

최악의 상황을 고려한 보호대역 자동설정 알고리즘 연구*

김성진**, 이성수**, 이정규***⁰, 이일근***, 이형수**

한국전자통신연구원, *한남대학교 전자공학과

A Study on Automated Guardband Estimation Algorithm with Worst-Case Consideration

Sung-Jin Kim**, Sung-Soo Lee**, Jung-Kyu Lee***⁰, Il-Keun Rhee***, Hyung-Soo Lee**

ETRI, *Dept. of Electronic Engineering, Hannam University

ABSTRACT

본 논문에서는 몬테카를로 기법 및 최소결합손실(MCL : Minimum Coupling Loss)기법을 기반으로 하여 무선통신 서비스간 보호비율 만족시키도록 최적의 보호대역을 자동으로 설정할 수 있는 알고리즘을 개발하고 그 결과를 기술하였다.

여기서 개발된 보호대역 자동 설정 알고리즘은 통계적인 몬테카를로 기법 및 간섭원과 대상 수신기 사이에 간섭이 존재하지 않도록 요구되는 이격도 계산을 위한 최소결합손실기법을 적용하여, 주어진 간섭보호비를 만족할 수 있는 최악의 상황에 대한 보호대역을 먼저 설정한 후 보호대역값을 변화시키면서 희망 수신기에서의 간섭확률을 계산을 통해 최적의 보호대역을 설정할 수 있다. 이 기법은 어떠한 형태의 무선통신 서비스에 대해서도 동시에 두가지의 간섭원이 영향을 미칠 경우에도 적용할 수 있도록 설계되었다. 또한 본 연구에서는 TDD시스템간의 간섭 시나리오를 설정하고, 개발된 보호대역 자동 설정 알고리즘을 사용한 시뮬레이터와 ITU-R에서 개발된 SEAMCAT에 의해 얻어진 보호대역 도출 결과를 비교, 분석함으로써 개발된 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다.

1. 서론

음성뿐만 아니라 초고속 멀티미디어 데이터 처리가 가능한 차세대 이동통신 서비스 즉, IMT-2000 서비스의 조기 실현을 위한 연구가 우리 나라를 비롯한 미국, 일본, 유럽 선진 각국에서 활발히 진행되어 왔다[1~3]. 그러나, 이러한 새로운 서비스 도입에 따른 기존 서비스와의 주파수 공유 및 무선서비스 품질에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

이에 따라 ITU의 전파통신분야(ITU-R)내의 전파통신국(RB : Radio-communication Bureau)의 조직 중 제 1 연구 반(SG 1)의 TG 1/3 에서는 공유 가능한 최적의 간섭보호비 및 보호대역 설정을 통하여 서비스간 간섭의 영향을 극소화시킬 수 있도록 몬테카를로 방식에 기초한 간섭분석 시뮬레이션 툴을 개발하고 있으며 이를 인접국가간 전파간섭조정을 위하여 사용할 계획이다[4,5]. 현재 ITU-R에서 지속적 연구를 수행 중이며 여러 선진국들도 간섭분석 및 관련 툴에 대한 시험단계의 기술문서들이 보고되고 있다. 하지만 이에 대한 핵심 연구내용은 개방되고 있지 않고 있는 실정이며, 또한 개발되고 있는 툴들이 우리 나라의 실정과 지형에 적합한 지도 확인할 수 없다는 문제점이 있다. 아울러, 우리 나라에서는 현재 사용중인 무선통신 서비스들간의 주파수 분배 및 보호대역 설정 기준 뿐 아니라 향후 도입할 서비스들을 위한 과학적 분석 툴이나 근거가 마련되어 있지 않은 실정이다.

이러한 여러 가지 국내의 동향을 고려할 때, 우리나라에서도 현재 사용 중이거나 향후 사용 예정인 무선통신 시스템을 위한 주파수 대역별, 지역별 주파수 활용도를 평가하여 주파수의 재분배 및 공용 화 등의 주파수 이용률 증대를 가져오는 동시에 인접국가간 전파혼신에 따른 국내 무선서비스의 보호를 위한 명확한 과학적 보호대역 설정기준을 제시할 우리 나라의 실정 및 지형에 적합한 기술 및 툴의 개발이 매우 시급하다[4].

본 연구에서는 우리 나라 지형과 실정에 적합한 무선 서비스간 간섭 최소화를 위한 보호대역 설정용 알고리즘 및 시뮬레이션 툴을 개발하고, 신뢰성을 검증하였다.

이를 위하여 제 2장에서는 최소결합손실 기법을 활용한 최악 상황의 보호대역 유도방법과 자동화된 보호대역 설정 알고리즘의 구성 원리 및 내용에 대하여 기술하였다. 제 3장에서는 TDD시스템간의 간섭 시나리오를 설정하고, 개발된 보호대역 자동 설정 알고리즘을 사용한 시뮬레이터와 ITU-R에서 개발된 SEAMCAT에 의해 얻어진 보호대역 도출 결과를 비교, 분석하므로써 개발된 알고리즘의 신뢰성을 검증한 후 제 4장에서 결론을 맺는다.

2. 최악 상황 보호대역 유도 및 자동화된 보호대역 설정 알고리즘

*본 연구는 2001년도 한국전자통신연구원 위탁연구비로 수행되었음.

2.1 최악 상황 보호대역 유도

최소결합손실은 단일 고정 간섭원이 대상 시스템에 미치는 최악의 상황을 고려한 기법으로 몬테카를로 기반 기법에 비해서는 간단한 방법이다[6]. 본 기법에서는 간섭원들의 통계적 분포는 사용되지 않고 결과가 결정적(deterministic)으로 해석될 수 있으므로, 이를 활용하여 최악의 상황이 고려된 상태에서의 보호대역을 계산해낼 수 있다. 즉, 본 연구에서는 먼저 본 최소결합손실 기법을 활용하여 최악의 경우에 있어서의 보호대역값으로 설정한다.

최소결합손실기법은 간섭원과 대상 수신기 사이에 간섭이 존재하지 않도록 요구되는 이격도(Isolation)를 계산한다.

다음의 불요방사 분석을 위한 식(1)과 수신기 블로킹 분석을 위한 식(2)의 두가지의 최소결합손실 공식들이 본 연구에서 고려되는 시나리오들을 위해 사용된다.

$$\begin{aligned} \text{이격} = & P_{INT} + dB_{BW} + MC_{INT} + G_{VICT} + G_{INT} - \\ & (S_{VICT} - C/I_{VICT}) + f(dB_{cINT}, P_{INT}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

- P_{INT} = 간섭원의 최대 송신 전력
- dB_{BW} = 간섭원과 대상체 사이의 대역폭 변환 인자
- MC_{INT} = 간섭원이 기지국이고 둘 이상의 캐리어를 가질 때를 고려한 다중 반송파 마진
- G_{VICT} = 대상체 안테나 이득 (케이블 손실 포함)
- G_{INT} = 간섭원 안테나 이득 (케이블 손실 포함)
- S_{VICT} = 대상체의 선택도
- C/I_{VICT} = 대상체의 보호비
- $f(dB_{cINT}, P_{INT})$ = 간섭원의 반송파 전력에 관련된 것으로서, 고려되는 주파수 오프셋에서의 광대역 잡음전력으로 정의되는 함수.

이격 =

$$P_{INT} + MC_{INT} + G_{VICT} + G_{INT} - f(B_{VICT}, S_{VICT}) \quad (2)$$

여기서,

- P_{INT} = 간섭원의 최대 송신 전력
- MC_{INT} = 간섭원이 기지국이고 둘 이상의 캐리어를 가질 때를 고려한 다중 반송파 마진
- G_{VICT} = 대상체 안테나 이득 (케이블 손실 포함)
- G_{INT} = 간섭원 안테나 이득 (케이블 손실 포함)
- $f(B_{VICT}, S_{VICT})$ = 고려되는 주파수 오프셋에서 대상 수신기의 블로킹 성능.

식(1)과 식(2)으로부터 P_{INT} 를 구하여 아래의 식(3) 및 (4)의 수정된 하타모델에 적용된 간섭신호의 중심주파수를 계산하기 위한 수식[7]에 대입하여 최악의 상황이 고려된 보호대역 $f_{guardband}$ 을 얻어낸다.

$$Block = (BW \times Channel_{number}) + 2 \times f_{Guardband} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} f_{center} = f_{start} + Block_{number} \times Block_{random\ number} \\ + BW \times Channel_{random\ number} + f_{Guardband} \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 자동화된 보호대역 설정 알고리즘

최악의 보호대역 상황이 고려된 보호대역 자동설정 모듈(GAM : Guardband Autosearching Module)은 희망 수신기의 품질을 일정 수준으로 유지하기 위하여 기 설정된 최대 허용 간섭확률을 만족할 수 있도록 무선서비스간 보호대역을 자동으로 결정해주는 모듈로서 기존의 몬테카를로 기법에 의한 무선서비스간 간섭분석기를 위한 세가지의 모듈[4,5,8]인 신호원 생성모듈(SGM : Source Generation Module)과 분포시험모듈(DEM : Distribution Examination Module), 간섭계산모듈(ICM : Interference Calculation Module)과 최소결합손실기법과 연계하여 사용될 수 있도록 디자인되었다. 본 모듈을 사용하여 얻어지는 결과는 몬테카를로 기법을 기반으로 한 통계적 방법 및 최악의 상황이 고려된 최소결합손실기법을 사용하여 최대 허용 간섭 확률을 만족하는 준 최적 보호대역을 도출해 내며, 만일 더 상세한 보호대역 값이 요구된다면 도출된 보호대역 값 근방에서 수작업으로 계산하여 구해낼 수 있다.

희망 수신기내로 들어오는 간섭 신호 전력값은 간섭 신호원들의 종류가 이동국인지 기지국인지에 따라 간섭량을 조사한 후 최악의 경우를 고려하여 간섭량이 큰 쪽에 맞추어 보호대역 설정 작업을 수행토록 한다.

GAM은 다음과 같이 크게 세 가지의 단계로 구분된다.

2.2.1 GAM 첫 단계

그림 1은 GAM의 첫 번째 단계의 흐름도를 보여준다. 첫번째 단계에서는 먼저 희망 수신기의 품질을 일정 수준으로 유지하기 위하여 전파전파 환경의 설정과 함께 최대 허용 간섭확률(보호비)를 미리 설정하고, 희망수신신호전력 $dRSS$ (Desired Received Signal Strength) 와 간섭수신신호전력 $iRSS$ (Interferer Received Signal Strength)의 계산을 위하여 송수신 안테나 높이, 송신 전력, 주파수, 셀 반경, 대역폭 등 SGM의 여러 가지 기본 파라미터들을 입력한 후 희망 수신기로 들어오는 수신전계강도를 계산한다.

2.2.2 GAM 두번째 단계

그림 2는 GAM의 두번째 단계의 흐름도를 보여준다.

다. 먼저 여기서는 최악의 상황이 고려된 최소결합손실기법으로부터 유도된 최대 보호대역값을 설정하고, 임의로 최소의 보호대역을 설정한다. 이들 설정된 최대 및 최소 보호대역에 따른 이동국과 기지국의 간섭전력 계산을 수행하여 보호대역에 따른 간섭확률을 계산한다. 이때 단일 셀 내에서 하나의 희망 수신국에 간섭원으로 작용하는 두가지 종류의 무선국(이동국 및 기지국)은 희망수신국에 동시에 간섭을 미치는 것으로 간섭 전력값들을 계산하게 된다. 그후 최악의 상황을 고려하여 이동국들에 의한 간섭량과 기지국들에 의한 간섭량을 계산하고, 계산값을 이용하여 우선 설정했던 최소보호대역에 따른 간섭확률을 계산해서 이를 기 설정된 최대 허용 간섭확률과 비교한다. 최대 허용 간섭확률보다 처음 설정된 최소 보호대역(개발된 보호대역설정 시뮬레이터에서는 최소 보호대역값을 0으로 설정)에 따른 간섭확률의 계산값이 더 작은 경우 보호대역이 필요없는 것으로 확정하고 프로그램을 종료한다. 다음 만일 설정된 최대 보호대역에 따른 간섭확률 계산값이 기 설정된 최대허용 간섭확률보다 큰 경우, 최대 보호대역을 수동으로 재설정 하여 GAM모듈을 수행하도록 하며, 만일 설정된 최대 보호대역에 따른 간섭확률 계산값이 기 설정된 최대허용 간섭확률보다 작을 경우에는 GAM의 세 번째 단계로 넘어간다.

2.2.3 GAM 세번째 단계

그림 3은 GAM의 세번째 단계의 흐름도를 보여준다. 앞의 단계에서 설정된 최소, 최대 보호대역에 대하여 중간 값을 재설정하고 이 중간 보호대역에 따른 간섭확률을 계산하여 기 설정된 최대 허용 간섭확률과 비교한다. 그리하여 기 설정된 최대 허용 간섭확률보다 중간 보호대역에 따른 간섭확률 계산 값이 더 작은 경우 얻어진 중간 보호대역값을 희망 보호대역으로 확정하고 프로그램을 종료한다. 만일 기 설정된 최대 허용 간섭확률보다 중간 보호대역에 따른 간섭확률 계산값이 더 큰 경우에는 다시 세 번째 단계의 처음으로 돌아가 최소와 중간보호대역값의 중간값을 새로운 보호대역으로 설정하여 앞의 과정을 기 설정된 최대 허용 간섭확률보다 새로운 보호대역에 따른 간섭확률 계산 값이 더 작게 나올때까지 반복 수행한다.

3. 신뢰도 검증

3.1 검증을 위한 상황 설정

본 연구에서는 희망시스템 및 간섭시스템에 대하여 표 1과 같은 가정 및 표 2에서와 같은 IMT-2000 TDD 시스템 입력 파라미터를 사용하여 모의실험을 수행하였다. 기지국의 안테나높이는 20~30m로 하였으며, 이동국의 안테나 높이는 1.5~30m의 범위를 가진다.

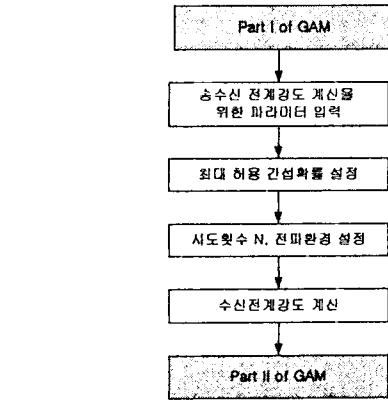


그림 1. GAM의 첫번째 단계 흐름도

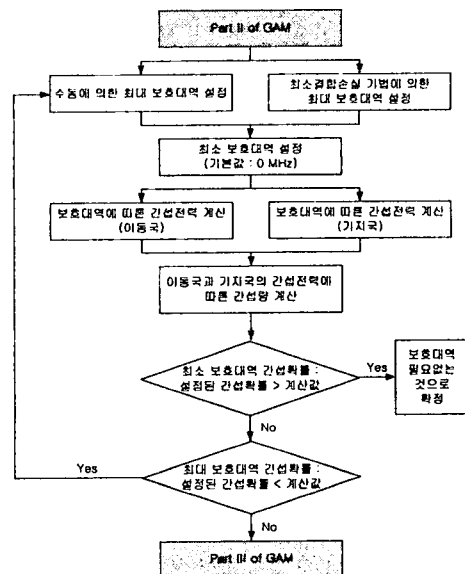


그림 2. GAM의 두번째 단계 흐름도

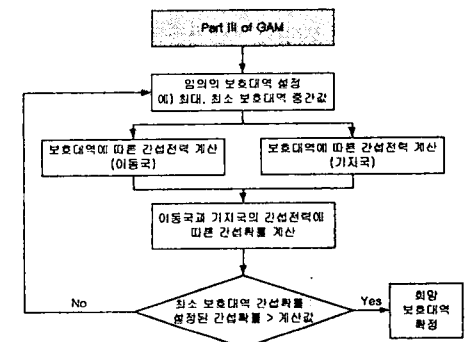


그림 3. GAM의 세번째 단계 흐름도

표 1. 희망시스템과 간섭시스템을 위한 가정

| 희망 시스템 | 간섭 시스템 |
|--------------------------|--------------------|
| - 원형 셀 | - 원형 셀 |
| - 한 개의 기지국당 200개의 이동국 존재 | - 음성링크 |
| - 음성링크 | - 간섭채널은 다중채널로 전송 |
| - 희망 송수신에서 한 개의 채널 선택 | - 기지국에 대하여 전력제어 고려 |
| | - 200개의 간섭원 고려 |

표 2. IMT-2000 TDD 시스템의 입력 파라미터

| 파라미터 | 이동국 | 기지국 |
|-----------------------|------------------------|---------------|
| 주파수 대역 범위 | 1920~1980 MHz | 2110~2170 MHz |
| 채널 간격 | 1.2MHz | 1.2MHz |
| 송신 전력 | 30dBm | 40dBm |
| 수신기 대역폭 | 1.2MHz | 1.2MHz |
| 안테나 높이 | 1.5m | 30.0m |
| 안테나 이득 (케이블 손실 포함) | 0.0dBi | 14.5dBi |
| 수신기 선택도 | -108dBm | -104dBm |
| 수신기 보호비 | 0dB | 0dB |
| 전력제어 특성 | Rx Power +Tx Power=-62 | 사용안됨 |

3.2 IMT-2000 TDD시스템 보호대역 설정

IMT-2000 TDD시스템의 이동국(MS : Mobile Station)과 기지국(BS : Base Station)에서 BS로의 간섭은 BS와 MS에서 해당 MS로 전파를 송신할 때 인접한 다른 간섭 이동국과 기지국에서 희망 수신 기지국으로 미치는 간섭을 의미한다. 모의실험을 수행하는데 필요한 IMT-2000 TDD 시스템의 입력 파라미터들을 포함하는 간섭시나리오를 이용하여 얻어

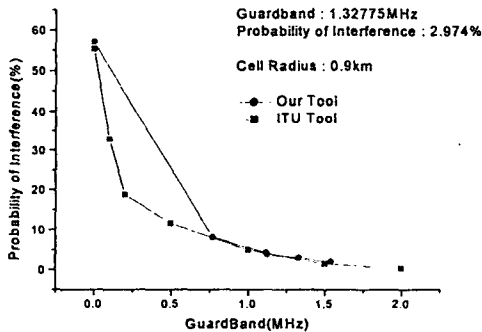


그림 4. 기지국 밀도가 0.5 BS/km²일때의 보호대역에 따른 간섭량

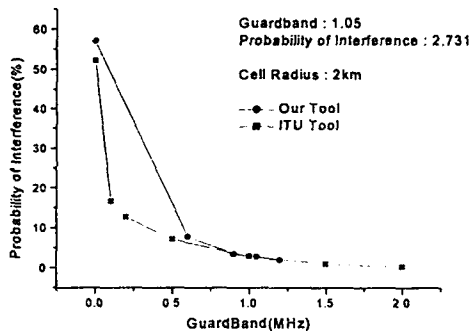


그림 5. 기지국 밀도가 0.1 BS/km²일때의 보호대역에 따른 간섭량

진, 기지국 밀도가 0.5 BS/km², 0.1 BS/km²일때의 ITU-R 결과와 본 연구를 통해 얻어진 결과를 그림 4와 그림 5에 각각 나타내었다. 본 연구팀과 ITU-R 툴을 이용하여 얻어진 이러한 모든 결과들에서 유사한 결과를 보인다. 아울러 본 연구개발 툴은 관심대상이 아닌 대역에서는 바로 계산을 생략하고 넘어감을 알 수 있다. 즉, 여기서는 최대 허용 간섭확률을 3%로 설정하여 모의실험을 수행하였으며, 그 결과 본 연구 개발팀에서 만들어진 보호대역 설정을 위한 시뮬레이터는 최대 허용 간섭확률을 만족하는 보호대역을 그림 4에서는 다섯 번, 그림 5에서는 네 번의 보호대역 파라미터 변화에 따른 간섭확률의 계산을 통하여 각각 1.32775MHz, 1.05MHz 라는 값을 자동적으로 설정하여 제공한다. 이러한 IMT-2000 TDD를 정상적으로 운용시 보호대역을 1.32775MHz 이상으로 설정할 경우 최대 허용 간섭확률이 3% 내로 충분히 유지되고 있음을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 몬테카를로 기법 및 최소결합손실 기법을 기반으로 한 자동화된 최적 보호대역 설정 알고리즘 및 시뮬레이터를 개발하고, SEAMCAT의 수동적인 방법에 의한 보호대역 설정 방법과, 본 연구에 의한 자동 보호대역 설정 방법을 사용한 시뮬레이션 결과 비교를 통하여 본 시뮬레이터의 신뢰성 및 활용성을 입증하였다.

본 연구 결과는 IMT-2000서비스를 비롯한 향후 시행되는 서비스뿐 아니라 기존의 이동통신 서비스의 보호대역 설정을 위한 기준 마련이나 주파수 분배 등에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각되며, 따라서 주파수 계획과 무선통신 시스템 설계 등에의 적용을 통한 통화품질 향상 및 시간과 자원 절약이 기대된다.

참고문헌

- [1] A. Utie, M. Streeon, and C. Mourot, "An Advanced TDMA Mobile Access System for UMTS," IEEE Personal Comm., Vol. 2, Feb.1995
- [2] A. Baier, et al, "Design Study for a CDMA-Based Third Generation Mobile Radio System," IEEE JSAC, Vol. 23, May 1994
- [3] 장석진 외, "ETRI의 IMT-2000 개발 현황," 한국통신학회지, 제 14권 11호, 1997
- [4] 이일근, "Monte Carlo 간섭분석기 적용방안 연구," 한국전자통신연구원, 최종연구보고서, 1998
- [5] ITU, "Monte-Carlo Radio Simulation Methodology," Sep 2000
- [6] ERC, "A Comparison of the Minimum Coupling Loss Method, Enhanced Minimum Coupling Loss Method, and the Monte-Carlo Simulation," May 1999
- [7] CEPT, "ERC Monte Carlo simulation Tool," Feb 1998
- [8] 이일근 외, "FDD 및 TDD 모드 채용 IMT-2000 시스템 기지국간 간섭분석 연구," 한국전자파학회 논문지, 제 12권 1호, 2001