

Picocell 시스템의 보행자 통화량 모델링 및 분석

이기동^{1*} · 장근녕² · 김세현³

¹ETRI 무선방송연구소 / ²신라대학교 경영학부 / ³KAIST 산업공학과

Traffic Modeling and Analysis for Pedestrians in Picocell Systems Using Random Walk Model

Ki-Dong Lee¹ · Kun-Nyeong Chang² · Sehun Kim³

¹Radio & Broadcasting Lab, ETRI, Daejeon, 305-350

²College of Management, Silla University, Pusan, 617-736

³Dept. of Industrial Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701

Traffic performance in a microcellular system is much more affected by cell dwell time and channel holding time in each cell. Cell dwell time of a call is characterized by its mobility pattern, i.e., stochastic changes of moving speed and direction. Cell dwell time provides important information for other analyses on traffic performance such as channel holding time, handover rate, and the average number of handovers per call. In the next generation mobile communication system, the cell size is expected to be much smaller than that of current one to accommodate the increase of user demand and to achieve high bandwidth utilization. As the cell size gets small, traffic performance is much more affected by variable mobility of users, especially by that of pedestrians. In previous work, analytical models are based on simple probability models. They provide sufficient accuracy in a simple second-generation cellular system. However, the role of them is becoming invalid in a picocellular environment where there are rapid change of network traffic conditions and highly random mobility of pedestrians. Unlike in previous work, we propose an improved probability model evolved from so-called Random walk model in order to mathematically formulate variable mobility of pedestrians and analyze the traffic performance. With our model, we can figure out variable characteristics of pedestrian mobility with stochastic correlation. The above-mentioned traffic performance measures are analyzed using our model.

Keywords: traffic analysis, mobility modeling, cellular system, random walk

1. 서론

전자통신의 발전과정에 있어, 통신 시스템의 가장 근본적인 혁신이 무선화 (to be wireless)에 있다면, 무선통신 시스템의 가장 기본적인 혁신은 셀룰러 개념 (cellular concept)의 도입에 있다. 서비스 영역의 셀 분할을 통하여, 제한된 주파수 자원의 효율도를 높이는 것이 가능해졌으며, 이 범주에서 광범위한 연구들이 주파수 자원의 최적 운용을 목적으로 이루어져 왔다. 1960년대 Bell Labs의 Cellular Concepts 제안 이래, 아직 발전의 방향이 남아있음에도 불구하고, 제2세대 셀룰러 이동통신

시스템은 그 서비스에 있어서 세계적으로 상당히 많은 가입자를 보유하고 있으며, 제3세대 멀티미디어 고속 이동통신 서비스인 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication after the year 2000)에 대한 기술개발이 이미 완료되었다.

제3세대 이동통신에서는 현재 대략 9.6kbps로 서비스 중인 음성중심의 CDMA 서비스 또는 동급의 무선 데이터 서비스와는 달리, 이의 최소 15배에 달하는 전송속도로 다소 안정된 동영상, 이미지, 음성, 그리고 데이터 서비스를 제공하게 될 것이다. 제3세대 이동통신의 목적은 소극적인 의미에서 제2세대 이동통신이 지녔던 속도, 서비스 형태, 그리고 통화권의 지역

성 등의 한계에 대한 극복으로 정리된다 이를 위하여, 지상 네트워크와 위성 네트워크의 통합운용, 셀 재계획 (cell replanning) 등이 필요하다. 특히, 제2세대로부터 진화된 셀룰러 이동통신 이외에, 무선 멀티미디어 IP 네트워크, 옥내 환경의 무선 네트워크, Ad Hoc 네트워크, 무선 LAN 등의 활성화가 예상되며, 대량의 데이터 통신량이 발생할 것으로 추정된다. 최소한 주파수자원을 통해 이를 효과적으로 수용하기 위하여, 물리계층과 MAC 계층에서의 접속 효율성 향상을 위한 기술개발이 필요하며 셀의 크기는 사용자분포 및 지역특성(사용자 이동성 등)에 따라 현재의 마이크로 셀보다도 소형으로 설계되어야 한다.

이러한 새로운 요구를 충족시키기 위해 제안된 피코 셀 (picocell) 시스템에서는 기존의 분석 모형으로 접근하던 통화량 분석 (traffic analysis)이 부정확한 결과를 보이게 된다. 이는 셀의 크기가 작아지면, 셀 간 통화량 이동의 확률적 과정은 이동국 (mobile station)의 이동성에 매우 민감해진다는 점과, 특성상 차량 이동국보다 랜덤한 보행자들의 이동성이 통화량 성능에 미치는 영향에 반영되지 않았기 때문이다.

통화량 분석을 위한 기존의 연구는 이동성을 고려하지 않고 통화량 모수 (traffic parameters)의 대수적 관계를 정리한 연구 (Fang *et al.*, 1998), 단순화된 이동성을 고려하여 통화량 모수를 분석한 수리적 연구 (Guerin, 1987; Yum *et al.*, 1995)와 실험적 연구 (Zonoozi *et al.*, 1998), 그리고 랜덤 워크 (random walk) 모형을 이용한 연구 (Jabbari *et al.*, 1998, Lee *et al.*, 1998)가 있다. Guerin (1987)은 임의로 선택된 고정적 속도와 방향을 가정하여 셀 내 체류시간 및 채널 점유시간의 확률분포를 연구하였다. Yum and Yeung (1995)은 Guerin (1987)의 모형과 유사한 가정하에 directed retry 기법을 이용할 때의 핸드오버(핸드오프) 성능을 분석하였다. Zonoozi and Dassanayake (1998)는 시뮬레이션을 통하여 셀 내 체류시간분포가 일반화된 감마 (gamma) 분포로 매우 정확하게 근사화될 수 있음을 보였다. Jabbari (1998) 등은 기본적인 랜덤 워크 (random walk) 모형을 이용하여 셀 내 체류시간분포를 분석하였다. Lee and Kim (1998, 2001)은 이산시간 마야코프 체인에 따라 속도상태와 방향상태가 추계적으로 변화하는 보다 일반화된 랜덤 워크 모형을 제안하여 통화량 모수를 분석하였다.

피코 셀 환경에서는 통화량에 대한 성능척도들이 이동국의 이동성에 매우 민감하게 영향을 받으므로 이동국 이동성의 추계적 행태가 고려되어 통화량이 분석되어야 한다. 그러나, 앞에서 언급한 기존의 연구에서는 가변적이고 추계적으로 상관관계가 있는 이동성 행태가 수리적으로 표현되지 않았다 (Kim and Lee, 2001; Lee and Kim, 2001). 본 논문에서는 기존의 모형들이 갖고 있는 한계점을 보완하기 위해 보행자의 가변적인 이동성을 보다 구체적으로 반영하는 랜덤 워크 모형을 제안하고, 이를 통해 보행자 이동국의 셀 내 체류시간의 확률분포, 채널점유시간의 확률분포, 핸드오버 요청횟수의 확률분포, 그리고 클러스터 간 핸드오버 요청횟수 등을 분석한다.

2. 신규 연구의 필요성

2.1 기존의 통화량 분석 연구의 의미 및 한계

이동통신 시스템에서, 기존의 통화량 분석에 대한 연구는 크게 두 가지로 분류된다. 첫째는 사용자들의 물리적 이동성을 고려하지 않고, 셀 내 체류시간을 일반적인 확률분포함수로 두고 채널 점유시간 등 통화량 모수 (traffic parameters)를 대수적으로 유도한 연구이다 (Fang *et al.*, 1998). 이러한 연구는 통화량 모수에 가장 근본적으로 영향을 주는 요인인 사용자 이동성 (영향 모수)의 고려 없이, 이 정보가 일반적인 형태의 어떤 함수로 주어졌다는 가정하에 통화량 모수 (피영향 모수)를 분석한 연구로서, 셀 내 체류시간분포와 같은 정보가 주어지지 않으면 유도된 결과를 활용할 수 없다. 둘째는 사용자들의 물리적 이동성을 모델링하여 셀 내 체류시간 및 채널 점유시간 등을 유도해낸 연구이다 (Guerin, 1987; Jabbari, 1998; Kim, 2001; Lee, 1998, 2002). 이러한 연구는 각각의 이동성 모델링이 갖는 문제점이 있지만, 이동통신 시스템에서 통화량 분석의 근본요인인 셀 내 체류시간분포를 다양한 시각에서 설명하고 있다.

기존의 이동성 모델링은 연속 시간상에서 이루어졌기 때문에 가변적 속도나 이동방향의 변화에 대한 모델링에는 한계가 있었으며, 이로 인하여 이동성의 중요한 특징인 가변속도와 방향변화가 셀 내 체류시간에 얼마만한 영향을 주는지는 분석이 어렵다. 기존의 연구로는 매크로 셀 (반경이 대략 1km 이상) 환경 또는 사용자가 대체로 직선적 고정속도 이동을 하는 고속도로형 셀 환경에서는 유용하지만, 보행자와 같이 이동성이 매우 불규칙적인 환경에 대해서는 적합한 모델링은 아니다. 따라서, 보행자들이 차량에 비해 갖는 상대적인 불규칙성을 모델링하기 위한 새로운 방법이 제안되고 있다 (Lee, 1998). 이러한 방법은 시간을 이산화하여 랜덤 워크 (random walk) 모형을 이용한 접근으로서, 이산화된 시간구간(스텝)의 길이에 따라 어느 정도의 오차가 수반되는 단점이 있지만, 연속시간상의 모델링으로 얻기 어려웠던 이동성의 불규칙성을 표현하기에 용이하다는 장점이 있다. 본 논문은 이 범주에 속하는 주제를 다룬다.

2.2 제안된 보행자 이동성 모형

이동통신 서비스의 이동국들은 크게, 차량 이동국과 보행자 이동국 등으로 분류할 수 있고, 이들의 이동성 형태는 서로 다르다. 차량 이동국의 이동성은 직선형 이동성으로 모형화가 되었다. 이는 일반적인 셀룰러 시스템에서 충분하다고 판단될 정도의 정확성이 보장되었기 때문이다. 특히, 고속도로형 셀룰러 시스템에서의 직선형 이동성 모델링은 매우 높은 정확성

을 보이는 것으로 알려졌다 (Lee and Kim, 2001). 그러나 보행자 이동국의 경우, 그 이동성은 차량 이동국의 이동성과는 매우 다른 특성을 보인다. 비록 차량 이동국의 이동성도 랜덤한 성질을 갖지만, 이들은 이동하는 속도나 방향에 있어서 보행자보다 훨씬 큰 관성을 보인다. 즉, 보행자만큼 수시로 방향이나 속도가 변하지 않는다. 보행자의 이동속도나 방향은 차량 이동국보다 훨씬 랜덤하게 변화한다. 그러므로, 보행자의 이동성을 모델링하기 위해서, 기존의 직선형/고정성 이동성 모형이 아닌, 새로운 대안이 요구된다.

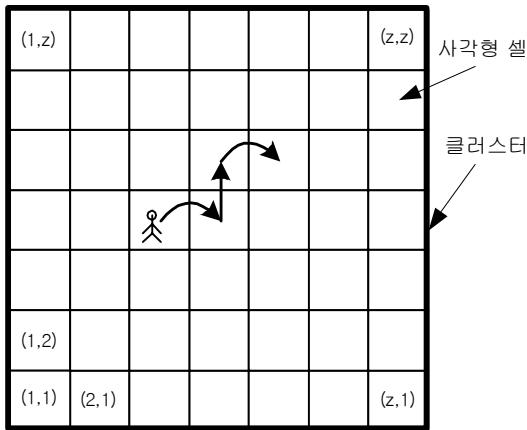


그림 1. 보행자의 2차원 랜덤 워크 모형: 49셀 예.

본 논문에서는 매우 변화성이 크고, 복잡한 양상의 보행자 이동성을 수리적으로 모델링하기 위하여 이산시간형 마야코 프체인(의 일종인 랜덤 워크 모형(Wolff, 1989; Ross, 1993; Marrison and Patel, 1994)을 제안하고자 한다. <그림 1>과 같은 2차원 랜덤 워크 모형에서 보행자의 이동성 상태는 이동성 벡터 (s, d) 로 표현된다.

여기서 s 는 보행자의 속도상태를 나타내며 두 개의 상태로 나누어진다. 상태 1은 셀 간의 전이가 있는 상태를 의미한다. 상태 0은 셀 간 이동이 없는 상태를 각각 의미한다. 속도에 대한 상태천이확률 행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$S = \begin{bmatrix} s_{00} & s_{01} \\ s_{10} & s_{11} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 s_{ij} 는 상태 i 에서 상태 j 로의 천이확률을 나타낸다. 위의 2상태 천이모형은 단순한 Bernoulli 과정의 일반적인 형태이다. 이전의 속도상태가 1인 보행자들의 천이확률은 이전의 속도상태가 0인 보행자들의 천이확률과 다를 수 있다. 속도상태가 2개라고 해도 그 천이과정은 최소한 현재상태에는 의존적일 수 있는데, 이러한 점이 본 모형에는 반영되어 있다. 물론, $\det(S) = 0$ 이면, 속도상태 전이과정은 성공확률 다른 셀로 이동할 확률이 s_{01} 인 Bernoulli 과정이 된다.

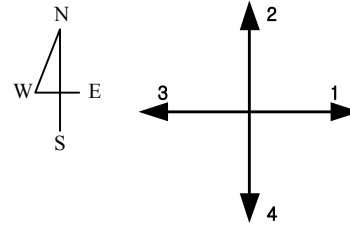


그림 2. 방향상태: 상태 1, 2, 3, 4.

다음으로, d 는 셀 간 천이시의 4가지 방향상태를 나타낸다. <그림 2>와 같이, 방향상태 1, 2, 3 그리고 4이다. 여기서 방향이라 함은 보행자가 실제로 움직이는 방향을 의미하는 것이 아니라, 셀 간 천이방향을 의미한다. 예를 들어, 어떤 보행자가 <그림 1>의 셀 (1,1)에서 셀 (1,2)로 이동했다고 가정했을 때, 본 논문에서 사용하는 방향은 “셀 (1,1)에서 셀 (1,2)로”를 의미하며 정의된 방향의 상태에 따라 방향상태는 1이 되는 것이며, “東향”을 의미하는 것은 아니다. 방향상태의 천이확률 행렬 $\{d_{ij}\}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 d_{ij} 는 방향상태 i 에서 방향상태 j 로의 천이확률을 나타낸다. 이때, 방향 천이에 대한 대칭성과 관성을 가정하면 어떤 실수(확률값) r_n 들이 존재하여 $d_{ij} = r_{i-j}$ 와 같이 나타낼 수 있다.

3. 셀 내 체류시간 및 그 잔여 체류시간

본 절에서는 임의의 보행자가 셀 내에 체류하는 시간의 분포 (cell dwell time distribution, 또는 probability distribution of dwell time in a cell)와 잔여 셀 체류시간의 분포 (residual cell dwell time distribution)를 수리적으로 분석한다. 셀 내 체류시간 분포는 보행자의 이동성과 셀의 생김새에 거의 전적으로 의존된다. 보편적으로, 통화량 분석 연구에서 셀의 생김새는 원형, 육각형, 사각형, 또는 이들의 유한한 조합형 등으로 단순화한다. 본 논문에서는 <그림 1>에서와 같이 피코 셀의 생김새를 사각형으로 모델링한다.

3.1 셀 내 체류시간

셀룰러 이동통신에서, 어떤 셀에 체류하는 어떤 이동국의 셀 내 체류시간 (CDT: cell dwell time)은 그 이동국이 그 셀 내에 지리적으로 체류하는 동안의 시간을 의미한다 (Yeun and Wong, 1998; Lee and Kim, 1999; Lee and Kim, 2000). (실질적

으로, 셀의 형태는 전과환경 등에 의하여 시간적으로 고정되어 있는 개념은 아니다. 그러나 그 정도가 매우 작은 경우, 대부분 고정되어 있는 것으로 간주한다.) 예를 들어, cell A에 시점 t_1 에 들어온 이동국이 시점 t_2 에 그 셀을 떠나 또 다른 셀 B로 들어갔다고 가정해 보자. 그렇다면, 이 이동국의 셀 A에서의 체류시간은 $t_2 - t_1$ 가 된다.

각 셀에 대한 셀 내 체류시간분포는 핸드오버 통화량 추정 에 필요한 핵심 정보를 갖고 있다. 즉, 잔여 셀 체류시간 분포와 현재 진행중인 통화의 개수를 통해 앞으로 얼마의 기간 동안 어느 정도의 핸드오버 요청이 있을 것인가를 예측할 수 있다. 이렇게 현재의 네트워크 정보와 과거의 자료를 이용한 통화량 예측은 단순한 과거자료를 통한 회귀분석보다 훨씬 막강하다. 이러한 주장에 대한 이론적 근거는 전혀 없다. 다만, 시계열 예측에 대한 이론에서의 3가지 가설에 근거할 뿐이다. 첫째는 불편추정이 편과추정보다 강하다는 것이고, 둘째는 과거 자료를 이용하는 불편추정이 그렇지 않은 불편추정보다 강하다는 것이고, 셋째는 현재의 상태가 고려된 과거자료를 이용한 불편추정이 과거자료를 이용한 불편추정보다 강하다는 가설이다. 이 가설에 따르면, 가까운 미래에 얼마만큼의 핸드오버 요청이 있을 것인가에 대한 예측에서 셀 내 체류시간과 진행중인 통화의 수를 이용한 예측은 가장 좋은 종류에 속한다. 이것 외에도, 셀 내 체류시간 분포는 채널 점유시간분포 등 다른 통화량 분석에 이용되기 때문에, 셀 내 체류시간분포 연구는 통화량 분석에서 초석이다.

D 를 셀 내 체류시간에 대한 이산확률변수라고 하고 n 을 연속적인 시간축을 이산화한 타임 스텝(time step)의 개수라고 할 때, 셀 내 체류시간분포는 다음과 같이 주어진다.

$$\Pr(D = n) = \begin{cases} s_{11} & , n = 1 \\ s_{10}s_{00}^{n-2}s_{01} & , n > 1 \end{cases} \quad (3)$$

이 분포의 평균을 구하면 다음과 같다.

$$E(D) = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot \Pr(D = n) = s_{11} + \frac{s_{10}}{s_{01}} + 1 \quad (4)$$

3.2 잔여 셀 체류시간

본 절에서는 임의의 보행자에 대해, 그가 체류하고 있는 셀에 얼마 동안 더 머무를 것인가에 대한 시간분포를 연구한다. 셀에 들어와서 나가기까지의 시간이 셀 내 체류시간이라면, 이미 셀에 들어와 있는 경우 어떤 관찰시점부터 나가기까지의 시간이 그 셀에서의 잔여 체류시간(residual cell dwell time)이 된다. R 을 잔여 셀 체류시간을 나타내는 이산확률변수라고 할 때, 잔여 셀 체류시간의 확률분포는 다음과 같이 주어진다.

$$\Pr(R = n) = s_{00}^{n-1}s_{01}, \quad n \geq 1 \quad (5)$$

3.3 수치예제

본 모형으로, 셀 내 체류시간분포와 잔여 셀 체류시간분포가 어떻게 나타나는지를 알아보기 위하여 세 가지 경우를 고려하였다. 경우 1 (CDT1 및 rCDT1), 경우 2 (CDT2 및 rCDT2), 그리고 경우 3 (CDT3 및 rCDT3)은 각각

$$S = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 0.55 & 0.45 \\ 0.4 & 0.6 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 \\ 0.3 & 0.7 \end{bmatrix}$$

의 값들을 이용하여 얻은 결과이다.

경우 1은 이동성의 속도에 있어서 그 천이확률이 동등한 경우이다. 이는 이전의 속도상태에도 아무런 확률적 의존도가 없는 경우에 해당한다. 이 경우, 식 (3)에서 볼 수 있듯이, 기하분포 (성공확률 = 0.5)와 정확히 일치한다. 반면에 경우 2와 경우 3에서는 속도상태 천이확률에 있어서 어느 정도의 관성이 반영된 경우이다. 즉, 속도상태가 0이던 보행자가 다음 스텝에서도 속도상태 0을 유지할 확률이 더 높고, 유사하게 속도상태 1이던 보행자가 다음 스텝에서 속도상태 1을 유지할 확률이 더 높다는 의미이다. 이 두 가지 경우에 있어서, 어떤 관찰시점에 셀로 (방금) 들어온 보행자가 셀을 나갈 확률이, 이미 들어와 있던 보행자가 셀을 나갈 확률보다 크다는 결론이 나온다. 이러한 현상이 <그림 3>에 나타나 있다. <그림 3>에서 경우 2와 경우 3을 보면, 첫째 스텝과 둘째 스텝에서 보이는 확률의 감소율이 다른 경우보다 매우 큼을 볼 수 있다. 이는 식 (3)에서도 확인할 수 있다.

다음으로 식 (5)에서 유도된 <그림 4>에서 알 수 있듯이, 잔여 셀 체류시간은 기하분포의 형태를 보인다. 즉, 속도상태 0을 유지할 확률이 경우 1에서 경우 3까지 0.05씩 증가하고 속도상태 1을 유지할 확률이 경우 1에서 경우 3까지 0.1씩 증가하였을 때, 속도상태 0을 유지할 확률이 더 작게 늘어났음에도 불구하고 잔여 셀 체류시간은 더 길게 나타났다. 참고로, 1스텝이 10초라고 할 때, 2스텝만큼 체류하였다면 체류시간은 스텝단위로 2이고 초단위로 20이 된다.

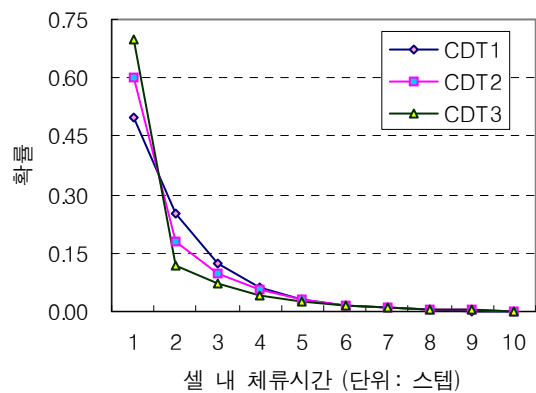


그림 3. 셀 내 체류시간분포

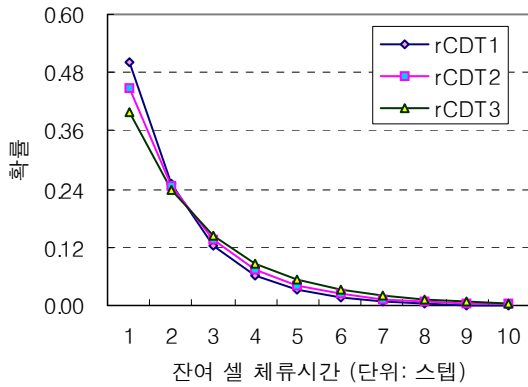


그림 4. 잔여 셀 체류시간분포.

4. 채널 점유시간

본 절에서는 임의의 보행자가 어떤 셀 내에 머무는 동안 통화를 위해 통신 널을 점유하고 있는 시간의 분포 (Guerin, 1987; Lee and Kim, 1998; Kim and Lee, Lee and Kim, 2001)를 수리적으로 분석한다. 채널 점유시간의 분포는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 핸드오버 통화의 채널 점유시간분포이고, 다른 하나는 신규 통화의 채널 점유시간분포이다.

한 셀 내에서 하나의 통화를 위해 채널이 점유되는 시간을 채널 점유시간(CHT: channel holding time)이라고 한다. 채널 점유의 시작은 신규 호의 시작이나 핸드오버 호의 시작 중 하나로 이루어지고, 채널 점유의 끝은 통화종료나 비정상종료(채널 부족으로 인한 핸드오버 실패, 잡음강도의 허용치 초과에 의한 통화제거 등의 강제종료, 전파환경상 음영지역으로의 이동 등) 중 하나로 이루어진다. 채널 점유의 끝은 통화의 종류(핸드오버 호, 신규 호)에 무관하지 않다. 즉, 핸드오버 호와 신규 호의 발생밀도가 셀 영역에서 다르게 나타나며 통화접속이 이루어졌다고 하더라도 기지국과의 지리적인 거리가 평균적으로 다르기 때문에, 잡음강도에 대한 핸드오버 호와 신규 호의 평균적 역할이 같지 않고 발생하는 통화제거율이 달라진다. 그러나 본 논문에서는 편의상 이러한 세부적인 사항을 의미 있는 요인으로 간주하지 않기로 한다. 다만, 통화의 시작형태가 핸드오버 호인지 신규 호인지를 구분하여 채널 점유시간이 어떻게 나타나는가를 분석한다.

4.1 핸드오버 통화의 채널 점유시간

핸드오버 통화의 채널 점유시간이란, 핸드오버에 성공한 통화가 해당 셀에서 채널을 점유하는 동안이 된다. 그러나 핸드오버 통화의 채널 점유시간을 유도하는 과정에는 핸드오버에 성공했는지의 여부는 관계가 없다. 다만, 총 통화들의 채널 점유 시간분포를 이론적으로 유도하는 과정에서는, 핸드오버 통화의 성공사건 개수와 신규 통화의 성공사건 개수의 평균치만

최소한 필요하다. 핸드오버 통화의 채널 점유시간분포는 그 성공 여부에 관계없고, 핸드오버 통화란 핸드오버 요청이 아닌 요청 중 성공사건만을 나타낸다.

핸드오버 통화의 채널 점유시간의 시작시점은 셀 내로 진입하는 시점으로 간주할 수 있다. 이때, 셀 체류시간과 잔여통화시간(residual call duration) 중 짧은 것이 핸드오버 통화의 채널 점유시간을 결정한다. T_H 를 핸드오버 통화의 채널 점유시간을 나타내는 이산확률변수라고 하고, C_R 을 핸드오버 통화의 잔여 통화시간을 나타내는 이산확률변수라고 하자. 그렇다면, 다음의 관계

$$T_H = \min(D, C_R) \quad (6)$$

를 얻을 수 있다. 여기서 두 확률변수 D 와 C_R 이 종속적이라고 주장할 근거가 불충분하므로, 둘 간의 독립성을 가정하면,

$$\begin{aligned} \Pr(T_H \geq n) &= \Pr(\min(D, C_R) \geq n) \\ &= \Pr(D \geq n) \cdot \Pr(C_R \geq n) \end{aligned} \quad (7)$$

와 같은 관계가 얻어진다. 여기서 핸드오버 통화의 채널 점유 시간분포의 확률질량함수(PMF: probability mass function)는 다음과 같이 간단히 구해진다.

$$\Pr(T_H = n) = \Pr(T_H \geq n) - \Pr(T_H \geq n + 1) \quad (8)$$

참고로, 관찰시점에 발생한 신규 통화의 잔여 통화시간은 나이가 0인 핸드오버 통화의 잔여시간 C_R 으로도 간주할 수 있다.

4.2 신규 통화의 채널 점유시간

신규 통화의 채널 점유시간의 시작시점은 신규 통화의 채널 점유 시작시점으로 간주할 수 있다. 이때, 잔여 셀 체류시간과 통화시간(call duration) 중 짧은 것이 신규 통화의 채널 점유시간을 결정한다. T_N 을 신규 통화의 채널 점유시간을 나타내는 이산확률변수라고 하고, C 를 신규 통화의 통화시간을 나타내는 이산확률변수라고 하자. 그렇다면,

$$T_N = \min(R, C) \quad (9)$$

와 같은 관계를 얻을 수 있다. 여기서 두 확률변수 R 과 C 가 종속적이라고 주장할 근거가 불충분하므로, 둘 간의 독립성을 가정하면,

$$\begin{aligned} \Pr(T_N \geq n) &= \Pr(\min(R, C) \geq n) \\ &= \Pr(R \geq n) \cdot \Pr(C \geq n) \end{aligned} \quad (10)$$

와 같은 관계가 얻어진다. 여기서 신규 통화의 채널 점유시간 분포의 확률질량함수는 다음과 같이 간단히 구해진다.

$$\begin{aligned} \Pr(T_N = n) &= \Pr(T_N \geq n) - \Pr(T_N \geq n + 1) \\ &= \Pr(R \geq n) \cdot \Pr(C \geq n) \\ &\quad - \Pr(R \geq n + 1) \cdot \Pr(C \geq n + 1) \end{aligned} \quad (11)$$

4.3 채널 점유시간

한 셀에 존재하는 총 통화(총 성공사건의 개수) 중 핸드오버 통화(핸드오버 성공사건의 개수)의 비율을 나타내는 확률변수 X 에 대하여, 일반적인 채널 점유시간 T 는 무조건화를 통하여 다음과 같이 정리할 수 있다(Zonoozi, 1998).

$$\Pr(T = n) = \Pr(T_H = n) \cdot \theta + \Pr(T_N = n)(1 - \theta) \quad (12)$$

단, $\theta = E(X)$ 이다.

4.4 수치예제

채널 점유시간분포의 예는 제3.3절에서 이용된 모수들의 값(경우 3)과 통화시간분포로 기하분포(성공확률: 0.1)를 이용하였다. 이 예제에서 핸드오버 통화의 평균 채널 점유시간은 1.59스텝(15.9초)이고, 신규 통화의 평균 채널 점유시간은 2.17스텝(21.7초)이다. 이 예제에서 핸드오버 통화가 신규 통화보다 채널을 더 짧게 점유하는 것으로 나타난 이유는 이전의 속도상태가 높은 보행자가 역시 더 높은 확률로 피코 셀을 벗어나는 상태(모수 값을 그러하도록 잡은 예제임)를 나타내고 있기 때문이다.

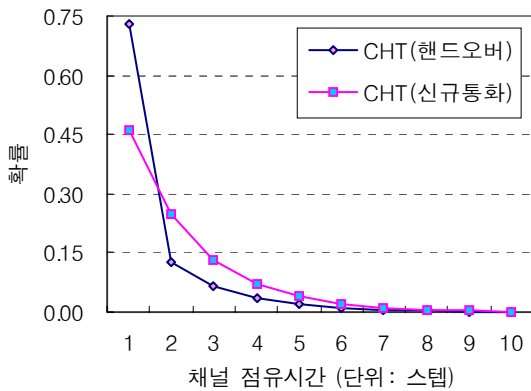


그림 5. 채널 점유시간분포: 핸드오버 통화 및 신규 통화.

5. 핸드오버 요청횟수 분석

핸드오버 요청횟수 분석은 핸드오버와 신규 통화요청을 차별적으로 수락하는 정책에서, 핸드오버 통화 요청횟수의 정보는 예비해야 할 자원의 경제적 양을 결정하는 기준으로 이용될 수 있다. 셀의 크기가 작을수록 핸드오버 요청횟수를 예측하는 것은 정확도가 낮아진다. 셀의 크기가 작아지면, 셀 간 통화

량 천이의 추계적 과정은 이동성에 더 큰 영향을 받고 네트워크 내의 통화량 조건의 변화가 커지기 때문에, 피코 셀 환경에서는 핸드오버 요청횟수에 대한 작은 분산을 갖는 예측을 하기가 어렵다. 그러므로, 피코 셀 환경에서는 매크로 셀 환경과는 달리, 보행자의 가변적 이동성 특성이 반영된 모형으로 핸드오버 요청횟수에 대해 분석하는 것이 필요하다.

5.1 핸드오버 요청횟수의 확률분포

주파수 자원의 효율도 (utilization) 향상은 제3세대 이동통신 네트워크에서도 역시 매우 중요한 문제이다. 네트워크에 대한 다양한 형태의 무선접속 수요가 매우 높기 때문에 사업자에게 있어서 가용 주파수 자원의 제약에서 오는 서비스 품질도 (QoS: quality-of-service)에 대한 부담은 제2세대 이동통신 네트워크에서보다 오히려 크다. 셀룰러 이동통신 시스템에서 주파수 자원의 효율도를 높이는 문제는, 사용자들의 선호도로부터 정의될 수 있는 고유의 ‘우선수락 문제’를 포함하고 있다. 즉, 핸드오버 통화에 대한 서비스가 신규 통화에 대한 서비스보다 우선한다. 주파수 자원의 효율도를 높이면서 신규 통화 수락보다 우선순위가 높은 핸드오버 요청을 수락하기 위해서는 신규 통화요청의 발생량은 물론, 핸드오버 통화요청의 발생량을 네트워크의 통화량에 민감하게 시시각각으로 정확히 추정해 내어야 한다.

본 절에서는 피코 셀 환경에서 일어날 수 있는 핸드오버 요청이라는 확률적 사건의 개수에 대해 분석해 본다. 본 연구는 이산시간적 접근에 기초를 둔다는 것을 상기시키고자 한다. 어떤 주어진 시점을 기준으로 하여 다음 스텝에 몇 개의 핸드오버 요청이 있을 것인가를 알기 위해서는, 그 시간 동안 k 개의 핸드오버 요청이 있을 확률을 알아야 할 것이다. 이러한 분석을 위해 두 개의 확률변수 M_H 와 M 을 정의한다. M_H 는 다음 스텝 동안 일어나는 핸드오버 요청의 개수를 나타내는 정수형 확률변수이고, M 은 현재 스텝에 진행중인 총 통화의 개수를 나타내는 정수형 확률변수이다. 단, 이 정의에서 현재 스텝이란, 이산적인 시간축 상에서 임의의 관찰시점이 된다.

진행중인 어떤 하나의 통화에 대해, 그것이 핸드오버를 요청할지 여부는 Bernoulli 확률과정으로 모형화할 수 있다. 그렇다면, 어떤 하나의 관찰시점(스텝)에서 m 개의 독립적인 통화 중 k 개의 핸드오버 요청이 있을 확률은 Binomial 확률분포로 모형화할 수 있다. 즉,

$$\Pr(M_H = k | M = m) = \binom{m}{k} \beta^k (1 - \beta)^{m-k} \quad (13)$$

이 되며, β 는 임의의 진행중인 통화가 다음의 스텝에서 핸드오버를 요청할 확률을 나타낸다. β 를 수식적으로 표현하기 위하여, 나이가 i 스텝인 통화가 핸드오버를 요청할 확률 β_i 를 정의한다. 다음의 식에서 $C_R(i)$ 는 i 스텝만큼의 나이를 먹은 진행중인 통화의 잔여 통화시간을 나타내며, 그 이미지 (image)

는 $\{1, 2, 3, \dots\}$ 이다. $C_R(i) = 1$ 이면 현재 관찰중인 셀에서 통화가 종료되는 것을 나타내므로, 그 값이 2 이상이 되어야 하는 조건이 요구된다. 그러나 이 조건과 이동성에 대한 확률사건은 독립으로 볼 수 있으므로, 다음의 관계로 확률 β_i 를 표현할 수 있다.

$$\beta_i = (\psi_0 s_{01} + \psi_1 s_{11}) \Pr(C_R(i) \geq 2) \quad (14)$$

단, ψ_i 는 속도의 상태 i 에 대한 균형상태 확률(steady-state probability)을 나타낸다. 그렇다면, 확률 β 는 확률 β_i 들에 대한 무조건화를 통하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\beta = \sum_{i=0}^{\infty} \beta_i \gamma_i \quad (15)$$

단, γ_i 는 관찰시점의 총 통화들 중 나이가 i 스텝인 통화의 비율을 나타낸다. 이는 시간적으로 변하는 값이지만, 평균적으로 총 통화의 개수분의 일이 된다.

이상을 토대로, 평균 핸드오버 요청 개수를 구하면,

$$E(M_H | M = m) = m\beta \quad (16)$$

와 같이 얻어진다. 이를 구한 저변에는 각 통화들 간의 이동성 및 통화시간의 확률변수들이 독립적이라는 가정이 필요하다.

5.2 수치예제

본 예제에서는 제3.3절에서 제시된 경우 3의 모수 값들을 이용하였다. 그리고 통화시간분포는 성공확률이 0.1인 기하분포를 가정하였으며, 관찰시점에 관찰중인 셀 내에서 진행중인 통화가 15개라고 가정하였다. 이때, 핸드오버 요청의 평균 개수는 7.7개이다. 단, 여기서 핸드오버는 밖으로 나아가는 핸드오버를 계산한 결과이다. 안으로 들어오는 핸드오버는 역으로, 주변 셀의 방향상태와 속도상태를 고려하여 간단히 구할 수 있다.

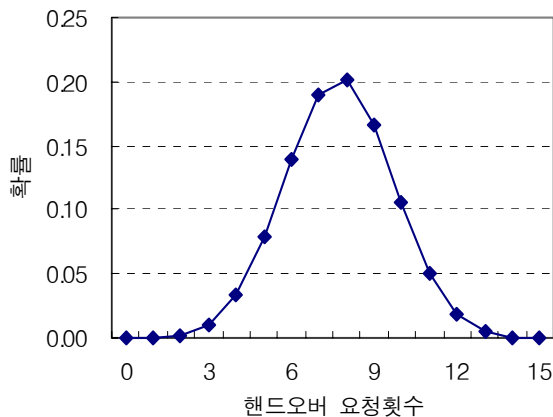


그림 6. 핸드오버 요청횟수의 확률분포.

6. 클러스터 간 핸드오버 횟수의 확률분석

통화중인 보행자가 수백 혹은 수천 개의 피코 셀로 구성된 셀룰러 시스템에서 이동중이라고 가정해보자. 물론 차량 이동국도 피코 셀 내에서 서비스를 받을 수도 있다. 하나의 셀룰러 시스템 내에 매우 많은 셀들이 존재한다면, 이들을 통하여 이동국에게 통화연결 및 이동성에 따르는 경로 재설정(핸드오버 및 라우팅)을 효율적으로 처리하는 것은 매우 중요한 문제이다. 그 효율성을 위하여, 다단계 계층구조가 사용되기도 한다. 보통의 핸드오버라고 함은 셀과 셀 사이에 일어나는 라디오 링크의 재설정을 의미한다. 그러나 핸드오버에는 동일 셀 내 핸드오버 (intra-cell handover)와, 셀들의 군집인 클러스터 (cluster: 셀 군집, 계층적으로 셀의 상위 레벨. <그림 1>은 49개의 셀로 구성된 클러스터의 예를 보여줌) 간 핸드오버 (inter-cluster handover) 등이 있다. 동일 셀 내 핸드오버는 통화품질 저하로 인하여 더 이상 사용중인 현재의 채널을 이용하지 않는 것이 합당한 경우, 새로운 채널로의 연결 재설정이나 혹은 섹터화 되어 있는 셀에서 섹터 간 핸드오버 (inter-sector handover) 등을 포함한다. 반면에 클러스터 간 핸드오버는 표면적으로 볼 때, 셀 간 핸드오버와 동일하다. 그러나, 이전 셀과 새로운 셀이 포함되어있는 클러스터가 다르다는 것이 차이점이다. 따라서 클러스터 간 핸드오버에서는 셀 간 핸드오버와는 달리 경로 재설정 (re-routing)의 필요성이 존재한다.

본 절에서는 클러스터에 체류하는 시간분포와 클러스터 간 핸드오버 횟수에 대한 확률분포에 대해 다룬다. 위치등록영역 (location area)도 하나의 클러스터 개념으로 간주할 수 있으며, 이에 대한 접근 (Yeun & Wong, 1998)도 클러스터 내 체류시간 분석에 활용될 수 있다.

6.1 클러스터 내 체류시간 분포

본 절에서는, 본 논문에서 제안하는 보행자 이동성 모형을 기반으로 클러스터에 임의의 보행자가 체류하는 시간의 확률분포를 분석한다. 클러스터 내 체류시간 (CCDT: cell cluster dwell time)을 수리적으로 표현하기 위하여, 각 위치등록 영역에 고유한 직교좌표계 (X, Y) (단, $X, Y \in \{\dots, -1, 0, +1, \dots\}$)를 정의하고 각 셀들을 이 좌표계를 이용하여 (i, j) 의 형식으로 표기하며, 두 개의 확률 $H_{ij}^d(n)$ 과 $L_{ij}^d(n)$ 을 정의한다. $H_{ij}^d(n)$ 은 셀 (i, j) 로 들어온 보행자가 현재의 클러스터를 들어온 시점을 기준으로 n 스텝만에 벗어날 확률이고, $L_{ij}^d(n)$ 은 셀 (i, j) 에 있던 보행자가 현재의 클러스터를 n 스텝만에 벗어날 확률이다. $H_{ij}^d(n)$ 과 $L_{ij}^d(n)$ 의 차이는 관찰시점에 셀로 들어왔다는 것은 속도상태가 1임을, 셀에 있었다는 것은 속도상태가 0임을 각각 나타내는 것뿐이다. 관찰시점에 셀로 들어왔다는 것은 속도상태가 1임을, 셀에 있었다는 것은 속도상태가 0임을 각각 의미한다.

이와 같은 정의를 이용하여, 각 클러스터에 대해 다음의 재

귀적인 관계 (17) 및 (18)과 경계조건 (19)를 얻을 수 있다 ($n \geq 1$). 식 (17)에서 $H_{ij}^1(n)$ 이 그 우변과 같이 표현된 것은 다음과 같이 설명된다. $H_{ij}^2(n)$ 은 보행자가 n 스텝만에 현재의 클러스터를 벗어날 확률이다. 현재의 속도상태는 1이므로 ($H_{ij}^2(n)$ 의 H) 다음의 속도상태가 1이거나 0이 되는 것에 따르는 조건부 확률 s_{11} 과 s_{10} 이 각각 곱해진 두 항의 합으로 무조건화된 식으로 표현된다. 다음의 속도상태가 1로 나타날 경우, 그때의 방향상태에 따라 어느 쪽의 셀로 천이하였는가에 따라 r_0 , r_1 , r_2 가 각각 곱해진 네 개(좌우 두 방향의 r_1)의 항의 합으로 무조건화된 식으로 표현된다. r_0 의 경우, 기존의 방향상태 1 ($H_{ij}^2(n)$ 의 위첨자 1)이 유지되어 보행자는 셀 (i, j)에서 셀 ($i+1, j$)로 이동할 것이며, 한 스텝이 지난 시점에서 속도상태는 1, 방향상태는 1인 보행자는 1스텝의 나이를 먹었으므로, $n-1$ 스텝만에 클러스터를 벗어날 확률이 곱해진다. 이와 같은 방법으로 나머지 경우들을 설명할 수 있다. 만일, 이동해 간 셀이 클러스터 밖의 셀인 경우는 경계조건 (19)에 따라 확률 값이 계산된다.

$$\begin{aligned} H_{ij}^1(n) &= s_{11}\{r_0 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_1 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_2 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_1 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{10}\{r_0 L_{i,j}^1(n-1) + r_1 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_2 L_{ij}^3(n-1) + r_1 L_{ij}^4(n-1)\} \\ H_{ij}^2(n) &= s_{11}\{r_1 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_0 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_2 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{10}\{r_1 L_{i,j}^1(n-1) + r_0 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 L_{ij}^3(n-1) + r_2 L_{ij}^4(n-1)\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} H_{ij}^3(n) &= s_{11}\{r_2 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_1 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_0 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_1 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{10}\{r_2 L_{i,j}^1(n-1) + r_1 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_0 L_{ij}^3(n-1) + r_1 L_{ij}^4(n-1)\} \\ H_{ij}^4(n) &= s_{11}\{r_1 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_2 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_0 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{10}\{r_1 L_{i,j}^1(n-1) + r_2 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 L_{ij}^3(n-1) + r_0 L_{ij}^4(n-1)\} \\ L_{ij}^1(n) &= s_{01}\{r_0 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_1 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_2 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_1 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{00}\{r_0 L_{i,j}^1(n-1) + r_1 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_2 L_{ij}^3(n-1) + r_1 L_{ij}^4(n-1)\} \\ L_{ij}^2(n) &= s_{01}\{r_1 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_0 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_2 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{00}\{r_1 L_{i,j}^1(n-1) + r_0 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 L_{ij}^3(n-1) + r_2 L_{ij}^4(n-1)\} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} L_{ij}^3(n) &= s_{01}\{r_2 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_1 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_0 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_1 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \\ &\quad + s_{00}\{r_2 L_{i,j}^1(n-1) + r_1 L_{ij}^2(n-1) \\ &\quad + r_0 L_{ij}^3(n-1) + r_1 L_{ij}^4(n-1)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{ij}^4(n) &= s_{01}\{r_1 H_{i+1,j}^1(n-1) + r_2 H_{i,j+1}^2(n-1) \\ &\quad + r_1 H_{i-1,j}^3(n-1) + r_0 H_{i,j-1}^4(n-1)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ s_{00}\{r_1 L_{i,j}^1(n-1) + r_2 L_{ij}^2(n-1) \\ &+ r_1 L_{ij}^3(n-1) + r_0 L_{ij}^4(n-1)\} \end{aligned}$$

$$H_{ij}^d(0) = \begin{cases} 1, & \text{if } i=0 \text{ and } d=3; \\ & \text{if } i=z+1 \text{ and } d=1; \\ & \text{if } j=0 \text{ and } d=4; \\ & \text{if } j=z+1 \text{ and } d=2; \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

$L_{ij}^d(0) = 0$;
모든 n 에 대해 (i, j) 셀이 해당 클러스터에 포함되지 않았을 때,
 $H_{ij}^d(n) = 0, L_{ij}^d(n) = 0$

단, z 는 클러스터의 크기를 나타낸다. 클러스터가 정사각 모양인 경우, 클러스터 내의 셀의 개수는 z^2 개가 된다. 이와 같은 결과를 이용하여, 클러스터 내에 체류하는 시간의 확률 분포함수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(T_{DH} = n) &= \sum_{j=1}^z (w_{1j} H_{1j}^1(n) + w_{zj} H_{zj}^3(n)) / \\ &\quad \sum_{j=1}^z (w_{1j} + w_{zj}) \\ &\quad + \sum_{i=1}^z (w_{i1} H_{i1}^2(n) + w_{iz} H_{iz}^4(n)) / \\ &\quad \sum_{i=1}^z (w_{i1} + w_{iz}) \end{aligned} \quad (20)$$

단, w_{ij} 는 셀 (i, j)에 있는 보행자의 상대밀도를 나타내며, $\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^z w_{ij} = 1$ 이 된다.

6.2 클러스터 간 평균 핸드오버 횟수 분석

본 절에서는 피코 셀 환경에서 일어날 수 있는 클러스터 간 핸드오버라는 확률적 사건의 개수에 대해 분석해 본다. 일반적인 셀룰러 시스템에서도 클러스터 간 핸드오버는 정의될 수 있다. 그러나, 랜덤 워크 모형으로 일반적인 셀룰러 시스템 내의 클러스터 간 핸드오버를 모형화하기에는 하나의 시간 스텝의 길이가 셀의 크기가 큰 만큼 길어야 하기 때문에 오류의 범위가 크다. 피코 셀 환경에서 랜덤 워크 모형을 적용하기에 적합한 이유가 여기에 있다.

다음의 정의를 이용하여, 어떤 주어진 시점의 다음 스텝에 일어나는 클러스터 간 핸드오버의 평균적인 횟수를 분석한다.

[정의 1] 클러스터 간 인접 셀: 두 상이한 클러스터 a 와 b 를 생각해보자. 클러스터 a 에 속한 셀들 중, 그 안에 머물고 있는 보행자가 한 스텝만에 클러스터 b 로 천이할 확률이 0보다 큰 셀을 ‘클러스터간 인접 셀’이라고 정의한다. 특히, ‘클러스터 b 에 대한 클러스터 a 의 클러스터간 인접 셀’이라 함은 클러스터 a 에 속한 ‘클러스터간 인접 셀’이라고 정의한다.

[정의 2] $S(a, b)$: 클러스터 b 에 대한 클러스터 a 의 클러스터 간 인접 셀들의 집합

[정의 3] $D^*(c_a, c_b)$: 클러스터 a 에 속한 셀 c_a 에서 클러스터 b 에 속한 셀 c_b 로 한 스텝만에 천이할 수 있는 방향상태의 집합

[정의 4] $G(k, l, c_a)$: 클러스터 a 에 속한 셀 c_a 에 머무는 보행자 중 속도상태가 k 이고 방향상태가 l 인 보행자의 개체 수

그렇다면, 두 클러스터 a 와 b 에 대하여, a 에서 b 로의 평균 핸드오버 횟수 ψ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\psi = \sum_{c_a \in S(a,b)} \sum_{c_b \in S(b,a)} \sum_{k=0}^1 \sum_{l=1}^4 (G(k, l, c_a) \cdot s_{kl} \sum_{l \in D^*(c_a, c_b)} d_{ll}) \quad (21)$$

6.3 수치예제

클러스터 내 체류시간의 분포를 구하기 위해서 49개의 셀을 포함하는 정사각형 모양의 클러스터를 고려하였다. 다음의 <그림 7>은 이 49-셀 클러스터에서의 보행자들이 체류하는 시간분포를 보여주고 있다. w_{ij} 의 값들을 균일하지 않게 줌으로써 셀 간의 비균일 보행자분포를 풀어낼 수 있다. 여기서 그 값들은 랜덤하게 발생시킨 값을 이용하였다. 경우 갑과 경우 을 모두 제3.3절에서 사용된 경우 3의 모수 값을 이용하였다. 경우 갑에서는 방향상태 천이확률에서 $r_0 = 1$ 로 둔 경우이며, 경우 을에서는 그것을 $r_0 = 0.92$, $r_1 = 0.04$ 로 둔 경우이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 방향 변화가 적은(없는) 경우에 (즉, 경우 갑) 체류시간이 더 짧게 나타남을 알 수 있다.

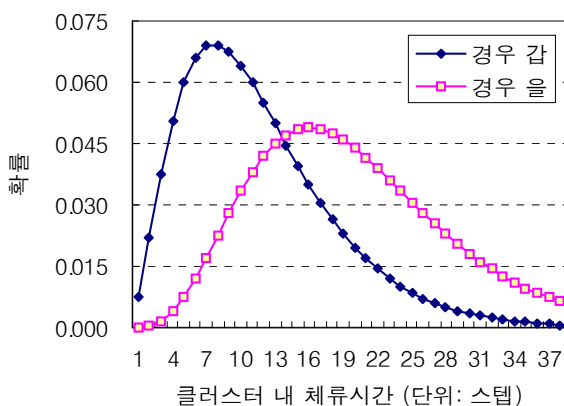


그림 7. 클러스터 내 체류시간분포.

7. 결론

본 논문에서는 피코 셀 환경에서 발생하는 보행자들의 매우

불규칙적인(랜덤한) 이동성을 가변적인 속도상태와 가변적인 동시에 추계적인 상관관계(관성)를 갖는 랜덤 워크 모형으로 분석할 수 있는 분석모형을 제안하였다. 이러한 모형을 통해 통화량 분석에 있어서 기존의 모형이 갖는 한계점을 개선하였는데, 그 요점은 보행자의 이동속도와 방향상태의 가변성 및 추계적 관성을 반영한 것이다. 그리고 제시된 모형을 이용하여 셀 내 체류시간분포, 채널 점유시간분포, 핸드오버 요청횟수의 분포, 클러스터 간 핸드오버 횟수 분석 등에 대한 결과를 얻었고, 이동성에 있어서 직선적인 운동을 강하게 하면 할수록 채널 점유시간과 영역 내 체류시간은 짧게 나타나는 등의 실험적 결과를 얻었다. 본 논문에서 제시된 접근 방법을 통해 변화무쌍한 이동성을 갖는 보행자의 통화량에 대한 분석을 한층 현실적인 방향으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

Fang, Chlamtac and Lin, Channel Occupancy Times and Handoff Rate for Mobile Computing and PCS Networks, *IEEE Transactions on Computers*, **47**(6), pp. 679-692, 1998.

Guerin, R.A. (1987), Channel occupancy time distribution in a cellular radio system, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **35**(3), 89-99.

Jabbari, B., Zhou, Y. and Hiller, F. (1998), Random walk modeling of mobility in wireless networks, *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, Ottawa, Canada, **1**, 639-643.

Kim, S. and Lee, K. D. (2001), Modelling user mobility in micro-cellular systems, *IATED International Journal of Modelling and Simulation*, **21**(2), 132-137.

Lee, K. D. and Kim, S. (1998), Channel holding time modeling in urban CDMA networks considering random user mobility, *Proc. 3rd CDMA International Conf.*, **1**, 147-151.

Lee, K. D. and Kim, S. (1999), Area residence time modeling in PCS networks, *Proc. Korean Operations Research and Management Science Conf.*, **1**, 583.

Lee, K.-D. and Kim, S. (2000), Modeling and analysis of variable user mobility in future wireless personal communications, *Proc. INFORMS/KORMS Joint Conf.* (CD-ROM, No. 4412), Seoul, Korea.

Lee, K. D. (2001), *Stochastic optimal resource management for prioritized admission in broadband wireless communications*, Ph.D. thesis, KAIST.

Lee, K.-D. and Kim, S. (2002), Modeling variable user mobility with stochastic correlation concept, *Computer Networks*, **38**, pp. 603-612, 2002.

Marrison, P. G. and Patel, N. M. (1994), *Performance Modelling of Communication Networks and Computer Architecture*, Addison-Wisley.

Ross, S. M. (1993), *Introduction to Probability Models*, 5th ed., Academic Press.

Wolff, R. W. (1989), *Stochastic Modeling and the Theory of Queues*, Prentice-Hall.

Yeun, W. H. A. and Wong, W. S. (1998), A dynamic location area assignment algorithm for mobile cellular systems, *Proc. IEEE ICT*, **3**, 1385-1389.

Yum, T.S.P. and Yeung K.L. (1995), Blocking and handoff performance analysis of directed retry in cellular mobile systems, *IEEE Trans. Veh. Tech.*, **44**(3), 645-650.

Zonoozi, M.M., and Dassanayake, P. (1998), User mobility modeling and characterization of mobility pattern, *IEEE J. Selected Areas Commun.*, **15**(7), 1239-1252.