

WBAN의 에너지 소비 최적화를 위한 링크 에너지 효율 라우팅 전략

Link Energy Efficiency Routing Strategy for Optimizing Energy Consumption of WBAN

이 정 재*

Jung-jae Lee

요 약

무선 인체 영역 네트워크(WBAN)와 바이오센서를 활용하는 IoT기술은 자원을 최소화 하고 환자를 모니터링 하는 보건산업에서 중요한 분야이다. IoT와 WBAN을 보다 효율적으로 통합하기 위해서는 WBAN의 제한된 자원 센서노드와 효율적인 데이터 전송을 위한 신속 정확한 라우팅을 구성하는 협력 프로토콜이 필요하다. 본 논문은 중복 데이터 전송감지, 제한된 네트워크 센서의 수명연장 문제를 해결하기 위해 에너지 효율적이고 협력이 가능한 링크 에너지 효율적인 라우팅 전략(LEERS)을 제안한다. 제안된 기법은 잔류에너지 싱크쪽으로 가는 홉수 노드 혼잡 수준 및 대역폭과 효율적인 매개변수를 고려한다. 또한 노드의 경로비용함수를 결정하고 효과적인 멀티홉 라우팅을 제공함으로써 잔류에너지와 처리량 측면에서 효율성이 향상됨을 보인다.

☞ 주제어 : 무선인체영역네트워크, 자원센서노드, 링크에너지효율적인라우팅, 경로비용함수, 다중 홉 라우팅

ABSTRACT

IoT technology that utilizes wireless body area networks (WBAN) and biosensors is an important field in the health industry to minimize resources and monitor patients. In order to integrate IoT and WBAN, a cooperative protocol that constitutes WBAN's limited sensor nodes and rapid routing for efficient data transmission is required. In this paper we propose an energy efficient and cooperative link energy-efficient routing strategy(LEERS) to solve the problems of redundant data transmission detection and limited network sensor lifetime extension. The proposed scheme considers the hop count node congestion level towards the residual energy sink and bandwidth and parameters. In addition, by determining the path cost function and providing effective multi-hop routing, it is shown that the existing method is improved in terms of residual energy and throughput

☞ keyword : Wireless Body Area Network(WBAN), Resource Sensor Node(RSN), Link Energy Efficient Routing Strategy(LEERS), Path Cost Function, Multi-hop Routing.

1. 서 론

무선네트워크기술발전은 스마트 시티, 환경기후모니터링, 질병예측, 자율주행, 휴먼로봇, 인공지능 등과 같은 모든 삶의 분야에서 인간의 업무 방식을 변화 시키고 있다. 미국 인구조사국에 따르면, 전 세계 노인 인구는 1990년 3억 7,500만 명에서 2025년 7억 6,100만 명으로 두 배가 될 것으로 예상된다[1]. 일반적으로 노인은 다양한 만성 질환을 앓고 있으므로 적시에 정확한 진단으로 질병

을 제어할 필요가 있으며 병원에 머물거나 지속적으로 의료 전문가의 관리를 지원받는 실시간 건강 모니터링 시스템이 필요하다[2].

질병을 예측하고 관리하는 문제를 해결하기 위해 의학과 및 건강산업분야에서 인체에 이식되거나 착용할 수 있는 스마트 생체 의학 센서 노드(BSN:Biomedical Sensor Node)가 활용하여 한정된 자원들과 인체에서 데이터를 감지하여 수집하고 처리를 위해 의료 센터로 보내는 무선 인체 영역 네트워크(WBAN)가 도입되었다[3]. WBAN의 계층적인 구조는 인체노드에서 인체노드 코디네이터(BNC:Body Node Coordinator)로 데이터를 보내고 BNC와 원격의료 사이트와 통신을 하고 실시간 진단을 위해 환자의 의료정보를 기록하여 당뇨, 심박수, 혈압등의 기저 질환 데이터를 의료전문가가 환자에게 실시간으로 건강

¹ Department of Computer Information, Songwon University, Gwangju-si, 61756, Republic of Korea

* Corresponding author (jjalee@songwon.ac.kr)

[Received 23 March 2022, Reviewed 10 April 2022(R1 26 July 2022, R2 1 September 2022), Accepted 7 September 2022]

관리 메시지를 전달하는 과정으로 구성한다. 센서 노드의 배터리가 부족하고 생리 신호를 전송할 수 없는 경우 환자에게 생명을 위협 할 수 있기 때문에 센서 노드는 더 오래 생존해야 한다. 따라서 WBAN에서 BSN는 배터리 수명이 낮아 이동성으로 인한 신뢰 할 수 있는 데이터 전송을 위해서 최적의 에너지 소비는 WBAN를 유지하는데 주요한 문제이다. BSN의 자원 제한 및 단거리 통신으로 인해 경로 손실을 지향하기 위해 BSN과 BNC간의 많은 에너지를 소비하는 직접 통신은 적합하지 않다[4]. 따라서 센서 노드가 BNC로 직접 전송하는 대신 주변 노드로 데이터를 보내는 다중 홉 통신은 에너지를 효율적으로 관리할 수 있어 WBAN에 적합하다. 다중 홉 통신에서 다음 홉을 전달자 노드로 선택하는 것이 라우팅 프로토콜에서 가장 중요하며 가장 짧은 경로를 선택해야 한다. 이러한 프로토콜은 WBAN에서 높은 전력 소비로 이어지며 이를 개선하기 위해 WBAN에 대한 그린 컴퓨팅을 지원하는 링크 에너지 효율 라우팅 전략(LEERS)을 제안하고자 한다. 이는 링크 효율성을 계산하는 동안 다중 경로 손실 지향 패킷 수신 속도를 통합하고, 거리 및 잔류 에너지를 고려하여 링크 품질 계산을 한다. 정보 및 네트워크 초기화 프로세스를 고려하여 링크 효율성 및 경로비용에 초점을 두고 에너지 인식 다중 홉 링크 선택을 고려하였다. 비교 성과 평가는 WBAN 의료 환경에서 열 감지 체계, 혼잡을 고려한 WBAN에 대한 수많은 에너지 효율적인 라우팅이 예상되어 왔고 제어 기술과 배터리 효율성을 극대화하여 네트워크 수명을 연장할 수 있도록 에너지 절약예산에 초점을 맞추어 수행하였다. 2장에서는 관련연구를, 3장에서는 에너지 협동 라우팅 전략을 기술한다. 4장에서는 경로 예측 및 경로손실 모델, 노드감지와 제안된 LEERS를 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션 결과를, 6장은 결론으로 구성된다.

2. 관련연구

WBAN에서 맞춤형 분석을 위해 의료 관련 서버에 적시에 전송하는 것이 가장 중요하며 제어 기술과 배터리 효율성을 극대화하여 네트워크 수명을 연장해야 한다. WBAN의 작업 구조, 열에 민감한 체계, 혼잡과 같은 다양한 목적을 위해 수많은 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜이 개발되고 있다. Javid et al[5]등은 WBAN을 위한 적응형 임계값 기반 열 인식 에너지 효율적인 멀티 홉 프로토콜(M-ATTEM:Mobility-Adaptive Threshold Thermal Energy

Multi-hop)을 제안하였다. 저자는 인체에 이중의 BSN을 사용하고 민감한 데이터 트래픽과 주문형 데이터 트래픽은 직접 통신을 하고 일반 데이터 트래픽은 멀티 홉 통신을 사용하였다. M-ATTEM은 WBAN의 이동성과 인식된 센서노드에 의해 발생한 열 문제를 해결하였으나 데이터 패킷을 받은 후 노드의 온도가 임계값 수준에 도달하면 해당 패킷을 재전송 함으로서 에너지 소비가 더 많고 네트워크 안정성이 감소한다.

Ullah et al.[6]은 에너지 효율적인 Harvested-aware 클러스터링 및 협력기반 라우팅 방식 E-HARP(Energy-efficient Harvested-aware Clustering and Cooperative-based Routing Protocol for WBAN)을 제시하였다. E-HARP는 다양한 네트워크 관련 매개변수를 고려하고 싱크 노드에 대한 최적의 전달자 노드를 선택하는 다중 속성 기반 수확 에너지 라우팅 프로토콜로 감지된 데이터가 필요할 때 전송을 하게 된다. SNR, 잔여 에너지, 총 에너지 및 전송 전력과 같은 4가지 주요 매개변수를 사용하는 클러스터 헤드(CH)를 선택하여 비용 함수를 결정하게 된다. 복제된 데이터는 SN에 의해 CH로 전달되지 않으며 데이터를 전송하기 전에 이전 라운드와 중복 가능성이 있는지 확인하고 따라서 전송 풀에서 중복 데이터를 제거하여 네트워크 에너지의 많은 부분을 절약할 수 있다.

Awan et al.[7]은 IoT를 기반으로 우선순위 기반 혼잡 회피 라우팅 방식인 PCR(Priority-based Congestion-avoidance Routing Protocol)를 제안하였다. 데이터 전송을 위해 다중 홉 통신을 사용하고 효율성을 높이기 위해 서비스 품질(QoS) 및 긴급 데이터를 전달할 혼잡 없는 경로를 선택한다. 저자는 잔류 에너지(RE), 노드 혼잡 수준(NCL) 및 SNR을 기반으로 한 적합성 함수를 사용하였으며 매우 중요한 데이터의 경우 우선 순위 비트를 고려하였다.

Choudhary et al[8]은 저전력 에너지 예산 기반 다중 속성 의사 결정 알고리즘(EB-MADM)을 제시 하였다. 이 기법에서 각 라운드에서 최적의 클러스터 헤드는 잔류 에너지 및 낮은 에너지 소비와 같은 여러 요소를 기반으로 선택되며 EB-MADM은 협력적인 노력을 한다. 연속 라운드에서 중복 데이터를 전송하지 않음으로써 전송 에너지를 절약하며 시뮬레이션 결과에서 네트워크 안정성, 전파 지연, 처리량 및 네트워크 수명 측면에서 더 나은 성능을 보인다.

Sahndhu et al[9]등은 WBAN의 에너지 활용도의 균형을 맞추기 위해서 균형 에너지 소비(BEC:Balanced Energy Consumption)를 제안하였다. 이 프로토콜은 다중 홉 토폴

로지의 가장 먼 노드에서 BNC로 데이터를 전송하며 릴레이 노드는 Ahmed et al[8]이 제안한 경로비용함수를 기준으로 초기 단계에서 선출된다. 다른 모든 BSN은 시간 분할 다중 액세스(TDMA: Time Division Multiple Access)를 사용하여 지정된 릴레이 노드로 데이터를 보낸다. 임계값보다 에너지가 적은 노드는 중요한 데이터만 전달하며 프로토콜은 패킷 전달을 촉진하고 네트워크의 패킷 손실을 감소시킨다.

3. 에너지 절약 협동 라우팅

본 논문에서는 Heinzlman et al[10]등이 제안한 에너지 소비 모델을 인용한다. CH에서 Base Station(BS)까지의 전송 거리, 여유 공간 모델 및 다중 경로 페이딩 채널 두 모델을 종합적으로 분석하며 다중경로 페이딩 채널 모델만 고려하는 경우와 다르다. 따라서 총 에너지 소비를 표현하기 위해 $E_T = (e, d)$ 는 무선전송노드에서 e 비트의 정보를 전송하는데 필요한 에너지를 나타내며 식 (1)로 표현된다.

$$E_T = (e, d) = \begin{cases} e \times (E_{elec} + \epsilon_{fs} d^2), & d < d_0 \\ e \times (E_{elec} + \epsilon_{fs} d^2), & d < d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$E_R(e)$ 는 e 비트의 정보를 수신하는데 필요한 에너지이며 식 (2)로 표현된다.

$$E_R(e) = E_{elec} \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)에서 E_{elec} 는 송신노드 또는 수신노드에서 비트당 소비되는 에너지이고 d 는 송신노드와 수신노드 사이의 거리이다. 식 (2)에서 $d < d_0$ 일 때 ϵ_{fs} 는 비트당 에너지 인자로 작용하고 반대의 경우 다중 경로 페이딩 채널모델이 사용되며 ϵ_{mp} 는 비트당 에너지 인자이고 d_0 은 거리 임계값이다. 또한 다중 경로 페이딩에 독립 변수로 입력되면 식 (3)으로 표현된다,

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (3)$$

데이터 전송의 각 라운드에서 클러스터 멤버 노드는 이웃의 정보를 감지하고 해당 클러스터의 클러스터 해

드로 전송한다. 따라서 e 비트 정보를 전송하는데 소모되는 에너지의 계산식은 식(4)로 정의된다.

$$E_{non-CH} = e \cdot E_{elec} + e \cdot \epsilon_{fs} d^2 \quad (4)$$

식 (4)에서 d^2 은 클러스터 멤버 노드에서 CH까지의 거리를 나타낸다. CH는 클러스터의 구성원 노드로부터 정보를 수신한 다음 이웃에서 감지한 정보는 결국 병합된 정보로 베이스 스테이션에서 제공한다. 이 논문에서 데이터 전송의 각 라운드에서 정보가 CH에서 처리한 후 얻은 크기는 e 비트이며 그 과정에서 소비되는 에너지는 식 (5)로 계산된다.

$$E_{CH} = \left(\frac{n}{k} - 1 \right) \cdot e \cdot E_{elec} + \frac{n}{k} \cdot e \cdot E_{DA} + e \cdot E_{elec} \quad (5) \\ + \left(\frac{e \epsilon_{fs} d^2, d < d_0}{e \epsilon_{mp} d^4, d \geq d_0} \right)$$

식 (5)에서 n 은 모니터링 영역에서 생존하는 노드의 수, k 는 분할할 클러스터의 수, E_{DA} 는 데이터의 수신 데이터 및 감지 데이터를 처리하기 위해 CH에서 소비하는 에너지, d 는 CH와 BS사이의 거리이다.

4. 경로예측과 경로손실 모델

4.1 경로비용예측

대부분의 기존 프로토콜은 싱크로부터 코디네이터까지의 최단 경로를 선택하고 다음 홉 선택을 위한 링크 효율성을 고려한다. 이 접근 방식은 총 에너지에 대한 경로 비용 예측(PCP), Hop-count(HC), 링크 효율(LE), 거리(d) 및 노드 혼잡 레벨(NCL)노드를 식 (6)과 같이 표현한다. PCP의 최소값은 다음 홉을 선택하는 데 사용된다.

$$PCP = \frac{(\alpha \cdot RE + \beta \cdot \leq + \gamma \cdot HC + \delta \cdot d + \omega \cdot NCL)}{SNR} \quad (6)$$

여기서 α 는 TE, β 는 LE, γ 는 HC에 대한 가중치이고 d 는 신호대잡음비이고 RSN간의 비컨 메시지 교환을 기반으로 경로 손실이 계산된다. 만약에 경로 손실이 심하면 네트워크 품질이 좋지 않은 것이고 경로 손실이 낮을수록 품질이 좋다. WBAN을 위한 개발에서는 에너지 중심

의 경로 손실 모델을 사용하고 최적의 전달자 노드를 선택하기 위해서는 거리가 중요하다. 각 가중치는 $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ 이 되도록 우선순위에 따라 $\alpha = 0.4, \beta = 0.3, \gamma = 0.2, \delta = 0.1$ 의 값을 다음 홉 선택에서 각 파라미터에 우선순위를 부여하기 위해 가중치값을 할당한다. 만약에 CNC의 위치는 중심 노드 축을 X_0 및 Y_0 , 소스 노드의 위치는 X_1 및 Y_1 축이라 할 때 중심 노드에서 센서노드의 거리는 유클리드 거리로 식(7)과 같이 계산한다.

$$d_{(sink,SN)} = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} \quad (7)$$

4.2 경로손실

WBAN에서 무선 신호 전파는 인체의 다양한 환경의 그림자 및 페이딩 효과로 경로 손실 예측 모델에 대한 최근 연구에서 사용된 Friis 기반 경로 손실 모델을 이용한다[10]. 더 복잡한 경로 손실 예측 모델을 사용하려면 신호 특성은 더 많은 계산이 필요하여 에너지가 더 소비된다. WBAN한 에너지 중심 통신 모델 개발을 고려하여 단순한 경로 손실 모델을 사용한다. 이 모델은 PL을 노드 사이의 거리 d 의 선형 함수로 정의한다. 노드 i 와 노드 j 사이의 데시벨의 단위 경로 손실은 식 (8)과 같이 공식화 한다.

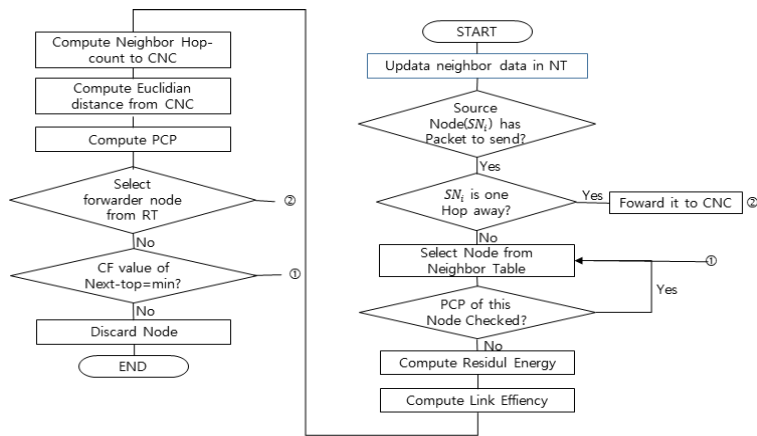
$$PL_{i,j}(d) = PL_0 + 10(n)\log_{10} \frac{d_{i,j}}{d_0} + X_\delta \quad (8)$$

식 (8)은 시뮬레이션에서 10cm로 간주되는 기준 거리 d_0 에서의 경로 손실이고, n 은 자유 공간에서 2로 간주되는 경로 손실 계수이고 X_δ 는 가우스 확률 변수를 나타내고 δ 는 표준 편차이다. PL_0 는 식(9)로 유도된다. s 는 빛의 속도이고 λ 는 파장을 나타낸다.

$$PL_0 = 10\log_{10} \frac{(4\pi d_0)^2}{s\lambda^2} \quad (9)$$

4.3 노드감지와 LEERS

제안된 프로토콜 단계의 BNC는 헬로 패킷정보, 홉수 및 BNC까지의 거리를 포함하는 헬로패킷(HP:Hello Packet)를 브로드캐스트 한다. 모든 BSN은 Routing Table(RT)에서 이웃의 정보를 업데이트 하여 프로토콜의 라우팅 효율성을 개선하기 위해서는 패킷 포워딩을 통해 가장 적합한 다음 홉을 선택한다. 제안기법은 식(6)에 명시된 경로 비용 예측 기반으로 이러한 결정을 내리며 다음 홉에서는 경로 비용의 값이 최소인 것을 선택한다. 제안된 플로우차트의 그림 1과 같이 다음 홉을 선택하면 BSN은 선택된 노드로 데이터 패킷을 전송하여 패킷을 BNC에 추가로 HP를 브로드캐스트하여 인체의 상태와



(그림 1) 제안된 링크 에너지 효율 라우팅 전략 (Figure 1) Proposed of Link Energy Efficiency Routing Strategy(LEERS).

위치를 전달하고 모든 BSN은 BNC태의 위치 정보를 수신하고 저장한다.

5. 시뮬레이션

성능 평가는 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 제안된 LEERS, E-HARP[6], PCRP, EB-MADM[8] 기술과 비교한다. 각 센서는 한 라운드에서 데이터 패킷을 감지하고 총 시간은 1라운드부터 마지막 라운드까지 측정된다. 잔류 에너지, 네트워크 처리량 측면에서 현재의 다른 방법과 함께 점검된다. 제안된 WBAN 체계에 사용되는 토폴로지는 중앙 노드 코디네이터(CRC:Central Node Coordinator) 10개, SN과 2개의 싱크 노드와 배치된 작은 센서는 인체의 의료 데이터를 감지한다. 포도당, BP, EMG, ECG 및 기타 중요한 의료 파라미터가 제시되고 감지된 데이터는 CNC로 전달되어 필요한 추가 처리를 수행한다. 시뮬레이션의 세부사항은 아래 표 1에 제시되어 있다.

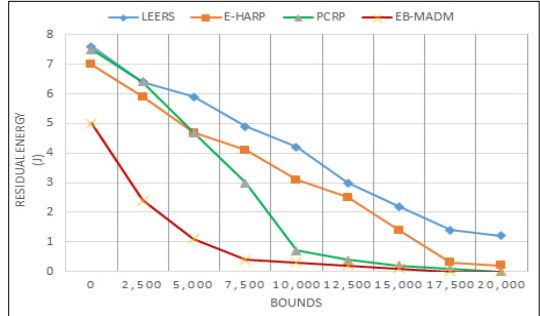
(표 1) 시뮬레이션 파라미터
(Table 1) Simulation Parameters

| Parameters | Values |
|--|-------------------|
| Initial energy | 0.5J |
| Total SN_s | 10 |
| Number of SN Nodes | 2 |
| Energy Consumption and Data Transmission | 17nj/bits |
| Energy aggregation | 2nj/bits |
| Wavelength(λ) | 0.138m |
| Frequency(f) | 2.4 Ghz |
| Payload | 3000bits |
| Simulation area | $2.1 \times 2m^2$ |

5.1 잔류에너지

잔류 에너지는 전개된 센서 네트워크에 있는 SN의 잔류 에너지로 데이터 감지, 저장, 수신 및 전달, 처리 등과 같은 다양한 작업에 의해 소비된다. 에너지 소비는 WBAN과 같은 배터리 작동 장치가 있는 네트워크의 매개 변수를 소비하며 제시된 LEERS은 에너지 사용 측면에서 좋은 성과를 보여준다. 시뮬레이션에서 제안된 LEERS과 E-HARP의 에너지 고갈 과정은 비율이 거의 같았다. 제안된 방법의 에너지는 거의 20,000회까지 지속되었고 EB-MADM의 에너지가 매우 빠르게 고갈되어 12,500라운드에서 완전히 소진되어 성능이 좋지 않았다. 또한 PCRP

는 에너지가 14,000라운드까지만 지속되어 잔존에너지 고갈에 대해 제대로 실행되지 않았다.



(그림 2) 잔류 에너지
(Figure 2) Residual Energy

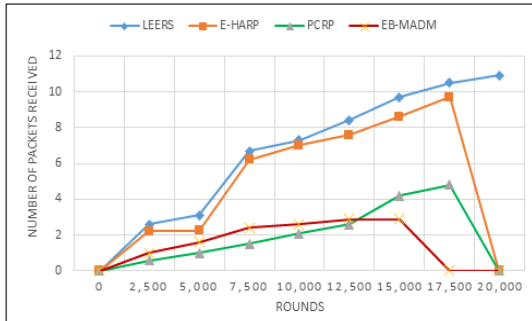
5.2 네트워크 처리량

주어진 시간 내에 SN에서 SN 또는 싱크/조정기 노드로 데이터를 전송하는 것이 효과적이고 단위 시간 당 더 많은 패킷처리량은 WBAN에 성공적인 전송으로 간주된다. 그림3과 같이 처리량은 데이터 전송을 위한 체계나 프로토콜을 판단할 때 가장 중요한 매개 변수 중 하나로 높은 처리량은 더 나은 성능을 의미한다. 처리량 시뮬레이션의 초기 단계에서 비교 프로토콜들 사이의 변동은 7,500라운드 이후 뚜렷하게 증가하였고 7500라운드 때 LEER 처리량이 5000라운드 때 3회보다 2배 이상 증가하기 때문이다. 제안된 프로토콜은 전체적으로 20,000초 동안 10.7×10^4 를 달성하였으며,

반면에 다른 프로토콜들은 4.7×10^4 를 초과하지 않았다. LEERS가 처리량 측면에서 더 나은 성능을 보이는 주된 이유는 SNR, 링크 품질 등 전송 전 통신 링크의 다양한 매개 변수를 고려하기 때문이다.

6. 결 론

네트워크 수명 연장 및 주어진 시간 제약 조건에서 긴급 데이터 전달은 WBAN의 주요 필수 사항이다. 따라서 본 연구에서는 트래픽의 혼잡이 적은 자유로운 데이터 전달 경로를 선택하는 제안된 LEERS과, E-HARP, PCRP, EB-MADM를 비교하였다. 그림 2,3에서 제안된 프로토콜은 잔류 에너지 소비, 네트워크 처리량 측면에서 우수함을 보였다. 향후 전송 데이터 인증 보안, WBAN 링크 품질



(그림 3) 네트워크 처리량
(Figure 3) Network Throughput

질 향상 메트릭스를 통해 제한된 작업을 확장하고자 한다.

감사의글

본 논문은 2022년도 송원대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌(Reference)

- [1] Cao, Y., Kaiwartya, O., Zhuang, Y., Ahmad, N.; Sun, Y., Lloret, J., "A Decentralized Deadline-Driven Electric Vehicle Charging Recommendation," IEEE Systems Journal, vol. 13, Issue 3, 3410-3421, 2019. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2018.2851140>
- [2] Kasana, R., Kumar, S., Kaiwartya, O., Kharel, R.; Lloret, J., Aslam, N., Wang, T., "Fuzzy based Channel Selection for Location Oriented Services in Multichannel VCPS Environments," IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, Issue 6, 4642-4651, 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2796639>
- [3] Masud, F., Masud, A.H., Abdullah, A.H., Abdul-Salaam, G., Ullah, F., "Traffic adaptive MAC protocols in wireless body area networks," Wireless Communication Mobile Computing, vol. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8267162>
- [4] Ahmed, G., Jianhua, Z., Fareed, "PERA: Priority-Based Energy-Efficient Routing Algorithm for WBANs," Wireless Personal Communications, 96, 4737 - 4753, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4415-9>
- [5] Javaid, N., Ahmad, A., Nadeem, Q., Imran, M., Haider, N., "iM-SIMPLE: iMproved stable increased-throughput multi-hop link efficient routing protocol for Wireless Body Area Networks," Computers in Human Behavior, 51, 1003 - 1011, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.005>
- [6] Ullah, Z., Ahmed, I., Khan, F.A., Asif, M., Nawaz, M., Ali, T., Khalid, M., Niaz, F., "Energy-Efficient Harvested-Aware Clustering and Cooperative Routing Protocol for WBAN (E-HARP)," IEEE Access 2019, vol. 7, 100036 - 100050, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2930652>
- [7] Awan, K.M., Ashraf, N., Saleem, M.Q., Osama, E., Sheta, E.S., Qureshi, K.N., Zeb, A., Haseeb, K., "A priority-based Congestion-Avoidance Routing Protocol using IoT-based Heterogeneous Medical Sensors for Energy Efficiency in Healthcare Wireless Body Area Networks," International Journal of Distributed Sensor Networks, 2019. <https://doi.org/10.1177/1550147719853980>
- [8] Choudhary, A., Nizamuddin, M., Singh, M.K., Sachan, V.K., "Energy Budget Based Multiple Attribute Decision Making (EB-MADM) Algorithm for Cooperative Clustering in Wireless Body Area Networks," J. Electr. Eng. Technol., 14, 421 - 433, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42835-018-00006-8>
- [9] Sandhu, M.M., Javaid, N., Imran, M., Guizani, M., Khan, Z.A., Qasim, U., "BEC: A novel routing protocol for balanced energy consumption in Wireless Body Area Networks," in Proc. of 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 653 - 658, 2015. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2015.7289160>
- [10] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H., "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proc. of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, p. 10, Maui, HI, USA, 7 January 2000. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>

● 저 자 소 개 ●



이 정 재(Jung-jae Lee)

1986년 조선대학교 전산공학과(공학사)

1986년 조선대학교 대학원 전산공학과(공학석사)

1997년 조선대학교 대학원 전산통계학과(이학박사)

1997년~현재 송원대학교 컴퓨터정보학과 교수

관심분야 : 인공지능, 빅데이터, WBAN헬스케어

E-mail : jjalee@songwon.ac.kr