
셀룰라 네트워크에서 게임 이론을 이용한 핸드오프 기법

홍진대* · 이신규* · 김현태** · 나인호*

A Hand-off Technique for Cellular Networks Using Game Theory

Jin-dae Hong* · Sin-kyu Lee* · Hyun-tae Kim** · In-ho Ra*

이 논문은 2009년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-314-D00347)

요 약

셀룰러 네트워크 시스템에서 성능 품질을 평가하기 위한 가장 중요한 측정 기준 중의 하나는 평균 호 절단 (average call drops) 수이다. 따라서 사용자에게 만족할 만한 통신 품질을 제공받기 위해서는 사용자가 이동하더라도 서비스 중인 활성 호(active call)가 통신 도중에 절단되지 않고 성공적으로 수행 완료되도록 하는 것이 중요하다. 핸드오프는 임의의 기지국에서 또 다른 기지국으로 활성 호를 중계할 때 끊기는 현상 없이 연결의 연속성을 보장하여 셀룰러 시스템의 신뢰성을 높이는 기법이다. 본 논문에서는 게임 이론을 이용한 핸드오프 기법과 서비스품질 효용 함수(QoS utility function)를 제안하여 활성 호가 SIR(signal-to-interference ratio)이 높고 가용 채널 수가 많은 기지국으로 전달될 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

In cellular network systems one of the most significant quality metrics to measure quality of performance is the average number of call drops in a system. It ensures that the active calls in the system are successfully completed without being dropped in the mid communication for ultimate customer satisfaction. Hand-off mechanism increases cellular system reliability by seamless continuation of active calls by transferring active calls from one base station to another. In this paper, we study and propose a simple hand-off mechanism using game theory. We conclude that using the simple QoS utility function proposed in this paper, our optimal deterministic hand-off strategy is to transfer the active calls to the base station with greater signal-to-interference ratio (SIR) and greater number of available channels.

키워드

핸드 오프, 게임이론, 셀룰러 네트워크, 서비스 품질, 신세대 간섭비

Key word

Hand-off, Game Theory, Cellular Network, QoS, Signal-to-Interference

* 군산대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2009. 10. 08

** 군산대학교 BK-21 지능형 임베디드시스템 인력양성 사업팀

심사완료일자 : 2009. 10. 16

I. 서 론

최근 들어 이동 컴퓨팅 기술이 급속하게 발전되면서 이동 통신 시스템의 설계, 구현, 성능 향상 및 유지관리를 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다[1,2]. 이러한 연구에 있어 인접한 셀 구역을 따라 이동하는 모바일 장치에 전송 중단 없이 연속적인 실시간 오디오 및 비디오 스트리밍 서비스를 제공하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어 어떤 모바일 장치가 현재 자신이 속한 기지국(base station)에서 다른 기지국으로 이동하고 있다면 현재 이 장치가 이용 중인 멀티미디어 통신 서비스를 계속적으로 지원하기 위한 라우팅 작업이 적절한 시기에 동적으로 수행되어야 한다. 즉, 전송 중인 패킷이 끊기지 않도록 하면서 사용자가 요구한 서비스 품질(QoS) 또한 저해되지 않도록 해야 한다. 이미 알려진 바와 같이 셀룰라 네트워크의 서비스품질은 해당 기지국이 제공하는 채널의 신호-대-간섭비(SIR)와 사용 가능한 채널 수에 따라 달라진다[3]. 셀룰러 네트워크에서는 한정된 주파수 스펙트럼 자원을 가지고 상대적으로 큰 네트워크 용량(capacity)을 제공하기 위해 셀 크기를 가능하면 작게 분할한다. 또한, 전체 주파수 대역을 여러 개의 작은 주파수 대역으로 분할하여 사용하며, 이러한 작은 주파수 대역은 서로 간섭을 일으키지 않는 셀 지역에서 재사용된다. 이에 따라 대부분의 모바일 장치는 이동하는 도중에 여러 개의 작은 셀들을 통과하게 된다[4][5]. 이때 단일 통신 중인 모바일 장치가 셀과 셀 사이의 경계 지역으로 이동하고 있다면 호의 연속성(continuation)을 유지하기 위해 현재 셀에서 인접한 다른 셀로의 핸드오프(hand-off)가 필요하다. 즉, 활성 호는 타임 슬롯, 주파수 대역, 코드 워드 등을 고려하여 이동하고자 하는 방향에 위치한 기지국(base station)내의 새로운 채널로 이전되어야 한다. 만약 새로운 기지국 내에 사용되지 않는 채널(유휴채널)이 존재하면 핸드오프 과정을 통해 활성 호는 유휴 채널 중의 하나를 할당 받게 된다. 그러나 단일 핸드오프 시간에 모든 채널이 사용되고 있는 상태이면 호 절단(call drop) 또는 호 지연(call delay)이라는 선택이 이루어져야 한다.

최근 들어 다양한 핸드오프 기법들이 제안되고 있으며, 핸드오프 기법의 성능을 평가하기 위해 주로 사용되고 있는 주요 측정 기준에는 강제 종료율(FTP: forced termination probability)과 호 차단율(CBP: call blocking

probability)이 있다[6]. FTP는 핸드오프가 실패하여 이동 중인 활성 호가 강제 누락(dropping)될 확률을 나타내며, CBP은 새로운 호 연결 요청이 블로킹(blocking)될 확률을 나타낸다. 따라서 핸드오프 기법을 설계할 때에는 CBP가 증가되지 않도록 하면서 FTP를 감소시키는 것이 매우 중요하다.

게임 이론은 응용수학의 한 부분으로서 주로 경제학 분야에서 인간의 상호작용을 모델링하기 위해 사용되었지만 현재에는 컴퓨터공학, 예를 들면 분산 시스템에서 발생하는 자원 경쟁문제를 분석하고 문제를 해결하기 위한 도구로도 사용되고 있다[7]. 또한, 최근에는 무선 네트워킹 연구를 위한 통신 분야에 게임 이론의 응용이 점차 확대되고 있다. 게임 이론은 의사결정과정에서 어떤 개인의 성공여부가 다른 사람의 선택에 의해 결정되는 전략적 상황에서 발생하는 인간의 행동을 수학적으로 설명하고자 할 때 주로 사용되었다. 처음에는 한 개인이 다른 사람의 이익을 빼앗는 상황과 같은 제로섬(zero sum) 게임에서 상호간의 경쟁을 분석하기 위해 개발되었으나, 지금은 다양한 조건에 의해 세분화되는 광범위한 상호작용을 다룰 수 있도록 확장되고 있다.

게임이론의 전형적인 목적은 게임에서의 균형점(각 개체들이 자신의 결정을 바꾸지 않는 전략집합)을 찾는 것으로서 그 동안 많은 균형 이론이 개발되었으며, 이 중에서 내쉬 균형(Nash Equilibrium)이 가장 잘 알려져 있다. 사용자 또는 어떤 장치는 게임에 승리하기 위해 자신의 효용함수(utility function)를 최대화하여야 하며, 이를 위해 이용 가능한 전략 중에 항상 최선의 전략을 선택하여야 한다. 전략에는 순수(pure) 전략 또는 통계를 이용한 확률적 혼합전략(probabilistic mixture)이 있다[8][9][10].

본 논문에서는 이동 셀룰러 네트워크 시스템의 성능 개선을 위해 게임 이론을 기반으로 한 핸드오프 모델을 제안한다.

II. 핸드오프 모델링

일반적으로 핸드오프는 기지국과 모바일 장치 간의 신호세기를 기반으로 수행하며, 기지국이 결정되면 모바일 장치는 해당 기지국으로부터 최대 전력을 제공 받

는다. 만약에 어떤 두 기지국이 핸드오프를 수행하기 위해 경쟁한다고 가정하면, 이것들 중에서 SIR (signal-to-interference ratio)이 좋고 사용 가능한 채널 수가 많은 기지국을 선택하여야 더 좋은 서비스 품질(QoS)을 모바일 장치에 제공할 수 있다[11]. 모바일 장치의 서비스 품질은 대부분 비트 에러율(BER: bit error rate)에 의해 결정된다. 셀룰러 시스템의 수신전력은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{D^n} \quad (1)$$

여기서 Pr는 수신 전력이고 Pt는 전송 전력이다. 또한, Gt와 Gr는 각각 송신기 및 수신기의 이득을 나타낸다. D는 단말들 간의 거리이고 n은 전송경로상의 손실도이다. 일반적으로 SIR은 수신 전력 Pr과 간섭 신호 전력 Pinterference의 비로 정의된다. 따라서 SIR은 식 (2)와 같다.

$$SIR = \frac{P_r}{P_{interference}} = \frac{P_t G_t G_r}{P_{interference} D^n} \quad (2)$$

만약 전파 손실 특성이 Rayleigh 페이딩 모델과 정규 분포를 따른다고 가정하면 식(2)는 식 (3)과 같이 변환될 수 있다[12].

$$SIR' = \frac{P_t G_t G_r a(t)}{P_{interference} d^n} = \frac{SIR a(t)}{d^n} \quad (3)$$

여기서 Pinterference는 간섭에 따른 잡음 전력이고, a(t)은 Rayleigh 분포에서의 증폭 변화량(amplitude variation)을 나타낸다.

무선 시스템에서 만약 모바일 장치들이 각 셀 안에서 균등하게 분포되어 있고 이러한 상황에서 기지국을 통해 전체 시스템의 이용율을 최대화해야 한다면, QoS는 해당 시스템의 효율성을 평가하기 위해 필요한 주요 측정기준이라고 할 수 있다. 이미 기술한 바와 같이 어떤 모바일 장치에 대한 QoS는 그 자신이 송수신하는 신호의 품질로 측정할 수 있으며, 이것은 대부분 BER에 의해 결정된다.

일반적으로 어떤 모바일 장치가 요구한 QoS 조건을 만족시키면서 이동성을 제공하기 위해서는 핸드오프를 적절히 수행하여 현재의 기지국을 다른 기지국으로 대체하는 방식으로 통신경로를 변경해야 한다. 이때, 기존의 핸드오프 방식에서는 기지국과 모바일 장치간의 신호 세기만을 고려하여 핸드오프를 결정한다. 즉, 기존의 핸드오프 방식에서는 신호 세기뿐만 아니라 변경하고자 하는 해당 기지국이 보유한 채널 수까지 고려하여 핸드오프를 수행하지 않기 때문에 핸드오프가 이루어지더라도 해당 기지국이 보유한 가용 채널이 부족하여 핸드오프된 호가 폐기될 수 있는 단점을 지니고 있다. 따라서 셀룰러 네트워크에서 요구된 QoS를 만족시키기 위해서는 모바일 장치에서 측정된 BER 뿐만 아니라 기지국이 보유한 유휴 채널 수를 고려하여 핸드오프를 수행하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 비트 에러율 및 사용 가능한 유휴 채널의 수를 고려하여 QoS를 식 (4)와 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} QoS &= \frac{\text{No. of free channels}}{BER} \\ &= \frac{\text{No. of free channels}}{e^{-SIR'}} \\ &= \frac{\text{No. of free channels}}{e^{-\frac{SIR a(t)}{d^n}}} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 BER이 d^n에 비례한다고 가정하면, 핸드오프는 다음의 조건을 만족할 때 일어난다.

$$QoS_1 = QoS_2 \quad (5)$$

만약 핸드오프를 수행할 때 발생하는 추가 비용(cost factor)을 고려하면, 식 (5)에서 균형(equilibrium)을 기지국 1(QoS1) 방향으로 이동하여 식 (6)과 같은 부하 평형(equilibrium) 조건을 유도할 수 있다.

$$QoS_1 = QoS_2 + k \quad (6)$$

여기서 k는 핸드오프를 위한 이력인자(hysteresis factor) 또는 임계값(threshold)을 나타낸다. 모바일 장치가 어떤 방향으로 이동할 때 현재의 기지국에서 제공하는 신호 품질(SIR)보다 더 좋은 신호 품질을 제공하는 기

지국을 만나면 핸드오프가 일어난다. 이때 가까운 기지국 사이를 자주 넘나드는 과도한 핸드오프가 발생할 수 있는데, 이러한 현상을 방지하기 위해 이력인자를 사용하면 핑퐁효과(ping-pong effect) 즉, 핸드오프 진동(oscillation) 문제를 제거할 수 있다.

본 논문에서 제안한 게임 이론 기반의 핸드 기법은 QoS에 대한 지역 최적화 보다는 전역 최적화 방식을 통해 무선 시스템의 성능을 최적화한다. 즉, 게임 이론을 적용하여 두 기지국이 상호 협조적으로 시스템 자원에 대해 서로 경쟁하는 게임 형태로 무선 핸드오프 시스템을 모델링하고 식 (6)과 같은 QoS 최적화 조건을 이용하여 무선 시스템의 성능을 최적화할 수 있다.

본 논문에서 제안한 균형 기법은 Nash 균형의 일종으로 각 기지국들이 주어진 전략들을 따르지 않을 때 아무런 이득을 얻을 수 없다. 제안된 기법을 이용하면 무선 시스템에서 QoS와 신호 호 차단율을 모두 고려하여 최적의 핸드오프를 수행할 수 있다는 장점이 있다.

III. 시뮬레이션 및 성능분석

셀룰러 네트워크에서 제안된 핸드오프 기법의 성능을 평가하기 위해 다음과 같이 Qualnet을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 두 기지국간의 거리는 450m로 설정하였고, 전송전력은 0.25W, 그리고 반송파는 850MHz로 설정하였다. 그림 1에 보인 것과 같이 임계값이 3dB일 때 약 200m 부근에서 두 기지국 간의 핸드오프가 일어난다. 만약 $k=3dB$ 로 설정하면 셀 경계에서 발생하는 핑퐁효과가 감소될 것이다.

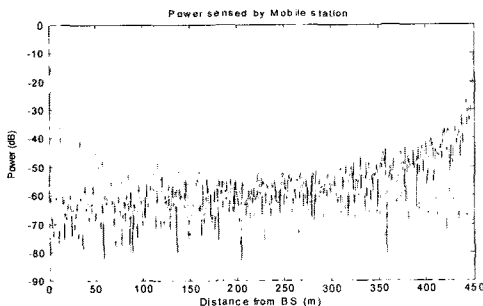


그림 1. 두 기지국 간 핸드오프(거리: 450m)
Fig. 1 Hand-off between two BSs separated by 450m

그림 2는 모바일 장치와 기지국간의 거리가 최대 450m까지 증가할 때 모바일 장치에서 측정된 SIR값의 변화를 나타낸 것으로서, 이동 평균 필터링(moving average filtering) 기법을 사용하여 평균값을 중심으로 변동하는 SIR 값들을 평활화 하였다. 이때, 이동 평균 필터의 윈도우 크기를 40으로 설정하였고 서로 인접한 데이터 값들에 대한 평균을 구하는 LPF(low pass filter)를 사용하였다. 그림 2는 모바일 장치가 해당 기지국으로부터 멀어질수록 기지국의 전송 전력은 점진적으로 감소하며, 이에 따라 SIR은 지속적으로 감소된다는 사실을 나타낸다.

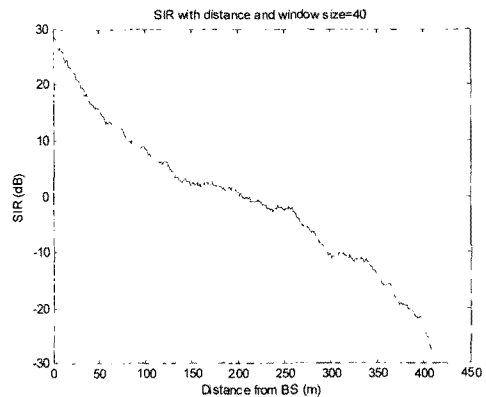


그림 2. 윈도우 크기가 40일 때 거리에 따라 감지된 이동국의 SIR
Fig. 2 SIR of mobile station sensed with the distance with window size =40

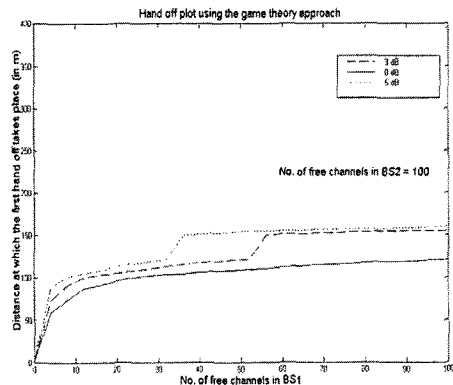


그림 3. 게임이론을 이용한 핸드오프
Fig. 3 Hand-off Using Game Theory

그림 3은 게임 이론을 기반으로 한 핸드오프 기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 즉, 기지국 2에 100개의 유휴채널이 존재하고 기지국 1이 보유한 유휴 채널의 수가 1부터 100까지 변할 때 기지국 1에서 핸드오프 발생지점까지의 거리를 측정하는 것이다. 그림 3에 보인 것과 같이 기지국 1이 보유한 유휴 채널의 수가 기지국 2에 비해 훨씬 적을 때에는 기지국 1에서 기지국 2로의 부하 이동이 빨라져 기존의 모델보다 제시된 핸드오프 모델에서 훨씬 일찍 핸드오프가 일어나는 것을 알 수 있다. 그러나 두 기지국이 보유한 유휴 채널의 수가 서로 비슷하면 기존 모델과 제안된 모델의 핸드오프 지점은 거의 일치한다.

IV. 결론 및 향후 연구

무선 시스템에서 서비스 품질을 개선하기 위한 전략을 수립할 때에는 신규 사용자에게 좋은 서비스 품질을 제공하는 것뿐만 아니라 현재 망을 이용하고 있는 기 사용자에게 제공되고 있는 서비스 품질 또한 저하되지 않도록 하는 것이 중요하다. 무선 셀룰라 네트워크에서 각 셀에 할당된 네트워크 자원은 한정되어 있으며, 셀과 셀 사이의 균등한 부하를 유지하여 시스템 성능을 최적화하기 위해서는 효율적인 핸드오프 기법이 요구된다. 본 논문에서는 게임 이론을 기반으로 한 핸드오프 기법을 제시하였으며, 기지국 간의 부하 균형 기법을 통해 활성화가 강제 종료되는 비율과 차단되는 비율을 최소화하여 무선 셀룰라 시스템의 서비스 품질을 극대화할 수 있도록 하였다. 이를 위해 신호의 품질뿐만 아니라 기지국에서 제공할 수 있는 유휴 채널 수를 이용하여 핸드오프를 수행할 수 있도록 하였다. 또한, 균형함수에 이력인자를 적용하여 셀 경계에서 발생하는 핸드오프 핑퐁현상을 제거할 수 있도록 하였다.

향후에는 본 논문에서 제안한 핸드오프 기법을 실제의 무선 시스템에 적용하였을 때 기존 사용자의 서비스 품질 저하 특성을 분석할 계획이다. 또한, 무선 시스템의 서비스 품질을 향상시키기 위한 해결 방안으로서 게임 이론의 유용성을 검증하고 이러한 과정을 통해 제안된 알고리즘을 3G 무선 셀룰러 통신 시스템에 확장 적용하는 방안을 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] D. Chalmers and M. Sloman, "Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments," Research Report 98/10, Department of Computing, Imperial College, London, 1999.
- [2] A. Vogel et al., "Distributed Multimedia Applications and Quality of Service: A Survey," IEEE Multimedia, Vol. 2, No. 2, pp. 10-19, 1995.
- [3] D. J. Goodman and N. B. Mandayam, "Network Assisted Power Control for Wireless Data," Mobile Networks and Applications, Vol. 6 Issue 5, pp. 409-415, Sep. 2001.
- [4] S. Tekinay and B. Jabbari, "Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 29, pp. 42-46, Nov. 1991.
- [5] G. P. Pollioni, "Trends in Handover Design," IEEE Communications Magazine, Vol. 34, pp. 82-90, Mar. 1996.
- [6] V. G. Vassilakis, G. A. Kallos, I. D. Moscholios and M. D. Logothetis, "On the Handoff-Call Blocking Probability Calculation in W-CDMA Cellular Networks," Proc. of the 2008 Fourth Advanced International Conference on Telecommunications, pp. 173-179, Jun. 2008.
- [7] A. B. MacKenzie and S. B. Wicker, "Game Theory and the Design of Self-Configuring, Adaptive Wireless Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 36, No. 11, pp. 126-131, Nov. 2001.
- [8] D. Niyato and E. Hossain, "Radio Resource Management Games in Wireless Networks: An Approach to Bandwidth Allocation and Admission Control for Polling Service in IEEE 802.16," IEEE Wireless Communications, Vol. 14, Issue 1, pp. 27-35, Feb. 2007.
- [9] M. Felegyhazi and J. P. Hubaux, "Game Theory in Wireless Networks: A Tutorial," EPFL Technical report: ICA-REPORT- 2006-002. Jun. 2006.

- [10] E. Rasmusen, "Games and Information: An introduction to game theory," 3rd Edition, Blackwell Publisher, 2001.
- [11] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," 2nd Edition, Prentic-Hall, Inc. 2002.
- [12] William Stallings, "Wireless Communications & Networks," 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, 2005.



나인호(In-ho Ra)

1988년 울산대학교 전자계산학과 (공학사)
 1991년 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

1995년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 1995년~현재 군산대학교 정보통신공학과 교수
 ※관심분야: 무선 센서 네트워크, 멀티미디어 통신, 유비쿼터스 컴퓨팅, RFID/USN, 임베디드스텝

저자소개



홍진대(Jin-dae Hong)

1988년 원광대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 군산대학교 전자정보공학부 (공학석사)

2005년~현재 군산대학교 전자정보공학부 박사과정
 ※관심분야: 무선 센서 네트워크, 컴퓨터 네트워크, 이동통신



이신규(Sin-kyu Lee)

1989년 원광대학교 회계학과(학사)
 1991년 원광대학교 회계학과(석사)
 2008년~현재 군산대학교 전자정보공학부 박사과정

※관심분야: 무선 에드혹 네트워크, 멀티미디어 통신, 유비쿼터스 컴퓨팅



김현태(Hyun-tae Kim)

1996년 군산대학교 정보통신공학과 (공학사)
 1998년 군산대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2006년 군산대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2009년~ 현재 군산대학교 BK21 지능형 임베디드 시스템 인력양성사업단 연구교수
 ※관심분야: 에드혹 네트워크, 멀티미디어 통신, 유비쿼터스 컴퓨팅