

# 적응형 위성통신 시스템 설계를 위한 동적 강우 감쇠 모델

장매향\*, 김수영\* 종신회원, 백정기\*\*

## A Dynamic Rain Attenuation Model for Adaptive Satellite Communication Systems

Meixiang Zhang\*, Sooyoung Kim\* *Lifelong Member*, Jeong-Ki Pack\*\*

### 요 약

고주파수 대역을 사용하는 위성통신 시스템의 링크 성능 저하의 가장 큰 요인 중의 하나가 강우 감쇠라고 할 수 있으며, 이러한 강우 감쇠를 보상하기 위한 가장 효율적인 방법으로써, 적응형 전송방식을 사용하고 있다. 강우 감쇠에 대처하기 위한 적응형 전송 방식을 개발하고 설계하는데 있어서 중요한 요소 중의 하나가 실제 발생하는 강우 감쇠에 대한 동적 시뮬레이션 모델이다. 본 논문에서는 초 단위 강우 감쇠 실측 데이터에 대한 통계치를 바탕으로 Markov 프로세스 모델을 이용하여 모델링하는 절차를 기술한다. 먼저 실측된 데이터의 통계적 특성을 추출하여 4가지 상태를 가지는 Markov 프로세스를 정의하고, 이를 이용하여 모델링된 데이터와 실측 데이터를 비교 분석한 결과를 제시한다.

Key Words : rain attenuation, rain fading, adaptive transmission, time-series generator, Markov chain.

### ABSTRACT

Signal fading due to rain is one of the most significant factors degrading link quality in satellite communication systems. Adaptive transmission is considered to be the most efficient means to countermeasure the rain attenuation. In order to develop and design a good adaptive transmission system, we need a dynamic rain attenuation model which can synthesize time series of rain attenuation. In this paper, we present a modeling technique for dynamic rain attenuation using a Markov process. We derive statistical fading properties of the rain attenuation data measured in second time interval and define four states in the Markov process. We synthesize the rain attenuation data using the 4-state Markov process, and compare statistical properties of the simulated data to those of the measured data.

### I. 서 론

최근 멀티미디어 통신에 대한 수요의 급증으로 인하여 고주파수 대역을 사용하는 위성 통신 시스템의 시대가 본격화되었다고 할 수 있다. 그러나, 고주파수 대역을 사용하는 위성통신 시스템에서는 강우 감쇠로 인한 신호의 페이딩이 링크 성능 저하의 가장 큰 요인 중의 하나이기 때문에 이에 대한 적절한 보상 대책이 필요하다. 전력 효율과 스펙트럼 효율간의 트레이드 오프 관계에 있는 여러 가지의 부호화 및 변조 방식을 송수신단에 겸비하여 링크

의 상태에 따라 적절한 전송 방식을 선택하여 사용하는 적응형 전송 방식은 위성통신 시스템에서의 강우 감쇠를 보상할 수 있는 가장 효과적인 방법으로 평가받고 있다.

예를 들어, Ka 대역을 사용하는 위성 시스템의 경우 99%의 링크 가용도를 얻기 위해서는 약 11-12 dB 이상의 전력 마진이 요구되지만 여기서 약 0.9%의 가용도를 더 얻기 위해서는 20 dB 이상의 마진이 요구된다. 바람직한 가용도를 높이기 위하여 높은 전력 마진을 사용한다는 것은, 년중 강우 감쇠가 발생하는 시간율을 고려해 볼 때 매우 비 경제적이다. 그러나, 강우 감쇠는 일단 발생하게 되면 심각한 링크 성능에 영향을 주기 때문에 감

\*전북대학교 전자정보공학부 디지털통신시스템연구실 (mei1986xiang@live.cn, [sookim@jbnu.ac.kr](mailto:sookim@jbnu.ac.kr)),

\*\*충남대학교 전자공학과 ([jkpack@cnu.ac.kr](mailto:jkpack@cnu.ac.kr)), 교신저자 : 김수영

※ 이 논문은 국방과학연구소의 재원으로 충남대학교 산학협력단의 지원을 받아 수행된 연구 결과임  
접수일자 : 2011년 4월 25일, 수정완료일자 : 2011년 5월 18일, 최종게재확정일자 : 2011년 5월 30일

쇠가 심하게 발생하는 기간 동안만 탄력적으로 적용할 수 있는 적응형 부호화 방식과 같은 적응형 전송 기법을 사용하여 시스템의 가용도를 향상시키는 방법을 개발하여야 한다. 이와 같은 적응형 전송 기법을 개발하기 위한 가장 기본이 되어야 할 것은 실제 발생하는 강우 감쇠에 대한 동적 특성을 모델링 하는 것이다.

강우 감쇠에 대한 동적 시뮬레이션 모델에 대한 연구는 1980년대 Maseng-Bakken 모델을 시작으로 최근까지도 관련 연구가 계속되고 있다. Maseng-Bakken 모델은 dB 단위의 강우 감쇠를 log-normal 분포를 가정하고, 동적 특성을 나타내는 파라미터를 측정 데이터로부터 추출하여 모델링한 결과를 제시하였다[1]. 이어 참고문헌 [2]는 이러한 Maseng-Bakken 모델을 이용하여 서로 상관성이 있는 두 주파수 대역에서의 강우 감쇠 모델을 개발하였으며, 참고문헌 [3]은 인접하는 강우 감쇠 샘플들의 상관관계를 이용하여 강우감쇠의 값이 선행하는 두개의 값에 달려있음을 가정하여 현재의 강우 감쇠를 얻는 이른바 two-sample 모델을 기술하였다.

그러나, 위와 같은 모델링 기법의 가장 큰 문제점은 통계적 특성을 결정짓는 파라미터 들이 인접 샘플간의 상관성 밖에 없기 때문에, 강우 사건의 길이에 (duration of rain event) 대한 동적 특성을 모델링 할 수 없다는 것이다. 실제로 강우 감쇠 모델을 적용하여 강우감쇠를 보상하기 위한 기법을 개발하기 위해서는 강우 사건의 길이가 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, Markov chain 모델을 이용한 강우 감쇠 모델링에 관한 연구 결과들이 발표되었다[4][5].

그러나, 대부분의 경우 Markov chain 의 각 상태의 통계적 특성 자체가 구체적으로 명시되어 있지 않으므로 참고문헌에 제시된 방법들을 활용하여 실제 모델에 활용하기가 어려운 점이 있었다. 그 중에서 특히, [4]에서는 한국형 강우감쇠 모델에 대한 연구 내용이 기술되었는데, 분단위로 측정된 강우 감쇠 실측 데이터에 대한 통계치를 바탕으로 4-state Markov chain 모델을 제안하였다. 분단위 이하의 실측 강우 감쇠 데이터의 활용이 불가능하였기 때문에 분단위 이하의 데이터 생성을 위해서는 인터폴레이션 기법을 활용하였다 [6].

본 논문에서는 기존에 제시된 4-state Markov chain 모델을 바탕으로 하여 초단위로 측정된 강우 감쇠 데이터에 대한 보다 정밀한 통계적 특성을 추출하고, 이를 효과적으로 4-state Markov chain에 적용할 수 있는 방안에 대한 기술한다. 먼저, 본 서론에 이어 II장에서는 기존의 4-state Markov chain 모델에 대해 간략히 설명하고, III장에서는 초단위로 측정된 강우감쇠 데이터의 통계적 특성 추출 결과와 그 결과를 어떻게 모델에 적용하는지를 상세하게 기술한다. 또한, IV 장에서는 본 논문에서 제안된 모델을 사용하여 생성한 결과와 실측 데이터를 비교 분석한 결과를 제시한다. 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

## II. 4-state Markov chain 모델

기존에 제시된 4-state Markov chain 모델은 강우 감쇠의 동적 특성을 모델링하기 위하여 하나의 강우사건(rain event)를 강우 감쇠 값이 점점 증가하기 시작하는 시작상태(beginning state), 감쇠의 값이 최저점 부근에서 어느 정도 유지되는 감쇠상태(fading state), 및 감쇠 값이 점점 감소하기 시작하는 종료상태(ending state)로 구분하고 강우사건과 강우사건 사이 잠시 감쇠가 소강을 이루고 있는 중간상태(inter-fade state)로 구분하였다[4].

위와 같은 각 상태의 특성을 반영하기 위하여 시작상태에서 통계적 특성을 나타내기 위하여, 강우 감쇠를 나타내는  $A$ 에 대한 시간적 변화량,  $\Delta A$ 의 평균  $\overline{\Delta A_b}$ 과 분산  $\sigma_{\Delta A_b}$ 을 추출하였다. 또 각 추출된 파라미터와 시작 상태의 평균 길이에 대한 분포를 추출하였다. 이와 유사하게, 종료상태에서는 감쇠 량이 점점 감소하는 상태를 나타내므로, 마찬가지로  $\Delta A$ 의 평균  $\overline{\Delta A_e}$ 과 분산  $\sigma_{\Delta A_e}$ 을 구하고 종료상태의 평균 길이를 추출하였다. 또한 감쇠값이 최저점에서 어느 정도 유지가 되는 페이딩 상태와, 강우 사건 사이에 감쇠가 잠시 소강을 보이는 중간상태에서는 감쇠 량이 어느 정도 일정하다고 보기 때문에 감쇠 량,  $A$  자체의 평균과 분산 값 및 그 길이를 추출하였다.

아래 그림 1은 4-state Markov chain 모델의 상태 천이도를 보여 주고 있는데, 각 상태에서 다른 상태로의 천이는 현재 상태 또는 다른 한 개 상태로의 천이만 가능하도록 모델링하였다. 즉, 시작상태에서는 시작상태에 그대로 머무르게 되거나 페이딩 상태로 천이될 확률만 존재하며, 다른 상태로 천이할 확률은 0이다. 따라서, 상태 천이에 따른 천이 확률 메트릭스  $P$ 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} p_{bb} & p_{bf} & 0 & 0 \\ 0 & p_{ff} & p_{fe} & 0 \\ 0 & 0 & p_{ee} & p_{ei} \\ p_{ib} & 0 & 0 & p_{ii} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

여기서,

$$p_{jj} = \frac{p(s_t + \Delta t = j | s_t = j)}{p(s_t = j)} \quad (2)$$

$$= \frac{D_j}{1 + D_j}, \quad j \in \{b, e, f, i\},$$

는 상태  $j$ 에서 상태  $j$ 로 그대로 머무르게 되는 확률이며,  $D_j$ 는 상태  $j$ 의 길이를 나타낸다. 또 위 행렬  $P$ 의 각 행의 확률 합은 1이 되어야 하므로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_k p_{jk} = 1, \quad j, k \in \{b, e, f, i\}, \quad (3)$$

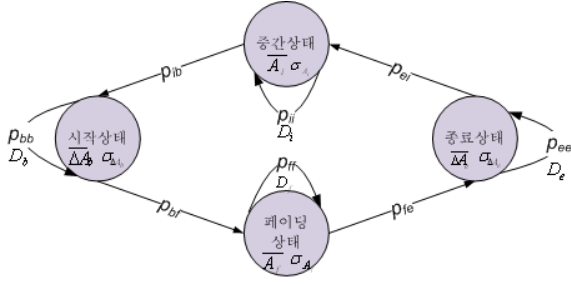


그림 1. 4-state Markov chain 모델

### III. 통계적 데이터 분석을 통한 모델링 기법

#### 1. 통계적 데이터의 추출

본 절에서는 먼저 Markov chain 모델을 이용한 강우 감쇠 모델 구성을 위하여 초단위로 측정된 강우 감쇠 데이터로부터 추출된 통계적 특성을 기술한다. 본 연구에서는 2005년도 충남대학교에서 44 GHz 대역의 수직편파를 사용하는 위성 시스템에 대하여 지상링크 약 500 m 거리에서의 측정 데이터로써, 1초 간격으로 측정된 강우 감쇠 데이터들 중 강우 사건을 포함하고 있는 총 약  $10^5$ 개의 데이터를 분석하여 수행하였다.

이러한 강우 감쇠 데이터의 통계적 특성 추출에 있어서, 먼저 강우감쇠는 가우시안 랜덤 프로세스라는 기존의 연구결과를 바탕으로 하였다 [4]. 먼저, 본 연구를 통한 강우 감쇠 측정 데이터의 분석 결과 조사된 모든 강우 사건에서의 시작 상태 및 종료 상태의 통계적 특성을 나타내기 위하여 각 강우 사건에서의  $\Delta A$ 의 평균  $\overline{\Delta A}$ 를 구하면,  $\overline{\Delta A}$ 의 확률 분포 함수 (probability distribution function; pdf)는 아래와 같은 지수 분포 (exponential distribution) 함수를 갖는다는 것을 발견하였다.

$$f(\overline{\Delta A}_j) = \lambda_j e^{-\lambda_j \overline{\Delta A}_j}, \quad j \in \{b, e\}, \quad \overline{\Delta A}_j > 0, \quad (4)$$

여기서  $\lambda_j^{-1}$ 는  $j$  상태에서의  $\overline{\Delta A}$ 의 기대 값이다.

또한, 페이딩 상태 및 중간 상태를 대표하는 값인  $A$ 에 대하여 각 강우 사건들의 대표 기대 값  $\overline{A}$ 는 전 강우 사건들에 걸쳐서 조사한 결과 로그 정규 pdf를 가지는 것으로 분석되었다. 따라서, 페이딩 상태에서의  $|A_f|$ 에 대한 pdf를 아래와 같이 표기할 수 있으며,

$$f(|A_f|) = \frac{1}{|A_f| \sigma_{|A_f|} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln|A_f| - \overline{\mu}_f)^2}{2\sigma_{|A_f|}^2}}, \quad |A_f| > 0 \quad (5)$$

중간 상태에서의  $\overline{A}_i$  대한 pdf는 아래와 같은 식으로 표기할 수 있다.

$$f(\overline{A}_i) = \frac{1}{\overline{A}_i \sigma_{\overline{A}_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\overline{A}_i - \mu_i)^2}{2\sigma_{\overline{A}_i}^2}}, \quad \overline{A}_i > 0. \quad (6)$$

위 식 (5) 및 (6)에서  $\mu_j$ 는  $j \in \{i, f\}$  상태에서의 로그 정규 및 가우시안 pdf를 가지는 랜덤 변수에 대한  $|A_f|$  및 가우시안 pdf를 가지는 랜덤 변수에 대한  $\overline{A}_i$ 의 기대 값이다.

이제 각 4개의 상태를 대표하는 값에 대한 pdf를 유도 하였으므로, 이제는 각 랜덤 변수  $\overline{\Delta A}$  또는  $\overline{A}$ 와 다른 통계적 랜덤 변수와의 관계를 측정 데이터의 분석을 통하여 유도한다. 그림 2는 각 강우사건의 시작상태에서의  $\Delta A$ 의 평균  $\overline{\Delta A}_b$ 와 분산  $\sigma_{\Delta A_b}$ 와의 관계를 보여주고 있다. 이와 같은 분포를 이용하면, 먼저 수식 (4)의 pdf로부터 추출된 랜덤변수  $\overline{\Delta A}_b$ 가 정해졌을 경우 최대 및 최소  $\sigma_{\Delta A_b}$ 가 정해지고 이로부터 최대 및 최소값 범위 내에서의 분포를 이용하여 해당되는  $\sigma_{\Delta A_b}$  랜덤 변수를 추출한다. 아래 측정 데이터의 분석을 통하여 주어진  $\overline{\Delta A}_b$ 에서의  $\sigma_{\Delta A_b}$ 의 조건부 pdf는 아래와 같이 표기될 수 있는 로그 정규 분포함수를 가짐을 알 수 있었다.

$$f(\sigma_{\Delta A_b} | \overline{\Delta A}_b) = \frac{1}{\sigma_{\Delta A_b} \sigma_{\sigma_{\Delta A_b}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \sigma_{\Delta A_b} - \overline{\sigma_{\Delta A_b}})^2}{2\sigma_{\sigma_{\Delta A_b}}^2}} \quad (7)$$

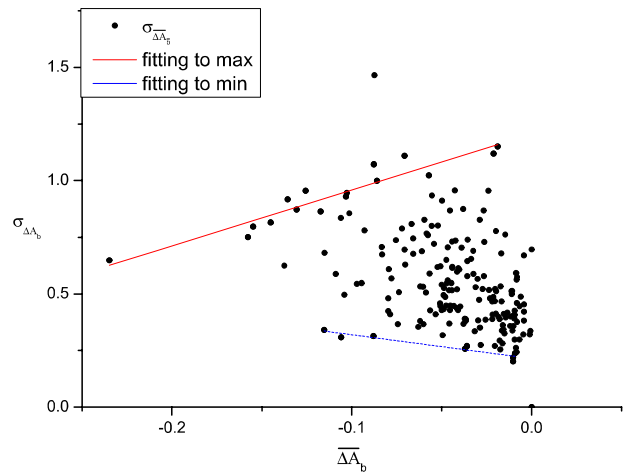


그림 2. 시작상태에서의  $\overline{\Delta A}_b$ 와  $\sigma_{\Delta A_b}$ 와의 관계

위 식 (7)에서 주어진 조건  $\overline{\Delta A}_b$ 는, 지수 분포 함수 분포를 통하여 이미 발생된  $\overline{\Delta A}_b$  값에 따라 그림 2에서 결정되는  $\sigma_{\Delta A_b}$ 의 최대 및 최소 값이 결정됨을 의미한다. 이러한 동일한 원리를 적용하여 강우 사건의 길이 분포도 유도할 수 있는데, 그림 3은 시작 상태에서의 여러 가지 강우사건  $\overline{\Delta A}_b$ 와  $D_b$ 와의 관계를 추출한 그림이다. 상기에 언급한 방법과 같이  $\overline{\Delta A}_b$ 에 따라 결정되는  $D_b$ 의 조건부 pdf를 추출할 수 있으며, 본 연구의 분석결과 이 역시 로그 정규 분포함수를 가짐을 알 수 있었다. 따라서

$D_b$ 에 대한 조건부 pdf는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(D_b|\overline{\Delta A}_b) = \frac{1}{D_b \sigma_{D_b} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln D_b - \overline{D_b})^2}{2\sigma_{D_b}^2}} \quad (8)$$

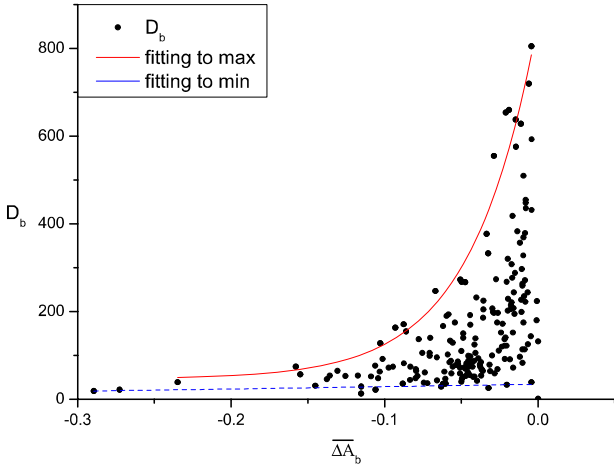


그림 3. 시작상태에서의  $\overline{\Delta A}_b$ 와  $D_b$ 와의 관계

위에서 언급한 바와 같이 다른 강우 사건에서도 유사한 방법으로 조건부 pdf를 유도하기 위하여 각 상태의 대표 랜덤 변수와 다른 통계적 변수와의 관계를 통계적으로 조사하였다. 즉, 아래 그림 4는 종료 상태에서의 측정된 데이터의 통계적 분석을 통하여 추출된  $\overline{\Delta A}$ 의 평균  $\overline{\Delta A}_e$ 와 분산  $\sigma_{\Delta A_e}$ 와의 관계를 보여주고 있으며, 그림 5는  $\overline{\Delta A}_e$ 와  $D_e$ 와의 관계를 각각 보여주고 있다. 이 두 관계 역시 시작 상태와 동일하게 조건부 pdf는 모두 로그 정규 분포 함수를 나타낸다는 것을 알 수 있었으며, 그 결과는 아래 식 (9) 및 (10)으로 나타낼 수 있다.

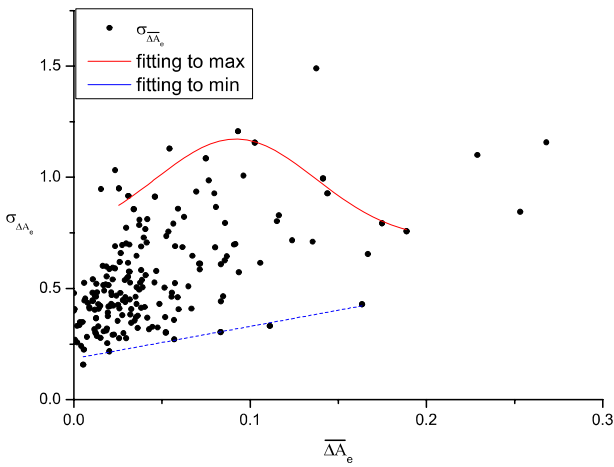


그림 4. 종료상태에서의  $\overline{\Delta A}_e$ 와  $\sigma_{\Delta A_e}$ 와의 관계

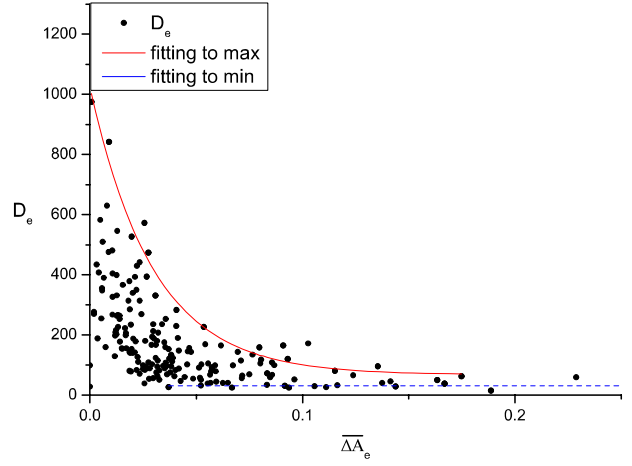


그림 5. 종료상태에서의  $\overline{\Delta A}_e$ 와  $D_e$ 와의 관계

$$f(D_e|\overline{\Delta A}_e) = \frac{1}{D_e \sigma_{D_e} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln D_e - \overline{D_e})^2}{2\sigma_{D_e}^2}} \quad (9)$$

$$f(\sigma_{\Delta A_e}|\overline{\Delta A}_e) = \frac{1}{\sigma_{\Delta A_e} \sigma_{\sigma_{\Delta A_e}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \sigma_{\Delta A_e} - \overline{\sigma_{\Delta A_e}})^2}{2\sigma_{\sigma_{\Delta A_e}}^2}} \quad (10)$$

위에서 언급한 바와 같이 페이딩 상태와 중간 상태에서는 대표 랜덤 변수가  $\overline{A}$ 이므로 수식 (5) 또는 (6)의 로그 정규 분포 pdf를 통하여 각 상태에서의 대표 값을 추출한다. 이제 추출된  $\overline{A}$ 가 데이터 분석을 통하여  $\overline{A}$ 가 감쇠량의 분산과 강우 사건의 길이와는 어떤 관계에 있는지를 파악하기 위하여, 먼저 페이딩 상태에서의  $\overline{A}_f$ 와  $\sigma_{A_f}$ 와의 관계 및  $\overline{A}_f$ 와  $D_f$ 와의 관계가 각각 그림 6과 7에 각각 나타나 있다.

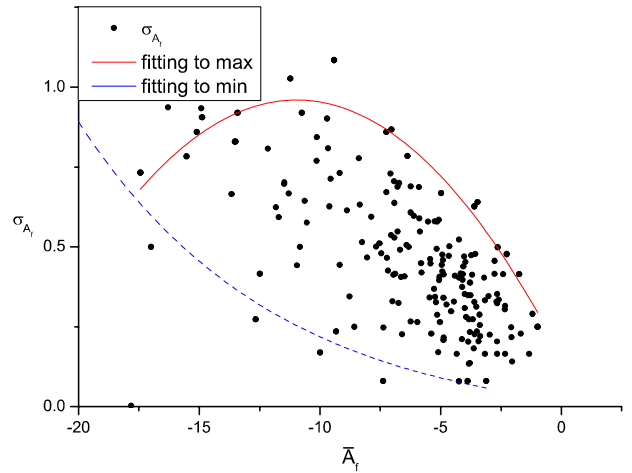


그림 6. 감쇠상태에서의  $\overline{A}_f$ 와  $\sigma_{A_f}$ 와의 관계

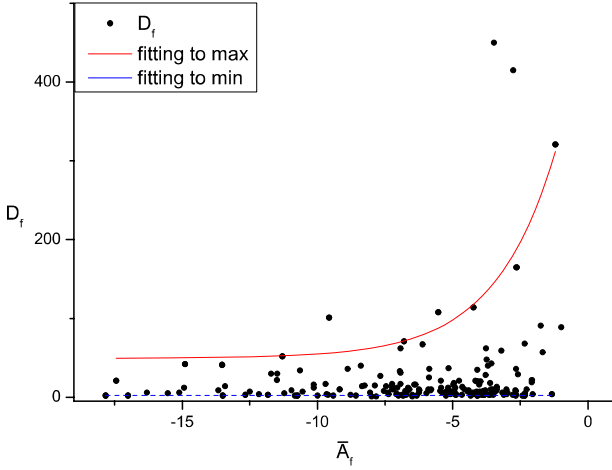


그림 7. 감쇠상태에서의  $\bar{A}_f$ 와  $D_f$ 와의 관계

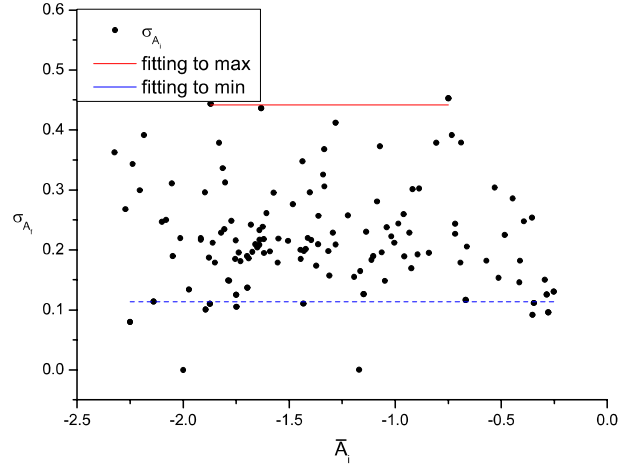


그림 9. 중간상태에서의  $\bar{A}_i$ 와  $\sigma_{A_i}$ 와의 관계

위 그림 6 및 7의 통계적 데이터 분석 결과  $\sigma_{A_f}$  및  $D_f$ 에 대한 조건부 pdf는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$f(D_f | \bar{A}_f) = \lambda_f e^{-\lambda_f D_f}, \quad (11)$$

$$f(\sigma_{A_f} | \bar{A}_f) = \frac{1}{\sigma_{A_f} \sigma_{\sigma_{A_f}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \sigma_{A_f} - \bar{\sigma}_{A_f})^2}{2\sigma_{\sigma_{A_f}}^2}}. \quad (12)$$

또한, 중간 상태에서의  $\bar{A}_i$ 와  $D_i$ 와의 관계 및  $\bar{A}_i$ 와  $\sigma_{A_i}$ 와의 관계가 각각 그림 8과 9에 각각 나타나 있으며, 통계적 데이터 분석 결과  $D_i$  및  $\sigma_{A_i}$ 에 대한 조건부 pdf는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$f(D_i | \bar{A}_i) = \lambda_i e^{-\lambda_i D_i}, \quad (13)$$

$$f(\sigma_{A_i} | \bar{A}_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\sigma_{A_i}}^2}} e^{-\frac{(\sigma_{A_i} - \bar{\sigma}_{A_i})^2}{2\sigma_{\sigma_{A_i}}^2}}. \quad (14)$$

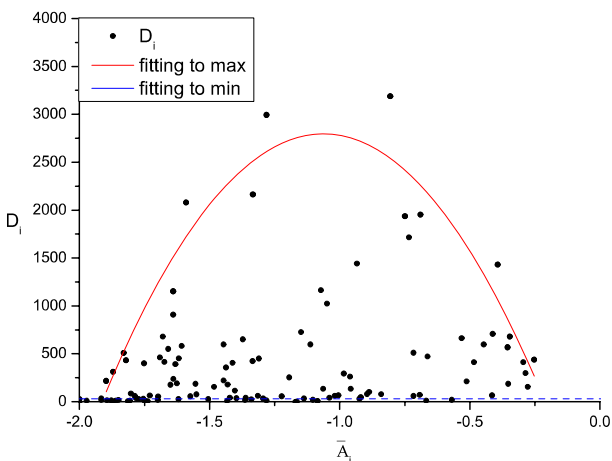


그림 8. 중간상태에서의  $\bar{A}_i$ 와  $D_i$ 와의 관계

## 2. 추출된 통계적 특성을 이용한 강우 감쇠 데이터의 생성

아래 그림 10은 위에서 언급한 통계적 특성을 활용하여 강우 감쇠 데이터를 생성하는 알고리즘을 나타낸 것이다. 먼저 초기 상태에서 강우 사건은 시작 상태에서 0 dB의 감쇠 값  $A$ 에서 출발한 다는 것을 가정하여, 시작상태의 대표 통계적 값  $\Delta A_b$ 를 수식 (4)를 이용하여 생성한다. 그 다음에는 수식 (7)과 (8)을 이용하여 시작 상태의 길이  $D_b$ 와 분산 값  $\sigma_{\Delta A_b}$ 을 생성한다. 따라서 다음 시점에서의 감쇠 값은  $\bar{A}_b$ 와 생성된  $\sigma_{\Delta A_b}$ 에 따른 가우시안 랜덤 변수로 결정된다.

또한, 생성된 시작 상태의 길이  $D_b$ 에 따라 수식 (2)에 따른 상태 천이 확률 값  $p_{bb}$ 가 결정되므로 현재 시작 상태에서 다음 천이가 가능한 시작 상태 또는 페이딩 상태로의 천이는 uniform 분포를 가지는 확률 값  $p$ 를 랜덤 변수로 발생하여 결정되도록 한다.

상태 천이가 발생하지 않을 경우 위와 같은 과정이 반복되며, 페이딩 상태로의 상태 천이가 발생할 경우 페이딩 상태에 대한 대표 통계 값  $\bar{A}_f$ 를 식 (5)의 분포에 따라 생성하고,  $\bar{A}_f$ 와 다른 통계적 파라미터와의 관계를 수식 (11) 및 (12)을 이용하여 생성한다. 이제 발생된  $\bar{A}_f$ 와  $\sigma_{A_f}$ 를 이용하여 가우시안 분포를 가지는 다음 시점의 강우 감쇠 값이 결정되며, 발생된 페이딩 상태의 길이  $D_f$ 에 따라 상태천이 확률  $p_{ff}$ 가 결정된다. 페이딩 상태에서의 상태 천이는 현재 상태에 머무르거나 종료 상태로의 천이가 가능하다. 종료 상태와 중간 상태에서의 감쇠 값 생성과정과 상태 천이 과정은 그림 10에 나타나 있는 바와 같이 위에서 언급한 시작 상태와 페이딩 상태와 각각 유사하게 이루어진다.



그림 10. 동적 강우 감쇠 데이터를 생성하는 알고리즘

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 위 III 장에서 언급한 강우 감쇠 발생 알고리즘을 이용하여 생성된 감쇠 데이터와 실제 측정된 강우 감쇠 데이터를 서로 비교해보고, 또 그 통계적 특성이 얼마나 유사한지를 살펴해보도록 한다. 먼저 그림 11은 2005년도 44 GHz 대역을 사용하는 위성 시스템에 대하여 1초 간격으로 측정된 강우 감쇠 데이터들을 강우가 없을 시 평균 수신 레벨로 정규화하여 강우 사건들만을 일부 조합하여 나타낸 데이터이다. 또한, 그림 12는 III장에서 제시한 모델링 기법을 이용하여 동적으로 생성된 데이터로써 측정된 데이터의 길이와 동일하게 발생하여 표기한 것이다.

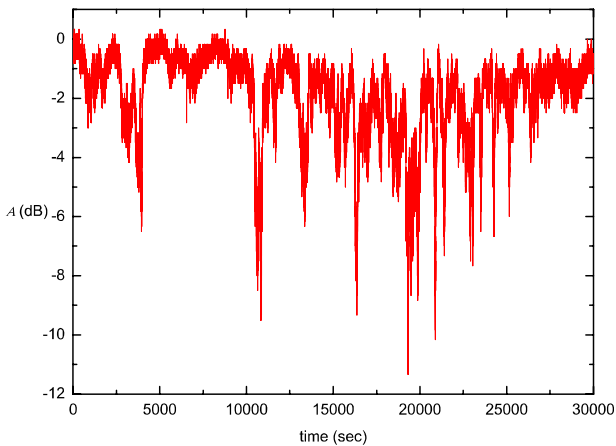


그림 11. 측정된 강우 감쇠 데이터

이러한 데이터의 통계적 특성이 얼마나 유사한 지를 살펴보기 위하여, 이 들 데이터의 pdf와 누적확률분포함수 (commulative probability density function; cdf)를 그림 13에 함께 표기하였다. 그림 13에 나타나 있는 바대로

pdf 특성은 매우 유사함을 알 수 있으나, cdf 특성에서 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 향후 보다 많은 실측 데이터를 확보하여 통계적 파라미터 값을 수정 보완함으로써 개선이 이루어 질 것으로 기대된다.

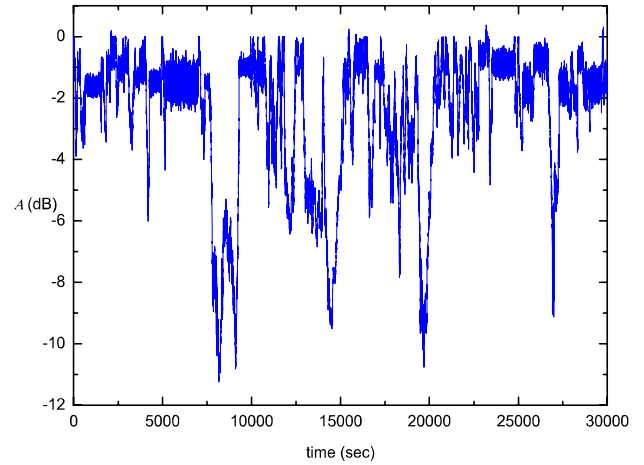


그림 12. Markov chain 모델을 이용하여 생성된 강우 감쇠 데이터

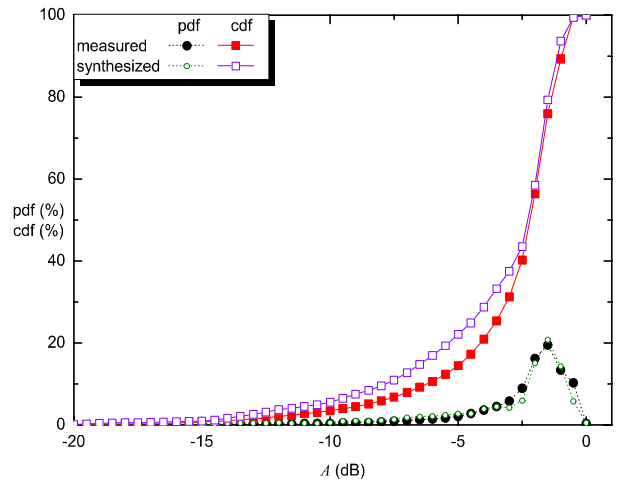


그림 13. 측정된 데이터와 모델링을 통하여 생성된 데이터의 pdf 및 cdf 비교

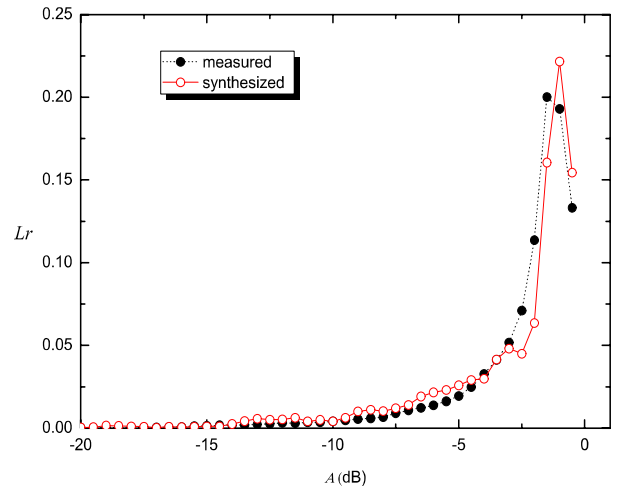


그림 14. 측정된 데이터와 모델링을 통하여 생성된 데이터의 레벨교차율,  $L_r$  비교

또한, 그림 14에는 강우 사건의 길이에 관련된 특성을 살펴볼 수 있는 레벨 교차율 (level crossing rate),  $L_r$ 에 대한 특성을 보여주고 있으며, 그림 14에 나타나 있는 바와 같이 생성된 데이터의  $L_r$  특성은 측정된 데이터의  $L_r$  특성과 거의 유사함을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 Ka 대역을 사용하는 위성 통신 시스템에서의 강우 감쇠의 동적인 특성을 모델링하는 기법과 그 결과에 대하여 기술하였다. 본 논문에서 제시된 방법은 1 초 간격으로 측정된 강우 감쇠 데이터의 면밀한 통계적 분석 과정을 통하여 강우 사건을 네 가지 상태로 구분하고, 각 상태의 강우 감쇠 프로세스에 대한 랜덤 변수의 확률 분포 함수를 유도하였다. 본 논문에서 제시된 방법을 이용하여 생성된 데이터의 통계적 특성은 측정된 데이터와 매우 유사함을 나타내었다. 향후에는 보다 방대한 양의 강우 감쇠 데이터의 통계적 특성을 분석하여 실측된 데이터의 통계적 특성에 더욱 부합할 수 있는 방법을 제안할 수 있을 것이며, 보다 다양한 강우 감쇠 데이터의 통계적 특성 분석 결과 제시가 가능하게 될 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

[1] Maseng, T. and Bakken P. "A Stochastic Dynamic Model of Rain Attenuation," IEEE Transactions on Communications, vol. 29, pp. 660-669, May 1981.

[2] Maseng T. and Bakken P. "Spatio-Temporal Rain Attenuation Model for Application to Fade Mitigation Techniques," IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 52, no. 5, pp. 1245-1256, May 2004.

[3] Van de Kamp M. "The Two-Sample Model: Short-term Prediction of Rain Attenuation," Proceedings of the First European Conference on Antennas and Propagation, pp. 1-5, 2006.

[4] Sooyoung Kim Shin, Soo In Lee, Yang Su Kim, and Jae Moun Kim, "A Dynamic Rain Attenuation Modeling Technique for Satellite Communication Link," Proceedings of International Conference On Telecommunications, vol. 2, pp. 33-37, Jun. 1999.

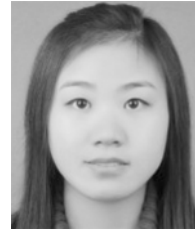
[5] Castanet, L. Deloues, T. and Lemorton, J., "Channel Modelling Based on N-state Markov Chains for Satcom Systems Simulation," 12th International Conference on Antennas and Propagation, vol. 1, pp. 119-122, 31 Mar. - 3 Apr. 2003.

[6] W. Lau, A. Erramilli, J.L. Wang, and W. Willinger,

"Self-Similar Traffic Generation: The Random Midpoint Displacement Algorithm and its Properties," Proc. of ICC' '95, Seattle, USA, pp. 466-472, 1995.

### 저자

장 매 향 (Meixiang Zhang)



2009년 7월 : 중남민족대학교  
컴퓨터공학 학사졸업  
2010년 8월~현재 : 전북대학교 전자  
공학과 석사과정  
<관심분야> 위성통신, 디지털 통신

김 수 영 (Sooyoung Kim)

정희원



1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 학사졸업  
1990년~1991년 : ETRI 연구원  
1992년 : Univ. of Surrey, U.K  
공학석사  
1995년 : Univ. of Surrey, U.K  
공학박사

1994년~1996년 : Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K

1996년~2004년 : ETRI 광대역무선전송연구팀장

2004년~현재 : 전북대학교 전자공학부 부교수

<관심분야> 오류정정부호화방식, 이동/위성통신 전송방식

백 정 기 (Jeong-Ki Pack)



1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
(공학사)  
1985년 9월 : Virginia Tech. 전자  
파전파 (공학석사)  
1988년 9월 : Virginia Tech. 전자파  
전파(공학박사)

1978년 3월~1983년 2월 : 국방과학연구소

1988년 10월~1989년 2월 : 한국전자통신연구원

1989년 3월~1995년 2월 : 동아대학교 전자공학과 부교수

2009년 1월~2009년 12월 : 한국전자파학회 회장

1995년 2월~현재 : 충남대학교 전자공학과 교수

2002년 3월~현재 : 충남대학교 전자파환경기술연구  
(EMERC) 센터장

<주 관심분야> 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향