

무선망에서 소비 전력을 고려한 실시간 라우팅 기법[※]

최종무⁰ 김재훈

아주대학교 정보통신전문대학원

zootman@dmc.ajou.ac.kr⁰, jaikim@madang.ajou.ac.kr

Power Saving Real-time Routing Scheme in Wireless Network

Jong-Mu Choi⁰ Jai-Hoon Kim

Graduate School of information and Communication, Ajou Univeristy

요 약

무선 통신의 발전으로 사용자가 휴대용 장치를 사용하여, 그들의 물리적인 위치에 상관없이 통신을 할 수 있는 이동 컴퓨팅이라는 새로운 패러다임이 생겨났다. 이러한 이동 컴퓨팅은 비연결성, 낮은 대역, 높은 대역의 가변성, 이질망의 연결, 보안성, 저 전력, 적은 지장 공간 등의 제약성을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 제약 중 하나인 저 전력성을 극복하기 위하여 두 노드간의 거리에 따른 전력을 다르게 하는 방식인 전력 조절 기법(Power Adaption Scheme)에 기법에 실시간성을 고려하였다. 기존의 방식에서 전력 소비를 줄이기 위해 중간에 거쳐야 할 노드의 수가 증가하는 만큼 전송 시간이 늘어나기 때문에 시간 제약을 갖는 응용에 적절하지 못하다. 본 논문에서는 실시간성을 갖는 데이터 전송에서 소비전력을 최소화하는 라우팅 기법을 제시하였고 성능을 비교하였다.

1. 서 론

이동 컴퓨팅 환경에서 전력 소모량을 줄이기 위한 알고리즘이 제안되었다. 그러나 이런 알고리즘은 송신출력을 줄여서 전파가 도달할 수 있는 반경을 줄이는 방법을 기반으로 하고 있는데, 이러한 방법을 사용할 경우 중간에 거쳐야 할 노드의 수가 필연적으로 늘어나야만 한다. 이렇게 중간에 노드가 늘어날 경우 전력적인 측면에서는 이득을 가져올 수 있으나, 시간적인 측면에서는 중간의 노드에서 데이터를 처리해야 하는 CPU 시간이 늘어나게 된다. 이는 시간제약 이내에 데이터 전송과 처리를 종료해야 하는 실시간성 응용에서 문제를 야기 할 수 있다.

본 논문에서는 RM-Model[2]과 HCB-Model[3]에 근간을 둔 전력 조절 알고리즘[4]에 대해 알아보고, 이 알고리즘을 바탕으로 실시간성 데이터의 통신에 적합하도록 새로운 기법을 제시하였고 성능을 평가하였다.

2. 전력 조절 기법

무선은 데이터 1bit를 송수신하는데는 회로상에서 $E_{elec} = 50nJ/bit$ 를 소비하며, 만약 거리가 d 인 두 노드간의 에너지 손실을 d^2 이라고 하면 송신측의 송신 앰프가 $E_{amp} \cdot d^2$ 를 소비한다($E_{amp} = 100pJ/bit/m^2$). 따라서 거리가 d 인 두 노드간에 1bit 데이터를 전송하려면 송신측에서는 $E_{elec} + E_{amp} \cdot d^2$ 이, 수신측에서는 E_{elec} 만큼의

전력이 소비된다. 두 식을 정상화(normalize)하면 $T = E + d^2$ (송신측)라는 식과 $P = E$ (수신측)라는 식으로 표현할 수 있고, E 는 다음과 같다.

$$E = E_{elec}/E_{amp} \\ = (50nJ/bit)/(100pJ/bit/m^2) = 500m^2$$

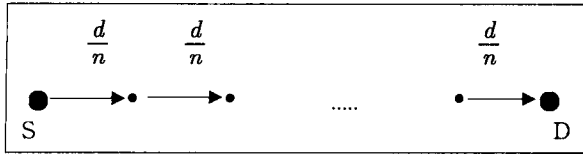
따라서 전체 송수신에 필요한 전력은 다음과 같이 표시된다[3].

$$u(d) = T + P = 2E + d^2$$

논문[3]에서 설명한 바와 같이 인접노드에 전송하기 위한 에너지 소비 성질을 나타내는 상수(α, a), CPU의 연산에 필요한 에너지 상수(c) 송신 노드(S)과 수신 노드(D)간의 거리(d)가 $d \leq (c/(a(1-2^{1-\alpha})))^{1/\alpha}$ 일 경우에는 직접 전송을 이루는 것이 최소의 전력량으로 보낼 수 있는 방법이며 이때 전력 소비량은 $u(d) = ad^\alpha + c$ 이다. 그러나 송신 노드와 수신 노드간의 거리(d)가 $d > (c/(a(1-2^{1-\alpha})))^{1/\alpha}$ 일 경우에는 그림 1에서 보는 바와 같이 두 노드 사이를 n 개의 점으로 나누어 ($n = d(a(\alpha-1)/c)^{1/\alpha}$ 에 가까운 정수 값) 그 곳에 위치한 노드들을 통하여 재전송하는 방법이 전력상의 이득을 가져온다. 이 기법을 통해 얻은 전력 소비량은 다음의 표현할 수 있다[4].

$$v(d) = dc \left(a \frac{\alpha-1}{a} \right)^{\frac{1}{\alpha}} + da \left(a \frac{\alpha-1}{c} \right)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}$$

[※] 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원사업(2001-103-3)에 의하여 수행되었음



[그림1] N-1개의 노드를 거쳐 전송하는 방법

3. 실시간 환경에서 전력조절 기법의 문제점

데이터 통신을 하는데 소요되는 시간은 전송 매체에 따른 물리적인 거리를 이동하는데 걸리는 시간인 전파 지연(propagation delay)과 노드에서 데이터를 전송하는데 걸리는 시간인 전송 지연(Transmission delay)의 합으로 볼 수 있다. 전파의 전달 속도가 (v)인 무선 환경에서 거리가 d 만큼 떨어진 두 노드에서 전송률 R 로 N bit의 데이터를 전송하고자 하고, 노드에서 데이터를 처리하는 CPU 시간이 C_n 라면, 위의 두 가지 지연은 다음의 식으로 표현 될 수 있다.

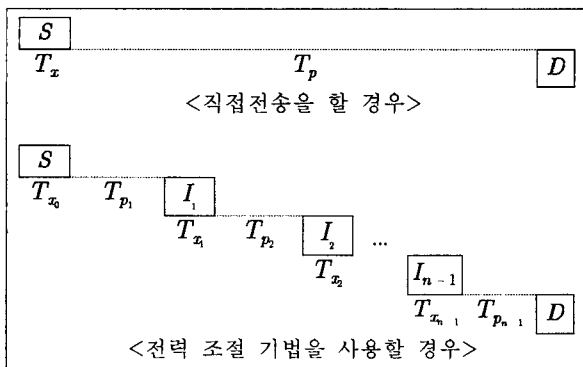
전파 지연 : $T_p = \frac{d}{v}$

전송 지연 : $T_x = \frac{N}{R} + C_n$

위의 식에서 v 는 물리적인 매체에 따른 속도 이므로 우리는 무선 환경을 가정하고 있으므로 $3 \cdot 10^8 m/s$ 로 볼 수 있으며, 노드별 CPU 처리시간은 일정하다고 가정하면 위의 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

전파 지연 : $T_p = \frac{d}{3 \cdot 10^8}$

전송 지연 : $T_x = \frac{N}{R} + C$



[그림 2] 전송시간

[그림2]에서 보는 바와 같이, 직접 전송을 할 경우 소요되는 시간은 $T = T_x + T_p$ 이며, 전력 조절 기법을 사용하여 n 개의 노드로 나누어 전송을 할 경우 소요되는

시간은 다음과 같다.

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} T_{p_i} + \sum_{i=0}^{n-1} T_{x_i} \quad \dots (1)$$

여기서 $T_p = \sum_{i=1}^{n-1} T_{p_i}$ 이고 각 노드에서 데이터를 전송

하는 시간이 같을 경우 즉 $T_{x_i} = T_{x_0} = T_{x_1} = \dots = T_{x_{n-1}}$ 라고 가정을 한다면 (1)의 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T = T_p + n \cdot T_x \quad \dots (2)$$

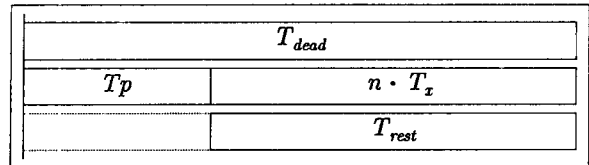
즉 전력 조절만을 할 경우에는 $(n-1) \cdot T_x$ 의 시간만큼의 지연이 더 생기고, 이러한 성질은 시간제약 이내에 데이터 전송과 처리를 해야 하는 실시간성 응용에서는 문제를 야기할 수 있다.

위 식 (2)는 실시간성 응용에서 데이터 전송을 (T_{dead} :deadline)이내에 종료해야 할 때 다음 식을 만족 하도록 n 을 제한해야 한다.

$$T_{dead} \geq T_p + n \cdot T_x$$

4. 실시간성을 고려한 전력 조절 기법

$T_{dead} < T$ 일 경우 시간제약을 만족하도록 새로운 n 값을 구해 보도록 한다.



[그림 3] 마감시간

[그림 3]에서 보는 바와 같이 T_{rest} 는 전송지연시간의 최대값으로 $T_{rest} = T_{dead} - T_p$ 실시간성을 지키기 위해서는 $n \cdot T_x \leq T_{rest}$ 의 조건이 만족되어야 한다. 이식을 n 으로 정리하면 다음과 같이 된다.

$$n \leq \frac{T_{rest}}{T_x} \quad (T_x \geq 0)$$

소비전력을 최소화하는 n 값이 시간제약을 만족하면 즉 식(3)을 만족하면, 최소의 전력 소비로 실시간성을 보장 할 수 있다.

$$\therefore n = d \left(\frac{a^{\alpha-1}}{c} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \leq \frac{T_{rest}}{T_x} \quad \dots (3)$$

$$d \leq \frac{T_{rest}}{T_x} \cdot \left(\frac{a^{\alpha-1}}{c} \right)^{-\frac{1}{\alpha}}$$

(3)의 식을 HCB-Model에 나온 $\alpha = 2$ 값을 적용할 경우 식 (4)와 같이 된다.

$$d \leq \frac{T_{rest}}{T_x} \cdot \sqrt{\frac{c}{a}} \quad \dots(4)$$

최소 전력을 소비하는 두 노드간의 거리 d 가 식 (4)를 만족할 경우에는 전력 조절 알고리즘의 방법에 따라 n 값을 사용한다. 그러나 식 (4)를 만족하지 않으면, 식(3)을 만족하는 최대의 정수 값을 구하여 사용하면 실시간성을 만족하면서 소비 전력을 최소화 하는 방법이 된다.

5. 성능 분석

실시간성을 고려했을 때 위에서 제한한 n 값을 적용했을 경우의 전력소모량공식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f(n) = (ax_1^\alpha + c) + (ax_2^\alpha + c) + \dots + (ax_n^\alpha + c)$$

이상적으로 중간 노드들 간의 거리를 같다고 하면, 다음과 같다.

$$f(n) = nc + an\left(\frac{d}{n}\right)^\alpha = cn + ad^\alpha n^{1-\alpha} \quad \dots(5)$$

따라서 실시간성을 고려한 n 값을 사용할 경우 전력 소비량은 아래와 같은 식이 된다.

$$f\left(\frac{T_{rest}}{T_x}\right) = c\frac{T_{rest}}{T_x} + ad^\alpha\left(\frac{T_{rest}}{T_x}\right)^{1-\alpha} \quad \dots(6)$$

실시간성을 위해 n 값을 줄임으로서 손실되는 에너지의 양을 구해 보기 위해 (5)의 식을 미분해보자.

$$f'(n) = c + a(1-\alpha)d^\alpha\left(\frac{1}{n}\right)^\alpha$$

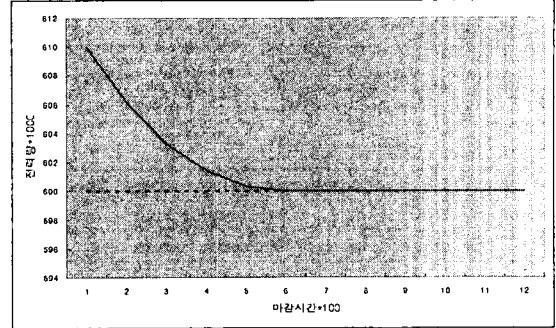
따라서 기존 알고리즘에 비해 손실되는 에너지의 다음과 같다.

$$f'\left(\frac{T_{rest}}{T_x}\right) = c + a(1-\alpha)d^\alpha\left(\frac{T_x}{T_{rest}}\right)^\alpha$$

예를 들면, 11Mbps 802.11망에서 1.1Mbits의 데이터를 30km 떨어진 곳에 보내고자 하고, HCB-Model($\alpha = 1, a = 1, c = 2$)을 따른다고 할 때 식(6)은 마감시간 (T_{dead})에 대한 함수로 표현하면 아래와 같이 된다.

$$f(T_{dead}) = \frac{T_{dead} - 10^{-4}}{0.1} + (3 \times 10^4)^2 \left(\frac{0.1}{T_{dead} - 10^{-4}}\right)$$

위 식을 마감시간의 증가에 따른 소비 전력량을 그래프로 나타내면 아래 그림4와 같다. 그림4에서 실선은 실시간성을 고려한 알고리즘을 나타내며, 점선은 기존의 전력 제어 알고리즘을 나타낸다. 그림이다. 마감시간이 짧은 경우에는 전력의 손해를 감수하고 개선된 알고리즘을 사용하여 마감시간을 지키고, 마감시간이 일정시간보다 길 경우에는 기존의 전력 조절 알고리즘을 사용하여 전력상의 이득을 취할 수 있으면서 시간제약을 만족시킬 수 있다.



[그림 4] 실시간성을 고려한 알고리즘의 그래프

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 이전에 나왔던 전력 조절 알고리즘을 응용하여 실시간 응용에서 사용할 때의 문제점, 즉 두 노드간의 거리 d 가 $(T_{rest}/T_x)\sqrt{\frac{c}{a}}$ 보다 긴 경우 마감시간을 만족할 수 없음을 계산하였고, 실시간성을 보장해 주기 위한 중간 경로의 수 n 을 T_{rest}/T_x 보다 작은 최대 정수로 하여 실시간성과 소비전력을 문제를 동시에 고려하는 수정된 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 원하는 위치에 노드가 항상 존재한다고 가정하였으나 실제 상황에서 노드가 임의로 존재할 때 이를 위한 알고리즘 개발이 필요하다.

참고문헌

- [1] George H. Forman and John Zahorjan, "The Challenges of Mobile Computing," *UW CSE Tech Report # 93-11-03*.
- [2] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 8, pp. 1333-1344, Aug. 1999.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Proceeding of the Hawaii Int'l Conf. System Sciences*, Jan. 2000.
- [4] I. Stojmenovic and Xu Lin, "Power-Aware Localized Routing in Wireless Networks," *IEEE Transaction on parallel and distributed system*, vol. 12, no. 11, pp. 1122-1133, Nov. 2001.
- [5] Gavin Holland and Nitin Vaidya, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," *ACM/IEEE Int'l. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'01)*, Jul. 2001.