

다중 네트워크 환경하에서의 한계 비용 함수에 의한 최적 트래픽 제어 기법

정회원 김 재 훈*

Optimal Traffic Control Method by the Cost-analytic Operations Model in Heterogeneous Network Environment

Jae-hoon Kim* *Regular Member*

요 약

신규 무선 네트워크 기술의 발전은 현재의 단일 네트워크 위주의 구성을 가진 무선 서비스 사업자에 새로운 다중 네트워크 (Heterogeneous Network) 환경을 맞이하게 하였다. 또한 무선 통신 사용자 수는 계속적인 증가 추세에 있고 사용자들이 원하는 서비스의 종류 또한 계속적으로 다양해지고 있으며 사용자가 기대하는 서비스의 질과 수준 역시 높아지고 있다. 이에 무선 서비스 사업자들은 사용자들의 높아진 서비스 품질을 만족시키고 새로운 형태의 서비스를 안정적으로 공급하며, 현재의 네트워크와 신규 네트워크의 조화로운 운용을 위해 새로운 형태의 운용 구조 (Operation Framework) 를 필요로 한다. 본 논문에서는 네트워크간의 비용/효율에 대한 한계 비용 (Marginal Cost) 산정 기법을 도입하여 서비스에 따른 최적 네트워크 운용 기법에 대해 논술한다.

Key Words : Heterogeneous Network, Marginal Cost, Mobile Communication, Optimal Control

ABSTRACT

By the newly emerging Network access technology, we face the new heterogeneous network environment. The required level of service quality and diversity are now multiplied by the increment of wireless service subscribers. Focusing on the co-existence of multiple access network technology and the complex service needs of users, the wireless service operators should present the stable service quality for every user. The service operators should build the new operation framework which combines the pre-established networks and newly adopted ones. Our problem is finding the optimal heterogeneous network operation framework. We suggest a market-based marginal cost function for evaluating the relative value of resource of each network and develop the whole new heterogeneous network operation framework.

I. 서 론

현재 전세계 무선 네트워크 환경은 CDMA, WCDMA, GSM 등 단일 네트워크들이 독립적으로 운용되던 구조에서 다양한 다중 네트워크들이 유기적으로 통합되는 Multi-Radio 네트워크 구조로 급속

하게 진화하고 있다. 국내의 경우도 마찬가지로 CDMA 기반 네트워크가 주류를 이루던 상황에서 WCDMA, HSDPA, WiBro와 같은 차세대 무선 접속 기술 (Radio Access Technology, RAT)가 경쟁적으로 상용화되므로 이종 네트워크들의 융합을 토대로 한 서비스를 조만간 실현해야 하는 시점이다.

* SK Telecom Access 기술 연구원 (jayhoon.kim@gmail.com)

논문번호 : KICS2007-06-260, 접수일자 : 2007년 6월 13일, 최종논문접수일자 : 2007년 9월 17일

또한, 해외에서도 현재까지는 특성이 서로 다른 개별 네트워크들이 독립적으로 운용되는 상태이지만, 이들 기존 단일 네트워크들 및 새로운 네트워크를 한데 아우르는 통합 네트워크 모델에 대한 청사진과 실험적인 시도들이 구체화되기 시작하는 단계에 와 있다 [11][2].

이와 같은 변화 하에서는 공존하는 다중 네트워크들에 대한 최적의 통합 모델이 중요한 화두로 등장하고 있다. Always Best Connected (ABC) [13][4][5][6]라는 표제 하의 통합 네트워크에 대한 문제 제기가 필연적으로, 설치와 운영에 막대한 비용이 소요되는 RAT 기반시설을 새로운 RAT 환경으로 완전히 대체하여 구축하는 것은 매우 비생산적이고 부적절한 전략이라는 경제적 관점 (Business Perspective)과 사용자의 입장에서는 향후 어떤 RAT가 등장하느냐에 관계없이 최상의 서비스를 받기를 원하는 중단 없는 연결성 (Seamless Connectivity)의 제공이라는 관점에서 그 중요성이 강조된다. 다중 네트워크 통합이라는 목표 자체는 매우 실현하기 어렵고 다양한 과제들을 포함하는 거대한 주제이며 현재 이와 관련된 전반적인 논의의 수준도 비교적 추상적이고 초보적인 단계라 할 수 있다. 하지만, 통합 네트워크 구조와 방법론에 대한 기술/시장 선도 (Technology/Business Leadership)를 장악하는 것이 차세대 통신 서비스 시장에서 주도권을 선점하기 위한 중요 성공점 (Critical Success Factor)라는 인식 하에 전세계 관련 기술 선도기업들은 이를 위한 엄청난 투자와 치열한 연구/개발 경쟁을 가속화하고 있는 추세이다. 현재 산업계 및 학계에서 진행되고 있는 연구/개발 동향을 집약해보면, 단말기와 네트워크가 SDR(Software Defined Radio) 기반의 재구성 가능 구조(Re-configurable Architecture)로 진화한다는 가정 하에서, ① 다중 네트워크의 유기적인 통합 운영 측면[11][2], ② 유한한 유/무형 네트워크 자원 (Resource, 예: 주파수)에 대한 효율적 관리 측면[7][8], ③ Network/Context Awareness [9][10]를 통한 지능적 서비스 플랫폼(Intelligent Service Platform) 실현 측면 등 크게 3가지 범주로 요약될 수 있다. 이 세 가지 측면은 서로 독립적이라 할 수 없으며, 네트워크, 자원, 서비스의 관점에서 각각 보다 높은 수준의 Intelligence를 실현하고자 하는 공통의 목표를 지향한다고 보아야 할 것이다. 이들 중 네트워크 사업 측면에서 일차적으로 중요성을 갖는 것은 다중 네트워크간 신호 인터페이스 (Signaling Interface)를 구성하여 다중 네트워크들간에 무선 네

트워크 자원을 관리하는 모델이다. 하지만 이는 전체 네트워크 정보의 부족으로 인해 전체 네트워크의 최적화 (Optimality)를 이루기가 쉽지 않다. 또한 협상 과정에서 소요되는 많은 부가 트래픽 (Overhead Traffic)으로 인해 네트워크의 성능이 저하되는 결과를 가져 올 가능성도 내포하고 있다. 이를 극복하기 위해서 본 논문에서는 네트워크 각각의 한계 비용 (Marginal Cost) 산정기법을 기반으로 하는 공통 자원 관리 기법 (Common Radio Resource Management, CRRM) 구조를 제안한다. 이는 일종의 메타 네트워크 (Meta Network)의 개념이 현실화된 구조로서 메타 네트워크는 공통의 자원관리를 위한 가상 네트워크 (Virtual Network)로 작동한다. 각각의 네트워크는 공통 인터페이스 (Common Interface)를 통하여 연결되며 다중 네트워크간의 운용 시에 필요한 의사결정 (Decision-Making, 예: Call Admission Control, Load Control, Vertical Handoff)은 한계 비용 (Marginal Cost) 함수를 기반으로 한 CRRM 기능에 의해서 결정된다.

본 논문에서 고려되는 네트워크는 CDMA 1x, EV-DO, WCDMA, HSDPA를 포함하며, 제시된 모델 및 자원관리 (Radio Resource Management, RRM) 알고리즘의 우수성을 검증하기 위해서 Java 기반의 대규모 네트워크 시뮬레이터를 구현하여 성능을 평가한다.

본 개요에 이어서 제 II절에서는 다중 액세스 네트워크 시스템 (Heterogeneous Access Network System) 모델과 운용 정책에 대해서 기술하며, 제 III절에서는 네트워크 시스템 모델과 운용 정책을 반영한 네트워크의 한계 비용 함수의 설정 방식에 대해서 논한다. IV절에서는 한계 비용 함수를 이용한 액세스 네트워크 선택 (Access Network Selection) 방

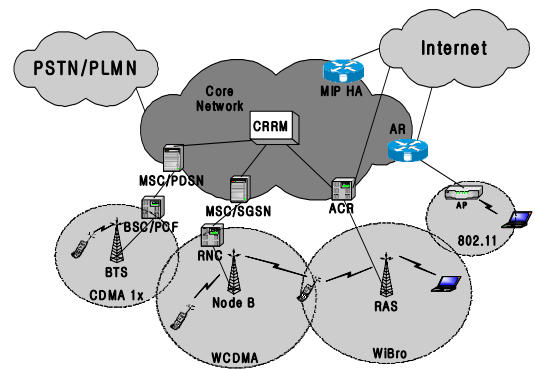


그림 1. Network Interworking

식에 대해서 기술하며, V절에서는 대규모 네트워크 시뮬레이터의 구현방식과 용례를 기술한다. 마지막으로 제 VI절에서는 본 논문에서 제시한 네트워크 시스템 모델 및 운용 알고리즘의 유효성을 보이는 시뮬레이션 결과를 제공한다.

II. 다중 네트워크 시스템 모델 과 운용 정책

다중 액세스 네트워크는 국가적으로 할당된 주파수 스펙트럼의 배치, 네트워크 건설 시기에 따른 Coverage의 차이, 네트워크 별 기술적 특성, 서비스 제공자의 운용원칙 등에 따라 운용/설계상의 다양한 통합형태를 가지게 된다. 다음은 현재 설치된 실제 물리적인 네트워크와 네트워크의 운용원칙 중 일반적으로 받아들여지고 있는 사항들로 본 논문에서 다루고자 하는 다중 액세스 네트워크의 기본 통합 모델이다.

- 다중 네트워크는 다음의 4가지 네트워크 접속 기술로 구성된다. CDMA 1x, EV-DO, WCDMA-only, WCDMA/ HSDPA
- CDMA 1x와 EV-DO 시스템은 각각 서로 다른 주파수 대역에서 동작한다.
- WCDMA-only 셀 (Cell) 들은 HSDPA 지원 기능이 없다. 일반적으로 HSDPA는 WCDMA에 추가적으로 기능이 없어지는 형태로, WCDMA와 HSDPA가 동일한 기지국에서 동일한 주파수 대역을 사용한다면, 기지국 자원을 HSDPA 서비스와 non-HSDPA 서비스가 서로 나누어 사용하게 된다.
- Voice 트래픽은 CDMA 1x와 WCDMA-only, WCDMA/HSDPA 시스템 에서만 지원한다.
- Data 트래픽은 EV-DO와 WCDMA/HSDPA에서만 지원한다. WCDMA-only와 CDMA 1x 역시 Data를 지원할 수 있지만 Circuit Mode로 한정한다.
- Voice 트래픽은 Data 트래픽에 비해 높은 우선 순위를 갖는다. 따라서 새로운 Voice 트래픽이 WCDMA/HSDPA 시스템에 들어오게 되면 때에 따라 HSDPA서비스의 Data 전송속도가 저하되는 경우도 발생한다.
- 위 네트워크 통합형태의 기본 원칙에 기반해서 아래와 같은 Voice와 Data 트래픽의 운용 정책을 수립할 수 있다.

- Voice 트래픽을 지원하기 위해서는 CDMA 1x와 WCDMA-only 셀이 우선적으로 선택된다. WCDMA/HSDPA 셀 역시 Voice를 지원할 수 있으나 늦게 도착하는 Data 트래픽의 지원을 위해 예비한다.
- 위 첫번째 정책을 만족하면서 각 네트워크 접속기술을 채용하는 셀들간의 부하 균형 (Load Balancing) 을 이룬다.

위의 네트워크 통합의 원칙들과 운용정책은 다중 네트워크를 운용함에 있어 현실적으로 타당하게 받아들여진다. 이제 주어진 원칙과 운용정책하에서 네트워크의 상대적 접속비용 산정방식인 한계 비용 함수 설정에 대해서 논한다.

III. 한계 비용 함수 (Marginal Cost Function)

한계 비용 함수는 각 네트워크의 각각의 셀에 신규 트래픽을 받아들였을 경우 발생하는 자원 소비량을 각 셀에 현재 이미 점유되고 있는 트래픽 양을 고려하여 상대적으로 재 산정한 값이다. 기존에는 각 셀에 가용 자원량이 남아있으면 확실히 평가되어 신규 트래픽이 자원이 남아 있는 곳이면 어디든지 배정 받을 수 있는 형태의 운용 형태 (Operation Scheme)를 갖고 있었다. 그러나 신규 트래픽을 받아들일 것인가 말 것인가를 결정할 때에 현재 남아있는 가용 자원량의 정도를 측정하여 셀 별로 상대적인 자원의 희소성을 계량화한다면 균형있는 자원의 활용이 가능하다. 이는 특히 셀들이 중첩 (Overlaid) 구조로 겹쳐있는 다중 액세스 네트워크 환경에서 유용한 것으로 트래픽의 시작 시 혹은 망간 핸드오버 (Vertical Handover)에서 적절한 셀의 선택에 큰 위력을 가질 수 있다.

또한 한계 비용 함수의 개념은 기존에 자연어로 표현되는 운용정책을 수학적인 표현으로 대체할 수가 있게 된다. 즉, 특정 서비스의 트래픽을 특정 네트워크로 우선 배정하고 싶을 때, 특정 네트워크의 한계 비용 함수 값을 특정 서비스에 대해서 낮게 책정하도록 함수를 조작하여 서비스 제공자의 운용 정책을 반영할 수가 있다.

아래 한계 비용 함수는 위 II절에서의 운용 정책을 반영한 것으로 Voice와 Data 트래픽을 다중 액세스 네트워크 환경에서 운용하는 가장 기본적인 네트워크 가치 산정을 표현한다.

(1) For CDMA 1x ,

$$f_{voice}(x_v) = \begin{cases} (x_v / c_v)^2 & \text{if } x_v / c_v < \alpha \\ (x_v / c_v)^2 + 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

x_v 와 c_v 는 CDMA 1x 셀 v 의 각각 현재 셀 의 부하 (Load) 와 용량 (Capacity)을 나타낸다.

(2) For WCDMA-only,

$$f_{voice}(x_v) = \begin{cases} (x_v / c_v)^2 & \text{if } x_v / c_v < \alpha \\ (x_v / c_v)^2 + 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

x_v 와 c_v 는 WCDMA-only 셀 v 의 각각 현재 셀 의 부하와 용량을 나타낸다.

(3) For EV-DO,

$$f_{data}(x_d) = (x_d / c_d)^2 + 1$$

x_d 와 c_d 는 EV-DO 셀 d 의 각각 현재 셀의 부하와 용량을 나타낸다.

(4) For WCDMA/HSDPA,

$$f_{data}(x_v, x_d) = (x_d / c_d)^2 / (1 - x_v / c_v)^2 + 1$$

$$f_{voice}(x_v) = (x_v / c_v)^2 + 1$$

x_v 와 c_v 는 WCDMA/HSDPA 셀에서 WCDMA 부분 v 에 할당된 부하와 용량을 나타내고, x_d 와 c_d 는 HSDPA 부분 d 에 할당된 부하와 용량을 나타낸다.

각 네트워크의 한계 비용함수는 네트워크에서 서비스 하는 트래픽의 운용 원칙과 사용자 구성에 따라 정해진 것이다. 즉, Voice 트래픽은 각 사용자의 단말기의 기본 설정 네트워크 (Default Network)에 따라 CDMA 1x 와 WCDMA 계열의 셀을 선택하여 서비스 하고, Data 트래픽 에 대해서는 EV-DO 셀에 접속이 가능한 단말은 우선적으로 EV-DO 네트워크에 접속하도록 한다. WCDMA/HSDPA Cell 은 Voice 와 Data를 모두서비스 할 수 있으므로 가능한 예비 하도록 하는 구성이다.

α 값은 0과 1사이의 값으로 α 값이 커지면 전체 시스템 Throughput은 향상되는 결과를 가져오나 짧은 시간에 CDMA 1x나 WCDMA-only 셀에

Voice 트래픽이 몰리게 되면 지나치게 높은 트래픽 차단율 (Traffic Drop Rate)을 갖게 된다. 따라서 α 는 다음의 사항을 고려하여 설정하여야 한다.

- 새로운 Voice나 Data 트래픽의 도착율 (Arrival Rate)
- 각각의 셀의 비용 함수값 (Cost Function Value) 가 갱신되는 주기, 이 주기가 너무 길다면 적절한 네트워크 비용이 산정되지 않아 많은 양의 트래픽이 몰릴 시 높은 트래픽 차단율을 보일 수 있다.
- 결과적으로 나타나는Voice 트래픽의 차단율이 수용가능한 수준 이어야 한다.

이제 α 값의 설정에 따른 시스템의 동작을 모사 해 보자. $\alpha = 0.9$ 인 경우에, 모든 트래픽이 Voice 라고 가정해 보자. 그렇다면 Voice 트래픽은 CDMA 1x나 WCDMA-only 셀의 부하가 90%가 될 때까지 오로지 CDMA 1x나 WCDMA-only 셀 에만 할당되게 된다. CDMA 1x나 WCDMA-only 셀이 90%이상의 부하를 갖게 되는 이후에 CRRM 은 Voice 트래픽을 WCDMA/HSDPA 의 Non-HSDPA 파트로 넘기게 되고 이후의 Voice 트래픽 은 WCDMA/HSDPA 셀에 할당되게 된다. 이제 Voice 트래픽이 넘쳐 WCDMA/HSDPA 셀 까지도 90%가 Voice 트래픽으로 점유되게 되는 상황을 가정해 보자. 이 때 매우 높은 속도 (Rate)의 Data 트래픽 접속 요구가 들어오게 되면 WCDMA/HSDPA 의 10% 정도의 용량만이 Data 트래픽을 지원할 수 있게 된다. 그러나 $\alpha = 0.95$ 로 설정하면, 같은 상황에서 WCDMA/HSDPA에는 20% 정도의 용량이 남아 보다 많은 양의 Data 트래픽을 처리할 수 있게 된다. 그러나 $\alpha = 0.95$ 시에는 CDMA 1x 와 WCDMA-only 셀에는 여유량이 5% 밖에 남지 않아 Voice 트래픽이 CDMA 1x와 WCDMA-only에서 WCDMA/HSDPA로 빨리 핸드오버 (Handover) 되지 못하고 바로 차단될 가능성이 높아진다. 따라서 α 값의 최적 산정은 정밀한 네트워크 모델링과 깊은 분석을 필요로 한다. α 값의 최적 산정을 위해선 다양한 환경에서의 실증적 검증이 필요할 것으로 보인다. 다양한 시뮬레이션 결과를 통해 안정적인 시스템 운용이 가능한 수준은 0.8~0.95 정도의 값으로 판단된다.

IV. 액세스 네트워크 선택 과 트래픽 재분배

본 절에서는 III절에서 소개된 한계 비용 함수에 기반한 네트워크 접속 비용 산정을 이용하여 최적의 액세스 네트워크 선택 (Access Network Selection) 과 Vertical handover 기술을 이용한 트래픽 재분배 (Traffic Redistribution) 기법을 소개한다. 각각의 셀 들은 주기적으로 혹은, CRRM 모듈이 요구하는 시점에서 자신의 셀에 현재 점유되는 자원량을 CRRM 모듈에 통보하게 되고 CRRM은 각 셀에 점유되어 있는 자원량과 사업자의 운용 정책을 고려하여 각 셀 별로 한계 비용 함수에 의한 접속 비용을 산정하게 된다.

초기 액세스 네트워크 선택은 단말기에서 트래픽 접속 요구가 들어오게 되면서부터 시작된다. CRRM 모듈은 단말이 접속 가능한 셀 중에서 가장 낮은 접속 비용을 갖는 셀을 선택하여 통보하고 단말은 전달받은 정보를 바탕으로 접속할 셀을 선택하게 된다.

트래픽 재분배 과정은 보다 절차가 복잡하다. 각각의 셀의 접속 비용은 주기적으로 갱신되게 되며 CRRM 모듈은 각 셀의 자원 점유량을 통보 받고 각 셀의 접속비용을 계산하여 저장한다. 이때 CRRM 모듈은 다음과 같은 순서로 핸드오버를 지시하게 된다.

<Traffic Redistribution>

- (1) Every base station reports its resource consumption status to CRRM module, CRRM module calculates the access cost by the marginal const function.
- (2) Let $C(v)$ and $C(d)$, respectively, denote the set of all cells that can accommodate voice and data traffics.
- (3) While $C(v)$ is not empty, do the following:
 - (3.1) Find two neighbor (overlaid or adjacent) cells, i and j , in $C(v)$ such that the price difference is largest.
 - (3.2) Arrange handovers until cells i and j both have the same cost or no more mobile stations exists to be handed over between these two cells
 - (3.3) Delete cells i and j from $C(v)$.
- (4) While $C(d)$ is not empty, do the following:

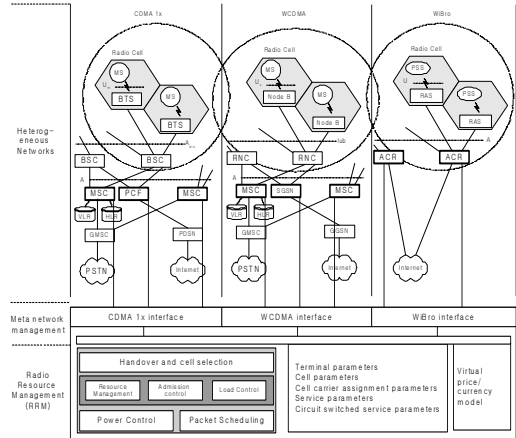


그림 2. Inter-Network Interface Structure

- (4.1) Find two neighboring cells, i and j , in $C(d)$ such that the cost difference is largest.
- (4.2) Arrange handovers until cells i and j both have the same cost or no more mobile stations exists to be handed over between these two cells.
- (4.3) Delete cells i and j from $C(d)$.

위 절차에 따라 신규 트래픽을 적절한 액세스 네트워크에 할당하고, 기존 트래픽을 적절히 재분배함에 따라 네트워크 전반에 대해서 균형을 이룰 수 있다.

V. 다중 액세스 네트워크 시뮬레이터

한계 비용 함수에 기반한 액세스 네트워크 선택 과 트래픽 재분배 기법의 성능을 측정하기 위해 기지국, 단말, CRRM 모듈의 세가지로 구성된 시뮬레이터를 구성한다. 각각의 모듈은 MAC 계층의 Data 처리를 지원하며 성능 검증을 위한 시나리오의 테스트를 위해 필요한 기능을 모두 구현한다. 각각의 구현 내용은 다음과 같다.

5.1 기지국 (Base Station) 모듈

CDMA 1x, EV-DO, WCDMA-only, WCDMA/HSDPA의 모두 4가지 타입의 기지국을 구현한다. CDMA 1x 와 WCDMA-only 셀은 Voice 트래픽을 지원하고 EV-DO는 Data 트래픽을 지원한다. WCDMA/HSDPA 셀은 Voice와 Data 트래픽을 모두 지원하는데, non-HSDPA 부분을 사용하여 Voice를 지원하고 HSDPA를 이용하여 Data를 지원한다. WCDMA/HSDPA 셀에서 non-HSDPA와 HSDPA

사이의 용량 배분은 동적으로 일어나며 Data와 Voice의 트래픽 양에 따라 조정 가능하다.

각 셀의 Coverage는 셀의 모양으로서 결정된다. 실제 시스템에서는 셀의 모양이 기지국의 위치, 이동하는 물체, 기후에 따라 매우 다르게 나타난다. 본 논문에서 사용한 시뮬레이터는 각 셀의 모양을 임의로 조정하여 최대한 실제 환경과 유사하게 구성하도록 한다.

5.2 단말 (Mobile Station) 모듈

시뮬레이션에서 사용하는 단말은 각각의 네트워크에 접속가능한 다중 모드 단말을 가정한다. 각각의 단말은 아래 다섯 가지의 모수(parameter)로서 그 행태가 정의된다.

- **Arrival Process:** 두가지 형태의 Arrival Process가 모델링된다. 하나는 새로운 단말이 임의의 위치에 도착하는 것이고 다른 하나는 특정 셀에 새로운 단말이 도착할 수 있도록 한다. 두 가지 Arrival Process를 이용하여 다양한 시나리오를 테스트할 수 있다.
- **Departure Process:** 단말은 임의의 선택을 통해 네트워크를 떠날 수 있다. 특정 분포함수를 이용하여 Departure Process를 정의할 수도 있다
- **Mobility Process:** 각각의 단말은 방향과 속도를 임의로 정해 이동하며, 특정 분포함수를 이용하여 이동 방향과 속도를 정할 수도 있다.
- **Session:** 각각의 단말은 On-Off 타입의 Session을 갖는다. Session Duration 과 Session Inter-arrival Time은 특정 분포함수를 따른다
- **Service Type:** 각각의 단말은 WAP (Wireless Access Protocol), Video on Demand (VOD), VOD Streaming, Download, Video Conferencing 중 하나의 서비스 타입을 갖는다. 위 서비스들은 대표적인 이동 서비스들의 리스트로 각각의 서비스 타입 별로 필요한 용량을 정의한다.

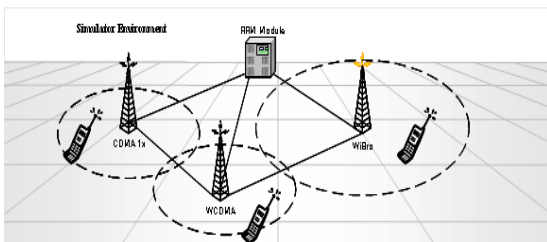


그림 3. Simulation Environment

5.3 CRRM 모듈

CRRM 모듈은 단말의 네트워크간 Handover를 지시하는 모듈로서, III절의 한계 비용 함수에 따라 네트워크 접속비용을 계산하고, IV절에서 정의한 액세스 네트워크 선택 과 트래픽 재분배 절차에 따라 단말을 적절한 네트워크로 이동시킨다.

VI. 성능분석

본 논문에서 정의한 한계 비용 함수와 액세스 네트워크 선택/트래픽 재분배 절차를 이용한 다중 네트워크 운용 기법의 평가를 위해 두 가지 시나리오를 도입한다. 각각의 시나리오에서는 CDMA 1x, EV-DO, WCDMA/HSDPA 셀을 4:4:2의 비율로 생성한다. WCDMA-only 셀은 WCDMA/HSDPA 셀에서 HSDPA 부분의 용량을 0로 설정하여 WCDMA-only의 효과를 낸다. CDMA 1x와 EV-DO는 시뮬레이션 대상 영역을 모두 커버할 수 있도록 설정되고, WCDMA/HSDPA는 대상 영역 중 일부만 커버할 수 있도록 설정한다. CDMA 1x 셀은 총 80개의 Voice Traffic (1.15Mbps)을 지원하도록 설정하고, EV-DO 셀은 1.2Mbps를 지원하도록 한다. 또한 WCDMA/HSDPA는 HSDPA 부분이 없을 경우 최대 240개의 Voice 트래픽 (3.45Mbps)을 지원할 수 있도록 한다 또한 Data 전용으로 사용할 시에는 3.6Mbps를 지원할 수 있도록 한다. 각각의 단말은 아래 다섯 종류 중 하나의 트래픽을 생성한다 (표 1).

6.1 Scenario 1.

최초 300개의 Voice 트래픽을 발생시키는 단말과 80개의 Data 트래픽을 생성하도록 설정한 단말을 구성한다. Data 트래픽을 생성하는 단말은 표 1

표 1. 서비스 타입 Parameter

Service Type	Bandwidth Requirement (kbps)	Session Duration (sec)	Session Inter-arrival Time (sec)
WAP	9.6	Weibull (110, 0.54)	Exponential (6)
VOD Streaming	64	Lognormal (3.0997, 0.8951)	Exponential (6)
VOD Downloading	48	Exponential (300)	Exponential (7)
Video Conferencing	64	Lognormal(6.7, 0.5)	Exponential (7)
Voice	14.4	Exponential (360)	Exponential (5)

의 서비스 타입 중 임의로 하나의 서비스 타입을 선택하여 트래픽을 생성한다. 총 시뮬레이션 시간은 3500초이며 이 기간 동안 Poisson Arrival 프로세스를 따르는 (분당 평균 20개) 신규 단말이 네트워크에 접속한다. 최초 2200초 동안은 신규 단말은 Voice 트래픽만을 생성하며 이들 Voice 트래픽을 생성하는 단말들은 2200초부터 3500초 사이에 역시 분당 평균 20을 갖는 Poisson 프로세스에 따라 네트워크 접속을 해제한다. 즉, 2200초까지 Voice 트래픽은 점차 감소하게 되고, 2200초부터 3500초 사이에는 Data 트래픽이 네트워크에서 운용되는 주요 트래픽이 된다. (그림 4에서 Data 와 Voice 트래픽의 양의 변화 패턴 참조)

그림 4은 각 셀 타입에 따른 트래픽의 양을 시뮬레이션 시간 별로 보여준다. 시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 분석을 할 수 있다. 셀 Throughput은 kbps 단위로 표현된 대상네트워크에 포함된 모든 셀들의 Throughput을 나타낸다.

- 거의 대부분의 시뮬레이션 시간으로부터, CDMA 1x 셀은 Voice 트래픽을 처리하는데 모든 자원을 소모하고 있다. 그러나 WCDMA/HSDPA의 non-HSDPA 부분은 Voice 트래픽이 증가함에 따라 자원소모가 변화한다. 0~2200초까지는 자원소모가 계속적으로 늘어나다가 2200~3500초 사이에서는 감소한다.
- 첫 1200초 동안에는 WCDMA/HSDPA 셀의 HSDPA 부분은 EV-DO보다 높은 자원소모를 보인다. 이는 Voice 트래픽이 아직 양이 많지 않아 EV-DO에 비해 상대적으로 가용자원이 많은 HSDPA에 트래픽이 몰리기 때문이다. HSDPA가 많은 자원을 갖고 있다는 것은 한계 비용을 계산하였을 때, EV-DO가 HSDPA에 비해 높은 값을 갖는다는 것을 의미한다
- HSDPA의 자원소모는 non-HSDPA 부분이 Voice 트래픽을 감당하면서 대략 500~2200초 사이에 점차 감소한다. 그러나 2200초 이후 non-WCDMA 부분이 Voice 트래픽을 받아들이는 양이 감소하면서부터 HSDPA의 자원소모는 큰 폭으로 증가한다.

그림 5의 결과는 II 절에서 설명한 운용정책을 CRRM이 충실히 반영하여 각 셀들의 자원 소모를 조정할 것을 증명한다. Weighted Call Drop은 kbps로 환산된 Drop Call들의 총량을 나타낸다. 그림 5는

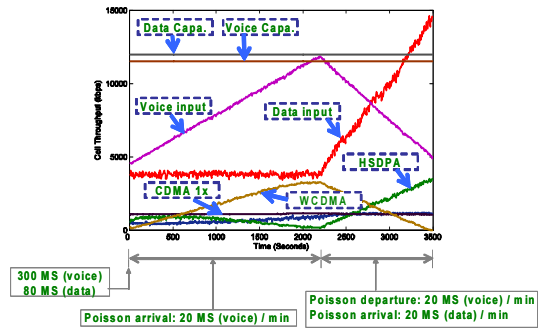


그림 4. Cell throughput for different RAT

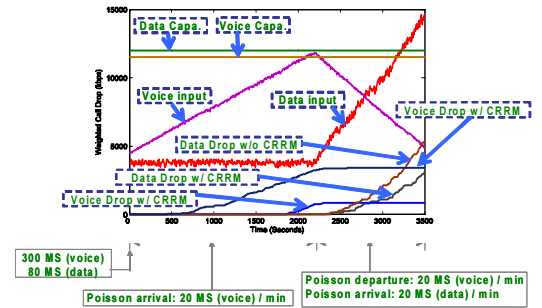


그림 5. Weighted call drop for data traffic and voice traffic

CRRM을 적용하였을 경우와 적용하지 않았을 경우의 비교를 나타내며 그림 5로부터 다음과 같은 분석을 얻어낼 수 있다.

- CRRM을 적용하였을 때, 1700초 부근에 voice 트래픽 접속량은 전체 네트워크가 감당할 수 있는 총량의 92.5%에 이른다. 이 부근부터 Voice 트래픽에 대한 차단이 일어난다. 이는 CRRM이 적용되지 않았을 때 500초 부근에서부터 트래픽 차단이 시작된다
- CRRM을 적용하였을 때, 2100초 부근에 Voice 트래픽은 전체 네트워크 총량의 가득 채우고 약 4%의 트래픽 차단이 일어난다. CRRM을 적용하지 않았을 때에는 약 4배정도의 트래픽 차단이 일어난다.
- CRRM을 적용하였을 때, 2400초 부근에 Data 트래픽 접속량은 전체 네트워크가 감당할 수 있는 총량의 90.7%에 이른다. 이 부근부터 Data 트래픽에 대한 차단이 일어난다. CRRM을 적용하지 않았을 때 트래픽 차단이 일어나는 시기는 비슷하나 그 증가속도가 CRRM 적용시의 2배에 달한다.

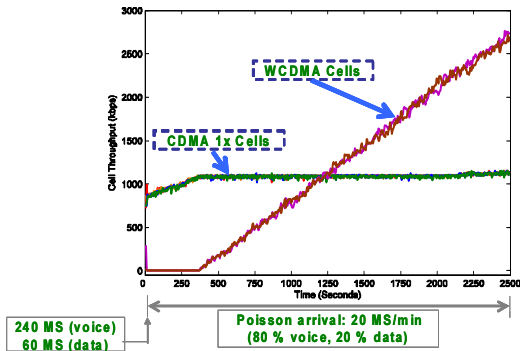


그림 6. Cell Throughput from voice traffics

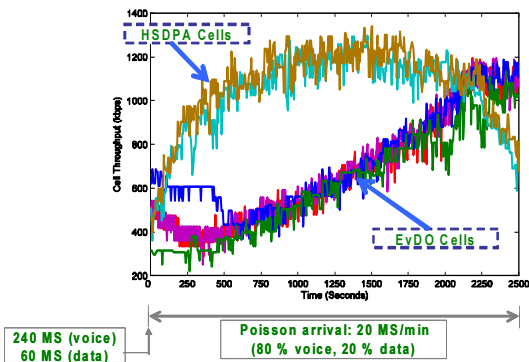


그림 7. Cell Throughput from data traffics

6.2 Scenario 2.

두 번째 시나리오에서는 300개의 임의의 자리에 위치한 단말로부터 시작한다. 80%의 단말은 Voice 트래픽을 생성하고 나머지 20%의 단말은 표 1의 서비스 타입 중 하나를 선택하여 Data 트래픽을 생성한다. 총 2500초의 시뮬레이션 시간 중, 분당 평균 20 대로 Poisson 프로세스를 따르는 단말들이 신규로 네트워크에 접속하고 80%는 Voice를, 20%는 Data 트래픽을 생성한다. 그림 6과 7은 셀 Throughput을 Voice와 Data로 나누어 표현한다. 각각의 셀들에서 처리되는 트래픽 양을 추적하여 표시 하였다. Voice 트래픽은 우선 CDMA 1x를 택해 서비스 되고, 요구 트래픽 양이 많이질수록 WCDMA 셀로 트래픽이 물리는 경향을 보인다. Data 트래픽의 경우도 초기에는 한계 비용 값이 낮은 HSDPA에 트래픽이 집중되다가 HSDPA에 일정량 이상의 트래픽이 처리된 후에 EV-DO로 트래픽들이 할당된다.

VII. 결론

다중 네트워크 환경은 현재의 CDMA, WCDMA, GSM의 단일 네트워크 위주의 구성을 가진 무선 서비스 사업자에 새로운 운용원칙과 서비스 조합을 필요로 하게 되었다. 무선 통신 사용자 수는 지속적인 증가추세에 있고 사용자들이 원하는 서비스의 종류 또한 계속해서 다양해지고 있으며 사용자가 기대하는 서비스의 질과 수준 역시 높아지고 있다 이에 무선 서비스 사업자들은 사용자들의 높아진 서비스 품질을 만족시키고 새로운 형태의 서비스를 안정적으로 공급하며, 현재의 네트워크와 신규 네트워크의 조화로운 운용을 위해 새로운 형태의 운용 구조를 필요로 한다. 본 논문에서 소개한 운용원칙과 운용원칙을 시스템에서 단순하게 구현할 수 있는 한계 비용 함수의 개념은 실질적으로 다중 네트워크에서 효과를 기대할 수 있으며 이는 두 가지의 시나리오 접근을 통해 증명하였다. 실험 시나리오는 네트워크간 운용원칙이 실제로 잘 동작하는 것을 보이며 실제 네트워크 시스템의 적용 시에 충분히 안정적으로 동작할 수 있음을 보인다.

한가지 결론에 부가할 사항은 다중 모드 단말의 구성 비율이다. 다중 모드 단말이 상대적인 고가인 점과 휴대성에서의 불편함으로 전체 단말 중 낮은 비율을 차지하고 있는 것이 현실인데 네트워크 선택과 망간 핸드오버 (Vertical Handover)에서 단지 10~20% 정도의 다중 모드 단말로도 네트워크 부하 균등화 효과가 있음이 시뮬레이션에서 확인되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. Pittmann et.al., Ambient networking: Concept & Architecture, *Information Society Technology*, Apr. 2005.
- [2] R. Sigle et.al., Multiple Radio Access Architecture, *Information Society Technology*, Apr. 2005.
- [3] Gabor Fodor, Anders Eriksson, Aimo Tuoriniemi, "Providing Quality of Service in Always Best Connected Networks", *IEEE Communications Magazine*, July 2003.
- [4] Vangelis Gazis, Nancy Alonistioti, Lazaros Merakos, "Toward a Generic Always Best Connected Capability in Integrated WLAN/

- UMTS Cellular Mobile Networks (and Beyond)”, *IEEE Wireless Communications*, June 2005.
- [5] Eva Gustafsson, Annika Jonsson, “Always Best Connected”, *IEEE Wireless Communications*, February 2003
- [6] Vangelis Gazis, Nikos Houssos, Nancy Alonistioti, Lazaros Merakos, “On the Complexity of Always Best Connected in 4G Mobile networks”, *IEEE 58TH Vehicular Technology Conference*, 2003
- [7] Christoph Niedermeier, Reiner Schmid, Eiman Mohyeldin, Markus Dillinger, “Handover Management and Strategies for Reconfigurable Terminals”, *SDR Forum Contribution*, 2002
- [8] Simon Haykin, “Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, No. 2, February 2005
- [9] M.J. van Sinderen, A.T. van Halteren, M. Wegdam, H.B. Meeuwissen, E.H. Eertink, “Supporting context-aware mobile applications: an infrastructure approach”, *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, Issue 9, Sep. 2006.
- [10] H. van Kranenburg, M.S. Bargh, S. Iacob, A. Peddemors, “A context management framework for supporting context-aware distributed applications”, *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, Issue 9, Sep. 2006.

김 재 훈 (Jae-hoon Kim)

정회원



1996년 2월 KAIST 산업경영학과 졸업

1998년 2월 KAIST 테크노경영/정보통신 석사

2003년 8월 KAIST 테크노경영/정보통신 박사

2003년 2월~2005년 6월 삼성전자

네트워크 사업부 책임연구원

2005년 6월~현재 SK 텔레콤 전략기술 부문 Manager

<관심분야> CDMA/WCDMA/WiBro 셀룰러 네트워크, 무선 서비스 Application