
무선 센서 네트워크에서 (m,k)-firm 스트림을 위한 MintRoute 프로토콜의 확장

김기일*

A Revised MintRoute Protocol for (m,k)-firm Streams in Wireless Sensor Networks

Ki-II Kim*

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의
기초연구사업(No. 2011-0004102) 과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성
지원사업(NIPA-2012-H0301-12-3003)의 지원을 받아 수행된 것임

요 약

센서 네트워크가 대중화되면서 서로 다른 요구사항을 가진 다수의 응용 프로그램이 개발되고 있다. 특히, 센서 데이터의 특성상 손실되거나 시간이 지난 데이터는 의미가 없기 때문에 신뢰성과 실시간성은 매우 중요한 요구사항이다. 이를 위하여 다양한 연구들이 진행되었지만 대부분의 연구는 오직 하나의 요구사항만이 고려되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 두 개의 요구사항을 만족시키는 방안을 제안한다. 제안 메커니즘에서는 신뢰성을 위하여 개발된 MintRoute 프로토콜을 확장하여 실시간 서비스인 (m,k)-firm 스트림을 지원하도록 몇몇 기능을 확장하였다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 성능 검증 및 제안된 프로토콜이 두 서비스에 적합함을 증명하였다.

ABSTRACT

Since the wireless sensor networks become pervasive, various application-specific requirement have been emerged and suggested. Among them, reliability and real-time service are ones of big research challenges since sensed information is useless if a packet is lost and delivered later than deadline. Even though many research works have been proposed, they was designed to meet one of both requirements. To solve above problem, in this paper, we propose how to extend current protocol to meet two requirements together. More detailed, Mint Route protocol is revised to meet specific real-time requirement, (m,k)-firm stream in wireless sensor networks. Since the main operations in MintRoute are very similar to definition of (m,k)-firm stream, extension is achieved by modifying some parts of procedure. Finally, the simulation results are given and analyzed to validate the its suitability for reliable and real-time requirement.

키워드

실시간서비스, 센서네트워크, 성능개선

Key word

Real-time service, Wireless sensor networks, Performance enhancement

* 정회원 : 경상대학교 정보과학과, 공학연구원(kikim@gnu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 09

심사완료일자 : 2012. 05. 02

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.9.2050>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

기존의 센서네트워크가 스칼라 중심의 값을 전달하는 반면 무선 멀티미디어 센서 네트워크는 멀티미디어 데이터를 전송함으로써 보다 풍부한 정보를 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 멀티미디어 전송을 위해서는 기존 네트워크와 마찬가지로 서비스 품질 보장이 요구되지만 센서 노드의 다양한 제약사항으로 인하여 이러한 서비스를 만족시키는 것은 쉽지 않다.

이러한 어려움에도 불구하고 멀티미디어 서비스를 요구하는 응용 프로그램들은 더욱 더 많이 발생하고 있기 때문에 이를 극복하기 위한 방안으로 데이터의 신뢰성 및 실시간성 보장을 위한 다양한 연구가 계속해서 진행되고 있다. 신뢰성 보장의 연구의 경우에는 센서 네트워크의 특성을 반영하여 단-대-단 손실복구보다는 홉-대-홉 복구 방식을 채택하고 있으며 실시간 서비스의 경우에는 실시간 스케줄링과 라우팅 메커니즘이 제안되고 있다. 이러한 메커니즘들의 경우 각 요구사항을 어느 정도 만족시킬 수는 있지만 두 서비스를 모두 제공하는 데에는 어려움이 있다. 또한, 현재 제안 메커니즘들은 단순히 기존의 네트워크와 같이 범용적인 서비스만을 제공하기 때문에 각 응용 프로그램의 특성을 반영한 서비스 제공에는 문제가 있다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 일단 무선 멀티미디어 센서 네트워크에 적합한 트래픽 모델을 선정한 뒤 이에 따른 프로토콜들을 개발하는 접근방법이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 요구사항을 만족시키기 위하여 무선 멀티미디어 센서 네트워크의 트래픽 모델을 (m,k)-firm 스트림[1]으로 정의하고 현재 신뢰성 보장을 위하여 제안된 MintRoute[2] 프로토콜을 확장하여 (m,k)-firm 스트림을 지원할 수 있는 방안을 제안한다. (m,k)-firm 스트림은 연속적으로 전송된 k개의 패킷 중에서 m개의 패킷이 데드라인 안에 전송될 경우 실시간 서비스를 만족하는 모델로써 이는 멀티미디어 서비스 뿐만 아니라 노드의 다양한 제약사항이 있는 무선 센서 네트워크에 아주 적합한 모델이다. 또한, MiniRoute는 무선 센서 네트워크에 이웃 노드와의 주기적인 링크 품질 검사를 통하여 가장 신뢰성이 높은 이웃 노드를 선택하게 되고 이를 통하여 싱크로 가는 트리 형태를 구성하는 라우팅 프로토콜이다. 이 프로토콜의 링크 품질 결정은 손실된 패킷으로 이루어지는데 이는 (m,k)-firm 스트

림의 정의와 매우 유사하기 때문에 이를 확장함으로써 두 서비스의 제공이 가능하다. 따라서, 기존 프로토콜의 확장만으로 두 가지 서비스를 제공할 수 있게 되는 장점이 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 연구의 필요성을 설명한 서론에 이어 대표적인 관련연구를 II장에서 설명한다. 제안하는 메커니즘은 III장에서 설명되며 IV장에서는 성능 평가 결과 및 분석을 제시한다. 마지막으로 V에서는 결론 및 향후 연구 내용을 제시한다.

II. 관련연구

본 장에서는 무선 센서 네트워크에서 실시간성 및 신뢰성 보장을 위한 대표적인 연구들을 살펴본다. 또한, 실시간성 트래픽 모델로 소개될 (m,k)-firm 스트림을 위한 연구도 소개한다.

첫 번째로 실시간 보장을 위한 라우팅 프로토콜을 살펴보면 SPEED[3]와 MMSPEED[4]가 있다. SPEED는 연성 단-대-단 데드라인을 보장하는 지리정보 기반의 라우팅 프로토콜이다. SPEED에서 각 노드는 단-대-단 지연을 싱크까지의 거리로 나눔으로써 하나의 홉에서 전송을 위한 속도를 계산하게 된다. 또한, 혼잡을 처리하기 위한 메커니즘도 포함되어 있다. MMSPEED는 SPEED를 확장한 메커니즘이며 다중 경로를 이용할 수 있다. 이는 다른 형태의 트래픽에 따른 경로 선택이 가능함을 의미한다.

두 번째로 신뢰성을 위한 라우팅 프로토콜은 기존 메커니즘과 동일하게 계층적인 접근 방법과 평면적인 접근 방법이 있다. HRR (Hybrid Reliable Routing)[5]은 계층적 네트워크 구조를 가지는 클러스터 구조를 이용하여 서비스를 제공한다. 두 번째 프로토콜인 RLRR (Receiver-oriented Load-balancing and Reliable Routing)[6]은 확장성이 있는 무선 센서 네트워크를 위한 로드 분산 및 신뢰성을 언급하였다. 다른 한편으로 평면적 프로토콜의 경우 다중 경로를 이용하거나 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 보장을 위한 새로운 메트릭이 개발되었다. 대표적인 연구로는 DTRP (Directed Transmission Routing Protocol)[7]가 있는데 이는 확률적 접근 방법을 취하고 있다. DTRP는 신뢰성과 확장성을 목표로 하고 있으며 기존의 프로토콜과는 달리 비콘 메시지를 싱크

와 다른 센서 노드들간의 거리를 측정하는데 사용하게 된다. 새로운 메트릭을 개발한 다른 프로토콜에서는 노드의 Potential[8]을 이용한다. 이 프로토콜의 기본 정책은 노드의 potential을 정하고 가장 높은 값을 가지는 노드를 포워딩 노드로 선택하게 된다. 이러한 방법과 비슷한 방식이 MintRoute에서 제안되었다. MintRoute에서는 평균 패킷 수신율을 통하여 링크의 품질을 결정하고 이 값이 가장 높은 노드를 부모 노드로 선정함으로써 싱크로의 트리를 유지하는 프로토콜이다. 또한, 계산된 값의 변화를 줄이기 위하여 기존 값과 현재 계산된 값에 적용되는 상수 값을 조정한다. 본 논문에서는 MintRoute를 고려하고 있으므로 보다 자세히 부모 선택 과정을 알아보면 다음과 같다. 첫 번째로 각 노드는 이웃 노드를 발견하고 비콘 메시지를 통하여 각 노드와의 링크 품질을 계산한다. 각 노드는 패킷별로 증가되는 고유의 번호를 가지고 있으므로 이를 통하여 손실된 패킷을 확인하게 된다. 일정 시간이 지난 후 노드간의 패킷 전송율은 다음과 같은 공식에 의하여 계산된다.

$$P_{ij}(t,t-1) = \frac{\text{Packets_Rcv in } t}{\text{MAX}(\text{Packets_Exp in } t, \text{Packets_Rcv in } t)} \quad (1)$$

이렇게 계산된 패킷 전송율은 기존의 값을 고려하여 링크의 품질이 계산되고 그 중 가장 큰 값을 가진 링크가 부모 노드로 선택된다. 다음 식은 이러한 계산 과정을 보여준다.

$$L_{ij}(t) = a \times PR_{ij}(0,t-1) + (1-a) \times PR_{ij}(t-1,t) \quad (2)$$

$$P_i = \underset{j \in \text{NS}}{\text{argmax}} \{L_{ij}(t)\} \quad (3)$$

본 논문에서 고려하고 있는 실시간 서비스인 (m,k)-firm 관련한 대표적 연구들로는 일단 DBP (Distance-Based Priority) 개념을 이용한 새로운 스케줄링 알고리즘이 제안되었다[1]. 이 연구는 하나의 노드에서 테스크에 대한 스케줄링 방법을 설명하였다. 이러한 개념을 네트워크에 적용한 연구는 [9]에서 제안되었는데 이는 한 홉으로 목적지에 도착하는 대신에 다중 홉에서 다수의 (m,k)-firm 스트림을 지원하기 위한 방안인 DBP-M을 제안하였다.

III. 제안 메커니즘

본 장에서는 앞에서 설명한 MintRoute를 (m,k)-firm 스트림을 지원하도록 확장하기 위한 방안에 대하여 설명한다. 제안된 메커니즘은 크게 두 부분으로 변경되는데 하나는 실시간성 보장을 위하여 하나의 노드로부터 싱크까지의 전송 시간을 계산하는 방법이 추가되며 다른 하나는 기존의 부모 선택 메커니즘을 변경하는 방안이다. 각 메커니즘에 대한 설명은 다음과 같다.

3.1. 싱크노드까지의 시간 예측

센서 네트워크의 특성 중에 하나는 각 센서 노드들로부터 생성된 데이터는 싱크라고 불리는 노드로 모두 전송된다는 점이다. 따라서, 싱크 노드에 가까운 노드일수록 보다 많은 혼잡이 발생하게 되므로 이를 고려한 시간 예측이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 방법은 패킷의 전송 기록을 이용하는 방법이다. 즉, 현재 노드에서 다음 노드로의 데이터 전송을 위해서는 이전 노드에서의 데이터 처리 시간이 고려된다. 또한, 현재 전송된 거리 또한 고려됨으로써 시간 예측을 할 수 있다. 시간 예측은 다음 식에 의하여 이루어진다. 각각의 노드에서의 거리는 GPS에 의하여 구할 수 있게 된다.

$$T_{i-1,i} : D_{source i} = T_{i,i+1}, D_{source i+1} \\ T_{i,i+1} = (D_{source i+1} * T_{i-1,i}) / D_{source i} \quad (4)$$

계산된 예측값은 이웃노드들에게 전송되고 이를 수신한 각 노드는 다음의 식을 만족할 경우에만 해당 노드들 자신의 부모 노드 집합에 포함시키게 된다. 식 (5)에서 $T_{elaped,i}$ 는 노드 i 까지 도착하기 위하여 소비된 시간을 나타낸다.

$$T_{elaped,i} + T_{i,i+1} < \text{Deadline} \quad (5)$$

따라서, 식 (5)는 현재까지 걸린 시간과 해당 링크상으로 전송할 경우 다음 노드에서 처리할 시간까지를 고려하여 이것이 패킷의 데드라인을 넘지 않아야 함의 미한다.

3.2. 부모노드 선택 알고리즘

앞에서 설명한 싱크노드까지의 시간 예측에 따른 부모노드 선택과 더불어 부모 노드 선택 알고리즘의 변경이 필요하다. 변경은 크게 두 가지 방법으로 이루어지는데 첫 번째는 링크 품질을 (m,k)-firm 형태로 데이터를 전송하는 것이고 이에 따라서 각 노드에서는 이 값을 받아 자신의 요구사항과 비교하여 부모 노드 집합을 구성하고 집합에 있는 노드의 수에 따라 부모 노드를 다르게 선택하게 된다. 이를 위한 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm 1 : Constructing neighbor set and selecting the adequate parent node

1. for all links to neighboring nodes, if $((m'/k') > (m/k)$ and $(k' > k)$ then, corresponding link is inserted into the set
2. for all elements in S, if equation (5) is not met, then remove this link in S
3. if multiple entries are found, the neighboring node with the largest battery is chosen in S. Otherwise, all receiving packets are discarded.

알고리즘 1에서 첫 번째 단계는 현재의 링크 품질이 요구사항인 (m,k)-firm에 적합한 것인지를 검사하는 것이다. 첫 번째 단계에선 m' 과 k' 는 각각의 이웃노드에서 실제 링크상에서 실시간 데이터 패킷 중 이웃 노드가 정확하게 수신된 패킷과 해당 노드에서 전송된 패킷을 나타낸다. 링크 품질이 만족하다고 판단되며 이 링크는 부모 노드 집합으로 삽입된다. 두 번째 단계에서는 앞에서 설명한 싱크까지의 시간을 예측하여 이에 따라 각 노드를 집합에 계속해서 유지할 것인지를 결정하게 된다. 마지막 단계에서는 만약 다수의 엔트리가 집합에 있다면 그 중에서 에너지가 가장 많은 노드를 부모노드로 설정하게 된다. 이를 통하여 로드 분산 뿐만 아니라 각 센서 노드의 에너지를 고려하여 데이터 전송이 가능하다. 하지만, 만약 해당하는 노드가 전혀 없을 경우에는 더 이상 실시간 서비스를 제공하지 않고 모든 패킷을 버리게 된다.

IV. 성능 평가

4.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 시뮬레이션을 통한 제안된 메커니즘의 성능평가 결과를 보여준다. 시뮬레이션은 Qualnet[10] 시뮬레이터가 사용되었으며 구체적인 파라미터는 다음과 같다. 시뮬레이션은 100개의 노드가 1000m * 1000m의 범위에 임의로 위치한다. 각 노드의 무선 전송 범위는 100 미터이고 채널용량은 250kbps이다. 일반적인 CSMA가 MAC 프로토콜로 사용되었고 two-ray 모델이 무선전파 모델로 사용되었다. 제안된 시뮬레이션을 위한 응용프로그램은 SURGE인데 이는 정해진 주기로 센싱된 정보를 보고한다. 각 노드에서 전송하는 패킷의 간격은 각 시뮬레이션마다 다르게 구현된다. 센서 노드에 대한 모델은 sQualnet[11]에 구현된 것을 사용하였으며 이는 MICA2모델의 데이터로 구성되어 있다. 각 시뮬레이션은 다수의 시나리오를 수행하였고 이들과의 평균값을 사용하였다. 95%의 신뢰도를 가지며 제안된 알고리즘과 MintRoute를 비교하여 성능 평가를 하였다.

4.2. 트래픽 변화에 따른 시뮬레이션 결과

첫 번째 시뮬레이션은 각 센서 노드에서 발생하는 트래픽의 양을 늘리는 경우 이에 따른 실시간 서비스 보장 여부에 대한 시뮬레이션이다. 이는 실시간 서비스의 경우 데이터 트래픽에 매우 민감하기 때문에 이에 대한 성능을 검증하는 것이다. 이 시뮬레이션은 두 가지 방법으로 수행되는데 첫 번째는 (m,k)-firm 스트림의 동적 실패 확률을 검사하는 것이며 두 번째는 실제 데드라인 전에 도착한 전체 패킷의 수를 측정하였다. 동적 실패 확률은 전송된 실시간 패킷들이 (m,k)-firm 요구사항에 얼마나 만족시키는지 의미한다. 시뮬레이션 결과는 그림 1과 그림 2에 나타나 있다. (m,k)-firm 스트림을 위해서 (2,3)-firm이 사용되었다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 트래픽 양이 많을 경우, 즉 패킷 간격이 짧을 경우에는 기존 MintRoute의 동적 실패 확률이 매우 높게 나오며 트래픽 양이 줄어들어 따라 전체적으로 실패 확률이 낮게 나오고 있다. 이는 MintRoute의 경우에는 실시간 서비스를 고려하고 있지 않기 때문에 발생하는 것이다.

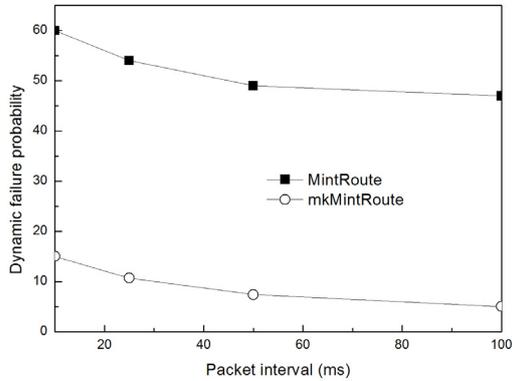


그림 1. 패킷 간격에 따른 동적실패확률
Fig. 1 Dynamic failure probability as function of packet interval

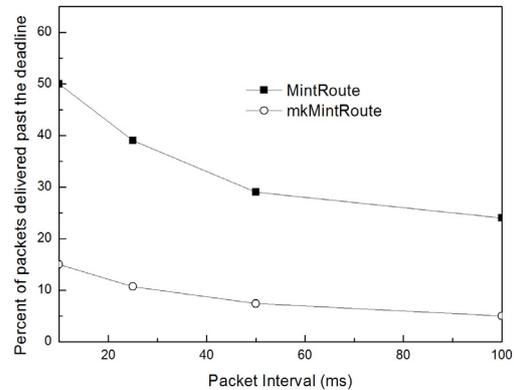


그림 2. 패킷 간격에 따른 실시간 보장실패 패킷의 비율
Fig. 2 Percent of packets delivered within deadline

제안된 메커니즘의 경우 각 부모 노드 선택시 예상 시간 및 링크의 품질을 고려하여 선택되었기 때문에 (m,k)-firm의 요구사항을 보다 잘 만족시키는 것으로 알 수 있다. 특히, MintRoute의 경우 신뢰성 기반의 링크를 사용하게 됨으로써 전송되는 패킷들이 하나의 노드에 집중되어 혼잡이 발생하게 됨으로써 패킷의 손실이 잦은 반면 제안된 메커니즘의 경우 이러한 혼잡은 집합을 구성하고 각 노드의 에너지를 고려한 로드 분산이 이루어지게 됨으로써 해결되고 있다.

그림 2는 그림 1과 달리 (m,k)-firm을 고려하지 않고 전송된 모든 패킷에 대하여 데드라인 안에 전송된 패킷의 퍼센트를 보여주고 있다. 그림 1과 비교하여 mkMintRoute의 경우에는 차이가 거의 없지만 MintRoute의 경우에는 차이를 보이고 있다. 이는 MintRoute가 특정 응용 프로그램을 대상으로 만들어진 프로토콜이 아니기 때문이다. 하지만, 전체적으로 그림 1에 비하여 실시간성 만족은 더 높다고 할 수 있다. 이는 MintRoute가 실제 링크의 품질에 따라 부모 노드를 선택하게 되는데 이는 손실된 패킷의 재전송을 줄일 수 있기 때문이다. 즉, 신뢰성이 실시간성과 연관되기 때문에 차이를 보이게 되는 것이다. 반면 제안된 메커니즘의 경우, (m,k)-firm 트래픽 모델에 특화된 프로토콜로써 모든 처리에 대하여 요구사항을 반영하고 있기 때문에 차이가 나지 않게 된다.

V. 결 론

무선 센서 네트워크의 경우 대부분의 응용 프로그램 들은 다른 요구사항을 가지기 때문에 프로토콜 개발 시 이러한 요구사항을 충분히 반영시켜야 한다. 특히, 센서 네트워크 특성상 신뢰성과 실시간성 보장은 매우 중요한 요구사항들이며 이를 지원하기 위한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 신뢰성과 실시간성 보장을 위하여 기존의 프로토콜에 새로운 트래픽 모델을 도입하는 접근 방법으로 이러한 문제를 해결하였다. 트래픽 모델로는 (m,k)-firm 스트림이 적용되었고 이를 지원하기 위하여 기존의 MintRoute 프로토콜의 기능을 확장하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 개선된 성능 향상을 증명하였으며 추가적으로 알고리즘의 성능 개선 및 시뮬레이션 연구가 진행될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(No. 2012-0001761) 과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업(NIPA-2012-H0301-12-3003)의 지원을 받아 수행된 것임

참고문헌

- [1] M. Hamdaoui, and P. Ramanathan, "A dynamic priority assignment technique for streams with (m, k)-firm guarantees," *IEEE Trans. on Computers*, Vol. 44, No. 12, pp, 1443-1451.
- [2] A. Woo, T. Tong, and D. Culler, "Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks," *In Proc. of SenSys*, 2003.
- [3] T. He, J. A. Stankovic, C. Y. Lu and T. Abdelzaher, "SPEED: a stateless protocol for real-time communication in sensor networks," *In Proc. of IEEE Int. Conf. Distributed Computing Systems*, 2003.
- [4] E. Felemban, C. G. Lee, E. Ekici, R. Boder and S. Vural, "Probabilistic QoS guarantee in reliability and timeliness domains in wireless sensor networks," *In Proc. of IEEE Int. Conf. INFOCOM*, 2005.
- [5] C. Kavitha, and K. Viswanatha, "A hybrid reliable routing technique (HRR) for wireless sensor network," *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.9, No.3, 2009.
- [6] M. Chen, C. Victor, M. Shiwen, K. Taekyoung, "Receiver oriented load-balancing and reliable routing in wireless sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2007.
- [7] M.S Nassr, J. Jun, S.J. Eidenbenz, A.A. Hansson, A.M. Mielke, "Scalable and reliable sensor network routing: performance study from field deployment," *In Proc. of IEEE INFOCOM*, 2007.
- [8] P. Kumar, and J. Kuri. "Reliable routing in sensor networks," *In Proc. of National Conference on Communications*, 2008.
- [9] A. Striegel and G. Manimaran, "Best-effort scheduling of (m,k)-firm real-time streams in multihop networks," *Comp. Comm.*, Vol. 23, No. 13, Jul. 2000, pp. 1292 - 1300.
- [10] Qualnet, <http://www.scalable-networks.com>
- [11] sQualnet: A Scalable Simulation Framework for Sensor Networks, <http://nesl.ee.ucla.edu/projects/squalnet/>

저자소개



김기일(Ki-II Kim)

2002.02 : 충남대학교 이학석사
2005.02 : 충남대학교 이학박사
2006.03 ~ 현재: 경상대학교
정보과학과 부교수

※ 관심분야 : 센서 네트워크, 이동/무선네트워크, 애드혹 네트워크, 프로토콜 공학