

802.11 WLAN 과 3G 네트워크 간의 계층적 핸드오프 알고리즘

남민지, 최낙중, 박영삼, 석용호, 최양희
서울대학교 컴퓨터공학부

Vertical Handoff Algorithm between IEEE 802.11 WLAN and 3G Network

Minji Nam, Nakjung Choi, Youngsam Park, Yongho Seok and Yanghee Choi
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요약

본 논문에서는 3G 이동 통신 시스템과 IEEE 802.11 WLAN 시스템 간의 통합을 위한 프로토콜 계층을 설계한다. 통합 알고리즘을 위한 핵심은 서로 다른 다양한 시스템의 MAC 계층을 IP 계층을 통해 통합하는 All IP 구조에서, 이종간 핸드오프 지원을 위한 새로운 적응 계층(Adaptation Layer)을 추가하는 것이다. 적응 계층에서 요구되는 기능들은 끊임 없는 계층적 핸드오프, 시스템의 발견과 최적의 인터페이스 선택, QoS 지원, AAA 등이다. 다양한 이슈들 중에 계층적 핸드오프를 위한 시스템 발견과 최적의 인터페이스 선택을 위한 알고리즘에 대해 살펴보도록 하겠다.

1. 서론

최근 경향을 보면, 무선 네트워크에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향 분석과 더불어 IEEE 802.11 표준에 기반한 근거리 무선 네트워크와 CDMA나 UMTS와 같은 3G 이동 통신을 통합하려는 많은 연구가 진행되고 있다 [1][2]. 또한 사용자들 이 노트북, PDA, 휴대폰 등 다양한 통신 기기들 사용하는 것과 상관없이 단일한 서비스 제공자로부터의 Voice와 Data 서비스를 받을 수 있게 된다는 점이 802.11 WLAN 시스템과 3G 이동 통신 시스템 간의 통합 필요성을 증폭시키고 있다. 이 두 가지 기술은 서로를 보완하는 특성을 지니고 있다. 802.11 표준은 적은 차기 비용으로 AP까지의 거리와 채널 상태에 따라 1Mbps에서 54Mbps에 이르는 고속의 data rate를 지원한다 [3]. 그러나 802.11 AP의 통신 반경이 실제 수십 미터 정도로 짧은 것이 단점이다. 반면 3G 이동 통신 시스템의 경우에는 초기 구축 비용이 많이 들고 최대 64Kbps에서 2Mbps로 상대적으로 낮은 전송 속도를 지원하지만, 통신반경이 넓기 때문에 항상 연결성(Ubiquitous connectivity)을 가능하게 한다. 이와 같이 대비되는 특성을 갖는 네트워크를 통합하여 사용자들이 통신의 끊어짐 없이 사용이 가능하다면 무선 네트워크에 대한 접근성을 획기적으로 높일 수 있고 이는 사용자와 공급자 모두에게 이익이 된다.

본 논문에서는 3G 이동 통신 시스템과 802.11 WLAN 시스템을 효율적으로 통합하기 위한 다양한 네트워크 구조 문제 중, 두 이종간 네트워크 사이의 상호 작용에 대하여 seamless를 지원하는 가장 핵심이 되는 계층적 핸드오프에 관하여 논의 하겠다. 3G 이동 통신 시스템과 802.11 WLAN 시스템의 통합과 그에 따른 계층적 핸드오프(Vertical Handoff)를 지원하기 위해서는, 두 네트워크의 구성 요소가 개개의 독립된 기능을 수행함과 동시에 부가적인 상호 작용 기능을 수행해야 한다. 이를 위해 기존의 프로토콜 구조에서 네트워크 계층과 데이터 링크 계층 사이에 적응 계층(Adaptation Layer)을 두고, 이를 이용해 통합에 필요한 여러 기능을 담당하도록 설계한다. 이러한 적응 계층에서 수행해야 하는 기능은 크게 계층적 핸드오프, 다양한 시스템의 발견과 선택, AAA 등이 있다. 본 논문에서는 적응 계층에서 가장 중요한 이슈인 계층적 핸드오프를 원활하게

수행하기 위해서 단일의 현재 위치와 채널의 상태에 따라 적절한 인터페이스를 선택하는, 802.11 WLAN 시스템과 3G 이동 통신 시스템 간의 네트워크 선택 문제에 대해 논의하겠다.

이후 본 논문 2절에서 계층적 핸드오프와 적응 계층에 대한 기본적인 개념을 살펴 보고, 이를 위해 필요한 핵심 기술로 시스템 발견과 선택 메커니즘에서 고려되어야 할 요소들 3절에서 논의하겠다. 4절에서는 3절에서 논의된 요소에 대하여 수학적으로 문제를 정의하고, 마지막으로 5절에서는 논문의 결론을 내리고 마치도록 하겠다.

2. 계층적 핸드오프와 적응 계층

상이한 두 네트워크를 결합하기 위해서는 계층적 핸드오프의 지원이 필수적인 요소가 된다. 계층적 핸드오프란 전체 네트워크 계층을 WAN, LAN, PAN 등의 계층적인 구조로 나타냈을 때 서로 다른 계층간의 이동성 지원을 의미한다. 일반적으로 언급되는 기존의 핸드오프란 수평적(Horizontal Handoff)로서 하나의 계층 내에서 다른 네트워크간의 이동성 지원을 의미한다. 계층적 핸드오프는 서로 다른 계층에 속하는 3G 이동 통신 네트워크와 802.11 WLAN의 통합에 있어 가장 기본적인 기능이 된다.

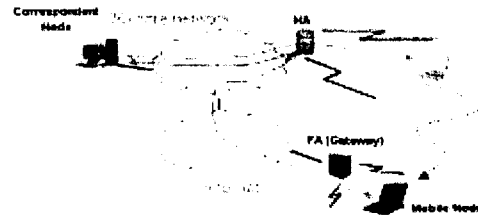


그림 1. 계층적 핸드오프

상이한 네트워크 간의 통합과 계층적 핸드오프는 네트워크의 구성 요소가 현재와 동일한 기능을 수행하면서 동시에 별도의 상호 작용을 수행해야 한다. 이를 위해 그림 2와 같이 기존의 프로토콜 구조에서 네트워크 계층과 데이터 링크 계층 사이에

* 본 논문은 2003년도 두뇌한국 21(BK21)과 국가지정연구실 프로젝트(NRL) 지원을 받아 수행되었음

적응 계층(Adaptation Layer)을 두고, 이 계층에서 3G 이동 통신 시스템과 802.11 WLAN 시스템의 통합에 필요한 여러 가지 기능을 수행하도록 한다.

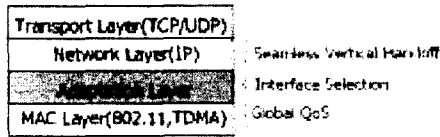


그림 2 프로토콜 구조

적응 계층에서 수행해야 하는 기능은 크게 다음과 같다.

- 계층간 핸드오프 - 이종간의 네트워크 통합은 기존의 수평적 핸드오프를 지원함과 동시에 계층적인 네트워크 구조상에서의 핸드오프를 지원해야 한다.
- 시스템의 발견과 선택 - 이종간의 네트워크 사이에서 끊어짐 없는 이동성을 지원하기 위해 단말의 현재 위치나 채널 상태에 따라 적절한 네트워크 인터페이스를 선택하는 기능에 해당한다. 또한 기본적인 시스템 발견과 선택 기능 이외에도 핸드오프가 일어나는 과정에서 발생할 수 있는 데이터의 손실을 막기 위한 기능도 수행해야 한다.
- QoS - 이종간의 네트워크 사이에서 일관된 QoS 보장을 위한 기능 역시 필요하다 기존 WLAN의 MAC 계층에서 수행되던 Fairness QoS 외에 추가적으로 이종 시스템 간의 QoS 서비스 레벨을 맞추기 위한 기능이 필요하다
- AAA - 통합된 Authentication, Authorization, Account 체계를 구축하여, 3G 이동 통신 네트워크 상에 있는 서버로부터 사용자 정보를 가져와 서로 다른 다양한 nomadic system 에 대해서 통합된 AAA 체계를 구축한다.

3. 계층간 핸드오프를 지원하기 위한 인터페이스 발견과 선택

서로 다른 네트워크 간의 핸드오프를 지원하기 위해서는 단말이 다양한 네트워크와의 연결을 인식할 수 있어야 한다. 또한 두 개 이상의 서로 다른 네트워크와 연결을 가지는 경우, 어떤 네트워크 인터페이스를 선택해서 통신을 할 것인지 하는 문제 역시 중요한 이슈가 된다.

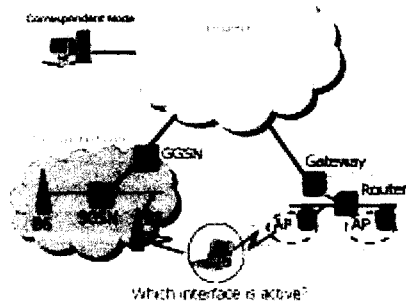


그림 3. 인터페이스 선택

그림 3 에서 사용자는 현재의 인터페이스를 사용하는 동시에 다른 인터페이스를 통한 네트워크 연결이 가능한지 테스트하여 만약 사용 중인 인터페이스를 더 이상 유용하지 않는 상황이 발생한다면 다른 이동성 에이전트에 등록을 해야 한다. 이 때 데이터의 손실을 막기 위해 대체 인터페이스에 등록을 하는 동안에도 현재의 인터페이스 연결을 지속적으로 유지해야 한다. 또한 사용자가 네트워크 사이의 경계에 위치할 경우 연속적으로 사용 인터페이스가 바뀌는 문제점을 해결하기 위해 현재의 인터페이스를 가능한 계속 유지하도록 하면서 다른

인터페이스를 사용할 경우 성능이 현격히 좋아질 경우에만 인터페이스 바꾸는 기법이 필요하다. 이는 신호의 세기, 파워 등의 인자값과 더불어 사용 중인 인터페이스에 대한 우선 순위를 고려한 인터페이스 선택 알고리즘으로 해결할 수 있다.

효율적인 인터페이스 선택 알고리즘을 위해 고려할 수 있는 요소로는 각각의 인터페이스의 파워 소모, 제공하는 대역폭, 송수신 범위, 비용, 단말의 이동성을 적절히 활용하는 것이다. 그 중 파워소모에 대해 살펴보면, 인터페이스에 따라서 데이터 송신 파워, 데이터 수신 파워 특성에 차이가 나타난다. 아래 테이블은 802.11b WLAN 인터페이스와 CDMA 1x 무선 모델에 대한 에너지 소모량을 보여 주고 있다.

표 1. 전력소모 비교표

Ortho-IEEE 802.11b MAC

Transmit	Receive	Idle
1.3(W)	905(mW)	740(mW)

CDMA 1x Wireless Modem HIC

Transmit	Receive	Idle
2.0(W)	405(mW)	820(mW)

데이터 송신 파워에서는 전송 범위가 좁은 WLAN 인터페이스가 무선 모델에 비해 상대적으로 낮은 파워를 소모하는 반면, 수신 파워는 WLAN 인터페이스가 무선 모델에 비해 상대적으로 높은 파워 소모를 보여 주고 있다. 이것은 WLAN 인터페이스가 무선 모델에 비해 링크 계층 프로토콜의 오버헤드가 크기 때문에 발생하는 현상이다. 이와 같은 인터페이스에 따른 파워 소모 특성을 고려하면 배터리로 동작하는 단말의 경우, 이용 가능 시간을 크게 향상시킬 수 있다. 즉, 인터페이스를 선택할 때 송수신하는 데이터와 같은 응용 어플리케이션에서 요구되는 대역폭을 고려하는 동시에, 단말의 파워 소모를 최소화 할 수 있는 인터페이스를 선택하는 것은 큰 이점을 지닌다. 이와 더불어 단말 각각의 인터페이스 시스템에 부과되는 비용과, 다양하게 제공되는 QoS 수준이 맞는 복합적인 요소를 고려해서 인터페이스 선택 알고리즘을 디자인 해야 한다.

본 논문에서 제안하는 인터페이스 선택 알고리즘에서 고려하는 주요 요소 정리하면 다음과 같다.

- 지속 시간(Lifetime) - 단말이 배터리로 동작하는 경우, 이용 가능한 시간을 최대로 할 수 있도록 통신에서 소모되는 파워를 최소로 해야 한다.
- 전체 가격(Total Price) - 각각의 인터페이스에 따라서 과금 체계가 다를 수 있다. 하나의 패킷을 전송하거나 수신할 때 책정되는 요금이 사용되는 인터페이스에 따라서 다를 경우, 사용자의 요구 사항은 가격을 되도록 최소화할 수 있도록 인터페이스를 선택하는 것이 중요하다.
- 서비스 품질 - 인터페이스 선택에 우선 순위를 높은 대역폭의 낮은 지연 시간을 제공할 수 있는 인터페이스를 선택하도록 하는 것이 요구된다.

4. 인터페이스 선택 알고리즘

본 논문에서 제안하는 인터페이스 선택 알고리즘은 각각의 인터페이스만의 차별적인 특징들을 고려해서 여러 가지 제한적인 조건을 만족하면서 현재 단말의 상황에 맞는 적절한 인터페이스 선택을 하도록 디자인 되었다. 알고리즘을 설명하기에 앞서 본 논문에서 사용되는 몇 가지 인자들에 대한 표기를 살펴 보도록 하겠다.

표 2. 네트워크 인터페이스 프로파일

이름	값	설명
TxPower(i)	0~Inf	인터페이스 i의 전송 파워
RxPower(i)	0~Inf	인터페이스 i의 수신 파워
IdlePower(i)	0~Inf	인터페이스 i의 아이들 파워

SetupPower(i)	0~Inf	인터페이스 i의 전원을 on/off 하는데 소모되는 파워
DataRate(i,t)	0~Inf	시각 t에서 인터페이스 i의 현재 데이터 전송 속도
SNR(i,t)	0~Inf	시각 t에서 인터페이스 i의 SNR (Signal to noise ratio) 값
Price(i)	0~Inf	인터페이스 i에서 하나의 패킷을 송수신할 경우의 비용

표 3. 시스템 프로파일

이름	값	설명
Energy	0~Inf	남아있는 에너지
Latency	0~Inf	계층적 핸드오프의 지연시간
QueueLength	0~Inf	시스템 버퍼의 크기

4.1 Formulation

3 절에서 논의한 세 가지 주요 요구 사항들은 인터페이스의 특성에 따라서 서로 상충되는 결과를 초래할 수도 있다. 또한 서비스 품질을 보장하는 것은 인터페이스만의 문제가 아닌 네트워크의 특성과도 관계 있는 요소로, 본 논문에서는 크게 두 가지 요구 사항(지속시간과 과금)에 대해서 인터페이스 선택을 위한 알고리즘을 제시한다.

네트워크 인터페이스 프로파일과 시스템 프로파일을 기본적인 입력을 하였을 때 최적의 인터페이스 선택 알고리즘은 다음과 같이 문제로 표현될 수 있다. 단, 단말의 이동성과 단말과 대응 노드 사이에 주고 받는 패킷들의 순서를 알고 있다고 가정한다.

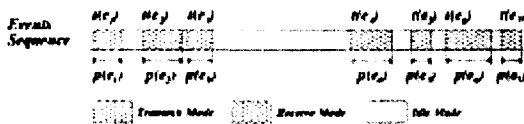


그림 4. 단말의 송수신 패킷 모델링

그림 4 는 단말의 송수신 패킷들의, 각각의 이벤트에 대해 시간 정보와 패킷의 크기에 대한 정보를 나열한 것으로 이와 같은 데이터가 주어졌을 경우에 문제는 다음과 같이 수학적 정의가 가능하다. 여기서 풀어야 하는 문제는 단말의 지속시간(Lifetime)과 총비용(Total Price)에 대한 가중치의 합으로 표현된다. 가중치에 대한 값은 단말의 사용자로부터 주어지는 값으로 가정한다.

Objective

Maximize $w(l) \cdot Lifetime - w(p) \cdot TotalPrice$

Subject to

TotalPower =

$$\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} \sum_{k \in \text{Transmit Events}} \frac{TxPower(i) \cdot p(e_k)}{DataRate(i,t)} \cdot Selection(i, e_k) +$$

$$\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} \sum_{k \in \text{Receive Events}} \frac{RxPower(i) \cdot p(e_k)}{DataRate(i,t)} \cdot Selection(i, e_k) +$$

$$\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} \sum_{k \in \text{TotalTime}} IdlePower(i) \cdot \left\{ I(e_{k+1}) - \frac{p(e_k)}{DataRate(i,t)} \right\} \cdot Selection(i, e_k)$$

Energy - TotalPower · TotalTime ≥ 0

Lifetime = $\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} \sum_{k \in \text{TotalEvents}} Selection(i, e_k)$

$$\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} Selection(i, e_k) - \sum_{i \in \text{InterfaceSet}} Selection(i, e_{k+1}) \geq 0$$

Total Price = $\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} \sum_{k \in \text{TotalEvents}} Price(i) \cdot Selection(i, e_k)$

$$\sum_{i \in \text{InterfaceSet}} Latency \cdot \{ Selection(i, e_k) - Selection(i, e_{k+1}) \} \leq I(e_{k+1}) - I(e_k)$$

4.2. 논의와 근사 알고리즘

제시된 ILP formulation 은 NP 문제에 해당하며 단말의 이동성과 패킷들의 송/수신 순서들을 주어졌다는 가정이 전제되었다. 그러나 현실적으로 과거 패턴에 따라 단말의 행동 방식을 예상할 수 밖에 없다. 따라서 단말의 이동성을 SNR 값에 대한 모니터링을 기반으로 패킷 송/수신 패턴을 과거의 패턴을 이용해서 예측하도록 한다. 이를 바탕으로 실시간에 계산할 수 있는 복잡도의 approximation algorithm 을 다음과 같이 제안한다. 네트워크 인터페이스 프로파일, 시스템 프로파일과 ISP 가 정의하는 과금 정책에 따라 formulation 에서 제시된 지속시간(Lifetime)과 총비용(Total Price), 총비용에 대한 가중치 $w(p)$ 는 ISP 의 정책이나 사용자의 성향이 크게 변하지 않는다면 변동폭이 크지 않으므로 측정을 통해 approximation 이 가능하다. 따라서 제시하는 알고리즘에서는 지속시간에 관한 가중치 $w(l)$ 를 주기적으로 계산하여 objective function 이 가장 큰 값을 가지는 인터페이스를 선택할 수 있도록 approximation algorithm 을 설계한다. 적절한 가정을 통해 지속시간에 대한 가중치 w' 를 정의하고 가중치 w' 가 가장 큰 값을 가지는 인터페이스를 선택하도록 문제를 변경할 수 있다..

지속시간을 늘리기 위해서는 배터리로 동작하는 단말의 경우 에너지 소모를 최소로 해야 한다. 따라서 가격에 대한 ISP 의 정책이나 사용자의 성향이 일정하다고 하면, 인터페이스의 선택에 가장 큰 영향을 미치는 것이 바로 에너지 소모량이다. 다중 인터페이스를 가지는 단말의 경우 가장 좋은 신호(s_i)의 인터페이스를 통하여 데이터를 전송하는 것이 에너지 소모를 줄일 수 있다. 그리고 사용자의 사용 성향으로 802.11 WLAN 과 3G 이동 통신 네트워크에 대한 우선 순위(p_i)를 미리 설정할 수도 있다.

$$w'_i = \begin{cases} 500 \times p_i + s_i, & \text{if } s_i \geq T_i \\ s_i, & \text{if } s_i < T_i \end{cases}$$

제안된 근사 알고리즘에서 T_i 는 각 인터페이스 i 에 대하여 전송에 가능한 신호의 세기를 나타내는 값으로 미리 정의된 threshold 이다. 예를 들어 802.11WLAN 우선 순위를 두는 사용자의 경우, 해당 인터페이스의 우선 순위를 $W_{wlan} = \text{high}$, 3G 이동 통신 인터페이스의 우선 순위를 $W_{3G} = \text{low}$ 로 설정한 다음 주기적으로 가중치 w' 를 계산하여 가장 큰 가중치를 가지는 인터페이스를 선택하게 된다. 따라서 우선 순위와 신호의 세기를 통한 에너지 소모를 고려함으로써 지속시간을 연장할 수 있다.

5. 결론 및 future work

본 논문에서는 IEEE 802.11 WLAN 과 3G 이동 통신 네트워크의 통합을 위한 인터페이스 선택 알고리즘을 제안하였다. WLAN 과 3G 이동 통신 네트워크 간의 끊어짐 없는 계층적 핸드오프를 지원하면서 미리 정의된 네트워크 인터페이스 프로파일과 시스템 프로파일 정보를 이용하여 배터리, QoS, 서비스 가격 등을 종합적으로 고려하여 최적의 인터페이스를 선택하는 문제를 정의하고, 복잡도를 줄이기 위해 approximation algorithm 을 제시하여 실제적인 응용이 가능하도록 하였다. Future work 으로 제시된 알고리즘의 복잡도를 수학적으로 분석하고, 시뮬레이션으로 타당성을 보이기 위한 실험이 진행 중이다.

6. 참고문헌

- [1] M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Han, Y. W. Lee, S. Miller, L. Salarelli, " Integration of 802.11 and Third-Generation Wireless Data Networks," infocom 2003, April 2003.
- [2] M. Inoue, G. Wu, "Development of MIRAI system for heterogeneous wireless networks," PIMRC 2002, Sept. 2002.
- [3] IEEE Computer Society, "802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," June 1997.