

Time-Power 제어를 이용한 드론의 효율적 데이터 전송 및 에너지 하비스팅 기법

홍승관*, 차경현*, 이선의*, 황유민*, 김진영*

A scheme for efficient data transmission and energy harvesting in drone systems using time-power switching

Seung Gwan Hong*, Gyeong Hyeon Cha*, Sun Yui Lee*, Yu Min Hwang*, and Jin Young Kim*

요 약

본 연구는 LTE, 5G의 무선 통신네트워크망에서 효율적으로 무선에너지하비스팅과 데이터 전송 실시하기 위한 시스템 모델을 제시한다. 수신 된 신호의 파워를 타임 스위칭(Time Switching)과 파워 스플리팅(Power Splitting) 기법을 통해 우리가 원하는 무선에너지하비스팅 효율과 데이터 전송률을 만족시키기 위한 최적의 타임 & 파워 비율을 찾는다. 그래서 최적의 시간 & 파워 비율을 선정함으로써 우리는 효율적으로 데이터 전송과 에너지하비스팅이 가능하다. 또 이상적인 수신기와 제안한 시스템 모델의 비교를 통해 성능 분석을 실시하고, 앞으로의 연구방향을 제시한다.

Key Words : Drone, Time Switching, Power Splitting, Energy Harvesting, RF Energy Harvesting.

ABSTRACT

In this paper, we propose a system model which effectively transmits the data and conducts RF energy harvesting in a wireless communication network of LTE and 5G. Through time switching and power splitting schemes, we find a time & power ratio to show the good performance according to the standard that we set up for transmitting a signal and conducting RF energy harvesting. So selecting optimal time & power ratio, we can efficiently transfer data to other drones and harvest the amount of harvested power simultaneously we desire. Also, according to conducting the performance analysis, we can compare an ideal receiver with the proposed system model. And, we suggest a future direction of research.

I. 서 론

무선 네트워크 환경이 크게 발달하여 언제 어디서든 인터넷을 사용할 수 있으며, 무선 네트워크의 발달로 스마트 모바일 디바이스도 크게 발달하게 되었다. 따라서 언제 어디서든 통신을 할 수 있으며, 이를 이용한 드론의 활용도 각광 받고 있다[1]. 하지만 드론을 동작 시키기 위한 배터리의 소모량이 높기 때문에 전력관리를 효율적으로 할 수 있어야 한다. 이에 송신되는 신호의 파워를 사용하여 에너지효율을 올리는 에너지하비스팅에 관한 연구가 진행형 되고 있다. 스마트 모바일 디바이스의 에너지하비스팅을 하기 위해 쓰이는 방법 중 Time Switching을 이용하여 수신단에서의 에너지하비스팅하는 구간과 데이터 처리 구간을 나누어 처리하는

방법과 Power Splitting을 이용하여 데이터 처리와 에너지하비스팅에 따른 전력의 분배를 하여 처리하는 방법[2-6], 이 두 가지를 사용하는 드론의 시스템 모델을 구상하였다. 본 논문의 II 장에서는 제안 시스템 모델을 제안한다. III 장에서는 이상적인 R 노드에서의 수신기에 대해 설명하고, IV 장에서는 시스템 모델을 이용한 에너지하비스팅과 데이터 전송을 제안한다. V장에서는 제안한 시스템 모델의 시뮬레이션 및 성능 분석을 실시하고, 마지막으로 VI 장에서 본 논문의 결론으로 논문을 맺는다.

II. 제안 시스템 모델

본 논문에서는 곳곳에 설치되어 있는 중계기를 이용하여,

* 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478).

*광운대학교 유비쿼터스 통신 연구실 (mygwan112@kw.ac.kr, chagyeonghyeon@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2015년 11월 12일, 수정완료일자 : 2015년 12월 19일, 최종게재확정일자 : 2015년 12월 24일

LTE, 5G 등의 통신망을 이용하여 드론을 제어하고 에너지 하비스팅과 데이터 전송 효율에 대한 시스템 모델을 제안한다. 그림 1을 보면 S(Source) 노드는 송신기이며, 무선 통신 네트워크망 LTE, 5G를 사용하고, 위성에서는 GPS 신호를, 중계기 송신단에서는 제어 신호를 드론에 보내게 된다. R(Relay) 노드에서는 드론을 통해 에너지하비스팅과 데이터 처리를 하게 된다. D(Destination) 노드는 중계기 수신단이나 다른 드론이며, R(Relay) 노드에서 데이터가 송신되어 D(Destination) 노드로 보내지게 된다. R(Relay) 노드에서는 Time Switching과 Power Splitting을 이용한 시스템 모델을 통해 구성되며, S(Source) 노드에서 송신되는 전력 P_s 를 R(Relay) 노드에서 Time Switching Ratio와 Power Splitting Ratio에 따라서 에너지하비스팅을 하고 Recifier를 거쳐 배터리에 저장한다. 에너지하비스팅된 전력을 드론의 센서나 R->D로 송신할 때 사용하여 드론에서 수신기나 다른 드론에 데이터를 전송할 수 있다. 채널은 Rayleigh Fading으로 설정한 후 그에 따른 값을 설정하여 구하였다. Rayleigh Fading을 적용한 것은 직접파보다 간접파가 우세한 실외환경에서의 드론의 활용이 많기 때문에 지정하였다 [7].

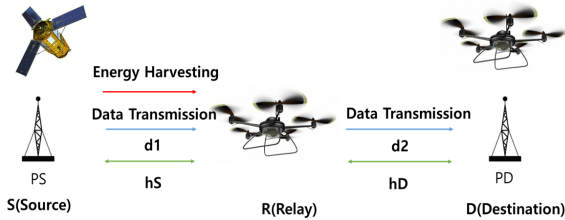


그림 1. 시스템 모델

에너지하비스팅을 위한 시스템 모델을 위해 Time Switching과 Power Splitting을 이용한 방법을 사용하였다. 그림 2를 통해 알 수 있으며, T 구간 동안 S 노드로의 데이터 처리와 R 노드에서 D 노드로의 데이터 전송을 하게 되며, Time Switching Ratio α 를 $0 < \alpha < 1$ 로 정의하고 α 비율에 따른 T를 블록으로 나눈다. αT 일 때 에너지 하비스팅과 S->R로 데이터 전송 처리를 하며, αT 구간에서 Power Splitting하여 Power Splitting Ratio인 β 에 따른 송신 전력 P를 나누어 Power Splitting Ratio를 정하며, β 를 $0 < \beta < 1$ 로 정의하고 그 비율에 맞춰 에너지하비스팅이 가능하게 한다. 즉, 송신전력인 P_s 를 β 를 통해 비율을 정해 $\beta \frac{P_s}{d_1^m}$ 는 에너지하비스팅을 하고, $(1-\beta) \frac{P_s}{d_1^m}$ 는 S->R에서의 데이터 전송 처리에 사용하게 된다. $(1-\alpha)T$ 구간에서는 R->D로 에너지하비스팅된 전력을 데이터 전송과 드론의 센서에 쓰여지게 된다.

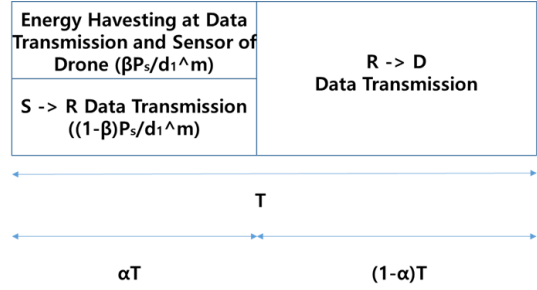


그림 2. Time-Power 제어를 이용한 에너지하비스팅과 데이터 전송 블록도.

III. 이상적인 R 노드 수신기

R 노드에서의 S 노드로의 전송하기 위한 과정을 보기에 앞서 제안할 수신기의 이상적인 모델을 파악한다. 이상적인 수신기는 T/2의 주기에서 에너지하비스팅과 데이터 처리를 하며, 남은 T/2에서 R 노드에서 D 노드로의 데이터 전송이 이루어진다[8]. 따라서 S 노드에서 보내지는 신호를 통해 얻을 수 있는 이상적인 에너지하비스팅 전력 P_h 는 다음과 같이 나타낸다.

$$P_h^{ideal} = \frac{\eta P_s |h_s|^2}{d_1^m} \left(\frac{T}{2}\right) \frac{1}{T}. \tag{1}$$

그리고 이상적인 전달 수신기를 통해 R 노드로 수신되는 신호인 Y_R 은 다음과 같이 나타낸다.

$$Y_R^{ideal} = \frac{1}{\sqrt{d_1^m}} \sqrt{P_s} h_s x_s + n_R. \tag{2}$$

그리고 전송하기 위해 신호를 증폭시켜주는 값인 G는 다음과 같이 정의되며,

$$G^{ideal} = \frac{1}{\sqrt{P_s |h_s|^2 / d_1^m + \sigma_R^2}} \tag{3}$$

이에 전송하기 위해 사용되는 전송 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R^{ideal} = \frac{P_h^{ideal}}{2} = \frac{\eta P_s |h_s|^2}{d_1^m}. \tag{4}$$

따라서 T(seconds)시간 중 T/2는 R 노드에서 D 노드로의 통신 시간으로 사용되어 진다. 따라서 그 결과 D 노드에서 수신되는 신호 Y_D 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$Y_D^{ideal} = \frac{\sqrt{\eta P_s |h_s|^2 P_s h_s h_D x_s}}{\sqrt{d_1^m P_s |h_s|^2 + d_1^m \sigma_R^2}} + \frac{\sqrt{\eta P_s |h_s|^2 d_1^m h_D n_R}}{\sqrt{d_1^m P_s |h_s|^2 + d_1^m \sigma_R^2}} + n_D. \tag{5}$$

(signal) (noise)

위를 통해 D 노드에서의 SNR을 구할 수 있으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR_D^{ideal} = \frac{\eta P_s |h_s|^2 |h_D|^2}{\eta d_1^m |h_D|^2 \sigma_R^2 + d_1^m \sigma_D^2 + d_1^{2m} \sigma_R^2 \sigma_D^2 / P_s |h_s|^2}. \quad (6)$$

이를 통해 R 노드에서 D 노드로의 전송확률을 구할 있으며, 이를 통해 전송된 신호의 데이터 처리량(Throughput)을 구할 수 있다. 이상적인 전송확률은 다음과 같이 계산할 수 있다[9].

$$P_{out}^{ideal} = P_r (|h_D|^2 < \frac{\theta}{\psi |h_s|^2 - \omega}). \quad (7)$$

따라서 구한 전송확률을 통해서 이상적인 데이터 처리량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau^{ideal} = (1 - P_{out}^{ideal}) \frac{R}{2}. \quad (8)$$

IV. Time-Power 제어를 이용한 데이터 전송 및 에너지하비스팅

R 노드에서 S 노드에서 오는 신호를 수신받고, S 노드에서부터 D노드까지의 통신과 에너지하비스팅을 할 수 있게 도와준다. R 노드에서는 에너지하비스팅을 통해 배터리에 전력을 저장하게 되고 이 배터리를 통해 드론은 R 노드에서 D 노드로의 데이터 전송 그리고 드론의 센서 등의 전력을 제공하게 된다[10]. 이 처리 과정을 좀 더 정확하게 살펴보고, 그에 따른 데이터 전송 효율과 에너지하비스팅 정도를 살펴볼 것이다. Time-Power 제어를 통해 Energy harvesting stage(ES)와 Data stage(DS)의 두 단계로 나눌 수 있다. ES에서는 에너지하비스팅을 통해 얻을 수 있는 정도를 파악할 수 있으며 수신되는 파워 Y_R 을 ES 와 DS 즉, 에너지하비스팅과 데이터 처리 두 단계로 나누어 정리할 수 있다.

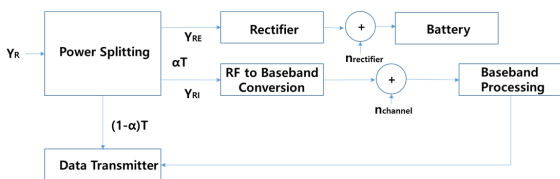


그림 3. R 노드 수신기 블록도

그림 3을 보면 알 수 있는데 에너지하비스팅 수신기에서는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_{RE} = \frac{1}{\sqrt{d_1^m}} \sqrt{\beta P_s} h_s x_s + \sqrt{\beta} n_{RR} \quad (9)$$

여기서 β 는 에너지하비스팅을 위한 Power Splitting Ratio이며, m 는 경로 감쇠 지수이고, P_s 은 S 노드에서의 송신 파워이다. h_s 는 S 노드와 R 노드 사이의 채널 계수이며, n_{RR} 은 가우시안 노이즈(AWGN)이며, S 노드에서 R 노드로 전송될 때의 신호 대역폭 변환으로 생기는 잡음이다. x_s 는

소스에서 전송되는 신호이다. 에너지 처리를 위해 R 노드에서는 받아들여진 신호는 정류기를 통해 직류 전류로 변환된다. 이렇게 변환된 정류기를 통해 배터리가 충전된다. 이때 충전된 전력을 드론의 센서와 데이터 전송을 할 때 사용할 수 있다. 그리하여 R 노드에서의 에너지하비스팅 파워는 다음과 같이 표현되며,

$$P_h = \eta \frac{P_s |h_s|^2}{d_1^m} \alpha \beta \quad (10)$$

이때 η 는 정류기와 에너지하비스팅의 회로적 특성에 따른 에너지하비스팅 효율 계수로서 $0 < \eta < 1$ 로 나타낸다. DS에서는 R 노드에서 D 노드로의 데이터 처리와 전송을 위한 과정을 나타내며 데이터 수신기에서는 다음과 같이 표현된다.

$$Y_{RI} = \frac{1}{\sqrt{d_1^m}} \sqrt{(1-\beta)P_s} h_s x_s + \sqrt{(1-\beta)} n_{RR} \quad (11)$$

수신된 데이터를 처리하고 수신된 데이터를 D 노드로 전송하기 위해 증폭시켜주는데 받은 신호를 증폭시켜주는 G 값을 정의하여 다음과 같이 나타낸다.

$$G = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)P_s |h_s|^2 / d_1^m + \sigma_R^2}}. \quad (12)$$

R 노드에서 증폭한 신호와 에너지하비스팅 파워 P_h 을 이용하는데, $(1-\alpha)T$ 의 주기에서 R 노드에서 D 노드로의 송신 전력과 드론의 센서에 쓰여질 전력 두 가지로 나누어 송신 측면과 드론의 센서 측의 전력으로 나타낼 수 있다. 드론의 센서에 쓰여질 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{sensor} = \frac{1}{2} P_h. \quad (13)$$

그리고 에너지하비스팅으로 모은 전력을 이용한 R 노드에서 D 노드로의 송신 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R = \frac{P_h}{2(1-\alpha)} = \eta \frac{P_s |h_s|^2}{d_1^m} \frac{\alpha \beta}{2(1-\alpha)}. \quad (14)$$

R 노드에서의 데이터 처리 이후에 신호를 증폭시켜주는 G 값을 이용하고, D 노드까지 신호를 송신하기 위한 파워 P_R 은 에너지하비스팅 과정에서 저장된 전력을 사용하여 D 노드에서의 수신된 신호를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_D = \frac{\sqrt{P_R} h_D G}{\sqrt{d_2^m}} Y_{RI} + n_D \quad (15)$$

n_D 는 σ_D^2 로 정의하며 D 노드에서의 부가 백색 잡음이다. 따라서 식 (12), (14)을 (15)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_D = \frac{\sqrt{\eta P_s |h_s|^2 \alpha \beta (1-\beta) P_s} h_s x_s}{\sqrt{d_1^m d_2^m 2(1-\alpha)(1-\beta) P_s |h_s|^2 + d_1^m \sigma_R^2}} + \quad (16)$$

$$\frac{\sqrt{\eta P_s |h_s|^2 \alpha \beta d_1^m} h_D n_{RR}}{\sqrt{d_2^m 2(1-\alpha)(1-\beta) P_s |h_s|^2 + d_1^m \sigma_R^2}} + n_D.$$

(noise)

위의 식을 통해 signal 부분과 noise 부분을 통해 D 노드

에서의 SNR을 구할 수 있다. 따라서 SNR_D 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR_D = \frac{\eta\alpha\beta(1-\beta)P_s|h_s|^2|h_D|^2}{\eta\alpha\beta|h_D|^2d_1^m\sigma_R^2 + (1-\alpha)(1-\beta)d_1^m d_2^m \sigma_D^2 + (1-\alpha)d_1^m \sigma_R^2 \sigma_D^2 / P_s |h_s|^2} \quad (17)$$

R 노드에서 D 노드로의 데이터 전송의 효율을 파악하기 위해 D 노드에 전송된 데이터의 처리량 τ 을 구해본다. τ 을 구하기 위해서는 D 노드에서의 전송 확률인 P_{out} 을 구하여야 하며, 주파수 효율성인 R(bps/Hz)을 LTE 망에 맞추어 설정하여 계산한다. 따라서 D 노드에서의 전송 확률인 P_{out} 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{out} = P_r(SNR_D < SNR_0) \quad (18)$$

P_r 은 확률을 나타내며, SNR_0 의 값은 $2^R - 1$ 로 계산하면 된다. 따라서 P_{out} 을 SNR_D 의 수식 중 0의 값에 수렴하는 부분을 제외하고 고쳐 계산하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} \approx P_r\left(\frac{\eta\alpha\beta(1-\beta)P_s|h_s|^2|h_D|^2}{\eta\alpha\beta|h_D|^2d_1^m\sigma_R^2 + (1-\alpha)(1-\beta)d_1^m d_2^m \sigma_D^2} < SNR_0\right) \quad (19)$$

D 노드에서의 전송 확률을 구하고 τ 을 구하기 위해서는 다음과 같이 나타낸다.

$$\tau = (1 - P_{out})R \frac{(1-\alpha)T}{T} = (1 - P_{out})R(1-\alpha) \quad (20)$$

따라서 D 노드에서의 데이터 전송 효율을 τ 을 통해 확인할 수 있으며, P_h 를 통해서 에너지하비스팅의 정도를 확인할 수 있다.

V. 시뮬레이션

우선 식의 각 값들을 정하여 식(19)에 대입하였으며, S 노드와 R 노드의 거리인 d_1 과 R 노드와 D 노드의 거리인 d_2 는 10m로 지정하였고, 경로 감쇠 지수인 m 은 2.7로 설정하였으며, 송신전력 P_s 는 송신기의 표준 전송 전력인 2watt로 설정하였다. 노이즈의 값 $\sigma^2 = \sigma_D^2 = \sigma_R^2$ 은 0.01로 지정하였으며, 정류기와 에너지하비스팅의 회로적 특성에 따른 에너지하비스팅 효율 계수 η 는 0.7로 적용하였다. 주파수 효율성인 R(bps/Hz)는 LTE망을 기준으로 적용하여 7bps/Hz로 지정하였다. h_s 와 h_D 는 채널 계수로 각 1로써 정해주었고, Rayleigh Fading Channels을 기준으로 적용하였다.

1. α 와 β 에 따른 에너지하비스팅 전력 P_h 비교

그림 4, 5는 Time Switching Ratio α 와 Power Splitting Ratio β 에 따른 에너지하비스팅 전력 P_h 를 구한 값이다. 중계기에서 2watt로 송신된다고 할 때, 10m 거리에서 R 노드에 들어오는 전력은 P_s/d_1^m 이므로 약 4mW이며, 정류기를 거

쳐 들어오는 전력은 $\eta(P_s/d_1^m)$ 이며, 약 2.8mW이다. 최종적으로 충전되는 전력은 $\eta(P_s/d_1^m)\alpha\beta$ 이며, 에너지하비스팅을 위한 전력은 정류기를 거쳐 들어온 전력의 약 50% 이상이 되도록 기준을 잡았으며, α 와 β 가 각각 0.7이상이고 거리 10m일 때 T(seconds) 구간당 모아지는 전력은 약 1.4mW이다.

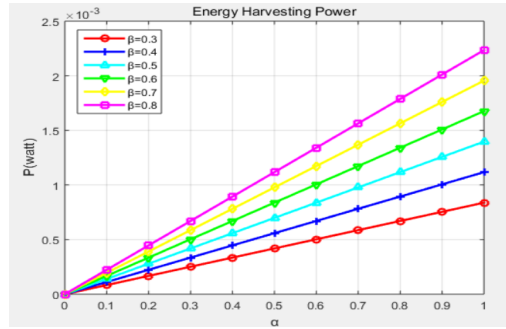


그림 4. Time Switching Ratio α 값에 따른 에너지하비스팅된 전력 P_h .

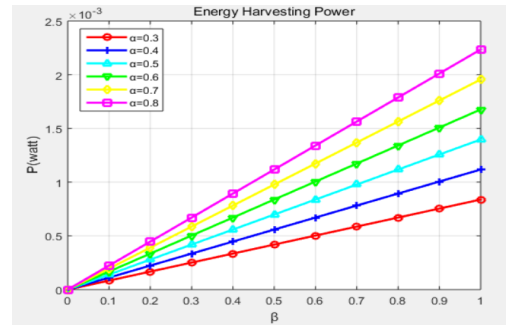


그림 5. Power Splitting Ratio β 값에 따른 에너지하비스팅된 전력 P_h .

2. α 와 β 에 따른 데이터 처리량 τ

그림 6, 7을 보면 식 (20)에 각 수치를 대입하여 시뮬레이션을 통해 α 와 β 에 따른 D 노드에서의 데이터 처리량을 확인할 수 있으며, 그림 6과 그림 7을 통해 $\alpha=0.4$, $\beta=0.7$ 일 때 가장 높은 데이터 처리량 τ 을 보였다. 에너지하비스팅 전력을 위한 α , β 는 각각 0.7이상이어야 했지만, 데이터 처리량 τ 과 에너지하비스팅 전력을 고려하여 $\alpha=0.6$, $\beta=0.7$ 일 때를 최종적으로 설정하여 주었다. 드론에서의 시스템 모델은 모바일 기기처럼 데이터 처리량이 많아야 하는 것이 아니기 때문에 에너지하비스팅의 효율을 올릴 수 있도록 데이터 처리량 τ 을 조금 낮추는 방향으로 설정하였다. 따라서 에너지하비스팅되는 전력은 약 1.2mW로 정류기를 거쳐 들어오는 전력의 약 42%를 충전할 수 있다. 따라서 드론의 센서 부에서 0.6mW를 추진된 값으로 사용할 수 있으며, 나머지 0.6mW를 통해 데이터 전송에 사용되어 진다. 센서는 약 1mW에서 동작하므로, 매 초 0.6mW씩 충전이 된다면 약 60%의 효율을 보인다. 데이터 처리량 τ 은 에너지하비스팅 전력 0.6mW로 얻은 값이며, 약 1.8bps/Hz의 값을 얻을 수

있다. 그리하여 에너지하비스팅 전력으로 데이터 전송을 하고 적은 에너지로 약 2bps/Hz인 3G 통신망의 데이터 처리량과 비슷한 값을 얻을 수 있다.

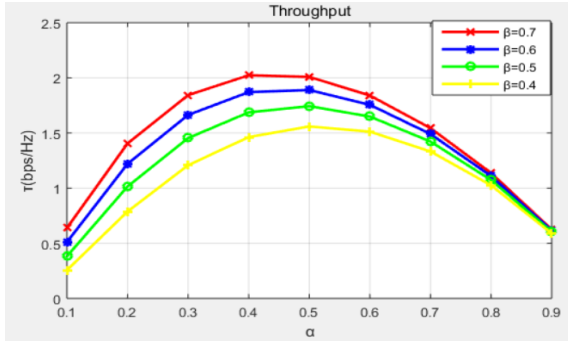


그림 6. Power Splitting Ratio β 값에 따른 데이터 처리량 τ .

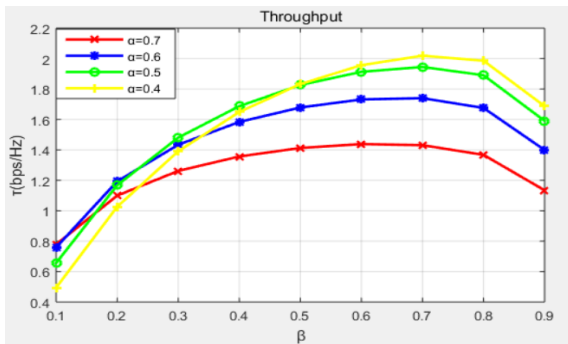


그림 7. Time Switching Ratio α 값에 따른 데이터 처리량 τ .

3. 시스템 모델과 Time Switching 모델 비교

Time Switching만을 이용한 데이터 처리량 τ 과 Time Switching과 Power Splitting을 이용한 제안된 시스템 모델의 데이터 처리량 τ 을 비교한 결과는 그림 8을 보면 알 수 있다. $\alpha=0.6, \beta=0.7$ 일 때를 기준으로 보게 되면, 데이터 처리량 τ 의 값이 약 0.4bps/Hz의 차이가 있으며, 제안된 시스템 모델의 경우 더 높은 데이터 처리량 τ 을 가지는 것을 알 수 있다.

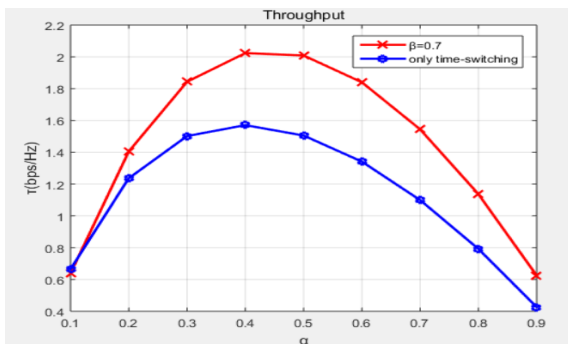


그림 8. Time Switching 모델과 제안된 시스템 모델의 데이터 처리량 τ 비교.

4. 노이즈에 따른 데이터 처리량 τ

이상적인 R 노드 수신기는 T/2 구간에서 가장 높은 τ 을 보여준다. 따라서 제안한 시스템 모델의 τ 와 비교하여 성능의 차이를 확인할 수 있다. 노이즈의 값에 따라 다른 데이터 처리량 τ 을 볼 수 있다. 그림 9를 통해 10m 거리에서 노이즈가 0.0001의 값이고 7bps/Hz로 전송하였을 때 이상적인 수신기는 최고 약 3.5bps/Hz의 데이터 처리량을 보이며 제안한 수신기의 데이터 처리량은 약 2.8bps/Hz의 데이터 처리량을 보이는 것을 확인할 수 있다. 노이즈의 값이 강해질수록 τ 이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

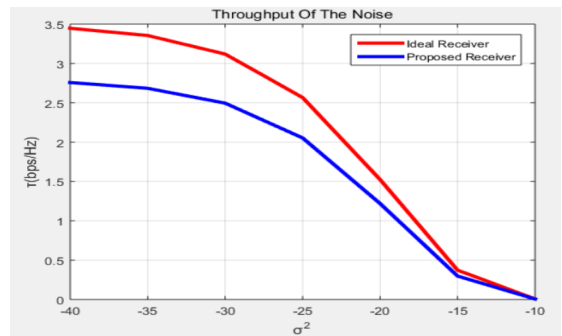


그림 9. 노이즈 값에 따른 데이터 처리량 τ .

VI. 결론

이번 논문을 통해 LTE(7bps/Hz)망을 이용한 드론의 데이터 전송 효율성과 에너지하비스팅을 확인할 수 있었으며, Time Switching을 이용한 시스템 모델과 Time Switching과 Power Splitting을 합한 제안된 시스템 모델과의 비교를 통해 데이터 처리량 τ 의 이점을 확인할 수 있었다. 또한 드론의 센서와 데이터 전송에 에너지하비스팅 전력 T(seconds)마다 1.2mW을 사용할 수 있음을 알 수 있었고, Time Switching Ratio와 Power Splitting Ratio를 목적에 부합하는 값으로 설정하여 주어 3G망과 비슷한 데이터 처리량 τ 을 얻을 수 있었다. 노이즈에 따른 데이터 처리량 τ 을 구해 봄으로써 노이즈 값에 따른 데이터 처리량 τ 의 변화도 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문의 시스템 모델을 적용하여 곳곳에 설치된 통신 중계기를 통해 실시간으로 드론과 통신할 수 있으며, 신호를 보내고 다른 드론과의 통신 및 연계 비행이 가능할 것이다.

참고 문헌

[1] I. Deaconu and A. Voinescu, "Mobile gateway for wireless sensor networks utilizing drones," in proceedings of Roedunet Conf., pp. 1-5, 2014.
 [2] Dinh-Thuan Do, "Time power switching based relaying protocol in energy harvesting mobile node: optimal

throughput analysis," Mobile Information System, Vol. 2015, pp. 1-8, Vietnam, 2015.

[3] D. Li, C. Shen, and Z. Qiu, "Sum rate maximization and energy harvesting for two-way af relay systems with imperfect CSI," in proceedings of ICASSP, pp. 4958-4962, Canada, May 2013.

[4] O. Orhan and E. Erkip, "Throughput maximization for energy harvesting two-hop networks," in proceedings of the IEEE ISIT, pp. 1596 - 1600, Istanbul, Turkey, July 2013.

[5] P. Mangayarkarasi, S. Jayashri, J. Raja, "An efficient energy harvesting scheme to maximize the throughput of the wireless relay network with TSR and PSR protocol," Int. J. Electron. Commun., vol. 69, No. 5, pp. 841 - 850, May 2015.

[6] N. Nomikos, D. N. Skoutas, D. Vouyioukas, C. Verikoukis, and C. Skianis, "Capacity maximization through energy-aware multi-mode relaying," Wireless Personal Commun., vol. 74, no.1, pp. 83-99, 2014.

[7] X. Zhou, R. Zhang, and C. K. Ho, "Wireless information and power transfer: architecture design and rate-energy trade off," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 61, no. 11, pp. 4754-4767, 2013.

[8] A. A. Nasir, X. Zhou, S. Durrani, and R. A. Kennedy, "Relaying protocols for wireless energy harvesting and information proceeding," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 12, no. 7, pp. 3622 - 3636, 2013.

[9] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, "Table of integrals, series, and products," Elsevier/Academic Press, 2007.

[10] X. Zhou, R. Zhang, and C. K. Ho, "Wireless information and power transfer: architecture design and rate-energy trade off," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 61, no. 11, pp. 4754-4767, 2013.

저자

홍 승 관(Hong Seung Gwan)

준회원



· 2010년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전자 융합공학과 학사과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅

차 경 현(Gyeong Hyeon Cha)

준회원



· 2014년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 학사졸업
· 2014년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과공학과 석사과정

<관심분야> : WBAN, 위치공학, 항재밍 기술, 무선에너지하비스팅

이 선 의(Sun Yui Lee)

준회원



· 2013년 2월 : 광운대학교 전과공학과 졸업
· 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전과공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원



· 2012년 2월 : 광운대학교 전과공학 학사졸업
· 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 무선에너지하비스팅, 협력통신, 인지무선통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



· 1998년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 공학박사
· 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
· 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자 융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신.