

이동통신 환경에서의 핸드오버 지속시간 분석

장 희 선*, 임 석 구**, 유 제 훈*, 이 윤 주*

* 한국전자통신연구소 이동교환연구실

** 주성전문대학 전자과

ABSTRACT

이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오버 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역을 핸드오버 영역이라 하며, 가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간을 핸드오버 지속시간(Handover Duration Time)으로 정의한다. 시뮬레이션 분석 결과 핸드오버 지속시간은 감마분포를 따름이 입증되었으며, 따라서 본 연구에서는 감마분포에서의 모수(shape, scale 파라메타)를 해석적 방법으로 구한다. 그리고 해석적 방법의 검증을 위해 평균과 표준편차, 모수를 시뮬레이션 결과와 비교하며, 끝으로 적합도 검정을 수행하였다.

1. 서론

이동통신은 언제, 어디서나, 누구와의 정보교류도 가능하게 하는 통신의 궁극적인 목표를 실현한다.

이동통신 시스템에서의 전체 서비스 영역은 무선 자원의 효율적인 사용을 위해 셀(cell)이라는 작은 영역으로 분할되고, 각 셀영역에 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 통화채널을 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 핸드오버(Handover)라 하며 [3], 이는 이동통신 시스템에서 필수적으로 제공해주어야 하는 기능이다.

본 고에서는 통화중인 이동가입자의 핸드오버 요구시점(사용중인 무선채널의 품질이 열화되어 새로운 채널을 요구하는 시점) 부터 성공적으로 핸드오버를 수행할 때(열화된 무선채널을 양호한 채널로 교체할 때) 까지의 시간을 핸드오버 지속시간(Handover Duration Time), 또는 "가입자가 핸드오버 영역에 머무르는 시간"으로 정의하고, 이를 분석한다. 무선국의 관점에서 보면, 핸드오버를 요구한 가입자에 대해 핸드오버 지속시

간내에 새로운 채널을 할당해 주어야 통화의 단절없이 양호한 품질의 통화를 유지시켜 줄 수 있다.

핸드오버 지속시간에 대한 분석은 이동통신 시스템에서의 트래픽 모델링 및 핸드오버 처리시간에 대한 서비스 기준(GOS: Grade of Service) 설정시 중요한 파라메타로 쓰일 수 있다.

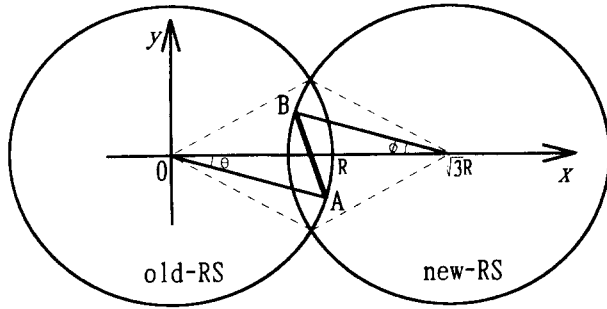
핸드오버 지속시간에 대한 분포를 시뮬레이션 결과로 부터 추정된 결과 감마분포를 따름이 입증되었으며 [7], 따라서 본 연구에서는 핸드오버 지속시간에 대한 감마분포 함수의 두가지 파라메타(shape, scale 파라메타)를 해석적인 방법으로 구한다. 이를 검증하기 위해 시뮬레이션과 해석적 방법에서의 핸드오버 지속시간에 대한 평균과 표준편차를 비교 분석하고, 시뮬레이션 결과를 이용하여 MLE(Maximum Likelihood Estimator)로 구한 파라메타와 해석적 방법으로 구한 값을 비교하며, 끝으로 적합도 검정(Goodness-of-Fit)을 수행한다.

2장에서는 핸드오버 지속시간에 대한 정의와 시뮬레이션 모델을 설명하고, 감마 분포함수의 모수를 MLE와 해석적인 방법으로 구한다. 3장에서는 해석적 방법의 검증을 위해 평균과 표준편차, 모수, 그리고 적합도 검정을 통해 시뮬레이션 결과와 비교한다.

2. 핸드오버 지속시간

2.1. 정의

RS로부터 무선채널을 할당 받아 통화중이던 가입자는 RS와의 거리가 멀어짐에 따라 수신전력은 떨어지고, 수신전력이 핸드오버 임계값보다 낮아지면 핸드오버를 처리하게 된다. 핸드오버 영역(Handover Area)은 이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오버 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역으로서 정의된다. 셀의 형태가 [그림 1]에서와 같이 반지름이 R 인 원이라고 가정하고, 가입자가 old-RS 영역(B)에서 new-RS 영역(A)으로 이동할 때 무선국에서의 전파 특성상 old-RS와 new-RS 영역간에 겹쳐지는 영역을 핸드오버 영역이라고 볼 수 있다.



[그림 1] 핸드오버 영역

old-RS에서의 무선채널을 이용하여 통화중이던 이동가입자는 B지점(수신전력이 핸드오버 임계값에 도달하는 지점)에서 new-RS에게 새로운 통화채널을 요구하며, 이러한 핸드오버 호에 대해 new-RS는 가입자가 A지점(수신전력이 수신기 임계값에 도달하는 지점)에 이르기전 까지 통화채널을 할당해 주어야 한다. 핸드오버 요구시 new-RS내에 사용 가능한 채널이 없을 경우 핸드오버 호를 큐(Queue)에 대기시키는 알고리즘을 적용할 때, 큐에 대기중인 핸드오버 호는 핸드오버 영역을 벗어나기 이전에 new-RS내에서 통화중인 호가 완료되어서 새로운 무선채널을 할당받아 성공적으로 핸드오버 되는 경우나 또는 수신전력이 수신기 임계값보다 낮아질때 까지 새로운 무선채널이 할당되지 않아서 시스템에서 강제로 종료되는 경우가 있다. 이와같이 이동가입자가 B에서 A까지 이동하는데 소요되는 시간, 즉 핸드오버 영역에 머무르는 시간을 핸드오버 지속시간(Handover Duration Time)으로 정의한다.

2.2 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델을 이용하여 핸드오버 지속시간을 분석하기 위해 [그림 1]과 같이 A와 B 좌표값을 각각 θ 와 ϕ 에 대해 독립적으로 결정되는

변수라 하고, 가입자의 이동거리와 독립인 이동속도를 가정한다. old-RS가 위치한 지점을 좌표값 $(0, 0)$ 이라고 할 때 A와 B의 좌표 값과 A, B 사이의 이동거리를 θ, ϕ 에 대해 나타내면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} A &= R(\cos\theta, \sin\theta), \quad -\pi/6 \leq \theta \leq \pi/6 \\ B &= R(\sqrt{3}-\cos\phi, \sin\phi), \quad -\pi/6 \leq \phi \leq \pi/6 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\overline{AB} = R\sqrt{(\cos\theta + \cos\phi - \sqrt{3})^2 + (\sin\theta - \sin\phi)^2}, \quad 0 \leq \overline{AB} \leq R$$

또한, 가입자의 이동속도 V 는 최저속도 V_{\min} , 최고속도 V_{\max} 이고, 평균속도가 $(V_{\min} + V_{\max})/2$ 인 Uniform 분포를 가정하며, 이로부터 핸드오버 지속시간은 \overline{AB}/V 와 같이 구할 수 있다.

위와같은 가정하에서 시뮬레이션 데이터를 분석한 결과, 핸드오버 지속시간에 대한 확률분포는 감마분포와 유사함을 알 수 있었다. [7]

감마분포는 주로 고객 서비스 시간, 기계 수리 시간, 그리고 장비의 수명등과 같이 어떠한 사건의 종료시점까지의 시간 분석에 많이 이용되며, 분포함수는 shape 파라메타 α 와 scale 파라메타 β 에 의해 결정된다. 일반적으로 shape 파라메타는 확률밀도함수(pdf: Probability Density Function)에서의 특정한 형태(shape)를 결정해주고 scale 파라메타는 단지 확률변수의 단위(시간의 경우 분, 초등)를 나타내며, 동일한 단위의 경우 scale 파라메타 값이 증가함에 따라 pdf는 더욱 편평한 모습을 갖는다.

2.3 최우추정량

시뮬레이션 결과를 이용하여 가정된 분포의 모수를 추정하는 방법은 여러가지가 있으나 본 논문에서는 최우추정량(MLE: Maximum Likelihood Estimator)을 사용한다.

셀의 반지름과 이동가입자의 속도분포가 주어진 경우 핸드오버 지속시간에 대한 n 개의 시뮬레이션 결과로부터 추출된 샘플 데이터 $(T_i, i=1, 2, \dots, n)$ 의 평균(expectation)과 표준편차(Standard Deviation)는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \bar{T}(n) &= \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \\ SD(n) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [T_i - \bar{T}(n)]^2}{n-1}} \end{aligned} \quad (2)$$

감마분포의 경우 shape 파라메타 α 에 대한 최우추정량 $\hat{\alpha}$ 은 식 (3)과 같이 수치해석을 통해 유도한다. [1] [6] 식 (3)에서 $\Gamma'(\alpha)$ 은 감마함수의 1차 도함수를 나타내며, $\Gamma'(\hat{\alpha})/\Gamma(\hat{\alpha})$ 의 계산은 근사식을 이용한다.

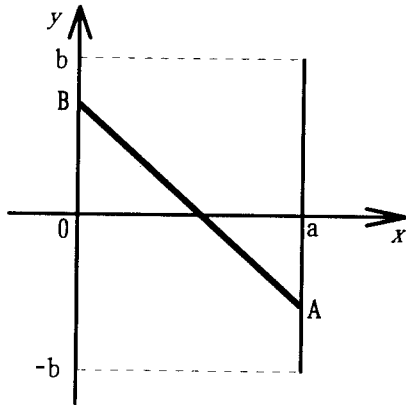
$$\ln \frac{\bar{T}(n)}{\hat{\alpha}} + \frac{\Gamma'(\hat{\alpha})}{\Gamma(\hat{\alpha})} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln T_i}{n} \quad (3)$$

$$\text{where, } \frac{\Gamma'(\hat{\alpha})}{\Gamma(\hat{\alpha})} \cong \int_0^{\infty} e^{-x} \ln x dx + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{\hat{\alpha} + k - 1} \right)$$

또한, scale 파라메타 β 에 대한 최우추정량 $\hat{\beta}$ 은 샘플 평균으로부터 $\hat{\beta} = \bar{T}(n)/\hat{\alpha}$ 와 같이 구한다.

2.4 해석적 방법

분석의 편의를 위해 [그림 1]에서의 핸드오버 영역을 [그림 2]와 같이 직사각형으로 근사화 한다. 즉, [그림 2]에서의 y축의 크기를 [그림 1]과 같게 하며, x축의 크기는 [그림 1]의 핸드오버 영역의 면적과 동일한 직사각형의 면적을 가정하여 산출한다. 이 가정으로부터 [그림 2]에서의 a와 b의 값을 구하면 식 (4)와 같다.



[그림 2] 근사화한 핸드오버 영역

$$a = \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) R \quad (4)$$

$$b = \frac{R}{2}$$

일반적으로 두 영역의 면적을 같게 하는 것은 영역내에 존재하는 가입자의 수를 동일하게 가정하는 것이며, 실제 [그림 1]에서의 가입자의 이동거리와 근사화한 직사각형 핸드오버 영역에서의 이동거리에 대한 pdf는 서로 다르지만 평균 이동거리와 이동거리에 대한 분산은 크게 차이가 없음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 핸드오버 지속시간에 대한 감마 확률밀도함수의 파라메타를 구하기 위해 직사각형 핸드오버 영역에서의 가입자의 이동거리에 대한 평균과 분산을 이용하고자 한다.

[그림 2]에서 이동가입자는 임의의 한점 $B(0, y_1)$ 에서 $A(a, y_2)$ 까지 이동하며, 이동거리는 $Z = \sqrt{a^2 + (y_2 - y_1)^2}$, $(-b \leq y_1, y_2 \leq b)$ 로 표현된다. y_1 과 y_2 를 서로 독립인 Uniform 분포로 가정할 때 y_1, y_2 에 대한 결합확률밀도함수 (Joint pdf)는 다음과 같다.

$$f_{y_1, y_2}(y_1, y_2) = \frac{1}{4b^2}, \quad -b < y_1, y_2 < b \quad (5)$$

따라서 이동거리 Z 에 대한 누적분포함수 (cdf: Cumulative Distribution Function)와 확률밀도함수를 각각 식 (6), 식 (7)과 같이 유도할 수 있다.

$$F_z(z) = \Pr[Z \leq z]$$

$$= \Pr[a^2 + (y_2 - y_1)^2 \leq z^2]$$

$$= 1 - 2 \int_{\sqrt{z^2 - a^2} - b}^b \int_{-b}^{y_2 - \sqrt{z^2 - a^2}} f_{y_1, y_2}(y_1, y_2) dy_1 dy_2 \quad (6)$$

$$= \begin{cases} 0, & z < a \\ \frac{1}{4b^2} (a^2 + 4b\sqrt{z^2 - a^2} - z^2), & a \leq z < \sqrt{a^2 + 4b^2} \\ 1, & \sqrt{a^2 + 4b^2} \leq z \end{cases}$$

$$f_z(z) = \frac{\partial F_z(z)}{\partial z}$$

$$= \begin{cases} \frac{z}{b} \left(\frac{1}{\sqrt{z^2 - a^2}} - \frac{1}{2b} \right), & a < z < \sqrt{a^2 + 4b^2} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

그리고 이동거리에 대한 pdf로부터 평균이동거리와 2차 모멘트의 평균값을 구하면 식 (8)과 같다.

$$E[Z] = \int_{-\infty}^{\infty} z f_z(z) dz$$

$$= \frac{2b^2 - a^2}{6b^2} \sqrt{a^2 + 4b^2} + \frac{a^2}{2b} \ln \left[\frac{2b + \sqrt{a^2 + 4b^2}}{a} \right] + \frac{a^3}{6b^2} \quad (8)$$

$$E[Z^2] = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 f_z(z) dz$$

$$= a^2 + \frac{2}{3} b^2$$

또한, 가입자의 이동속도를 V_{\min} 과 V_{\max} 사이의 Uniform 분포로 가정할 때 이동속도 V 의 pdf는 식(9)와 같고 $1/V$ 과 $1/V^2$ 의 평균은 식(10)과 같다.

$$f_v(v) = \frac{1}{V_{\max} - V_{\min}}, \quad V_{\min} < v < V_{\max} \quad (9)$$

$$E\left[\frac{1}{V}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{v} f_v(v) dv = \frac{1}{V_{\max} - V_{\min}} \ln \left[\frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right] \quad (10)$$

$$E\left[\frac{1}{V^2}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{v^2} f_v(v) dv = \frac{1}{V_{\min} V_{\max}}$$

가입자의 이동거리와 이동속도를 서로 독립인 확률변수로 가정할 때, 식(8)과 식(10)을 이용하여 핸드오버 지속시간 $T = Z/V$ 의 평균과 2차 모멘트의 평균을 구할 수 있다.

$$E[T] = E\left[\frac{Z}{V}\right] = E[Z]E\left[\frac{1}{V}\right] \quad (11)$$

$$E[T^2] = E\left[\left(\frac{Z}{V}\right)^2\right] = E[Z^2]E\left[\frac{1}{V^2}\right]$$

그리고 위의 식을 이용하여 핸드오버 지속시간의 분산(Variance)과 표준편차를 구하면 다음과 같다.

$$Var[T] = E[T^2] - \{E[T]\}^2 \quad (12)$$

$$SD[T] = \sqrt{Var[T]}$$

모수가 α, β 인 감마분포의 경우 평균과 분산은 각각 $\alpha\beta$ 와 $\alpha\beta^2$ 으로 표현되며, 이를 $E[T]$ 와 $Var[T]$ 로 대입하여 α, β 를 추정한다. 이를 정리하면 식(13)과 같다.

$$\hat{\alpha} = \frac{\{E[T]\}^2}{Var[T]} \quad (13)$$

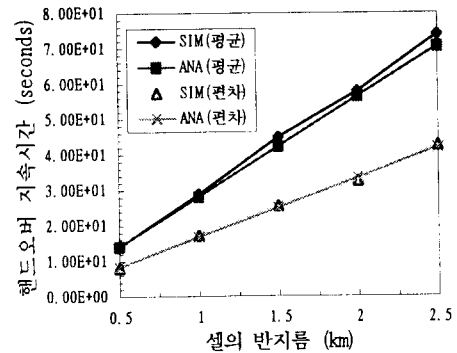
$$\hat{\beta} = \frac{Var[T]}{E[T]}$$

3. 해석적 방법의 검증

3.1 평균과 표준편차

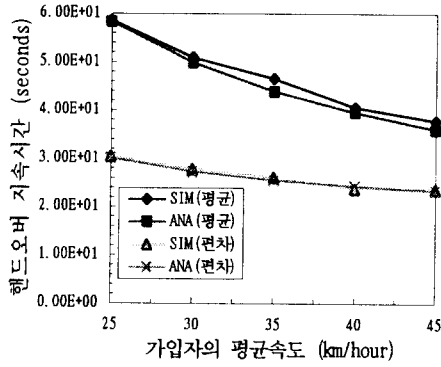
해석적 방법으로 구한 핸드오버 지속시간의 평균과 표준편차(식(11), 식(12))를 시뮬레이션 데이터로부터 구한 값(식(2))과 비교한다. 시뮬레이션은 셀의 반지름과 이동가입자의 속도분포가 주어진 경우 1000번을 수행하였으며, 셀 반지름과 속도분포별로 서로 다른 seed 번호를 사용하였다.

[그림 3]과 [그림 4]는 각각 셀 반지름과 가입자의 평균 이동속도의 변화에 따른 핸드오버 지속시간의 평균과 표준편차를 나타낸다. [그림 3]에서의 가입자의 속도는 $V_{\min}=30$ (km/hour), $V_{\max}=80$ (km/hour)로 가정하였으며, [그림 4]는 셀 반지름 R 이 1 (km), $V_{\min}=20$ (km/hour)로 가정하고 가입자의 최대속도를 변화시키는 경우를 나타낸다.



[그림 3] 셀 반지름에 대한 핸드오버 지속시간

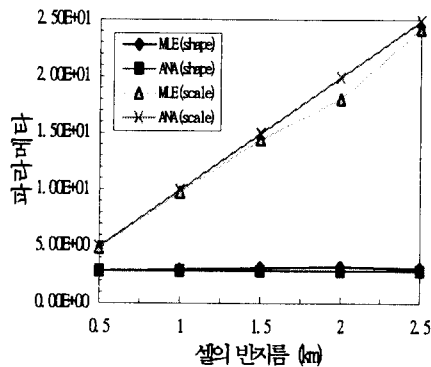
[그림 3]과 [그림 4]로부터 해석적 방법으로 구한 핸드오버 지속시간의 평균과 표준편차는 시뮬레이션 결과와 매우 일치함을 알 수 있다. 그리고 평균 핸드오버 지속시간은 셀 크기가 커짐에 따라 증가하고, 셀 반지름이 동일한 경우 가입자의 평균 이동속도가 빠를수록 감소한다. 특히, [그림 3]에서와 같이 가입자의 속도 분포가 동일한 경우 핸드오버 지속시간에 대한 평균과 표준편차는 셀 반지름의 증가에 따라 일정한 비율로 증가함을 알 수 있다.



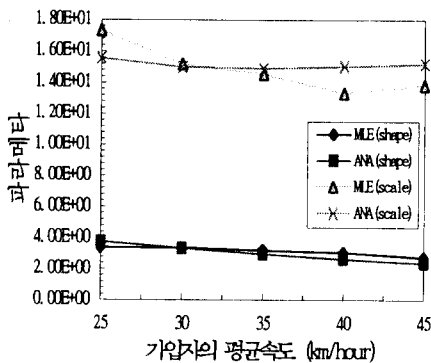
[그림 4] 이동속도에 대한 핸드오버 지속시간

3.2 모수

[그림 5]와 [그림 6]은 각각 [그림 3]과 [그림 4]와 같은 환경에서 MLE와 해석적 방법으로 추정한 감마분포의 모수를 비교한 것이다.



[그림 5] 셀 반지름에 대한 감마분포의 모수



[그림 6] 이동속도에 대한 감마분포의 모수

[그림 5]에서 셀 반지름의 변화에 따라 감마분포의 모수에 대한 MLE 추정과 해석적인 방법으로 계산한 값이 매우 일치함을 알 수 있다. 또한 가입자의 속도 분포가 동일한 경우 셀 크기가 변하더라도 감마분포의 형태(shape)를 결정해주는 shape 파라메타 α 는 일정하며, 이는 [그림 3]과 식(13)으로부터 알 수 있듯이 셀 반지름이 커짐에 따라 핸드오버 지속시간에 대한 평균과 표준편차가 일정한 비율로 증가하기 때문이다.

반면, 동일한 속도 분포하에서 셀 크기가 증가하면 가입자의 이동거리가 증가하고 따라서 핸드오버 지속시간에 대해 확률값이 존재하는 확률변수 T 의 범위가 증가하므로 감마분포의 척도(scale)를 결정하는 scale 파라메타 β 값이 커진다.

[그림 6]은 셀 반지름을 1(km)로 가정하고 가입자의 평균 이동속도, 즉 최대속도를 증가시키는 경우 감마분포의 모수를 MLE와 해석적 방법으로 구한 값을 보여준다. 그림에서 shape 파라메타는 잘 일치하지만 scale 파라메타는 차이(최대 약 1.7초)가 있음을 알 수 있다. 그리고 가입자의 최대 이동속도가 증가함에 따라 해석적 방법으로 구한 scale 파라메타는 거의 일정한 값을 갖지만, MLE로 추정한 scale 파라메타 값은 최소 13초에서 최대 17초까지 변한다.

또한, shape 파라메타는 가입자의 평균 이동속도가 증가함에 따라 1에 가까운 값을 가지며, 이 경우 감마분포의 특수한 형태로서 평균이 β 인 지수분포를 따른다고 말할 수 있다.

3.3 적합도 검정

가정된 분포의 타당성을 검증하기 위해 여러가지 적합도 검정 방법이 있으나 본 논문에서는 K-S(Kolmogorov-Smirnov) 검정을 이용한다.

K-S 검정에서의 검정 통계량은 식(14)와 같이 정의된다. [1]

$$K-S \text{ Test Statistic} = \left(\sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}} \right) D_n \quad (14)$$

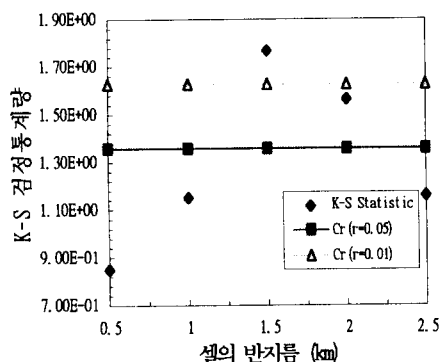
$$\text{where } D_n = \max \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} \left(\frac{i}{n} - \hat{F}(X_{(i)}) \right), \max_{1 \leq i \leq n} \left(\hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right) \right\}$$

여기에서 $X_{(i)}$ 는 n 개의 시뮬레이션 데이터에 대한 i 번째 순서 통계량(order statistic)을 의미하며, \hat{F} 는 감마분포의 누적분포함수를 나타낸다. 누적분포함수에서의 모수는 해석적 방법을 통해 산출한 값을 이용한다.

검정 통계량 값이 크면 클수록 나쁜 적합도를

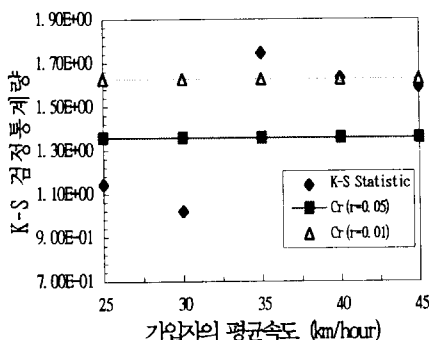
나타내고 검정 통계량이 일정한 값, 즉 Type I 에러(유의수준 γ)에서의 임계점(c_γ) 보다 크면 핸드오버 지속시간이 감마분포라는 가설을 기각한다(즉, 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 말할 수 없다).

[그림 7]과 [그림 8]은 각각 [그림 3]과 [그림 4]와 같은 환경에서 식(14)로부터 산출한 K-S 검정 통계량과 가설의 기각 여부를 결정하는데 필요한 기각 임계점을 보여준다. 그림에서는 유의수준 γ 이 5%($c_{0.05} = 1.358$)와 1%($c_{0.01} = 1.628$)인 경우를 고려하였다.



[그림 7] 셀 반지름에 대한 K-S 검정 통계량

[그림 7]에서 K-S 검정 통계량은 셀 반지름이 1.5 (km)인 경우를 제외하고는 모두 유의수준 1%에서의 기각 임계점 보다 작은 값을 나타낸다. 따라서 셀 반지름이 1.5 (km)를 제외한 나머지 경우에서 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따르지 않는다고 말할 수 없다. 그리고 유의수준 5%의 경우에는 셀 반지름이 1.5 (km)와 2 (km)일 때 감마분포의 가설이 기각됨을 알 수 있다.



[그림 8] 이동속도에 대한 K-S 검정 통계량

[그림 8]로부터 K-S 검정 통계량은 가입자의 평균 속도가 35 (km/hour)와 40 (km/hour)인 경우를 제외하고 모두 유의수준 1%에서의 기각 임계점보다 작은 값을 나타냄을 알 수 있다. 마찬가지로 위의 두가지 경우외에 핸드오버 지속시간은 유의수준 1%에서 감마분포를 따르지 않는다고 말할 수 없다. 또한, 5%의 유의수준을 적용할 때는 평균속도가 25 (km/hour)와 30 (km/hour)인 경우에만 감마분포의 가설을 기각할 수 없음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 이동통신 환경에서의 트래픽 모델링 및 핸드오버 처리시간에 대한 서비스 기준 설정시 중요한 요인중에 하나인 핸드오버 지속시간을 분석하였다.

시뮬레이션 분석 결과 핸드오버 지속시간은 감마분포를 따르며, 따라서 감마분포에서의 두가지 파라메타, 즉 shape 파라메타와 scale 파라메타에 대한 추정치를 해석적 방법으로 산출하였다. 그리고 해석적 방법의 검증을 위해 평균과 표준편차, 모수를 시뮬레이션 결과와 비교하며, 적합도 검정을 수행하였다.

분석 결과, 평균 핸드오버 지속시간은 셀 크기가 커짐에 따라 증가하고 셀 크기가 동일한 경우 가입자의 이동속도가 빠를수록 감소함을 알 수 있었다. 특히, 가입자의 속도분포가 동일한 경우 핸드오버 지속시간에 대한 평균과 표준편차는 셀 크기의 증가에 따라 일정한 비율로 증가하며, 또한 감마분포의 형태를 결정하는 shape 파라메타는 셀 크기와 무관하게 결정되고, 가입자의 평균 이동속도가 커짐에 따라 shape 파라메타 값이 감소한다.

해석적 방법으로 구한 핸드오버 지속시간의 평균과 표준편차는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하며, 최우추정량과 해석적 방법으로 추정된 감마분포함수에서의 shape 파라메타도 거의 비슷하지만, 가입자의 속도분포에 따른 scale 파라메타는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 그리고 해석적 분석을 통해 추정된 파라메타를 이용하여 Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정을 수행한 결과, 대체적으로 해석적 방법으로 구한 파라메타 값이 타당함을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.M. Law and W.D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis," McGraw-Hill, 1982.

- [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 Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-35, No. 3, pp. 77-92, August 1986.
- [3] ITU-T, "Public Land Mobile Network Mobile Application Part and Interfaces (Blue Book)," Q.1051-Q.1063, Nov. 14-25, 1988.
- [4] 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.
- [5] R.V.Hogg and A.T.Craig, "Introduction to Mathematical Statistics," 4th Ed., Macmillan, New York, 1970.
- [6] V.K.Rohatgi, "An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics," John Wiley & Sons, New York, 1976.
- [7] 임석구, 장희선, 유제훈, 이윤주, "핸드오버 지속시간에 대한 확률분포 추정," 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계 공동학술대회 논문집, 1995. 4.