**[PREVIOUS PAGE]**

|  |
| --- |
| **3. THE WIRELESS ENERGY TRANSFER IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| 따라서 **전체 harvested energy**는 다음과 같이 나타낼 수 있다.  여기서 |

|  |
| --- |
| **4. THE WIRELESS INFORMATION TRANSFER IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| **UL period**에서 node는 (18)에서의 **total harvested energy**를 이용하여 **UL WIT을 수행**한다.  Throughput maximization을 위하여 **node는 UL WIT에서 모든 harvested energy를 사용**한다고 가정한다. 이때  라고 하면 **HGN i에서의 UL period 동안의** 의 값은   * 여기서 은 **steady state의 HGN**에서 **UL WIT**에 사용된 **전체 harvest energy의 비율**이다.   또한 의 값은   * 여기서 은 **steady state의 LGN**에서 **UL WIT**에 사용된 **전체 harvest energy의 비율**이다.   따라서 (18)~(22)에 의하여, **LGN i의 achievable UL throughput**은 다음과 같다. |

**[NEXT PAGE]**

**[PREVIOUS PAGE]**

|  |
| --- |
| **4. THE WIRELESS INFORMATION TRANSFER IN THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| **HGN i의 achievable UL throughput**은 다음과 같다. |

|  |
| --- |
| **5. THE CHANNEL-WEIGHTED PATH PLANNING FOR THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| **channel-weighted path (CWP) planning**은 **UAV의 flight path를 energy efficiency 관점에서 최적화**하는 것으로, 예시와 알고리즘은 오른쪽 그림과 같다. 여기서 **는 flight path**로 다음과 같이 계산한다.    이때 **학습을 위하여 다음과 같은 loss function**을 이용한다. |

|  |
| --- |
| **6. PROBLEM FORMULATION FOR THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| 제안된 UAV-enabled WPCN에서 node는 HAP 또는 UAV에 UL WIT을 수행할 수 있다. 즉 **HGN은 HAP에 정보를 전송하고, LGN은 UAV에 정보를 전송**한다. 이때 **모든 node의 sum-throughput**은 다음과 같다. |

**[NEXT PAGE]**

**[PREVIOUS PAGE]**

|  |
| --- |
| **6. PROBLEM FORMULATION FOR THE WEIGHTED HARVEST-THEN-TRANSMIT PROTOCOL** |
| **Problem 1: sum-throughput maximization**   * **Doubly-near-far problem** 때문에 LGN의 sum-throughput은 다음과 같이 나타낸다. * (**P1)을 convex optimization으로 해결**하기 위하여 **objective of (P1)은 concave function**이어야 하며 **모든 constraint는 affine**이어야 한다. 따라서 다음 lemma를 이용한다.  |  |  | | --- | --- | | Lemma 4.1 | LGN i의 throughput function은 **nonnegative vector 의 concave function**이다. | | Lemma 4.2 | (P1)에 대한 최적의 time allocation 에 대하여 이다. |   **Proposition 4.1. (P1)의 optimal time allocation은 다음과 같다.**  **Problem 2:**   * **(P2)를 convex optimization을 이용하여 해결**하기 위하여, 다음의 2가지 lemma를 사용한다.  |  |  | | --- | --- | | Lemma 4.3 | 으로 주어진, HGN i 의 **throughput function**은 **음이 아닌 벡터 에 대한 concave function**이다. | | Lemma 4.4 | (P2)에 대한 최적의 time allocation 에 대하여 이다. | |

|  |  |
| --- | --- |
| **7. Figures** | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |