

보행자 이동성을 고려한 Picocell시스템의 핸드오버 통화량 분석

이기동¹, 장근영², 김세현³

¹ ETRI 무선방송기술연구소 ² 신라대학교 경영학부, ³ KAIST 산업공학과,

E-mail: kidian@icee.org, Phone: 042-860-5225, FAX: 042-860-5454

요약문

마이크로셀 시스템에서 트래픽(통화량) 성능은 가입자(사용자)들의 이동성에 민감한 영향을 받는다. 셀 내 체류시간 및 채널점유시간은 이동 속도 및 방향의 추계적인 변화에 의하여 특성지어진다. 셀 내 체류시간은 채널점유시간과 같은 통화량 성능을 분석하는데 기초적으로 이용되는 중요한 정보를 제공한다. 차세대 이동통신 네트워크로 진화해 가는 과정에서 증가하는 사용자들의 접속요청을 수용하고 주파수 효율도를 높이기 위하여 셀의 크기는 매우 작아진다. 셀의 크기가 작아질수록 통화량 성능은 사용자들, 특히 보행자들의 가변적인 이동성에 더욱더 영향을 받게 된다. 단순화된 모형을 이용한 기존연구는 제2세대 이동통신에서는 수용할만한 정확성을 보였으나, 통화량 분포의 변화가 시간적으로 크고, 보행자의 이동성에 영향을 많이 받는 picocell (피코셀)의 특성을 적절히 반영하지 못하여 성능분석의 정확성을 기대하기 어렵다. 보행자의 가변적인 이동성을 수리적으로 분석하기 위하여 랜덤 워크 (random-walk) 모형을 적용하여 기존의 연구보다 개선시킨 확률모형을 제안한다. 제안된 모형으로 추계적 상관관계가 있는 보행자 이동성의 가변적 특성을 분석할 수 있다. 주요 통화량 성능지표를 제안된 모형으로 분석하였다.

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

1. 서론

통신시스템의 가장 근본적인 혁명이 무선(wireless)에 있다면, 무선통신시스템의 가장 기본적인 혁명은 셀룰러 개념 (cellular concept)에 있다고 할 수 있다. 서비스 영역을 셀룰러 분할을 통하여, 제한된 주파수 자원의 효율도를 높이는 것이 가능해졌으며, 이 단 한 가지의 범주에서 매우 광범위한 연구들이 주파수 자원의 최적 운용을 목적으로 이루어져 왔다. 1960년대 Bell Labs의 Cellular Concepts 제안 이래, 아직 발전의 방향이 남았음에도 불구하고, 제2세대 셀룰러 이동통신 시스템은 그 서비스에 있어서 세계적으로 상당히 많은 가입자를 보유하고 있으며, 제 3세대 멀티미디어 고속 이동통신 서비스인 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication after the year 2000)이 시험운용 중이고 곧 서비스에 들어갈 예정이다.

제 3세대 이동통신에서는 현재 대략 9.6kbps로 서

비스 중인 음성중심의 CDMA 서비스 또는 동급의 무선데이터 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 서비스 지역성 등의 한계에 대한 극복으로 정의할 수 있다. 이를 위하여, 지상 네트워크와 위성 네트워크의 통합적 서비스, 셀 재계획 (cell re-planning) 등이 필요하다. 특히, 기하급수적으로 늘어날 것으로 추정되고 있는 데이터 통신량을 수용하기 위하여 셀의 크기는 현재의 마이크로 셀보다도 지역에 따라 매우 작아져야 할 필요가 있다.

또한 제2세대로부터 진화된 셀룰러 이동통신 이외에, 무선 멀티미디어 IP 네트워크, 옥내환경의 무선 네트워크 등의 활성화가 예상되며, 대량의 무선자원에 대한 요구가 발생할 것으로 추정된다. 이에 따라, 셀의 크기가 현재보다 작아질 필요성이 대두되었다. 이러한 무선통신의 개념은 기존의 '이동성' 지원의 개념에서 '언제 어디서나 할 수 있는 통신'에 대한 지원의 개념으로 구체화되었다. 즉, 이동 중에 할 수 없었던 통신을 지원하는 것이 주된 기여도였던 제1, 2세대 통신과는 다른, 살아가는 동안 어느 곳에서 필요할 때 언제든지 할 수 있는 통신의 개념으로 전환되었다.

이러한 새로운 요구를 충족시키기 위해 제안된 피코셀 (picocell) 시스템에서는 기존의 분석 모형으로 접근하여 해결할 수 있었던 이동성 분석, 통화량 분석 (traffic analysis) 등이 매우 부정확한 결과를 보이게 된다. 이는 셀의 크기가 작아지면, 셀간 통화량 이동의 확률적 과정은 이동국의 이동성에 매우 민감해지기 때문이다. 또한, 특성상 차량 이동국보다 랜덤한 보행자들의 이동성을 반영하기 어려운 기존의 모형으로는 적절한 통화량 분석을 해내기 어렵다는 이유도 있다.

통화량 분석을 위한 기존의 연구에서는 대부분 이동성을 전혀 고려하지 않거나 단순한 이동성만을 고려하는 확률모형을 이용하고 있고, 확률적으로 좀더 복잡한 현상을 반영할 수 있는 랜덤 워크 (random walk) 모형을 이용하는 연구가 있기는 하지만 추계적인 상관관계는 거의 고려하지 못하고 있다. 기존의 연구를 구체적으로 살펴보면, Guerin (1987)은 비가변적인 속도와 임의로 선택된 고정적인 운동방향을 가정하여 셀 내 체류시간 및 채널 점유시간의 확률분포를 연구하였다. Yum과 Yeung (1995)은 Guerin

(1987)의 모형과 유사한 이동국의 이동성에 대한 가정 하에 directed retry 기법을 이용할 때의 핸드오버(핸드오프) 성능을 분석하였다. Zonoozi와 Dassanayake (1998)는 이동국의 이동성을 방향상태에 대해 자세히 분석하여, 시뮬레이션을 통하여 셀내 체류시간분포가 일반화된 감마(gamma) 분포로 매우 정확하게 근사화 될 수 있음을 보였다. Jabbari (1998)등은 기본적인 랜덤 워크(random walk) 모형을 이용하여 셀내 체류시간분포를 분석하였다. Lee와 Kim (1998, 2001)은 이산시간 마야코프 체인에 따라 속도 상태와 방향상태가 추계적으로 변화하는 보다 일반화된 랜덤 워크 모형을 제안하여 기초적인 통화량을 분석하였다.

피코 셀 환경에서는 통화량에 대한 성능척도들이 이동국의 이동성에 매우 민감하게 영향을 받고, 따라서 이동국의 매우 가변적인 이동성의 추계적 행태를 반영한 모형으로 통화량 분석을 해야 할 필요가 있다. 그러나, 앞에서 언급한 기존의 연구에서는 가변적이고 추계적으로 상관관계가 있는 이동성 행태를 적절히 수리적으로 표현하지 못하고 있다 (Kim & Lee, 2001; Lee, 2001). 본 논문에서는 기존의 모형들이 갖고 있는 제한점을 보완하기 위해 보행자 이동국의 가변적인 이동성을 보다 구체적으로 반영하는 수정된 랜덤 워크 모형을 제안하고, 이에 바탕을 두어 보행자 이동국의 셀내 체류시간의 확률분포, 채널점유시간의 확률분포, 핸드오버 요청회수의 확률분포, 그리고 클러스터간 핸드오버 요청회수 등을 분석한다.

2. 보행자 이동성 모형

이동통신 서비스의 이동국(mobile station)들은 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 정확성을 보이는 것으로 알려졌다 (Lee, 2001). 그러나, 보행자 이동국의 경우, 그 이동성은 차량이동국의 이동성과는 매우 다른 특성을 보인다. 비록 차량 이동국의 이동성도 랜덤한 성질을 갖지만, 이들은 이동하는 속도나 방향에 있어서 보행자보다 훨씬 큰 관성(inertia)을 보인다. 즉, 보행자만큼 수시로 방향이나 속도가 변하지 않는다. 보행자는 이동하는 속도나 방향에 있어서, 차량 이동국보다 훨씬 더 확률적인 변화정도가 크다. 이러한 관점에서 볼 때, 기존의 직선형 이동성 모형은 보행자 이동국의 이동성을 모형화 하는데 있어서 타당하지 못하다.

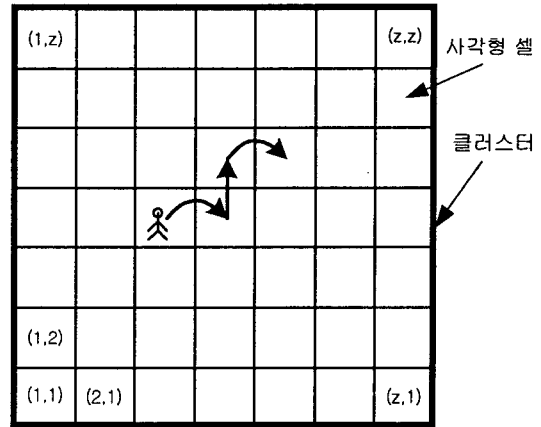


그림 1. 보행자의 2차원 랜덤 워크 모형: 49셀 예

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

여기서 s 는 이동성 상태 중 하나의 요소인 속도 상태를 나타내며 두 개의 상태로 나누어진다. 상태 1은 셀간의 전이가 있는 상태를 의미한다. 즉, 셀 A에서 셀 B로 이동하였다면, 이는 속도 상태가 1임을 나타내는 것이다. 상태 0은 셀간 전이가 없는 상태를 의미한다. 즉, 셀 A에 머무르고 있다면, 이는 속도 상태가 0임을 나타낸다. 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 천이 모형은 단순한 Bernoulli 과정의 일반적인 형태이다. 이전의 속도상태가 1인 보행자들의 천이확률은 이전의 속도상태가 0인 보행자들의 천이확률과 다를 수 있다. 속도 상태가 2개라고 해도 그 천이과정은 현재상태에는 최소한 의존적일 수 있는데, 이러한 점이 본 모형에는 반영되어 있다. 물론, $\det(S)=0$ 이면, 속도상태 전이과정은 성공확률(다른 셀로 이동할 확률)이 s_{01} 인 Bernoulli 과정이 된다.

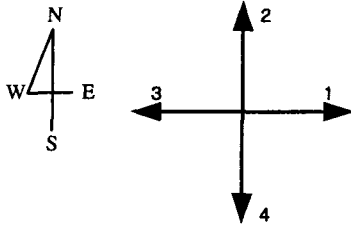


그림 2. 방향상태: 상태 1, 2, 3, 4.

다음으로, d 는 이동성 상태 중 하나의 요소인 셀 간 천이의 방향 상태를 나타내며 4개의 상태로 나누어진다. <그림 2>에서와 같이, 방향 상태 1, 2, 3 그리고 4이다. 여기서 방향이라 함은 보행자가 실제로 움직이는 방향을 의미하는 것이 아니라, 셀간 천이 방향을 의미한다. 예를 들어, 어떤 보행자가 <그림 1>의 셀 (1,1)에서 셀 (1,2)로 이동했다고 가정해보자. 이때, 본 논문에서 사용하는 방향은 “셀 (1,1)에서 셀 (1,2)로”를 의미하며 정의된 방향의 상태에 따라 방향상태는 1이 되는 것이다. 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. 셀내 체류시간

본 절에서는 임의의 보행자가 셀내에 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. 셀내 체류시간 분포는 보행자의 이동성과 셀의 생김새에 거의 전적으로 의존된다. 보편적으로, 통화량 분석 (traffic analysis) 연구에서 셀의 생김새는 원형, 육각형, 사각형, 또는 이들의 유한한 조합형 등으로 단순화한다. 본 논문에서는 <그림 1>에서와 같이 피코 셀의 생김새를 사각형으로 모형화한다.

3.1 셀내 체류시간

3.2 잔여 셀 체류시간

3.3 수치예제

3.1-3.3: 발표자료 참조 (생략)

4. 채널점유시간

본 절에서는 임의의 보행자가 어떤 셀내에 존재하는 동안 통화를 하기 위하여 통신채널을 점유하고 있는 시간의 분포 (channel holding time distribution (Guerin, 1987; Lee & Kim, 1998; Kim & Lee, 2001))를 수리적으로 분석한다. 채널점유시간의 분포는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 핸드오버 통화의 채널점유시간 분포이고, 다른 하나는 신규 통화의 채널점유시간 분포이다.

어떤 셀에서 이동국이 통화를 하는 동안, 이동국과 기지국간의 통신을 위해 하나 또는 그 이상의 통신 채널이 점유된다. 이때, 한 셀 내에서 하나의 통화를 위해 채널이 점유되는 시간을 채널점유시간 (CHT: channel holding time) 이라고 한다. 채널점유의 시작은 신규 호의 시작이나 핸드오버 호의 시작 중 하나로 이루어지고, 채널점유의 끝은 통화종료나 비정상 종료(채널 부족으로 인한 핸드오버 실패, 잡음강도의 허용치 초과에 의한 통화제거 등의 강제종료, 전파환경상 음영지역으로의 이동 등) 중 하나로 이루어진다. 채널점유의 끝은 통화의 종류(핸드오버 호, 신규 호)에 무관하지 않다. 즉, 핸드오버 호와 신규 호의 발생밀도가 셀 영역에서 다르게 나타나며 통화점속이 이루어졌다고 하더라도 기지국과의 지리적인 거리가 평균적으로 다르기 때문에, 잡음강도에 대한 핸드오버 호와 신규호의 평균적 역할이 같지 않고 발생하는 통화제거율이 달라진다. 그러나, 본 논문에서는 편의상 이러한 세부적인 사항을 의미 있는 요인으로 간주하지 않기로 한다. 다만, 통화의 시작 형태가 핸드오버 호인지 신규 호인지를 구분하여 채널 점유시간이 어떻게 나타나는가를 분석해보기로 한다.

4.1 핸드오버 통화의 채널점유시간

4.2 신규 통화의 채널점유시간

4.3 채널점유시간

4.4 수치예제

4.1-4.4: 발표자료 참조 (생략)

5. 핸드오버 요청회수 분석

핸드오버 요청회수를 과연 왜 분석하는 것일까? 가장 중요한 이유는 핸드오버와 신규 통화요청을 차별적으로 수락제어하기 위함이다. 핸드오버 통화요청이 어느 정도 있을 것인가에 대한 정보는 어느 만큼의 자원을 예비해 둘 것인지를 결정하는 기준으로 이용될 수 있다. 셀의 크기가 작을수록 핸드오버 요청회수를 예측하는 것은 오류범위가 큰 문제에 속한다. 이는 극한정리를 생각하여 보면 쉽게 알 수 있다. 셀의 크기가 작아지면, 셀간 천이의 추계적 과정은 이동성에 더 큰 영향을 받게 되고, 네트워크내의 통화량 조건의 변화가 매우 커지며, 통화량 상황에 따라 여러 가지 추계적 과정으로 나타날 것이다. 반대로 셀의 크기가 커지면(단, 이동국 밀도는 동일하다고 가정할 때), 이들이 셀간 천이를 하는 추계적 과정은(non-stationary Poisson process이던지 아니던지 무관하게) 포아송 과정으로 수렴한다. (물론, 여기에는 몇 가지 기초적인 가정이 필요하다.) 중심극한

정리(정규분포로의 수렴성)에서 수렴속도보다, 이 수렴속도가 훨씬 빠르다는 것이 알려져 있다. 즉, 셀의 크기가 커지면 어떤 특성의 추계적 과정이든지 몇 가지 기본적 가정 하에 포아송 과정으로 수렴하며 (Lee, 2001), 도착 확률분포의 형태가 알려진 만큼 요청회수 예측도 용이해진다는 것이다. 결과적으로, 피코 셀 환경에서는 시스템 구성의 특성상, 핸드오버 요청회수에 대한 작은 분산을 갖는 예측을 하기가 어렵다. 그러므로, 피코 셀 환경에서는 셀의 크기가 큰 환경에서와는 달리, 이동성의 확률적 특성을 구체적으로 모형화하고 분석하는 것이 중요하다. 다음 절에서는 확률적인 특성을 갖는 이동성을 고려하여 핸드오버 요청회수에 대해 분석한다.

5.1 핸드오버 요청회수의 확률분포

5.2 수치예제

5.1-5.2: 발표자료 참조 (생략)

6. 클러스터 간 핸드오버 회수의 확률분석

6.1 클러스터내 체류시간 분포

6.2 클러스터간 평균 핸드오버 회수 분석

6.3 수치예제

6., 6.1-6.3: 발표자료 참조 (생략)

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 이동 속도와 방향상태의 가변성 및 추계적 관성을 반영한 것이다. 그리고 제시된 모형을 이용하여 셀내 체류시간 분포, 채널점유시간 분포, 핸드오버 요청 회수의 분포, 클러스터간 핸드오버 회수 분석 등에 대한 결과를 얻었고, 이동성에 있어서 직선적인 운동을 강하게 하면 할수록 채널점유시간과 영역내 체류시간은 짧게 나타나는 등의 실험적 결과를 얻었다. 본 논문에서 제시된 접근 방법을 통해 통화량 분석을 한층 현실적인 방향으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

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 microcellular systems, *IASTED*

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.

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.