

# 이동전화망에서 호 도착 시간과 채널 보유 시간의 통계적 분석

임태랑\* 장주욱\*\* 이경근\*  
세종대학교 정보통신공학과, 서강대학교  
tairang@nrl.sejong.ac.kr\*, jjang@sogang.ac.kr\*\*, kglee@sejong.ac.kr\*

## Statistical Analysis of Call Interarrival Time and Channel Holding Time in Cellular Telephony Network

Tai-Rang Eom\*, Ju-Wook Jang\*\*, Kyung-Geun Lee\*  
Dept. of Information and Communication Engineering, Sejong University\*, Dept. of Electronic Engineering Sogang University\*\*

### 요 약

일반적으로 음성전화망에서 수학적 모델을 사용하여 트래픽 분석을 수행하는 경우 호 도착 시간과 채널 보유 시간은 지수 분포라고 가정한다. 본 논문에서는 이동전화망을 구성하고 있는 교환기에서 추출한 과급 데이터를 이용하여 호 발생으로 인해 집계되는 호량에 관한 호 도착 시간과 채널 보유 시간이 나타내는 분포를 알아본다. 또한 분석된 확률 분포를 통계적 검정 방법을 이용하여 경험분포함수에 대한 기대 경제성으로 나타내게 된다.

검정하고, 마지막 4장에서 이상의 내용을 정리하고 결론을 내린다.

### 1. 서 론

고객 서비스의 질을 높이기 위한 통신 사업자의 제반 자원 제공은 상당한 비용(cost)을 요구하게 된다. 회선 제공과 신뢰성 향상, 서비스 다양화 등의 형태로 나타나는 다양한 서비스 요소는 통신 사업자의 이익 추구하고 서비스 등급(GoS : Grade of Service)의 trade-off 관계로 귀결되며, 필요한 회선 용량과 목표로 하는 GoS에 따라 통신 사업자에 대한 평가와 아울러 경제성으로 나타나게 된다.

이동통신 사업자의 회선 결정을 위한 중요한 변수로서는 호 도착 시간(call interarrival time : 이하 IAT)과 채널 보유 시간(channel holding time : 이하 CHT)이 있다. 이에 대한 근래까지의 연구 결과를 살펴보면, Bolotin은 CHT에 대한 분포 형태가 지수분포로 가정된 내용을 기술하였으나[1], 시뮬레이션의 샘플링 데이터를 통해서 K-S 적합도 검정(Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-fit test : 이하 K-S 검정)을 적용한 결과 지수 분포라기보다는 혼합된 로그노멀 분포(lognormal distribution)가 더 적합하다고 기술하였다. Chlebus는 A-D 검정(Anderson-Darling test)을 이용하여 이동전화의 통화시간은 [1]의 혼합형 로그노멀 분포와 유사한 형태를 나타낸다고 보고하였다[2]. 이러한 과거 연구 결과는 이동통신 시스템에서 IAT와 CHT의 분포를 분석하기 위해서 MMPP 모델[3]을 사용하거나 분석 툴 또는 시뮬레이션 결과를 사용하여 수학적 모델링을 하였다.

본 논문에서는 이동통신 교환기에서 추출한 과급 데이터를 사용하여 호 유형에 대한 IAT와 CHT에 대한 분포 형태를 분석하고 그 결과를 토대로 K-S 검정을 적용하여 적합성을 판단한다.

논문의 구성은 서론에 이어 2절에서 분포 검정을 위한 사전 데이터 분석에 대한 내용과 K-S 검정을 이용하여 IAT와 CHT에 관련된 분포의 검정 방법에 대해서 알아보고, 3절은 K-S 검정을 이용하여 IAT와 CHT 각각에 대한 분포형태를

### 2. 이동전화망의 IAT와 CHT의 통계적 특성 및 검정 방법

#### 2.1 IAT와 CHT의 통계적 특성

본 논문에 사용된 데이터는 4E1(124ch)으로 연결된 교환기의 특정 경로에 대해서 오후 12시부터 자정까지 총 12시간에 걸쳐 수집하였다. 수집한 데이터는 [표 1]과 같은 형태이며, 통화가 시작한 시간과 종료 시간이 기록된다.  $T_c$ 는 발신호에 대해서 수신자의 응답이 이루어진 후에 정상적인 통화가 이루어진 시간을 의미하며,  $T_h$ 는 수신자의 호 대기 시간과  $T_c$ 가 더해진 시간을 의미한다.

언급하고자 하는 CHT는  $T_h$ 로서  $T_c$ 의 평균 통화 시간(Average Holding Time)의 개념이 아닌 이동전화 가입자간 통화에서 회선을 점유한 시간을 의미하는데, 수집된 데이터에서  $T_h$ 는 평균적으로  $T_c$  보다 10초 길게 나타난다.

표 1. 과급 데이터 샘플

시작 시간	종료 시간	$T_c$	$T_h$
18:04:48	18:05:34	46	53
18:05:24	18:05:34	10	21
18:05:49	18:06:34	45	58
18:15:23	18:15:35	12	20

측정 시간동안 교환기에 누적된 시도호를 한 시간 단위로 나누어 IAT와 CHT에 [표 2]에 정리한다. 시도호 기준으로 가장 호량이 많은 시간대(busiest hour)는 18~19시이며, 가장 적은 시간대는 23~24시로 나타났는데, 18~19시에서 IAT는 1.91초로 가장 짧은 시간을 보였으며, 23~24시에서는 3.64초로 가장 긴 시간으로 나타났다. 이러한 현상에 대해서 시도호에 대한 IAT와 CHT에 대한 상관성을 분석하기 위해 [그림 1]에 나타내었다. 사용자의 시도호가 점점 늘어남에 따라 IAT가 줄어드

표 2. IAT와 CHT의 한 시간 단위 데이터

측정시간	시도호	IAT/μ	CHT/σ
12~13시	2014	2.62	59.37
13~14시	1944	2.39	61.12
14~15시	2024	2.32	57.70
15~16시	2062	2.33	61.01
16~17시	2044	2.34	59.51
17~18시	2391	2.11	59.82
18~19시	2678	1.91	56.81
19~20시	2457	2.03	61.28
20~21시	2246	2.16	59.53
21~22시	1889	2.48	68.90
22~23시	1389	3.15	64.07
23~24시	1156	3.64	68.36

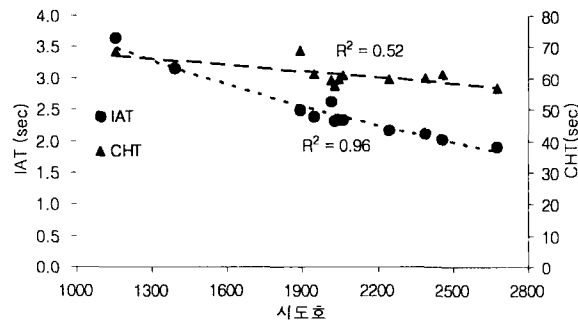


그림 1. 시도호에 대한 IAT와 CHT 상관관계

는 것을 알 수 있으며, 상관계수를 나타내는 R<sup>2</sup> 값도 시도호에 대한 IAT는 0.96, CHT는 0.52로서 시도호는 CHT에 미치는 영향보다 IAT와 더 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

통계적 특성을 유도하기 위해서 IAT와 CHT 각각 과거 연구 결과들을 바탕으로 하여 IAT는 하나의 사건이 발생할 때까지 걸린 시간을 나타내는 분포인 지수분포로 가정하고, 실제 사용자들의 통화 시간에 의존하는 CHT는 로그노멀 분포(lognormal distribution)로 가정하며 식 (1)으로 정의된다. IAT와 CHT에 대해서 가정한 분포에 따라 [표 1]의 과금 데이터를 이용하여 지수 분포에 사용되는 변수 λ와, 로그노멀 분포를 분석하기 위해 필요한 변수 μ와 σ값을 최대 우도식(Maximum Likelihood Equation : MLE)[5]을 통하여 분석하였다. 식 (1)은 로그노멀 분포의 계산식이며, 식 (2)는 식 (1)에 필요한 변수를 위한 MLE를 나타낸 것이다.

$$f(t) = \frac{1}{t\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\log(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad \text{for } t > 0 \quad (1)$$

$$\mu = L = \sum_{i=1}^n \frac{\ln T_{h,i}}{n} \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln T_{h,i})^2}{n} - \mu^2 \quad (2)$$

2.2 통계적 검정 방법

이동통신망에서 주로 사용되는 통계적 검정 방법에는 χ<sup>2</sup> 검정, K-S 검정, A-D 검정이 있는데 데이터 형태에 따라 검정 방법을 선택할 수 있다. IAT에 가정된 지수분포 검정에는 χ<sup>2</sup> 검정과 K-S 검정이 사용되며, CHT에 가정된 로그노멀 분포에

는 K-S 검정과 A-D 검정을 이용한다.

K-S 검정은 χ<sup>2</sup> 검정 보다 더 신뢰성 있는 검정으로 알려져 있으며, A-D 검정과 χ<sup>2</sup> 검정보다 사용 방법이 간단하다. 또한 데이터 양에 대한 제한사항이 적은 장점을 지니고 있다. 주로 검정에 사용되는 분포는 연속적인 분포 형태를 지닌 정규 분포, 지수 분포, 균일 분포, 로그노멀 분포 등이 있다. 따라서, 본 논문에서 사용된 [표 1] 형태의 데이터는 이상의 조건을 만족하여 K-S 검정을 이용한다.

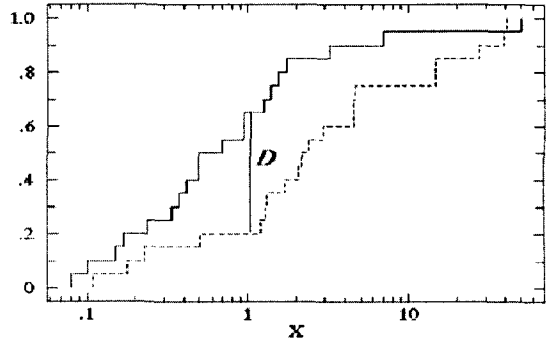


그림 2. 누적분포함수에 대한 K-S 검정

K-S 검정은 하나의 모집단에서 추출한 확률분포의 분포가 어떤 특정한 분포형태를 따르는지를 알아보는 적합도 검정의 일종이다. 이 검정은 경험분포함수(empirical distribution function)와 기대분포함수(expected probability function) 사이의 차이에 대한 비교를 기초로 한다[6].

[그림 2]와 같이 기대 분포함수에 대해서 측정 분포함수가 차이가 나게 되면 검정 통계량 D 만큼의 차가 생기게 된다. 또한 검정 통계량 D는 유의수준 α에 따라 검정 결과의 기각 여부를 판단할 수 있는데, [1]과 [2]에서 적용한 유의수준 α는 각각 5%와 15%이다. 본 논문에서는 적합도 검정의 신뢰도를 높이기 위해 유의수준 5%와 1%로 정하여 검정하도록 한다. 검정 통계량 D는 식 (3)으로 정의된다.

$$D = \max |F_0(X) - F_n(X)| \quad (3)$$

3. K-S 검정을 통한 IAT와 CHT의 통계적 특성 분석

이동전화의 IAT와 CHT에 대한 통계적 특성을 분석하기 위해서 [표 2]의 시도호를 기준으로 최대값, 중간값, 최소값을 선택하여 세 개의 샘플로 구분하였다.

표 3. 시도호 기준의 샘플 선정

구분	측정시간	시도호	IAT	CHT	λ	μ	σ
A	18~19시	2678	1.91	56.81	1.91	3.41	1.26
B	13~14시	1944	2.39	61.12	2.39	3.63	1.38
C	23~24시	1156	3.64	68.36	3.64	3.89	1.58

각 샘플에 대한 과금 데이터에서 분포 검정에 필요한 λ, μ, σ를 계산하여 [표 3]에 정리한다. MLE를 이용해 계산된 지수 분포의 변수 λ는 시도호가 적을수록 증가하고, 식 (3),(4)로 계산된 로그노멀 분포의 변수값 μ와 σ도 증가하는 것을 알 수 있다.

3.1 호 도착 시간(call interarrival time)

[그림 3]은 샘플 A(18~19시)에 대한 IAT의 분포를 나타낸 그래프이다. 경험분포함수는 1초의 IAT를 제외하고 기대분포 함수 보다 큰 값을 갖는 것을 알 수 있고, 샘플 B와 C에서도 같은 유형의 그래프를 관찰할 수 있다.

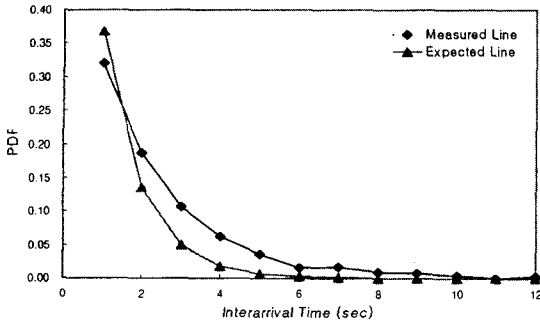


그림 3. 샘플 A(18~19시)에 대한 IAT 분포

표 4. IAT에 대한 K-S 검정 검정 결과

구분	검정 통계량	유의수준	적합도 검정
A	0.42	5 %	accept
		1 %	reject
B	0.52	5 %	accept
		1 %	accept
C	0.39	5 %	accept
		1 %	accept

[표 4]는 세 가지 샘플에 대한 K-S 검정 결과를 나타낸 것인데, 가장한 지수 분포에 대하여 일반적 검정의 유의 수준 5%에서 IAT는 지수분포를 만족하는 것을 적합도 검정을 통하여 알 수 있다. 보다 정교한 검정을 실시하고자 유의 수준 1%에서 검정을 하였을 경우에는 최번시 데이터인 샘플 A를 제외하고 모두 만족하였다. 최번시 데이터인 샘플 A는 다른 시간대에 비해서 IAT가 짧은 시간에 250~350호 가량 더 많이 분포하고 있어 순간적인 이동전화 가입자의 통화량 증가가 발생되어 나타난 결과라고 분석된다.

3.2 채널 보유 시간(channel holding time)

IAT 분포 검정에서 사용한 같은 방법으로 CHT의 분포 형태를 분석하였다. [그림 4]는 18~19시 샘플 A에 대한 CHT 분포와 로그노멀 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 가장 높은 빈도를 보이는 35초와 49초를 제외하고는 가정된 로그노멀 분포를 따르는 것을 알 수 있다. 이에 대한 K-S 검정 결과를 [그림 5]와 같이 나타낼 수 있으며, 검정 통계량 D는 0.11으로 유의수준 1%에서 CHT는 로그노멀 분포를 만족하는 것으로 분석되었다. 만약에 35초와 49초에 대한 확률값을 로그노멀에 대한

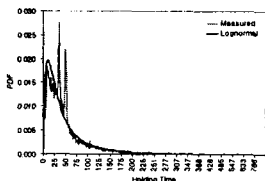


그림 4. 샘플 A(18~19시)에 대한 CHT 분포

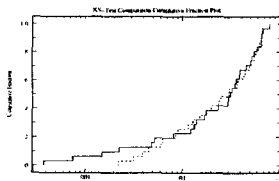


그림 5. 샘플 A(18~19시)에 대한 K-S 검정 결과

분포 확률값에 만족하도록 하여 K-S 검정을 한다면 검정 통계량 D는 0.11 보다 작은 값으로 나타날 것이며, 1% 보다 낮은 유의 수준에서도 기대 분포확률에 대한 가정을 만족할 것이다. 샘플 B와 C 각각 0.12, 0.24로 분석되었고 유의 수준 5%에서 가정된 로그노멀 분포에 대해서 만족하는 것으로 판정되었다.

4. 결론

이동전화는 음성 서비스와 데이터 서비스를 함께 제공하고 있다. 이 중 본 논문은 음성 서비스가 제공되는 특정 경로에 대해서 교환기에 수집된 과금 데이터를 사용하여 호 도착 시간 간격과 도착한 호에 대한 채널 보유 시간에 대한 분포를 신뢰도가 높은 유의수준 5% 이하에서 통계적 적합도 검정 방법인 K-S 검정을 이용하여 검정한 결과 IAT는 지수분포와 CHT는 로그노멀 분포임을 확인할 수 있었다.

향후 예상되는 연구로서는 국한된 특정 경로가 아닌 전체 이동전화망에 대한 데이터를 기반으로 하여 음성 서비스 뿐만 아니라 SMS를 포함한 데이터 서비스에 대해서도 IAT와 CHT에 대한 분포 특성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] V. Bolotin, "Telephone Circuit Holding Time Distributions", Proc.14th, ITC, pp.125~134, 1994.
- [2] E. Chlebus, "Empirical validation of call holding time distribution in cellular communications systems", Proc.15th ITC, 1997.
- [3] Nidhi Hegde, Khosrow Sohraby, "Blocking in Large Mobile Cellular Networks with Bursty Traffic", ACM SIGMETRICS 2001, 2001.
- [4] Francisco Barcel and Javier Jordan, "Channel Holding Time Distribution in Public Cellular Telephony", Proc.16th ITC, 1999.
- [5] James R. Boucher "Trace System Design Handbook: Timesaving Telecommunication Trace Tables and Programs", IEEE Press, pp. 1-78, 1993.
- [6] 차영준, 송재기 외 3명, "비모수 검정", 자유아카데미, pp16~24, 2001.
- [7] Kyung-Geun Lee, Tairang Eom, et al, "Trace Engineering Experience in a Nation-wide Cellular Service Network", 10th ICT, 2003.