

Universal Access 를 위한 IEEE 의 표준화 동향

백승권, 송재수
ETRI 스마트무선기술연구팀 선임연구원
skback@etri.re.kr

김진업
ETRI 스마트무선기술연구팀 팀장

1. 서론
2. IEEE 802.21 의 표준화 동향
3. IEEE P1900.4 의 표준화 동향
4. Universal Access 를 위한 시스템 구조
5. 결론

1. 서론

향후 이동/무선통신 시스템 환경은 다양한 액세스 네트워크가 서로 연동하여 동작하는 형태로 진화할 것이며, 이동단말은 여러 형태의 액세스 네트워크에서 동작할 수 있는 다중모드 단말로 진화할 것으로 예상된다. 이를 위해서 네트워크 측면에서는 다양한 액세스 네트워크를 연동하여 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 기술이 요구되고 있으며, 이동단말의 경우 서비스 및 사용자의 요구사항에 적합한 액세스 네트워크를 선택하여 서비스를 받기 위한 기술들이 요구되었다[1]. 또, 액세스 네트워크를 구성하는 각각의 기능 노드들은 지속적으로 환경을 인지하고 각각의 기능 노드가 이를 기반으로 최적의 파라미터를 설정하여 동작하는 CR(Cognitive Radio)에 대한 개념이 도입되어 이동 및 무선통신 시스템의 지능화가 진행 중에 있다[2].

이런 다양한 액세스 네트워크가 연동하여 서비스를 제공하고 지능화되는 통신 환경에서 서비스 및 사용자의 요구사항 및 환경에 적응적으로 액세스 네트워크를 탐지하고 선택하여 사용할 수 있는 기능을 요구되고 있으며, 동적인 방법으로 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 Universal Access 기능이 요구된다. 따라서, 본 고에서는 다양한 액세스 네트워크가 중첩되어 서비스를 제공하는 환경에서 이종의 액세스 네트워크 간에 유연한 이동성을 제공하고, CR 기술을 통해서 주파수 자원의 효율적인 사용과 무선자원의 최적화된 사용을 위해서 IEEE 에서 진행중인 표준화 작업에 대해서 살펴본다. 이에 본 고는 Universal Access 를 위해서 IEEE 에

* 본 내용과 관련된 사항은 ETRI 백승권 선임연구원 (☎ 042-860-5226)에게 문의하시기 바랍니다.

**본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

서 진행하는 표준화 동향을 제시하고 이를 기반으로 Universal Access 를 위한 시스템 구조 및 요소 기술에 대해서 기술한다.

본 고의 구성은 2 장에서는 IEEE 802.21 의 표준화 동향 및 MIH(Media Independent Handover) 구조에 대해서 기술하고 3 장에서는 CWN(Composite Wireless Network) 환경에서 주파수의 이용 효율을 높이고 효율적인 무선자원 이용을 위한 IEEE P1900.4 의 표준화 동향을 기술한다. 그리고, 4 장에서는 IEEE 에서 진행하는 표준화 동향을 기반으로 Universal Access 를 위한 시스템 구조 및 요소 기술에 대해서 소개하며, 5 장에서는 결론에 대해서 기술한다.

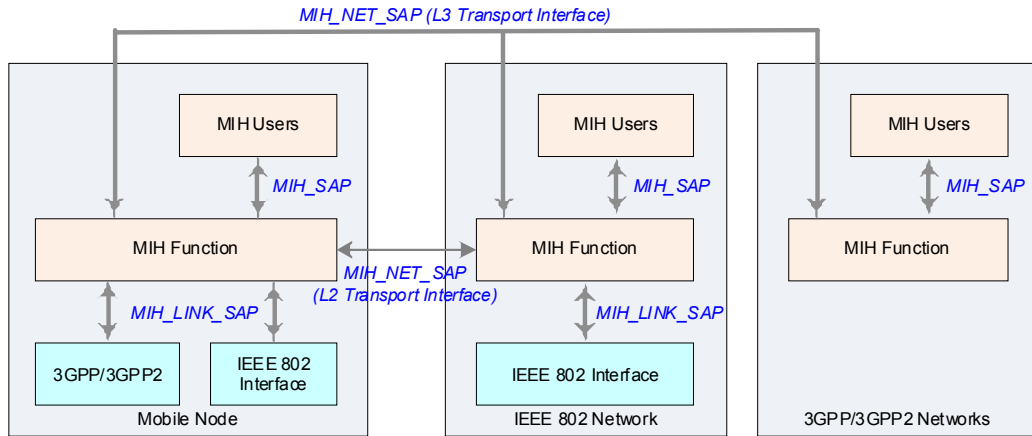
2. IEEE 802.21 의 표준화 동향[3]

IEEE 802.21 MIH WG 은 이기종 네트워크 간의 유연한 핸드오버를 목표로 2004 년 3 월 결성되었으며 다양한 액세스 네트워크에 접속 가능한 다중모드 단말을 기반으로 이종 액세스 네트워크간의 핸드오버를 표준화 범위로 고려하였다[4]. 위와 같은 목적으로 IEEE 802.21 MIH 에서는 이종 액세스 네트워크 간의 핸드오버 시 서비스의 유연함을 보장하고 서비스 품질을 보장하는 심리스 핸드오버를 목적으로 링크 계층과 상위 계층 간의 공통적인 인터페이스를 제공하고 링크 계층 혹은 미디어에 독립적인 기능개체를 제공한다. 이를 위해서 이종 액세스 네트워크 간의 핸드오버를 위한 참조모델을 정의하고 다양한 서비스를 정의하였으며, 이들 서비스들은 상위 이동성 프로토콜, 하위계층 그리고 네트워크간의 정보전달을 위해서 사용된다[5].

가. IEEE 802.21 구조 및 참조모델[6]

IEEE 802.21 에서 제시하는 MIH 참조모델은 MIHF(MIH Function)로 정의되고 계층 2.5 에 위치한다. 즉, MIHF 는 IP(Internet Protocol) 기반의 이동성 프로토콜과 상위 인터페이스를 가지며, 각각의 액세스 네트워크에 종속적인 하위 프로토콜과 인터페이스를 가지고 동작한다. MIHF 의 주된 기능은 핸드오버를 위한 기능 노드들 간에 커맨드와 정보의 교환을 목적으로 하며, 핸드오버와 관련된 정보교환을 위해서 이동성 프로토콜인 MIH User 에 의해서 제어된다. MIHF 와 상/하위계층 간의 인터페이스는 여러 형태의 SAP(Service Access Point)를 통해서 제공되며, 현재 표준문서에서는 아래와 같은 SAP 을 포함한다.

- MIH_SAP: MIHF 계층과 상위계층 간의 접속 인터페이스
- MIH_LINK_SAP: MIHF 계층과 하위 링크계층 간의 접속 인터페이스
- MIH_NET_SAP: 원격 MIHF 계층과 정보교환을 위한 접속 인터페이스



(그림 1) IEEE802.21 MIH 구조

이런 형태의 구조는 MIHF와 하위계층 간의 인터페이스는 MIH_LINK_SAP을 통해서 이루어지고, MIH_LINK_SAP은 모든 하위 프로토콜에 독립적으로 정의됨으로써 MIHF 계층은 특정 액세스 네트워크에 독립적으로 설계될 수 있다. (그림 1)은 IEEE802.21에서 제시하는 MIH 구조를 나타낸 것이다.

IEEE 802.21 MIH의 참조모델에서는 MIH PoS, MIH non-PoS, 그리고 MIH PoA와 같은 기능 개체를 고려한다. MIH PoS(Point of Service)는 이동단말과 MIH 프로토콜 메시지를 교환할 수 있는 기능개체를 의미하며 이동단말은 하나 이상의 PoS와 연동하여 프로토콜 메시지를 교환하여 필요한 정보를 얻을 수 있다. MIH non-PoS는 이동단말과 직접적으로 MIH 프로토콜 메시지를 교환할 수 없으나 인접한 MIH PoS와 연동을 통해서 MIH 프로토콜 메시지를 교환할 수 있다. MIH PoA(Point of Attachment)는 링크계층에서의 엔드 포인트를 의미하며 candidate PoA, serving PoA, 그리고 target PoA로 나누어 볼 수 있다.

네트워크 개체들 간에 통신을 수행하고 정보교환을 위해서 여러 형태의 참조점(Reference Point)이 요구되며 이를 위해서 IEEE802.21에서는 5종류의 참조점을 제시한다[4]. R1은 이동단말과 Serving PoA 간의 통신을 위한 참조점이며 이를 통해서 이동단말은 현재 연결된 connection의 상태를 수집한다. R2는 이동단말과 Candidate PoA 간의 통신을 위한 참조점이며 이동단말은 이를 통해서 핸드오버 결정 전에 Candidate PoA의 상태를 수집한다. R3는 이동단말과 non-MIH PoA 네트워크의 MIH PoS 간의 통신을 위한 참조점이며, R4는 MIH PoS와 다른 네트워크에 존재하는 MIH non-PoS 간의 통신을 위한 참조점이며 이를 통해서 다른 MIH 서버로부터의 정보전달을 위해서 사용한다. R5는 이동 MIH PoS들 간의 통신을 위한 참조점이며 이

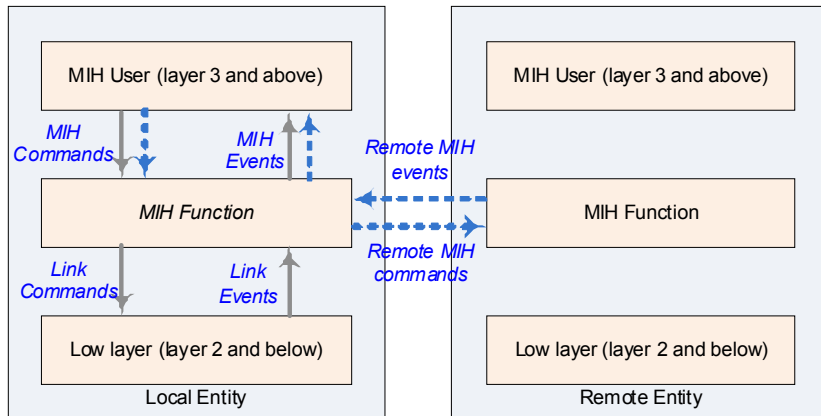
를 통해서 IP 설정방법과 같은 정보들을 이동단말에게 전달한다.

나. MIH 서비스

앞 절에서 기술한 IEEE 802.21 구조 및 참조모델에서 표준에서는 MIHF 가 제공하는 서비스는 크게 이벤트 서비스, 커맨드 서비스, 그리고 정보 서비스이다. (그림 2)는 MIH 에서 제공하는 서비스를 나타낸 것이다.

(1) MIH 이벤트 서비스

IEEE 802.21 MIH 에서는 네트워크 혹은 단말에서 시작하는 핸드오버절차를 지원하며, 핸드 오버와 관련된 이벤트들은 MAC(Medium Access Control) 계층 혹은 MIHF 에서 발생된다. 즉, MIH 이벤트 서비스는 하위 액세스 네트워크의 프로토콜에서 발생하는 네트워크 상태정보를 이동성관리 프로토콜로 전달하여 IP 계층 이상에서의 이동성 처리에 따른 성능을 최적화할 수 있도록 지원한다. 이를 위해서 이벤트 서비스에 관심이 있는 개체들은 등록절차를 수행하고 이벤트 트들이 발생하였을 경우 등록된 리스트를 이용하여 해당 정보를 각각의 개체에게 전달한다. MIH 이벤트 서비스에서 고려하는 이벤트는 링크계층 이벤트와 MIH 이벤트로 나누어 볼 수 있다. 링크계층 이벤트는 링크계층에서 생성되어 MIHF 로 전달되며, MIH 이벤트는 MIH 계층에서 발생하여 MIH User 계층으로 전달된다.



(그림 2) MIH 서비스

(2) MIH 커맨드 서비스

MIH 커맨드 서비스는 링크의 상태를 결정하거나 적합한 핸드오버 정책을 지시하기 위해서 응용 및 이동성 관리 프로토콜에서 하위 액세스 네트워크의 인터페이스를 지시하여 네트워크 접

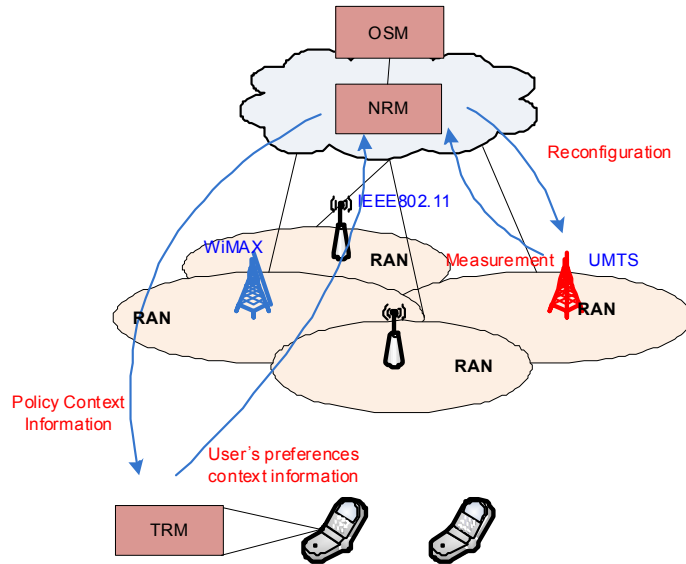
속 상태를 변경시키거나 네트워크의 상태정보를 질의할 수 있게 한다. MIH 커맨드는 지역적 혹은 전역적으로 전달될 수 있으며, 원격 커맨드를 이용하여 네트워크는 네트워크가 시작하는 핸드오버를 지시하거나 및 네트워크가 지원하는 핸드오버를 수행할 수 있다. 원격 커맨드는 주로 원격 MIHF 개체와의 통신을 통해 원격 네트워크 장치의 링크 품질 상태를 질의하거나 하부 링크의 동작을 제어하기 위하여 사용되며, 원격 MIHF 간 MIH 프로토콜 메시지를 전달함으로써 이종 액세스 네트워크 환경에서 최적의 액세스 네트워크를 선택할 수 있도록 지원한다. MIH 커맨드 서비스는 MIH 커맨드와 링크 커맨드로 나누어 볼 수 있다. MIH 커맨드는 상위계층에서 MIHF로 전달하는 커맨드이며, 원격 커맨드일 경우에는 로컬 MIHF를 거쳐 MIHF 전송 프로토콜을 이용하여 전달된다. 링크 커맨드는 MIHF에서 생성되며 MIH User 입장에서 하위계층의 제어 및 설정을 위해서 사용된다.

(3) MIH 정보 서비스

MIH 정보 서비스는 멀티모드 단말이 현재 접속한 액세스 네트워크에 인접한 다양한 이종 액세스 네트워크에 대한 정보를 제공한다. 이를 위하여, IEEE 802.21에서는 이종 네트워크에 대한 정보를 관리하는 MIH 정보서버를 정의하며, 목적 네트워크를 선택하기 위한 정보를 제공한다. MIH 정보서버를 통해서 전달되는 정보들은 이웃하는 네트워크, 서비스 지역 등과 같은 하위계층 정보들과 특정 서비스 지역의 부하상태와 같은 상위 계층정보들을 포함한다 즉, MIH 정보 서비스의 주된 목적은 이동단말에게 핸드오버 시 최적의 액세스 네트워크를 선택할 수 있는 파라미터들을 전달하는 것이며 정적인 정보들이 대부분이다. MIH 정보 서비스를 이용하여 전달할 수 있는 정보들은 네트워크의 종류, 운영자, 서비스 제공자의 인식자와 같은 일반적인 정보 혹은 특정 액세스 네트워크 및 PoA와 연관되는 정보 등이 있다.

3. IEEE P1900.4의 표준화 동향[7]

SCC41(Standards Coordinating Committee 41)의 WG(Work Group)인 P1900.4는 다수의 무선 네트워크가 운영되는 CWN 환경을 위한 네트워크 구조와 동적 스펙트럼 사용 및 무선자원 사용의 최적화를 위한 분산 decision making 기능과 절차에 대한 표준화 작업을 수행하고 있다 [8]. 이를 위해서 네트워크 자원관리 블록, 디바이스 자원관리 블록, 그리고 이들 기능 블록들 간의 정보교환 방법과 무선자원 및 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 구조를 정의한다. IEEE P1900.4에서 고려하는 CWN 환경은 다수의 Operator 및 다수의 이종 RAN(Radio Access Network)이 존재하고 멀티모드 혹은 멀티호밍 기능을 가진 CR 단말로 구성되며 (그림



(그림 3) IEEE P1900.4에서 제시하는 CWN 환경

3)과 같은 구조를 갖는다.

OSM(Operator Spectrum Manager)은 Operator 마다 존재하거나 RAN 에 종속적으로 존재할 수 있으며 RAN 들간의 협력기능 제공 및 동적 스펙트럼 할당 기능을 수행한다. IEEE P1900.4 에서는 아래의 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다[9].

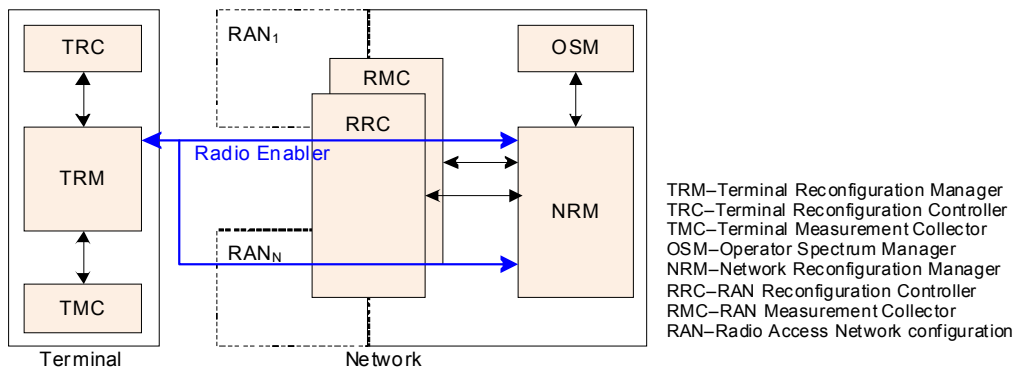
- 전체 CWN 의 성능 및 QoS(Quality of Service) 향상
- 효율적인 무선자원 사용
- RAN 과 단말의 재설정 기능 제공
- RAN 과 단말의 컨텍스트 정보 수집
- 분산 decision making 을 위한 네트워크 단말 간의 정보 교환절차

IEEE P1900.4 에서 제시하는 기능을 이용하여 동적 스펙트럼 할당, 동적 스펙트럼 액세스, 그리고 분산기법에 따른 무선 자원 최적화와 같은 3가지의 사용 예를 고려할 수 있다. 동적 스펙트럼 할당은 스펙트럼 사용을 최적화하기 위해서 CWN 에 포함된 RAN 들에게 동적으로 주파수를 할당하는 것을 의미하며 동적 스펙트럼 액세스는 RAN 들에게 할당된 주파수는 고정이지만, 특정 대역을 다수의 RAN 혹은 단말들이 공유할 수 있는 것을 의미한다. 분산기법에 따른 무선자원 최적화는 P1900.4 시스템이 기존 RAN 들에 적용하여 QoS 를 향상시키고 무선자원의 사용을 최적화하는 것을 의미한다. 위와 같은 목적을 위해서 IEEE P1900.4 에서는 다수의 기능

모듈을 정의하고 이들간의 인터페이스를 통해서 앞서 제시한 목적을 달성한다.

가. 시스템 구조 및 참조 모델

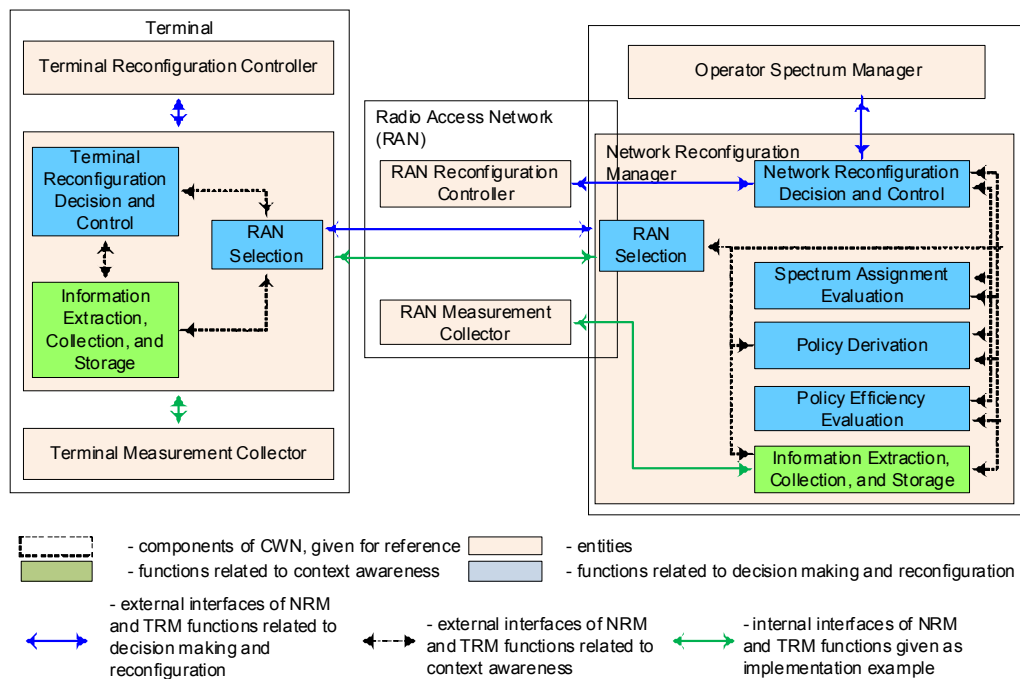
IEEE P1900.4 는 Object-oriented 기반의 정보모델을 사용하며 CWN 과 CR 단말에서 사용할 정보모델을 정의한다. CWN 과 관련된 클래스들은 Operator, RAN, BS 그리고 Cell 에 대한 정보를 모델링하며, CR 단말과 관련된 클래스들은 사용자의 응용, CR 단말, 주파수 채널 그리고 활성화된 connection 에 대한 정보를 모델링한다. 또, 무선자원과 관련된 정책 및 스펙트럼 할당에 대한 정보를 모델링하며, 각각의 정보모델은 외부 management 를 위한 기능을 포함한다. 위와 같은 시스템 요구사항을 기반으로 IEEE P1900.4 에서 고려하는 시스템 모델은 (그림 4)와 같은 CWN 을 위한 기능 모듈들과 CR 단말을 위한 기능 모듈들로 나누어 볼 수 있다.



(그림 4) 시스템 구조

네트워크의 자원관리를 위해서는 OSM, RMC, NRM 그리고 RRC 가 정의되며, CR 단말의 자원관리를 위해서는 TMC, TRM, 그리고 TRC 가 정의된다. OSM 은 NRM 의 DSA(Dynamic Spectrum Allocation/Access)를 제어하기 위한 모듈이며, RMC 는 RAN context 정보를 수집하고 NRM 에게 해당 정보를 전달하는 기능을 수행한다. NRM 은 스펙트럼 사용의 최적화를 위해서 CWN 과 CR 단말들을 관리하는 기능을 수행하며, RRC 는 NRM 의 요청을 기반으로 RAN 의 재설정을 제어하는 기능을 수행한다. TMC 는 CR 단말의 컨텍스트를 수집하고, 수집된 컨텍스트 정보를 TRM 으로 전달하는 기능을 수행하며, TRM 은 NRM 에서 제시한 구조에서 스펙트럼 사용의 최적화를 위해서 CR 단말을 제어하는 기능을 수행한다. 또, TRC 는 TRM 의 요청을 기반으로 CR 단말의 재설정을 제어하는 기능을 수행한다. CWN 과 CR 단말과의 연동을 위해서는 IEEE P1900.4 에서는 Radio Enabler 라는 논리채널을 제공하며, 이는 TRM 과 NRM 간의 데이

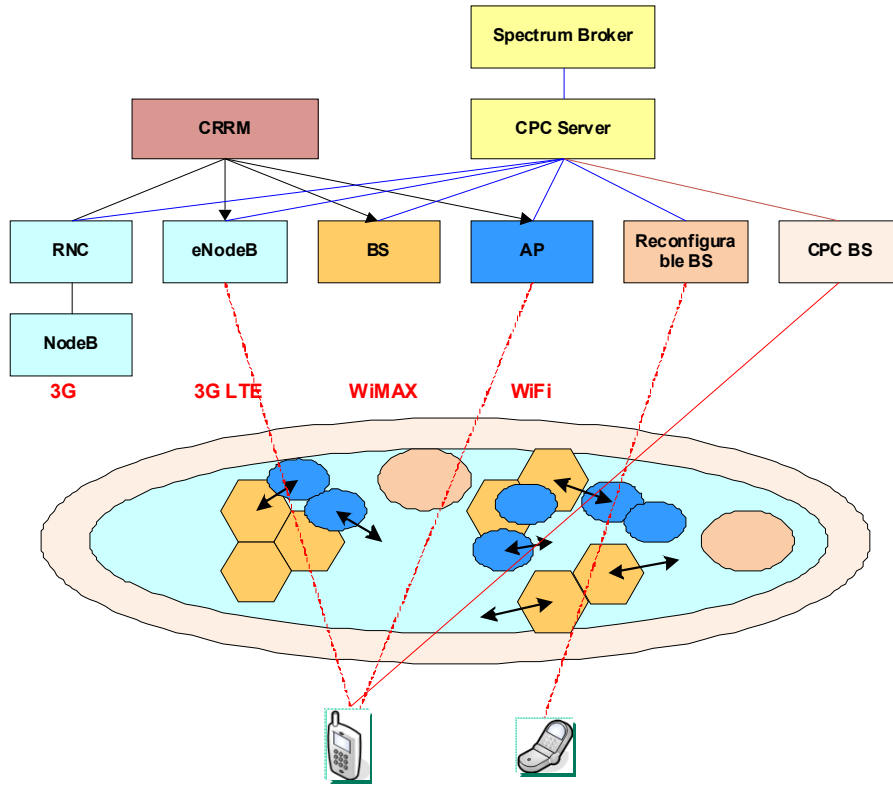
터 전송을 위한 목적으로 사용된다. Radio Enabler 는 다수의 RAN 에 맵핑되어 동작하는 In-band 방식과 특정 물리 채널을 이용하는 Out-band 방식으로 나누어 볼 수 있다. P1900.4 에서 제시하는 각각의 기능개체는 참조모델을 이용하여 동작하며, 각각의 SAP 은 다음과 같은 기능을 수행한다. Transport SAP 은 IEEE P1900.4 개체들 간의 메시지 교환을 위해서 사용하며, 이를 위해서 프리미티브들과 프리미티브들 간의 맵핑을 제공한다. Reconfiguration and Measurement SAP 은 RAN 들과 CR 단말들을 위한 재설정 및 measurement 서비스를 제공하며, 이를 위해서 RAN 과 CR 단말들의 컨텍스트 정보를 수집하고 이들의 재설정을 제어한다. Management SAP 은 IEEE P1900.4 개체들 간의 management 서비스를 제공하며, 이를 위한 프리미티브들을 제공한다. 앞서 기술한 기능적인 기능 블록들을 기반으로 IEEE P1900.4 에서 제시하는 NRM 및 TRM 의 기능구조는 (그림 5)와 같다.



(그림 5) 기능개체 구조

4. Universal Access 를 위한 시스템 구조

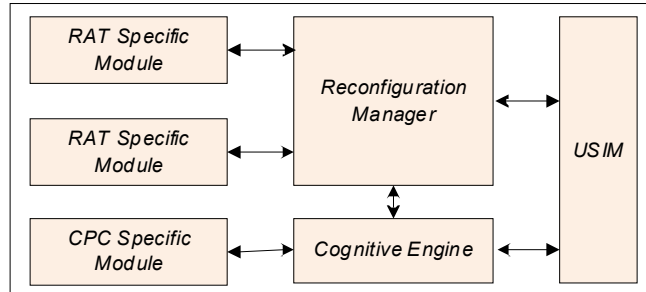
앞 서 기술한 IEEE 의 표준화 동향을 기반으로 볼 때, 향후 이동/무선 통신 시스템은 다수의 액세스 네트워크가 융합되어 동작하고 사용자의 서비스에 적합한 액세스 네트워크를 이용하여



(그림 6) Heterogeneous Cognitive Radio Network의 구조

서비스를 제공하는 구조가 될 것이다. 또, 주파수 자원의 효율적인 사용을 위해서 기존의 고정된 주파수 할당 방식이 아닌 유동적인 주파수 할당정책을 사용함으로써 액세스 네트워크 및 이동단말이 보다 유연성을 가지고 동작할 수 있어야 한다. 앞서 기술한 내용을 기반으로 향후 이동/무선통신 시스템의 구조는 (그림 6)과 같은 Heterogeneous CRN(Cognitive Radio Network) 구조로 진화할 것으로 예상된다. 즉, 기존의 시스템 및 새롭게 도입되는 무선/이동 시스템들이 IP 기반의 네트워크에 연동되고 이종 액세스 네트워크 간의 자원관리를 위한 기능 개체(CRRM)와 동적인 주파수의 사용 및 할당을 위한 기능개체들(Spectrum Broker, CPC Server, CPC BS)이 추가되어 보다 효율적으로 주파수 자원 및 네트워크 자원을 관리하는 구조를 가지게 된다.

앞서 제시한 시스템 구조에 더불어 이동단말의 구조도 SDR(Software Defined Radio) 기반의 다중밴드 다중모드 지원이 가능하며 주위의 환경을 인지하여 서비스 및 사용자의 요구사항에 최적의 액세스 네트워크를 이용할 수 있는 Universal Access가 가능한 구조가 될 것이다. 이를 위해서 CPC(Cognitive Pilot Channel) 처리를 위한 모듈과 환경을 인지하여 제어 및 결정기능



(그림 7) Heterogeneous CRN 환경에서의 이동단말 구조

을 수행하는 Cognitive Engine, 그리고 재구성을 위한 Reconfiguration manager 가 고려될 수 있으며, 인지 및 결정에 따라서 액세스 네트워크에 접속하여 동작한다. (그림 7)은 앞서 기술한 내용을 바탕으로 이동단말의 기능을 간략하게 나타낸 것이다.

위와 같은 시스템 환경에서 Universal Access 을 위해서 환경인지 기능, 결정 기능, 그리고 재설정 기능 등이 요구된다. 특히, Universal Access 를 위한 환경 인지 기능은 액세스 네트워크의 모니터링 기능 및 서비스 가능한 액세스 네트워크의 탐색기능이 포함되며, 결정기능은 환경 인지 기능을 통해서 도출된 다양한 파라미터들을 기반으로 액세스 네트워크 혹은 최적의 채널을 선택하는 기능과 전체 액세스 네트워크의 성능을 고려한 효율적인 자원할당 기능 및 동적 주파수 할당 기능이 포함된다. 또, 도출된 결정기능을 각 기능노드에 적용하는 재설정 기능은 각 기능 노드의 통신 모드 및 파라미터들의 재설정 기능과 접속 네트워크 변경에 따른 최적 경로 재설정 기능이 포함된다.

5. 결론

본 고에서는 다수의 무선/이동 네트워크가 융합되어 동작하고 주파수의 효율적인 사용을 위해서 IEEE 에서 진행되고 있는 표준화 동향에 대해서 살펴보고 이를 기반으로 Universal Access 가 가능한 무선/이동 네트워크를 위한 시스템 구조를 제안하였다. Universal Access 를 위해서 IEEE 802.21 MIH 에서는 이중 액세스 네트워크 간의 핸드오버를 위한 참조모델 및 이벤트, 커맨드, 그리고 정보 서비스를 정의하고 각 기능개체 간의 정보전달을 위한 표준화 작업을 수행했다. 또, IEEE P1900.4 는 CWN 환경에서 네트워크 구조와 무선자원 사용의 최적화를 위한 분산 decision making 기능을 위한 기능과 절차에 대한 표준화 작업을 수행하고 있다. 위에서 제시된 표준화 동향을 바탕으로 본 고에서는 Universal Access 를 위한 시스템 기능 구조

및 단말의 기능 구조를 제안하고 제안된 시스템 구조에서 필요한 요소 기술들을 제시하였다. 본 고에서 제시하는 향후 이동/무선 통신 시스템의 구조는 다수의 액세스 네트워크가 연동하여 동작하는 환경에서 인지 기능 및 재설정 기능을 가진 이동단말은 다양한 액세스 네트워크에 접속 가능한 구조가 될 것이며, 액세스 네트워크의 각 기능 노드들은 지능화되어 효율적으로 주파수 및 무선자원 사용이 가능한 구조로 진화할 것으로 예상된다.

<참 고 문 헌>

- [1] Berezdivin, R.; Breinig, R.; Topp, R., "Next-generation wireless communications concepts and technologies", IEEE Communication Magazine, vol. 40, issue 3, March, 2002, pp.108-116.
- [2] Akyildiz, I.F.; Won-Yeol Lee; Vuran, M.C.; Mohanty, S., "A survey on spectrum management in cognitive radio networks", IEEE Communications Magazine vol.46, issue 4, April, 2008, pp.40-48.
- [3] IEEE P802.21/D13, Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services, July, 2008.
- [4] De La Oliva, A.; Banchs, A.; Soto, I.; Melia, T.; Vidal, A., "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services", IEEE Wireless Communications, vol.15, issue 4, Aug., 2008, pp.96-103.
- [5] Eastwood, L.; Migaldi, S.; Qiaobing Xie; Gupta, V., "Mobility using IEEE 802.21 in a heterogeneous IEEE 802.16/802.11-based, IMT-advanced(4G) network", IEEE Wireless Communications, vol.15, issue 2, April, 2008, pp.26-34.
- [6] Lampropoulos, G.; Salkintzis, A.K.; Passas, N., "Media-independent handover for seamless service provision in heterogeneous networks", IEEE, Communications Magazine, vol. 46, issue 1, Jan., 2008, pp.64-71.
- [7] IEEE P1900.4/D1.6, Draft Standard for Architecture building blocks enabling network-device distributed decision making for optimized radio resource usage in heterogeneous wireless access networks, June, 2008.
- [8] Sherman, M.; Mody, A.N.; Martinez, R.; Rodriguez, C.; Reddy, R., "IEEE Standards Supporting Cognitive Radio and Networks, Dynamic Spectrum Access, and Coexistence", IEEE Communications Magazine vol.46, issue 7, July, 2008, pp.72-79.
- [9] Prasad, R.V., Pawelczak P., Hoffmeyer J.A., Berger, H.S., "Cognitive functionality in next generation wireless networks: standardization efforts", IEEE Communications Magazine, vol. 46, issue 4, April, 2008, pp.72-78.