

# WCDMA HSUPA 망의 성능 향상을 위한 Iub 혼잡 검출 방법

정회원 안 구 리\*, 종신회원 이 태 진\*\*

## Iub Congestion Detection Method for WCDMA HSUPA Network to Improve User Throughput

Ku-Ree Ahn\* *Regular Member*, Tae-Jin Lee\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

HSUPA(High Speed Uplink Packet Access)는 고속 스케줄링, HARQ, 짧은TTI등을 Node B에서 제공함으로써 HSDPA 에 대응되게 상향링크 쪽의 고속 데이터 전송률을 제공하는 WCDMA의 Rel 6 이동통신 기술이다. WCDMA 시스템의 RNC(Radio Network Controller)와 기지국인 Node B 간의 Iub 구간에서 혼잡을 검출하는 것은 사용자의 통신서비스 품질을 높이기 위해서 매우 중요하다. 이를 위해 TNL 혼잡 검출과 Node B의 링크 버퍼 관찰 방법을 제안하고 이를 통해 얻을 수 있는 패킷 수율에 대해 성능 분석을 하였다. 제안하는 방법을 통해 좁은 Iub 대역폭의 혼잡 검출은 패킷 수율 향상에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : HSUPA, Congestion, TNL

### ABSTRACT

High Speed Uplink Packet Access(HSUPA) is a WCDMA Release 6 technology which corresponds to High Speed Downlink Packet Access(HSDPA). Node B Supports fast scheduling, Hybrid ARQ(HARQ), short Transmission Time Interval(TTI) for high rate uplink packet data. It is very important to detect Iub congestion to improve end user's Quality of Service(QoS). This paper proposes Node B Congestion Detection(BCD) mechanism and suggests to use the hybrid of Transport Network Layer(TNL) congestion detection and BCD. It is shown that HSUPA user throughput performance can be improved by the proposed method even with small Iub bandwidth.

### I. 서 론

이동통신 서비스는 음성서비스에서 데이터 서비스로 확장되고, 점차적으로 고속 데이터 전송을 필요로 하게 되었다. 현재 전 세계적으로 상용화 서비스 중인 3세대 이동통신 기술은 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 기술로 동기식과 비동기식으로 나누어져 각각 3GPP2와 3GPP에서 표준화를 진행하고 있다. 비동기식 시스템인 WCDMA의 UMTS forum에서는 2010년까지 66% 이상의 매출이 데이

터 서비스에서 창출될 것이라 예상하고 있다<sup>[1]</sup>. 이와 같이 증대되는 사용자 요구를 바탕으로 3GPP에서는 Release 99(이하 Rel. 99)에서 시작해서 현재 Rel 8까지 차세대 LTE 서비스를 연구 중에 있으며 현재 상용 서비스 중인 3세대 이동통신 WCDMA 시스템에서의 서비스 품질 보장을 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다<sup>[2]-[4]</sup>.

HSUPA는 고속의 상향 패킷 데이터 전송을 위한 표준으로 HSDPA에 대응하도록 만들어졌다. 현재 HSDPA는 상용 서비스 중에 있으나 HSUPA는 지

\* 성균관대학교 정보통신공학부, 삼성전자 네트워크 사업부 (kuree@samsung.com), \*\* 성균관대학교 정보통신공학부 (tjlee@ece.skku.ac.kr)  
논문번호: KICS2009-06-243, 접수일자: 2009년 6월 4일, 최종논문접수일자: 2010년 1월 7일

## II. WCDMA HSUPA 기술

원단말 보급 및 망 최적화 등의 이유로 상용화가 늦춰지고 있다. HSUPA 서비스의 상용화를 앞두고 상향 패킷 데이터 전송의 품질을 높이며 망내 서비스에 영향을 미칠 기술에 대한 분석과 연구는 효율적인 망 운용 및 망 구축 전략 수립을 위한 필수적인 선행업무라 할 수 있다.

WCDMA 망은 제한된 Iub 대역폭으로 인해 RNC와 Node B 간의 Iub 혼잡 상황이 발생하기 쉬우며 이는 사용자의 서비스 품질에 직접적인 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 Iub 혼잡을 효율적으로 검출할 수 있는 방법에 대한 연구를 통해 HSUPA 서비스의 안정화 및 품질 향상을 추구한다. 이를 위해 일반적으로 널리 알려진 TCP의 혼잡제어<sup>[5]</sup>와 WCDMA 망에서의 Iub 혼잡제어가 HSDPA 및 HSUPA 성능에 끼치는 영향에 대한 연구를 바탕으로 성능향상 방법을 제시하고자 한다<sup>[2],[4]</sup>.

[4]에서는 TNL(Transport Network Layer) 혼잡제어가 RLC(Radio Link Control) 동작 및 패킷 수율에 끼치는 영향에 대해서 연구하였으나, WCDMA의 패킷 스위칭 기반 서비스는 RLC TM(Transparent mode)은 사용하지 않음으로 그 비교가 적절하지 않다. 그러나 적절한 흐름 제어 및 혼잡 제어를 통해 RNC와 Node B 구간의 대역요구를 줄일 수 있으므로 망 운용자는 적은 비용으로 더 나은 사용자 통신서비스 품질을 제공할 수 있음을 보인다<sup>[2]</sup>.

[3]에서는 DRT(Delay Reference Time)와 FSN(Frame Sequence Number)을 사용한 TNL 검출방법과 checksum을 이용해서 혼잡을 검출하는 방법을 비교해서 Iub 인터페이스의 성능 향상이 HSDPA 시스템의 성능 개선에 영향을 끼침을 보여 준다. [6]에서는 크레딧 기반 흐름제어가 On-Off 방식의 흐름제어보다 여러 측면에서 우수한 성능을 보이면서 Iub 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 방식임을 연구하였다.

본 논문에서 제시하는 Iub 혼잡 검출방법은 TNL 혼잡검출 방법과 더불어 Node B의 링크 단에서의 버퍼를 감시함으로써 미리 혼잡이 발생하는 상황을 단계적으로 피할 수 있도록 하는 방식이다. 논문의 구성은 II장에서 기본적인 WCDMA HSUPA 기술을 설명하고 III장에서는 논문의 주제가 되는 HSUPA TNL 혼잡 검출 방식에 대해서 살펴본다. IV장은 제안하는 Node B에서의 혼잡 검출 방식을 설명하고 V장에서는 이에 대한 성능평가 결과를 제시하고 VI장에서 결론을 맺는다.

WCDMA는 1999년에 최초로 완성된 규격이 나왔으며, 이를 Rel. 99라 한다. WCDMA 표준화는 ETSI에서 주관했으나 2000년부터 WCDMA 표준 기구인 3GPP와 통합되었다. WCDMA의 기본 망 구성을 UTRAN(UMTS Terrestrial Radio Access Network) 위주로 보면 다음 그림 1과 같으며 기본 node와 node 간 I/F만 명시하였다.

2002년 초 3GPP는 하향 링크 속도를 기존의 최대 384kbps에서 획기적(최대 14.4Mbps)으로 높인 HSDPA를 제안한 Rel. 5를, 2004년 말에는 상향 링크 속도를 증대시킬 수 있는 HSUPA(상향링크 최대 5.74Mbps)를 도입한 Rel. 6를 발표하였다. HSUPA에서는 HSDPA와 마찬가지로 RNC에서 제공하던 여러 가지 기능을 Node B로 옮겨감으로써 더 빠른 패킷 스케줄링을 가능하게 하였다. RNC와 Node B 간의 Iub 구간에서는 HSUPA 데이터 전송을 위해 E-DCH 데이터 프레임 및 TNL 혼잡 제어 프레임을 추가해서 RNC는 혼잡이 발생하는 것을 검출해서 Node B로 알려줄 수 있다. Node B의 셀은 해당 단말의 serving 셀 인지 여부에 따라서 단말의 전송률을 up/down/hold할 수 있다(그림 2).

Iub 구간은 ATM연결(물리계층 인터페이스 E1)을 사용하였으나, 비용 문제 및 증가하는 사업자의 요구에 대응하도록 IP 네트워크(이더넷 링크)를 통해서도 지원할 수 있도록 표준화 되었다. 본 논문에서는 ATM 및 IP 네트워크에서의 성능평가를 수행하여 제안하는 혼잡제어 알고리즘이 두 가지 방식의 연결에 모두 적합한지를 고찰한다.

그림 2는 HSUPA의 동작 절차를 나타낸 그림으로써 초기 설정 시에 node B는 RNC로부터 단말의 지원 가능한 카테고리 설정 정보 등을 수신한다.

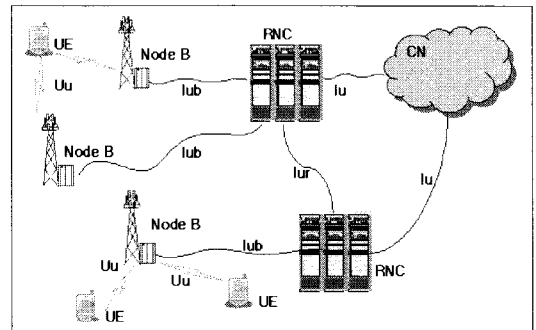


그림 1. WCDMA 네트워크 구성

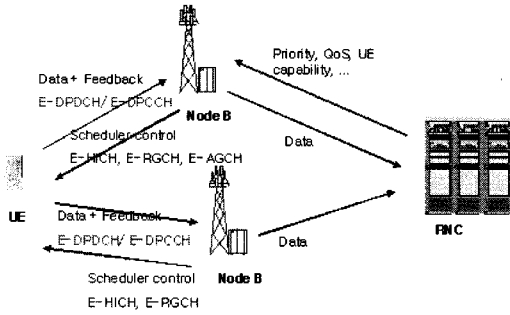


그림 2. HSUPA 동작 절차

단말은 상향 링크로의 데이터와 함께 채널 정보를 피드백 시켜준다.

단말의 전송률을 제어하기 위한 물리 채널은 E-HICH(E-DCH HARQ Acknowledgement Indicator Channel), E-RGCH(E-DCH Relative Grant Channel), E-AGCH(E-DCH Absolute Grant Channel) 등이 있으며, 이들 각각의 역할은 표 2에 정리하였다. HSUPA는 데이터를 전송하는 전송채널의 이름을 따서 E-DCH(Enhanced DCH)라고도 한다. 표 1에서는 E-DCH와 기존의 상향링크 서비스를 위해 사용하던 UL DCH 기술을 비교한다. 표 2에서는 HSUPA 전송에 사용되는 물리 계층 채널을 설명한다<sup>[8]</sup>.

HSDPA에서와 마찬가지로 Node B에서의 재전송 과정을 수행하기 위해 새로운 MAC (Medium Access Control) Protocol의 역할이 Node B에 추가된다. 이를 프로토콜 계층으로 표현한 것이 그림 3이다.

Node B에는 HARQ (Hybrid Automatic Repeat

표 1. EDCH와 uplink DCH의 비교

	UL DCH	E-DCH
Spreading Factor (SF)	SF4 ~ SF256	SF2 ~ SF256
Fast power control	yes	yes
Max rate	384 kbps	5.76 Mbps
수신 오류 재전송 기술	RNC: RLC ARQ	Node B: MAC-e H-ARQ
Fast BTS scheduler	No	yes
Soft handover	yes	yes
TTI	10~ 80ms	2ms, 10ms
물리 채널	UL DPDCH, DPCCH DL DPCCH	UL E-DPDCH, E-DPCCH, DL AICH, RGCH, AGCH

표 2. HSUPA 물리채널

채널	SF	특성
E-DPDCH	2 ... 256	데이터 전송을 위한 트래픽 채널 DPDCH와 유사한 특성(OVSF, 전력제어, 변조방식 등) 스케줄링, HARQ, SF2, TTI = 2ms 지원
DPCCH	256	E-DPDCH에 대한 전력제어, 채널 추정, SIR 추정 등에 이용
E-DPCCH	256	E-DPDCH의 복조에 필요한 정보포함 E-TFCI (7 bit), RSN (2 bit), Happy bit (1 bit) 포함.
E-HICH	128	E-DPDCH로부터 수신한 데이터에 대한 ACK/NACK/DTX 정보 포함 Serving 셀로부터 ACK/NACK 가능 Non serving 셀에서는 ACK만 가능(하향링크 간섭 줄임.)
E-RGCH	128	E-DPDCH에 사용될 송신전력을 UP/DOWN 시킴. (E-HICH와 동일구조) Serving E-DCH RLS에 속하는 셀에서는 UP/DOWN/HOLD 모두 가능 Non serving RL에서는 DOWN/HOLD만 가능
E-AGCH	256	단말이 전송할 수 있는 송신전력의 크기를 알려줌. (Serving cell에서만 전송가능) Absolute grant value (5-bit), Absolute grant scope (1-bit), UE-ID (16-bit)

Request) 와 스케줄링을 담당할 MAC-e가 추가된다. RNC에는 MAC-es가 MAC-d 아래에 위치해서 수신한 PDU의 TSN(Transmission Sequence Number)을 비교해서 re-ordering을 수행한다. E-DCH FP (Frame Protocol)간에 사용하는 데이터 프레임의 형태는 그림 4를 참고한다.

HSUPA의 UTRAN 내에서의 재전송은 그림 5와 같다. Rel. 5 이전의 DCH는 RNC의 RLC(Radio Link Control) 계층에서 UE와의 ACK/NACK을 주

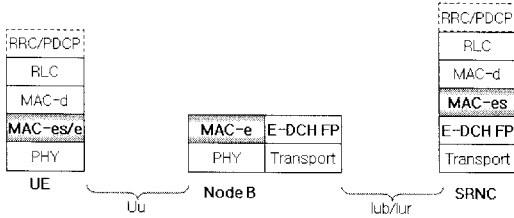


그림 3. Protocol Termination for HSUPA

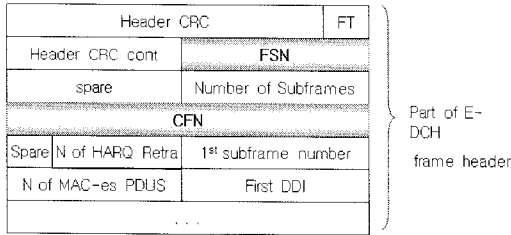


그림 4 E-DCH 데이터 프레임 헤더의 일부

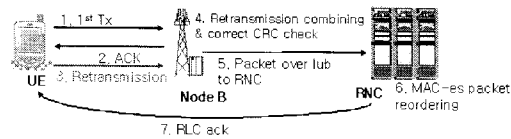


그림 5. HSUPA 재전송 제어과정

고받으면서 재전송을 수행하였다. HSUPA에서는 이를 더 빨리 수행할 수 있도록 Node B의 MAC-e 단에서 HARQ를 수행함으로써 1차적인 재전송을 담당한다. Node B의 HARQ를 최대 횟수만큼 수행한 뒤에도 디코딩에 실패하면 Node B는 이를 HARQ Failure 프레임으로 RNC에 알려줄 수 있다. 이에 대해서는 RLC가 최종적으로 재전송을 수행함으로써 신뢰성 있는 전송을 보장하게 된다.

### III. TNL Congestion Detection

WCDMA의 프로토콜 구조는 수평적으로 Radio Network Layer(RNL)와 Transport Network Layer(TNL)로 구별되고 이런 계층(Layer)들은 서로 논리적으로 독립적임을 가정한다. RNL에서는 UTRAN의 이슈를 가지적으로 나타내고, TNL은 UTRAN에서 사용될 표준 전송 기술을 반영함으로써 추가적인 요구사항에 대해 프로토콜 스택을 원활하게 변경할 수 있다.

그림 4는 Node B에서 RNC로 HSUPA 데이터 전송에 쓰이는 프레임의 헤더 일부분을 표시한다.

그림에서 FSN(Frame Sequence Number)은 0~15의 값을 가지며 프레임 전송 시마다 증가시킴으로써 프레임의 손실을 판단하는데 쓰인다. CFN(Connection Frame Number)은 0~255의 값을 가지며 10ms 마다 증가시킨다. E-DCH 프레임 헤더의 CFN과 FSN은 동적 지연을 판단하는데 사용할 수 있다.

표준에서 정의하는 TNL 혼잡 프레임 및 그 의미는 그림 6과 같다. TNL의 프레임 지연은 일반적으로 TCP 혼잡제어에서 사용하는 round-trip-time 변이 추정 알고리즘과 유사하다<sup>[5]</sup>. RNC의 FP는 수신하는 CFN의 변이가 RTT + margin 값 범위를 벗어날 때, “프레임 지연”이라고 판단할 수 있다. “프레임 손실”은 순차적으로 증가하는 FSN이 순차적으로 증가하지 않고 기대하는 FSN값을 지정한 윈도우 내에 수신할 수 없는 경우에 프레임을 손실했다고 판단해서 TNL 혼잡 제어 프레임을 전송할 수 있다. 프레임 손실과 프레임 지연 상황이 지속적으로 발생한다고 해서 수신하는 프레임마다 TNL 제어 프레임을 전송할 필요는 없으며, 이와 같은 혼잡상황이 해소되면 RNC는 “No TNL”을 Node B로 전송함으로써 RNC의 혼잡 상태가 완화되었음을 알리게 된다.

그림 7에서 보여지는 것과 같이 HSUPA TNL 혼잡 검출 방식은 RNC에서 혼잡을 검출해서 Node B로 알려주어 Node B 내의 혼잡 제어 프로세스가 Relative Grant를 사용해서 단말의 전송률을 변경할 수 있도록 한다. 여기서 파생할 수 있는 문제는 다음과 같다. TNL 혼잡 검출 방식은 무선 구간의 유실 및 지연을 가정하고 있으나, 실제로 HSUPA는 요구하는 대역폭이 실제 사용에 비해서 큼으로 인

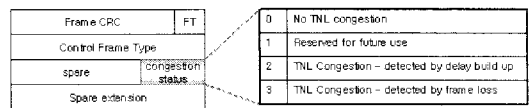


그림 6. HSUPA TNL congestion control frame

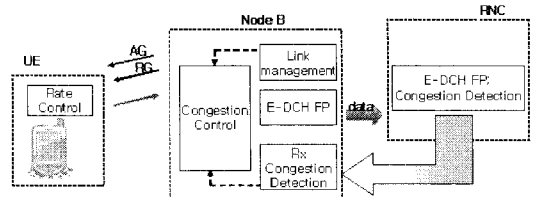


그림 7. HSUPA에서 TNL 혼잡제어

해 overbooking을 사용한다. 이로 인해 유선 구간의 유실 및 지연이 발생할 수 있으므로 제안하는 방식에서는 이를 방지하고자 한다.

또한 단말은 Iub 구간의 대역폭 사용을 알 수 없고 자신의 채널 환경 및 Node B의 스케줄링에 따라서 데이터를 전송할 수 있다. 이때, 단말이 처한 채널 환경이 좋다면 최대 전송률로 전송할 수 있고 이런 단말이 Node B 내에서 많아지면 Iub 대역폭의 사용률이 높아지고 패킷 연결 서비스의 특성상 트래픽이 갑자기 몰리게 된다. 이런 결과로 Iub 구간의 혼잡이 발생해서 RNC에서는 데이터가 유실됨으로써 프레임 손실 또는 지연이 발생하고 RNC의 E-DCH FP에서는 이를 검출해서 TNL 혼잡 제어 프레임을 전송하게 된다. RNC에서 전송한 TNL 혼잡 제어 프레임은 Node B로 전송되는 시간만큼의 지연을 겪은 후 Node B로부터 Relative Grant를 통해 단말의 전송률을 단계적으로 줄일 수 있다. 이때, RNC에서 Node B로 전송되는 시간만큼 상향링크 데이터는 지속적으로 Iub 버퍼 오버플로우를 겪게 되고 이는 Iub 구간 상의 데이터 프레임 손실을 발생시켜 RLC 또는 TCP 단의 재전송을 초래하는 연쇄적인 문제점을 안고 있다.

#### IV. 제안하는 Iub 구간의 혼잡 검출 방식

TNL 혼잡 검출 방법은 검출에서 혼잡제어까지의 구간이 길어서 그만큼 시간이 더 걸리고 그에 따라 사용자 데이터의 유실을 초래함으로써 셀 수율이 낮아질 수 있다. 한편 Node B에서는 링크 관리 기능을 제공하고 RNC로 전송하는 HSUPA 링크 버퍼를 관찰함으로써 전송 데이터량을 측정할 수 있다. 전송 데이터량을 전송 버퍼의 문턱값과 비교함으로써 이를 Node B의 패킷 스케줄러로 알릴 수 있고, 패킷 혼잡이 갑자기 발생하는 상황을 피할 수 있다. 이를 BCD (Node B Congestion Detection)로 명하고 앞으로 TNL과 비교 설명 시에 사용한다.

BCD 방식에서는 Iub 링크 버퍼의 우선순위를 구별해서 특정 서비스의 QoS를 보장할 수 있도록 한다. ATM 링크에서 HSUPA 트래픽을 위한 우선 순위 버퍼는 224개의 ATM 셀 버퍼 크기만큼 할당한다. 혼잡 상태 검출은 1ms 주기로 USA(Utopia Switch & AAL switch) device에서 확인하여 전송하며, 버퍼의 크기는 ATM 링크에서 IMA(Inverse Multiplexing over ATM) grouping에 따라 버퍼 개수를 증가시킨다. IP 링크 역시 우선 순위 버퍼를 사

용하며 HSUPA가 사용하는 버퍼는 640개의 패킷 버퍼를 할당해서 사용한다. IP 링크는 ATM 링크에서와 마찬가지로 문턱값 확인과, queuing 패킷 크기를 동시에 본다. queuing 패킷 크기 동작 방식은 해당 버퍼의 패킷 크기를 기준으로 버퍼 개수만큼 곱한 값을 비교한다.

BCD에서는 현재 자신의 버퍼의 상태를 세 개의 문턱값과 비교함으로써 버퍼 상태를 진단해서 Node B 내의 혼잡 제어를 수행할 수 있게 된다.

Node B 링크의 혼잡 상태는 그림 8과 같이 정의할 수 있으며, 각각의 의미는 다음과 같다.

- No Congestion : 혼잡이 발생하지 않은 링크 버퍼 상태
- Serving Cell Congestion : Serving 셀과 Non-Serving 셀 단말의 전송률을 낮추도록 요청하는 링크 버퍼 상태
- Non-Serving Cell Congestion : Non serving 셀의 단말 전송만을 줄일 수 있는 링크 버퍼 상태

그림 8은 문턱값과 유지 시간에 따라서 Node B의 링크 버퍼 상태가 변경되는 것을 보여준다. 혼잡이 발생하면 No Congestion 상태에서 Non serving 셀 혼잡상태로 천이하는데 Non serving 셀 혼잡 상태에서는 Non Serving 셀에서 전송하는 사용자 데이터의 전송률만 줄일 수 있다. No Congestion 상태에서 트래픽이 갑자기 몰리게 되면, 단계적으로 Non Serving Cell Congestion 상태가 되거나 바로 Serving Cell Congestion 상태로 천이할 수 있다.

Non Serving Cell Congestion 상태에서 혼잡이 해제되지 않고 트래픽이 버퍼의 문턱값(Threshold<sub>s,high</sub>)을 일정 시간(T<sub>c</sub>) 이상 유지하면 Serving Cell Congestion 상태로 천이한다. 이 상태에서는 셀 내 HSUPA를 사용 중인 모든 단말의 전

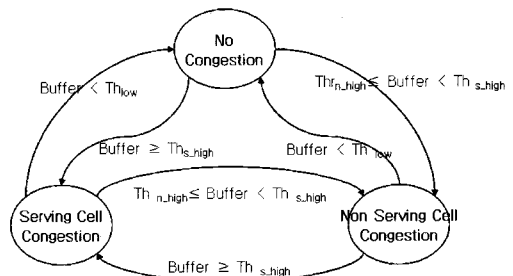


그림 8. 제안한 BCD의 Node B 링크 버퍼의 상태 천이

송률을 줄여서 혼잡 상태가 빨리 해소될 수 있도록 한다.

Node B 링크 버퍼의 문턱값은 각각  $Threshold_{low}$ ,  $Threshold_{s\_high}$ ,  $Threshold_{n\_high}$  가 있으며 쓰임새는 다음과 같다.

- $Threshold_{low}$ : No Congestion 상태로 천이할 수 있는 문턱값
- $Threshold_{s\_high}$ : Serving 셀을 포함한 모든 셀 내의 단말 전송을 줄일 수 있는 문턱값
- $Threshold_{n\_high}$ : Non serving 셀들로부터의 전송만을 줄일 수 있는 문턱값

문턱값은 일반적으로  $Threshold_{low}$ 는 최대 버퍼 기준 25%,  $Threshold_{n\_high}$ 는 50%,  $Threshold_{s\_high}$ 는 65%로 정해서 BCD 수행 시에 사용하며, 추후 최적화가 필요할 수 있다.

제안하는 HSUPA 서비스를 위한 Iub 구간의 혼잡 검출 방식은 그림 7에서와 같이 BCD (link management module에서 버퍼 모니터링 수행)와 TNL을 병행해서 사용하는 것이다. BCD 방법을 통해 TNL보다는 나은 효과를 기대할 수 있을 것으로 보이나, Node B와 RNC를 다른 vendor의 시스템과 정합 시에는 범용으로 사용하기 어려움으로 표준에서 제시하는 TNL 혼잡 검출을 RNC에서 제공하면서 제안하는 BCD를 추가적으로 제공하면, 여러 가지 혼잡 상황에서 유연하게 대처할 수 있다.

### V. 성능 평가

성능 평가를 위한 Traffic Model은 일반적으로 HSDPA 패킷 트래픽 시뮬레이션에서 사용하는 것과 같은 Web 과 TCP 기반의 FTP 서비스로 FTP는 최악의 상황에 대비한 시나리오를 제공한다. 데이터 트래픽 모델은 3GPP에서 시뮬레이션 시에 사용한 파라미터를 참조한다(표 3). 시스템 레벨의 시뮬레이션 환경은 표 4에 나타내었다. HSUPA는 실시간 Streaming 서비스나 비실시간적인 Web, FTP 서비스에 사용된다. 실시간 Streaming 서비스는 Iub 대역폭을 필요로 하는 최소의 대역폭만큼 할당할 수 없는 경우 호 수락을 허용하지 않으며, 혼잡 제어 시에 다른 우선순위 버퍼를 사용해서 비실시간 데이터와 다르게 전송함으로 본 논문의 성능 시험에서는 제외한다. 시뮬레이션을 위한 망구조에서 본 논문은 어플리케이션 계층에서 물리계층까

표 3. 데이터 트래픽 모델<sup>[7]</sup>

Process	Random Variable	Parameters
Packet Calls Size	Pareto with cutoff	$A=1.1, k=4.5$ Kbytes, $m=2$ Mbytes, mean = 25 Kbytes
Time Between Packet Calls	Geometric	$\mu = 5$ seconds
Packet Size	Segmented based on MTU size	(e.g. 1500 cets)
Packets per Packet Call	Deterministic	Based on Packet Call Size and Packet MTU
Packet Inter-arrival Time (closed-loop)	Deterministic	TCP/IP Slow Start (Fixed Network Delay of 100 ms)

표 4. 시스템 레벨 시뮬레이션 환경

Parameter	Explanation/Assumption
Cellular layout	Hexagonal grid, 3-sector sites
Antenna pattern	0 degree horizontal azimuth is East 70 degree (-3dB), 20dB front-to-back ratio
Propagation model	$L = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$ $R(Km)$
CPICH power	- 10 dB
Other common channels	- 10 dB
Slow fading	Log-normal distribution
Std. deviation of slow fading	8 dB
Correlation between sectors	1.0
Correlation between sites	0.5
Correlation distance of slow fading	50 m
Carrier frequency	2 GHz
BS antenna gain	14 dBi
UE antenna gain	0 dBi
Max. # of retransmissions	4
Fast HARQ scheme	Chase combining (RV = 0)
BS total Tx power	Up to 43 dBm
PC step size	1 dB
Pilot/TFCI/FBI/TPC	6/2/0/2
Base Turbo Code	$R=1/3, K=4, 8$ iterations
Uplink Power Control	Closed-loop power control delay: one slot

지의 모든 프로토콜이 설계된 RNC, Node B 및 UE를 사용하였으며, 무선 구간은 TAS Emulator를 이용해서 전파환경을 설정하여 시험하였다. 단말은 셀 내 어느 곳에선 위치할 수 있으나 Handover 경우는 고려하지 않는다.

제안하는 BCD와 TNL을 결합한 방식의 Iub 혼잡 검출 방식의 성능을 비교하기 위해서 혼잡 검출을 수행하지 않는 경우와 각각을 따로 수행한 경우, 제안하는 결합한 방식을 적용한 경우의 성능을 비교하도록 한다. 패킷 수율의 측정은 HSUPA category #6 (maximum Data Rate 2Mbps with 10ms TTI) 단말의 사용자 전송률을 평균한 값이다.

그림 9, 그림 10에서는 Iub I/F를 ATM 링크로 설정하고 각각의 대역폭을 1.5Mbps 와 4.5 Mbps로 할당해서 HSUPA 패킷을 시뮬레이션 하고 사용자의 패킷 수율을 측정해서 평균을 나타내었다.

4.5 Mbps 로 설정된 대역폭내의 데이터 전송률에 대해서는(그림 10) 혼잡이 발생하지 않으면서 셀 수율도 비슷하지만 데이터 전송률보다 적은 Iub 대역폭 1.5 Mbps에 대해서는(그림 9) 혼잡 검출을 수행한 경우와 수행하지 않은 경우의 차이가 발생한다.

ATM 링크에서 혼잡이 발생하는 경우에 BCD와 TNL을 병행해서 수행하는 경우의 평균 패킷 수율은 기존의 TNL만을 수행하는 경우보다 제안하는

방식이 약 25%정도의 더 높은 셀 수율을 보여준다(그림 9). Iub 구간의 대역폭이 충분히 넉넉해서 혼잡이 발생하지 않는 경우에는 BCD만 사용하는 경우와 TNL만 사용하는 경우, 모두 사용하는 경우가 큰 차이 없이 오차 범위 이내의 경미한 수율 차이만 있다. 그러나 혼잡 검출을 수행하지 않은 경우에는 0.5% 정도의 패킷 수율의 저하를 보였다(그림 10).

Iub 구간을 IP로 설정했을 때도 ATM에서와 같은 성능차이를 보여준다(그림 11, 그림 12).

IP 링크에서 혼잡이 발생하는 경우에 BCD와 TNL을 병행해서 수행하는 경우의 평균 패킷 수율은 기존의 TNL만 수행하는 경우보다 약 2% 더 높은 결과를 보임으로써 제시하는 방법은 ATM 링크에 더 효율적임을 확인하였다. IP link의 대역폭이 충분히 큰 경우의 결과는 BCD만 수행했을 경우가 가장 높은 수율을 보여준다. 이는 지연 변동이 ATM보다 클 수 있어서 이를 TNL 혼잡으로 판단할 경우에 혼잡 회피 없이 단말의 전송률을 줄이는 결과를 초래하게 됨으로써 셀 수율 저하를 가져오는 것이다. 이는 TNL 혼잡에서 프레임 지연이나 프레임 손실을 판단함에 있어서 IP 링크에서의 TNL 혼잡 검출의 최적화가 추후에 수행되어야 함을 의미한다.

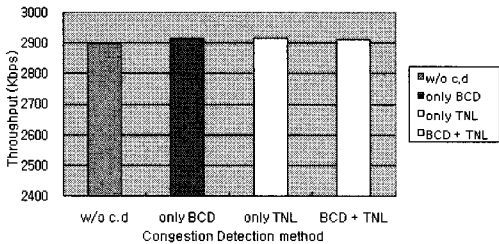


그림 9. 전체 HSUPA ATM 1.5M BW

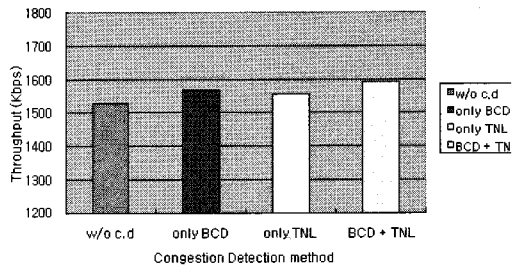


그림 11. 전체 HSUPA Throughput, IP 2M BW

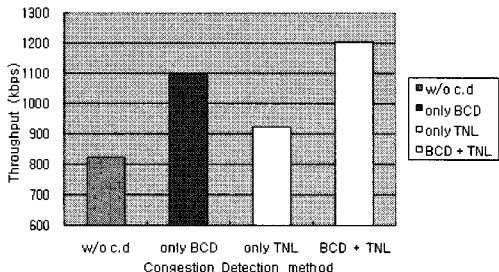


그림 10. 전체 HSUPA ATM 4.5M BW

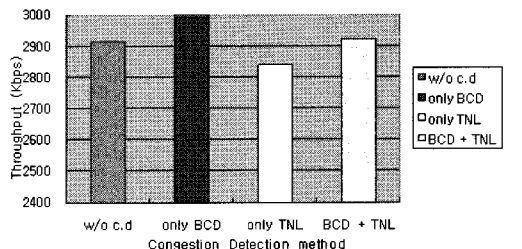


그림 12. 전체 HSUPA Throughput, IP 10M BW

그림 9~그림 12의 시험 결과로써 높은 전송률의 UE들이 많아져서 Iub 대역폭보다 커지는 경우에는 혼잡이 발생하면서 사용자 패킷 수율은 최대 패킷 수율만큼 도달할 수 없다는 것을 확인하였다. 또한 BCD와 TNL을 같이 사용하면, 프레임 손실을 최소화하면서 가장 높은 패킷 수율을 얻을 수 있으며, 혼잡 검출을 수행하지 않을 때의 패킷 수율이 가장 낮다. 이는 혼잡상황으로 인해 프레임 손실이 증가하면서 TCP 또는 RLC단의 재전송이 가장 많이 발생함을 보여주는 것이다.

BCD에서는 Node B의 Iub 링크 버퍼링을 관찰하는 프로세스가 적절한 문턱값과 버퍼 상태를 비교함으로써 혼잡 상황이 발생할 것을 미리 알려줌으로써, Node B 셀 내 단말의 전송율을 줄이는 방법을 사용할 수 있다. 그러나 BCD는 서로 다른 vender 간에는 사용할 수 없으므로, TNL 혼잡 검출 방법과 과 병행해서 사용하는 방법을 통해 Iub/Iur 구간에서 모두 쓸 수 있다. 즉, HSUPA 서비스에서 TNL 혼잡 검출 방법은 망운용자가 Node B의 링크 레벨 혼잡 방법(BCD)을 추가해서 같이 사용함으로써 더 나은 패킷 수율 및 링크 사용의 효율성을 제공할 수 있다.

그림 13은 혼잡이 일어나는 빈도를 평균 패킷의 크기를 변경시켜서 비교한 것이다. 혼잡상황이 빈번하게 발생하는 정도와 비례해서 단말의 데이터 전송률을 줄이거나 늘릴 수 있는 빈도도 늘어나게 되어 패킷 수율이 영향을 받게 된다. TNL 검출 방법만 사용하면 혼잡 검출의 빈도는 줄지만 패킷 크기가 다른 경우의 편차(y축의 기울기)가 큰 경향이 있다. 일반적으로 패킷 크기가 작을수록 혼잡이 빈번하게 발생하였으며, 평균 패킷 크기가 720 byte 정도가 되면 혼잡의 발생빈도도 가장 낮았다. 즉, TNL 혼잡 검출방법만 사용한 것보다 제안하는 BCD 방법이나 두 가지 방식을 결합한 방식에서의

혼잡 발생 빈도가 패킷 크기로 인한 편차가 크지 않아서 안정적인 수율을 기대할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 HSUPA의 제한된 Iub 구간 대역폭에서 최대 수율을 얻기 위한 혼잡 검출방식을 살펴보고 BCD 방법 및 BCD와 TNL을 혼합해서 사용하는 방식을 제안하였다. 제안한 방법은 표준에서 제시하는 TNL 혼잡 검출뿐 아니라 Node B에서 RNC로 전송하기 전 링크 버퍼의 누적 데이터 량에 대해 모니터링 하는 방식을 동시에 수행함으로써 더 안정적인 패킷 수율을 제공할 수 있음을 확인하였다. 3GPP에서는 Rel. 7의 HSPA+, Rel. 8의 LTE 등을 지속적으로 연구하고 있으며, 혼잡 검출 및 제어 방식 또한 제공하는 최대 전송률과 Node B에서의 추가되는 역할과 더불어 변경될 것이다. 향후, 차기 버전의 WCDMA 시스템에서도 패킷 수율의 안정적 제공을 위한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Holma, and A. Toskala, WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE. 2007.
- [2] P. J. Legg, "Optimised Iub Flow Control for UMTS HSDPA," in *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2005-Spring)*, June 2005.
- [3] T. Weerawardane, A. Timm-Giel and C. Görg, "Preventive and Reactive Based TNL Congestion Control Impact on the HSDPA Performance," in *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference. (VTC 2008-Spring)*, May 2008.
- [4] Y. Zaki, T. Weerawardane, X. Li, A. Timm-Giel, G. C. Malafronte and C. Görg, "Effect of the RLC and TNL Congestion Control on the HSUPA Network Performance," in *Proc. of International Conference on Communications, Computers and Applications*, 2008.
- [5] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," in *Proc. of ACM Sigcomm*, pp. 314-329, Aug. 1988.

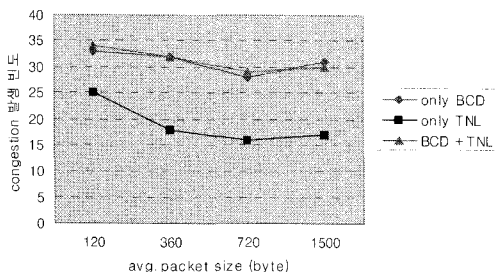


그림 13. 혼잡 발생 빈도의 비교



- [6] T. Weerawardane, A. Timm-Giel and C. Görg, "Effect of TNL Flow Control Schemes for the HSDPA Network Performance," in *Journal of Communications*, vol.4, no.2, pp.78-88, 2009.
- [7] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network TS 25.430, 25.427, TR 25.848, 25.853, 25.896
- [8] 여운영, "HSDPA/HSUPA 상위계층 프로토콜", 2007.
- [9] UMTS forum,  
<http://www.umts-forum.org/>.

안 구 리 (Ku-Ree Ahn)

정회원



1999년 2월 한동대학교 전산  
전자공학부

2008년3월~현재 성균관대학교  
정보통신 공학부 석사과정

2000년 1월~현재 삼성전자 책  
임연구원

<관심분야> WCDMA, Traffic

Control Protocol, LTE, 네트워크 성능분석

이 태 진 (Tae-Jin Lee)

종신회원



1989년 2월 연세대학교 전자공  
학과

1991년 2월 연세대학교 전자공  
학과 석사

1995년 12월 미국 University  
of Michigan, Ann Arbor,  
EECS 석사

1999년 5월 미국 University of Texas at Austin,  
ECE 박사

1999년 8월~2001년 2월 삼성전자 책임연구원

2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부  
교수

<관심분야> 통신 네트워크/시스템의 성능분석 및  
설계, WCDMA/LTE, 협력 통신, 무선 PAN/  
LAN/MAN, Ad-hoc/RFID/센서 네트워크, 광 네  
트워크 등