

## 퍼지 이론을 이용한 핸드오버 알고리즘

正會員 鄭 漢 鎬\* 正會員 金 準 哲\* 正會員 李 俊 煥\*

### A Handover Algorithm Using Fuzzy Set Theory

Han Ho Cheong\*, Joon Cheol Kim\*, Joon Whoan Lee\* *Regular Members*

#### 요 약

주파수 이용 효율을 극대화하기 위한 셀룰러 이동 통신 시스템에서는 셀의 반경이 작아지면 이동국이 한 셀내에 잔류하는 시간이 짧아지고, 많은 핸드오버가 발생할 수 있게 된다. 또한 핸드오버 결정에 사용되는 수신 신호 전계 강도와 비트 에러율, 기지국과 이동국과의 거리등의 파라미터는 부정확하게 측정되고 단일 파라미터에 의해 핸드오버 결정은 불충분하기 때문에, 측정치들을 함께 고려하여 핸드오버 결정을 강인하고 유연하게 할 수 있는 알고리즘을 필요로 한다.

본 논문에서는 퍼지 이론을 이용한 다기준(multi-criteria) 의사 결정 문제로 부정확한 다수의 파라미터를 이용하는 핸드오버 알고리즘을 제안하였는데 모의 실험 결과에 따르면 이 알고리즘을 쓸 경우 전체적인 의사 결정이 신뢰성이 있으며 유연하게 되었다. 제안된 알고리즘은 호 중단율, 핸드오버 요청율등의 평가 파라미터를 이용하여 전계 강도만을 이용하는 방법등과 비교되었다.

#### Abstract

In cellular mobile communication systems, if the size of a cell is decreasing for economic utilization of frequency resources, frequent handovers may be requested because the time a mobile stays in a cell is decreasing. In general the measured parameters to decide handover including RSSI, BER, and the distance between mobile station and base station, are usually incorrect and handover decision using single parameter insufficient. Therefore, the better handover algorithm should take over the problems of this uncertain measurements, and make the decision more robust and flexible by the consideration of all those decision parameters at the same time.

We propose a novel handover algorithm based the multicriteria decision making, in which those parameters are participated in the decision process using aggregation function in fuzzy set theory. AS a simulation results, the overall decision making is more reliable and flexible than the conventional method using only one parameter, RSSI in terms of call force ratio, and handover request ratio.

\*全北大學校 電子工學科  
Dept. of Elec. Eng. Chonbuk Nat'l Univ.  
論文番號 : 93-82

## I. 서 론

이동 통신은 사람, 자동차, 선박, 항공기등 모든 이동체를 대상으로 언제, 어디서나, 누구라도 통신할 수 있도록 하는 것을 궁극적인 목표로 한다. 그러나 사용 가능한 주파수대의 부족으로 시간, 공간, 주파수의 세요소를 가능한 많은 사용자가 효율적으로 공유할 수 있도록 하는 전파 이용 기술의 확립이 필요하다. 이러한 효율적인 전파 이용 기술의 일환으로 동일한 주파수(또는 채널)를 반복 사용할 수 있는 셀룰러 시스템이 등장하였고<sup>[1]</sup>, 접속 방법도 아나로그 방식인 주파수 분할 다원 접속(FDMA)에서 디지털 방식이 시분할 다원 접속(TDMA), 코드분할 다원 접속(CDMA) 방식으로 발전해 나가고 있다.

셀룰러 시스템의 채널 할당 문제는 간섭을 피하고, 셀 시스템내의 주파수 이용 효율을 최대화하는 조합적 최적화(Combinatorial Optimization) 문제이며<sup>[1]</sup> 이러한 최적화 문제를 언제 해결하는가에 따라 고정 채널 할당(FCA), 동적 채널 할당(DCA), 혼합 채널 할당(HCA) 방법등으로 구분된다. 고정 채널 할당 방법은 각 셀에서 필요로 하는 채널 수를 예측하고 모형화하여 off-line으로 최적화 문제를 해결하고, 각 셀에 최적 또는 준최적의 주파수조를 배타적으로 할당하는 방식이고, 동적 채널 할당 방법은 일군의 채널들을 각 셀에 미리 할당하지 않고, 어떤 셀내의 가입자든지 호 요구가 있으면 간섭을 일으키지 않는 조건에서 현재 셀들에서 사용중인 채널을 모두 고려하여 on-line으로 최적 또는 준최적의 채널을 할당하는 방식이다<sup>[3][4]</sup>.

따라서 고정 채널 할당 방식은 동적 채널 할당 방식에 비해 호 요구(call request)시 채널 할당에 소요되는 시간이 짧아지며, 기지국의 송수신기의 구성이 간단해지나, 변화하는 트래픽 환경에 적응적이지 못한 반면, 동적 채널 할당 방법은 호 요구때마다 최적화 문제를 해결하기 때문에 트래픽 환경에 적응적이나, 채널 할당에 소요되는 시간이 길며 셀내의 각 기지국은 셀 시스템에서 고려하는 모든 채널을 수용할 수 있어야 하기 때문에 기지국 구성이 복잡해진다. 이 두가지 극단적인 채널 할당 방식을 절충한 방식이 혼합 채널 할당 방식으로 각 셀에 할당된 일군의 채널을 고정 채널 할당분과 동적 채널 할당분으로 나누고 고정 채널 할당분은 각 셀에서 배타적으로 사용하고, 동적 채널 할당분은 트래픽 변화에 따라 적응적으로 할당해 나가는 방식이다<sup>[5]</sup>.

만약 셀 시스템에서 각 셀의 면적을 줄이고 송신 전력을 적게하여 마이크로 셀화 하면, 단위 면적당 사용 가능한 주파수가 증가하기 때문에 주파수 이용 효율은 더욱 증대되나, 셀내에 이동국이 잔류하는 시간이 짧아지게 되므로 많은 핸드오버가 발생한다. 여기서, 핸드오버란 이동국이 현재 사용하고 있는 주파수를 사용하지 못하는 경우에 다른 주파수로 바꾸어 주는 과정을 말하면, 셀 트래픽을 균일하게 분산할 목적으로도 쓰인다. 핸드오버는 접합형 핸드오버(soft handover)와 절체형 핸드오버(hard handover)의 두 가지로 분류되며, 주파수 분할 다원 접속과 시분할 다원 접속의 경우 절체형 핸드오버를 사용하며, 코드분할 다원 접속 방식의 경우 접합형 핸드오버를 사용한다. 또한 핸드오버 형식에 따라 동일 셀 내에서 다른 무선 채널로 교체하는 intra-cell 핸드오버, 이동국이 다른 셀로 이동할 때 서로 다른 셀에 있는 채널 사이의 핸드오버인 inter-cell 핸드오버로 분류된다<sup>[6][7][8]</sup>.

현재 핸드오버 결정에 이용되는 평가 파라미터는 기지국과 이동국에서 측정된 수신 신호 전계 강도(RSSI), 기지국과 이동국 사이의 거리, 디지털 방식의 경우 비트 에러율(BER)등을 사용하고 있으며<sup>[7]</sup> 과도한 핸드오버 빈도를 억제하기 위해 파라미터들의 문턱치에 히스테리시스를 부가하여 이용하고 있다<sup>[7][8][9]</sup>. 일반적으로 이러한 파라미터들은 이동국의 속도 및 전파 전파 환경등에 따라 부정확하고 급격하게 변화하여, 부정확한 측정치를 가지고 핸드오버를 결정할 경우 불필요한 핸드오버를 발생하게 되므로, 부정확한 측정치들의 표본을 평균하여 사용하는 방법과, 도심지 환경에서 이동국이 건물에 가려워져 전계 강도가 급격히 떨어지는 현상(street conner effect)을 해결하기 위한 핸드오버로 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[9][10]</sup>.

본 논문에서는 셀룰러 이동 통신 시스템의 핸드오버 결정 문제를 불확실성 관리 기법의 하나인 퍼지 이론을 이용하는 다기준 의사 결정 방법으로 모형화하고, 부정확하고 불충분한 평가 파라미터들을 함께 고려하여 핸드오버의 여부를 결정하는 방법을 제안하였다. 또한 실제 일어날 수 있는 상황을 가정한 이동 통신 모의 실험용 소프트웨어를 구성하여, 제안된 핸드오버 방법을 평가하여 보았다. 구성된 모의 실험용 소프트웨어에서는 그림 1과 같이 21개의 셀로 구성되는 셀룰러 시스템에서 시분할 다원 접속 방식을 가정하였으며, 채널 할당 방법으로는 고정채널 할당

방법과 Sivarajan과 McEliece에 의해 제안된<sup>[1]</sup> SIMPLE과 MAXAVAIL의 임기 응변적 동적 채널 할당 방식을 이용하였다. 또한 핸드오버방법은 절체형 핸드오버로 가정하였으며, inter-cell 핸드오버만을 고려하였다. 모의 실험에 있어서의 제안된 핸드오버 알고리즘은 호 중단율, 핸드오버 요청율등의 평가 기준을 이용하여 수신 신호 전계 강도만을 이용하는 방법등과 비교되었다. 제안된 방식의 핸드오버 결정은 수신 신호 전계 강도만을 이용하는 경우보다 단일 파라미터의 부정확성을 보상하여 의사 결정을 내리기 때문에 강인하고, 여러 파라미터들을 총체화한 핸드오버 필요 정도에 문턱치를 부가하는 방식을 이용하기 때문에 유연하게 할 수 있다.

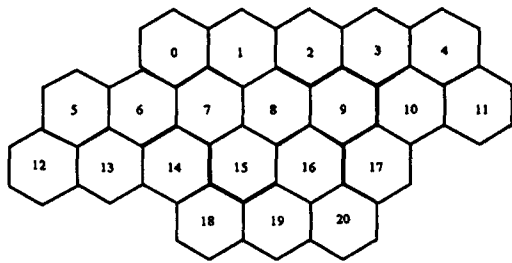


그림 1. 셀 배치  
Fig. 1. Cell Pattern

## II. 퍼지 핸드오버 알고리즘과 평가 환경 구성

핸드오버란 이동 통신 시스템에서 호가 설정된후 이동국과 기지국 사이의 무선 채널의 통화 품질을 계속 유지시켜 주기 위해 열화된 무선 채널을 양호한 무선 채널로 바꾸어 주는 것이다. 핸드오버 결정은 수신 신호 전계 강도나 이동국과 기지국사이의 거리 등의 파라미터들을 측정하여 이용하는데, 이들 파라미터들은 일반적으로 부정확하고 핸드오버 결정에 불충분할 수 있다. 예를 들어 수신신호 전계 강도의 경우 이동국 주위의 건물이나 다른 장애물에 의한 전파의 산란이나 반사, 전파 경로의 기후 변화나 다중 경로 현상등에 의해서 영향을 받기 때문에 매우 불규칙한 프로파일(profile)을 갖는다. 따라서 이동국이 기지국으로 부터 수신하는 전계 강도의 세기만을 이용하여 핸드오버를 결정한다면 부정확하고 불필요한 핸드오버를 야기시킬 수 있고, 이를 억제하기 위하여 몇개의 표본값들을 평균하거나, 핸드오버 결정을 위

한 문턱치에 히스테리시스를 부가하는 방법이 이용되고 있다.

수신 신호 전계 강도 이외의 핸드오버 파라미터로 고려되고 있는 것은 기지국과 이동국 사이의 거리이다. 일반적으로 기지국과 이동국 사이의 거리를 파라미터로 고려하는 이유는 계획된 셀 경계지역에서 정확한 핸드오버가 일어나게 하도록 하고 핸드오버를 셀 배치 계획과 연관지어 고려하기 위해서이다. 그러나 거리 정보의 측정 역시 전파의 다중 경로 현상등에 의해 부정확할 가능성이 크고, 따라서 거리 자체만을 핸드오버 평가지수로 고려한다면 불필요한 핸드오버 요구가 일어날 가능성이 있다. 이러한 거리에 의한 불필요한 핸드오버 요청빈도 역시 핸드오버 결정 문턱치에 히스테리시스를 부여함으로써 억제가능하다.

또한 고려할 수 있는 파라미터로는 트래픽 양과 비트 에러율(BER)을 들 수 있다. 핸드오버가 트래픽의 분산 수용의 목적을 가지고 있기 때문에 트래픽이 많은 셀에서 인접한 셀중 덜 혼잡한 셀로 핸드오버할 수 있다. 핸드오버의 목적이 통화의 질을 양호한 상태로 유지하기 위함이므로 디지털 방식인 경우에 비트 에러율을 핸드오버의 파라미터로 사용할 수 있다.

### 2.1 퍼지 핸드오버 알고리즘

1965년 Zadeh에 의해 제안된 퍼지 집합 이론은 기존의 집합(Crisp Set)을 확장한 개념으로 불명료한 개념을 표현하는데 효과적이다. 또한 다기준 의사 결정 문제란 여러개의 평가지수로 부터 제공되는 만족도(degree of satisfaction), 즉 평가치를 총체화하여 의사 결정에 이용함으로써, 단일 평가기준을 이용할 경우에 비해 애매모호성을 감소시키고 강건한 의사 결정을 행하는 방법이다. 다기준 의사 결정에서 평가지수들은 명제(propotion)들로 해석될 수 있으며, 여러개의 평가지수들은 접속 연산자에 의해 복합 명제를 구성하고, 총체적인 평가치는 단위 평가지수로부터 제공되는 평가치들을 접속 연산자들로 총체화하여 구할 수 있다. 퍼지 이론을 적용하는 다기준 의사 결정 문제의 경우 평가지수의 값들을 0과 1사이의 임의의 값에 사상하고 이들을 퍼지 접속 연산자에 의해 총체화한 판단치 역시 0과 1 사이의 값이 된다. 따라서, 최종적인 판단은 어떤 문턱치를 가정하여 문턱치 이상이면 채택하고 이하이면 무시하는 방법으로 의사 결정을 행할 수 있다. 이러한 방법의 장점은 이진 논리를 이용하는 경우보다 의사 결정시 평가지수

의 오차가 총체화된 평가치에 완만한 변화(*graceful degradation*)를 유발하고, 최종적인 문턱치를 변화시켜 의사 결정의 유연성을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 단일 평가지수를 이용하는 의사 결정에 비해 여러 개의 부정확하고 불충분한 평가지수들을 동시에 고려하여 보상할 수 있기 때문에 강건한 의사 결정이 될 수 있다.[12][13][14][15].

본 논문에서 제안한 핸드오버 결정 알고리즘은 이러한 퍼지 접속 연산자를 이용한 다기준 의사 결정 방법을 기본으로 하며, 이동국의 현재 기지국 및 인접 기지국에 대하여 평가기준들로 부터 제공되는 만족도(이동국이 각 셀에 소속하는 정도)를 총체화하고, 가장 큰 만족도를 제공하는 기지국을 핸드오버의 목표 셀로 선택한다. 비슷한 알고리즘이 Munoz-Rodriguez와 Cattermole에 의하여 제안된바 있으나 [16], 그들의 접근 방법은 인접 기지국에 대한 이동국의 소속 정도를 계단형태(*ladder*)의 값을 이용하여 결정하였기 때문에, 계산량은 절감할 수 있으나 유연성이 부족하며 제안된 알고리즘은 그들의 방법을 포함한다고 볼 수 있다.

**알고리즘**

단계 1: 만약  $R_0 > R_0^*$ 이면, 단계 2를 수행하고, 그렇지 않으면, 알고리즘 수행을 종료한다.

단계 2: 현재의 기지국과 인접한 기지국에 대해, 측정된 각 평가 파라미터들에 대한 소속함수를 참조하여 소속정도를 구한다.

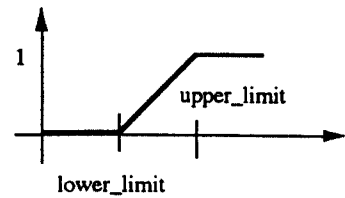
단계 3: 현재의 기지국과 인접한 기지국에 대해 단계 2에서 구한 소속정도들을 퍼지 접속 연산자(예, 식(2)와 식(3))를 이용하여 총체화한다.

단계 4: 만약, 가장 큰 총체화된 소속 정도가  $\mu_j$ 이고,  $\mu_j > TH$  이면, 셀  $c_0$ 에서 셀  $c_j$ 로 핸드오버하며, 그렇지 않으면 핸드오버하지 않는다.

알고리즘에서 단계1은 현재의 기지국과의  $R_0$ 가 미리 설정된  $R_0^*$ 보다 작으면 불필요한 핸드오버 결정 과정이 수행되는 것을 방지하며, 단계 4는 최대의 총체화된 만족도를 제공하는 셀의 만족도가  $TH$  이상이어야 핸드오버의 목표 셀로 선택하는 것으로서, 목표셀 선택을 신중하게 하고 시스템의 관리자는 시스템의 동작 환경에 따라  $TH$ 값의 크기를 변화시킴으로 핸드오버 빈도를 변화시킬 수 있다. 즉  $TH$ 값을 1에 가까

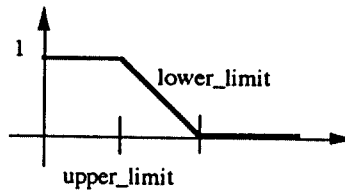
운 값으로 설정할 경우는 핸드오버의 조건이 까다롭게 되어 핸드오버 발생 빈도는 줄고, 반대로 경우는 핸드오버의 수를 증가시킬 수 있다.

제안된 알고리즘에서는 기지국과 이동국과의 거리, 수신 신호 전계 강도, 비트 에러율의 세가지의 핸드오버 파라미터를 사용하였으나, 다른 종류의 핸드오버 파라미터, 예를 들면 트래픽 양도 쉽게 평가 기준에 포함시킬 수 있다. 또한 제안된 알고리즘은 이동국의 각 기지국에 대한 최종 소속함수를 구하기 위한 총체화 연산자 및 소속함수의 형태에 따라 다양하



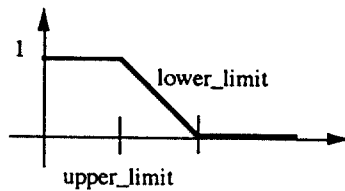
upper\_limit : 7.5, lower\_limit : 5.5

(a) 전계 강도의 소속 함수



upper\_limit : 90, lower\_limit : 120

(b) 거리의 소속 함수



upper\_limit : -7.5, lower\_limit : -5.5

(c) 비트 에러율의 소속 함수

그림 2. 사다리꼴 소속 함수

Fig. 2. Trapezoidal Membership Function

게 변환시킬 수 있다. 실험에서 사용한 소속함수는 그림 2와 같으며, 이와 같은 사다리꼴 함수 형태의 소속함수는 계단형 함수 형태보다는 상한치와 하한치 사이의 값에 대하여 다양한 소속정도를 제공한다. 또한 실험에서 총체화 연산자는 퍼지 교 연산자

$$\mu_j = \mu_R(R_j) \bullet \mu_F(F_j) \bullet \mu_B(B_j) \quad (1)$$

과 가중화된 평균 연산자

$$\mu_j = \mu_R(R_j) \bullet W_R + \mu_B(B_j) \bullet W_B + \mu_F(F_j) \bullet W_F \quad (2)$$

이다. 식 (2)에서  $W_R + W_F + W_B = 1$ 이고, 식 (1)과 (2)에서  $\mu_R(R_j)$ ,  $\mu_F(F_j)$ ,  $\mu_B(B_j)$ 는 각각 거리 및 수신 전계 강도, 비트 에러율에 대하여 이동국이 현재의 기지국과 인접 기지국에 속한 정도를 의미한다. 또한 식(2)와 같이 가중치를 부여한 이유는 핸드오버에 사용하는 모든 파라미터의 우선 순위는 다를 수 있기 때문이며, (GSM 시스템에서도 핸드오버의 파라미터에 우선 순위를 부여하고 있음<sup>[7][8])</sup> 실험시 수신 신호 전계 강도의 가중치  $W_R$ 는 0.5, 비트 에러율의 가중치  $W_B$ 는 0.3, 거리에 대한 가중치  $W_R$ 는 0.2로 하였다. 제안 알고리즘의 실험시 사용한 최종적인 핸드오버 문턱치  $TH$ 는 식 (1)을 사용할 경우 0.6, 식 (2)를 사용한 경우는 0.85로 하였다. 이들 값을 서로 다르게 사용한 이유는 교 연산자인 식 (1)의 총체화된 값을 평균 연산자인 식 (2)의 총체화된 값보다 작기 때문이고<sup>[16]</sup>, 이들 값은 모의 실험을 통하여 핸드오버가 비교적 셀 경계지역에서 일어나도록 조정하는 과정에서 얻어진 값이다.

## 2.2 모의 실험용 소프트웨어

본 논문에서는 그림 1과 같은 21개의 셀을 고려하였으며, 셀의 반경은 약 1마일로 모든 셀의 크기는 동일하다고 가정하였으며, 채널 수는 96개로 채널 번호는 주파수의 증가에 따라 선형적으로 증가한다고 가정하였다. 각 채널들의 간섭의 형태는 세가지로 규정하고<sup>[3]</sup> 다음과 같은 제약 조건을 설정하였다. 첫번째 제약 조건인 동일 채널 간섭은

$$|f_i - f_j| \geq 1 \text{ if } d(i, j) \leq 3$$

으로 표현되며, 여기서  $f_i$ 와  $f_j$ 는  $i$ 번째 셀과  $j$ 번째 셀의 채널 번호를 나타내며,  $d(ij)$ 는  $i$ 번째 셀의 거리

로서 한 셀의 중심과 인접한 셀 중심간의 거리를 단위 길이라 한다면 한셀의 중심에서 다음셀의 중심까지 인접한 셀들의 중심을 몇번 거쳐서 도착하는가를 나타낸다. 두번째 간섭조건인 인접 채널 간섭은

$$|f_i - f_j| \geq 2 \text{ if } d(i, j) \leq 1$$

로 표현되며 인접한 셀내에서는 채널 번호들이 2이상 떨어져 있어야 한다는 의미이다. 끝으로 동일 셀 간섭을 고려하였는데

$$|f_i - f'_j| \geq 5 \text{ if } d(i, j) = 0$$

로 표현할 수 있으며  $f_i$ 와  $f'_j$ 는 셀  $i$ 에서 할당된 채널로 채널 번호가 5이상은 떨어져 있어야 함을 의미한다. 이러한 간섭 조건들은 동적 채널 할당 방식에 있어서 채널의 사용율을 결정하는 중요한 요소들이다.

또한 모의 실험을 통한 핸드오버의 성능 평가를 위해 고려된 채널 할당 방법은 고정 채널 할당 방법과 Sivarajan과 McEliece에 의해 제안된 SIMPLE과 MAXAVAIL의 임기 응변적 동적 채널 할당 방식이다<sup>[11]</sup>. SIMPLE 방법은 가장 간단한 임기응변적 동적 채널 할당 방법으로 어떤 셀에서 호가 요청되면 현재 남아있는 사용 가능한 채널중 간섭을 일으키지 않는 채널을 임의로 하나 선택하여 사용하도록 하는 방식이며, MAXAVAIL방법은 어떤 셀에서 호가 요청되면 간섭을 일으키지 않고 할당할 수 있는 채널 중에 그 채널을 할당함으로써 남아있는 채널들의 효용성을 최대로 할 수 있는 채널을 찾아서 할당하는 방법으로 복잡성은 SIMPLE 방식에 비해 증가한다. 여기서 전체 시스템의 효용성(Systemwide Availability)이란 모든 셀에서 간섭없이 사용할 수 있는 채널들의 합으로

$$S.A = \sum_{all\ cell} \text{유용한 채널수}$$

로 정의된다. 실험시 고정 채널 할당 방법에서 사용한 각 셀에 할당된 채널은 실제 최적의 탐색 방법에 의한 결과는 아니고, SIMPLE방법을 이용하여 각 셀에서 동일하게 호 요구량이 분포하는 경우에 셀당 할당되는 채널의 수가 8개 이하가 되도록 제한하고 모든 채널이 고갈되어 더 이상 채널을 할당할 수 없을 때에 각 셀이 보유한 채널을 찾아 분배하는 방식

을 이용하였는데 분배된 채널들은 표 1과 같고, 전체 셀에 분배된 채널 수의 합은 158채널이다<sup>15)</sup>.

표 1. 고정 채널 할당시 각 셀의 채널 할당표  
Table 1. Channel Allocation Table for FCA

셀 번호	할 당 된 채널							
0	96	82	73	58	46	33	20	7
1	94	85	71	55	44	31	18	5
2	92	80	68	53	41	28	15	2
3	95	83	74	66	56	47	34	21
4	93	88	81	64	54	45	32	40
5	95	87	81	70	60	54	43	30
6	93	79	66	52	39	26	13	
7	91	77	64	50	37	24	11	
8	89	75	62	48	35	22	9	
9	87	78	60	51	38	25	12	
10	90	76	69	58	42	29	16	3
11	96	86	72	67	61	50	37	19
12	92	85	78	65	57	51	38	49
13	90	76	68	63	49	41	36	28
14	88	74	61	47	34	21	8	
15	86	72	59	45	32	19	6	
16	84	70	57	43	29	17	4	49
17	82	73	63	49	36	23	10	
18	83	69	56	42	29	16	3	
19	81	67	54	40	27	14	1	
20	79	65	52	46	33	20	7	

호 지속 시간은 가입자가 잘못된 번호를 사용하여 호 요구를 하였다 하더라도 약 30초 이상은 소모된다고 가정하고 30~270초 사이의 절단된 정규 분포(truncated gaussian)를 갖게 하였으며, 평균 지속 시간은 109.9초로 하였다<sup>4)</sup>.

이동국의 속도는 -96Km/h에서 96Km/h로 절단 정규 분포를 가정하였으며, 표준 편차는 약 48.96 Km/h이다. 또한 이동국은 통화 도중 속도를 감속 또는 가속할 수 있다고 가정하였으며, 이 속도 변화는 1 사이클, 즉 10초 동안에 일어난 속도 변화로  $N(0, 10 \text{ Km/h})$ 의 정규 분포를 가정하였다.

수신 신호 전체 강도는 통화 지역에서 실측하거나, 컴퓨터를 이용한 모의 실험이나 여러 예측 모델을 통하여 수신 신호의 세기를 예측할 수 있는데 경제적 시간적으로 비효율적이고, 실제 사용 주파수, 기지국 송신 출력, 기지국과 이동국의 안테나 높이, 기지국과 이동국에서 사용하는 안테나의 이득과 실제 지형 데이터등이 부수적으로 요구되기 때문에 본 실험에

서는 비교적 간단한 식 (3)과 같은 난수 발생기를 이용하였다.

$$RSSI = \frac{K}{1 + \exp(-(A-2)/2)} \quad (3)$$

식 (3)에서  $RSSI$ 는 상대적으로 전체 강도로 0과  $K$  사이의 값을 가지며, 함수  $RSSI$ 의 인수  $A$ 는

$$A = \frac{K_1}{d^2} + K_2 \times N(0, 1) \quad (4)$$

와 같이 기지국과 이동국 사이의 거리  $d$ (격자, 1 격자 = 16m)의 제곱에 반비례하는 항과 평균이 0이고 표준 편차가 1인 정규 분포에서 얻어지는 난수에 비례하는 항의 합으로 표현된다. 여기서  $K_1$ 과  $K_2$ 는 각각 30000과 0.7로 하였고  $K$ 는 10으로 하였다.

이동국은 통화중 직진, 좌/우회전, 유턴의 방향 변화를 가정하였으며, 실제 직진에 의해 방향 변화가 일어나지 않을 가능성이 가장 많고, 좌/우회전은 동일한 빈도로 수행한다고 가정하였으며, 약간의 유턴도 고려하였다.

호 요구량은 전체 21개 셀에 변화하는 전체 호 요구량을 균등하게 21개 셀에 분배하거나 불균등하게 분배함으로써 균등한 호 요구와 불균등한 호 요구를 고려하였고, 불균등 호 요구의 경우 그림 1의 셀 배치 모형에서 중심에 위치한 셀은 도심이라 가정하여 많은 호 요구가 일어나고, 변경에 위치한 셀의 경우 적은 호 요구가 일어난다고 가정하였다.

비트 에러율은 디지털 방식의 시스템에서 수신 신호 전체 강도와 더불어 통화 품질의 중요한 척도중의 하나이며, GSM 시스템의 경우<sup>[6][7][8]</sup> 비트 에러율은 상향과 하향 링크의 RXQUAL로 나타낸다. 그러나, 이러한 비트 에러율은 시스템이 측정해야 하므로 모의 실험 환경에서 구현하기 어렵기 때문에 본 논문의 실험에서는 단지 양호한 채널의 비트 에러율을  $10^{-6}$ 이라고 가정하고, 이 값을 대칭으로  $10^{-3} \sim 10^{-13}$  사이의 값을 다음과 같은 방식으로 산출하였다.

$$X_1 = 0.05 \times (\tanh(1/(0.02 \times RSSI) - 15.254))$$

$$X_2 = X_1 \times (N(0, 1)/2^{15}) \times 5$$

$$if(X_2 < X_1) X_2 = -X_2$$

$$BER = X_1 + X_2$$

여기서, 수신 신호 전체 강도를 비트 에러율의 계산에 사용한 이유는 비트 에러율과 수신 신호 전체 강

도는 어느 정도 상관 관계가 있기 때문이었고, 이렇게 계산된 비트 에러율의 값은 매우 작은 값들이므로 소속함수를 구할때 상용 로그로 치환하여 이용하였다.

또한 가입자의 수는 1000명, 전체 가입자에 대한 1 사이클에 소요되는 시간은 10초로 가정하였다. 이 사이클 시간은 1사이클 후에 위치 변화나 방향 변화를 계산하는 기준이고, 실제 프로그램의 수행 시간과는 무관하다. 이러한 모의 실험 환경은 SUN 워크스테이션에서 C 언어로 개발되었고, 프로그램은 약 2000 줄 정도였다.

### III. 실험 및 검토

전체적인 모의 실험에서, 트래픽은 1분당 하나의 셀에서의 평균 호 요구량으로 조정하였다. 즉, 시스템에 전체적으로 할당되는 트래픽 양을 제한한 것은 아니며, 호 차단율을 2%로 하였을 경우, William Y.Lee의 어랑(Erlang) 표<sup>[2]</sup>에 의하면 144.7Erlang 이 된다. 각 결과는 프로그램을 1000회 반복시켰을 경우에 50번 반복 후 부터 950번 반복할 때까지(반복 회수 900회 × 사이클 시간 10초 = 1시간 50분) 얻은 데이터로, 반복 회수 50번 이후 즉 8분 20초 후에는 정상 상태에 있다고 가정하였으며, 950에서 1000회 반복 수행과정은 1000회 이후의 과정에 영향을 줄 수 있기 때문에 무시하였다.

실험에서 사용한 평가 지표로는 호 차단율과 호 중단율 및 핸드오버 요청율을 사용하였으며, 여기서 채널 할당 알고리즘을 평가하기 위한 호 차단율이란

$$\text{호 차단율} = \frac{\text{차단된 호수}}{\text{요구한 호수}}$$

로 정의되며, 핸드오버 알고리즘을 평가하기 위한 핸드오버 요청율은

$$\text{핸드오버 요청율} = \frac{\text{핸드오버를 요청 수}}{\text{접속된 호수}}$$

로 정의된다. 또한 이동국이 핸드오버를 필요로 하는데도 불구하고, 새로운 채널을 할당할 수 없으므로 호를 강제로 중단시키는 비율인 호 중단율은

$$\text{호 중단율} = \frac{\text{중단된 호수}}{\text{접속된 호수}}$$

와 같고, 핸드오버와 채널 할당 방법을 평가하기 위

한 지표로 사용하였다.

그림 3은 균일 호 요구시에, 호 차단율에 대한 결과로 호 차단율은 트래픽 증가에 따라 증가하고, 핸드오버 방법에 무관하게 MAXAVAIL 방식의 동적 채널 할당 방식이 가장 우수하며, 고정 채널 할당 방식이 가장 열등하였다. 또한 그림 4는 균일 호 요구시 호 중단율에 관한 결과로 트래픽 증가에 따라 호 중단율이 증가하며, 어떠한 핸드오버 방법에서도 MAXAVAIL에 의한 채널 할당 방식이 가장 호 중단 사태가 적게 일어나며, 고정 채널 할당 방법이 가장 많이 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, SIMPLE 방식이 MAXAVAIL 방식에 비해 크게 열등하지 않기 때문에 복잡성을 감안하면 SIMPLE 방법이 현실적인 방법이라 할 수 있을 것이다.

핸드오버 방법은 수신 전계 강도만에 따른 방법, Munoz-Rogrigez와 Cattermole의 방법, 식 (1)을 이용하는 방법, 식 (2)를 이용하는 방법을 핸드오버 요청율과 호 중단율, 핸드오버 영역의 관점에서 비교하였다. 수신 신호 전계 강도만에 의한 핸드오버의 경우는

“만약 이동국이 현재의 기지국으로 부터 거리가  $R^*$  보다 클 경우, 현재의 기지국으로 부터의 수신 신호의 전계 강도에  $\Delta F$ 를 더한 양과 인접한 기지국으로 부터의 전계 강도를 비교하여 가장 큰 값을 제공하는 기지국으로 핸드오버한다.”

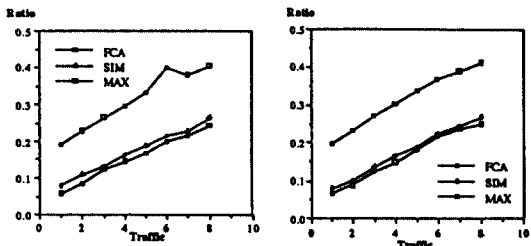
는 정책으로, 히스테리시스  $\Delta F$ 는  $0.1 \times$  (측정가능한 전계 강도의 최대값)로 하였다. 각 방법에서 사용한 문턱치들은 그림 9와 같이 핸드오버가 비교적 셀 경계부근에서 일어날 수 있도록 조정하는 과정에서 얻어진 결과이다.

그림 5는 균일 호 요구시 핸드오버 방식에 따른 핸드오버 요청율로서, 핸드오버 요청율은 호 요구량과 무관하며, 어떠한 채널 할당 방식이라도 식 (1)과 식 (2)를 이용하는 방법이 Munoz-Rogrigez와 Cattermole의 방법과 수신 신호 전계 강도에 의존하는 방법에 비해 약 절반 정도 밖에는 핸드오버 요청율이 발생하지 않았다(SIMPLE 채널 할당 방법의 경우 유사한 결과를 나타내었기에 생략함). 또한 그림 6의 SIMPLE 및 고정 채널 할당 방식에 있어서 호 중단율의 그래프(그림 6에서 MAXAVAIL의 채널 할당 방식의 경우에도 유사한 결과를 얻었으므로 생략함)에서 알 수 있듯이 식 (1)과 (2)를 이용하는 방법이

Munoz-Rogrigez와 Cattermole의 방법과 수신 신호 전계 강도를 이용하는 방법에 비해 호 중단이 채널 할당 방식에 무관하게 비교적 적게 일어남을 알 수 있었다. 따라서, Munoz-Rogrigez와 Cattermole의 방법과 수신 신호 전계 강도만의 경우보다는 제안된 다기준 의사 결정 방법을 이용하는 경우가 핸드오버 요청율이나 호 중단을 관점에서 우수함을 확인하였다. 그림 9에는 각 핸드오버 방법에 따른 핸드오버 영역을 표시하였다. 그림 9에서 알 수 있듯이 퍼지 이론을 적용하는 핸드오버 방법에 있어서 세계의 셀이 접하는 부근에서 핸드오버 영역이 파고 들어간 것을 관찰할 수 있고, 이러한 원인 때문에 이동국이 셀 경계 지역을 회유하는 경우에 발생하는 불필요한 핸드오버를 최대한 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

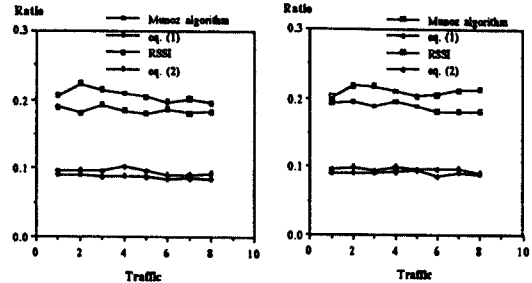
또한 균일 호 요구 실험 결과중에 가장 우수했던

MAXAVAIL의 채널 할당 방법과 식 (2)를 이용하는 방법에 대해, 균일, 불균일 호 요구시에 호 차단율과 호 중단을 관점에서 얼마나 성능 저하가 있는가를 알아 보았다. 그림 7에 도시된 결과에 따르면 불균일 호 요구시 균일 호 요구시 보다 성능이 떨어지는 것을 알 수 있으나, 그 차이는 약 1% 정도로 현저하지는 않다. 또한 그림 8은 식(1)을 이용하는 방법과 수신 신호 전계 강도만을 이용하는 핸드오버 방법을 적용하였을 경우의 호 요구 분포에 따른 핸드오버 요청율로서 식 (1)을 이용하는 경우 불균일 호 요구 상황에서도 핸드오버 요청율의 차이가 비교적 적었다. 따라서, 제안 알고리즘을 이용하는 핸드오버의 경우에 호 요구 분포에 덜 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.



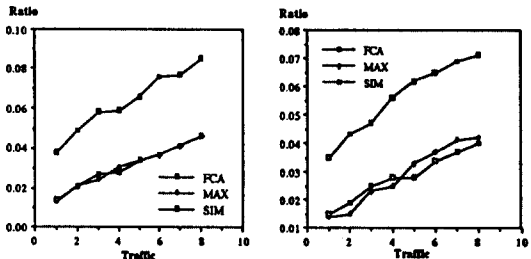
(a) Munoz-Rodrigez 알고리즘 (b) 수신 신호 전계 강도만의 경우

그림 3. 채널 할당 방식에 따른 호 차단율  
Fig. 3. Call Block Ratio According to Channel Allocations



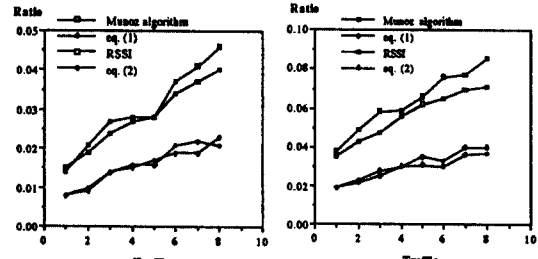
(a) MAXAVAIL 적용의 경우 (b) 고정 채널 할당의 경우

그림 5. 핸드오버 방식에 따른 핸드오버 요청율  
Fig. 5. Handover Request Ratio According to Handover Methods



(a) Munoz-Rodrigez 알고리즘 (b) 수신 신호 전계 강도만의 경우

그림 4. 채널 할당 방식에 따른 호 중단율  
Fig. 4. Call Force Ratio According to Channel Allocations



(a) SIMPLE 채널 할당의 경우 (b) 고정 채널 할당의 경우

그림 6. 핸드오버 방식에 따른 호 중단율  
Fig. 6. Call Force Ratio According to Handover Methods



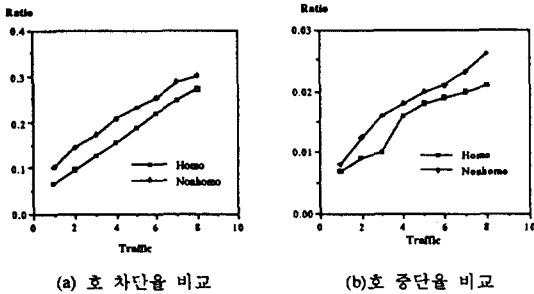
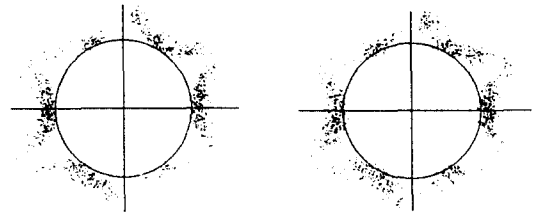


그림 7. 균일, 불균일 호 요구시의 호 차단율과 호 중단율  
Fig. 7. Call Block and Force Ratio According to Call Requests



(c)식 (1)을 이용한 경우 (d)식 (2)를 이용한 경우  
그림 9. 핸드오버 영역  
Fig. 9. Handover Region

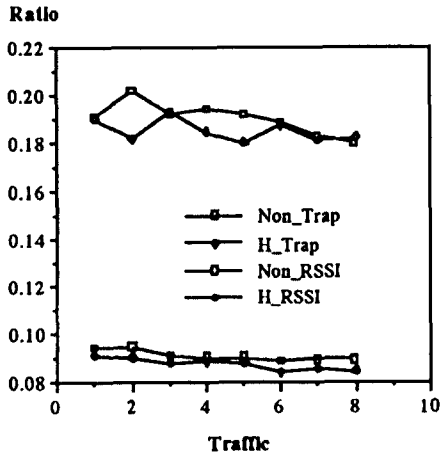
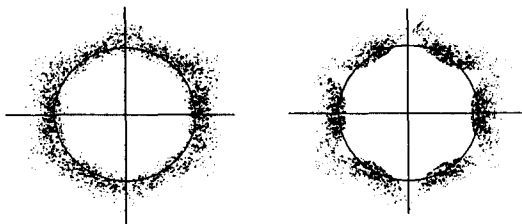


그림 8. 균일과 불균일 호 요구시 식 (1)을 이용한 방법과 수신 신호 전계 강도를 이용한 방법의 비교  
Fig. 8. Comparison between the methods Eq. (1) and RSSI for Call Requests



(a)수신 신호 전계 강도 이용시 (b)Munoz-Rodriguez와 Cattermole 알고리즘

#### IV. 결 론

본 논문은 퍼지 이론에 기반을 둔 다기준 의사 결정 방법을 이용하는 핸드오버 알고리즘을 제안하고 모의 실험을 통하여 평가하였다.

제안된 핸드오버 알고리즘은 이동국과 기지국사이의 거리, 수신 신호 전계 강도, 비트 에러율등을 종합적으로 이용하는 방식으로 단일 평가기준을 이용하는 방법과 결정론적 의사 결정에 비해 입력의 오차가 최종 판단치에 완만한 경사로 나타나기 때문에 입력 파라미터의 측정 오차에 대해 강건한 판단을 제공하며, 의사 결정의 최종 단계에서 판단치에 문턱값을 조정함에 의해 의사 결정의 유연성을 향상시킬 수 있다.

실험 결과에 따르면 동적 채널 할당의 WAXAVAIL 방법이 호 차단율과 호 중단율에서 가장 우수했으며, 제안된 퍼지 이론을 이용하는 경우가 핸드오버 빈도가 가장 작았고, 통화 도중 호가 중단되는 빈도가 가장 낮았다. 그러나, SIMPLE 방식의 경우 비록 같은 동적 채널 할당 방법인 MAXAVAIL 방법 보다 성능이 떨어지나, 큰 차이가 없고 훨씬 알고리즘의 복잡성이 적기 때문에 현실적인 것으로 예상된다. 핸드오버 알고리즘의 비교에서는 기존의 수신 신호 전계 강도만을 이용하는 경우보다 제안된 퍼지 이론을 이용하는 방법이 핸드오버 요청율이나 호 중단율이 비교적 작은 것을 확인하였다. 또한 제안된 퍼지 이론을 이용하는 핸드오버 방법이 불균일 호 요구 분포에서도 핸드오버 요청율등에서 크게 성능이 떨어지지 않고 비교적 강건한 특성을 유지함을 관찰할 수 있었다.

또한 실험을 위해 개발된 소프트웨어는 향후 각종 핸드오버 알고리즘과 채널 할당 방식을 평가하는데

유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구될 사항으로는 제안된 핸드오버 알고리즘은 inter-cell 핸드오버만 고려하였으므로 intra-cell 핸드오버도 고려해야 하며, 또한 본 논문 실험에서 사용한 문턱치와 실제 통화의 질과의 문제, 즉 이러한 문턱치의 값이 통화의 질적인 문제에 있어서 합당한지를 살펴 보아야 하며, 다른 핸드오버 알고리즘과도(예, GSM 시스템) 비교되어야 할 것이다.

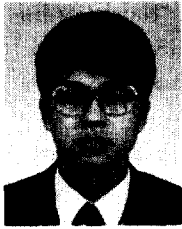
### 참 고 문 헌

1. 한 영렬, "셀룰라 이동 통신 시스템," 한국통신학회지, 제3권 1호, pp.71-77, 1986년. 6월.
2. W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill 1990.
3. A. Gamst, "Some Lower Bounds for a Class of Frequency Assignment Problems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.VT-35, No.1, pp. 8-14, Feb.1986.
4. D. C. Cox and D. O. Reudink, "Dynamic Channel Assignment in High-Capacity Mobile Communications System," *The Bell System Technical Journal*, Vol.50, No.6, pp.1833-1856, July-August 1971.
5. T. J. Kahwa and N. D. Georganas, "A Hybrid Channel Assignment Scheme in Large-Scale Cellular-Structured Mobile Communication System," *IEEE Trans. on Communications*, Vol.26, No.4, pp.432-438, April 1975.
6. 김 영일, 노 경호, 김 기홍, 임 승철, 이 숙진, 김 호영, 최 각진, "이동통신 시스템의 Handover에 대한 고찰," 전자통신 동향 분석, pp.1991년 1월.
7. W. R. Mende, "Evaluation of A Proposed Handover Algorithm for the GSM cellular System," *Proceedings of 40th IEEE VI Conference*, Florida, pp.264-269, May 1990.
8. D. J. Targett and H. R. Rast, "Handover-Enhanced Capabilities of the GSM System," *Proceedings of Digital Cellular Radio Conference*, Place Oct. 1988.
9. A. Murase, I. C. Symington and E. Green, "Handover Criterion for Macro and Microcellular System," *IEEE GLOBECOM*, pp.524-530, 1991.
10. M. Gudmundson, "Analysis of Handover Algorithm," *IEEE GLOBECOM*, pp.537-542, 1991.
11. K. N. Sivarajan and R. J. McEliece, "Dynamic Channel Assignment in Cellular Radio," CH 2538-7/88/0000-0781, pp.631-637, 1988 IEEE.
12. G. J. Klir and T. A. Folger, *Fuzzy Sets, Uncertainty and Information*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
13. D. Dubois and H. Prade, "A Review of Fuzzy Set Aggregation Connective," *Information Sciences*, Vol.36, No.1, & 2, 1985.
14. J. Lee, *Fuzzy-Connective-Based Information Fusion Networks and their Application to Computer Vision*, Univ. of Missouri in Columbia, Ph. D. Dissertation, 1990.
15. 정한호, 김준철, 이준환, "퍼지 이론을 이용한 핸드오버 알고리즘의 개발," 전자공학회 추계 종합 학술대회, Vol.15, No.2, pp.24-30, 1992.
16. D. Munoz Rodriguez and K. W. Cattermole, "Hand-off Procedure for Fuzzy Defined Radio Cells," CH2429-9/87/000-038, pp.38-43, 1987 IEEE.

---

본 논문은 1991년 통신기술 지원국과 1992년 전자통신 연구소의 지원으로 이루어졌음.

---



**鄭漢鎬 (Han Ho Cheong) 正會員**  
1966년 4월 7일생  
1991년 2월 : 전북대학교 전자공학과 졸업(학사)  
1993년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
※주관심분야 : 이동통신 및 영상통신



**金準哲 (Joon Cheol Kim) 정회원**  
1960년 9월 1일생  
1986년 2월 : 전북대학교 전자공학과(공학사)  
1988년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
1988년 1월 ~ 1991년 2월 : 금성산전 연구소 연구원 근무  
1993년 3월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료  
1993년 3월 : 서남대학교 전임강사  
※관심분야 : 패턴인식, 컴퓨터 비전, 영상처리



**李俊煥 (Joon Whoan Lee) 정회원**  
1957년 7월 26일생  
1980년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1990년 8월 : 미국 미주리대학교 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1985년 : 전북대학교 전자공학과 전임강사  
1990년 : 전북대학교 전자공학과 조교수  
※관심분야 : 인공지능, 영상처리 및 인식, 퍼지이론 및 신경회로망