

펄스 폭 변조 기반 분자 통신 기법 연구

문석환, 정유진, *정성운
영남대학교

msh1661@yu.ac.kr, star6322@naver.com, *syjung@ynu.ac.kr (*:교신저자)

Study on Pulse Width Modulation Based Molecular Communication Techniques

Seok Hwan Moon, Yu Jin Jeong, *Sung Yoon Jung (*:corresponding author)
Yeungnam Univ

요약

분자 통신은 바이오 및 나노 통신에서 기존의 전자기 통신을 대체할 수 있는 방법으로써 주목받고 있으며, 작은 크기의 분자나 나노 물질을 사용하여 데이터를 전송하는 통신 방법이다. 본 논문은 PWM 기반의 통신 방법을 분자 통신에 적용하여 분자 전송률을 확인하고 데이터를 구분하여 전송하는 방안에 대해 제안한다.

I. 서론

분자 통신은 자연의 메커니즘에서 영감을 얻은 통신 방법으로써 분자를 주요 전달 매체로 사용하여 정보를 전달한다. 인체에 무해한 분자를 사용함으로써 의학 분야에서 전자기 통신의 대안으로 연구되고 있으며 외부 에너지가 필요하지 않다는 점에서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다[1].

기존의 통신 방법에서 펄스 기반의 통신 방법은 에너지 효율성이 좋으며, 복잡성이 낮고 데이터 안정성이 높다는 장점이 있다[2]. 그 중 펄스의 폭을 기반으로 데이터를 전송하는 PWM(Pulse Width Modulation) 방식을 분자 통신에 적용한 방식에 대해 제안한다. 분자 통신에서 펄스의 폭을 이용하는 경우 전송하는 약물의 주입 시간을 결정할 수 있으며 이를 기반으로 약물의 양을 조절하거나 데이터를 구분하여 전송할 수 있다.

II. 본론

2.1 송신단

제안된 방식은 펄스의 폭을 분자 방출 시간으로 고려할 수 있으며, 전체 전송 시간에 비해 분자 방출 시간이 얼마인지를 나타내는 duty cycle을 결정함에 따라 분자 전송량을 결정할 수 있다. 그림 1은 duty cycle이 75%인 경우의 송신 신호 예시이다. 분자 방출 시간 T_s 을 조절함으로써 분자의 양을 조절할 수 있다. 이러한 방식은 데이터를 구분하거나 분자량을 조절함으로써 특정 상황에서 원하는 분자량을 보낼 수 있다.

$Q(t)$ 는 송신 신호를 나타내며 시간이 지남에 따라 보내는 분자의 농도는 모두 일정하다고 가정한다. 송신 신호의 전체 분자 농도는 분자 방출 시간 T_s 에 의해 결정된다.

그림 1에서 Q_s 는 방출되는 분자의 농도를 나타내며, T_{tx} 는 총 전송시간을 의미한다. 전체 심볼 당 분자 농도의 양은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_t = Q_s * T_s \quad (1)$$

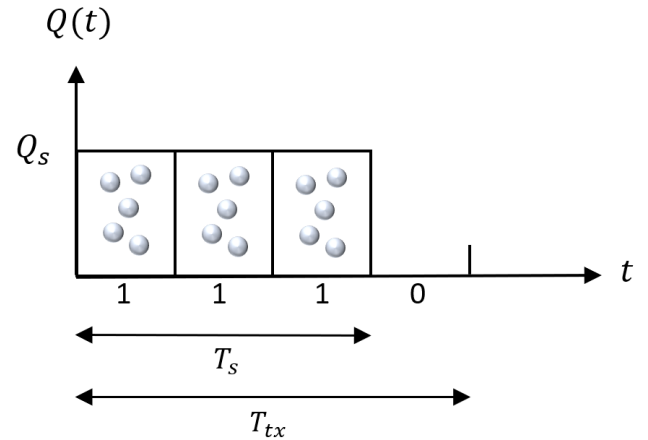


그림 1. Duty cycle 75% 송신 신호 예시

2.2 채널

분자 통신은 채널에서 분자 방출 시간 T_s 에 대해 영향을 받으며 신호가 지연되는 현상이 발생한다. 이전 신호가 다음 신호에 영향을 줄 수 있으며 ISI(Inter Symbol interference), 즉 간섭과 노이즈가 발생할 수 있다. 이로 인해 잘못된 데이터가 전송될 수 있다[3].

분자 통신 채널은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다[4].

$$C(t) = \frac{-r^2}{e^{4Dt}} \frac{3}{(4\pi Dt)^2} \quad (2)$$

$r(cm)$ 은 송신단과 수신단 사이의 거리를 의미하며 $D(cm^2/s)$ 는 확산 계수를 나타낸다. 본 논문에서는 채널에서의 분자 전파 과정은 공기 중에서의 확산으로 가정한다.

2.3 수신단

수신단에서는 채널 통과 중 발생하는 노이즈와 간섭을

고려하여 변형된 신호를 수신하게 된다. 수신된 신호는 수신단의 수용체와 충돌이 일어나고 이 과정에서 화학적 펄스가 생성되어 분자 농도를 측정할 수 있다. 이 과정을 리간드 수용체 결합 과정(Ligand Receptor Binding Process)라 한다[5]. 송신 신호에 비해 수신된 신호의 분자 농도를 확인하는 것을 통해 수신된 전송 효율을 확인할 수 있다. 도달한 수신 신호 $U(r, t)$ 는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$U(r, t) = \int_0^{T_s} \frac{Q(\tau)}{4\pi D(t-\tau)^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{\frac{-r^2}{4D(t-\tau)}} d\tau \quad (3)$$

2.4 모의실험

본 모의 실험에서는 펄스 폭 기반 전송 방식의 분자 전송량을 확인한다. 시간에 따라 방출되는 분자의 농도는 일정하기 때문에, 분자 전체 농도는 분자 방출 시간 T_s 에 의해 결정된다. 전체 농도에 비해 수신된 신호의 분자 농도를 측정함으로써 전송된 분자량을 알 수 있다. 분자의 방출 농도는 1로, 총 전송 시간은 30초로 실험을 진행하였다.

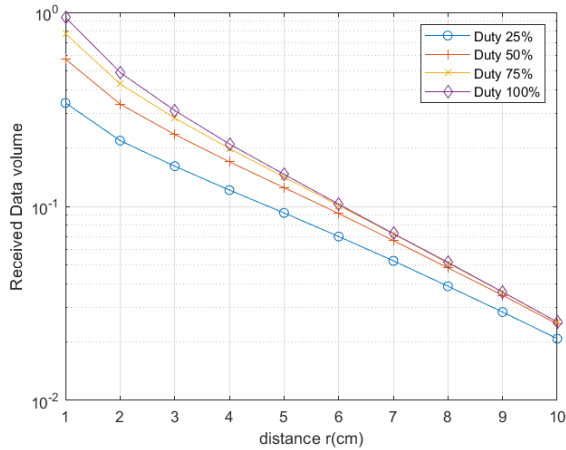


그림 2. Received Data volume

그림 2는 거리 $r(cm)$ 과 duty cycle에 따른 수신된 분자량의 변화를 보여준다. 전송 거리가 멀어짐에 따라 전체적으로 수신된 분자량이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, duty cycle이 높아짐에 따라 전송된 분자량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. $r = 1cm$ 이고 Duty cycle이 25%인 경우 송신 신호의 0.34의 분자 농도가 측정되었으며, Duty cycle이 100%인 경우 0.94의 분자 농도가 측정되었다. Duty cycle이 증가함에 따라 수신된 분자량이 늘어나고, 송신 거리가 증가하거나 Duty cycle이 100%에 근접할수록 수신되는 분자량 비율이 감소하는 현상을 확인할 수 있다.

그림 2의 결과를 기반으로 펄스 폭을 통해 데이터를 전송하는 경우에 수신된 분자의 양을 그림 2의 데이터와 가장 근접한 duty cycle의 데이터로 판단하여 복조를 진행하였다. 복조 결과를 확인하기 위해 SER(Symbol Error Rate)을 통하여 성능을 확인하였다. 그림 3에서 duty cycle이 늘어날수록 전체적인 분자의 양이 증가하고, 이에 따라 LRBP 과정이 늘어나고 분자 농도의 편차가 증가한다. 특히 duty cycle이 50%와 75%의 경우 수신된 분자의 농도의 편차가 크게 증가하여 복조가 어려울 수 있다.

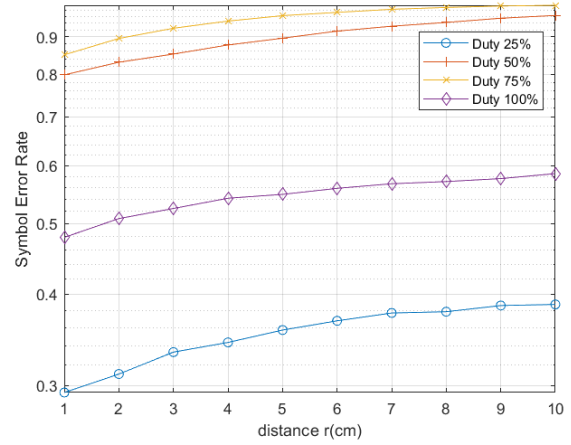


그림 3. Symbol Error Rate

III. 결론

분자 통신은 자연적인 원리에서 영감을 받아 연구가 진행중인 새로운 통신 기술이다. 현재까지의 연구에 따르면, 데이터의 전송 속도가 느리다는 단점이 존재하지만 수중이나 인체와 같은 환경에서 전자기 통신을 대체할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 펄스 기반의 통신 방법인 PWM을 분자 통신에 적용함으로써 분자 통신에서 펄스의 폭을 조절하는 것을 통해 수신된 분자량의 변화를 확인하였다. 펄스의 폭을 조절하는 방식은 분자량을 조절할 수 있으며 이는 분자 통신에서 약물의 공급 시간을 조절하는 것을 통해 약물의 양을 조절하거나 데이터를 구분하여 전송할 수 있을 것으로 예상된다.

분자 통신 환경에서 펄스 폭 기반의 방식을 사용하기 위해서는 수신단에 도달하는 분자량을 알 필요가 있으며 이를 위해서는 채널 추정 가능성이 높아야 한다. 모의 실험 결과 duty cycle이 증가함에 따라 전송된 분자량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 duty cycle이 증가함에 따라 송신한 분자량에 비해 수신되는 분자량 비율이 감소하는 경향이 있다. 전송 거리가 증가할수록 수신되는 분자량이 감소하기 때문에 효율적인 전송을 위해서는 이러한 부분들을 고려할 필요가 있다. 또한 펄스 폭을 통해 데이터를 구분하기 위해서는 노이즈의 영향을 줄일 수 있는 방법이 필요한 것으로 예상된다. 이러한 기초 연구들을 바탕으로 분자 통신의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(P0017011, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)이며 2023학년도 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고 문헌

- [1] I. F. Akyildiz, F. Brunetti, and C. Blazquez, "Nanonetworks: A new communication paradigm," *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2260-2279, 2008.
- [2] Zadeh, Maryam Kahvazi, Iman Mokari Bolhassan, and Murat Kuscu. "Microfluidic pulse shaping

methods for Molecular Communications." Nano Communication Networks (2023): 100453.

- [3] M. S. Kuran, H. B. Yilmaz, T. Tugcu, and B.Ozerman, "Energy model for communication via diffusion in nanonetworks, NanoCommunication networks," Nano Commun. Netw., vol. 1, no. 2, pp. 86-95, June. 2010.
- [4] Mahfuz, Mohammad Upal, Dimitrios Makrakis, and Hussein Mouftah. "Characterization of molecular communication channel for nanoscale networks." International Conference on Bio-inspired Systems and Signal Processing. Vol. 2. SCITEPRESS, 2010.
- [5] M. U. Mahfuz, D. Makrakis, and H. Mouftah, "Strength-based optimum signal detection in concentration -encoded pulse-transmitted OOK molecular communication with stochastic ligand-receptor binding," Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 42, pp. 189-209, Mar. 2014.