

WiMAX 정책 제어 시스템의 정보 동기화

설순욱*, 조성수*

Error Handling and Data Synchronization in Policy and Charging Control Architecture in WiMAX

Soonuk Seol*, Sungsoo Cho*

요약

3GPP와 WiMAX의 Policy and Charging Control(PCC) 표준에서는 정책제어 시스템(Policy and Charging Rule Function, PCRF)이 정책적용 시스템(Policy and Charging Rule Enforcement Function, PCEF)에 품질 및 과금 정책을 설정하고 관리함으로써 네트워크 자원을 제어하는 아키텍처를 정의한다. 본 논문은 PCRF 시스템과 PCEF 시스템 사이에서 정책 정보 불일치로 인해 발생하는 오류의 유형을 규정하고, 각 오류의 유형에 따라 PCRF 시스템의 정책 정보와 PCEF 시스템의 정책 정보를 동기화 시키는 방법을 제안한다. 그리고 WiMAX 표준을 준용하여 한국에 구축된 WiBro 시스템에서 각 기지국의 mobile VoIP(mVoIP) 수용량 관점에서 제안한 방법의 성능을 정량적으로 분석하였다. 제안한 방법은 삭제되지 않은 정책 정보로 인한 네트워크 자원의 낭비를 줄이고, 불필요한 정보의 누적으로 인해 발생하는 시스템의 부하, 메모리 누수, 시스템 정지 등과 같은 문제점들을 방지하고, PCC 서비스를 안정적으로 유지시켜 줌으로써 시스템의 성능을 향상시킨다. 우리는 이 방법을 실제 구현을 통하여 검증하였으며, WiMAX 표준에 반영시켰다.

Key Words : Error Handling, Synchronization, WiMAX, mVoIP, PCC

ABSTRACT

In the Policy and Charging Control(PCC) architecture of the 3GPP and WiMAX forum, the Policy and Charging Rule Function(PCRF) controls and configures the policies of quality of services(QoS) and accounting to a Policy and Charging Rule Enforcement Function(PCEF). In this paper, we categorize the errors into three types that include a disconnection with peer entity, a delayed or no response and a response with failure result, and propose a scheme to automatically synchronize the data between the PCRF and the PCEF for each type of error. Also, we conduct a quantitative analysis to see how much it can help to maintain the cell capacity of the mobile VoIP service in a WiBro network, which is implemented in Korea according to the standards of WiMAX. We can see that our proposed scheme improves the performances of PCC by preventing the waste of radio resources, the overload of systems, the memory leakage of servers, the system shutdown, and so on. We have validated the scheme by implementation, and reflected it in WiMAX standard documents.

I. 서론

통신망에서 다양한 형태의 미디어를 각각의 특성에

맞는 서비스 품질로 전송하기 위해서는 네트워크 장치에 대한 정책 기반의 제어 및 관리가 필요하다. 이를 위해, 국제 포럼이나 표준화 기구에서는 차세대 통

◆ 주저자 겸 교신저자 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부, suseol@koreatech.ac.kr, 정희원

* KT 종합기술원, nicecho@kt.com, 정희원

논문번호 : KICS2013-01-008, 접수일자 : 2013년 1월 8일, 최종논문접수일자 : 2013년 4월 25일

신망(Next Generation Network, NGN)의 표준화 초기부터 NGN 구조 내에 자원 수락 제어 기능(Resource and Admission Control Function, RACF)을 정의하고 규격을 표준화하고 있다¹¹. 자원 수락 제어 기능은 네트워크의 자원 상태를 모니터링하고 있다가 서비스 시스템(Application Function, AF)으로부터 네트워크 자원이 요청될 때 서비스 가능 여부를 판단하고, 필요한 경우 네트워크 장비를 제어하여 서비스 품질을 유지할 수 있도록 자원을 예약하는 역할을 한다. 만약 네트워크 자원이 부족한 경우, 미리 서비스 시스템에 자원예약 실패 결과를 알려주어서 서비스 시스템이 적절한 조치를 취할 수 있도록 해준다. 주요 국제 표준 규격에서는 자원수락제어 기능이 수행해야 할 주요 기능으로, 수락 제어(admission control), 자원 예약(resource reservation), 정책 제어(policy control), 게이트웨이 제어(gateway control)를 정의하고 있다.

최근에는 All-IP망 형태로 네트워크가 진화 및 통합되면서 자원 수락 제어 기능의 적용 범위도 하나의 망이 아닌, 다양한 통합망으로 확대되고 있다. 또한, 자원 수락 제어 기능 외에도 서비스 품질 차별화를 위한 다양한 기능과 과금 정책 제어 기능을 포함하면서 보다 폭넓은 의미의 정책 관리 시스템으로 기술이 개발되고 있다. 3GPP IMS(IP Multimedia Subsystem)의 경우, release 5에서 Policy Decision Function(PDF)가 IMS 호처리 시스템인 Proxy Call Session Control Function(P-CSCF)내에 포함된 정책 결정 기능 블록으로 정의되었다가², release 6부터 독립적인 서비스 시스템으로 규정되면서 P-CSCF 외에 다양한 응용 서비스 시스템(Application, AF)의 서비스 품질에 맞는 정책 제어 기능을 제공한다³. Release 7에서는 과금 규칙 제어 기능과 통합되면서 Policy and Charging Rule Function (PCRF)으로 정의되었고, 정책 데이터베이스에 해당하는 Subscription Profile Repository(SPR)과 정책을 실행하는 기능 블록인 Policy and Charging Enforcement Function(PCEF)라는 구조가 정의되었다⁴. 이후, release 8의 System Architecture Evolution(SAE)에서 다양한 무선 접속 기술의 액세스망을 포함하게 되었다⁵. 한편, 휴대인터넷(mobile WiMAX)의 경우, WiMAX 포럼에서 WiMAX PCC 구조를 정의하였는데, 이는 3GPP에서 정의한 PCC 구조를 기반으로 하고 있으며 단말이 접속망 게이트웨이를 변경하더라도 서비스 세션을 유지시켜 주고 WiMAX 망의 특성을 반영하기 위하여 Policy Distribution Function (PDF)의 기능을 PCRF

에 추가하였다⁶. PCC구조는 WiMAX 망의 QoS 정책을 관리 및 적용함으로써, QoS를 필요로 하는 mVoIP 등의 서비스에 대해 품질을 향상시키고 무선 자원을 효율적으로 사용하도록 한다^{7,8}.

그런데 PCRF와 PCEF는 실시간으로 정책 정보, 이벤트 정보 등을 주고 받아야 하는데, 통신시 발생하는 다양한 오류로 인하여 각 데이터베이스의 상태 불일치 현상이 나타날 수 있다. 이러한 오류의 예는 시스템간 네트워크 연결 끊김 등으로 인한 메시지 전송 실패, 기능 블록의 오류나 부하로 인한 지연된 응답, 응용 프로그램 오류에 따른 무응답, 요청 처리 실패 응답 등이 포함된다. 위와 같은 오류에 의해 한쪽 시스템에서만 메시지가 처리되는 경우, 두 시스템이 가지고 있는 정책 정보의 상태가 서로 불일치하게 된다. 이러한 현상이 지속되면 삭제되지 않은 정책 정보로 인한 네트워크 자원의 낭비가 발생하고, 각 시스템은 상대 시스템이 가지고 있지 않은 데이터를 누적하게 되어 결국 시스템에 부하를 주거나, 메모리 누수, 또는 시스템 정지와 같은 문제점을 초래한다. 또한 정책 정보가 제대로 삭제되지 않으면 할당된 네트워크 자원을 해제할 수 없어 자원 낭비가 발생하고, 결국 수용 가능한 가입자 수의 감소, 다른 가입자의 서비스 품질 저하, 그리고 접속 장애 등의 문제점을 유발한다. 이는 PCC 아키텍처를 설계 및 표준화함에 있어서 제어 대상 네트워크에서 발생할 수 있는 다양한 오류 시나리오를 고려하지 않았기 때문에 초래되는 결과이다.

이전 연구^{9,10}들은 PCC 아키텍처를 이용하여 주로 네트워크의 자원을 효율적으로 사용하고 통신 품질을 보장하기 위한 방법 및 절차에 대해서 논의해 왔지만, 이들은 다양한 네트워크 상황에 따라 PCRF와 PCEF 간에 발생하는 오류 유형별로 구체적인 상태 동기화 방안 및 프로토콜에 대해서는 다루지 않았다. 따라서 기존 PCC 표준 기술을 준수하여 구현된 PCRF 및 PCEF 시스템은 유기적인 연동을 통한 안정적인 효율적인 시스템 동작이 어려웠다. 특히, 단말 사용자가 여러 네트워크 사업자간 로밍(roaming)을 할 경우, 각 사업자간 PCC 구조의 연동을 통해 정책 정보를 동기화하는 절차가 표준적으로 수행되어야 하므로 이는 단순히 각 네트워크 제공 사업자 각자가 개별적으로 고민해야 할 구현(implementation)상의 문제가 아니라 일종의 연동 프로토콜(protocol)로서 해결해야 할 문제다. 따라서 우리는 각 오류의 유형에 따라 PCRF 시스템의 정책 정보와 PCEF 시스템의 정책 정보를 동기화 시키는 방법을 제안하였고, 이를 WiMAX 표준 문서에 반영시켰다. 그리고 본 논문을 통해, 상기

제안한 정책 정보 동기화 방법에 대해 소개하고, 그 효과에 대해 분석해 보고자 한다.

II. 기존 PCC 구조에서의 문제 정의

본 장에서는 요소 시스템들간의 데이터 무결성이 중요하게 요구되는 대표적인 경우로, WiMAX의 PCC 구조와 내재된 문제점을 분석한다.

2.1. WiMAX PCC 구조

그림 1은 WiMAX 시스템의 PCC 구조를 나타낸 것이다. 기본적으로, PCRF는 Rx 인터페이스(DIAMETER 프로토콜)를 통해 AF로부터 정책 설정에 관한 요청을 받는다. 이 요청에 대해 PCRF는 SPR로부터 각 가입자별 정책 정보를 판단한다. 이때, SPR은 인증 및 과금(AAA) 서버가 수행할 수도 있으나, WiMAX 표준에서는 이를 구현 이슈로 정의하고 있다. 상기 결정된 정책은 Gx 인터페이스(DIAMETER 프로토콜)를 통해 PDF에게 전달된다. PDF는 WiMAX 단말의 PCC 이동성을 유지해 주는 기능 블록으로써, 단말이 Access Service Network(ASN)간 핸드오버를 하더라도 PCC-R3-P 인터페이스(DIAMETER 프로토콜)를 통해 목적 단말에 대해 정책 적용 및 관리를 연속적으로 수행한다. ASN 내의 PCEF는 PDF로부터 전달받은 정책 적용 명령을 집행하는 역할을 한다. 이와 같이, WiMAX PCC 구조에서 PCRF는 서비스별 차별화된 정책 정보를 ASN 장치(PCEF 기능 포함)에 적용하여 서비스 품질이나 과금 규칙을 동적으로 제어하는 역할을 한다.

한편, PCRF가 각 단말에 대해 정책을 적용하기 위해서는 PCRF가 각 단말의 응용 세션을 관리 및 유지하여야 한다. 단말이 네트워크에 접속하여 서비스를 받다가 종료하기까지의 절차는 아래와 같이 3가지의 IP Connectivity Access Network (IP-CAN) 세션 처

리로 정의된다.

- IP-CAN 세션 생성 절차: 단말이 IP주소를 할당받음에 따라 PCRF와 PCEF 사이에는 1개의 Gx 응용 세션이 생성된다. 이때, 초기 접속 상태의 사용자 단말은 Initial Service Flow(ISF)라고 부르는 기본적인 논리적 통신 채널(즉, 서비스 플로우)을 갖는다. 또한, 설정 정책에 따라 추가적으로 Pre-Provisioned Service Flow(PPSF)를 가질 수도 있다.
- IP-CAN 세션 수정 절차: PCRF는 필요에 따라 단말에게 동적 서비스 플로우인 Dynamic Service Flow(DSF)를 추가적으로 생성하거나, 이를 수정 또는 삭제할 수 있다. 그 절차는 위의 PCC 아키텍처에서 설명한 바와 같다.
- IP-CAN 세션 삭제 절차: 단말이 IP를 반납하고 네트워크 접속을 종료하는 절차로써, 해당 단말에 생성된 모든 서비스 플로우가 삭제되고, PCRF와 PCEF도 해당 단말에 관련된 정책 정보를 모두 해제시킨다.

2.2. 오류 유형의 정의

위에 언급한 WiMAX PCC 아키텍처에서 PCRF와 PCEF간 정책 적용 시나리오가 정상적으로 동작하기 위해서는 PCRF와 PCEF간 단말 세션 정보 및 정책 정보 등이 일치해야 한다. 하지만 여러 가지 오류 상황 발생으로 인해 PCRF와 PCEF간 정보 불일치가 발생할 수 있으며, 이는 네트워크 자원의 낭비, 서비스 품질 저하, 접속 장애, 시스템 부하 증가, 메모리 누수 등 여러 가지 문제점을 초래할 수 있다. 본 논문에서는 통신 시스템에서 발생하는 오류의 유형을 다음과 같이 3가지 유형으로 분류하여 정의한다. 그림 2는 PCRF와 PCEF간 연동에서 유형별 오류 사례를 나타낸 것이다.

- Type I (시스템간 연결 끊김) : 그림 2a처럼 PCRF와 PCEF간 연동이 단절된 경우, PCRF와 PCEF는 어떠한 메시지도 주고받을 수 없으므로 모든 요청 및 이벤트 전달이 실패 처리된다. 예를 들어, PCRF-PCEF간 전송 계층 프로토콜(TCP)의 연결이 끊어진 상태에서 PCRF는 AF로부터 PCC Rule 삭제 요청을 받더라도 상기 요청을 PCEF에게 보낼 수 없다. 따라서 PCEF는 삭제 대상인 PCC Rule을 쓰레기(garbage) 정보로 계속 보유하게 된다. 한편, 단말이 네트워크 접속을 종료하면 PCEF는 단말로부터 IP-CAN 세션 삭제 요청을 받은 뒤 PCRF에게 해당 단말에 대한 Gx

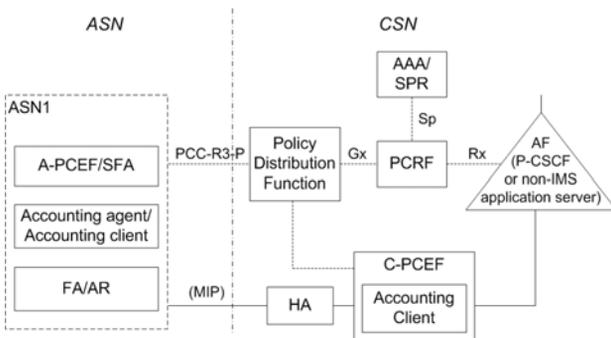


그림 1. WiMAX PCC 구조
Fig. 1. WiMAX PCC Architecture

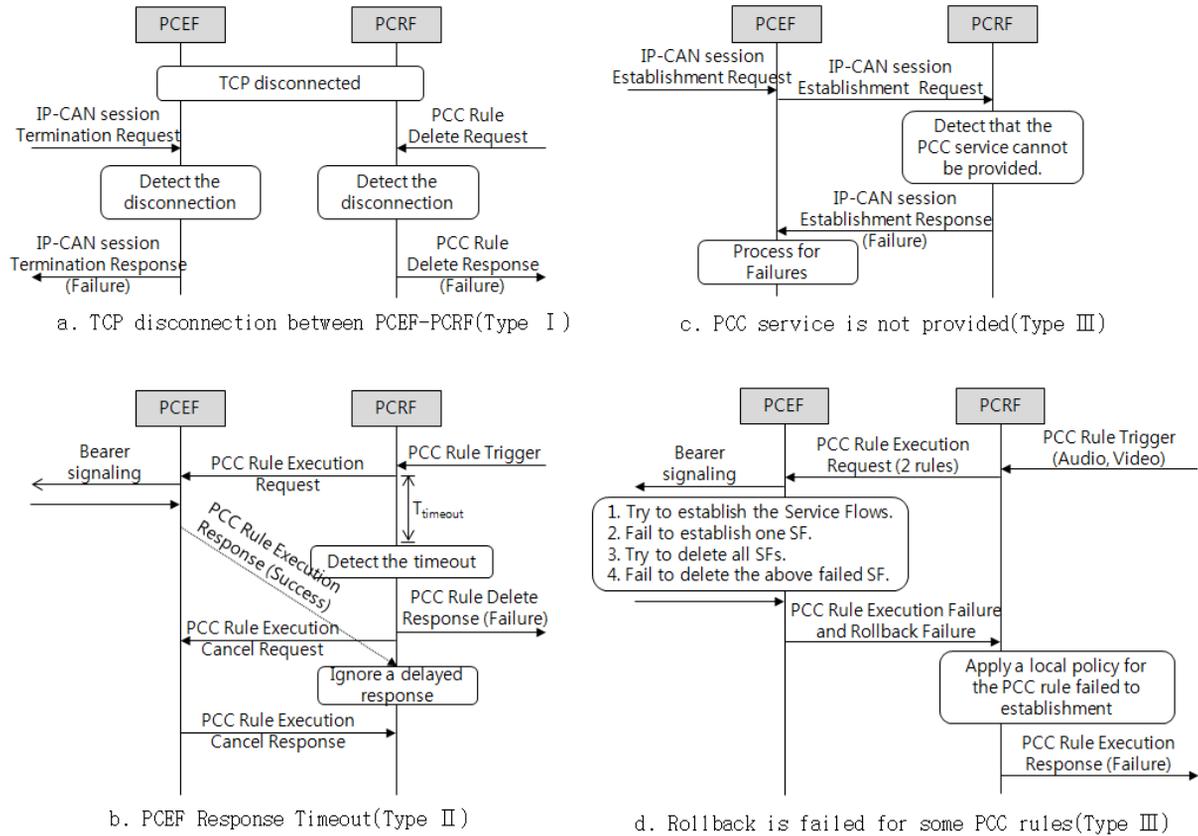


그림 2. 오류 유형별 사례
Fig. 2. Examples of different types of errors

응용 세션 삭제 요청을 해야 하는데, PCRF와의 연동이 끊어진 상태에서는 이러한 요청을 보낼 수 없다. 이로 인해, PCRF와 PCEF간 정보 불일치가 발생하게 된다.

- Type II (지연된 응답 또는 무응답) : 그림 2b처럼 PCRF는 PCEF에게 PCC Rule 적용 요청을 보낸 뒤, 그에 대한 응답 메시지를 제한 시간 ($T_{timeout}$) 이내에 받지 못하면 상기 PCC Rule 적용 요청을 실패 처리하고, 이후 PCEF의 응답 메시지가 지연 도달하더라도 그것을 무시한다. 하지만 만약 PCEF가 PCC Rule 적용 요청을 성공적으로 처리했다면 PCEF와 PCRF는 해당 PCC Rule에 대해 서로 다른 상태 정보를 갖게 된다.
- Type III (명시적 실패 응답) : 그림 2c는 단말이 네트워크에 접속할 때, IP-CAN 세션을 생성하는 절차에서 PCRF가 해당 단말이 PCC 정책 기반 서비스를 받는 대상 가입자가 아님을 판단하는 경우를 나타낸다. 이 경우, PCRF는 PCEF에게 IP-CAN 세션 생성 응답을 ‘실패’로 전달하며, PCEF는 실패 응답별 처리를 수행한다. 한편, 그림 2d는 PCRF가 AF로부터 여러 개(오디오, 비디오)의

PCC Rule을 동시에 적용하도록 요청 받는 경우를 나타낸다. PCEF는 PCRF의 요청을 받은 뒤 해당 단말에 대해 서비스 플로우를 생성하는데, 만약 일부 서비스 플로우의 생성이 실패한다면 전체 서비스 플로우를 삭제 시도하고, PCRF에게 해당 PCC Rule 적용 응답을 ‘실패’로 전달한다. 하지만 만약 PCEF가 전체 서비스 플로우 중 일부 서비스 플로우에 대해 삭제 실패한다면 이는 PCRF와의 정보 불일치를 발생시키는 쓰레기 정보가 된다.

위에 설명한 바와 같이, 네트워크 상황에 따라 PCRF와 PCEF간에는 3가지 유형의 오류가 발생할 수 있지만 기존 WiMAX PCC 표준 규격에서는 이에 대한 상태 동기화 방안에 대해 제공하지 않고 있다. 따라서 이러한 오류 상황들을 해결하기 위한 표준적인 절차를 신규 정의할 필요가 있다.

III. PCC 정책 정보 동기화 방법

본 장에서는 오류를 처리하기 위한 방법을 새로이 정의하고, 앞서 언급한 오류 유형별 처리 방법을 매핑

하여 구체적인 동기화 절차에 관해 제안한다.

3.1. 오류 처리 방법의 정의

본 논문은 다음과 같이 3가지 오류 처리 방법을 정의하였다.

- 상태 변경 없이 즉시 오류 처리하는 방법.
- 상태 불일치를 즉시 복구 처리하는 방법 (상태 불일치가 발생할 가능성을 사전에 예방하기 위한 메시지 처리).
- 상태 동기화가 필요한 대상으로 분류하여 처리하는 방법 (필요시 정책 데이터베이스에 플래그 등을 설정).

3.2. 오류 유형별 처리 방법 분류

그림 3은 단말의 IP-CAN 세션 설정 절차에서 발생할 수 있는 오류 유형에 따라 위에서 정의한 3가지 오류 처리 방법을 적용시킨 것이다.

단말이 네트워크에 접속하여 IP-CAN 세션을 생성하는 단계에서 PCEF는 PCRF에게 해당 단말에 대한 Gx 응용 세션 생성을 요청하고, PCRF는 PCEF에게 해당 단말에 대한 초기 정책 PCC Rule을 생성하도록 요청한다. 이때, 만약 Type I, II, III 오류가 발생하여 위 절차가 정상적으로 완료되지 않는다면 PCRF는 초기 정책 PCC Rule 생성 결과를 실패로 인식하여 해당 단말에 대한 Gx 세션을 미생성으로 판단한다. 하지만 PCEF는 해당 단말에 대한 Gx 세션을 정상적으로 생성 및 유지할 가능성이 존재한다. 이 경우, PCEF가 해당 단말의 접속을 강제로 종료(①)시킨다면 ‘상태 변경 없이 즉시 오류 처리 완료’가 가능하다. 그렇지 않고, PCEF가 해당 단말의 접속을 계속 유지(②)시킨다면 PCEF와 PCRF간 정보 불일치가 발생할 수

있으므로 ‘상태 동기화 필요 대상으로 분류하여 처리’해야 한다.

단말이 네트워크에 접속하여 IP-CAN 세션이 정상적으로 생성된 이후, PCRF는 해당 단말에 대해 PCC Rule 추가, 수정, 삭제하는 등 IP-CAN 세션 수정 작업을 할 수 있다. 만약 PCC Rule 추가 또는 수정 작업을 할 때, Type I 오류가 발생(③)하면 PCRF는 PCC Rule 추가 또는 생성 명령 자체를 PCEF에게 보낼 수 없으므로 PCRF와 PCEF간 정보 불일치는 발생하지 않는다. 이 경우, ‘상태 변경 없이 즉시 오류 처리 완료’가 가능하다. 그러나 만약 PCC Rule 추가 또는 수정 작업을 할 때, Type II 오류가 발생(④)하면 PCRF는 해당 작업을 실패 처리하지만, PCEF는 해당 작업을 성공 처리하게 되므로 ‘상태 불일치를 즉시 복구’해야 한다. 한편, 만약 PCC Rule 추가 또는 수정 작업을 할 때, Type III 오류가 발생하면 PCEF는 성공 처리된 PCC Rule을 원상 복구 (rollback) 시켜야 한다. 이 때, 만약 원상 복구가 성공(⑤)한다면 PCRF와 PCEF간 정보 불일치가 발생하지 않으므로 ‘상태 변경 없이 즉시 오류 처리 완료’가 가능하다. 하지만 원상 복구가 실패(⑥)한다면 PCRF와 PCEF간 ‘상태 불일치를 즉시 복구’해야 한다. PCRF가 PCC Rule을 삭제할 때, Type I, II, III 오류가 발생(⑦)한다면 ‘상태 동기화 필요 대상으로 분류하여 처리’해야 한다.

마지막으로, 단말의 네트워크 접속이 해제될 경우, IP-CAN 세션이 삭제된다. 이때는 해당 단말에 대해 생성되어 있던 모든 PCC Rule이 삭제되어야 하는데, 만약 Type I, II 오류가 발생(⑧)하면 PCRF는 PCC Rule 삭제 처리를 완료할 수 없으므로 PCRF-PCEF간 정보 불일치가 발생할 수 있다. 따라서 ‘상태 동기화

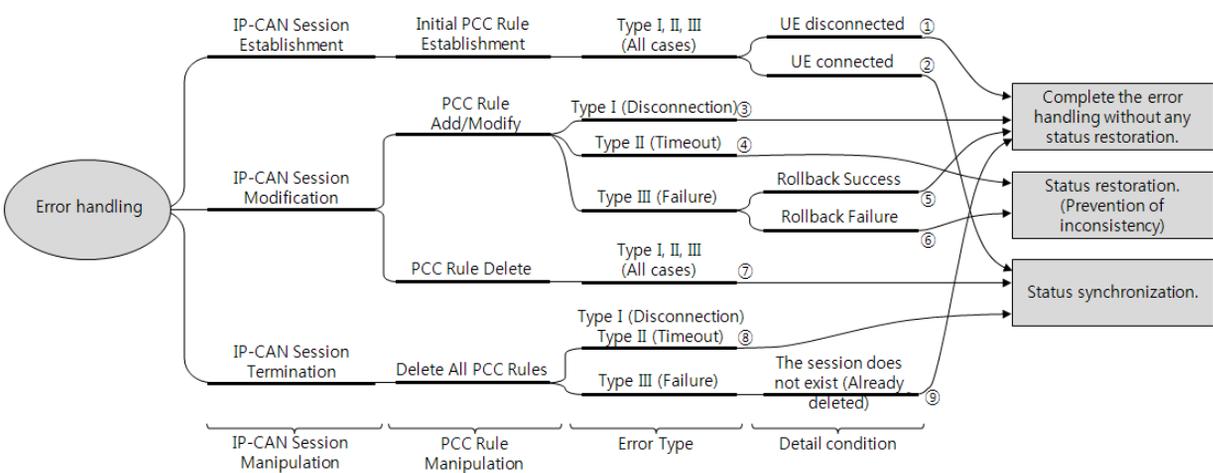


그림 3. 오류 유형별 처리
Fig. 3. Error Handling

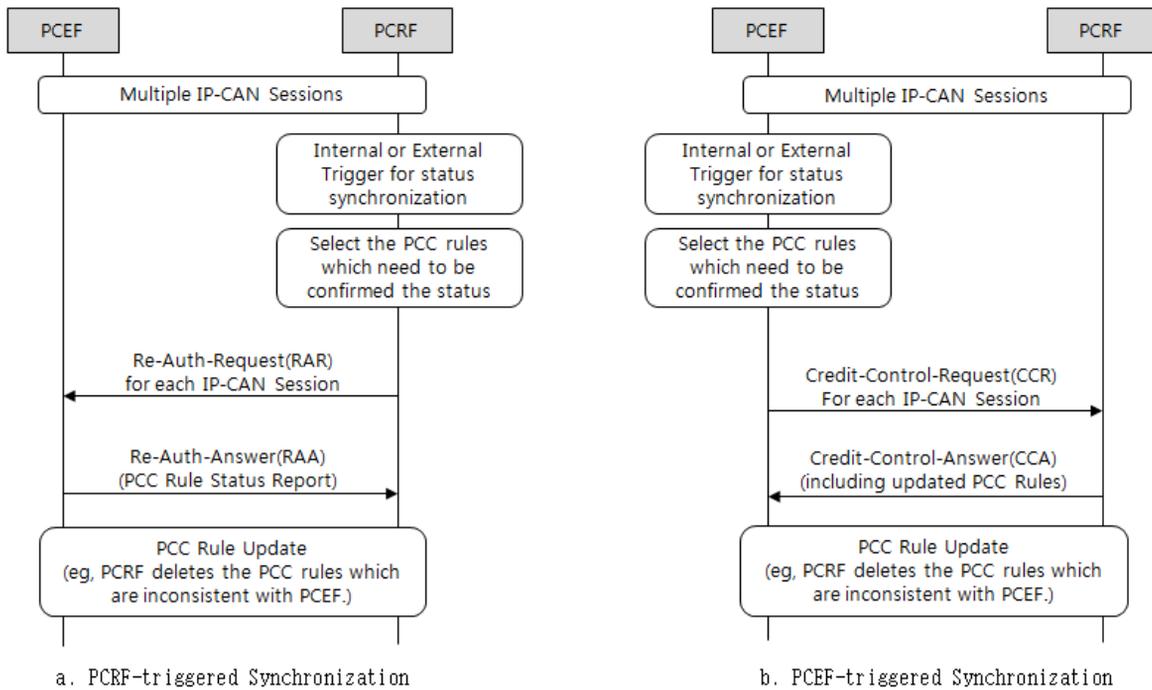


그림 4. PCRF-PCEF간 PCC 정보 동기화
 Fig. 4. Synchronization of PCC information between PCRF-PCEF

필요 대상으로 분류하여 처리'해야 한다. 그러나 만약 Type III 오류가 발생(9)가 발생하면 이는 삭제할 PCC Rule이 없다는 의미이므로 PCRF-PCEF간 상태 동기화가 필요하지 않다. 따라서 이 경우에는 '상태 변경 없이 즉시 오류 처리 완료'로 처리한다.

3.3. 정책 정보 동기화 절차

그림 4는 상태 동기화 필요 대상으로 분류된 정책 정보에 대해 PCRF-PCEF간 동기화 하는 절차를 나타 낸 것이다. 상태 동기화는 PCRF 또는 PCEF가 먼저 트리거할 수 있다. PCRF와 PCEF 사이에는 다수의 단말에 대한 IP-CAN 세션이 생성되어 있다. 이후, PCRF 또는 PCEF에서 내부 또는 외부적인 요인으로 상태 동기화를 개시한다. 이때, 요인은 미리 설정되어 있는 타이머에 의하거나, 전송계층의 재연결 완료와 같은 이벤트, 혹은 운영자의 수작업 지시 등을 포함한다.

그림 4a는 PCRF가 상태 동기화를 먼저 트리거하는 경우로써, 상태 동기화가 개시되면 PCRF는 자신이 갖고 있는 모든 PCC Rule 중에서 동기화 플래그가 설정되어 있거나, PCC Rule의 생성 시각 또는 마지막 수정 시각이 설정된 시각을 초과한 PCC Rule을 검색한다. 이후, PCRF는 검색된 PCC Rule을 포함하는 단 말의 IP-CAN 세션별로 RAR(Re-Auth-Request) 메 시지를 전송하여 동기화를 요청한다. 이 RAR 메시지를

받은 PCEF는 해당 단말의 세션에 대해 보유하고 있 는 PCC Rule의 상태 정보를 RAA(Re-Auth-Answer) 메시지의 Charging-Rule-Report AVP를 이용하여 보 고한다. PCRF는 RAA 메시지를 통해 전달받은 PCC Rule과 자신이 보유하고 있는 PCC Rule의 상태를 비 교하여 불필요한 PCC Rule에 대해 자신의 데이터베 이스를 갱신한다. 이때, 상대방 시스템인 PCEF의 PCC Rule을 삭제할 경우, PCC Rule 삭제 요청 (Charging-Rule-Remove AVP)을 포함하는 RAR 메 시지를 PCEF로 전송한다.

한편, 그림 4b는 PCEF가 상태 동기화를 먼저 트리 거하는 경우이다. 상태 동기화가 개시되면 PCEF는 자신이 갖고 있는 모든 PCC Rule 중에서 동기화 플 래그가 설정되어 있거나, PCC Rule의 생성 시각 또는 마지막 수정 시각이 설정된 시각을 초과한 PCC Rule 을 검색한다. 이후, PCEF는 검색된 PCC Rule에 대한 상태 정보를 CCR (Credit-Control - Request)메시지의 Charging -Rule-Report AVP를 이용하여 PCRF로 전 송한다. 그러면, PCRF는 정책 제어 데이터베이스를 갱신한 후, CCA(Credit- Control-Answer) 메시지를 피드백한다. 이때, PCEF의 PCC Rule을 삭제해야 하 는 경우, 상기 CCA 메시지에 PCC Rule 삭제 요청 (Charging-Rule - Remove AVP)을 포함시킨다. PCEF는 CCA메시지에 PCC Rule 삭제 요청이 포함 되어 있으면 해당 PCC Rule을 삭제한다.

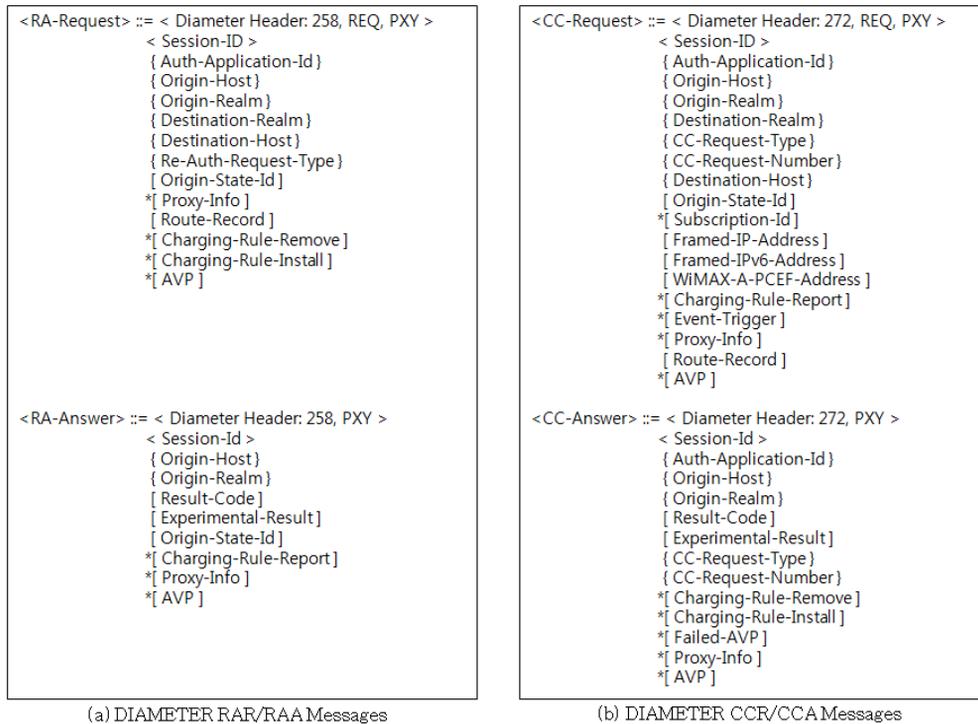


그림 5. PCRF-PCEF간 DIAMETER 응용 메시지
Fig. 5. DIAMETER Application Messages between PCRF-PCEF

WiMAX PCC 아키텍처에서 PCRF와 PCEF간 DIAMETER 연동 규격에 사용되는 RAR/RAA, CCR/CCA 메시지 구조는 그림 5와 같이 정의된다. 그림 5a에서 RAR 메시지에서는 PCC Rule을 생성하거나 삭제하는 요청이 포함되지 않도록 요구된다. 또한, 본 논문에서 제안된 방법에 따라 동기화 리포트 메시지임을 알리기 위해 CCR 메시지에는 Event-Trigger AVP를 포함하지 않는다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 정책 정보 동기화 방법을 휴대 인터넷 기반 인터넷 전화 (VoIP, Voice over IP) 시나리오에 적용한 절차의 예시이다. 이 예제에서는 상태 정보 불일치 상황을 PCRF에서 개시하여 동기화를 이루는 사례를 보여준다. 먼저, VoIP 호 초기 생성 과정을 통해 통화를 시작한 후, 서비스 서버로부터 PCRF와 PCEF를 거쳐 단말까지 동적으로 논리적 무선채널을 생성하여 VoIP 서비스의 품질이 유지될 수 있도록 추가적인 무선 자원을 할당한다. 이후, VoIP 호를 해제하고 AF 세션을 종료하였으나, PCRF와 PCEF간의 오류 상황으로 인해 통화에 할당된 무선 자원을 삭제할 수 없는 문제, 즉, IP-CAN 세션 수정 절차에서 오류가 발생하였음을 가정하였다. 이 경우, 무선 자원이 낭비되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 위의 과정에서 삭제하지 못한 PCC Rule에 대하여 동기화 플래그를 설정한 후, 전송 계층 재연결이

이루어지면서 동기화 시작 이벤트가 발생하면 그림 4a의 절차에 따라 PCRF가 먼저 불필요하게 갖고 있는 PCC Rule을 삭제한다. 이러한 과정을 통해 PCC Rule에 의해 낭비되고 있던 무선 자원도 해제된다.

한편, 그림 7은 그림 6에서 설명한 PCRF-PCEF간 상태 정보 불일치 오류 상황에서 그림 4b의 절차에 따라 PCEF가 먼저 동기화 절차를 트리거하는 예시이다. 즉, PCEF가 설정 시간(예를 들어, 3시간)을 초과하여 사용중이라고 판단되는 PCC Rule을 검색하여 동기화를 시작한다.

결국, 본 논문에서 제시한 PCRF와 PCEF간의 오류 처리 및 상태 동기화 방법은 사용자 단말의 IP-CAN 세션 생성, 수정, 종료 절차에서 발생 가능한 모든 오류별로 대처가 가능하고, 이후 동기화 절차를 통하여 PCRF와 PCEF간에 PCC Rule 정보의 상태를 동일하게 만든다. 따라서 이는 기존 WiMAX PCC 구조에서 문제가 되었던 네트워크 자원의 낭비, 시스템 부하, 메모리 누수, 시스템 정지, 무선 자원 낭비, 서비스 품질 저하, 접속 장애 등의 문제점을 해결할 수 있다.

IV. 성능 분석

앞서 그림 6과 그림 7의 예시에서 본 바와 같이, PCRF-PCEF간 정책 정보의 불일치로 인해 WiMAX

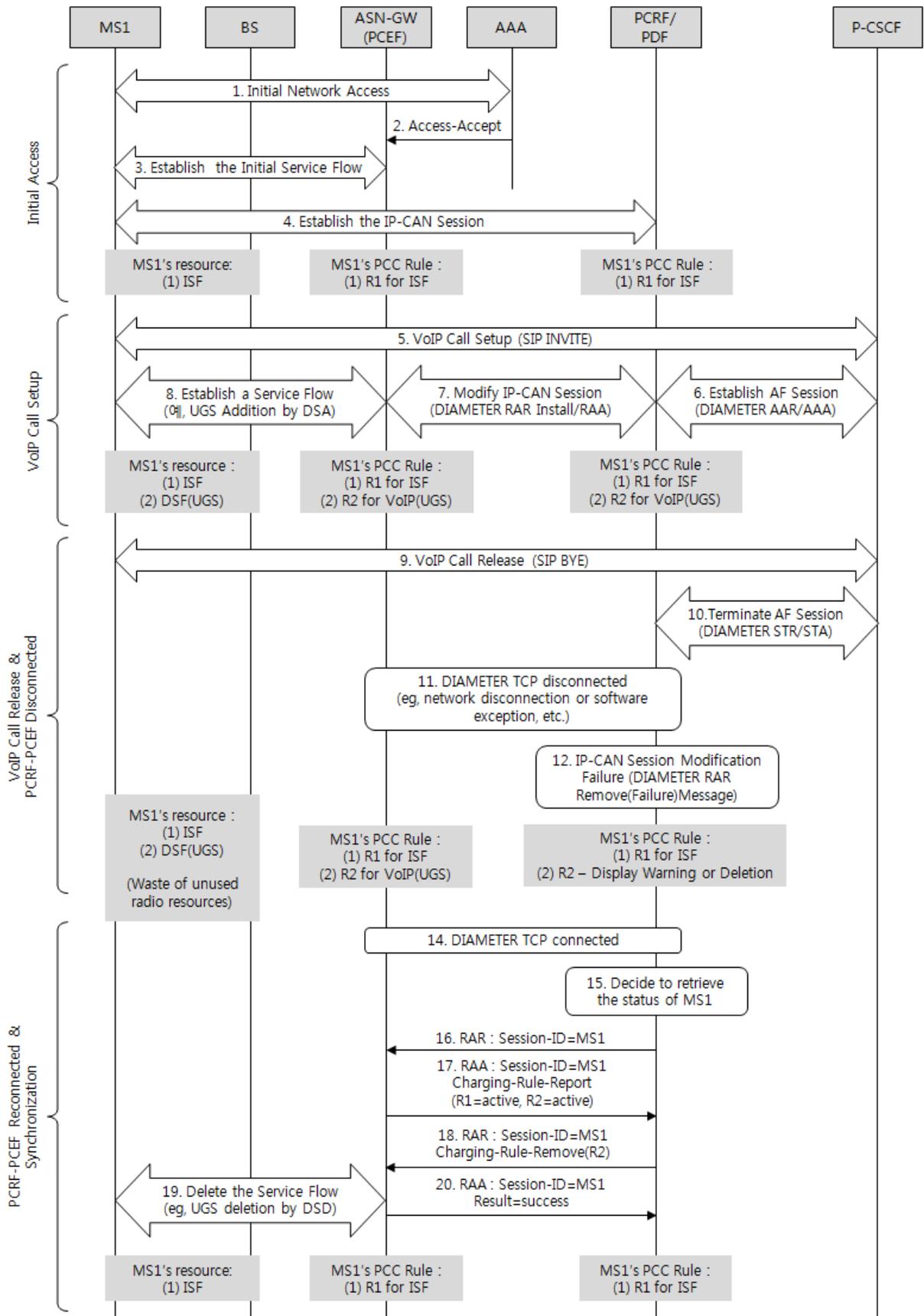


그림 6. PCRF 개시의 동기화 예제
 Fig. 6. An example of PCRF-triggered synchronization

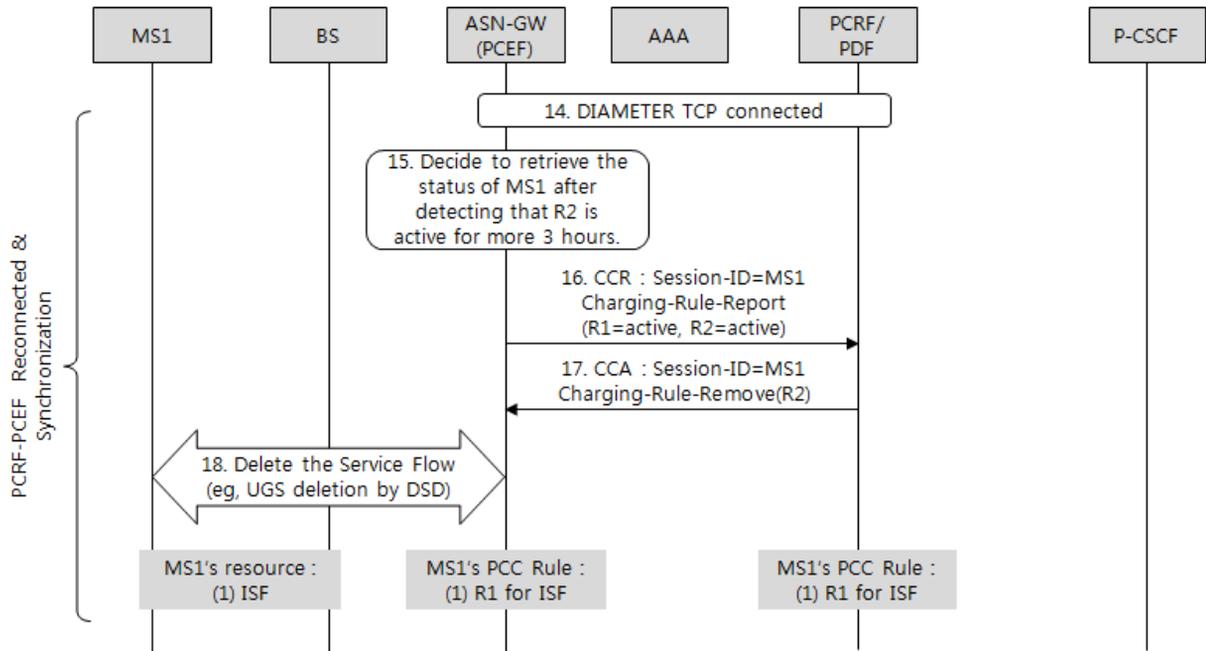


그림 7. PCEF 개시의 동기화 예제
Fig. 7. An example of PCEF-triggered synchronization

무선 자원의 정상적인 회수가 불가능해져 불필요한 무선 자원 낭비가 발생할 수 있다. 따라서 본 장에서는 PCRF-PCEF간 정보 불일치가 발생하는 환경에서 WiMAX 무선망의 MAC/PHY 계층 국제 표준 규격인 IEEE 802.16e 문서^[11]를 준용하는 WiBro 표준^[12]에 의거하여 각 기지국의 mVoIP 서비스 수용량 관점에서 제안 방법의 성능을 분석한다.

기지국 수용량은 WiBro MAC 프레임의 전체 가용 무선 자원의 양을 개별 mVoIP 호가 차지하는 무선 자원의 양으로 나눔으로써 얻을 수 있으며, 기본적인 분석 방법은 참고 문헌 [7]과 [8]을 따른다. 그림 8은 WiBro MAC 프레임의 구조를 나타낸다. 가로축은 심볼 시간 단위로서 본 논문에서는 WiBro 규격에 따라 하향링크는 27개의 심볼, 상향링크는 15개의 심볼로 구성된다고 가정한다. 세로축은 OFDM 부반송파 단위로서 본 논문에서는 하향링크는 720개의 데이터 부반송파, 상향링크는 560개의 데이터 부반송파로 동작한다고 가정한다. 하향링크 프레임은 프리앰블(Preamble), FCH, DL-MAP, UL-MAP 등의 MAC 제어 메시지와 데이터 버스트(data bursts)로 구성된다. 이 중, 프리앰블, FCH, DL-MAP 및 UL-MAP은 하향링크 MAC 프레임에 언제나 포함되는 오버헤드로서 각각 1, 0.125, 0.8667, 0.4667 심볼씩 고정적인 크기를 차지한다. 단, MCS 레벨은 QPSK, 1/12를 적용한다. 이때, DL-MAP과 UL-MAP에 추가되는 DL-MAP-IE와 UL-MAP-IE의 크기는 각각 0.4334,

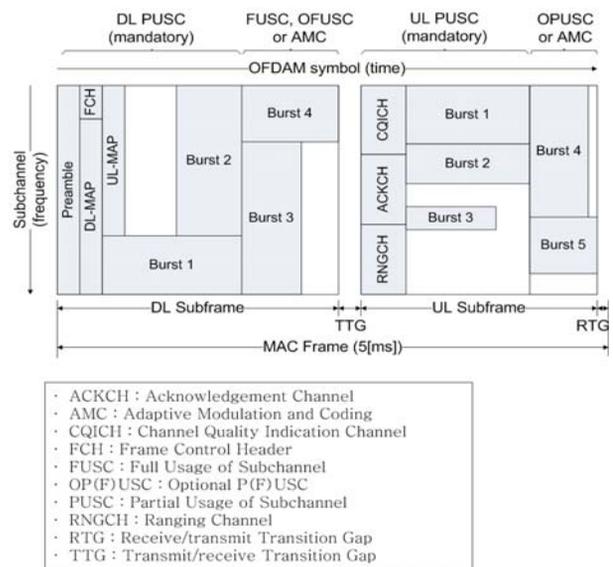


그림 8. WiBro MAC 프레임 구조
Fig. 8. WiBro MAC Frame Structure

0.2667 심볼이며, 각각의 개수는 해당 프레임에서 전송할 데이터 버스트의 개수에 따라 변화하는 오버헤드이다. 따라서 기지국이 하향링크로 데이터 버스트를 전송하기 위해 사용할 수 있는 심볼의 최대 개수는 $24.6250 \cdot N \cdot 0.7001$ 로 정의된다. 여기서, N은 하향링크 또는 상향링크 데이터 버스트의 개수이다. mVoIP 트래픽의 경우, 양방향성이 동일한 특성을 갖기 때문에 하향링크와 상향링크의 N은 동일하다. 한편, 상향링크의 경우는 CQICH (Channel Quality Indicator

표 1. WiBro MAC 프레임의 자원
Table 1. WiBro MAC Frame's resource

	Downlink	Uplink
Total resource [symbols]	27	15
Fixed overhead [symbols]	$S_{\text{Preamble}}=1, S_{\text{FCH}}=0.1250,$ $S_{\text{DL-MAP}}=0.8667, S_{\text{UL-MAP}}=0.4667$	$S_{\text{CQICH}}=1,$ $S_{\text{ACKCH}}=1,$ $S_{\text{RNGCH}}=1$
Variable overhead [symbols]	$S_{\text{DL-MAP-IE}}=0.4334$ (N bursts), $S_{\text{UL-MAP-IE}}=0.2667$ (N bursts)	N/A
Usable resource [symbols]	$24.6250 - N*(S_{\text{DL-MAP-IE}} + S_{\text{UL-MAP-IE}})$	12

Channel), ACKCH (Acknowledgement Channel), RNGCH (Ranging Channel)이 고정적으로 3개 심볼의 오버헤드를 차지한다. 하향링크와는 달리, 상향링크에서는 데이터 버스트 수의 증가에 따른 별도의 오버헤드가 첨가되지 않는다. 따라서 단말이 상향링크로 데이터 버스트를 전송하기 위해 사용할 수 있는 심볼의 최대 개수는 12로 정의된다. 자세한 내용은 표 1에 요약하였다.

한편, IEEE 802.16e 및 WiBro 표준 규격에서는 상향링크 무선 자원 할당을 위해 5가지의 스케줄링 타입을 정의하고 있다^[11,12]. 즉, 각 스케줄링 타입에 따라 단말이 기지국에게 상향링크 자원을 요청 및 할당 받는 메커니즘이 다르다. 가령, UGS (unsolicited grant service) 또는 ertPS (extended realtime polling service)의 경우에는 BRH (bandwidth request header)를 사용하지 않고도 기지국이 단말에게 상향링크 자원을 할당할 수 있는 반면, rtPS (realtime polling service), nrtPS (non-realtime polling service), BE

(best effort)의 경우에는 단말이 데이터 버스트를 전송하기 위해 BRH를 먼저 전송해야 한다. BRH의 크기(BBRH)는 48[bits]로서 그 자체가 상향링크 대역폭을 많이 소모하는 것은 아니지만, BRH를 전송하기 위해서는 하향링크에서 UL-MAP 크기만큼 추가적인 대역폭을 소모(β)하게 된다.

WiBro 망에서 mVoIP 트래픽의 MAC PDU 크기는 코덱의 종류 및 패킷화 간격 (packetization interval, 이후 Ptime)에 따라 달라진다. 즉, 코덱의 종류에 따라 기본적으로 필요로 하는 대역폭의 양이 다르며, 동일 코덱이라 해도 Ptime에 따라 RTP/UDP/IP 헤더 첨가 빈도와 MAC/PHY 전송 빈도가 달라지기 때문에, 이는 mVoIP 수용량에 큰 영향을 미친다. 따라서 MAC PDU 크기 (B_v)는 수식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$B_v = \left\lceil \frac{B_0}{I_0} \times I_{ptime} \right\rceil + 400[\text{bits}] \quad (1)$$

$$N_{DL} = \left\lfloor \frac{24.6250}{(B_v + B_{BRH})/\mu_{DL}/\gamma_{DL}/720 + (S_{DL-MAP-IE} + \beta \times S_{UL-MAP-IE})} \times \frac{1}{\nu} \right\rfloor \times \frac{I_{ptime}}{5} \quad (2)$$

$$N_{UL} = \left\lfloor \frac{12}{(B_v + B_{BRH})/\mu_{UL}/\gamma_{UL}/560} \times \frac{1}{\nu} \right\rfloor \times \frac{I_{ptime}}{5} \quad (3)$$

단, $\beta = \begin{cases} 1, & \text{UGS, ertPS 일 경우} \\ 2, & \text{rtPS, nrtPS, BE 일 경우} \end{cases}$

$\mu = \begin{cases} 2, & \text{QPSK 일 경우} \\ 4, & \text{16QAM 일 경우} \\ 6, & \text{64QAM 일 경우} \end{cases}$

γ : channel code rate

$0 < \nu \leq 1$ (단, UGS 일 경우 $\nu = 1$)

- 단, B_0 : 코덱의 음성 프레임 크기(bits)
- I_0 : 코덱의 음성 프레임 간격(ms)
- I_{ptime} : 패킷화 간격(ms)
- 400: RTP/UDP/IP/MAC헤더+CRC

앞서 설명한 내용을 토대로, 하향링크 수용량 (N_{DL})과 상향링크 수용량 (N_{UL})을 각각 수식 (2)와 수식 (3)으로 정리할 수 있다. 단, B_{BRH} 와 B_v 는 [bits] 단위의 변수이므로 변조 기법 (μ)과 채널 부호화율 (γ)로 나눈으로써 [symbol] 단위로 변환하였다. 결국, WiBro 망에서 mVoIP 수용량 (N_{cap})은 수식 (4)와 같이 N_{DL} 과 N_{UL} 의 최소값으로 결정된다.

$$N_{cap} = \min(N_{DL}, N_{UL}) \quad (4)$$

이때, 만약 앞서 설명한 Type I, II, III 오류에 의해 PCRF와 PCEF간 정책 정보 불일치 현상이 발생하면 그림 6과 그림 7의 예시에 나타낸 바와 같이 서비스 플로우가 정상적으로 삭제되지 못하여 무선 자원이 불필요하게 낭비된다. 즉, mVoIP 서비스 호의 경우, 일반적으로 UGS 서비스 플로우를 생성하는데 통화 종료시 서비스 플로우가 정상적으로 삭제되지 못하면 해당 호가 DL-MAP, UL-MAP, 데이터 버스트 전송을 위한 자원을 고정적으로 점유하므로 무선 자원의 낭비를 초래한다. 표 2는 본 논문의 제안 방법이 PCRF와 PCEF간 정책 정보 불일치 현상에 의한 WiBro 기지국의 mVoIP 수용량 손실을 상쇄시켜 주는 정도를 정량적으로 분석하기 위해 시뮬레이션 환경 변수를 정리한 것이다. 각 기지국당 mVoIP 호 생성 과정에서 Type I, II, III 오류에 의해 PCRF와 PCEF간 정책 정보 불일치 현상이 발생하는 확률 $P[X]$ 는 평균이 α 인 포아송 랜덤 변수 (Poisson random variable)를 따른다고 가정하였다. 이는 앞서 설명한 다양한 오류 발생 상황을 반영하는 대푯값으로서의 의미를 가진다. 예를 들어, PCRF-PCEF간 응답 타임아웃 제한 시간을 상대적으로 짧게 잡으면 Type II 오류가 빈번하게 발생하므로 이는 확률값 $P[X]$ 를 높이게 된다. 그리고 PCRF와 PCEF간 정책 정보 불일치 현상에 의해 무선 자원이 해제되지 않을 확률 $P[Y|X]$ 는 평균 p 인 베르누이 랜덤 변수 (Bernoulli random variable)를 따른다고 가정하였다. 따라서 비정상적으로 무선 자원 낭비가 발생할 확률 $P[Y]$ 를 수식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

표 2. 시뮬레이션 환경 변수
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
PCRF-PCEF Error ratio	Poisson random variable(X) with mean $\alpha=0.5$
Waste of resources	Bernoulli random variable(Y X) with probability $p=0.5$
PCRF-PCEF Synchronization period (P_{sync})	10, 40(days)
Modulation order	$\mu_{DL}=6, \mu_{UL}=4$
Channel code rate	$\gamma_{DL}=5/6, \gamma_{UL}=3/4$
Voice codec	G.729 (8[kbps])
Packetization interval (ptime)	20(ms)
Schedule type	UGS

$$\begin{aligned}
 P[Y=j] &= \sum_{k=0}^{\infty} P[Y=j|X=k]P[X=k] \quad (5) \\
 &= \sum_{k=j}^{\infty} \binom{k}{j} p^j (1-p)^{k-j} \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha} \\
 &= \frac{(\alpha p)^j}{j!} e^{-\alpha p}
 \end{aligned}$$

한편, 본 논문의 제안 방법에 따른 PCRF와 PCEF간 정책 정보 동기화 주기 (P_{sync})는 10[일]과 40[일]의 두가지 경우로 두었다. 그리고 무선 채널 환경이 가장 양호한 경우를 가정하였으므로 변조 및 코딩 기법 (modulation and coding scheme)을 하향링크에서는 64QAM, 5/6 ($\mu_{DL}=6, \gamma_{DL}=5/6$)으로, 상향링크에서는 16QAM, 3/4 ($\mu_{UL}=4, \gamma_{UL}=3/4$)으로 두었다. 음성 코덱은 G.729를 사용하는 것으로 가정하여 각 mVoIP 호는 8[kbps]의 대역폭을 차지하고, 패킷화 간격은 20[ms]이라 가정하였다¹³⁾. WiBro 스케줄링 타입은 UGS인 경우를 가정하였다.

표 2 및 수식 (5)에서 가정한 환경 변수를 수식 (1)~(4)에 적용하여 WiBro 기지국의 mVoIP 수용량을 분석하면 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있다. 분석 도구로는 MATLAB을 이용하였다. 결과 데이터에 따르면, PCRF와 PCEF간 정책 정보 불일치에 의한 무선 자원 낭비가 없는 경우(ideal case), 주어진 환경 변수 조건 하에서 WiBro 기지국의 mVoIP 수용량은 112[개]로 일정함을 알 수 있다. 그러나 정책 정보 불

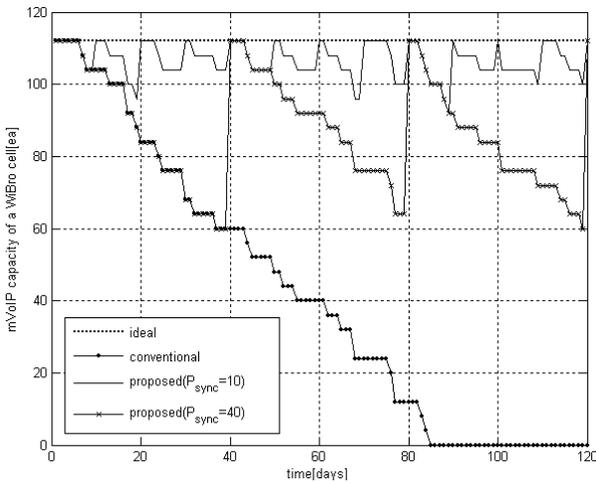


그림 9. WiBro mVoIP 셀 수용량
Fig. 9. WiBro mVoIP cell capacity

일치와 무선 자원 낭비가 발생하는 경우에는 시간이 지날수록 무선 자원 낭비량이 누적되어 WiBro 기지국의 mVoIP 수용량은 점차 줄어들게 된다. 기존 방법에서는 정책 정보 동기화 기능을 제공하지 않으므로 그림 9의 'conventional' 그래프에서 보듯이 mVoIP 수용량은 결국 0[개]로 수렴하게 된다. 물론 환경 변수 조건에 따라 0[개]로 수렴하는 속도는 달라질 수 있지만 본 논문의 제안 방법에 따르면 PCRF는 PCEF와의 정책 정보를 주기적으로 동기화 시킬 경우에는 WiBro 기지국은 정상적으로 해제되지 못한 무선 자원을 주기적으로 회수할 수 있다. 본 절의 시뮬레이션 환경에서는 동기화 주기가 10[일]인 경우, WiBro 기지국의 mVoIP 수용량은 약 100[개] 내외에서 다시 112[개]로 회복할 수 있다. 반면, 동기화 주기가 40[일]인 경우에는 약 60[개] 내외에서 112[개]로 회복한다. 이렇듯, 본 논문의 제안 방법을 사용하면 PCC 정보 현행화를 통해 WiBro 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 WiMAX PCC 아키텍처에서 PCRF 와 PCEF간 PCC 정책 정보 불일치로 인해 발생 가능한 통신 오류 유형을 사례와 함께 세가지 형태로 정의하였고, 각 오류의 유형에 따라 PCRF 시스템의 정책 정보와 PCEF 시스템의 정책 정보를 동기화시키기 위한 통신 메시지와 절차를 포함하는 새로운 방법을 제안하였다. 그리고 제안한 방법의 효과를 분석하기 위하여 국내 모바일 WiMAX 상용 시스템인 WiBro 시스템에서 각 기지국에 대해 mVoIP 서비스 수용량 성능

을 정량적으로 분석함으로써, 제안 방법이 삭제되지 않은 정책 정보로 인한 네트워크 자원의 낭비를 막고 시스템의 성능을 향상시킴을 확인하였다. 제안 방법은 실제 구현을 통해 검증한 이후 WiMAX 국제 표준 문서에도 적용되었으며, 3GPP 등 타 네트워크의 정책 제어 혹은 자원 제어 시스템에도 활용 가능하다. 또한, 제안 방법을 응용하면 정책 제어 시스템에서 뿐만 아니라 다양한 통신 시스템 환경에서 요소 시스템간 불필요한 정보의 누적으로 인한 시스템 부하, 메모리 누수, 시스템 정지 등과 같은 문제점을 방지하고, 고유의 서비스를 안정적으로 제공하는 데에 활용될 수 있다.

References

- [1] ETSI TISPAN, "Resource and Admission Control Sub-system (RACS); Functional Architecture," ETSI ES 282 003, June 2006.
- [2] 3GPP Release 5, "End-to-end Quality of Service (QoS) signalling flows," 3GPP TS 29.208, Nov. 2001.
- [3] 3GPP Release 6, "End-to-end Quality of Service (QoS) signalling flows," 3GPP TS 29.208, June 2004.
- [4] 3GPP Release 7, "Policy and charging control signalling flows and Quality of Service (QoS) parameter mapping," 3GPP TS 29.213, Sep. 2006.
- [5] 3GPP Release 8, "Policy and charging control signalling flows and Quality of Service (QoS) parameter mapping," 3GPP TS 29.213, June 2008.
- [6] WiMAX Forum, "WiMAX Forum Network Architecture (Stage 2: Architecture Tenets, Reference Models and Reference Points) [Part 2]," WMF-T32-003-R010v04, Mar. 28, 2007.
- [7] S. S. Cho, S. U. Seol, H. S. Kim, and Y. C. Jun, "Analysis and measurement on the cell capacity for the mobile VoIP service over the WiBro network," in Proc. KICS Symp., vol. 2008, no. 11, pp. 746-749, Seoul, Korea, Nov. 2008.
- [8] S. U. Seol, S. S. Cho and H. S. Kim, "Implementation of the standard WiMAX QoS framework and the verification of quality and

capacity of mobile VoIP service,” *5th Excellent Proc. TTA*, pp. 53-75, Dec. 2009.

[9] J.-J. P. Balbas, S. Rommer, and J. Stenfelt, “Policy and charging control in the evolved packet system,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 2, pp. 68-74, 2009.

[10] L. Nuaymi, I. Sato, A. Bouabdallah, “Improving Radio Resource Usage with Suitable Policy and Charging Control in LTE,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Next Generation Mobile Applicat., Services and Technologies (NGMAST)*, pp. 158-163, Paris, France, Sep. 2012.

[11] IEEE Standard, “*IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*,” IEEE 802.16e/D11, Sep. 2005.

[12] TTA Standard, “*Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service - Physical & Medium Access Control Layer*,” TTAS.KO-06.0082, June 2005.

[13] ITU-T, “*Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)*,” ITU-T G.729, June 2005.

설 순 옥 (Soonuk Seol)



1998년 2월 한국기술교육대학교 정보통신공학과 졸업
 2000년 2월 한국과학기술원 정보통신공학과 석사
 2004년 2월 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
 1998년 3월~1999년 10월 한국전자통신연구원 위촉연구원
 2004년 2월~2012년 2월 KT 종합기술원 차장
 2012년 3월~현재 한국기술교육대학교 조교수
 <관심분야> 모바일 VoIP/IPTV, 유무선 네트워크 QoS, 프로토콜 공학

조 성 수 (Sungsoo Cho)



2004년 2월 경북대학교 전기 및 전자공학부 졸업
 2006년 2월 한국과학기술원 전자공학과 석사
 2006년 2월~현재 KT <관심분야> VoIP/IPTV, 단말 관리, 자원 관리, QoS