

# 다중 네트워크 환경 하에서의 공통 자원 관리 기법 및 네트워크 시뮬레이터 응용

김 재 훈\*

## Common Resource Management and Network Simulator in Heterogeneous Network Environment

Jae-Hoon Kim\*

### ■ Abstract ■

By the newly emerging network access technology, we face the new heterogeneous network environment. 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. For this, the service operators should build the new operation framework which combine the pre-established network and newly adopted one. Our problem is finding the optimal heterogeneous network operation framework. We suggest market-based marginal cost function for evaluating the relative value of resource of each network and develop the whole new heterogeneous network operation framework. To test the applicability of developed operation framework, we build large-scale JAVA simulator. By this development, we can easily test the new network environment in practical engineering field.

Keywords : Heterogeneous Network, Marginal Cost, Network Simulator

## 1. 서 론

현재 전 세계 무선 네트워크 환경은 CDMA,

WCDMA, GSM 등 단일 네트워크들이 독립적으로 운용되던 구조에서 다양한 다중 네트워크들이 유기적으로 통합되는 다중 무선(Multi-Radio) 네

트위크 구조로 급속하게 진화하고 있다. 국내의 경우 두 마찬가지로 CDMA 기반 네트워크가 주류를 이루던 상황에서 WCDMA, HSDPA, WiBro와 같은 차세대 무선 접속 기술(Radio Access Technology, RAT)이 경쟁적으로 상용화되어 다중 네트워크들의 융합을 토대로한 서비스를 조만간 실현해야 하는 시점이다[1, 2].

이와 같은 변화 하에서는 공존하는 다중 네트워크들에 대한 최적의 통합 모델이 중요한 화두로 등장하고 있다. “Always Best Connected(ABC)”[3-6]라는 표제 하의 통합 네트워크에 대한 설치와 운영에 관한 연구가 진척되고 있으며, 이는 최소 비용으로의 네트워크 전환이라는 경제적 관점(Business Perspective)과 사용자의 입장에서 어떤 RAT 인가와는 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[1, 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 독립

적이라 할 수 없으며, 네트워크, 자원, 서비스의 관점에서 각각 보다 높은 수준의 “Intelligence”를 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 네트워크 자원을 관리하는 모델이다. 하지만 운용 중 전체 네트워크 정보를 하나의 의사 결정점에서 모아 추론하여 최적의 운용 결정을 내리는 것은 쉬운 일이 아니다. 또한 운용 중에 소요되는 많은 부가 트래픽(Overhead Traffic)으로 인해 네트워크의 성능이 저하되는 결과를 가져올 가능성도 내포하고 있다. 이를 극복하기 위해서 본 논문에서는 네트워크 각각의 한계비용(Marginal Cost) 산정기법을 기반으로 하는 공통 자원 관리 기법(Common Radio Resource Management, CRRM) 구조를 제안한다. 각각의 네트워크는 공통 인터페이스(Common Interface)를 통하여 연결되며 다중 네트워크간의 운용 시에 필요한 의사결정(Decision-Making, 예 : Call Admission Control, Load Control, Vertical Handover)은 한계비용함수(Marginal Cost Function)를 기반으로 한 CRRM 기능에 의해서 결정된다.

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

자원관리 알고리즘은 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기법으로 구성되며 네트워크 운용 사업자가 다중 네트워크를 운영할 때 부하분산을 통한 네트워크 효율적 운영을 가능하게 한다. 이는 CRRM 이라고 명명된 네트워크 간 공통 자원관리 기능의 도입으로 현실화되며 성능시험을 위해 설계된 대규모 시뮬레이터는 각종 검증 시나리오에 대해서 네트워크간 부하분산의 효과를 보여준다. 특히 한계비용함수는 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기

법을 간편하게 구성하는 핵심 요소로 본 논문을 통해 다중 네트워크 환경에의 적용 가능성을 처음으로 밝힌다.

본 개요에 이어서 제 2장에서는 다중 네트워크 통합 관점의 여러 선행 연구들을 살펴보고 제 3장에서는 다중 접속 네트워크 시스템(Heterogeneous Access Network System)의 운용 정책과 다중 접속 네트워크 시스템에서의 공통 자원 관리를 위한 한계비용함수의 도입을 기술하며 제 4장에서는 한계비용함수를 이용한 네트워크 선택(Access Network Selection) 과 트래픽 재분배에 대해서 기술한다, 제 5장에서는 대규모 네트워크 시뮬레이터의 구현방식과 용례를 보이고 마지막으로 제 6장에서는 본 논문에서 제시한 네트워크 시스템 모델 및 운용 알고리즘의 유효성을 보이는 시뮬레이션 결과를 제공한다.

## 2. 관련 연구

다중 네트워크 통합 관점에서의 연구는 여러가지 관점에서 진행되어 왔다. Clark[11]의 연구에서는 미래 통신 컨버전스 네트워크에서의 상위 제어 평면(Meta-Control Plane)에 대한 연구를 진행하였고 Crowcroft[12]는 여러 개의 독립 네트워크를 계층적 제어 영역(Domain) 혹은 컨텍스트(Context)로 재해석 하였다. 이러한 Meta-Control, Domain, Context의 개념은 복수의 접속 기술간 연합 기능(Interworking Function)을 제공하여 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기법 적용의 토대가 된다. 그러나 현재 네트워크간의 동적 기능 연결(Dynamic Network Mapping)은 여전히 재구성 가능한 네트워크(Reconfigurable Network) 구성의 핵심 문제로 남겨져 있다. Sollins[13]의 연구는 다중 네트워크를 영역(Region)의 개념으로 나누고 영역을 아우르는 공통 제어(Common Control) 기능을 통해 다중 네트워크 전체를 제어하여 네트워크 선택과 트래픽 재분배 문제를 다루고자 하였다.

또한 표준화 기구는 3GPP, 3GPP2, IEEE등은

3G와 2G 이동 네트워크 간의 통합이슈[14, 15]을 다루었고 다중 네트워크 하에서의 트래픽 분배와 같은 자원할당 기법을 다룬 여러 가지 연구 결과들이 존재한다[16-22]. 여기에 더해 서로 다른 사업자 간의 자원배분 문제를 다룬 연구도 존재한다[23, 24].

그러나 위 연구들은 몇 가지 면에서 한계점을 갖는다. 위 연구들은 단단히 결합된(Tightly Coupled) 특정 두 개의 무선 접속 네트워크의 공통 운영에 초점을 맞추어 이외의 네트워크로 확장하기 어려우며 또한 복수개의 네트워크로 확장이 가능한 연구들은 매우 제한된 자원 공유만을 가능하게 한다. 따라서 두 개 이상의 네트워크에서의 실질적 품질 기반의 자원 제어, 동적 네트워크 운용에 초점을 맞춘 네트워크 관리 기법이 필요하게 된다.

본 논문에서 제안하는 기법은 한계비용함수를 기반으로 하는 매우 광범위하고 일반적인 네트워크 제어기법이다. 즉, 이는 현재의 모든 네트워크 접속 기술뿐 아니라 미래에 개발될 새로운 네트워크 기술까지 포함할 수 있고, 직관적이고 단순한 한계비용함수의 설계로 다양한 수준에서의 네트워크 자원 관리를 수행할 수 있으며(부하 분산, 우선 순위 조정, 서비스 특성 고려 등), 통신 사업자의 운용 정책까지 고려가 가능하다. 본 논문의 이전 연구[25]에서는 운용 정책 고려가 가능한 한계비용함수의 시뮬레이션 적용에 대해서 논증하였으며 그 효용성은 개발된 시뮬레이터에 의해 명확히 증명된다.

## 3. 다중 네트워크 운용정책과 한계비용함수

다중 네트워크 모델에서는 국가적으로 할당된 주파수 스펙트럼의 배치, 네트워크 건설 시기에 따른 커버리지(Coverage)의 차이, 네트워크 별 기술적 특성, 서비스 제공자의 운용원칙 등에 따라 운용/설계상의 다양한 통합형태를 가지게 된다. 이러한 다양한 통합형태에서는 통합 네트워크 운영의 효율성 측면이나 망 사업자의 사업적 측면에서의 정

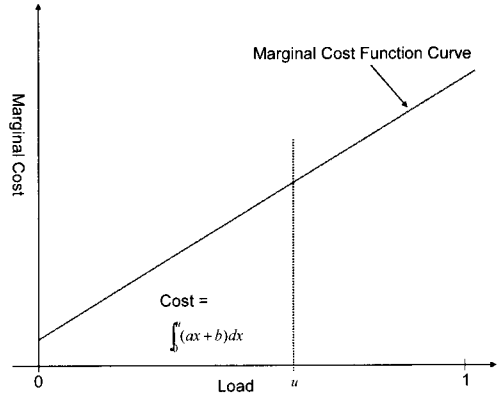
책에 부합되는 방향으로 가입자들의 네트워크 사용을 ‘유도’하는 것이 중요하다. 이러한 가입자의 네트워크 선택 유도를 위해 단순하면서도 효율적인 네트워크 접속 비용산정 기법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 한계비용함수(Marginal Cost Function)을 도입한다.

한계비용함수는 순간순간의 네트워크 간 접속 비용을 상대적으로 판단하는 함수이다. 최초로 트래픽이 발생하여 접속 가능한 네트워크 중 가장 상대적인 접속비용이 낮은 네트워크를 선택하고자 할 때, 혹은 트래픽 이동에 따른 네트워크 간 부하 불균형이 발생하여 일부 트래픽을 이웃 네트워크로 이동시켜야 할 때, 한계비용함수는 단순한 수학적 계산만으로 순간순간의 네트워크 접속 비용을 산정한다. 네트워크의 자원할당기능은 이 한계비용 함수에서 계산된 접속 비용을 가지고 신규 트래픽이나 기존 트래픽에 네트워크 접속 혹은 이동 명령을 내리게 된다. 한계비용 함수는 주어진 네트워크 환경에 따라 다양한 형태의 설계가 가능하다. 네트워크에 따라 다양한 네트워크 자원을 입력 변수(Parameter)를 받을 수 있지만 다중 네트워크 환경에서는 모든 네트워크 자원을 단일한 개념으로 다룰 수 있는 네트워크 부하(load = current capacity / capacity)를 단일 입력 변수로 받는다. 네트워크 부하의 증가에 따라 한계비용은 증가하게 되므로 한계비용함수는 네트워크 부하에 대한 증가함수(Strict Increasing Function)로 표현된다. 한계비용 함수를 이용한 다중 네트워크를 운용함에 있어서 가장 기본적인 가정은 전체 네트워크의 부하 총량의 최소화이다. 각 네트워크의 각 셀(Cell)의 접속 비용을 산정하여 셀간 트래픽의 이동의 기준으로 삼는데 있어 증가 함수 중 대표적인 함수 중 하나인 1차 함수를 예로 들어 한계비용함수를 정의하면

<한계비용함수>

$$\begin{aligned} \text{접속비용} &= f(\text{current traffic, capacity}) \\ &= a \times (\text{current traffic/capacity}) + b \\ &= a \times (\text{load}) + b \end{aligned}$$

이 한계비용함수의 적분 값들의 총합이 총 네트워크 부하가 된다.



<그림 1> 한계비용 함수와 총 비용 함수

주어진 한계비용 함수가 1차 함수 이므로 총 비용 함수의 형태는 2차 함수이고 이 2차 함수의 최소 값은 각 셀들의 부하(Load)가 균등하게 배분되는 시점이다. 즉, 한계비용이 낮은 셀을 선택하여 신규 트래픽을 접속 시키거나 핸드오버 시키게 되면 각 셀들의 부하는 균등하게 배분되고 전체 부하 총량은 최소화된다. 위 1차 함수로 주어진 한계비용함수는 가장 단순한 예제로서 이로부터 한계비용함수를 적절히 구성함에 따라 네트워크 운용 정책을 단순한 수학적 함수로 기술할 수 있음을 알 수 있다. 이는 다음과 같은 수학적 일반화가 가능하다.

그래프(Graph)  $G = (B, C)$ 를  $N$ 개의 셀이 존재하는 네트워크를 표현하는 것으로 간주한다.  $B = \{B_i\}_{i=1, \dots, N} = \{(f_i, u_i)\}_{i=1, \dots, N}$ 는 네트워크 내에 존재하는 셀들의 집합으로 한 셀의 특성은 한계비용함수  $f_i$ 와 부하  $u_i$ 로 정의된다.  $f_i(u_i)$ 는 셀  $B_i$ 가 부하  $u_i$ 를 가졌을 때의 한계비용함수를 나타낸다. 셀들간의 이웃 접속 가능관계(Neighboring Adjacent Relation)은  $C = (c_{ij})$  행렬에 의해 표현된다.

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if cell } B_i \text{ is a neighbor of } B_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

이제 셀  $B_1, B_2, \dots, B_N$ 의 최대 용량(max capacity)  $\max\_capa(B_1), \max\_capa(B_2), \dots, \max\_capa(B_N)$ 가 식 (1)의 조건을 만족하고  $f_i$ 가 증가 함수(Strict Increasing)라고 하자.

$$\begin{aligned} \max\_capa(B_1)/r_1 &= \max\_capa(B_2)/r_2 \\ &= \dots = \max\_capa(B_N)/r_N \end{aligned} \quad (1)$$

$r_i$ 는 셀  $B_1, B_2, \dots, B_N$ 들의 최대 용량을 하나의 단일 단위체계로 구성하기 위한 가중치 값으로 주로 최대 용량들이 초당 전송 비트(kbps) 단위로 주어지기 때문에  $r_i$ 로 셀의 최대용량을 나누어 상대적인 비교를 가능하게 한다

그러면 셀  $B_1, B_2, \dots, B_N$ 의 한계비용 함수는 다음과 같이 간단히 설정할 수 있다. 개별 셀들의 함수  $f_i$ 는 공통의 함수 형태인  $f$ 와 간단한 파라미터 변환 관계에 있음을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} f_1(u) &= f(u/r_1), \quad f_2(u) = f(u/r_2), \\ \dots, \quad f_N(u) &= f(u/r_N) \end{aligned} \quad (2)$$

이제 위의 각 셀 별 한계비용함수는 다음의 두 조건을 모두 표현한다.

$$\begin{aligned} f_1, \dots, f_N &\geq 0 \text{ \& \textit{Strict Increasing}} \\ f_1(r_1 u) &= f_2(r_2 u) = \dots = f_N(r_N u) \\ \text{for all } u &\in [0, \infty) \end{aligned} \quad (3)$$

이 때 각 셀의 평형상태는 다음의 조건 식 (4)를 만족해야 한다. 여기서 셀간 평형 상태란 각 셀간의 한계비용이 모두 동일해지는 부하의 정도를 의미한다. 평형상태에 도달하게 되는 부하의 양은( $u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*$ )로 주어짐을 알 수 있다.

$$f_1(u_1^*) = f_2(u_2^*) = \dots = f_N(u_N^*) \quad (4)$$

식 (2)의 공통 함수의 형태와 식 (1)의 관계로부

터 아래 식 (5)의 결과를 얻어낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f(u_1^*/r_1) &= f(u_2^*/r_2) = \dots = f(u_N^*/r_N) \\ \Rightarrow u_1^*/r_1 &= u_2^*/r_2 = \dots = u_N^*/r_N \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의 평형 상태는 식 (1)의 최대 용량의 비율 관계와 동일함을 알 수 있고 또한 모든 한계비용함수가 증가 함수(Strict Increasing)이므로, 평형 상태란 모든 셀의 부하를 합했을 때 최소 값을 가지는 경우임을 알 수 있다.

여기서 식 (3)의 조건이 바로 셀간의 트래픽 흐름을 표현한다. 즉, 한계비용함수가 높은 쪽의 셀로부터 트래픽을 이동시켜 한계비용함수가 낮은 쪽으로 흐르게 하면 식 (5)의 평형상태에 이르게 된다. 이 평형 상태가 부하 분산의 효과를 가져온다. 이는 모든 셀의 부하 편차량이 식 (3)의 조건에 맞도록 셀간 트래픽이 흐를 때 '0'으로 수렴됨을 보임으로서 증명할 수 있다.

아래  $V(t)$ 를 한계비용함수 값의 편차량이라고 했을 때  $V(t)$ 값이 0으로 수렴하게 된다.

$$V(t) = \sum c_{ij} (f_i(u_i(t)) - f_i(u_j(t)))^2 \rightarrow 0 \quad (6)$$

## 4. 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기법

이제 위에서 소개된 한계비용 함수의 개념에 기반한 네트워크 접속 비용 산정을 이용하여 최적의 네트워크 선택(Access Network Selection)과 네트워크간 핸드오버(Vertical handover) 기술을 이용한 트래픽 재분배(Traffic Redistribution) 기법을 소개한다. 각각의 셀들은 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 한계비용 함수에 의한 접속 비용을 산정하게 된다.

초기 접속 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. 한계비용함수값의 계산에 기반한 트래픽 재분배 알고리즘은 본 논문에서 독창적으로 제시하는 것으로 기존의 셀간 단순 부하량에 따른 트래픽 재분배 기법과는 차별화된다.

#### <트래픽 재분배 : Traffic Redistribution>

- 초기 설정(Initial Setup)

모든 기지국은 현재의 자원 소모 상태를 CRRM 모듈에 보고한다. CRRM 모듈은 각셀의 한계비용함수를 이용해 접속 비용을 계산한다. 또  $C(v)$ 와  $C(d)$ 를 각각 음성과 데이터 트래픽을 지원하는 셀을 나타낸다.

- 재분배 알고리즘(Redistribution Algorithm)

1:  $C(v)$ 가 공집합이 아닐 때 아래 절차를 수행한다 :

1.1: 두 셀의 한계비용의 차가 가장 큰 두 개의 이웃(overlaid 혹은 adjacent) 셀,  $i$ 와  $j$ 를  $C(v)$ 에서 찾는다.

1.2: 두 셀  $i$ 와  $j$ 의 한계비용의 차이가 0이 되거나 더 이상 핸드오버를 수행할 단말이 없을 때까지  $i$ 와  $j$ 에서 핸드오버를 수행한다.

1.3: 두 셀  $i$ 와  $j$ 를  $C(v)$ 에서 제외한다.

2:  $C(d)$ 가 공집합이 아닐 때 아래 절차를 수행한다 :

2.1: 두 셀의 한계비용의 차가 가장 큰 두 개의 이웃(overlaid 혹은 adjacent) 셀,  $i$

와  $j$ 를  $C(d)$ 에서 찾는다.

2.2: 두 셀  $i$ 와  $j$ 의 한계비용의 차이가 0이 되거나 더 이상 핸드오버를 수행할 단말이 없을 때까지  $i$ 와  $j$ 에서 핸드오버를 수행한다.

2.3: 두 셀  $i$ 와  $j$ 를  $C(d)$ 에서 제외한다.

위 트래픽 재분배 절차는 셀간의 한계비용 함수에 기반한 접속비용을 계산하여 그 차이가 가장 큰 두 셀을 찾아 트래픽을 이동하는 것이다. 한계비용 함수의 설정만으로 신규 트래픽을 적절한 접속 네트워크에 할당하고, 기존 트래픽을 적절히 재분배함에 따라 네트워크 전반에 대해서 균형을 이룰 수 있다.

## 5. 다중 접속 네트워크 시뮬레이터

### 5.1 네트워크 통합 모델과 한계비용 함수의 설계

앞서의 한계비용 함수의 유도로부터 한계비용 함수가 증가 함수이면 네트워크의 부하 총량을 최소화할 수 있는 평형상태를 찾을 수 있고 이 평형상태에 이르는 방법이 한계비용함수 값이 높은 셀로부터 한계비용 함수가 낮은 셀로 트래픽을 이동시키면 되는 사항을 밝혀내었다. 이제 여기에 서비스 제공자의 운용 원칙을 추가하여 실질적으로 응용 가능한 한계비용 함수를 구성하고 이로부터 네트워크 선택 방법과 트래픽 재분배 방법을 개발한다. 한계비용 함수의 장점은 각종 네트워크 운용 정책을 수학적으로 표현할 수 있는 유연성이며, 현재 설치된 실제 물리적인 네트워크와 네트워크의 운용 원칙을 기반으로 한 한계비용 함수를 설계할 수 있다. 아래 사항은 본 논문에서 다루고자 하는 다중 접속 네트워크의 기본 통합 모델을 나타낸다.

- 다중 네트워크는 다음의 5가지 네트워크 접속 기술로 구성된다 : CDMA 1x, EV-DO, WCDMA-only, WCDMA/ HSDPA, WiMAX
- CDMA 1x와 EV-DO 시스템은 각각 서로 다

른 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 시스템에서만 지원한다.
- Data 트래픽은 EV-DO와 WCDMA/HSDPA, WiMAX에서만 지원한다.
- Voice 트래픽은 Data 트래픽에 비해 높은 우선순위를 갖는다.

위 네트워크 통합형태의 기본 원칙에 기반해서 하나의 Voice와 Data 트래픽의 운용 정책을 수립한다. 즉, "Voice 트래픽을 지원하기 위해서는 CDMA 1x와 WCDMA-only 셀이 우선적으로 선택되고 WCDMA/HSDPA 셀 역시 Voice를 지원할 수 있으나 늦게 도착하는 Data 트래픽의 지원을 위해 예외한다"는 운용 정책하에서 아래의 한계비용함수는 Voice와 Data 트래픽을 다중 접속 네트워크 환경에서 운용하는 가장 기본적인 네트워크 가치 산정을 표현한다(위의 네트워크 통합의 원칙들과 운

용정책은 다중 네트워크를 운용함에 있어 현실적으로 타당하게 받아들여진다).

$\alpha$ 값은 0과 1사이의 값으로  $\alpha$ 값이 커지면 전체 시스템 수율(Throughput)은 향상되는 결과를 가져오나 짧은 시간에 CDMA 1x나 WCDMA-only 셀에 Voice 트래픽이 물리게 되면 지나치게 높은 트래픽 차단율(Traffic Drop Rate)을 갖게 된다. 따라서  $\alpha$ 는 다음의 사항을 고려하여 설정하여야 한다.

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

$\alpha$ 값의 최적 산정은 정밀한 네트워크 모델링과 깊은 분석을 통해 얻어낼 수 있다. 그러나 일반적으로 0.9~0.95사이의 값을 선정하면 CDMA 1x와 WCDMA-only와 같이 기존에 설치된 네트워크의 활용도를 최대화 하면서 신규 네트워크로 신규 데이터 트래픽의 할당이 가능하다.

<표 1> 네트워크 별 한계비용 함수 설정

네트워크	한계비용 함수	비 고
CDMA 1x	$f_{voice}(x_v) = \begin{cases} (x_v/c_v)^2 & \text{if } x_v/c_v < \alpha \\ (x_v/c_v)^2 + 1 & \text{otherwise} \end{cases}$	$x_v$ : 현재 셀의 부하(Load) $C_v$ : 현재 셀의 용량(Capacity)
WCDMA-only	$f_{voice}(x_v) = \begin{cases} (x_v/c_v)^2 & \text{if } x_v/c_v < \alpha \\ (x_v/c_v)^2 + 1 & \text{otherwise} \end{cases}$	$x_v$ : 현재 셀의 부하(Load) $C_v$ : 현재 셀의 용량(Capacity)
EVDO	$f_{data}(x_d) = (x_d/c_d)^2 + 1$	$x_d$ : 현재 셀의 부하(Load) $C_d$ : 현재 셀의 용량(Capacity)
WCDMA/HSDPA	$f_{data}(x_v, x_d) = (x_d/c_d)^2 / (1 - x_v/c_v)^2 + 1$ $f_{voice}(x_v) = (x_v/c_v)^2 + 1$	$x_v$ : WCDMA 부분 $v$ 에 할당된 부하 $C_v$ : WCDMA 부분 $v$ 에 할당된 용량 $x_d$ : HSDPA 부분 $d$ 에 할당된 부하 $C_d$ : HSDPA 부분 $d$ 에 할당된 용량
WiMAX	$f_{data}(x_d) = (x_d/c_d)^2 + 1$	$x_d$ : 현재 셀의 부하(Load) $C_d$ : 현재 셀의 용량(Capacity)

## 5.2 시뮬레이터 모듈의 구현

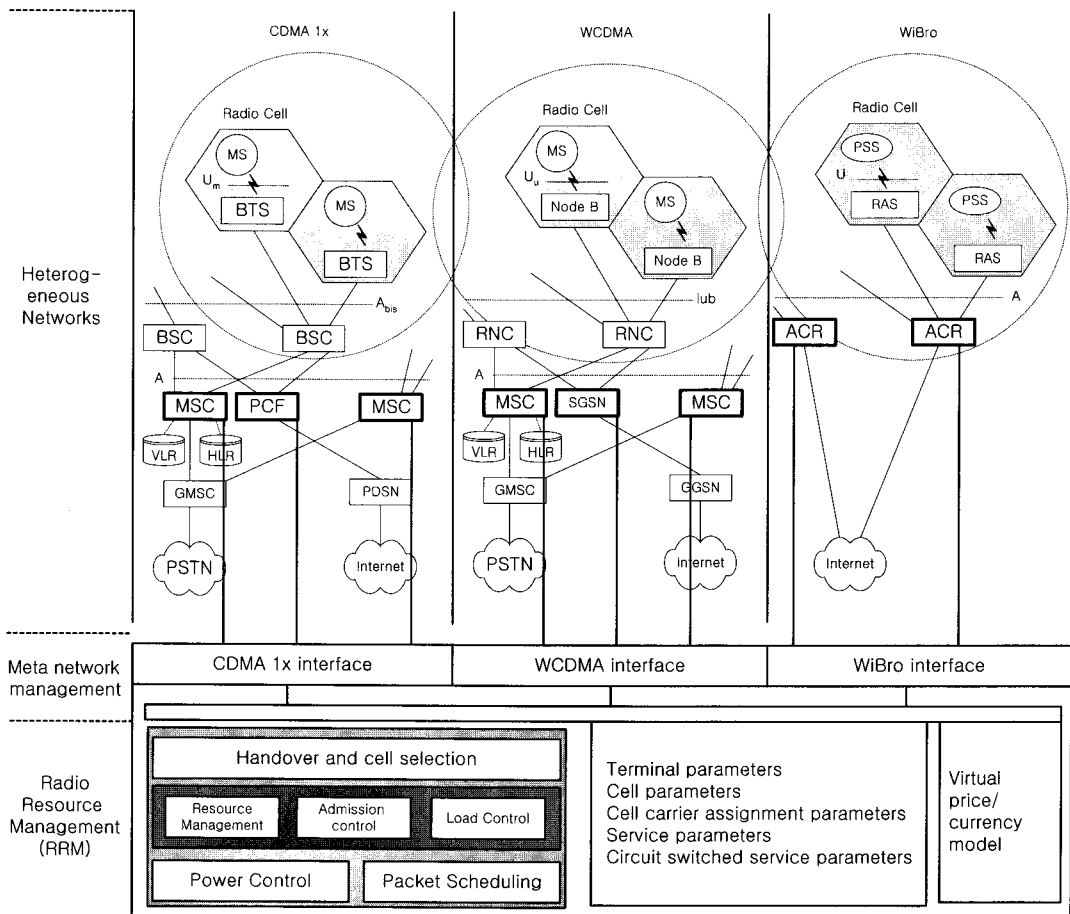
한계비용 함수에 기반한 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기법의 성능을 측정하기 위해 기지국, 단말, CRRM 모듈의 세 가지로 구성된 시뮬레이터를 구성한다. 각각의 모듈은 MAC 계층의 Data 처리를 지원하며 성능 검증을 위한 시나리오의 테스트를 위해 필요한 기능을 모두 구현한다. 각각의 구현 내용은 다음과 같다.

### 5.2.1 기지국(Base Station) 모듈

CDMA 1x, EV-DO, WCDMA-only, WCDMA/HSDPA, WiMAX의 모두 5가지 타입의 기지국을

구현한다. CDMA 1x와 WCDMA-only 셀은 Voice 트래픽을 지원하고 EV-DO, WiMAX는 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 커버리지(Coverage)는 셀의 모양으로서 결정된다. 실제 시스템에서는 셀의 모양이 기지국의 위치, 이동하는 물체, 기후에 따라 매우 다르게 나타난다. 본 논문에서 구현한 시뮬레이터는 각 셀



<그림 2> Inter-Network Interface Structure



의 모양을 임의로 조정하여 최대한 실제 환경과 유사하게 구성하도록 한다.

### 5.2.2 단말(Mobile Station) 모듈

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

- Arrival Process : 두 가지 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 Duration과 Session Inter-arrival Time은 특정 분포함수를 따른다.
- Service Type : 각각의 단말은 WAP, VOD Streaming, VOD Download, Video Confere-

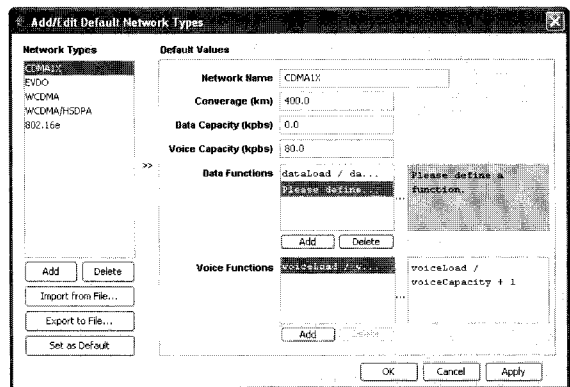
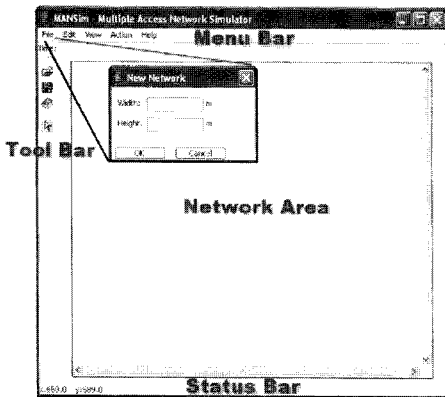
ncing, Voice중 하나의 서비스 타입을 갖는다. 위 서비스들은 대표적인 이동 서비스들의 리스트로 각각의 서비스 타입 별로 필요한 용량을 정의한다.

### 5.2.3 CRRM 모듈

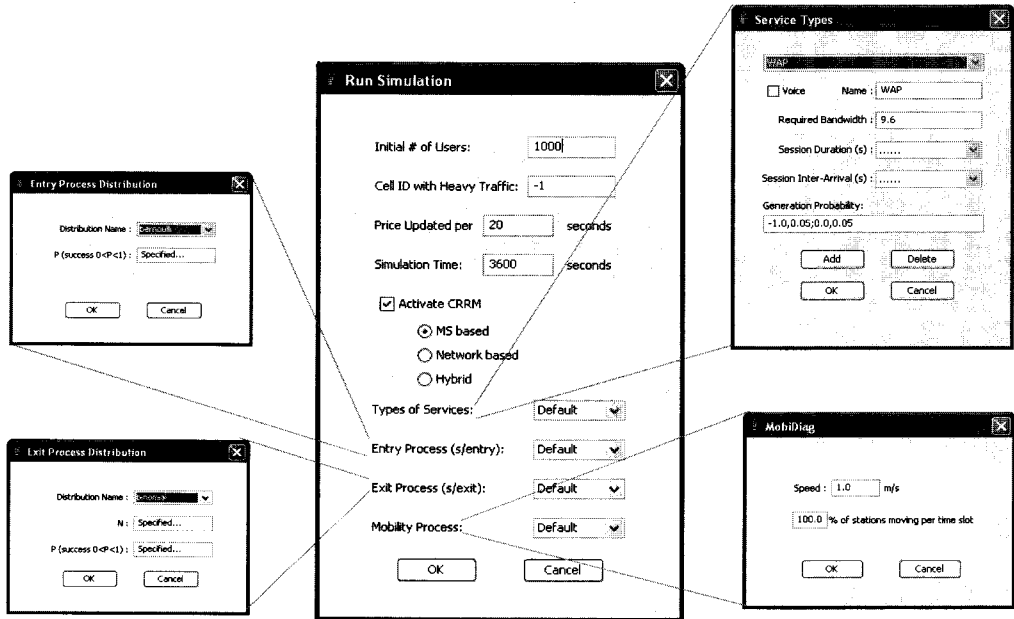
CRRM 모듈은 단말의 네트워크간 핸드오버를 지시하는 모듈로서, 제 5.1절의 한계비용함수에 따라 네트워크 접속비용을 계산하고, 네트워크 선택과 트래픽 재분배 절차에 따라 단말을 적절한 네트워크로 이동시킨다.

<그림 3>은 시뮬레이터의 인터페이스 화면의 구성 및 네트워크 자료 입력 화면이다.

위 시뮬레이터는 한계비용함수를 도입한 네트워크 선택과 트래픽 재분배 기법을 시험하기 위해서 개발되었으며 네트워크 자료 입력을 위해 기지국 타입, 커버리지, 용량, 한계비용함수 설정치를 가지며, 단말 자료 입력을 위해서 이동성, 서비스 타입, 다중 네트워크 접속 능력등을 갖는다. 다음 <그림 4>는 시뮬레이터를 구하기 위한 각종 입출력 화면을 모은 것이다. 트래픽의 생성/종료, 네트워크에서 서비스되는 서비스 타입, 단말 이동성 등을 모듈 별로 입력하고 시뮬레이션을 관장하는 메뉴화면에서 시뮬레이션 시간, 총 단말 숫자 등을 입력하고 시뮬레이션을 실시한다.



<그림 3> 시뮬레이터 인터페이스



<그림 4> 시뮬레이션 동작

## 6. 성능 분석(Performance Analysis)

본 성능분석에서는 앞서 정의한 한계비용함수와 네트워크 선택/트래픽 재분배 절차를 이용한 다중 네트워크 운용 기법의 평가를 위한 네트워크 시나리오를 보이고 개발된 Java 기반의 대규모 네트워크 시뮬레이터에서의 적용 예를 보인다. 이를 통해 한계비용함수의 유용성을 증명하고 실제 운용 환경에서 적용된 시뮬레이터 기술을 소개한다.

### 6.1 Scenario 1 : CRRM의 유용성 및 시뮬레이터 결과

첫 번째 시나리오에서는 CRRM의 유용성에 대해서 상대적으로 규모가 큰 시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이터의 결과 형태를 보인다. CDMA 1x, EV-DO, WCDMA/HSDPA, WiMAX의 4가지 셀을 각각 36, 36, 36, 12개를 생성한다. WCDMA-only 셀은 WCDMA/HSDPA 셀에서 HSDPA 부분

의 용량을 0으로 설정하여 WCDMA-only의 효과를 낸다. CDMA 1x와 EV-DO, WCDMA/HSDPA는 시뮬레이션 대상 영역을 모두 커버할 수 있도록 설정되고, WiMAX는 대상 영역 중 일부만 커버할 수 있도록 설정한다. CDMA 1x 셀은 총 80개의 Voice 트래픽(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. WiMAX 셀은 4Mbps의 실효 전송용량을 지원하는 것으로 설정한다. 각각의 단말은 아래 다섯 종류 중 하나의 트래픽을 생성한다(<표 2> 참조).

최초 3500개의 Voice 단말과 2500개의 Data 단말을 생성하고 Data 트래픽을 생성하는 단말은 <표 1>의 서비스 타입 중 Voice를 제외한 서비스 중 임의로 하나의 서비스 타입을 선택하여 트래픽을 생성한다. 총 시뮬레이션 시간은 1000초이며 이 기간 동안 포아송 도착(Poisson Arrival) 프로세스를

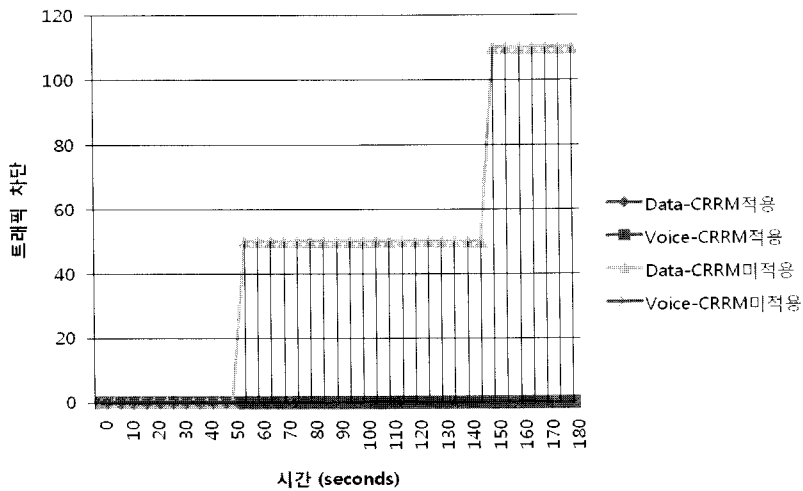
<표 2> 서비스 타입 Parameter

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)

따르는(분당 평균 60개) 신규 단말(Data 단말 : Voice 단말 = 1 : 1)이 네트워크에 접속을 시도한다. 각각의 단말은 2~5m/s의 속도로 임의의 방향으로 이동한다. 아래 <그림 5>는 CRRM을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 트래픽 차단율을 보

인다. CRRM 미적용 시 시뮬레이션 시작 55초경부터 발생하는 트래픽 차단이 CRRM 적용 시에는 발생하지 않았다.

<표 3>은 CRRM 적용 여부에 따른 부하 분산 정도를 표현한다. CRRM 적용 시에 보다 고른 네



<그림 5> 트래픽 차단율

<표 3> 네트워크 부하의 평균과 표준편차

		CDMA 1x	EV-DO	WCDMA/HSDPA	WiMAX
Voice CRRM 적용	부하 평균	65.2%	N/A	18.4%	N/A
	부하 편차	8.4%	N/A	3.2%	N/A
Voice CRRM 미적용	부하 평균	61.9%	N/A	19.1%	N/A
	부하 편차	12.1%	N/A	4.1%	N/A
Data CRRM 적용	부하 평균	N/A	87.8%	50.2%	21.1%
	부하 편차	N/A	5.2%	9.3%	3.3%
Data CRRM 미적용	부하 평균	N/A	51.7%	64.5%	50.1%
	부하 편차	N/A	20.1%	17.4%	20.4%

트위크 내 부하 분산 정도를 보인다. 모든 경우에 있어 부하의 표준 편차가 CRRM 적용 시에 적은 값으로 측정된다.

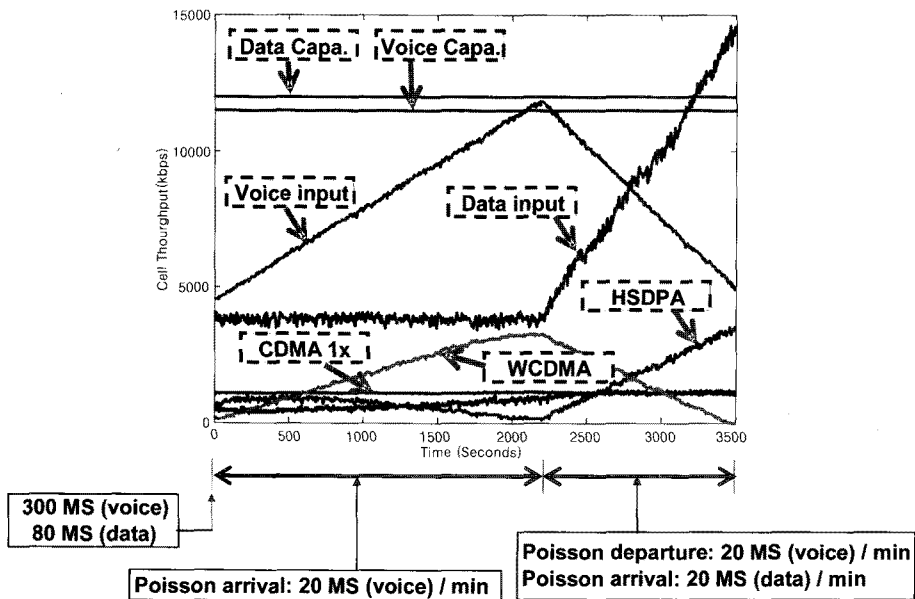
6.1 Scenario 2 : 한계비용함수의 유용성

두 번째 시나리오는 앞서 설정한 한계비용 함수에 따라 트래픽 처리가 얼마나 효과적으로 이루어지는지 추적하기 위한 시뮬레이션 시나리오이다. 우선 CDMA 1x, EV-DO, WCDMA/HSDPA 셀을 4:4:2의 비율로 생성한다. WCDMA-only 셀은 위 시나리오 1과 마찬가지로 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 일부분만 커버할 수 있도록 설정한다. 이외의 네트워크 설정 사항은 시나리오 1과 동일하다. 최초 400개의 단말을 80%는 Voice 트래픽을, 나머지 20%는 Data 트래픽을 생성하도록 설정한다. 총 시뮬레이션 시간

은 3500초이며 이 기간 동안 Poisson Arrival 프로세스를 따르는(분당 평균 20개) 신규 단말이 네트워크에 접속한다. 최초 2200초 동안은 신규 단말은 Voice 트래픽 만을 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 6>에서 Data 와 Voice 트래픽의 양의 변화 패턴 참조).

<그림 6>은 각 셀 타입에 따른 트래픽 전송량을 시뮬레이션 시간 별로 보여준다. 시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 분석을 할 수 있다.

- 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 늘어나



<그림 6> 네트워크간 트래픽 전송량

다가 2200~3500초 사이에서는 감소한다. 이는 CDMA 1x 셀로 Voice 트래픽을 우선 처리하도록 구성된 한계비용 함수의 구조에 기인한다.

- 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 한계비용을 계산하였을 때, EV-DO가 HSDPA에 비해 높은 값을 갖는다는 것을 의미한다. 역시 한계비용함수에 의해 HSDPA가 우선선택 되는 것이다.
- HSDPA의 자원소모는 non-HSDPA 부분이 Voice 트래픽을 감당하면서 대략 500~2200초 사이에 점차 감소한다. 이는 Voice 트래픽을 우선하는 정책을 반영한 한계비용함수의 설계에 기인한다. 그러나 2200초 이후 non-WCDMA 부분이 Voice 트래픽을 받아들이는 양이 감소하면서부터 HSDPA의 자원소모는 큰 폭으로 증가한다.

## 7. 결 론

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 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 구조를 필요로 한다. 본 논문에서 소개한 운용원칙과 운용원칙을 시스템에서 단순하게

구현할 수 있는 한계비용함수의 개념은 실질적으로 다중 네트워크에서 효과를 기대할 수 있다. 이는 대규모 네트워크 시뮬레이터를 구성하고 시뮬레이터에 적용하는 시나리오를 통해 증명하였다. 개발된 네트워크 시뮬레이터는 네트워크간 운용원칙이 실제로 잘 동작하는 것을 보이며 실제 네트워크 시스템의 적용 시에 충분히 안정적으로 동작할 수 있음을 보인다.

## 참 고 문 헌

- [1] Pittmann, F. et al., Ambient networking : Concept and Architecture, Information Society Technology, 2005.
- [2] Sigle, R. et al., Multiple Radio Access Architecture, Information Society Technology, 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," 2003 IEEE 58TH Vehicular Technology Conference, 2003.
- [7] Christoph Niedermeier, Reiner Schmid, Eiman Mohyeldin, Markus Dillinger, "Handover Management and Strategies for Reconfigu-

- able 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] van Sinderen, M.J., A.T. van Halteren, M. Wegdam, H.B. Meeuwissen, and E.H. Eertink, "Supporting context-aware mobile applications : an infrastructure approach," *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, No.9 (2006).
- [10] van Kranenburg, H., M.S. Bargh, S. Jacob, and A. Peddemors, "A context management framework for supporting context-aware distributed applications," *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, No.9(2006).
- [11] Clark, D., C. Partridge, Ch.s Ramming, and J. Wroclawski, "A Knowledge Plane for the Internet," ACM Sigcomm 2003, Karlsruhe, Germany, Aug. 2003.
- [12] Crowcroft, J., S. Hand, R. Mortier, T. Roscoe, and A. Warfield, "Plutarch : An Argument for Network Pluralism," Proc. ACM Sigcomm FDNA 2003 Workshop, Karlsruhe, Germany, Aug. 2003.
- [13] Sollins, K.R., "Designing for Scale and Differentiation," Proc. ACM Sigcomm FDNA 2003 Workshop, Karlsruhe, Germany, Aug. 2003.
- [14] 3GPP TR 25.881, "Improvement of Radio Resource Management (RRM) across RNS and RNS/BSS."
- [15] 3GPP TR 25.891, "Improvement of Radio Resource Management (RRM) across RNS and RNS/BSS post-Rel-5."
- [16] EU IST 5FP Project ARROWS, Advanced Radio Resource Management for Wireless Services, <http://www.arrows-ist.upc.es>.
- [17] EU IST 5FP Project MonaSidre, Management Of Networks And Services In a Diversified Radio Environment, <http://www.monasidre.com>.
- [18] EU IST 5FP Project CAUTION++, Capacity and network management platform for increased utilization of wireless systems of next generation, <http://www.telecom.ece.ntua.gr/CautionPlus>.
- [19] EU IST 6FP Project EVEREST, Evolutionary Strategies for Radio Resource Management in Cellular Heterogeneous Networks, <http://www.everest-ist.upc.es/>.
- [20] Luo, J., R. Mukerjee, M. Dillinger, E. Molydin, and E. Schulz, "Investigation of Radio Resource Scheduling in WLANs Coupled with 3G Cellular Network," *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, No.6(2003), pp. 108-115.
- [21] Vanem, E., S. Svaet, and F. Paint, "Effects of Multiple Access Alternatives in Heterogeneous Wireless Networks," *Proceedings IEEE WCNC 2003*, Vol.3(2003), pp.1696-1700.
- [22] Koo, I., A. Furuskar, J. Zander, and K. Kim, "Erlang Capacity of Multiaccess Systems with Service-Based Access Selection," *IEEE Communications Letters*, Vol.8, No.11(Nov. 2004), pp.662-664.
- [23] 3GPP TR22.951, "Network Sharing ; Service Aspects and Requirements (Release 6)."
- [24] 3GPP TR23.851, "Network Sharing ; Architecture and Functional Description(Release 6)."
- [25] Kim, J.H., "Design of Common Resource Management and Network Simulator in Heterogeneous Radio Access Network Environment," *J. Network and System Management*, DOI 10.1007/s10922-008-9104-2.