

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0094483 (43) 공개일자 2014년07월30일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H04W 40/10 (2009.01) H04W 40/16 (2009.01) H04W 84/18 (2009.01) (21) 출원번호 10-2014-0067232(분할) (22) 출원일자 2014년06월02일 심사청구일자 2014년06월02일 (62) 원출원 특허 10-2011-0018259 원출원일자 2011년03월01일 심사청구일자 2012년06월21일 기술이전 희망 : 기술양도		(71) 출원인 울산대학교 산학협력단 울산광역시 남구 대학로 93 (72) 발명자 권성오 울산광역시 남구 문수로409번길 20, 104동 301호 (신정동, 문수로아이파크) (74) 대리인 김중선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 8 항

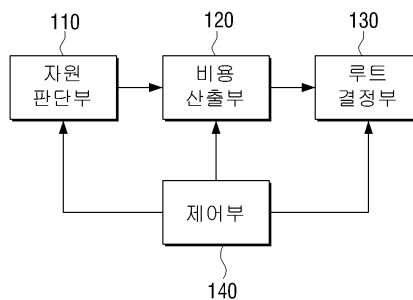
(54) 발명의 명칭 네트워크 시스템 및 그 라우팅 방법

(57) 요약

멀티-홉 무선 네트워크의 라우팅 방법이 개시된다. 복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크의 라우팅 방법은, 네트워크에 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정하는 단계, 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면, 소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 수신 노드에서 측정된 간섭, 및 노드들의 잔여 에너지 상태를 포함하는 가중치 요소에 기초하여 링크 비용을 산출하는 단계 및, 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2

100



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 9991005403

부처명 미래창조과학부

연구사업명 일반연구자지원(미래부)

연구과제명 그린 펌토셀 네트워크를 위한 에너지 효율적인 프로토콜 및 알고리즘 개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산대학교

연구기간 2012.05.01 ~ 2016.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크의 라우팅 방법에 있어서,

네트워크에 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정하는 단계;

상기 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면, 소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 상기 수신 노드에서 측정된 간섭, 및 상기 노드들의 잔여 에너지 상태(W)가 모두 고려된 가중치 요소에 기초하여 링크 비용을 산출하는 단계; 및

상기 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하는 단계;를 포함하고,

상기 링크 비용을 산출하는 단계 및 최소 비용 경로를 결정하는 단계는,

하기의 수학식에 따라 동작하는 라우팅 방법.

[수학식]

$$\begin{aligned} & \arg \min_R \sum_{l \in R} W \Delta E_l^* \\ & \text{subject to } P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

(여기서, ΔE_l^* 는 링크 l 에서 들어오는 새로운 플로우에 대한 네트워크 상에서의 최소 에너지 증가를 나타내고, W 는 새로운 플로우가 네트워크로 도달할 때 노드들의 잔여 에너지 함수인 가중치 벡터이고, P 는 전송 전력이고, $\theta(l)$ 은 링크 l 에서의 SINR이고, $c(l)$ 은 SINR 구간 동안 링크 l 의 최소 요구이며, ε_n 은 노드 n 에서의 잔여 에너지를 나타냄)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 가중치 요소는,

상기 송신 노드에서 초기 에너지에 대한 감소된 에너지 비율 및 상기 송신 노드에서의 에너지 보충율에 대한 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 라우팅 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자원은,

상기 복수의 노드들 중 적어도 하나의 배터리 에너지 및 전송 전력 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 라우팅 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 최소 비용 경로를 결정하는 단계는,

상기 산출된 링크 비용에 최단 경로 알고리즘을 적용하는 것을 특징으로 하는 라우팅 방법.

청구항 5

복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크 시스템에 있어서,

네트워크에 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정하는 자원 판단부;

소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 상기 수신 노드에서 측정된 간섭, 상기 노드들의 잔여 에너지 상태가 모두 고려된 가중치 요소에 기초하여 링크 비용을 산출하는 비용 산출부;

상기 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하는 경로 결정부; 및

상기 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면 상기 비용 산출부가 상기 링크 비용을 산출하도록 제어하는 제어부;를 포함하고,

상기 비용 산출부 및 경로 결정부는,

하기의 수학적식에 따라 동작하는 무선 네트워크 시스템.

[수학적식]

$$\begin{aligned} & \arg \min_R \sum_{l \in R} W \Delta E_l^* \\ & \text{subject to } P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

(여기서, ΔE_l^* 는 링크 l 에서 들어오는 새로운 플로우에 대한 네트워크 상에서의 최소 에너지 증가를 나타내고, W 는 새로운 플로우가 네트워크로 도달할 때 노드들의 잔여 에너지 함수인 가중치 벡터이고, P 는 전송 전력이고, $\theta(l)$ 은 링크 l 에서의 SINR이고, $c(l)$ 은 SINR 구간 동안 링크 l 의 최소 요구이며, ε_n 은 노드 n 에서의 잔여 에너지를 나타냄)

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 가중치 요소는,

상기 송신 노드에서 초기 에너지에 대한 감소된 에너지 비율 및 상기 송신 노드에서의 에너지 보충율에 대한 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 네트워크 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 자원은,

상기 복수의 노드들 중 적어도 하나의 배터리 에너지 및 전송 전력 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 네트워크 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 경로 결정부는,

상기 산출된 링크 비용에 최단 경로 알고리즘을 적용하여 상기 최소 비용 루트를 결정하는 것을 특징으로 하는 무선 네트워크 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 네트워크 시스템 및 그 라우팅 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 에너지 효율적인 알고리즘에 따라 라우팅을 수행하는 네트워크 시스템 및 그 라우팅 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 에너지는 무선 네트워크에서 중요한자원이다. 많은 멀티-홉 네트워크 시나리오에서, 노드들은 배터리로 동작하고, 이에 따라 네트워크를 통한 연결을 보장하기위한 효과적인 에너지 관리를 필요로 한다.

[0003] 무선 네트워크들이 전원 단자에 연결되어 에너지 공급에 문제가 없는 경우에도 전송 링크들 사이의 간섭 때문에 네트워크들은 단위 시간(전력) 당 과다 에너지를 요구할 수 있고, 전반적인 성능이 감소하게 된다. 에너지 효율성은 네트워크 수명 또는 네트워크 용량에 직접적으로 연결되기 때문에, 무선 네트워크 통신에서 에너지 효율적인 네트워크를 연구하기 위한 많은 노력이 있어 왔다([1] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, and P. Agrawal, "A survey of energy efficient network protocols for wireless networks," ACM Journal of Wireless Networks (WINET), vol. 7, no. 4, July 2001.). 무선 센서 네트워크([2] I. F. Akyildiz, W. Sue, Y. Sankarasubramanian, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, August 2002.) 및 무선 메쉬 네트워크([3] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," Computer Networks, vol. 47, no. 4, pp. 445-487, March 2005.)와 같은 멀티 홉 무선 네트워크의 경우에 있어서, 효율적인 라우팅 알고리즘은 네트워크 성능에 중요하다. 멀티 홉 무선 네트워크의 에너지 효율성은 또한 스마트 그리드([4] IEEE, "IEEE Smart Grid," <http://smartgrid.ieee.org/>, 2010.)에서 센서 네트워크의 증가하는 중요성 때문에 많은 연구가 행해지고 있다.

[0004] 이전 연구들에서 네 개의 주요 요소들 즉, 전송 전력, 간섭, 잔여배터리 에너지, 에너지 충전이 에너지 효율적인 라우팅에 이용되었다. 하지만, 이전 연구들은 도 1에 도시된 바와 같이 무선 통신 시스템의 주요 요소들 중 일부만을 고려해왔다. 예를 들어, 참고문헌 [5]([5] T. Hou and V. O. K. Li, "Transmission range control in multihop packet radio networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 34, no. 1, pp. 38-44, 1986.)에서 에너지 효율적인 라우팅 방법은 멀티-홉 무선 네트워크에서 최소 에너지(Minimum Energy: ME) 전송 경로를 발견하도록 발전되었지만, 이들 알고리즘은 다른 링크에 대한 간섭, 배터리 에너지들을 전혀 고려하지 않는다. 참고문헌 [6]([6] R. Manohar and A. Scaglione, "Power optimal routing in wireless networks," in IEEE International Conference on Communications (ICC)'03, May 2003, vol. 4, pp. 2979-2984.)에서 end-to-end QoS 제약을 연구하였지만, 네트워크의 간섭 및 전력 요구 상에서의 새로운 서비스를 라우팅하는 영향을 무시한다. 즉, 네트워크에서 계속 진행 중인 플로우와 간섭하는 새로운 서비스를 라우팅하는 방법을 고려하지 않는다. 참고문헌 [7], [8], ([8] J. Stevens, Spatial Reuse through Dynamic Power and Routing Control in Common-Channel Random-Access Packet Radio Networks, Ph.D. thesis, University of Texas at Dallas, 1988., [8] M. B. Pursley and H. B. Russell, "Routing in frequency-hop packet radio networks with partial-band jamming," IEEE Transactions on Communications, vol. 41, no. 7, pp. 1117-1124, 1993.)에서, 라우팅을 위한 매트릭스로서 링크들 사이의 간섭들만을 이용하는 경로를 선택한다. 참고문헌 [7]에서 최소 간섭 라우팅(Least-Interference Routing: LIR) 알고리즘은 전송에 의해 야기되는 간섭량을 최소화하도록 제안되고, 참고문헌 [8]에서 최소 저항 라우팅(Least-Resistance Routing: LRR)은 전송에 의해 부딪히게 되는 간섭량을 최소화하도록 개발된다. 참고문헌 [7], [8]에서 이러한 알고리즘들은 에너지 효율성 및 잔여 에너지를 명확히 고려하지 않고, 단지 간섭만을 고려하기 때문에 에너지 효율적인 전송 경로를 선택하는 결과가

될 수 있다.

- [0005] 참고문헌 [9], [10], ([9] S. Singh, M. Wu, and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad-hoc networks," in ACM MobiCom' 98, October 1998, pp. 181-190., [10] L. Lin, N. B. Shroff, and R. Srikant, "Asymptotically optimal energy-aware routing for multihop wireless networks with renewable energy sources," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 15, no. 5, pp. 1021-1034, 2007.)에서, 잔여 에너지는 네트워크 성능을 개선하는데 중요한 역할을 한다는 점을 보여주고, 이러한 관점에 기초하여 전력 인지(power-aware) 알고리즘을 제안한다. 참고문헌 [9]에서 최대 배터리 용량(Maximum Battery Capacity: MBC) 알고리즘은 라우팅 요소로서 단지 잔여 배터리 에너지만을 고려하고, 가중치 최소 에너지(Weighted Minimum Energy :WME) 라우팅 알고리즘은 부가적인 에너지 요소를 고려하며, 그들은 동작 링크 사이에서의 간섭은 고려하지 않는다. 참고문헌 [10]에서 재생 가능한 에너지 경우를 위한 에너지 E-WME(Energy-opportunistic Weighted Minimum Energy E-WME) 라우팅 알고리즘을 제안한다. 하지만, E-WME은 여전히 네트워크 상의 간섭의 영향을 무시한다. 참고문헌 [11] ([11] S.Kwon and N. B. Shroff, "Energy-efficient sinr-based routing for multihop wireless networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 8, no. 8, pp. 668-681, 2009.)에서, 링크들 사이의 간섭이 네트워크 성능에 중요하게 영향을 미친다는 점을 보여주고, OptSINR(Optimal SINR Routing)이라 불리는, 에너지 효율적 간섭 기반 라우팅 알고리즘(energy-efficient interference-based routing algorithm)을 제안한다. 하지만, 잔여 에너지는 고려되지 않는다. 실질적으로, 4 개의 키 요소들, 전송 전력, 간섭, 잔여배터리 에너지, 에너지 충전은 에너지 효율적인 전송 경로를 찾는 선택에 영향을 미친다. 하지만, 이전 연구들이 이러한 매트릭스 들 중 하나 이상을 무시하였기 때문에, 결과적인 알고리즘들은 이러한 요소들이 모두 중요한 역할을 하는 실질적인 무선 환경에서 에너지 효율적이지 못할 수 있다. 따라서, 이러한 중요한 요소들을 모두 고려하는 간단하고, 에너지 효율적인 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

[0006]

선행기술문헌

비특허문헌

- [0007] (비특허문헌 0001) Dennis Gabor Chair, "Power-aware ad hoc cognitive packet networks." elsevier, 2004

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 따라서, 본 발명의 목적은, 무선 네트워크의 성능을 최대화하기 위하여, 무선 자원과 제약 사항을 고려한 라우팅 알고리즘(전송 경로를 찾는 방안)을 구현하는 방법 및 그를 이용한 장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크의 라우팅 방법은, 네트워크에 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정하는 단계, 상기 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면, 소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 상기 수신 노드에서 측정된 간섭, 및 상기 노드들의 잔여 에너지 상태를 포함하는 가중치 요소에 기초하여 링크 비용을 산출하는 단계 및, 상기 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0010] 여기서, 상기 가중치 요소는, 상기 송신 노드에서 초기 에너지에 대한 감소된 에너지 비율 및 상기 송신 노드에서의 에너지 보충율에 대한 정보를 포함할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 자원은, 상기 복수의 노드들 중 적어도 하나의 배터리 에너지 및 전송 전력 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 최소 비용 경로를 결정하는 단계는, 상기 산출된 링크 비용에 최단 경로 알고리즘을 적용할 수

있다.

[0013] 한편, 본 발명의 일 실시 예에 따른 복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크 시스템은, 네트워크에 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정하는 자원 판단부, 소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 상기 노드들의 잔여 에너지 상태를 포함하는 가중치 요소에 기초하여 전송을 위한 비용을 산출하는 비용 산출부, 상기 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하는 경로 결정부 및 상기 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면 상기 비용 산출부가 상기 링크 비용을 산출하도록 제어하는 제어부를 포함한다.

[0014] 여기서, 상기 가중치 요소는, 상기 송신 노드에서 초기 에너지에 대한 감소된 에너지 비율 및 상기 송신 노드에서의 에너지 보충율에 대한 정보를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 자원은, 각 노드들의 배터리 에너지 및 전송 전력 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 경로 결정부는, 상기 산출된 링크 비용에 최단 경로 알고리즘을 적용하여 상기 최소 비용 루트를 결정할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 이에 따라 전송 전력, 링크(또는 루트) 간의 간섭, 잔여 배터리 에너지, 에너지 보충의 네 가지 요소를 모두 고려하는 라우팅 방법을 제공할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 종래기술의 문제점을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 네트워크 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 이해를 돕기 위한 시스템 설정을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알고리즘과 기존 알고리즘과의 성능을 비교 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 네트워크의 라우팅 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0020] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 네트워크 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

[0021] 도 2에 따르면 무선 네트워크 시스템(100)은 자원 판단부(110), 비용 산출부(120), 경로 결정부(130) 및 제어부(140)를 포함한다.

[0022] 본 무선 네트워크 시스템이 적용되는 무선 네트워크는 예를 들어, 복수의 노드들 및 각 노드들 간의 통신 링크로 구성되는 멀티-홉 무선 네트워크가 될 수 있다.

[0023] 자원 판단부(110)는 무선 네트워크에 입력되는 서비스(서비스 플로우)에 대해 이용가능한 자원이 있는지 여부를 결정한다. 여기서, 자원은, 각 노드들의 배터리 에너지 및 전송 전력 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0024] 비용 산출부(120)는 무선 네트워크를 구성하는 소정의 송신 노드 및 수신 노드 간의 경로 이득, 노드들의 잔여 에너지 상태를 포함하는 가중치 요소에 기초하여 전송을 위한 링크 비용을 산출한다. 여기서, 가중치 요소는, 송신 노드에서 초기 에너지에 대한 감소된 에너지 비율 및 상기 송신 노드에서의 에너지 보충율에 대한 정보를 포함할 수 있다.

[0025] 경로 결정부(130)는 비용 산출부(120)에 의해 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정한다.

[0026] 또한, 경로 결정부(130)는 산출된 링크 비용에 최단 경로 알고리즘을 적용하여 최소 비용 경로를 결정할 수 있다.

[0027] 제어부(140)는 네트워크로 입력되는 서비스에 대해 이용가능한 자원이 있다고 결정되면 비용 산출부(120)가 링

크 비용을 산출하도록 제어한다.

[0028] 또한, 제어부(140)는 비용 산출부(120)에 의해 산출된 링크 비용에 기초하여 최소 비용 경로를 결정하도록 경로 결정부(130)를 제어할 수 있다.

[0029] 이하에서는 본 발명이 적용되는 네트워크 시스템 모델을 설명하고, 본 발명의 실시 예를 자세히 설명하도록 한다.

[0030] 1. 시스템 모델

[0031] 본 발명에서는 멀티-홉 라우팅을 지원하는 전력 제어 무선 네트워크를 고려한다. 즉, 각 노드는 자신의 전송 전력을 제어할 수 있다. 또한, 서비스의 변화는 전력 제어 시간보다 훨씬 큰 시간 스케일에 걸쳐 있으며, 전력 제어 수렴을 위한 시간은 무시할 정도라고 가정한다.

[0032] 멀티-홉 무선 네트워크는 유향 그래프 $G = (N, L)$ 로 모델링되고, 여기서, N 은 노드들의 집합을 나타내고, L 은 네트워크에서 노드들 사이의 통신 링크를 나타내는 선분들의 집합을 나타낸다. N 에서 각 노드는 초기 에너지 $\varepsilon_n^{\text{init}} (n \in N)$ 를 갖는다. L 에서 각 링크는 순차적인 노드 쌍, 즉, 송신 및 수신 노드들로 식별된다. 동시에 활성화되는 경우, 동일한 주파수를 공유하는 링크들은 다른 링크와 간섭한다. 전송될 데이터 크기 ζ 를 갖는 새로운 서비스는 고정된 데이터율 Δq 를 필요로 하고, 서비스는 고정된 기간 $\mu (\mu = \zeta / \Delta q)$ 를 갖는다. 본 명세서에서는, 서비스가 전체 기간 동안 하나의 전송 경로만을 통해 전달된다고 가정한다. 또한, 링크 l 의 에너지 소비 $E(l)$ 을 하기 수학식 1과 같이 정의한다.

수학식 1

$$[0033] \quad E(l) = P(l)\mu^l$$

[0034] 여기서, $P(l)$ 은 링크 l 의 전송 전력이고, μ^l 은 링크 l 에서 서비스될 서비스에 걸리는 시간의 양이다.

[0035] 앞서 언급한 바와 같이 무선 매체의 공유 속성 때문에 무선 링크는 서로 간섭하게 된다. 간섭의 영향은 이러한 링크들의 수용 가능한 용량에 영향을 미친다.

[0036] 본 발명에서는 전송 가능한 대역폭(채널 용량) $r(l)$ 을 SINR(signal-to-interference-and-noise-ratio) $\theta(l)$ 의 함수로 정의하며, 또한, 전송을 위한 채널의 최소 요구는 SINR로 정의한다. 구체적으로, 각 링크 l 에서의 SINR $\theta(l)$ 은 아래의 수학식 2와 같이 정의된다.

수학식 2

$$[0037] \quad \theta(l) = \frac{G(T(l), R(l))P(l)}{\sum_{m: m \neq l} P(m)G(T(m), R(l)) + \sigma_{R(l)}} = \frac{G(T(l), R(l))P(l)}{\eta_{R(l)}}$$

[0038] 여기서, $T(l)$ 은 링크 l 에서의 송신 노드이고, $R(l)$ 은 링크 l 에 대응하는 수신 노드이다. $\sigma_{R(l)}$ 은 노드 $R(l)$ 에서 주변 노이즈이고, $P(l)$ 은 노드 $T(l)$ 에서의 전송 전력이며, $G(T(m), R(l))$ 은 송신기 $T(m)$ 및 수신기 $R(l)$ 에서의 경로 이득이며, $\eta_{R(l)}$ 은 노드 $R(l)$ 에서 간섭 및 노이즈의 합이다.

[0039] 한편, 각 링크는 SINR의 기간 동안 최소 요구 $c(l)$ 을 갖으며, 추가적인 대역폭 Δq 을 갖는 새로운 서비스가 링크로 들어오는 경우 링크에서의 추가적인 SINR 제한을 Δc 라 한다. 이 경우, 추가적인 제한 c 및 기간 μ 를 갖는 새로운 서비스가 링크 l 에 도달하는 경우, 네트워크에서 각 링크의 최소 에너지 증가 ΔE_l^* 는 아래의 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\Delta E^*_{l'} = \Delta P^*_{l'\mu} = (I - F')^{-1}_{(l)} \left(\frac{\eta_{R(l)}}{G(T(l), R(l))} \right) \Delta c_{\mu}$$

[0040]

[0041] 여기서, $\Delta P^*_{l'}$ 는 링크 l' 에서 새로운 서비스를 제공하기 위해 네트워크에서 요구되는 최소 전력 추가, F' 는 새로운 환경에서 F 에 대응되는 매트릭스, $\eta_{R(l)}$ 은 노드 $R(l)$ 에서 간섭 및 노이즈의 합을 나타낸다.

[0042] 2. 해결하고자 하는 문제

[0043] 본 발명에서 해결하고자 하는 문제는 유한 시간 구간 $[0, t]$, 예를 들어, 스케줄링 방안 S 이 정해진 환경에서 네트워크에서 서비스의 시작점(노드)으로부터 도착점(노드)으로의 서비스 데이터 전송을 최대화하기 위한 경로를 찾는 것이며, 아래의 수학식 4와 같은 문제를 정의할 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} & \arg \max_R J(P, S, R, \zeta, \xi, t) \\ & \text{subject to } \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L} \\ & \quad P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[0044]

[0045] 여기서, $J(P, S, R, \zeta, \xi, t)$ 는 전송 경로 R 이 새로운 서비스 ζ 가 에너지 보충률 ξ 를 갖도록 선택될 때, 시간 구간 $[0, t]$ 에 걸쳐 서비스의 시작점(노드)으로부터 최종 노드까지 성공적으로 전달되는 패킷의 개수이고, P 는 전송 전력이고, $\theta(l)$ 은 링크 l 에서의 SINR이고, $c(l)$ 은 SINR 구간 동안 링크 l 의 최소 요구이며, ε_n 은 노드 n 에서의 잔여 에너지이다.

[0046] 이하에서는, 본 발명의 일 실시 예에 따른 EURO 알고리즘의 구체적 구성에 대해 설명하도록 한다.

[0047] 3. 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

[0048] 3-1. 에너지 효율적인 라우팅 방안 제안

[0049] 수학식 4에 대한 에너지 효율적인 솔루션은 아래의 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\begin{aligned} & \arg \min_R \sum_{l \in R} W \Delta E^*_l \\ & \text{subject to } P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \quad \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[0050]

[0051] 여기서, ΔE_l^* 는 링크 l 에서 들어오는 새로운 플로우에 대한 네트워크 상에서의 최소 에너지 증가를 나타낸다.

[0052] 또한, $\mathbf{W}$ 는 새로운 플로우가 네트워크로 도달할 때 노드들의 잔여 에너지 함수인 가중치 벡터이며, 가중치 벡터 $\mathbf{W}$ 는 로우(row) 벡터 $\mathbf{W} = (W(1), W(2), \dots, W(L))$ 이며, l 번째 엔트리 $W(l)$ 은 아래의 수학적식 6과 같이 정의된다.

수학적식 6

$$W(l) = \varepsilon_{T(l)}^{init} (\gamma^{\lambda(l)} - 1),$$

[0053]

[0054] 여기서, γ 는 상수이고, $\lambda(l)$ 는 링크 l 의 송신기 $T(l)$ 에서 초기 에너지 대 감소된 에너지의 비율이다. 에너지 보충이 가능한 경우에 수학적식 6의 기중치는 참고문헌 [13]에서 보여지는 바와 같이 보충량의 증가 요소를 추가 함으로써 확장될 수 있다. 예를 들어, 에너지 보충율이 각 노드에서 상수인 시간에 수학적식 6에 따른 가중치는 아래의 수학적식 7과 같이 수정될 수 있다.

수학적식 7

$$W(l) = \frac{\varepsilon_{T(l)}^{init}}{\xi_{T(l)}} (\gamma^{\lambda(l)} - 1),$$

[0055]

[0056] 여기서, $\xi_{T(l)}$ 은 노드 $T(l)$ 의 에너지 보충률이다. 따라서, 가중치 벡터 $\mathbf{W}$ 는 라우팅 상에서 (잔여 에너지 및 보충을 포함하는) 배터리 영향을 표현할 수 있다.

[0057] 한편, 추가적인 SINR 제한 Δc 가 제로로 감에 따라 수학적식 3에서 $\mathbf{F}'$ 는 모든 SINR 제한을 만족하는 최소 에너지 ΔE_l^* 가 아래의 수학적식 8을 만족하도록 $\mathbf{F}$ 에 가깝도록 수렴한다.

수학적식 8

$$\Delta E_l^* = (\mathbf{I} - \mathbf{F})_{(l)}^{-1} \left(\frac{\eta_{R(l)}}{G(T(l), R(l))} \right) \Delta c \mu.$$

[0058]

[0059] 입력되는 서비스에 대한 최소 SINR이 극히 작을 경우, 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘은 아래의 수학적식 9과 같이 공식적으로 표현될 수 있다.

수학적식 9

$$\begin{aligned} \sum_{l \in \mathcal{R}} \left(\mathbf{W}(\mathbf{I} - \mathbf{F})_{(l)}^{-1} \left(\frac{\eta_{R(l)}}{G(T(l), R(l))} \right) \right) \\ P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[0060]

[0061] 여기서, $R(i, j)$ 는 노드 i 에서 노드 j 로의 가능한 루트들의 집합이다. 루트 상에서 네트워크 에너지 증분의 정확한 값인 ΔE_i 대신에 아래에 설명하는 바와 같이 $R(l), \eta_{R(l)}/G(T(l), R(l)), (\mathbf{I} - \mathbf{F})_{(l)}^{-1}$ 에서 측정된 간섭으로부터 최소 에너지 루트를 선택할 수 있다.

[0062] $\mathbf{F}$ 는 아래의 수학식 10과 같은 (l, m) 엔트리를 갖는 $L_L \times L_L$ 매트릭스이다.

수학식 10

$$F(l, m) = \begin{cases} \frac{G(T(m), R(l))c(l)}{G(T(l), R(l))} & , l \neq m \\ 0 & , l = m. \end{cases}$$

[0064] 수학식 10에 의해 정의되는 매트릭스 $\mathbf{F}$ 는 음이 아닌(non-negative) 요소이고, $G(T(m), R(l))$ 은 노드 $T(m)$ 과 $R(l)$ 사이의 경로에 의한 전력 손실비율로 다음 수학식 11과 같이 모델링된다.

수학식 11

$$G(T(m), R(l)) = K_{T(m)R(l)} d_{T(m)R(l)}^{-\delta}$$

[0066] 여기서, $K_{T(m)R(l)}$ 은 채도잉(shadowing)에 기인하는 전력 손실을 모델링하는 감쇠 요소(attenuation factor)이고, $d_{T(m)R(l)}$ 은 노드 $T(m)$ 및 $R(l)$ 사이의 거리이다. δ 는 2 및 6 사이를 전형적으로 범위화하는 경로 손실 지수(exponent)([20] T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prantice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.)이다.

[0067] 한편, 본 발명에서 제안하는 에너지 효율적인 경로를 찾는 방안은 하기와 같이 정리할 수 있다.

[0068] *에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

[0069] 1. 유한 그래프 $G=(N, L)$ 을 모델링

[0070] 2. 입력 서비스에 대해 자원이 이용가능한지 여부 판단

[0071] 2.1 자원이 이용가능한 경우

[0072] 2.1.1 N 에서 모든 노드들에서 간섭 강도를 측정

[0073] 2.1.2 패스 로스 및 제약에 기초하여 $(\mathbf{I} - \mathbf{F})^{-1}$ 을 산출

[0074] 2.1.3 수학식 6에서와 같이 현재 가중치 벡터 $\mathbf{W}$ 를 산출

[0075] 2.1.4 링크 비용 $W(I-F)^{-1}_{(l)}(\frac{\eta_{R(l)}}{G(T(l), R(l))})$ 을 산출

[0076] 2.1.5 최소 비용 루트를 발견하기 위해 최단 경로 알고리즘(일 예로, Dijkstra 알고리즘 또는 Bellman-Ford 알고리즘)을 적용

[0077] 2.2 자원이 이용가능하지 않은 경우

[0078] 2.2.1 입력되는 서비스를 거절

[0079] 2.2.2 소스로 거절을 통지

[0080] 상술한 바와 같은 EURo 알고리즘에서, 각 노드들은 입력되는 서비스에 대한 두 가지 자원 즉, 배터리 에너지 및 전송 전력을 체크한다. 노드에서 더 좋은 에너지가 대폭 감소되거나, 전송 전력이 포화된다면, 노드는 입력되는 서비스를 거절한다. 실행을 위해 기정의된 임계값이 새로운 입력 서비스를 허락하기 위한 에너지 감소를 체크하는데 이용될 수 있다. 주어진 노드의 배터리 레벨이 임계값보다 작은 경우 배터리는 대폭 감소될 것으로 가정되고, 새로운 서비스는 거절된다. 그렇지 않으면, 새로운 서비스는 노드의 전송 전력이 포화되지 않을 때 허락된다.

[0081] 이제 링크들이 무작위하게 스케줄되고, 링크들의 통계가 각 노드에서 이용가능하다고 가정한다. Π 를 Π 의 (l, l) 엔트리가 링크 l 이 활성화되는 확률(probability)로 정의되도록 하는 $L_L \times L_L$ 대각선 매트릭스라고 하자.

[0082] 또한, $\pi_{m|l}$ 을 링크 l 이 활성화된 경우에 주어진 링크 m 이 활성화될 조건부 확률을 나타낸다고 가정하자. 참고 문헌 [11]로부터, 추가적인 기대 네트워크 에너지 $\Delta \bar{E}_l$ 는 아래의 수학적 식 12와 같이 주어진다.

수학적 식 12

$$\Delta \bar{E}_l^* = (\Pi(\mathbf{I} - \bar{\mathbf{F}})^{-1})_{(l)} \left(\frac{\bar{\eta}_{R(l)}}{G(T(l), R(l))} \right) \Delta c \mu,$$

[0084] 여기서, $\bar{\eta}_{R(n)}$ 는 링크 n 이 활성화된 경우에 링크 n 의 수신 노드에서 측정된 간섭 및 노이즈의 평균을 나타내며, $\bar{\mathbf{F}}$ 는 아래의 수학적 식 13으로 정의되는 엔트리 (l, m) 를 갖는 $L_L \times L_L$ 매트릭스이다.

수학적 식 13

$$F(l, m) = \begin{cases} \frac{\pi_{m|l} G(T(m), R(l)) c(l)}{G(T(l), R(l))} & , l \neq m \\ 0 & , l = m. \end{cases}$$

[0086] 따라서, 무작위 링크 스케줄링 기술을 위한 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘은 아래의 수학적 식 14와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 14

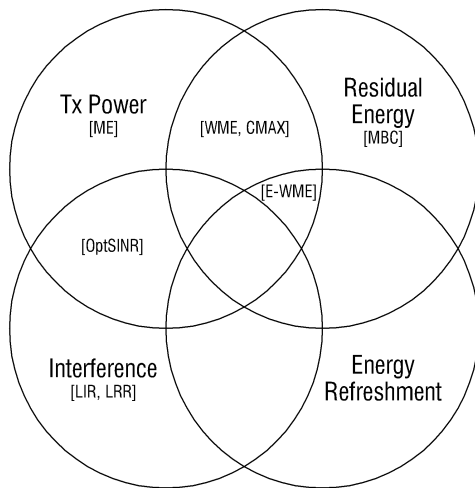
$$\begin{aligned} & \sum_{l \in R} \left(\mathbf{W} (\Pi(\mathbf{I} - \bar{\mathbf{F}})^{-1})_{(l)} \frac{\bar{\eta}_{R(l)}}{G(T(l), R(l))} \right) \\ & P^{\max}(l) \geq P(l) \geq 0 \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \theta(l) \geq c(l) \quad \forall l \in \mathcal{L}, \\ & \varepsilon_n \geq 0 \quad \forall n \in \mathcal{N}. \end{aligned}$$

[0088] 3-2. 분산 방안

- [0089] 라우팅 알고리즘에 관한 수학적 식 9는 $\mathbf{W} (\mathbf{I} - \mathbf{F})_{(1)}^{-1}$ 와 같은 글로벌 정보를 요구한다. 링크 비용에 대한 글로벌 정보는 분산된 실행으로 그 자체를 즉각적으로 이끌지 않는다. 링크 비용에 대한 계산 복잡성은 노드의 개수에 따라 지수적으로 증가한다. 하지만, 무선 신호 강도가 수학적 식 11에 기재된 바와 같이 멀리 떨어진 구간 동안 지수적으로 감소하기 때문에 멀리 떨어진 무선 링크는 서로 거의 영향을 미치지 않는다. 큰 네트워크에서 업데이트 정보는 오래되어 무의미할 수 있다. 따라서, 글로벌 정보를 모으는 것은 효과적이지 않다.
- [0090] 계산의 복잡성을 줄이기 위하여, 도 3에 도시된 바와 같이 정보를 해당 범위에서 인접 노드들로 지역적으로 퍼뜨리기 위한 노드에 대한 범위로서 정보 범위를 정의한다. 로컬 정보에 대한 계산 복잡성은 네트워크 사이즈뿐 아니라 정보를 공유하기 위한 인접 노드들의 갯수에 의존한다. 수학적 식 9에서의 링크 비용을 위해 글로벌 정보를 필요로 하는 $\mathbf{W}$ 및 $(\mathbf{I} - \mathbf{F})^{-1}$ 대신에 $\tilde{\mathbf{W}}$ 및 $(\mathbf{I} - \tilde{\mathbf{F}})^{-1}$ 을 이용하고, 노드의 기설정된 정보 범위에서 노드들로부터 지역 정보를 이용하는 감소된 매트릭스이다. 수학적 식 8에서 간섭 및 노이즈 강도 $n_{R(1)}$ 및 경로 이득 $G(T(I), R(I))$ 은 국부적으로 측정가능하다([12] T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prantice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.). 따라서, 각 노드는 분산된 알고리즘에 대한 링크 비용을 국부적으로 계산할 수 있다.
- [0091] 네트워크에서 노드들은 몇 가지 방법으로 라우팅을 위한 정보를 업데이트할 수 있다. 간단한 방법은 노드들이 그들의 상태를 다른 노드들로 주기적으로 브로드캐스팅하는 것이고, 그들의 인접 노드들은 그들의 저장된 정보를 업데이트하는 것이다. 또 다른 방법은 피기 백킹(piggy-backing)을 이용하는 것이다. 상태 정보가 전송될 데이터와 비교하여 상대적으로 작을 때, 각 노드는 정보를 퍼뜨리기 위하여 전송할 데이터에 그들의 정보를 부착한다. 제어 채널이 정보 분산을 위해 이용될 것이다. 이러한 방법들의 결합은 실행을 위한 대체 방안이다.
- [0092] 4. 성능비교
- [0093] 본 시뮬레이션에서는 제안된 방안(EURo)의 성능을 WME, LIR 및 ME와 비교한다. 다른 알고리즘은 WME 및 OptSINR와 비교하여 광범위하게 연구되었다([10], [11]). ME 및 OptSINR은 이러한 다른 알고리즘보다 더 좋은 성능을 갖는다는 점이 발견되었다. 따라서, 이러한 네 가지 알고리즘 사이에서만 성능을 비교하도록 한다. 먼저 세 가지 시나리오에서, 각 중요하지 않은 환경에서 달성가능한 성능을 획득하기 위해 네트워크 전체의 정보를 갖는 네 가지 알고리즘을 고려한다. 마지막 두 가지 시나리오에서 분산된 EURo(dEURo)를 다른 네 가지 알고리즘(EURo, WME, LIR, and ME)와 비교한다.
- [0094] 모든 알고리즘이 비교되도록, 노드들이 전력 제어를 채용한다고 가정한다. 각 경우에 알고리즘에 의해 선택된 루트를 통해 서비스를 전송하면 각 노드는 링크에서의 새로운 최소 제한을 만족하기 위한 전송 전력을 조정한다. 시뮬레이션을 위해, 도 2에 도시된 바와 같이 x- 및 y- 좌표에서 인접 노드들 사이의 구분은 1 단위의 거리를 갖고, 7 그리드 네트워크에 의한 7을 이용한다. 또한, 3에서 패스 로스 지수, 1에서 감소 요소, 1에서 배경 노이즈를 고정한다. 또한, 모든 배경 잡음은 동일하고, 각 링크는 방향을 갖는다. 또한, 무선 링크는 선형적이고, 새로운 서비스 플로우의 요구되는 SINR은 0.1 (-10 dB)에서 고정된다. IS-95에서 대역폭 1.23 MHz를 갖는 DS-CDMA(direct sequence code division multiple access) 시스템은 9.6 kbps 채널에 대한 최소 SINR이 -14 dB (0.0398)이다([13] W. C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunications: Analog and digital systems, McGraw-Hill, New York, 2nd edition, 1995).
- [0095] 또한, 본 시뮬레이션에서 -10 dB에서 각 입력 서비스에 대한 최소 SINR을 설정한다. 링크 스케줄링을 위해서, [11], [14]([14] F. Baccelli, N. Bambos, and C. Chan, "Optimal power, throughput and routing for wireless link arrays," in IEEE INFOCOM' 06, April 2006, vol. 3, pp. 1374-1385.)에서 이용된 고정된, 주기적인 링크 스케줄링 기술을 이용한다. 수학적 식 16에서 γ 를 200으로 고정하고, 패킷 길이를 200 슬롯으로 고정한다. 각 시뮬레이션을 위해, 10개의 다른 랜덤 시드(seeds)를 이용하고 성능을 평균한다.
- [0096] dEURo를 위해서, 도 3에 도시된 바와 같이 각 노드의 정보 범위를 1.5 거리 단위로 고정하고, 인접하는 이웃 노드들이 분산된 최단 경로 라우팅을 위한 링크 비용을 계산하도록 정보를 공유할 수 있다. 로컬 정보를 업데이트하기 위해 각 노드는 제어 채널을 통해 주기적으로 그들의 상태 정보를 인접 노드에 방송한다.
- [0097] 또한, 에너지 방전으로 인해 발생하는 전소의 실패를 전송단절(partition)이라 정의하고, [8]에서와 같이 다양한 기술의 성능을 비교하기 위해 본 측정을 허용한다.

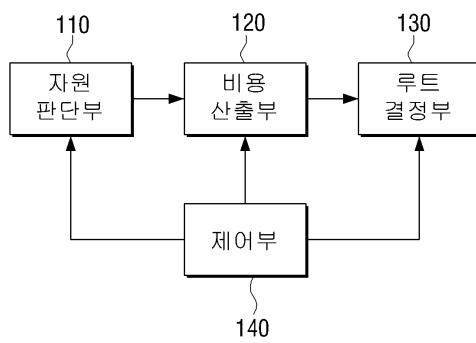
도면

도면1

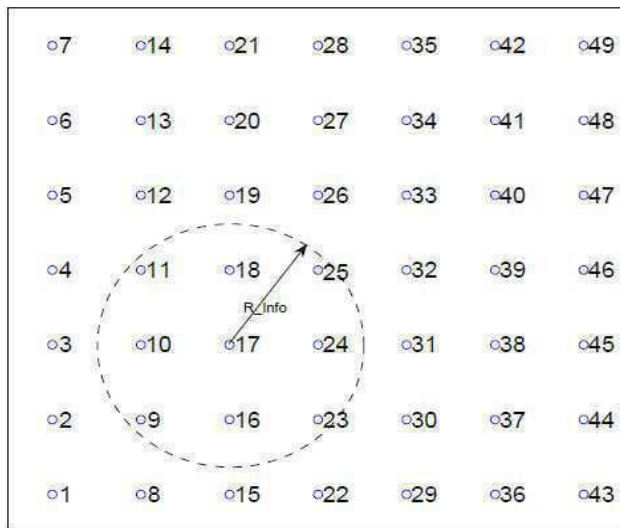


도면2

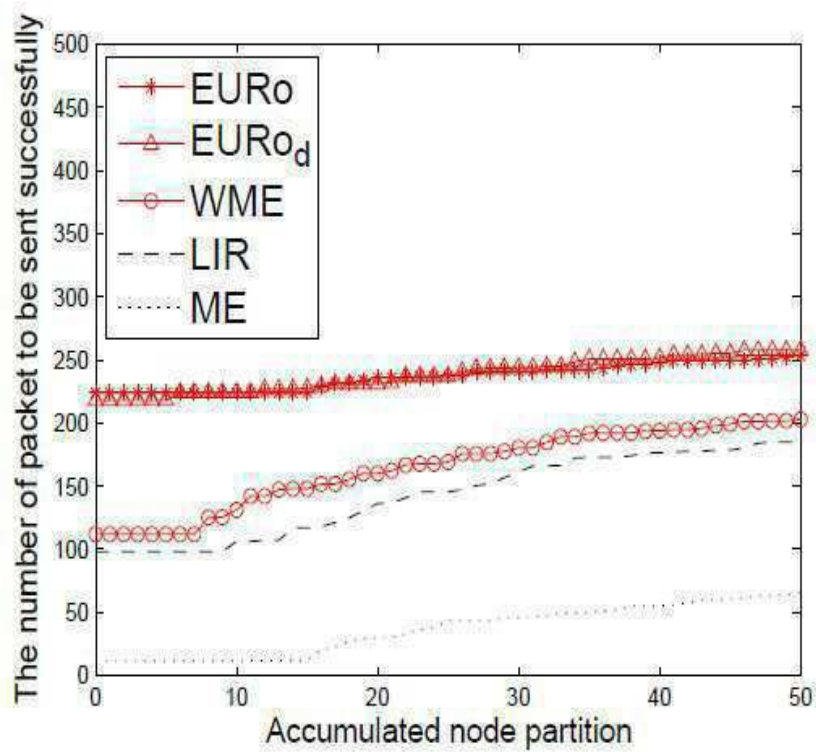
100



도면3



도면4



도면5

