

CDMA 기지국과 중계기의 시스템 최적화를 위한 Traffic 분석 기법

정회원 조 응*, 진 용 옥**

A Study on Traffic analysis for System Optimization of CDMA base station and repeaters

Ung Jo*, Yong-ohk Chin** *Regular Member*

요 약

본 논문은 CDMA 이동전화 기지국에서 처리되는 이동전화 Traffic을 과학적이고 체계적으로 분석하여 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)와 중계기의 통화량을 정확하게 예측함으로써 무선망 엔지니어링을 효과적으로 수행할 수 있는 기틀을 마련한 연구이다. 중계기는 BTS와 물리적으로 직접 연결되어 원격 중계 역할을 담당하는 단순한 기능을 가지고 있고, 중계기에 유입되는 Traffic을 계산 할 수 없는 구조를 가지고 있다. 기지국 Traffic은 BTS와 중계기 Traffic이 혼합된 통계 데이터를 의미한다. BTS와 중계기의 Traffic을 구분하기 위해서 기지국과 이동국 사이의 통화거리 분포 측정이 가능하도록 제안된 RTD(Round Trip Delay)를 활용하여 Traffic을 분석하고자 하였다. BTS를 기준으로 BTS와 이동국이 직접 통화하는 경우보다, BTS에서 일정거리에 있는 중계기를 통해서 이동국과 통화로를 구성하는 경우에 상당한 호(call) 지연이 발생하고, BTS와 중계기 사이의 이격 거리에 따라 시간지연이 커지는 현상에 착안하였다. 이러한 근거를 바탕으로 중계기에 임의의 Time Delay를 설치 실험한 결과 Traffic 구분이 불가능하던 중계기 Traffic이 일정한 시간 지연상태로 BTS에 유입되어 99.78%가 구분되었다.

ABSTRACT

This article is written to make a foundation for effective radio network engineering by enabling the accurate traffic assumption between Base Station (BTS : Base Station Transceiver Subsystem) and Repeater through the scientific and systematic analysis of mobile traffic dealt within CDMA Base Station. Among these, Repeater, having direct physical connection with BTS, simply does the remote relay function but the volume of the traffic flowed into the repeater is not accountable. The total BTS traffic is the sum of traffic dealt by the BTS and multiple Repeaters. In this article, we tried traffic analysis of this kind by adopting RTD (Round Trip Delay) which is specially designed to measure distribution of the distance between the Base Station and the Mobile station by differentiating the traffic dealt by BTS from traffic dealt by Repeaters. The fact that the connection between mobile station and BTS via Repeater (which is located remotely) yields far more delay than the direct connection between mobile station and BTS is the clue of this article. Based on this fact, Time Delay equipment was put at the receiving side of the Repeater to add certain amount of delay to the traffic to BTS and the result showed that the 99.78% of the traffic can be identified.

1. 서 론

전파를 사용하는 이동통신 시스템에서는 주파수의

활용도를 높이기 위해서는 cell size가 작아지고, 특히 한국과 같은 인구 고밀도 지역에서는 cell 반경을 작게 할 수밖에 없다.

* SK Telecom 중부 Network 본부
논문번호 : 010386-1210, 접수일자 : 2001년 12월 10일

** 경희대학교 정보통신대학원 원장

이러한 작은 cell마다 기지국을 설치하는 것은 경제적으로 적합하지 않고 시스템 네트워크 측면에서도 효과적이지 못하다.

따라서 한 기지국을 중심으로 여러 개의 중계 cell을 설치하여 cell 반경을 적절히 조절할 필요성이 있고, 이는 cell site를 저렴하게 설치하는 효과를 갖는다. 또한 지하철, 지하상가, 고층 빌딩 내부 및 지하주차장 등 제한된 공간의 서비스를 위해서 저렴하고 신속히 설치 가능한 중계 site가 필요하게 되었다.

그러나 이러한 구도에 있어서 중계 site 마다 담당할 수 있는 Traffic 량의 분석은 매우 중요한 일이며 중계 site 수를 적절하게 배치 운용하는 기초 데이터가 된다.

특히 CDMA 이동전화 시스템은 TDMA(Time Division Multiple Access) 시스템과 Traffic 형태가 다르고 통화유량의 측정이 Time Division 경우와 양상이 다르며, 전세계적으로 CDMA의 Traffic 분석 Solution이 미흡한 상태에 있다. 이에 새로운 parameter를 이용하여 중계기 Traffic 유량과 모기지국의 통화유량을 정밀하게 계량화하는 것이 중요하게 되었다.

그러나 중계기는 기지국(BTS)의 RF 회로와 물리적으로 직접 연결하여 통화를 구성하고, 호 처리를 위한 자원은 모국인 기지국(BTS)의 채널카드에서 처리하는 방식으로 개발되어 모국인 BTS의 통화와 자국인 중계기의 통화가 구분되지 못하는 시스템 구조를 가지고 있다.^[1]

RTD(Round Trip Delay)는 기지국과 이동국 간의 호 처리 소요시간을 계산하는 방법이다. 기지국과 이동국간 거리가 멀어지면 RTD가 커지고 가까워지면 RTD가 작아지는 것이다. 따라서 중계기 Traffic에 일정한 임의의 Delay를 주면 중계기에서 발생하는 Traffic은 기지국 보다 일정하게 지연되어 나타나는 것이다.

먼저 하나의 BTS에 하나의 중계기가 설치된 기지국에 RTD 방식을 적용하여 중계기 Traffic을 구분하는 성과를 얻었다. 이를 바탕으로 다수의 중계기(1BTS+3중계기)가 설치된 기지국(BTS)에 계산된 Time Delay를 설치하고 현장실험을 실시하여 유효한 데이터를 얻었다.^[2]

실험 결과를 바탕으로 BTS와 중계기의 중심이 동일 위치(완전중첩)에서 출발하여 서비스 권역이 완전히 분리되는 위치를 20단계로 구분하고, 각 단계별 이격 거리를 이론적인 Traffic 분리 곡선으로

계산하였다. 이 곡선의 Traffic 격리 특성을 증명하기 위하여 6개(d/R : 0.2, 0.6, 1, 1.4, 1.8, 2)의 Sample을 추출, 모의 실험을 실시하여 실효성을 입증하고자 한다.^[8]

기지국의 Traffic 구분은 종전에 일반적으로 실시하던 기지국 또는 sector 단위의 통화량 분석에서 객관적이고 체계적인 통화량 분석을 가능하게 함으로써 무선망 엔지니어링을 한 단계 끌어올리는 효과가 기대된다. 이러한 효과는 궁극적으로 무선망 통화량을 예측하는 능력을 향상시키고, 특히 event에 대한 적절한 대처가 가능할 뿐만 아니라 통화량 증가의 특성을 정확히 구분하여 대처함으로써 시스템의 용량을 충분히 활용하는 효과가 있다. 따라서 비용절감의 효과도 상당히 크게 나타날 것으로 기대되는 분야라고 할 수 있다.

II. 본론

가. CDMA 이동통신 시스템 구성

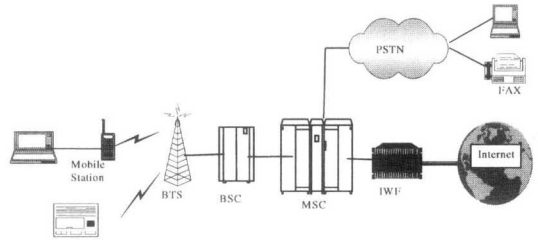


그림 1. CDMA 셀룰러 시스템

CDMA 셀룰러 시스템은 크게 교환국(MSC), 기지국제어장치(BSC), 기지국 장치(BTS) 및 단말기(이동전화)로 구성되고 IWF(Inter Working Function)를 통해서 인터넷과 연결되며 기타 부가장치를 포함한다. 부가장치에는 안테나, GPS(Global Positioning System), 전원부, 철탑, 2차 전원 등으로 구성되어 있다.^{[2][3][4]}

나. Round Trip Delay(RTD)

1) 정의 및 처리과정

RTD는 이동국에서 보낸 메시지를 수신한 기지국 시각(t_b)과 이동국이 그 메시지를 송신한 이동국 시각(t_c)의 차이로 정의된다.

RTD를 구하는 것은 기지국의 Access channel에서 이루어진다. 그림2는 전파가 공간을 전파하는데 소요되는 시간만을 고려하였고, 기지국과 이동국의

송수신 경로 지연은 반영하지 않았다.

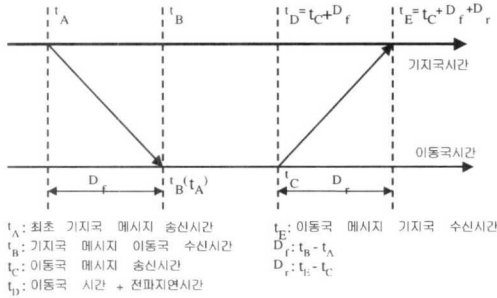


그림 2. 메시지 처리과정

CDMA 이동전화 시스템의 기지국 시간 동기화(GPS)를 통하여 정확히 setting 된다.

또한 이동국의 동기를 맞추기 위해서 기지국은 기지국 시각(t_A)을 동기채널 메시지로 이동국에 전송하고, 이동국은 이 메시지의 기준시각(t_A)에 이동국의 시간(t_B)을 맞춘다. 그런데 동기 채널 메시지가 자유공간을 전파에 실려 전송되기 때문에 기지국과 이동국 사이의 거리를 자유공간에서의 전파속도로 나눈 D_f 만큼의 시간지연이 발생하고, 그 결과 이동국 시간은 기지국 시간보다 D_f 만큼 늦다. 이동국은 기지국으로 송신하는 모든 종류의 메시지에 송신시각을 이동국 시각(t_C)으로 포함시킨다. 이동국이 송신한 메시지가 이동국과 기지국 사이의 거리를 전파 속도로 나누면 D_r 이 되고, 기지국 수신시각 t_E 에 기지국에 도달하므로 다음 식(1)과 같이 RTD 값을 구할 수 있다.^{[2][3]}

$$RTD = t_E - t_C = D_f + D_r \quad (1)$$

2) RTD 모델 개념

RTD를 거리로 환산하기 위하여 제시한 기지국과 이동국의 통신구간에서 소요되는 시간 계산 모델이다. RTD는 기지국의 Channel Element에서 계산되기 때문에 전파가 자유공간을 지나가는 시간외에도 기지국과 이동국의 송수신 경로에서 소요되는 시간을 포함하게 된다.

기지국 송신경로와 수신경로의 소요 Delay를 각각 D_{B1} , D_{B2} 로, 이동국 송신경로와 수신경로의 소요 Delay를 각각 D_{M1} , D_{M2} 로 정의한다. 그리고 순방향과 역방향의 Air Delay를 각각 D_{A1} , D_{A2} 라고 하면 D_f 와 D_r 은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 D_f &= D_{B1} + D_{A1} + D_{M1} \\
 D_r &= D_{B2} + D_{A2} + D_{M2}
 \end{aligned} \quad (2)$$

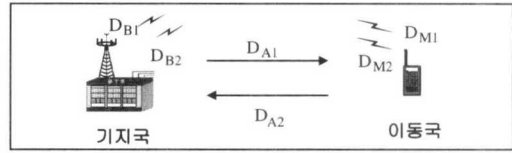


그림 3. RTD 모델

RTD는 식(1)과 식(2)에서 식(3)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 RTD &= D_f + D_r \\
 &= D_{B1} + D_{A1} + D_{M1} + D_{M2} + D_{A2} + D_{B2}
 \end{aligned} \quad (3)$$

그런데 기지국과 이동국이 실시간으로 운용되는 시스템이기 때문에 기지국과 이동국의 송수신 경로에서의 소요시간은 거의 일정하다. 따라서 D_{B1} , D_{B2} , D_{M1} , D_{M2} 의 합을 상수 D_C 로 식(4)와 같이 근사할 수 있다.

$$D_C = D_{B1} + D_{B2} + D_{M1} + D_{M2} \quad (4)$$

한편 동기채널 메시지가 기지국의 안테나에서 이동국의 안테나까지 전파되는데 소요되는 시간 D_{A1} 은 동기채널 메시지가 송신되는 시점에서의 기지국과 이동국 사이의 거리 d_1 (미터)을 전파속도 c (미터/초)로 나눈 값이고, 이동국에서 송신하는 메시지가 이동국 안테나에서 기지국 수신안테나로 전파되는데 소요되는 시간 D_{A2} 는 이동국이 메시지를 송신하는 시점에서의 이동국과 기지국 사이의 거리 d_2 (미터)를 전파속도 c (미터/초)로 나눈 값이다. D_A 는 기지국 안테나와 이동국 안테나 사이의 전파소요 시간 D_{A1} 과 D_{A2} 의 합이다.

CDMA 이동통신에서 사용하는 대역확산 코드는 1초에 1.2288×10^6 번 변화하는 비트열이다. 따라서 한 비트가 차지하는 시간인 칩(chip)에 대한 RTD 값은 다음과 같다.^{[2][3]}

$$\begin{aligned}
 RTD &= D_C + D_A \\
 &= D_C + (d_1 + d_2)/c \times 1.2288 \times 10^6 \text{ [chip]}
 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 d_1 과 d_2 가 동일하다고 가정하면 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 RTD &= D_C + D_A \\
 &= D_C + 2d/c \times 1.2288 \times 10^6 \text{ [chip]}
 \end{aligned} \quad (6)$$

이 식을 공간거리 d 로 정리하면, 다음과 같다.

$$d = 122.07 \times (RTD - D_C) \text{ [미터]} \quad (7)$$

CDMA 기지국 채널카드에서는 1/8 chip 단위로 RTD를 구하기 때문에 RTD 값은 공간거리 d를 1/8 chip 단위로 나누면 식(8)과 같이 계산된다.

$$d = 15.259 \times (RTD - D_c) \quad \text{[미터]} \quad (8)^{[2]}$$

다. 시간지연을 이용한 Traffic 분석

1) 시간변수에 따른 Traffic 통계 Model

기지국 및 중계기의 통화량 분포를 분석하기 위해서는 먼저 BTS와 중계기 각각의 트래픽에 대한 모델링이 필요하다. 따라서 이동전화 트래픽의 공간적 분포 모델링을 위해 일반 기지국 트래픽을 정규분포로 모델링 하였다

정규분포를 갖는 랜덤변수 x의 확률분포함수(PDF : probability distribution function)의 일반적인 식은 식(9)와 같다.

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\eta)^2}{2\sigma^2}\right) = N(\eta, \sigma) \quad (9)$$

식(9)에서 η 와 σ 는 각각 랜덤변수 x의 평균 및 표준편차를 나타낸다. 식(9)를 이용하여 BTS에 중계기가 연결된 기지국에서 BTS와 중계기로 유입되는 호 전체를 랜덤변수 y로 모델링 하면 식(10)과 같이 두 정규분포의 합으로 표현할 수 있다.

즉 f_y 는 BTS 유입호와 중계기의 유입호가 더해지는 식을 갖는다. 따라서 BTS와 중계기는 각각의 확률분포함수를 갖는 두개의 정규분포가 단순히 더해진 누적 트래픽으로 나타난다.

(B : BTS, R : Repeater)

$$f_y(y) = p \frac{1}{\sigma_B\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\eta_B)^2}{2\sigma_B^2}\right) + (1-p) \frac{1}{\sigma_R\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\eta_R)^2}{2\sigma_R^2}\right) \quad (10)$$

식(10)에서 $\eta_B, \sigma_B, \eta_R, \sigma_R$ 는 각각 BTS 및 중계기로 유입되는 통화량에 대한 평균 거리 및 표준편차를 나타낸다.

p는 전체 트래픽에 대한 BTS 트래픽의 비율을 나타내고, $0 < p < 1$ 와 같은 범위를 갖는다. 즉 p는 BTS의 트래픽을 말하며, 중계기 트래픽은 전체 1에서 BTS 트래픽을 제외시키면 $1-p$ 가 되는 것이다.

식(10)에서 알 수 있듯이 트래픽을 모델링하기 위해서는 총 5개의 변수를 결정하여야 한다. 이 변수들은 실험 데이터를 이용하여 5차 모멘트까지 구

하여 각각의 연립방정식을 풀면 트래픽 모델링에 필요한 변수들을 결정 할 수 있다.

먼저 표본규모가 n인 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 의 확률변수에 대한 표본의 평균(Mean of the Sample) 또는 표본평균(Sample Mean)은 식(11)과 같이 정의되는 확률 변수이다.

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (11)$$

따라서 평균이 η 이고 표준편차가 σ 인 정규분포를 갖는 랜덤변수 x의 n차 모멘트는 식(12)와 같다.^[8]

$$E\{x^n\} = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \eta^{n-k} E\{(x-\eta)^k\}$$

where

$$E\{(x+\eta)^k\} = \begin{cases} 0 & k = 2m+1 \\ 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (k-1) \sigma^k & k = 2m \end{cases}$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

식(12)에서 $E\{\cdot\}$ 는 랜덤변수의 기대 값을 나타낸다. 식(12)를 이용하여 정규분포의 1차에서 5차까지의 모멘트를 구하면 식(13)과 같다.

$$\begin{aligned} E\{X\} &= \eta \\ E\{X^2\} &= \eta^2 + \sigma^2 \\ E\{X^3\} &= \eta^3 + 3\eta\sigma^2 \\ E\{X^4\} &= \eta^4 + 6\eta^2\sigma^2 + 3\sigma^4 \\ E\{X^5\} &= \eta^5 + 10\eta^3\sigma^2 + 15\eta\sigma^4 \end{aligned} \quad (13)$$

식(10)에서 알 수 있듯이 BTS 및 중계기 전체에 유입되는 호의 분포를 정규분포의 합으로 모델링 하였으므로, 기지국 전체 호에 대한 5차 모멘트는 식(13)을 이용하여 구할 수 있다. 식(14)는 식(15)를 이용하여 Y변수로 변환한 식이다. 즉 기지국의 트래픽은 BTS와 중계기 각각에서 유입된 호의 합으로 나타나며, 이러한 전체 호에 대한 5차 모멘트를 식(14)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E\{Y\} &= p\eta_B + (1-p)\eta_R \\ E\{Y^2\} &= p(\eta_B^2 + \sigma_B^2) + (1-p)(\eta_R^2 + \sigma_R^2) \\ E\{Y^3\} &= p(\eta_B^3 + 3\eta_B\sigma_B^2) + (1-p)(\eta_R^3 + 3\eta_R\sigma_R^2) \\ E\{Y^4\} &= p(\eta_B^4 + 6\eta_B^2\sigma_B^2 + 3\sigma_B^4) + (1-p)(\eta_R^4 + 6\eta_R^2\sigma_R^2 + 3\sigma_R^4) \\ E\{Y^5\} &= p(\eta_B^5 + 10\eta_B^3\sigma_B^2 + 15\eta_B\sigma_B^4) + (1-p)(\eta_R^5 + 10\eta_R^3\sigma_R^2 + 15\eta_R\sigma_R^4) \end{aligned} \quad (14)$$

식(15)는 식(16)의 5차 모멘트를 구하기 위한 변수 Y의 계산식이다. 랜덤변수 Y의 평균을 구할 때는 식(15)와 같이 랜덤변수 y가 연속분포를 가질 경우 전 구간에 대해서 y의 확률분포함수로 적분함으로써 구할 수 있으며, y가 이산 분포를 갖는 경우 y의 총 합을 전체 표본 개수로 나눔으로써 구할 수 있다.

$$E\{Y\} = \int_{-\infty}^{\infty} y f_Y(y) dy = m_1 \quad m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (15)$$

식(16)은 실제 BTS 및 중계기의 유입호 거리 분포 표본을 이용하여 5차 모멘트까지 구한 결과이다. 여기서 5차 모멘트를 구하기 위한 연산은 matlab을 사용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} E\{Y\} &\cong 3.5048 \\ E\{Y^2\} &\cong 15.7482 \\ E\{Y^3\} &\cong 79.8930 \\ E\{Y^4\} &\cong 434.4001 \\ E\{Y^5\} &\cong 2482.4276 \end{aligned} \quad (16)$$

식(14)와 (16)을 이용한 연립방정식을 풀면 트래픽 모델링에 필요한 변수들이 결정 가능하다. 즉 5가지 변수의 값은 식(17)과 같다.

$$p=0.44 \quad \eta_B=1.63 \quad \sigma_B=0.68 \quad \eta_R=4.97 \quad \sigma_R=0.96 \quad (17)$$

식(17)에서 전체 트래픽 중 BTS에 유입되는 호의 비율은 44%이고, 중계기 호의 비율은 56%이며, BTS 및 중계기 호의 평균 지연 거리 각각 1.63km, 4.97km 인 것을 알 수 있다. 또한 BTS 및 중계기 호의 표준편차는 각각 0.68, 0.96으로 중계기에 호가 집중되어 있다. 그림 4는 식(17)의 결과를 이용하여, 트래픽의 거리 분산 특성을 도식한 결과이다.

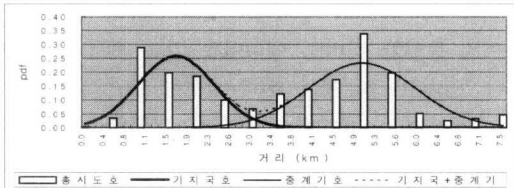


그림 4. 기지국 RTD 분포

BTS와 중계기의 트래픽 구분은 커버리지 거리 3km를 기준으로 그 이하일 경우는 그림4에서 나타난 것과 같이 BTS에 유입되는 호일 확률이 높고

그 이상일 경우는 중계기 호일 가능성이 높으나, 1.9Km에서 4.1Km 사이에서는 BTS와 중계기 호를 구분하지 못하는 상태를 나타내고 있다. 이러한 구간에서 중복 상태로 나타난 트래픽은 전체 트래픽의 30.6%이다. 따라서 트래픽을 확률분포함수로 나타내어 중첩구간의 트래픽은 수학적으로 해석이 가능하다. 수학적 오차율은 에러함수를 이용하여 구할 수 있다.

$$Err_B = \text{erfc}\left(\frac{3-\eta_B}{\sigma_B}\right) = 0.0030, \quad Err_R = \text{erfc}\left(\frac{\eta_R-3}{\sigma_R}\right) = 0.0037 \quad (18)$$

$$\text{Where } (x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2) dt$$

식(18)은 그림 4에서 BTS와 중계기에 유입되는 호의 오차율이다. 즉, 거리 3km를 기준으로 BTS 및 중계기에 유입되는 호를 분리할 때 오차확률은 각각 1% 미만인 것을 알 수 있다. 따라서 BTS와 중계기의 호 구분은 99% 확률을 가지고 분석이 가능하다.

그림 5는 그림 4의 조건에서 BTS와 중계기에 유입되는 호(Call)의 수학적 구분을 보다 명확히 증명하기 위해서, 중계기 수신신호에 임의의 가상지연 시간을 계산하여 Simulation한 그래프이다.

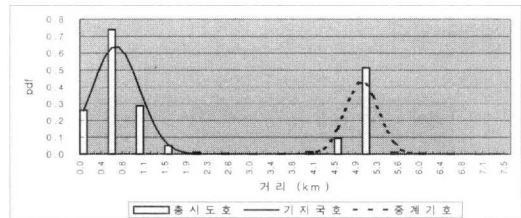


그림 5. Delay 설치 후 RTD 분포

그림 5는 BTS에 한 개의 중계기를 운용할 경우에 해당하나, 현실적으로 BTS는 하나의 섹터에 최대 3개 중계기(보통 하나의 BTS에 최대 3개 섹터 설치), 즉 하나의 BTS에 최대 9개의 중계기를 설치 사용하고 있다. 따라서 하나의 섹터에 3개의 중계기가 연결되어 있을 경우, 식(10)을 변형하여 모델링 가능하다. 실제 BTS 및 중계기의 개수가 총 n개라고 할 때, 호 유입 분포 특성은 각각을 정규분포로 가정하여 모델링이 가능하다.

$$f_Y(y) = \sum_{k=1}^n p_k N(\eta_k, \sigma_k) \quad (19)$$

식(19)에서 P_k, η_k, σ_k 는 각각 k번째 기지국 혹은 중계기에 대한 트래픽 비율, 평균거리, 표준편차를 나타낸다. p_k 는 식(20)과 같은 조건을 갖는다.

$$\sum_{k=1}^n p_k = 1 \tag{20}$$

식(19)에서 분포특성을 결정하는 변수 P_k, η_k, σ_k 를 결정하기 위해서는 식(11)~(17)과 같이 정규분포의 모멘트 특성을 이용하여 구할 수 있다. 그러나 n 값이 커질 경우, 연산량이 급격히 증가하는 문제점이 생기게 된다. 실제 일반적인 n에 대해서 풀어야 하는 방정식의 개수는 $3n-1$ 개이며, 방정식의 차수는 $3n$ 차가 된다. 또한 중계기가 여러 개 설치되어 있을 때 각 중계기의 Delay에 대한 명확한 구분이 없이 거의 비슷한 Delay를 가지고 호가 유입될 때는 의미 있는 분석이 힘들다. 따라서 중계기 별로 임의의 특별한 Delay 값을 설정하여 각 중계기의 유입호를 구분하였다.

그림 6은 BTS에서 하나의 섹터에 3개의 광중계기가 연결되어 있을 때($n=4$), 호 유입 특성을 이용하여 모델링 한 결과이다. 그림6은 BTS 호와 중계기 호 사이에는 어느 정도 구분이 가능하지만, 중계기간의 호(call) 사이에는 구분이 명확하지 않은 것을 알 수 있으며, 그에 따른 오차도 매우 커지는 것을 알 수 있다.

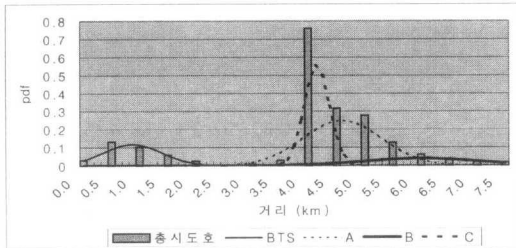


그림 6. 3개 중계기 RTD 분포

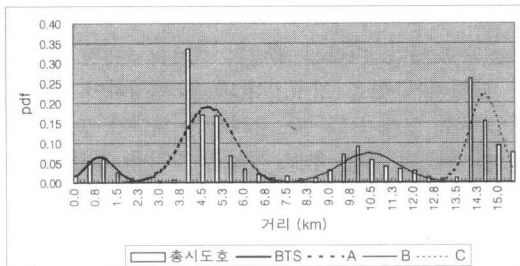


그림 7. Delay 설치 후 중계기 Traffic 분포

이러한 문제를 해결하기 위해서 Delay 소자를 설치하면, 중계기 호(Call)의 구분도 보다 명확해진다. 그림7은 각 중계기 마다 의미 있는 Delay 소자를 설치하여 각 중계기를 통하여 유입되는 호에 각기 다른 Delay를 줌으로써 호를 구분 한 경우이다. 그림7에서 알 수 있듯이 각 중계기 호의 구분이 명확해지며, 그에 따른 오차도 줄어드는 것을 알 수 있다.^[8]

2) 이격 거리에 따른 Traffic 분리곡선

임의의 시간지연을 Modeling하여 지연시간에 따른 일반적인 격리도 특성을 분석하고자 한다.

다시 말해서 BTS와 중계기가 완전히 동일한 위치에 설치된 상태에서 출발하여 트래픽이 완전히 격리되는 변화를 단계별로 구분하여 알아보하고자 한다.

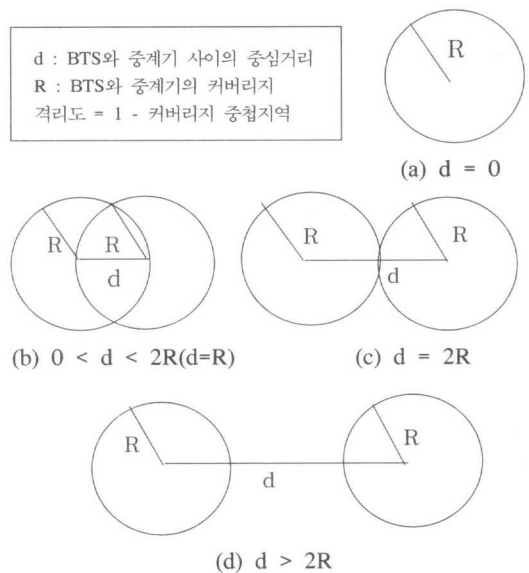


그림 8. BTS와 중계기간의 커버리지 이격 구분

그림 8은 BTS와 중계기의 Coverage가 4Km 기준으로 동일한 서비스 에리어를 갖는 원을 가정하였다. 이러한 조건에서 BTS 중심과 중계기의 중심을 이론적으로 조금씩 이격시킨 상태를 보여주고 있다.

BTS에 유입되는 이동국 호는 BTS와 직접 연결하여 통화가 이루어지거나, 중계기를 통해서 통화가 이루어질 경우가 있다. 따라서 BTS 중심으로부터 중계기 이격거리에 따른 지연시간은 중계기 호 지연을 의미한다. 그림 8은 BTS와 중계기의 Co-

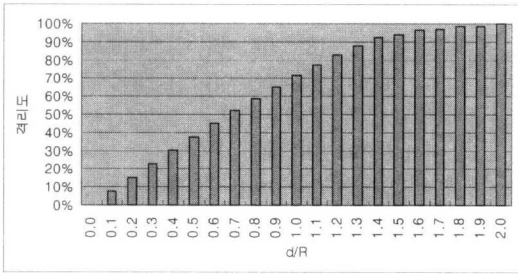


그림 9. 거리(시간)지연에 따른 Traffic 격리 특성

verage를 완전중첩 상태(a)부터 출발하여 중첩이 없는 상태(d)까지를 도식화하였다.

그림 8에서 도식한 BTS와 중계기의 커버리지 중첩상태를 논리적인 개념으로 세분화하여 20단계 각각에 대한 이격거리 대비 격리특성을 그림 9와 같이 나타내고 있다. 그림9의 격리 특성은 시간지연을 임의로 변경하여 중계기의 유입호를 계획적으로 지

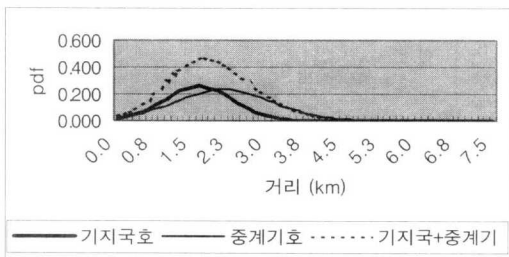
연시켜서 Traffic을 구분하기 위한 지연 특성이다.

그림 9에서 BTS와 중계기가 동일한 위치는 격리도가 0이고, d/R 0.1에서 1.4까지는 급격한 분리특성 곡선을 나타내며, d/R 1.5 부터는 완만한 분리곡선을 나타내고 있다. 특히 d/R 2에서는 이론적으로 완전 격리상태가 되어야하나 Field에서는 예기치 못한 호의 유입이 있다.

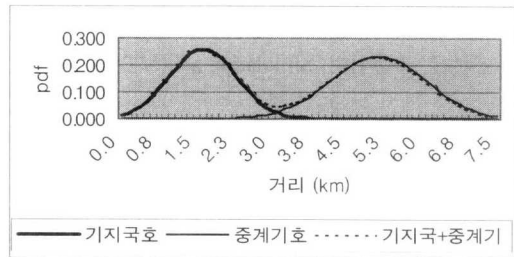
그림 10의 6개의 표본은 그림9에서 d/R값 기준으로 0.2, 0.6, 1, 1.4, 1.8, 2를 추출하였다. 즉 d/R이 0이면 완전히 중첩 상태이고, 1이면 커버리지와 중심이 서로 만나는 상태이며, 2이면 커버리지가 서로 경계하는 상태로 중첩이 없는 상태를 말한다.

6개의 표본 거리를 실험데이터에 대입하여 임의의 시간지연에 따른 Traffic 구분을 Simulation하였다.

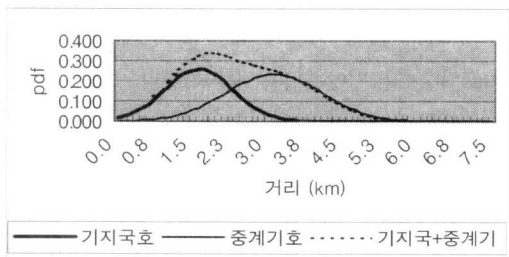
(a)는 d/R이 0.2이고 데이터 격리도가 15%에 해당하는 특성을 나타내고 있다. 즉 트래픽이 전혀 구분되지 못하는 상태를 보여주고 있다.



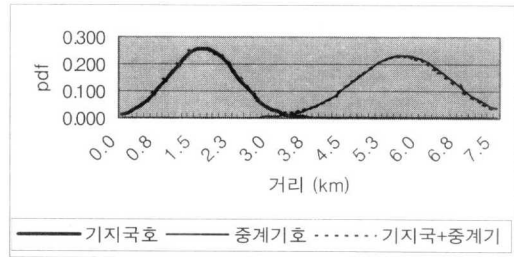
(a) d/R 0.2, 분리도 15%



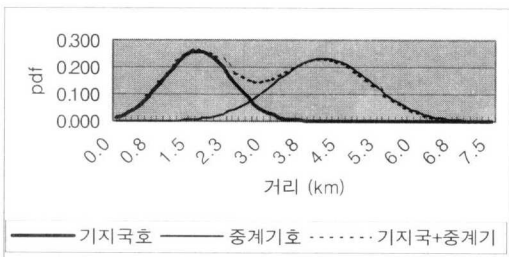
(d) d/R 1.4, 분리도 92%



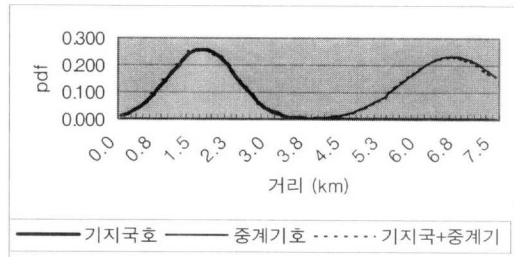
(b) d/R 0.6, 분리도 46%



(e) d/R 1.8, 분리도 98%



(c) d/R 1, 분리도 71%



(f) d/R 2, 분리도 99%

그림 10. 격리 특성 비교(6개표본)

(b)는 d/R이 0.6이며 격리도가 약 46% 상태를 나타내고 있다. BTS와 중계기 Traffic이 일정한 곡선의 형태를 나타내고 있으나 트래픽 구분은 불가능하다.

(c)는 d/R이 1이고 격리특성은 71%이다.

(d)는 d/R이 1.4이고 격리 상태는 92%이다.

(e)는 d/R이 1.8이고 격리 특성은 98%를 나타내고 있다. 대체적인 트래픽 구분이 가능한 상태이고 에러율을 감안하여 사용이 가능하다. 100% 트래픽 구분은 비용측면과 현실적인 시스템 오류를 고려할 때 실효성이 없다. 이러한 조건은 이격거리에 따라서 트래픽을 구분할 수 있는 조건을 만들 수 있다.

(f)는 d/R이 2인 상태로 커버리지가 서로 경계하면서 중첩상태가 없다. 따라서 기지국 트래픽 구분은 99% 구분이 가능하다. 그러나 800Mhz 주파수대는 논문의 통계거리 보다 더 많은 거리를 날아갈(전파) 수 있으므로 예상치 못한 호의 유입이 있을 수 있다. 따라서 통계적 처리가 필요하다. 이렇게 시간 지연에 따라 격리 특성이 변화하는 형태에 대해 6 개의 표본을 추출하여 Simulation을 통해 입증하였다.¹⁸⁾

3) 중계기 3기 설치섹터 Traffic Field Test

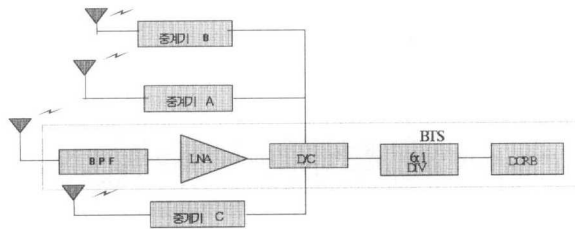


그림 11. 중계기 3기 설치 기지국 구성도

그림 11은 하나의 섹터에 3개의 중계기가 설치된 기지국의 통화량 분석을 위한 실험 구성도이다.

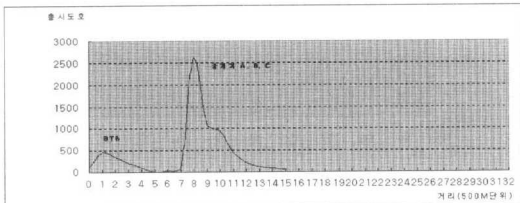


그림 12. Time Delay 설치 전 Traffic

그림 11과 같이 기지국(BTS)의 앞과 섹터에 3개의 중계기가 설치되어 있다. 중계기 A의 경우는 기

지국과 3.65Km(전송로는 왕복계산 : 7.3Km) 떨어진 곳에 위치하여 선로 지연시간이 24.33 μ s(왕복)가 되어 별도의 Delay Device 없이 BTS와 중계기의 통화량이 그림12와 같이 구분되고 있다. 즉 기지국에서 중계기까지의 거리에 따른 선로 지연시간을 먼저 계산하고 중계기별 적정 강제지연 시간을 표1과 같이 계산하였다.

표 1. Delay 시간 계산

중 계 기	B T S	A	B	C
선로길이(Km)	0	3.65	4.79	4.21
선로지연(μ s)	0	24.33	31.39	28.08
강제지연(μ s)	0	0	20	40
총 시간(μ s)	0	24.33	51.39	68.08

이 실험은 표 1과 같은 조건으로 그림 13과 같이 강제 시간지연 장치를 설치하였고, 선로 거리에 따라서 Delay 시간을 달리하는 조건을 가지고 있다.

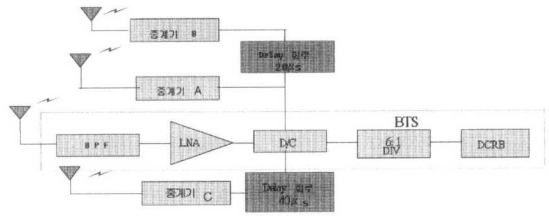


그림 13. 시간 지연회로 설치 구성도

즉 그림 13과 같이 중계기 B, C에 각각 20 μ s와 40 μ s의 시간 지연장치를 설치하였다. 그림 13과 같은 실험 구성도에 의해 2시간동안 총 8,888호를 실험한 결과가 그림 14와 표 2의 결과를 얻었다.

표 2. Delay Device 설치 후 실험 데이터

거리(500m)	0	1	2	3	4	5	6	7
발신	44	156	174	73	25	2	19	22
착신	39	84	103	40	21	0	5	13
총 시도호	83	240	277	113	46	2	24	35
거리(500m)	8	9	10	11	12	13	14	15
발신	905	354	352	124	51	44	26	28
착신	585	406	396	175	100	43	29	44
총 시도호	1490	760	748	299	151	87	55	72
거리(500m)	16	17	18	19	20	21	22	23
발신	16	25	93	185	219	122	85	78
착신	23	24	52	124	181	129	101	72
총 시도호	39	49	145	309	400	251	186	150
거리(500m)	24	25	26	27	28	29	30	31
발신	81	24	14	17	722	272	167	160
착신	53	32	23	31	444	415	252	170
총 시도호	134	56	37	48	1166	687	419	330

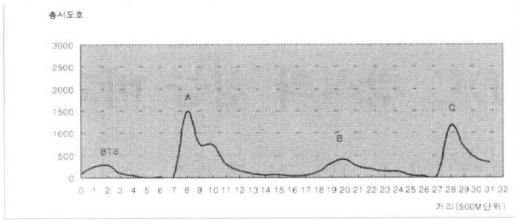


그림 14. Time Delay 설치 후 Traffic 분석

총 8,888호에서 8,847호를 구분하여 99.5%의 확률을 갖는다. Traffic을 제대로 구분하지 못한 통화는 총 41호로써 0.46% 이다.

III. 결론

RTD방식은 CDMA 시스템에서 기지국과 이동국 간의 거리를 측정하는 기본 모델이다. 기지국과 이동국 사이의 메시지 전송시간을 RTD 모델로 정의하였다.

RTD 방식을 이용하여 기지국과 이동국의 거리분포 특성(BTS와 중계기 사이는 2.1Km 거리)을 그림 4와 같이 분석하였다.

그림 4에서 BTS와 중계기의 Traffic은 전체 464,432호중 30.6%가 서로 같은 거리에 분포되는 중첩된 상태로 나타나 있다.

이러한 결과는 중계기 Traffic이 BTS에 합산되어 cell간의 Traffic 왜곡을 가져오고 무선망 설계에 제한된 조건을 만드는 것임을 알 수 있다.

따라서 기지국과 이동국 사이의 임의의 지연시간을 추가하면, 기지국과 이동국의 거리는 실제거리보다 더 많이 이격 된 것처럼 계산되어 진다.

BTS에 중계기 3기 설치된 cell에서 Time Delay를 그림12와 같이 구성(중계기 A : 0 μ s, B : 20 μ s, C : 40 μ s)하고, 실험한 결과 99.5% Traffic을 분석하는 결과를 얻었다.

실험 결과를 바탕으로 시간변수에 따른 Traffic 통계 모델을 정의하였고 이를 증명하기 위해서 이격 거리에 따른 Traffic 분리곡선의 특성을 Simulation 하였다. 즉 BTS와 중계기의 중심이 동일 위치(완전중첩)에서 출발하여 서비스 권역이 완전히 분리되는 위치를 20단계로 구분하고, 각 단계별 이격 거리를 이론적인 Traffic 분리 곡선으로 계산하였다. 이 곡선의 Traffic 격리 특성을 증명하기 위하여 6개(d/R : 0.2, 0.6, 1, 1.4, 1.8, 2)의 Sample을 추출하여 모의 실험을 실시하여 유용한 데이터를 얻었다.

참고 문헌

- [1] 진용욱, 통신시스템의 이론과 원리, 1992.
- [2] 조웅, 진용욱, "RTD 방식을 이용한 CDMA 기지국 Traffic 분석에 관한 연구", 통신학회논문지, vol.25 no.5A p.660~p667,
- [3] SK Telecom, "코드분할 다중접속(CDMA) 이동통신 시스템에서 RTD를 이용한 이동국 위치 파악 방법" 특허 번호 99-20261, 1999.
- [4] 조웅, 진용욱, "CDMA에서 Time Delay를 이용한 기지국과 중계기의 Traffic 분석", 한국통신학회지, pp.1348~1358, vol. 25, no. 9A 2000.
- [5] K. S. Gilhousen, "On the Capacity of a cellular CDMA system", IEEE Trans. on veh. tech.,vol.40, no.2, May 1991.
- [6] Qualcomm, The CDMA Network engineering handbook, vol, nov, 1992.
- [7] 경북대학교 전자기술연구소, "800MHz 및 1.7G 주파수 대역 전파 특성에 따른 이동전화 서비스에 미치는 영향연구", pp.70~83, 1997. 8.
- [8] Probability Random Variables, and Stochastic Process, Athanasios Papoulis, McGraw-Hill International Editions, 1991.

조 웅(Ung Jo)

정회원



1990년 : 광주대학교 전자계산학과(이학사)

1994년 : 경희대학교 산업정보대학원 정보통신학과(공학석사)

2001년 : 경희대학교 전자공학박사

1991년~ 현재 : SK Telecom 부장

<주관심 분야> 이동통신,CDMA시스템, IMT-2000

진 용 욱(Yong-ohk Chin)

정회원

1997년 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수

1995년 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수

1996년 ~ 현재 : 한국음향학회 명예회장

2000년 ~ 현재 : 경희대학교 정보통신대학원 원장