

# 이동 셀룰러 네트워크를 위한 하이브리드 채널 할당 알고리즘

김 윤 정<sup>o</sup>, 배 인 한  
대구효성가톨릭대학교 전자정보공학부

## A Hybrid Channel Allocation Algorithm for Mobile Cellular Networks

Youn-Jeong Kim<sup>o</sup>, Ihn-Han Bae  
Dept of Computer Engineering, Catholic University of Taegu-Hyosung

### 요 약

이동 컴퓨터들은 다른 컴퓨터들과 통신하기 위하여 무선채널을 사용한다. 효율적인 채널 할당은 이동 컴퓨팅 시스템 설계의 핵심 부분이다. 유한개의 채널들은 처리력을 최대로하고 채널 간섭을 피하기 위하여 효율적으로 할당되어야 한다. 채널 할당 알고리즘들은 크게 집중형 채널 할당 알고리즘과 분산형 채널 할당 알고리즘으로 나누어지며, 그것들은 상반관계에 있다. 본 논문에서는 고정 채널 할당 정책에 기반한 분산 채널 할당 알고리즘에 집중형 채널 할당 알고리즘을 혼합한 하이브리드 채널 할당 알고리즘을 제안하고, 그것의 성능을 평가한다.

### 1. 서 론

셀룰러 통신 네트워크는 지리적 지역을 셀이라 부르는 작은 영역으로 나눈다. 각 셀은 이동 지원국(MSS)과 다수의 이동 호스트들(MHs)을 가진다. 네트워크 세션(호)을 설립하기 위하여, MH는 그 셀내의 MSS에게 채널 요청을 보낸다. 그 MH와 MSS간에 통신을 위해 무선 채널이 할당될 수 있다면 그 세션은 지원되어진다. 주파수 스펙트럼이 제한되어 있으므로 무선 통신을 위한 요구 증가를 지원하기 위하여 주파수 채널들은 가능한 재사용되어야 한다. 2개의 다른 셀들의 지리적 거리가 최소 채널 재사용 거리( $D_{min}$ )라 부르는 임계치보다 작으면 상호-채널 간섭(co-channel interference) 때문에 같은 채널을 사용할 수 없다. 만일 셀내에 채널 사용이 서로 간섭하지 않는다면 그 채널은 가용이다. 어떤 셀이 채널이 필요할 때, 그것은 채널 할당 알고리즘을 사용하여 하나의 가용 채널을 얻는다. 채널 할당 알고리즘은 2 부분: 채널 획득 알고리즘과 채널 선택 알고리즘으로 구성된다. 여기서 채널 획득 알고리즘은 다른 셀들로부터 정보를 수집하고  $D_{min}$ 내의 2개 이상의 셀들이 같은 채널을 사용하지 않는다는 확신을 만든 채널 선택 알고리즘은 더 나은 채널 재사용을 위하여 다수의 가용 채널들로부터 채널을 선택한다. 채널 획득 알고리즘의 성능은 메시지 복잡도와 획득지연으로, 채널 선택 알고리즘의 성능은 호블록킹률로 측정되어진다. 여기서 메시지 복잡도는 채널 획득 당 교환되는 메시지의 개수이고, 획득지연은 채널 할당을 위해 MSS에 의해 요구되는 시간이다. 그리고 호가 설립되거나 호스트 이동성에 의해 다른 셀로 핸드 오버할 때 가용 채널이 없으면 그 호는 블록되어진다 [3].

다수의 채널 할당 알고리즘들이 연구되어 왔으며, 대부분의 알고리즘은 시스템 상태에 관한 완전한 정보를

가지고 있는 MSC(Mobile Switching Center)에 의존하는 집중화된 채널 할당 알고리즘이었다. 최근에는 분산형 채널 할당 알고리즘이 높은 신뢰성과 확장성 때문에 많은 관심을 받고 있다. 이 방법은 크게 2가지 종류: 고정 채널 할당 정책(Fixed Channel Allocation), 동적 채널 할당 정책(Dynamic Channel Allocation)중의 하나일 수 있다. 고정 채널 할당 정책은 어떤 셀에 할당된 채널의 집합이 시간에 따라 변하지 않고 무선 채널의 상호 disjoint sets을 이웃 셀들에 부여한다. 동적 채널 할당 정책은 셀에 할당된 채널의 집합이 시간에 따라 변한다.

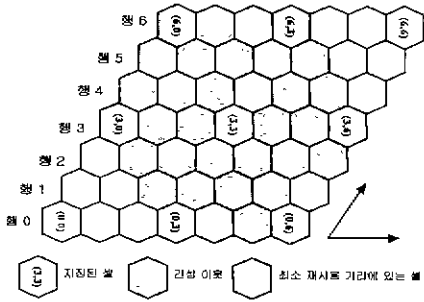
본 논문에서는 고정 채널 할당 정책에 기반한 분산 채널 할당 알고리즘에 집중형 채널 할당 알고리즘을 혼합한 하이브리드 채널 할당 알고리즘을 제안하고, 그것의 성능을 평가한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 셀룰러 네트워크의 시스템 모델에 대하여 설명하고, 3장에서는 채널 할당에 관한 관련 연구를 살펴보고, 4장에서 본 논문에서 제안하는 하이브리드 채널 할당 알고리즘을 제안하고, 그리고 5장에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다

### 2. 시스템 모델

셀룰러 네트워크에서 지리적 구역은 육각셀로 나누어진다. 각 셀은 중앙의 MSS에 의해 지원되어지고, 그 MSS들은 신뢰성있는 FIFO 통신을 제공하는 고정 네트워크에 의해 서로 연결되어진다. 통신 세션을 설립하기 위하여 MH는 그 셀내의 MSS에게 요청을 보낸다. MH와 MSS간의 통신을 위해 무선채널이 할당될 수 있다면 그 세션은 지원될 수 있다. 만일 두 셀간의 지리적 거리가 임계치  $D_{min}$  보다 크면 두 셀은 같은 채널을 사용할

수 있다. 아니면 두 셀은 채널 간섭이 일어난다.

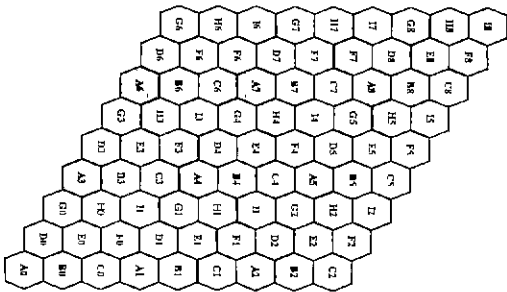
셀룰러 네트워크는 반경 R의 육각셀들의 사각형으로 고려되어진다.  $n \times m$  셀룰러 네트워크는 셀들의 n 행과 m 열을 가진다. 그림 1은  $D_{min} = 3\sqrt{3}R$ 인 경우에  $7 \times 7$  셀룰러 네트워크에서 지정된 셀에 대한 간섭이웃 셀들과 최소 재사용 거리에 있는 셀들을 보여준다[2].



(그림 1) 육각 셀룰러 모델

고정 채널 할당 정책에서는 각 셀에 "nominal" 채널의 집합이 할당되어진다. 채널에 특별한 상태를 부여하는 프로세스를 자원 계획(resource planning)이라 한다[3].

- 모든 셀의 집합을 disjoint subsets,  $G_0, G_1, \dots, G_{k-1}$ 로 분할한다. 같은 부분집합내의 두 개의 셀은 최소한  $D_{min}$ 의 거리만큼 떨어져 있다. 모든 채널의 집합을 k disjoint subsets,  $P_0, P_1, \dots, P_{k-1}$ 로 분할한다.
- $P_i$ 내의 채널들을  $G_i$ 내의 셀들의 주채널이고,  $G_j(j \neq i)$ 내의 셀들의 보조채널이다.
- 가용인 주채널이 없으면 셀은 보조채널을 요청한다.



(그림 2) 최적 분할

그림 2는 셀들을 9개의 부분집합  $G_A, G_B, \dots, G_I$ 로 나누어 분할을 보여준다.  $G_A = \{C_A \mid 0 \leq i \leq 8\}$ 내의 셀들은 간섭없이 같은 채널을 사용할 수 있다.

### 3. 관련 연구

분산 채널 할당 알고리즘을 설계하는데 2가지 방법: 탐색, 수정이 있다. 탐색 방법[1]에서 셀은 채널이 필요할 때, 현재 가용 채널들의 집합을 찾기 위하여 모든 이웃 셀들을 탐색하고, 채널 선택 정책에 따라 한 채널을 선택한다. 수정 방법[2]에서 셀은 가용 채널에 관한 정보를

계속적으로 관리한다. 셀은 채널이 필요할 때, 하위 채널 선택 정책에 따라 한 채널을 선택하고, 선택된 채널을 획득할 수 있는지를 이웃 셀들과 협의한다 Cao[3]는 고정 채널 할당 정책을 기반으로 채널 예약 개념을 도입한 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. 그리고 Parakash[4]는 네트워크에서 채널 부하 분산에 적응적인 동적 채널 할당 정책에 기반한 분산 동적 결합-감대 채널 할당 알고리즘을 제안하였다.

### 4. 하이브리드 채널 할당 알고리즘의 설계

본 논문에서는 고정 채널 할당 정책에 기반한 분산 채널 할당 알고리즘에 예비채널의 개념을 도입하고, 예비채널의 관리를 위해 집중형 채널 할당 알고리즘을 혼용한 하이브리드 채널 할당 알고리즘을 제안한다. 모든 셀(N)을 disjoint subsets,  $G_0, G_1, \dots, G_{k-1}$ 로 분할한다. 그리고 모든 채널을 주채널 P와 예비채널 S로 분할하고, 주채널 P를 다시  $P_0, P_1, \dots, P_{k-1}$ 로 분할한다. 셀의 각 분할에 주채널의 각 분할을 할당 ( $\forall_{i=0, \dots, k-1} G_i \leftarrow P_i$ )하고 MSC(Mobile Switching Center)에 예비채널 S를 할당 ( $MSC \leftarrow S$ )한다. 예를 들어, 그림 2와 같이 모든 셀이 9개의 disjoint subsets,  $G_0, G_1, \dots, G_8$ 로 분할되면, 주채널도 9개의 disjoint subsets,  $P_0, P_1, \dots, P_8$ 로 분할된다. 전체 채널 개수(T)가 400개이고 주채널(P)로 315개, 예비채널(S)로 85개를 사용한다고 가정하면, 각 셀분할에 할당되는 주채널의 개수는  $315/9=35$ 개이다. 여기서  $T=P+S$ 이고, 셀의 채널 부하 불균형 정도에 따라 S를 조절할 수 있다.

셀  $C_i$ 에 채널 요청이 도착하면, MSS는 주채널  $P_i$ 로부터 가용채널을 계산하고, 가용채널 중 현 채널을 할당한다. 만일 가용채널이 없으면, 예비채널을 관리하고 있는 MSC에게 채널 요청을 보낸다. 채널 요청을 받은 MSC는 예비채널 S로부터 가용채널을 계산하고, 가용채널 중 한 채널을 할당한다. 만일 예비채널로부터의 가용채널이 없으면, 이웃셀로부터 보조채널을 요청한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서 사용하는 기호는 다음과 같다.

- $IN_i$ : 셀  $C_i$ 의 간섭이웃  
 $IN_i = \{C_j \mid distance(C_i, C_j) < D_{min}\}$
  - $IP_i(r)$ :  $C_i$ 에 대한 r의 간섭 주셀 즉, r의 주셀이고  $C_i$ 의 간섭이웃인 셀을 나타낸다.  
 $IP_i(r) = G_p \cap IN_i$
  - $U_i$ :  $C_i$ 에서 사용중인 채널들의 집합
  - $A_i$ :  $C_i$ 에서 현재 가용 채널들의 집합
  - $U_{MSC}$ :  $C_i$ 에서 사용중인 예비채널들의 집합(MSC가 관리)
  - reserved:  $C_i$ 에서 예약된 채널들의 집합
  - pick(A): 하위 채널 선택 알고리즘을 사용하여 가용채널 A의 집합으로부터 채널 r을 선택한다.
  - send<sub>i</sub>:  $C_i$ 가 reply 메시지를 보냈으나 finish 또는 transfer 메시지를 받지 못한 셀들의 집합
  - I<sub>i</sub>(r):  $C_i$ 가 agree(r)을 보낸 셀들의 집합
- 본 논문에서 제안하는 하이브리드 채널 할당 알고리즘의 개괄적인 구조는 그림 3과 같다.

초기화

$\forall C_i, A_i \leftarrow P_i, A_{MSC} \leftarrow S;$   
 $reserved_i \leftarrow empty, send_i \leftarrow empty, I_i(r) \leftarrow empty;$   
 $\forall i=0, \dots, N-1 U_{MSC_i} \leftarrow empty$   
 (1) 셀 C<sub>i</sub>가 호요청을 지원하기 위하여 채널이 필요하면  $A_i = P_i - U_i - \{r | I_i(r) \neq \emptyset \wedge r \in P_i\}$ 를 계산한다. 만일 A<sub>i</sub>가 empty이면 request 메시지를 MSC에게 보내고, 아니면 다음을 실행한다.  
 ①  $send_i = \emptyset, r = pick(A_i), r$ 을 U<sub>i</sub>에 추가하고, 그 호를 지원하기 위하여 r을 사용한다. 그 호가 종료되었을 때, U<sub>i</sub>로부터 r을 제거한다.  
 ②  $send_i \neq \emptyset$ : reserved<sub>i</sub>가 empty가 아니면,  $r = pick(reserved_i), r$ 을 U<sub>i</sub>에 추가하고 reserved<sub>i</sub>로부터 r을 제거한다. 그 호를 지원하기 위하여 r을 사용한다. 아니면 send<sub>i</sub>가 empty일 때 까지 그 호요청을 연기한다.  
 (2) MSC가 셀 C<sub>i</sub>로부터 request 메시지를 받았을 때, 가용채널 AMSC<sub>i</sub>를 다음과 같이 계산한다.  
 $A_{MSC_i} = S - \bigcup_{k \in IN} U_{MSC_k}$   
 만일 AMSC<sub>i</sub>가 empty이면 reject 메시지를 C<sub>i</sub>에게 보내고, 아니면  $r = pick(AMSC_i), reply(spare, r)$ 을 C<sub>i</sub>에 보내고, r을 U<sub>MSC\_i</sub>에 추가한다.  
 (3) 만일 셀 C<sub>i</sub>가 MSC로부터 reply(spare, r)을 받았다면, 그 호를 지원하기 위하여 채널 r을 사용하고, 호가 종료되었을 때, release(spare, r)을 MSC에게 보낸다. 아니면 그 셀을 탐색모드로 설정하고, 각 셀 C<sub>j</sub> ∈ IN<sub>i</sub>에 request 메시지를 보낸다.  
 (4) MSC가 C<sub>i</sub>로부터 release(spare, r)을 받았을 때, U<sub>MSC\_i</sub>로부터 r을 제거한다.  
 (5) 셀 C<sub>i</sub>가 셀 C<sub>j</sub>로부터 request 메시지를 받았을 때, 만일 셀 C<sub>j</sub> 역시 탐색모드에 있고 그 request가 C<sub>i</sub>의 request 보다 작은 타임스탬프를 가진다면, 셀 C<sub>i</sub>가 그것의 탐색모드를 재설정할 때까지 응답을 연기한다. 아니면, 다음을 실행한다.  
 ①  $send_i = \emptyset, C_j$ 는 N, 채널을 선택하고 그것들을 reserved<sub>i</sub>에 할당하고, C<sub>j</sub>를 send<sub>i</sub>에 추가하고 C<sub>j</sub>에게 reply(U<sub>i</sub>, reserved<sub>i</sub>)를 보낸다.  
 ②  $send_i \neq \emptyset, C_j$ 는 C<sub>i</sub>를 send<sub>i</sub>에 추가하고, C<sub>j</sub>에게 reply(U<sub>i</sub>, reserved<sub>i</sub>)를 보낸다.  
 (6) 셀 C<sub>i</sub>가 IN<sub>i</sub>내의 셀로부터 reply 메시지를 받았을 때  
 ① 현재 가용채널을 계산한다.  
 $A_i = P_i - U_i - \{r | I_i(r) \neq \emptyset \wedge r \in P_i\} - \bigcup_{k \in IN} U_k$   
 ② 만일 A<sub>i</sub>가 empty이면, C<sub>i</sub>는 그 호를 중지하고, 탐색모드를 재설정하고 모든 연기된 reply 메시지를 처리한다. 만일 A<sub>i</sub>가 empty가 아니면  $r = pick(A_i)$ 한다. 만일  $C_i \in IP_i(r) \wedge r \in reserved_i$ 인 어떤 셀 C<sub>j</sub>가 있으면, C<sub>i</sub>는 C<sub>j</sub>에게 confirm(r)을 보낸다. 아니면, 그 요청은 성공이다.  
 ③ 성공의 경우에, C<sub>i</sub>는 탐색모드를 재설정하고, r을 U<sub>i</sub>에 추가하고, IP<sub>i</sub>(r)내의 모든 셀에게 transfer(r)을 보내고, IN<sub>i</sub>, IP<sub>i</sub>(r)내의 모든 셀에게 finish를 보내고, 그리고 모든 연기된 reply 메시지를 처리한다. C<sub>i</sub>가 그 호를 종료했을 때, 그것은 IP<sub>i</sub>(r)내의 모든 셀에게 release(r)을 보낸다.  
 (7) 셀 C<sub>i</sub>가 C<sub>j</sub>로부터 confirm(r)을 받았을 때, 만일 C<sub>i</sub>가 r을 사용하지 않으면, reserved<sub>i</sub>에서 r을 제거하고 agree로 응답한다. 아니면 reject로 응답한다.  
 (8) 셀 C<sub>i</sub>가 confirm(r)을 보낸 각 셀로부터 agree 메시지를 받았다면, 그 요청은 성공이고, 단계 (6.3)로 간다. 아니면, C<sub>i</sub>는 A<sub>i</sub>에서 r을 제거하고, agree를 보낸 모든 셀에게 abort(r)을 보내고, 단계 (6.2)로 간다.  
 (9) 셀 C<sub>i</sub>가 abort(r), release(r), finish, 또는 transfer(r)을 받았을 때  
 ① abort(r): C<sub>i</sub>는 r을 reserved<sub>i</sub>에 추가한다.  
 ② release(r): C<sub>i</sub>는 I<sub>i</sub>(r)로부터 C<sub>j</sub>를 제거한다.  
 ③ finish: C<sub>i</sub>는 send<sub>i</sub>로부터 C<sub>j</sub>를 제거한다. 만일 send<sub>i</sub>가 empty이면, 모든 연기된 호요청을 처리한다.  
 ④ transfer(r): C<sub>i</sub>는 I<sub>i</sub>(r)에 C<sub>j</sub>를 추가하고 send<sub>i</sub>로부터 C<sub>j</sub>를 제거한다. 만일 send<sub>i</sub>가 empty이면, 모든 연기된 호요청을 처리한다.

(그림 3) 하이브리드 채널 할당 알고리즘

5. 평가

본 논문에서 제안한 채널할당 알고리즘의 성능을 분석하고, 탐색[4], 수정[2], Cao[3]의 방법과 비교한다. 우리의 알고리즘에서 주채널 획득을 위한 메시지 개수와 주채널 획득지연은 둘다 0이다. 가용 주채널이 없고 제어 셀에서 예비채널을 가져올 경우 메시지 개수는 2개(request, reply)이고 예비채널 획득지연은 2\*T이다. 가용 예비채널도 없을 경우 이웃셀에서 보조 채널을 빌려오게

된다. 각 방법의 채널획득당 평균 메시지 복잡도와 채널 획득당 평균 획득지연은 표 1과 같다.

< 표 1 > 채널 할당 알고리즘의 성능비교

항목	메시지 복잡도	획득 지연
탐색	$\alpha * (2 * n - 3 * n_p * (1 + m'))$	$2 * T * (2 + m') + T'_d$
갱신	$2 * n + \alpha * (3 * n_p * m'' - 2 * n_p)$	$2 * T * (1 + m'') + T'_d$
Cao	$\leq \alpha * (3 * n + 3 * n_p * m''' + n_p) + n_p$	$2 * T * (1 + m''') + T'_d$
Ours	예비	$2 * T$
	보조	$\leq \alpha * (3 * n + 3 * n_p * m'''' + n_p) + n_p - 2$

표 1에서 α를 보조채널 획득율, β를 예비채널 획득율로 두자. 우리 알고리즘은 주채널을 사용할 수 없을 경우 예비채널을 사용하므로 대부분의 채널요구가 주채널과 예비채널로서 만족된다. 최악의 경우 보조 채널을 사용하게 되고 이 경우는 갱신과 Cao보다 2배의 획득지연을 가진다. 그러나 다른 방법에서의 보조채널 사용량의 상당부분이 본 알고리즘에서는 예비채널로 대체되므로 실제 평균 획득지연은 더 우수할 것이다. 그러므로 네트워크의 일부 셀에서 보조채널 사용이 많은 non-uniform traffic 상황에서는 다른 방법들보다 더 좋은 성능을 보일 것으로 기대된다.

6. 결론

본 논문에서는 분산 채널 할당 알고리즘에 예비채널의 개념을 도입하여 집중형 채널 할당 알고리즘을 혼용한 하이브리드 채널 할당 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 가용 채널을 찾기 위해 이웃셀들로부터 채널을 빌리는 대신 제어 셀에서 제공하는 예비 채널을 사용한다. 그러므로 특히 채널 요구가 많은 셀에서 채널 획득을 위한 메시지 개수와 획득지연시간을 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 non-uniform traffic이 많은 실제 셀룰러 네트워크 상황에서 기존의 방법들보다 더 우수한 성능을 보일 것으로 기대된다. 앞으로의 연구과제는 제안한 방법을 모의실험을 통해 성능을 분석하고 평가하는 것이다.

참고문헌

[1] R. Parakash, N. Shivaratri, M. Singhal, "Distributed Dynamic Channel Allocation for Mobile Computing", Proc. of 14th ACM Symp. on Principles of Distributed Computing, pp 47~56, 1995.  
 [2] X Dong and T. H. Lai, "Distributed Dynamic Carrier Allocation in Mobile Cellular Networks' Search vs. Update", Proc. of 17th Conf on Distributed Computing Systems, pp 108~115, 1997.  
 [3] G Cao and M. Singhal, "Efficient Distributed Channel Allocation for Mobile Cellular Networks", The Ohio State Univ., Technical Report OSU-CISRC-5/98-TR14, p 19, 1998.  
 [4] R. Parakash and N. Shivaratri, "Distributed Dynamic Fault-Tolerant Channel Allocation for Mobile Computing", The Ohio State Univ., Technical Report OSU-CISRC-10/95-TR46, p 33, 1995.  
 [5] X. Dong, T. H. Lai, "An Efficient Priority-Based Dynamic Channel Allocation Strategy for Mobile Cellular Networks", The Ohio State Univ., Technical Report OSU-CISRC-12/96-TR65, p. 21, 1996.