韓國經營科學會誌
第22卷 第4號
1997年 12月

이동통신시스템의 성능 개선을 위한 동적채널할당체계*

장 근 녕**

Efficient Dynamic Channel Assignment Scheme for Cellular Mobile Systems*

Kun-Nyeong Chang**

Abstract

In this paper, an efficient dynamic channel assignment scheme is suggested, which consists of two types of channel allocation strategies: ordinary channel allocation strategy and channel reallocation strategy. An analysis on the handoff probabilities of handoff and new calls is also performed, and using the analyzed handoff probability, the presented scheme is compared with other existing schemes in terms of three types of blocking probabilities - new call blocking probability, handoff call blocking probability, and network blocking probability (incomplete service probability). Simulation results show that the presented scheme significantly reduces those blocking probabilities over the existing schemes. Furthermore, the scheme has much smaller number of reallocations than other schemes.

1. 서 론

이동통신 사용자의 수가 폭발적으로 증가함에 따라 한정된 전파자원의 효율적인 이용에 대한 관심이 한층 더 높아지고 있다. 이동통신시스템에서 주파수를 효율적으로 이용하기 위해 도입된 접근방법중의 하나가 서비스지역을 여러개의 작은 셀들로 나누는 셀룰라구조 개념이다. 각 셀마다 기지국이 설치되고, 이동국들은 채널을 이용하여 기지국을 통해서 통신을 하게 된다. 채널이란 다중접속기법(multiple access technique)에 따라 FDMA(frequency division multiple access)의 경우에는 하나의 주파수밴드(frequency band)를,

* 이 연구는 1997년도 부산여자대학교 연구비로 이루어졌음.
** 부산여자대학교 경영정보학과

TDMA(time division multiple access)의 경우에는 하나의 시분할(time-slot)을, CDMA(code division multiple access)의 경우에는 하나의 코드(code)를 의미한다[3]. 채널 재사용 개념은 셀룰라 이동통신시스템의 핵심적인 개념인데, 이러한 채널 재사용 시스템에서는 서로 간섭을 받지 않는 지역의 이동국들은 동일한 채널을 동시에 사용할 수 있다. 따라서 각 채널의 시스템내에서의 재사용 정도가 시스템의 효율성에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

지금까지 많은 채널할당체계가 제시되어 왔다[1-3, 7-11]. 고정채널할당(fixed channel assignment: FCA)체계는 많은 이동통신시스템에서 이용되는 가장 기초적인 방법인데, 이 방식에서는 각 셀의 통화량에 따라 사전에 각 셀에 특정의 채널들을 배정해 두고 호(call)가 발생하면 이들 채널중의 하나를 할당한다. 동적채널할당(dynamic channel assignment: DCA)체계에서 각 셀은 모든 채널을 사용할 수 있는데, 호가 발생할 때마다 주파수간섭을 고려하여 하나의 채널을 할당하게 된다. 동적채널할당체계는 통화량이 자주 바뀌는 상황에 대처하기 위한 방법으로 개발되어 왔다. 또한 향후 이동통신시스템의 셀 크기가 계속 작아짐에 따라 사전 주파수 계획이 필요없는 동적채널할당체계에 대한 기대가 더욱 커지고 있다.

본 연구에서는 2가지 유형의 채널할당전략으로 구성되어 있는 동적채널할당체계를 제시하였다. 또한 핸드오프호(handoff call)와 신규호(new call)의 핸드오프확률(handoff probability)을 수리적으로 분석하였고, 이를 이용하여 제안된 방식과 기존의 세가지 방식인 고정균등채널할당체계(fixed uniform channel assignment scheme), 단순동적채널할당체계(timid dynamic channel assignment scheme), Zhang과 Yum의 차용채널할당체계 BDCL (borrowing with directional channel-locking)[10]등과 비교하였다.

2. 동적채널할당체계(dynamic channel assignment scheme)

본 연구에서 제시되는 동적채널할당체계는 통상채널할당전략(ordinary channel allocation strategy)과 채널재할당전략(channel reallocation strategy) 등 2개의 채널할당전략으로 구성된다. 어떤 셀에 호가 발생하면 먼저 통상채널할당전략을 통해서 채널을 할당하고, 이 전략으로 채널을 할당할 수 없으면 채널재할당전략을 적용한다.

2.1 통상채널할당전략(ordinary channel allocation strategy)

셀 i에 호가 발생했을 때 셀내에 사용가능채널(free channel)이 있으면 그 채널을 할당한다. 단 사용가능채널이 2개이상 존재할 경우에는, 각 사용가능채널이 그것의 명목셀(nominal cell)들에 미치는 영향을 계산하여 그 영향이 가장 작은 채널을 선택한다. 여기서 셀 i내의 사용가능채널이란 지금 셀 i에서 사용해도 인접한 셀들과 간섭을 일으키지 않는 채널들을 말하고, 채널의 j의 명목셀이란 채널 j가 명목채널(nominal channel)로 배정되어 있는 셀들을 말하고, 셀 i의 명목채널이란 임의의 고정채널할당체계[6,7,9,11]에 의해 셀 i에 명목적으로 배정되어 있는 채널들을 말한다.

사용가능채널 j를 셀 i에서 발생한 호에 할당하는 것이 채널 j의 명목셀들에 미치는 영향

$C_i(j)$는 다음과 같이 정의된다.

$$C_i(j) = \sum_{\forall k \in I_i \cap S(j)} (1 - CA_k)^p q_k(j).$$

이 값은 셀 i에서 채널 j를 사용함에 따라 채널 j가 새로이 폐쇄되는 셀들에 미치는 악영향을 모두 합한 값을 나타낸다. 채널 j가 셀 i에서 폐쇄된다는 것은 인접한 셀들과의 간섭 때문에 채널 j를 셀 i에서 사용할 수 없게 됨을 의미한다. 여기서 I_i는 셀 i의 간섭셀(interfering cell)들의 집합을 나타내고, $S(j)$는 채널 j의 명목셀들의 집합을 나타낸다. $q_k(j)$는 현재 채널 j가 셀 k에서 사용가능하면 1의 값을 가지고, 그렇지 않으면 0의 값을 가진다. CA_k는 아래에서 자세히 설명되겠지만, 셀 k의 채널이용가능율(channel availability rate)을 나타낸다. 마지막으로 모수 p는 채널이용가능율이 낮은 셀에 미치는 효과의 중요도를 결정하는 모수이다 ($p>0$). p가 커질수록 채널이용율이 낮은 셀에 미치는 효과를 중요하게 고려하게 된다.

통상채널할당전략은 영향값 $C_i(j)$가 가장 작은 사용가능채널을 선택한다. 동일한 영향값을 가지는 채널이 2개이상이면 다음의 2가지 기준을 통해서 결정한다. 즉, 명목채널을 우선적으로 선택하고, 이를 통해서도 결정이 되지 않으면 번호가 가장 낮은 채널을 선택한다.

셀 k의 채널이용가능율 CA_k를 정의하는 가장 간단한 방법중의 하나는 CN_k/N_k로 정의하는 것이다. 여기서 N_k는 셀 k에 사전적으로 배정된 명목채널의 개수를 나타내고, CN_k는 현재 셀 k에서 사용이 가능한 명목채널의 수를 나타낸다.

이 값 CN_k/N_k는 현재시점의 셀 k의 채널이용가능율을 나타낸다고 할 수 있다. 그런데, 현재의 채널이용가능율보다는 다음 호가 발생할 때의 채널이용가능율을 고려하는 것이 보다 바람직할 것이다. 이 차호발생시점에서의 셀 k의 기대채널이용가능율(expected channel availability rate)은 EN_k/N_k로 정의된다. 여기서 EN_k는 차호발생시점에 셀 k에서 사용가능한 명목채널수의 기대값을 나타내는데, EN_k는 다음과 같이 정의된다.

$$EN_k = \sum_{l \in S_k} p_{kl}$$

여기서 S_k는 셀 k에 배정된 명목채널들의 집합을 나타내고, p_{kl}은 셀 k에서 채널 l의 기대이용가능확률(expected availability rate)로 셀 k에 차호가 발생했을 때 채널 l이 사용가능할 확률을 나타낸다. 이 확률 p_{kl}을 정확히 계산하는 것은 매우 어렵다. 따라서 셀 k에 차호가 발생하기 전에 채널 l이 모든 채널 l의 폐쇄셀(locking cell)에서 자유로와 질 확률로 근사한다. 셀 k에서 채널 l의 폐쇄셀이란 간섭 때문에 채널 l을 k에서 사용할 수 없게 만드는 셀들을 말한다.

p_{kl}의 근사값을 계산하기 위해서, 신규호(new call)와 핸드오프호(handoff call)는 서로 독립적인 포아송분포(Poisson distribution)에 따라 발생하고, 신규호와 핸드오프호의 채널점유시간(channel holding time)은 지수분포(exponential distribution)를 따른다고 가정한다. 여기에서 핸드오프호에는 셀간의 핸드오프만 고려되고, 아래에서 설명될 채널재할당전략에 따른 재할당호는 포함되지 않는다. 채널점유시간은 통화시간뿐만 아니라 차량의 속도에 따라 달라진다. 그러나 차량이 여러 셀을 거치면서 통화를 한다는 사실

에도 불구하고 지수모형이 일반적으로 정확하고 따라서 많이 이용되고 있다[4,5,8].

이제 셀 k에 대해서 신규호와 핸드오프호의 도착률(arrival rate)의 추정치가 각각 λ_k^n와 λ_k^h라 하고, 평균점유시간의 추정치는 각각 $1/\mu_k^n$와 $1/\mu_k^h$라 하자. 이 때 p_{kl} 의 근사값 $\overline{p_{kl}}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{p_{kl}} = P\{\max\{Y_s, s\in L_{kl}\} < X_k\}$$

$$= \int_0^\infty \mathrm{P}\{\max\{Y_s, s\in L_{kl}\} < X_k \mid X_k = x\}\lambda_k e^{-\lambda_k x} dx$$

$$= \int_0^\infty \Pi_{s\in L_{kl}}(1-\mathrm{P}\{Y_s \geq x\})\lambda_k e^{-\lambda_k x} dx$$

$$= \lambda_k\left(\frac{1}{\lambda_k} - \sum_{s\in L_{kl}}\frac{1}{\mu_s+\lambda_k} + \sum_{s<t,\ s,t\in L_{kl}}\frac{1}{\mu_s+\mu_t+\lambda_k}\right.$$

$$\left. +\cdots+(-1)^{|L_{kl}|}\frac{1}{\sum_{s\in L_{kl}}\mu_s+\lambda_k}\right)$$

여기서 셀 k에서 발생한 호의 도착시간을 나타내는 확률변수(random variable) X_k는 평균도착시간이 $1/\lambda_k = 1/(\lambda_k^n+\lambda_k^h)$인 지수분포를 따르고, 셀 s에서의 채널점유시간을 나타내는 확률변수 Y_s는 평균점유시간이 $1/\mu_s$인 지수분포를 따른다. 단, 셀 s의 해당 호가 신규호이면 $\mu_s = \mu_s^n$이고, 핸드오프호이면 $\mu_s = \mu_s^h$이다. 또한 L_{kl} 은 셀 k에서 채널 l 의 폐쇄셀들의 집합을 나타내고, $|L_{kl}|$ 은 집합 L_{kl} 의 원소 개수를 나타낸다.

2.2 채널재할당전략(channel reallocation strategy)

어떤 셀에 호가 발생했을 때 그 셀에 사용가능채널이 없으면, 單채널재할당절차(one-channel reallocation process)를 통해서 폐쇄채널을 할당할 수 있는지를 점검해 본다. 여기서 셀 i의 폐쇄채널이란 인접한 셀들과의 간섭 때문에 셀 i에서 사용할 수 없게 된 채널들을 말한다. 이 절차에서는 하나의 폐쇄셀만을 갖고 있는 폐쇄채널을, 그 폐쇄셀의 해당호에 다른 채널을 할당함으로써 자유롭게 하여 이 채널을 새로이 발생한 호에 할당한다.

單채널재할당절차(one-channel reallocation process)

(단계 1) 오직 하나의 폐쇄셀만을 갖고 있는 폐쇄채널들을 모두 찾는다 (단, 폐쇄셀에는 사용가능채널이 있어야 함). 2개이상의 폐쇄채널이 발견될 경우에는 아래의 값을 최소로 하는 채널 j^*를 선택한다.

$$v_j = 2v_j^a + v_j^b$$

여기서 v_j^a는 폐쇄채널 j가 명목채널이면 0의 값을 가지고, 명목채널이 아니면 1의 값을 가진다. v_j^b는 폐쇄채널 j의 폐쇄셀이 사용가능한 명목채널을 가지고 있으면 0의 값을 가지고 그렇지 않으면 1의 값을 가진다.

(단계 2) 폐쇄채널 j^*의 폐쇄셀에 있는 해당호에 통상채널할당전략을 통해 다른 사용가능채널을 할당하여 채널 j^*를 자유롭게 만든다. 이 채널 j^*를 새로 발생한 호에 할당한다.

3. 핸드오프확률 분석

핸드오프(handoff)는 채널점유시간(channel hold-

ing time)이 사용자가 호를 시작해서 셀경계에 도달하는데 걸리는 시간보다 클 경우에 발생한다. 따라서 셀 i에서 발생한 호가 인접한 셀로 핸드오프될 확률 HP_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$HP_i = P\{Y_i > T_i\}$$

여기서 Y_i는 셀 i에서 발생한 호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수이고, T_i는 사용자가 호를 시작해서 셀경계에 도달하는데 걸리는 시간을 나타내는 확률변수이다. 제2절에서 소개된 내용에 기초하여, 핸드오프호와 신규호의 채널점유시간은 평균이 각각 $1/\mu_i^h$ 와 $1/\mu_i^n$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다. 한편, 확률변수 T_i는 다음의 식으로 정의된다.

$$T_i = \frac{D_i}{V_i}$$

여기서 D_i 는 셀 i에서 발생한 호의 운행거리(travel distance)를 나타내는 확률변수이고, V_i 는 평균속도(mean velocity)를 나타내는 확률변수이다.

핸드오프호는 항상 셀경계에서 발생한다는 점을 감안하여 핸드오프호의 운행거리 D_i^h는 0과 $2R_i$ 범위에서 일양분포(uniform distribution)를 따른다고 가정한다(R_i는 셀 i의 반지름을 나타냄). 한편 신규호는 셀내의 어느 지점에서나 발생할 수 있으므로, 신규호의 운행거리는 r과 $2R_i - r$ 범위에서 일양분포를 따른다고 가정한다(r은 호가 발생한 지점과 설경계 사이의 최소거리를 나타냄). 따라서 신규호의 운행거리 D_i^n 의 확률밀도함수(probability density function)는 다음과 같이 유도된다.

$$f_{D_i^n}(d_i^n) = \begin{cases} \dfrac{-|R_i - d_i^n| + R_i}{R_i^2}, & \text{if } 0 \le d_i^n \le 2R_i \text{ ;} \\ 0, & \text{그외} \end{cases}$$

또한 i셀 에서 발생한 호의 평균속도 V_i는 다음의 2차함수(quadratic function)에 따라 결정된다고 가정한다.

$$f_{V_i}(v_i) = \begin{cases} -\dfrac{6}{\overline{v_i}^3}(v_i^2 - \overline{v_i}v_i), & \text{if } 0 \le v_i \le \overline{v_i} \text{ ;} \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$$

여기서 $\overline{v_i}$는 셀 i에서 발생한 호의 최대평균속도를 나타낸다.

위의 가정을 이용하면 $T_i^h (= D_i^h / V_i)$ 와 $T_i^n (= D_i^n / V_i)$의 확률밀도함수는 각각 다음과 같이 유도된다.

$$f_{T_i^h}(t_i^h) = \begin{cases} \dfrac{\overline{v_i}}{4R_i}, & \text{if } 0 \le t_i^h \le \dfrac{2R_i}{\overline{v_i}} \text{ ;} \\ 2\left(\dfrac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^2 \dfrac{1}{(t_i^h)^3} - \dfrac{3}{2}\left(\dfrac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^3 \dfrac{1}{(t_i^h)^4}, & \text{if } t_i^h > \dfrac{2R_i}{\overline{v_i}} \text{ ;} \\ 0, & \text{그외} \end{cases}$$

$$f_{T_i^n}(t_i^n)=\begin{cases}\frac{6}{5}\left(\frac{\overline{v_i}}{2R_i}\right)^2 t_i^n, & \text{if } 0\le t_i^n\le \frac{R_i}{\overline{v_i}};\\ 2\left(\frac{\overline{v_i}}{2R_i}\right)-\frac{6}{5}\left(\frac{\overline{v_i}}{2R_i}\right)^2 t_i^n-\frac{1}{4}\left(\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^2\frac{1}{(t_i^n)^3} & \\ \quad+\frac{3}{40}\left(\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^3\frac{1}{(t_i^n)^4}, & \text{if } \frac{R_i}{\overline{v_i}}<t_i^n\le\frac{2R_i}{\overline{v_i}};\\ \frac{7}{4}\left(\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^2\frac{1}{(t_i^n)^3}-\frac{9}{8}\left(\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\right)^3\frac{1}{(t_i^n)^4}, & \text{if } t_i^n>\frac{2R_i}{\overline{v_i}};\\ 0, & \text{그외}\end{cases}$$

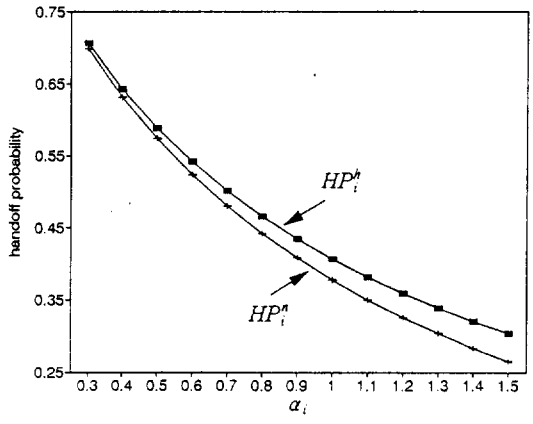
따라서 핸드오프호와 신규호의 핸드오프확률 HP_i^h와 HP_i^n는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$HP_i^h=\frac{1}{2\alpha_i^h}+\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{2\alpha_i^h}-\frac{3\alpha_i^h}{4}-\frac{(\alpha_i^h)^2}{4}\right)e^{-\alpha_i^h}+\left((\alpha_i^h)^2+\frac{(\alpha_i^h)^3}{4}\right)\int_{\alpha_i^h}^{\infty}\frac{1}{t_i^h}e^{-t_i^h}dt_i^h$$

$$\begin{aligned}HP_i^n=\;&\frac{6}{5(\alpha_i^n)^2}+\left(-\frac{3}{10}+\frac{\alpha_i^n}{5}+\frac{(\alpha_i^n)^2}{40}+\frac{4}{5\alpha_i^n}-\frac{12}{5(\alpha_i^n)^2}\right)e^{-\frac{\alpha_i^n}{2}}\\&+\left(\frac{3}{5}-\frac{4\alpha_i^n}{5}-\frac{(\alpha_i^n)^2}{5}-\frac{4}{5\alpha_i^n}+\frac{6}{5(\alpha_i^2)^2}\right)e^{-\alpha_i^n}\\&+\frac{(\alpha_i^n)^2}{8}\int_{\frac{\alpha_i^n}{2}}^{\infty}\frac{1}{t_i^n}e^{-t_i^n}dt_i^n+\left(\frac{7(\alpha_i^n)^2}{8}+\frac{3(\alpha_i^n)^3}{16}\right)\int_{\alpha_i^n}^{\infty}\frac{1}{t_i^n}e^{-t_i^n}dt_i^n\end{aligned}$$

여기서 $\alpha_i^h(=\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\mu_i^h)$와 $\alpha_i^n(=\frac{2R_i}{\overline{v_i}}\mu_i^n)$는 사용자 이동성(user mobility)을 나타낸다[3].

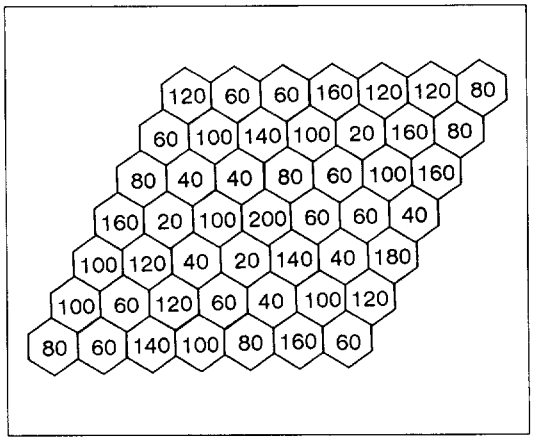
〈그림 1〉에는 사용자 이동성 $\alpha_i(=\alpha_i^h=\alpha_i^n)$에 따른 핸드오프호와 신규호의 핸드오프확률 HP_i^h와 HP_i^n가 정리되어 있다. 그림을 통해 핸드오프호의 핸드오프확률이 신규호의 핸드오프확률보다 크고, 사용자 이동성이 증가함에 따라 (α_i 가 감소함에 따라) 핸드오프확률은 증가함을 알 수 있다. 핸드오프호의 핸드오프확률이 다소 크게 나타나는 것은 셀경계에서만 발생하는 핸드오프호의 특성과 핸드오프호와 신규호의 사용자 이동성이 동일하다 ($\alpha_i^h=\alpha_i^n$)는 가정 때문이다. $R_i=0.75$km, $\overline{v_i}=60$km/h, $1/\mu_i^h=1/\mu_i^n=3$min.인 마이크로셀룰라 시스템 (microcellular system)에 대해서 핸드오프호와 신규호의 핸드오프확률 HP_i^h와 HP_i^n은 각각 0.58881과 0.57079이다.



〈그림 1〉 α_i 에 따른 핸드오프호와 신규호의 핸드오프확률 변화

4. 비교분석

실험을 통해 본 연구에서 제시된 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교분석하였다. 실험에는 참고문헌 [10]에 제시된 〈그림 2〉와 같은 불균등트래픽분포를 갖는 규칙이동통신시스템(regular cellular mobile system)을 이용하였다. 그림내의 숫자는 각 셀의 신규호 도착률을 나타낸다. 신규호와 핸드오프호의 평균채널점유시간은 3분, 총



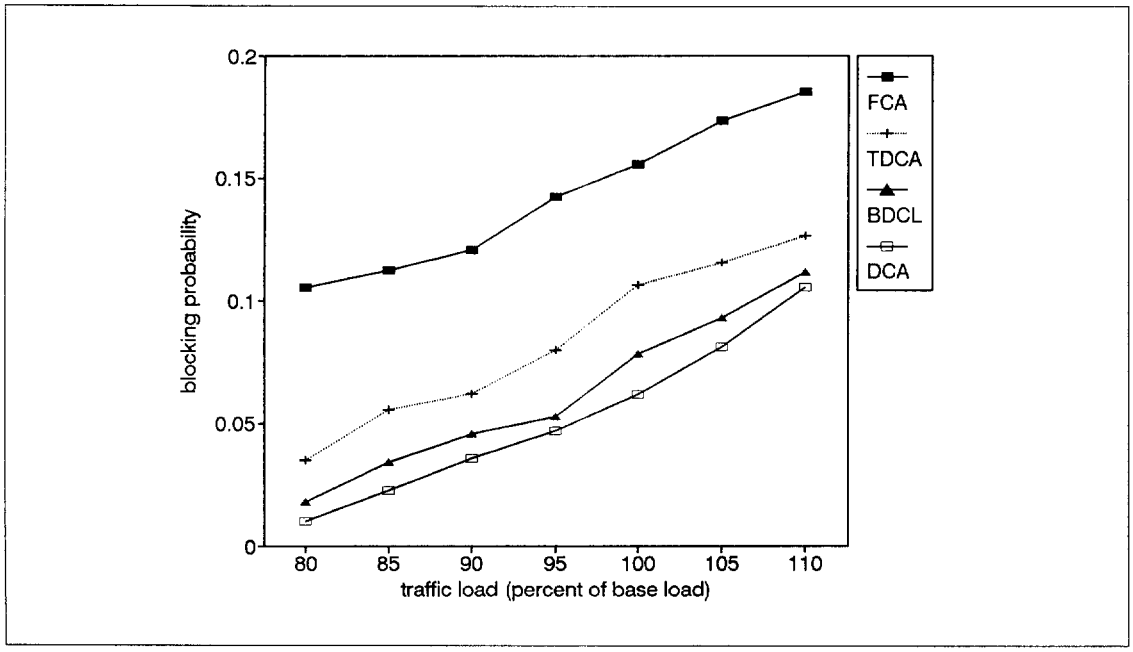
〈그림 2〉 불균등트래픽을 갖는 이동통신시스템

채널의 수는 70으로 가정하였다. 최소인접채널재사용거리(minimum cochannel reuse distance)는 $\sqrt{21}R_i$ 이고 (R_i 는 0.75km임), $\overline{v_i}=60$km/h 이다. 실험에서 $p=1$과 $CA_k=EN_k/N_k$를 이용하였다. EN_k를 계산하기 위해서 실험중에 생기는 자료를 이용하여 추정한 $\lambda_k^n, \lambda_k^h, \mu_k(=\mu_k^n=\mu_k^h)$를 이용하였다. 각 셀에 대한 명목채널의 집합을 설계하기 위해 고정균등할당체계(fixed uniform allocation scheme)를 사용하였다.

세가지 유형의 손실율 (blocking probability) - 신규호손실율 (new call blocking probability), 핸드오프호손실율 (handoff call blocking probability), 망손실율 (network blocking probability) - 을 통해 제시된 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교하였다. 신규호손실율이란 신규호에 채널을 할당하지 못하는 확률을 나타내고, 핸드오프호손실율은 핸드오프호에 채널을 할당하지 못하는 확률을 나타내고, 망손실율은 신규호가 채널을 할당받지 못하던가 핸드오프되지 못하여 완전한 서비스를 받게 되지 못하는 확률을 나타낸다. 〈그림 3〉에서 〈그림 5〉를 통해 제안된 체계(DCA)가 비교한 다른 세가지 체계인 고정균등채널할당체계(FCA), 단순동적채널할당체계(TDCA), Zhang과 Yum의 차용채널할당체계 BDCL에 비해 호손실율이 상당히 많이 감소됨을 알 수 있다. 참고로, 명목채널의 집합을 설계하는 방법으로 고정균등할당체계 대신에 참고문헌 [6]과 [11]에 제시된 보다 효율적인 방법을 사용할 경우, BDCL과 DCA의 호손실율은 비슷한 비율로 감소한다. 한편 채널재할당은 시스템에 운영상 부담을 주게 되는데, 〈그림 6〉은 제안된 체계가 BDCL보다 훨씬 낮은 재할당비율(reallocation ratio)을 가짐을 보이고 있다. 여기서 재할당비율은 신규호의 개수에 대한 재할당 횟수의 비율을 나타낸다.

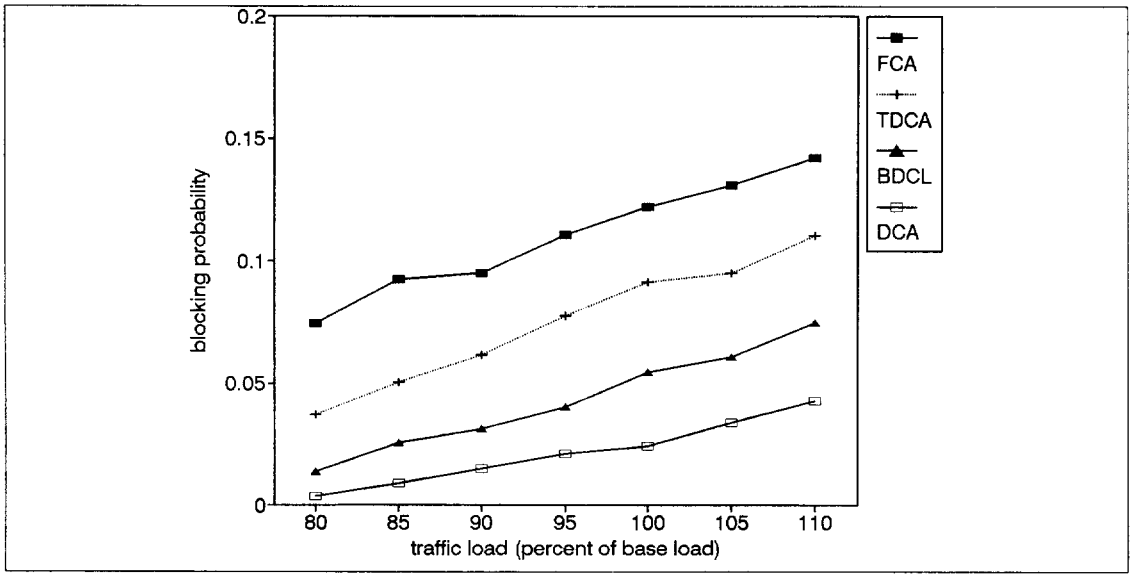
5. 결 론

이동통신시스템에서의 채널할당은 크게 고정채널할당체계와 동적채널할당체계로 구분되어진다. 동적채널할당체계에서 각 셀은 모든 채널을 사용할 수 있는데, 호가 발생할때마다 주파수간섭을 고려하여 하나의 채널을 할당하게 된다.

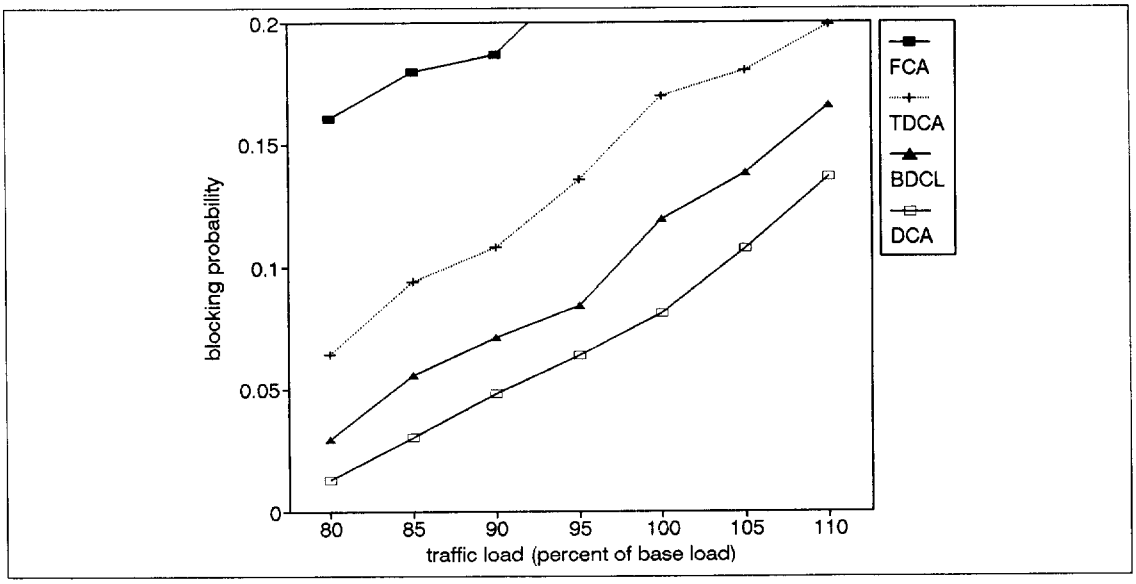


〈그림 3〉 신규호손실율 비교

이 방식은 통화량이 자주 바뀌는 상황에 대처하기 위한 방법으로 개발되어 왔다. 게다가 미래 이동통신시스템의 셀 크기가 계속 작아짐에 따라 사전 주파수 계획이 필요없는 동적채널할당

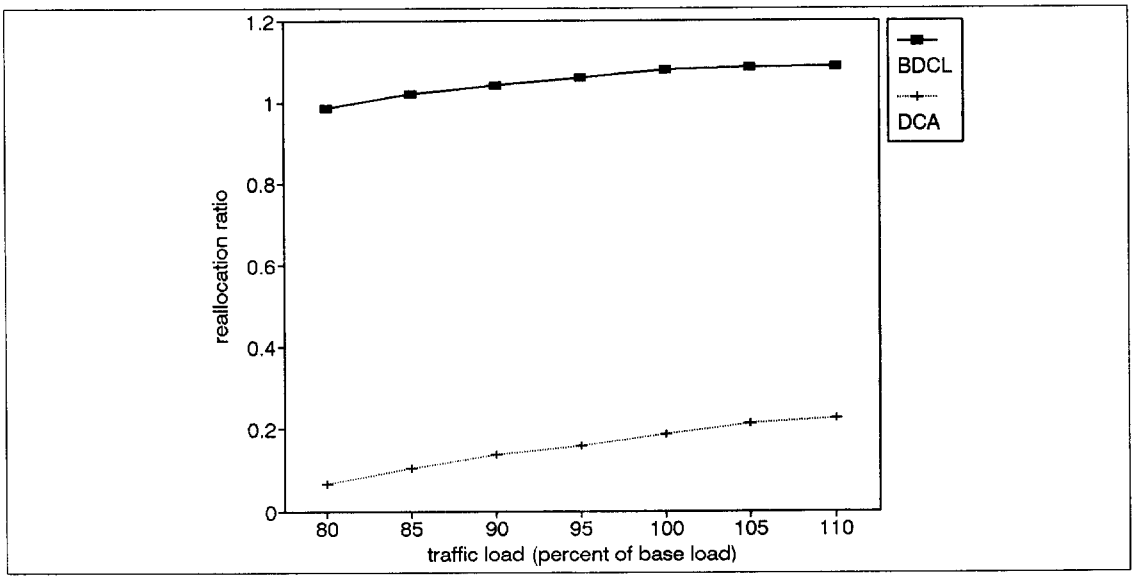


〈그림 4〉 핸드오프호손실율 비교



〈그림 5〉 망손실율 비교

체계에 대한 기대가 더욱 커지고 있다. 본 연구에서 제시된 2가지 채널할당전략으로 구성된 동적채널할당체계는 기존의 다른 방법들에 비해 시스템 성능을 현저하게 향상시켰다.



〈그림 6〉 재할당비율 비교

참 고 문 헌

[1] Cimini Jr., L. J. and G. J. Foschini, "Call blocking performance of distributed algorithms for dynamic channel allocation in microcells," ***IEEE Transactions on Communications***, Vol. 42(1995), pp. 2600-2607.

[2] Cox, D. C. and D. O. Reudink, "Dynamic channel assignment in high capacity mobile communications systems," ***Bell System Technical Journal***, Vol. 50(1971), pp. 1833-1857.

[3] Del Re, E., R. Fantacci and G. Giambene, "Handover and dynamic channel allocation techniques in mobile cellular networks," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, Vol. 44(1995), pp. 229-237.

[4] Guerin, R., "Channel occupancy time distribution in a cellular radio system," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, Vol. 36(1987), pp. 89-99.

[5] Hong D. and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, vol. 35(1986), pp. 77- 92.

[6] Kim, S. and K.-N. Chang, "Optimal channel allocation for cellular mobile systems with nonuniform traffic distribution," ***Information Systems and Operational Research***, Vol. 32(1994), pp. 202-213.

[7] Lee, W. C. Y., ***Mobile Cellular Telecommunications Systems***, New York, McGraw-Hill, 1989.

[8] Oh, S.-H. and D-W. Tcha, "Prioritized channel assignment in a cellular radio network," ***IEEE Transactions on Communications***, Vol. 40(1992), pp. 1259-1269.

[9] Katzela, I. and M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: A comprehensive survey," ***IEEE Personal Communications***, Vol.1, No.2(1996), pp. 10-31.

[10] Zhang, M. and T. S. Yum, "Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, Vol. 38(1989), pp. 211-215.

[11] Zhang M. and T. S. Yum, "The nonuniform compact pattern allocation algorithm for cellular mobile systems," ***IEEE Transactions on Vehicular Technology***, Vol. 40(1991), pp. 387-391.