

## 적합도 검정을 통한 핸드오프 시간의 확률분포 추정

임석구\*

### 요약

이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오프 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역을 핸드오프 영역이라 하며, 가입자가 핸드오프 영역에 머무르는 시간을 핸드오프 시간으로 정의한다. 본 논문에서는 이동통신시스템에서 트래픽 모델링 시 중요한 파라메타중 하나인 핸드오프 시간에 대한 확률분포를 추정한다. 첫 번째로 핸드오프 시간의 분포군을 선택하기 위해 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 샘플 데이터를 이용하여 점 통계량을 적용하며, 두 번째로 구체적인 분포함수를 결정하기 위해서 모수(parameter)의 값들을 추정하는데, 이를 위해 최우추정량(MLE)을 사용하여 모수의 값들을 산출하고 이를 토대로 적합도 검정을 수행한다. 최종적인 분석 결과 핸드오프 시간은 감마분포를 따르는 것을 제시하였다.

## Estimation of the Probability Distribution for Handoff Duration Time through Goodness of Fit Test

Seong-Ku Lim\*

### Abstract

The handoff area is the region where a call can be handled by the base station in any of the adjacent cells, and duration time is viewed as the time a mobile station resides in the handoff area. In this paper, probability distribution about hand off time one of important parameter at traffic modelling in mobile communication system was estimated. First, point statistic is applied using sample data obtained from simulation result to choose the group of distribution of handoff duration time. Second, parameters are estimated to decide specific distribution function. For this, the value of parameters is calculated using MLE(Maximum Likelihood Estimator) and goodness of fit test is performed. Finally these results show that handoff duration time follows gamma distribution.

Keywords : handoff, mobile communication, 적합도 검정, 최우추정량

### 1. 서론

이동통신시스템에서의 전체 서비스 영역은 무선 자원의 효율적인 사용을 위해 셀(cell)이라는 작은 영역으로 분할되고, 각 셀 영역에 있는 가입자는 무선국(RS: Radio Station)과의 무선채널을 이용하여 다른 가입자와 호(통화)를 설정한다. 이동가입자와 RS 사이의 무선채널은 가입자의 이동성(Mobility)으로 인해 가입자와 RS와의 거리가 멀어짐에 따라 통화 품질이 떨어지며, 이

경우 적절한 통화품질을 위해 새로운 통화 채널을 할당해 주어야 한다. 이와 같이 임의의 셀에서 호가 설정된 후 이동가입자와 무선국 사이의 무선채널의 통화품질을 계속 유지시켜 주기 위해 열화된 무선채널을 양호한 무선채널로 교체해주는 과정을 핸드오프(Handoff)라 하며[1], 이는 이동통신시스템에서 필수적으로 제공해주어야 하는 기능이다.

본 논문에서는 통화중인 이동가입자의 핸드오프 요구시점(사용 중인 무선채널의 품질이 열화되어 새로운 채널을 요구하는 시점) 부터 성공적으로 핸드오프를 수행할 때(열화된 무선채널을 양호한 채널로 교체할 때)까지의 시간을 핸드오프 시간(Handoff Duration Time), 또는 "가입자가 핸드오프 영역에 머무르는 시간"으로 정의하

※ 제일저자(First Author) : 임석구

접수일:2007년02월17일, 완료일:2007년03월15일

\* 백석대학교 정보통신학부

sklim@bu.ac.kr

고, 이를 분석한다.

현재까지 여러 문헌에서 핸드오프 시간을 단 지 지수분포[2][3], Erlang 분포[4][5], truncated Gaussian 분포[6]를 따른다고 가정하여 필요한 해석만을 하였을 뿐이며, 이러한 가정에 대한 검증은 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 이용하여 점 통계량을 이용하여 핸드오프 시간의 분포군을 추정하고, 구체적인 분포를 결정하기 위해서 최우추정량을 사용하여 모수(parameter)의 값들을 산출하였으며, 이를 토대로 적합도 검정을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 핸드오프 시간에 대한 정의와 시뮬레이션 모델을 설명한다. 3장에서는 시뮬레이션 결과를 토대로 핸드오프 시간의 분포군을 추정하고  $\chi^2$ 검정과 K-S 검정을 이용하여 핸드오프 시간의 확률분포에 대한 적합도 검정을 수행하며, 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

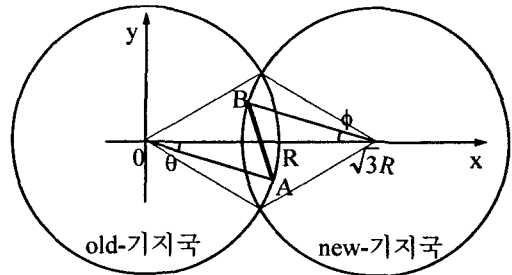
## 2. 핸드오프 시간

### 2.1 정의

일반적으로 이동가입자가 기지국으로 부터 멀어지면 수신전력은 낮아지고, 수신전력이 핸드오프 임계값보다 낮아지면 통화중인 호는 핸드오프를 요구하게 된다. 핸드오프 영역(Handoff Area)은 이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오프 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역으로서 정의된다. 셀의 형태가 (그림 1)에서와 같이 반지름이 R인 원이라고 가정하고, 가입자가 old-기지국 영역(B)에서 new-기지국 영역(A)으로 이동할 때 기지국에서의 전파 특성상 old-RS와 new-RS 영역간에 겹쳐지는 영역을 핸드오프 영역이라고 볼 수 있다.

old-기지국에서의 무선채널을 이용하여 통화중이던 이동가입자는 B지점(수신전력이 핸드오프 임계값에 도달하는 지점)에서 new-기지국에게 새로운 통화 채널을 요구하며, 이러한 핸드오프 호에 대해 new-기지국은 가입자가 A지점(수신 전력이 수신기 임계값에 도달하는 지점)에 이르기 전까지 통화 채널을 할당해 주어야 한다. 이와 같이 이동가입자가 B에서 A까지 이동하는데 소요되는 시간, 즉 핸드오프 영역에 머무르는

시간을 핸드오프 시간(Handoff Duration Time)으로 정의하며 이 시간은 이동가입자의 속도, 방향 그리고 셀의 반지름에 따라 다르다.



(그림 1) 핸드오프 영역

### 2.2 시뮬레이션 모델

핸드오프 시간의 산출은 우선 (그림 1)에서 보는 바와 같이 셀 간 겹쳐진 영역 내에서 이동가입자가 이동한 거리(AB)를 산출한 후, 이를 토대로 핸드오프 시간을 산출해야 하는데, 이를 해석적으로 산출하기는 매우 어렵다. 또한 여러 문헌에서는 핸드오프 시간을 단순히 지수분포 또는 정규분포를 따른다고 가정하고 필요한 해석을 수행하였다. 따라서 본 논문에서는 (그림 1)에서의 상황을 모델링하여 이를 시뮬레이션 수행한 데이터를 기초로 핸드오프 시간에 대한 분포를 추정하고자 한다.

시뮬레이션 모델에서 핸드오프 호는 셀 간 경계의 임의의 지점에서 발생하여 인접 셀의 임의의 지점으로 이동한다. 즉, 핸드오프 시간을 분석하기 위해 (그림 1)에서 가입자가 핸드오프 영역을 이동한 거리는 B(출발점)에서 A(중점)까지이며, 여기서 B와 A의 좌표값은 각각  $\phi$ 와  $\theta$ 에 의해 결정된다.  $\phi$ 와  $\theta$ 는 서로 독립인 확률변수이며 모두  $-\pi/6$  부터  $\pi/6$ 까지의 값을 갖는 Uniform 분포를 따른다.

셀의 반지름은  $R=1(\text{km})$ , 이동가입자의 속도는  $30(\text{Km/h})$ 에서  $80(\text{Km/h})$  사이의 Uniform 분포를 따르는 경우 시뮬레이션 결과로 부터 얻어진 핸드오프 시간에 대한 1000개의 샘플 데이터  $X_i(i=1, 2, \dots, n, n=1000)$ 에 대한 샘플평균(sample mean)과 샘플분산(sample variance)은 다음과 같다.

$$\bar{X}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 28.68$$

$$s^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}(n)]^2}{n-1} = 282.597$$

또한 핸드오프 시간에 대해 추정하고자 하는 분포함수는 지수분포(exponential distribution), 감마분포(gamma distribution), 대수정규분포(log normal distribution) 그리고 와이블분포(Weibull distribution) 네 가지 종류를 고려하며, 각 분포함수의 확률밀도함수(probability density function)는 <표 1>과 같다. 여기서  $\alpha$ 와  $\sigma$ 는 각 분포에서 함수의 형태를 결정하는 shape 파라메타이고  $\beta$ 와  $\mu$ 는 분포의 크기(범위)를 결정하는 scale 파라메타를 나타낸다.

<표 1> 고려하는 분포의 확률밀도함수

	확률밀도함수
지수 분포	$f(x) = \left(\frac{1}{\beta}\right)e^{-\frac{x}{\beta}} (x \geq 0)$
감마 분포	$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)} (x \geq 0)$
대수정규 분포	$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} (x \geq 0)$
와이블 분포	$f(x) = \alpha\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha} (x \geq 0)$

### 3. 핸드오프 시간의 확률분포 추정

현재까지 여러 문헌에서 핸드오프 시간에 대해서 설명은 하였지만 정확한 해석적인 분포를 산출하지는 못했다. 단지 지수분포 또는 정규분포를 한다고 가정하여 필요한 해석만을 하였을 뿐이며, 이러한 가정에 대한 검정은 이루어지지 않았다. 핸드오프 시간이 어떤 분포를 따르는 것 인지를 결정하기 위한 첫 번째 절차는 지수분포, 감마분포, 대수정규분포, 와이블분포 중에서 어떤 분포가 적당한지를 가정하는 것이다.

본 장에서는 핸드오프 시간에 대한 분포군을 선택하기 위해 발견적 기법(Heuristics)인 점 통

계량(Point Statistics)에 대해서 설명한 후 이를 토대로 핸드오프 시간의 분포군을 추정한다. 샘플 데이터로부터 분포군이 결정되면 구체적인 분포를 결정하기 위해서 모수(parameter)의 값을 추정해야 하는데, 이를 위해 최우추정량(MLE : Maximum Likelihood Estimator)을 사용한다. 마지막으로 모수의 값을 추정한 다음 관측치가 가정된 분포에 적합한가를 검정하는 적합도 검정을 수행한다.

#### 3.1 점 통계량(Point Statistics)

핸드오프 시간 등과 같은 연속형 분포들은 그들의 모수(parameter)의 함수값으로 주어진다. 이러한 함수들 중의 하나가 분포의 분산계수(coefficient of variation)이며, 분산계수  $\delta$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\delta \equiv \frac{\sqrt{Var[X]}}{E[X]} \tag{1}$$

본 논문에서 고려하는 네 가지 분포 함수에 대한 분산계수는 <표 2>와 같다[7].

<표 2> 고려하는 분포함수의 분산계수

분 포	$\delta$	$\delta$ 의 범위
지수분포	1	{1}
감마분포	$1/\sqrt{\alpha}$	$\begin{cases} >1 & \alpha < 1 \\ =1 & \alpha = 1 \\ <1 & \alpha > 1 \end{cases}$
대수정규 분포	$\sqrt{e^{\sigma^2}-1}$	(0, $\infty$ )
와이블 분포	$\left[ \frac{\Gamma(2/\alpha)+1}{(\Gamma(1/\alpha)+1)^2} - 1 \right]^2$	$\begin{cases} >1 & \alpha < 1 \\ =1 & \alpha = 1 \\ <1 & \alpha > 1 \end{cases}$

또한  $\delta$ 의 추정치로서 다음과 같은 식(2)를 사용한다.

$$\hat{\delta}(n) = \frac{\sqrt{s^2(n)}}{\bar{X}(n)} \tag{2}$$

여기서  $\bar{X}(n)$ 과  $s^2(n)$ 은 각각 평균과 분산을 나타낸다. 만약에 핸드오프 시간의 분포가 지수 분포로 추정된다면  $\hat{\delta}(n)$ 의 값이 1에 근접한지를 조사해야 한다.  $\hat{\delta}(n) > 1$ 이면 핸드오프 시간의 분포가  $\alpha < 1$ 인 감마분포이거나 와이블분포일 확률이 크며,  $\hat{\delta}(n) < 1$ 이면  $\alpha > 1$ 인 감마분포 또는 와

이블분포일 확률이 크다.

샘플 데이터로부터  $\hat{\delta}(n) = 0.58605$ 이므로 핸드 오프 시간의 분포는 지수분포를 따르지 않을 것이며,  $\alpha > 1$ 인 감마분포 또는 와이블분포를 따르는 것으로 추정할 수 있다.

분산계수를 이용한 이러한 방법은 쉽고 빠르게 핸드오프 시간에 관한 분포를 쉽게 추정할 수 있으나 가설의 검정등과 같은 통계적인 평가수단이 결여되어 신뢰성이 높지 않은 단점이 있다.

### 3.2 모수의 추정

샘플 데이터로부터 분포군이 결정되면 구체적인 분포를 결정하기 위해서 모수(parameter)의 값들을 추정해야 한다. 시뮬레이션 결과를 이용하여 가정된 분포의 모수를 추정하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 최우추정량(Maximum Likelihood Estimator, MLE)을 사용한다[7][8]. 고려중인 네 가지 분포의 최우추정량과 샘플 데이터로부터 산출된 추정값은 <표 3>과 같다.

<표 3> 각 분포의 최우추정량과 추정값

분포	최우추정량	추정값
지수 분포	$\hat{\beta} = \bar{X}(n)$	$\hat{\beta} = 28.684$
감마 분포	$\ln \hat{\beta} + \frac{\Gamma'(\hat{\alpha})}{\Gamma(\hat{\alpha})} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$ $\hat{\alpha} \hat{\beta} = \bar{X}(n)$	$\hat{\alpha} = 2.942$ $\hat{\beta} = 9.750$
대수정규 분포	$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$ $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \hat{\mu})^2}{n}}$	$\hat{\mu} = 3.177$ $\hat{\sigma} = 0.142$
와이블 분포	$\frac{\sum_{i=1}^n \hat{X}_i^\alpha \ln X_i}{\sum_{i=1}^n \hat{X}_i^\alpha} - \frac{1}{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$ $\hat{\beta} = \sqrt[\alpha]{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{X}_i^\alpha}{n}}$	$\hat{\alpha} = 13.771$ $\hat{\beta} = 93.951$

### 3.3 적합도 검정

주어진 데이터에 대하여 확률분포를 가정하고 모수의 값을 추정한 다음 관측치  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 이 가정된 분포에 적합한가를 검정할 필요가 있는데, 이러한 가설에 대한 검정을 적합도 검정(Goodness of Fit Test)이라 한다. 가정된 분포의 분포함수를  $\hat{F}$ 이라고 하면 적합도 검정은 다음과 같은 귀무가설(Null Hypothesis)을 검정하는 것이다.

$$H_0 : \text{주어진 } X_i \text{ 들은 } F \text{ 를 가진 iid 변수이다.}$$

#### 3.3.1 $\chi^2$ 검정

$\chi^2$  검정(Chi-square Test)은 모든 분포에 적용이 가능하기 때문에 광범위하게 사용된다[7].  $\chi^2$ 의 검정 통계량을 산출하기 위해서는 먼저 가정된 분포의 범위를 k개의 구간 즉,  $[a_0, a_1), [a_1, a_2), \dots, [a_{k-1}, a_k)$ 으로 나누어서 각 구간에 대하여  $N_j (j=1, 2, \dots, k)$ 의 값을 산출한다. 여기서  $N_j$ 는 j번째 구간  $[a_{j-1}, a_j)$ 에 있는  $X_i$ 의 개수이다. 추출된 표본들이 가정된 분포로부터 나왔다는 가설하에 j번째 구간에 속하는  $X_i$ 의 기대비를  $p_j$ 를 산출한다. 핸드오프 시간은 연속형이므로  $p_j$ 는 식(2)와 같이 산출된다.

$$p_j = \int_{a_{j-1}}^{a_j} f(x) dx \tag{3}$$

마지막으로 식(2)를 이용하여 다음과 같은 식(3)의 검정 통계량을 산출한 후  $\chi^2$  검정을 실시한다.

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(N_j - np_j)^2}{np_j} \tag{4}$$

만약에  $H_0$ 가 진실이라면  $np_j$ 는 j번째 구간에 속하는 n개  $X_i$ 의 기대치를 나타내기 때문에  $\chi^2$ 의 값이 작으면 적합도가 좋다는 것을 의미한다. 따라서  $\chi^2$ 의 값이 너무 크면  $H_0$ 를 기각하게 된다. 즉, 큰 값의 n과 유의수준  $\alpha$ 에 대하여 구한  $\chi^2$ 의 값이  $\chi^2 > \chi_{k-1, 1-\alpha}^2$ 이면  $H_0$ 를 기각한다. 여기서  $\chi_{k-1, 1-\alpha}^2$ 는 k-1의 자유도를 가지는  $\chi^2$  분

포의 상위  $1-\alpha$  기각점을 의미한다.

$\chi^2$  검정을 수행하는 데 있어서 어려운 문제는 최적의 검정능력을 구사하는 구간 수  $k$ 를 결정하는 것이다.  $k$ 를 결정하는 데 적용되는 일반적인 방법은 첫째 모든 구간의  $p_j$ 값이 거의 같도록 설정하는데, 이는 수행중인 검정이 Unbiased 되게 하기 위함이며, 둘째, 모든 구간에 대해서  $np_j > 5$ 가 되도록 구간을 설정하는데, 그 이유는  $np_j$ 의 값이 너무 작지 않다면  $n \rightarrow \infty$ 에 대한  $\chi^2$ 의 점근분포와 한정적인  $n$ 값에 대한 실제분포의 차이가 크지 않기 때문이다. 이를 토대로 구간 수  $k$ 의 값은 대략 30을 넘지 않으면 좋은 결과를 얻을 수 있으므로 본 논문에서는  $k$ 가 5에서 30까지의 결과를 기초로  $\chi^2$  검정을 수행하였으며, 그 결과를 <표 4>에 나타내었다. 또한 <표 5>에는  $H_0$ 의 기각여부를 판단하기 위한  $\chi^2$  분포표를 나타내었다.

지수분포인 경우  $\chi^2$  검정 통계량은 436.400 ( $k=20$ 인 경우)인데, 이는 모든 유의 수준  $\alpha$ 에 대해서 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 있다. 이와 동일한 분석으로 정규분포, 와이블 분포인 경우에도  $H_0$ 를 기각할 수 있다. 반면에 감마분포인 경우  $\chi^2$ 검정 통계량은 42.20( $k=30$ 인 경우)인데, 이는 유의수준  $\alpha=0.05$  ( $\chi^2_{29,0.05} = 42.557$ )로 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 없다.

<표 4> 샘플 데이터에 대한  $\chi^2$  검정 통계량

	지수분포	감마분포	대수정규 분포	와이블 분포
$k=5$	369.33	14.14	21.01	3830.4
$k=10$	401.64	17.76	25.30	8703.0
$k=15$	441.26	24.68	30.44	13524.0
$k=20$	436.40	34.00	38.36	18248.5
$k=25$	439.70	37.60	49.70	22814.3
$k=30$	461.78	42.20	54.68	27522.2

<표 5>  $\chi^2$  분포표

$k-1 \backslash 1-\alpha$	0.900	0.950	0.995	0.999
4	7.779	9.488	14.860	18.465
9	14.684	16.919	23.589	27.877
14	21.064	23.685	33.319	36.123
19	27.204	30.144	38.582	43.820
24	33.196	36.415	45.558	51.179
29	39.087	42.557	52.336	58.302

### 3.3.2 K-S(Kolmogorov-Smirnov) 검정

K-S 검정은 가정된 분포의 분포함수  $\hat{F}$ 과 경험적 분포함수를 비교하기 때문에 주어진 데이터에 대해서 그룹을 만들 필요가 없으며, 어떤 표본크기  $n$ 에 대해서도 유효하다[7]. 그러나 K-S 검정은 가정된 분포가 연속형인 경우에만 유효하고 또한 가정된 분포의 모든 모수가 알려진 경우에만 유효하다는 단점이 있다.

K-S 검정 통계량을 정의하기 위하여 먼저 주어진 데이터  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 에 대하여 경험적 분포함수  $F_n(x)$ 를 식(5)와 같이 정의한다.

$$F_n(x) = \frac{X_i \leq x \text{인 } X_i \text{의 개수}}{n} \quad (5)$$

정의에 의하여  $F_n(x)$ 는  $F_n(x) = i/n$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )인 계단함수(step function)가 된다. K-S 검정통계량  $D_n$ 은 단순히  $F_n(x)$ 와  $\hat{F}(x)$  사이에서 모든  $x$ 의 값에 대해서 가장 큰 거리의 값을 가지는 것이며 식(5)와 같이 정의된다.

$$D_n \equiv \sup_x \left[ |F_n(x) - \hat{F}(x)| \right] \quad (6)$$

따라서  $D_n$ 의 산출은 식(7)과 같이 이루어진다.

$$D_n = \max(D_n^+, D_n^-) \quad (7)$$

$$\text{여기서 } D_n^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left[ \frac{i}{n} - \hat{F}(x_{(i)}) \right],$$

$$D_n^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left[ \hat{F}(x_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right] \text{이다.}$$

$D_n$ 의 값이 크면 나쁜 적합도를 나타내므로  $D_n$ 이 임계점  $d_{n,1-\alpha}$ 보다 크면 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 있다. 그러나 본 논문에서는  $D_n > d_{n,1-\alpha}$ 를 비교하여 귀무가설  $H_0$ 의 기각여부를 판정하는 대신에 수정된 식(7)과 같은 부등식을 만족하는 검정을 실시하여  $H_0$ 의 기각여부를 판정한다. 즉 검정을 실시하여 다음의 부등식을 만족하면  $H_0$ 를 기각한다. 또한  $n$ 에 대해 일정한  $c_{1-\alpha}$ 의 값은 <표 6>과 같다.

$$\left(\sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}\right) D_n > c_{1-\alpha} \quad (8)$$

<표 6> K-S 검정 통계량을 위한 기각치( $c_{1-\alpha}$ )

$c_{1-\alpha}$				
0.850	0.900	0.950	0.975	0.990
1.138	1.224	1.358	1.480	1.628

샘플 데이터를 이용하여 네 가지 분포에 대한 검정 통계량을 산출하면 <표 7>과 같다.

<표 7> 샘플 데이터로 부터 얻어진 검정 통계량

	$D_n$	$\left(\sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}\right) D_n$
지수분포	0.0754	2.3943
감마분포	0.0258	0.8214
대수정규분포	0.0260	0.8263
와이블분포	0.9539	30.283

지수분포인 경우 수정된 검정 통계량은 2.3943인데 이는  $\alpha=0.15, 0.1, 0.05, 0.025, 0.001$ 의 수준으로 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 있다. 마찬가지로 와이블 분포인 경우에도  $H_0$ 을 기각할 수 있다. 반면에 감마분포인 경우 수정된 검정 통계량은 0.8214인데 이는  $\alpha=0.15, 0.1, 0.05, 0.025, 0.001$ 의 수준으로 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 없다. 또한 대수정규분포인 경우 수정된 검정 통계량은 0.8263인데 이는  $\alpha=0.15, 0.1, 0.05, 0.025, 0.001$ 의 수준으로 귀무가설  $H_0$ 을 기각할 수 없다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 이동통신 환경에서 트래픽 모델링시 중요한 파라메타중 하나인 핸드오프 시간에 대한 분포를 추정하였다. 추정 방법은 크게 두 가지 방향으로 이루어졌는데, 첫 번째는 핸드오프 시간에 대한 분포군을 선택하기 위하여 시뮬레이션 결과로 부터 얻어진 샘플 데이터를 이용하여 점 통계량(Point Statistics) 방법을 적용하였다. 이러한 방법으로 부터 핸드오프 시간은

감마분포 또는 대수정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

두 번째 방향은 구체적인 분포를 결정하기 위해서 최우추정량을 사용하여 모수(parameter)의 값들을 산출하였으며, 이를 토대로 적합도 검정을 수행하였다. 적합도 검정은 모든 분포에 적용 가능한  $\chi^2$  검정과 K-S 검정을 통하여 수행하였다.

최종적인 분석 결과 핸드오프 시간은 감마분포를 따르고 있음을 알 수 있었으며, 앞으로는 핸드오프 시간에 대한 실제의 상황을 근사화 시킨 해석적인 분석을 통하여 제시된 결과와 비교·분석되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] ITU-T, "Public Land Mobile Network Mobile Application Part and Interfaces(Blue Book)," Q.1051-Q.1063, Nov. 14-25, 1988.
- [2] D.Hong and S.S.Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-35, No.3, pp.77-92, August 1986.
- [3] R.Guerin, "Channel Occupancy Time Distribution in a Cellular Radio System," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-35, No.3, pp.89-99, August 1987.
- [4] V. Pla and V. Casares-Giner, "Effect of the handoff area sojourn time distribution on the performance of cellular networks," in Proceedings of IEEE MWC N, Sept. 2002.
- [5] V. Pla and V. Casares-Giner, "Analytical-numerical study of the handoff area sojourn time," in Proceedings of IEEE GLOBECOM, Nov. 2002.
- [6] M. Ruggieri, F. Graziosi, and F. Santucci, "Modeling of the handover dwell time in cellular mobile communications systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 47, no. 2, pp. 489-498, May 1998.
- [7] A.M.Law and W.D.Kelton, "Simulation Modeling and Analysis," McGraw-Hill, 1982.
- [8] V.K.Rohatgi, "An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics," John Wiley & Sons, New York, 1976.



### 임 석 구

1983년 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1987년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)

1987년 ~ 1992년 : LG전자 중앙연구소

1992년 ~ 1994년 : 한국전자통신연구원

1994년 ~ 2001년 : 주성대학

1994년 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

2001년 ~ 현 재 : 백석대학교 정보통신학부 부교수

관심분야 : 트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 이동통신시스템 성능분석, BCN