**Understanding UAV-Based WPCN-Aided Capabilities for Offshore Monitoring Applications**

[**https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9351835**](https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9351835)

**0. Convergence of UAV, Sensing and WPCN to Enable Maritime Applications**

|  |
| --- |
| **<Sensing Technologies>**  Wireless sensor들과 IoT device들은 **바다에서는 유비쿼터스하지 않으며**, 그 이유는 다음과 같다.   * 바다 환경은 매우 넓고 다양하기 때문이다. * 특별한 보호가 필요한 electronics-unfriendly situation이 존재하기 때문이다. * 생태학 및 경제학적인 관점   최근의 bio-degradable 전자 제품들의 발전은 환경을 오염시키지 않고 분해될 수 있다.   * 따라서 이들 센서에 요구돠는 에너지는 **biodegradable한 배터리를 이용**하거나 **Wireless Power Transfer 기술을 이용하여 원격으로 채널링**해야 한다.   **<Wirelessly-Powered IoT>**  이전의 연구들은 Wireless energy transfer를 통해 에너지를 얻는 WPCN 센서들은 **lifetime이 거의 무제한**이라는 것을 알아냈다.   * 이러한 charger 또는 모바일 플랫폼을 전개시키는 것은, 예를 들어 드론이 chager와 sensor 간의 line-of-sight operation을 가지는 것과 같다. * 따라서 **에너지 전송의 효율성을 최대화**할 수 있다.   **<Convergence and Application>**  위에서 설명한 기술들은 아래와 같은 **여러 가지 응용을 통해 maritime context에서 원활하게 converge**될 수 있다.   * 드론은 infrared camera와 이와 관련된 on-board sensor를 갖출 수 있다. |

**1. Actors, Resources, and Trade-Offs in UAV-Based WPCN-Aided Applications**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 여기서 논의된 시나리오와는 다르게, 여기서는 **잠재적인 operation landscape의 보다 종합적이고 systematic한 assessment**를 적용하려고 한다.   * 이를 위해 **key actor, resource, related trade-off를 identify**하려고 한다.   **<Main Actors>**   |  |  | | --- | --- | | Sensing | **UAV**가 미션을 수행하기 위한 interest 또는 서비스 정보에 대한 데이터를 획득하기 위해서 **직접적으로 통신하는 Sensor-actuator system** | | Connectivity | UAV와 다른 actor들이 **외부 시스템과 연결하기 위해, 또는 그들 사이에 통신하기 위해 employ**할 수 있는 communication infrastructure   * Commercial on-shore infrastructure, satellite network 등 * 미션 및 환경에 따라 네트워크 infrastructure는 **다양한 무선 기술에 기반**할 수 있다. | | Power Supply | Power infrastructure는 UAV와 sensing operation과 관련된 **third actor**이다.   * **물리적인 배터리를 충전하거나 교체**하여 에너지를 충전한다. |   **<Essential Resources>**  **데이터, 에너지, monetary cost**는 고려되는 시나리오에서의 key resource가 된다.   |  |  | | --- | --- | | Data | **관련된 정보를 수집**하는 것은 특정한 UAV 미션을 완수하기 위해 일반적으로 요구된다. | | Energy | 드론은 **hovering, sensing, data processing 및 communication 등을 위해 에너지를 소비**한다.   * Power infrastructure가 없으면 센서와 actuator들은 배터리 또는 에너지 하비스팅 기술을 이용해 에너지를 충전해야 한다. * 이 상황은 UAV가 WPCN 기술을 이용하여 sensor, actuator를 charge할 때 더 많이 발생한다. | | Expenses | **Monetary cost**는 crucial factor로 항상 고려되어야 한다.   * UAV-specific, sensor-actuator network-centric capital expenditures, service cost 등으로 인해 데이터 통신 및 에너지 충전에 추가적인 비용이 들 수 있다. |   **<Trade-offs>**  **앞에서 말한 resource는 매우 상호 의존적**이며, 이들의 specific management는 시스템의 행동 및 성능을 결정한다.   * 실제 상황 및 sensing 파라미터에 상관없이, 추가적인 데이터를 획득하는 것은 더 높은 에너지 소비를 수반한다. * 많은 양의 데이터를 처리하는 것은 추가적인 에너지 소비를 불러일으킨다. |

**2. Key System Design Dimensions**

|  |
| --- |
| **UAV가 시나리오의 central element**가 되는 것과 함께, **6가지의 key design**이 앞에서 언급한 3가지 ecosystem actor에 대해 identify된다. 여기서는 **이것들을 system design의 고려 사항으로 하여 이들 dimension에 대해 논의**한다.  **<Feasibility>**  각각의 **infrastructure (Dimension 1, D1)**의 존재와 **UAV의 availability**는 가장 핵심적인 고려 사항이다.   * Remote area에서 **어떤 infrastructure도 available하지 않으면**, 드론을 사용하는 것은 그것들이 자동적으로 동작하지 않는 이상 실행 불가능하다.   다른 critical feasibility factor는 **제한된 UAV operation time**이다.  **Interoperability (D2)**는 **논의된 operation의 실행 가능성**을 결정하는 중요한 issue이다.   * UAV는 infrastructure에 도달할 수 있지만, **서비스를 수신하는 것이 어려울** 수 있다.   + 예를 들어 드론과 infrastructure를 서로 다른 stakeholder가 소유하고 있거나 이들 infrastructure가 서로 compatible하지 않을 수 있다.   **<Dependability>**  **Infrastructure 간의 topological한 특징 (D3)**이 UAV의 operation에 영향을 미칠 수 있다.   * 예를 들어, **드론이 데이터를 수집하거나 에너지를 충전하기 위한 위한 최적 경로**가 서로 다를 수 있다.   **다양한 infrastructure element (sensor 등)의 Potential mobility (D4)**와 각각의 **temporal pattern (영구적인 vs 임시적인)**이 다른 중요한 design factor이다.  **<Efficiency>**  **Key performance metric** (throughput, range, latency, cost 등)에 대한 **서비스의 efficiency (D5)**가 시스템 설계에서 중요하다.   * 비효율적인 WPCN charging solution은 **UAV가 WPCN의 기능을 하기 위해 hovering하는 데 대부분의 에너지를 사용**하게 할 수 있다.   **서비스의 잠정적인 service cost (D6)**은 다른 limiting factor가 될 수 있다.   * 예를 들어, satellite link를 통한 데이터 전송 또는 cellular connection 등   **결론:**  **UAV의 에너지 제약 조건이 feasibility, dependability와 efficiency dimension에 영향을 미칠 수 있다.** 그 결과로 **전체적인 시스템 성능이 영향**을 받는다.   * 이것들을 완화하려면 **다양한 scheme들이 잠재적인 해결책으로 고려**되어야 한다. |

**2. Key System Design Dimensions (Cont.)**

|  |
| --- |
|  |

**3. Scenario and Modeling Results**

|  |
| --- |
| **<Scenario Description>**  바다에 있는 vessel을 둘러싼 **여러 개의 biodegradable sensor로 구성된 WPCN**을 생각한다.   * 드론은 **타원형의 궤도**를 따라 움직이며, 이때 몇 개의 **static position (UAV stop-point)** 사이에서 움직인다. * 특정 시간 동안 **이들 static position 옆에서 hover**한다.   + 각 location에서 UAV는 **처음에 주변의 sensor들을 charge하기 위해 wireless power transfer**를 한다.   이 모델의 main parameter는 **Table 1**에 정리되어 있다. |

**3. Scenario and Modeling Results (Cont.)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **<Distribution of UAV stop-points>**   |  |  | | --- | --- | | Case P1 | UAV는 **센서 또는 센서 클러스터의 앞에서 stop**한다.   * **Sensor가 있는 곳의 plane과 UAV stop-point 사이의 각이** 이고 **sensor들과 드론 사이의 거리의 합이 최소**가 된다는 것을 의미한다. | | Case P2 | UAV filght path는 **서로 같은 길이를 갖는 몇 개의 sector들에 대한 stop point로 split**된다.   * 이때는 sensor가 있는 곳의 plane과 UAV로의 방향 사이의 각이 **가 아닐 수 있다.** * Sensor location에 대한 정확한 지식을 요구하지는 않는다. |   **<Distribution of Sensors>**   |  |  | | --- | --- | | Case S1 | 센서들은 전체 measurement area를 가로질러서 **서로 같은 distance**로 배치되어 있다. | | Case S2 | 센서는 **group되어 있고**, 이들의 클러스터들은 **서로 같은 distance**로 배치되어 있다.   * 단순성을 위해, 하나의 클러스터는 **2개의 sensor**로 구성되어 있다고 한다. |   여기서 모델링된 시나리오는 maritime application에서 다양하게 활용될 수 있다. 예를 들어 다음과 같다.   |  |  | | --- | --- | | Case P1 | **UAV가 sensor를 배치**하면, 각각의 battery-less sensor의 위치를 알 수 있고 이 데이터를 통해 **경로를 더 효율적으로** 설정할 수 있다. | | Case P2 | UAV가 센서의 위치를 기술적 수단이 없거나 sensor의 위치가 언제 바뀔지 모르기 때문에 **track할 수 없다.** | | Case S1 | **Sensor에 대한 더 많은 uniform distribution**은 **deployment cost를 감소**시킨다.   * 이때 데이터의 값 또는 현상 발생 확률이 더 낮은 spatial dependency를 갖는다. | | Case S2 | **Sensor Clustering**은 영역 내에서 모니터링하는 것의 reliability와 efficiency를 증가시킨다. | |

**3. Scenario and Modeling Results (Cont.)**

|  |
| --- |
|  |

**4. Essential Findings and Observations**

|  |
| --- |
| 설명된 시나리오는 Matlab에 build된 시뮬레이션 환경을 통해 evaluate되었으며, <https://bitbucket.org/dcarrillom/uav_wpcn_maritime/> 에서 확인할 수 있다.   * 이 시뮬레이션은 **key system design dimension 간의 interrelation 및 tradeoff를 반영**하기 위한 것이다.   **Feasibility:** 여기서는 target setup과 연관된 **기술적 한계에 대한 feasibility**에 초점을 맞춘다.   * 주어진 power/energy 소비와 battery 용량에 대해, **드론의 mission의 maximum duration은 약 28분**이다. * **각 UAV stop-point에서 소비되는 시간을 고려**하면, UAV가 방문할 수 있는 지점의 개수는 다양하다.   + 각 UAV stop point에서 70초를 소비한다면, UAV는 최대 22개의 stop에 방문할 수 있다.   **Dependability:** 드론이 **모든 sensor를 방문**할 수 있는지, **UAV가 각 sensor에서 얼마나 많은 measurement를 수집**할 수 있는지에 대한 것이다.  **Efficiency:** UAV가 소비하는 **단위 에너지당 센서에 의해 전송된 패킷의 개수**를 의미한다. |

**4. Essential Findings and Observations (Cont.)**

|  |
| --- |
| P1과 P2를 비교할 때, **sensor location에 대한 지식은 단위 에너지당 packet의 개수를 30% 증가**시킨다는 것을 알 수 있다.   * UAV가 **각 UAV stop-point에서 소비하는 시간이 증가한다는 것은 energy efficiency**를 의미한다. |