

# 동적 강우 감쇠 데이터의 인터플레이션 기법

정희원 김수영\*, 이수인\*, 김양수\*\*

## Interpolation Technique for Dynamic Rain Attenuation Data

Sooyoung Kim Shin\*, Soo In Lee\*, Yang Su Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

강우감쇠 보상용 적응형 전송 방식을 개발하기 위하여 요구되는 가장 중요한 요소 기술 중의 하나가 강우감쇠의 동적 특성에 대한 모델링 기술인데, 본 논문에서는 이러한 강우감쇠의 동적 특성을 나타내는 데이터를 임의의 시간 간격으로 샘플링하기 위하여 사용되는 인터플레이션 기법에 대하여 기술한다. 강우감쇠가 프랙탈(Fractal) 프로세스라는 점을 이용하여 감쇠와 신틸레이션의 관계를 분석하고 국내 강우감쇠 데이터에 가장 적절한 파라미터를 도출하여 실제 상황에 가장 근접한 동적 강우감쇠 데이터를 생성할 수 있는 모델링 기술을 제시한다. 1분 간격으로 측정된 강우감쇠 데이터를 이용하여 이에 대한 인터플레이션 결과를 제시하여 강우 감쇠를 보상하기 위한 적응형 강우 감쇠 기법등에 대한 보다 정확한 성능 분석이 가능함을 보였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an interpolation technique to rain attenuation data which represents dynamic characteristics by time variations. By using this technique, it is possible to sample the rain attenuation data at an arbitrary time interval, and thus it would play an important role in developing adaptive transmission scheme for countermeasuring rain attenuation. We propose the interpolation technique which can synthesize rain attenuation data by extracting the most proper parameters required to emulate the dynamic characteristics of rain attenuation. Interpolation results to measured data of 1 minute time interval will be demonstrated, and it is shown that more exact performance evaluation of adaptive transmission scheme to countermeasure rain attenuation can be achieved.

### I. 서론

위성통신 시스템에서 Ku 및 Ka 대역과 같이 고 주파수 대역의 사용에 대한 요구가 증대함에 따라 강우감쇠에 대한 보상 기법의 요구가 증대되고 있다. 강우로 인하여 시스템의 성능에 심각한 영향을 미치는 시간율은 극히 적지만 사용 주파수 대역이 증가할수록 그 피해는 심각해지기 때문에 적응형 전송 방식을 사용하는 것이 효율적이라고 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 적응형 전송 방식을 개발하기 위하여

요구되는 가장 중요한 기술 중의 하나가 강우감쇠의 동적 특성에 대한 모델링 기술이다. 이러한 동적 특성 모델링에 따르는 부가적인 요소 기술들로 주파수 스케일링 기법<sup>[2]</sup> 및 동적 강우감쇠 데이터에 대한 인터플레이션 기법 등이 있다.

인터플레이션 기법이란 임의의 시간 간격의 동적 강우감쇠 데이터에 대하여 원하는 더 짧은 시간 간격의 데이터를 생성하는 기법이다. 일반적으로 강우의 특성을 분석하기 위하여 측정된 데이터는 실제 위성 시스템에서 전송되는 데이터의 속도에 비해서 훨씬 긴 시간 간격으로 샘플링 되어 있다. 그러므로

\* 한국전자통신연구원 위성통신시스템연구부(dssy@satnet.etri.re.kr),

\*\* 한국전자통신연구원 전파기술연구부

논문번호 : 99184-0514, 접수일자 : 1999년 5월 14일

실제 강우 환경에 가장 적합한 적응형 전송 방식의 설계를 위해서는 보다 짧은 시간 간격으로 샘플링된 감쇠 데이터가 요구된다. 뿐만 아니라 이러한 강우감쇠 모델은 개발된 전송 방식에 대하여 보다 실질적인 성능 평가를 가능하게 할 것이다.

감쇠 데이터의 인터플레이션은 이러한 전송 방식 개발 자체의 측면에서뿐만 아니라 각 강우 상태에 적절한 전송 방식을 할당하기 위한 강우감쇠 예측 및 전송 방식 할당 알고리즘을 개발하기 위해서도 요구된다. 즉, 어느 정도의 시간 간격으로 감쇠량을 측정 및 예측하는 것이 전송 방식을 가장 적절히 할당할 수 있는지 또는 감쇠량의 측정 및 예측 샘플링 간격과 시스템의 성능 및 시스템 운용의 경제적 측면에서의 trade-off 분석이 요구되는데 이러한 부분에서도 인터플레이션 기법의 중요성이 나타난다고 할 수 있을 것이다.

기본적으로 측정 데이터에서 짧은 시간 간격의 신호세기의 변화는 신틸레이션의 영향이라고 할 수 있으므로, 본 논문에서는 우선 강우감쇠와 신틸레이션의 관계를 분석하고 국내 환경에 가장 적합한 변수를 도출한다. 또한 이러한 변수를 이용하여 동적 강우감쇠의 인터플레이션 기법에 대하여 기술한다. 강우감쇠 프로세스는 기본적으로 프랙탈 프로세스로 간주할 수 있으므로<sup>[3]</sup> 이를 바탕으로 하여 강우감쇠 데이터를 인터플레이션하는 알고리즘에 대하여 기술한다.

먼저, 강우감쇠의 단 시간의 변화 특성에 관한 기존 연구 결과들을 2장에서 분석해보고 이러한 점들을 인터플레이션에 어떻게 반영할 것인지에 대하여 기술한다. 3장에서는 강우감쇠 데이터에 대한 구체적인 인터플레이션 기법에 대하여 기술하고 4장에서는 실측 데이터에 대하여 인터플레이션 된 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺기로 한다.

## II. 강우 감쇠의 단 시간 변화 특성

위성 채널의 신호는 대기의 굴절율의 변화에 따른 신틸레이션에 의한 페이딩을 항상 포함하게 되는데, 강우 시에 위성 전파 경로 상에서 측정된 데이터에서 나타나는 특성 중 단 시간의 변화는 대부분 이러한 신틸레이션의 영향이라고 할 수 있다. 그러므로 강우 시에 지상과 위성 경로에서의 전파 전파 특성이 전송 방식에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 강우에 의한 감쇠와 신틸레이션에 의한 페이딩을 모두 고려하여야 할 것이다. 따라서, 본 절

에서는 강우감쇠와 신틸레이션의 연관관계에 대한 선행 연구 결과를 분석해 보기로 한다.

Filip과 Vilar<sup>[4]</sup>는 강우감쇠와 신틸레이션이 서로 다른 메커니즘에 의해 발생하므로 각각에 대하여 통계적으로 독립적이라고 가정하였다. 따라서 각각에 대한 통계적 확률 밀도 함수를 곱하여 줌으로써 강우감쇠와 신틸레이션이 복합적으로 발생하는데 대한 확률 밀도 함수를 구할 수 있다고 주장하였다. 또한 1991년 Karasawa와 Matsudo<sup>[5]</sup>는 강우감쇠 및 신틸레이션에 의한 페이딩이 중첩되어 있는 데이터를 시간 영역과 주파수 영역의 두 가지 방법으로 해석하여 이들 사이의 관계를 분석하였다. 시간 영역에서의 해석 방법은 2분간의 데이터를 평균하여 그것을 강우에 의한 감쇠로 고려하였고 원래의 데이터와 평균한 데이터의 차이를 신틸레이션에 의한 페이딩으로 생각하였다. 주파수 영역에서의 해석 방법은 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용한 후에 강우에 의한 감쇠와 신틸레이션에 의한 페이딩을 분리하기 위한 방법으로 필터링 기법을 이용하였다. 즉, 강우에 의한 영향은 저대역 필터를 이용하여 분리할 수 있었다. 그 결과 맑은 날과 강우시의 신틸레이션에 의한 페이딩의 영향은 큰 차이가 없음을 보였다. 그러므로 그들은 강우와 신틸레이션에 의한 페이딩은 작은 상관관계가 있지만 서로 독립적으로 다룰 수 있다는 결론을 내렸다.

이와는 반대로 최근 Matricciani와 Mauri<sup>[6]</sup>는 1992년 8월부터 1993년 6월까지 거의 1년의 기간 동안 19.77 GHz의 위성 비콘 신호에서 측정된 데이터를 분석하여 강우와 신틸레이션이 서로 연관성이 있다는 결과를 제시하였다. 필터링 기법을 이용하여 해석한 결과는 신틸레이션, 즉 감쇠 치의 단 시간의 변화에 대한 표준 편차가  $\sigma = 0.0391A^{5/12}$ 가 됨을 보여주었다. 이러한 관계를 그래프를 이용하여 살펴보면 그림 1과 같은데 감쇠량이 커짐에 따라 표준편차 값도 미약한 양으로 서서히 증가함을 알 수 있다. 다시 말해서, Karasawa와 Matsudo가 분석한 결과를 좀 더 구체화 했다고 할 수 있다. 또한 신틸레이션과 감쇠치와의 연관성에 대해서는<sup>[3]</sup>에서도 논의된 바가 있다.

다음은 신틸레이션에 의한 페이딩의 확률분포에 대한 선행 연구 결과에 대해 살펴보기로 한다. 상대적으로 짧은 시간에 대한 통계적(short-time statistics) 확률밀도함수는 가우시안 분포로 알려져 있고<sup>[7]</sup>, Kassianides와 Otung<sup>[8]</sup>도 가우시안 분포임을 확인하였다. Mousley와 Vilar<sup>[9]</sup>는 장기간동안 측정

된 데이터의 표준편차가 정규분포의 파라미터로 나타났기 때문에 신틸레이션에 의한 페이딩의 확률밀도함수를 정규분포로 기대하였고, 심분간의 신틸레이션의 표준편차를 장기간 동안 (long term statistics) 계산함으로써 신틸레이션의 확률밀도함수가 대수정규분포를 따르는 것을 확인하였다. 또한 한달 단위의 신틸레이션에 대한 통계 값은 감마분포로 나타났다<sup>[10]</sup>.

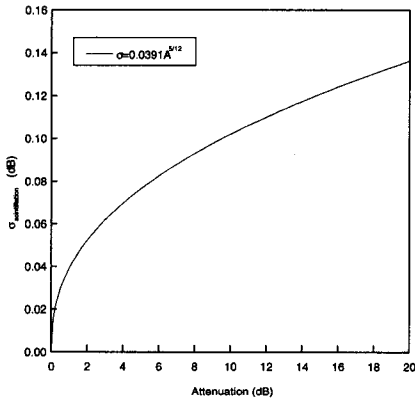


그림 1. 19.77 GHz 비콘 신호에서 측정된 신호의 시간에 따른 변화량과 감쇠 치와의 관계

본 논문에서는 강우감쇠 데이터를 인터폴레이션 하기 위하여 짧은 시간에 대한 통계치를 적용할 필요가 있으므로 단 시간의 변화 값에 대한 확률 분포는 가우시안 분포를 따른다고 가정하였다. 또한 신틸레이션, 즉 단 시간의 변화에 따른 감쇠량의 변화 값과 감쇠치와의 관계에 대해서는 실측치의 분석을 통하여 결정될 것이다. 다음 장에서는 이러한 사실들을 토대로 하여 강우감쇠데이터의 인터폴레이션 기법에 대하여 살펴보기로 한다.

### III. 강우 감쇠 데이터의 인터폴레이션 기법

앞 장에서 언급한 바와 같이 dB단위로 표현된 단시간의 강우감쇠 프로세스는 일반적으로 가우시안 분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 이러한 경향은 대부분 진폭 변화의 고주파성분, 즉 주로 신틸레이션 때문인 것으로 알려져 있다. 본 장에서는 프랙탈 브라운 (fractional Brown) 운동에 대하여 살펴보고, 이를 이용한 모델링 기법과 인터폴레이션 기법에 대하여 기술한다. 즉 일련의 강우 데이터의 특성을 분석하고 이 데이터를 인터폴레이션 하여 더 높은 주파수로 샘플링 된 데이터를 인공적으로 생성하는

기법에 관하여 기술하는데, 측정된 강우감쇠 데이터가 통계적으로 자기 상관성 (self-affinity 또는 self-similarity)이 있는데 초점을 둔 방식이다. 따라서 본 장에서는 우선 이러한 통계적 이론의 기본 개념에 대하여 미리 살펴보고 이러한 개념을 이용하여 강우 감쇠 데이터를 인터폴레이션 하는 기법에 대하여 상세히 기술하기로 한다.

#### 1. 프랙탈 브라운운동과 통계적 자기 상관성

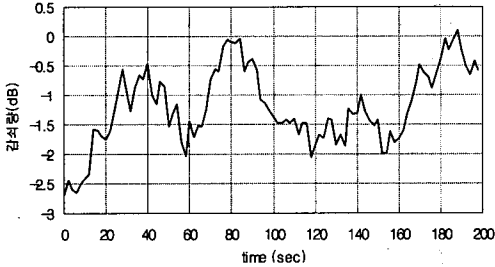
어떤 임의의 랜덤 프로세스  $A(t)$ 가 임의의 양의 실수  $r$ 에 대하여  $kA(t/r)$  프로세스의 통계적 특성과 같을 때  $A(t)$ 와  $A(t/r)$ 는 통계적으로 자기 상관성이 있다고 한다. 이때  $k$ 는  $r$ 에 종속적이다. 이러한 프로세스의 한 예가 브라운 가우시안 운동, 즉 시간에 독립적인 가우시안 증가량(stationary independent Gaussian increments)을 갖는 프로세스이다.

이러한 한 프로세스를  $B$ 라고 하고 어느 이산 시점  $t_i$ 에서 볼 때,  $B_{i+1}-B_i$ 는 정의에 의해 평균이 0이고 분산 값이  $\sigma^2$ 인 가우시안 랜덤 변수라고 할 수 있다. 증가량  $B_{i+1}-B_i$ 는 index  $i$ 에 대해 독립적이다. 이러한 특성이 주어지면, 증가량에 대한 프로세스  $W(i,j)=B_j-B_i$ 는 변화량  $k=i-j$ 에만 의존하게 되므로  $W(k)$ 로 표현할 수 있다. 이것은 바로  $W(k)$ 가 평균이 0이고 분산이  $k\sigma^2$ 인 가우시안 랜덤 프로세스와 같다는 것이다. 이러한 개념은 연속적인 시간 (continuous time domain)에서도 똑같이 적용될 수 있다. 즉, 차이 값에 대한 프로세스  $W(\tau)=B(t)-B(t+\tau)$ 는 시간  $t$ 에 대해서는 독립적이고 오직  $\tau$ 에만 의존하는 프로세스이다. 이산 시간에서와 마찬가지로  $W(\tau)$ 의 평균은 0이고 분산은  $\tau$ 에 비례한다.

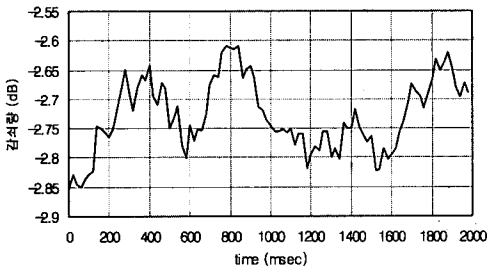
가우시안 브라운 운동은 상기에서 정의된 바와 같이  $B(t)$ 의 통계적 특성이  $\sqrt{t}B(t/r)$ 의 통계적 특성과 구분할 수 없는 통계적으로 자기 상관성이 있는 프로세스이다. 이것은 랜덤 프로세스  $B(t)$ 를 수평축으로  $r$ 배 확대하고 수직축으로  $\sqrt{r}$ 배 확대하면  $B(t)$ 와 똑같은 통계적 특성을 나타내는 새로운 프로세스를 만들 수 있다는 것이다. 다시 말해서  $B(t)$ 와  $\sqrt{r}B(t/r)$ 은 동일한 유한 차원 결합 확률 분포 (finite dimensional joint distributions)를 갖는다는 것이다.

프랙탈 브라운 운동(Fractional Brownian motion; FBM)은 이러한 개념의 확장이다. 가우시안 FBM은  $B(t)$ 가  $r^H B(t/r)$ 와 동일한 통계적 특성을 갖도록 하는 정적 가우시안 증가량 프로세스 (process with

stationary Gaussian increment)로 정의할 수 있다. 여기서  $H$ 는 0에서 1사이의 값을 가지며, 프로세스의 Hurst 파라미터라고 한다.



(a) sampling 간격이 2초일 때



(b) sampling 간격이 0.02초일 때

그림 2. 시간에 따른 강우 감쇠 프로세스의 발생 예

강우 감쇠가 상기한 바와 같은 자기 상관성이 있는 프랙탈 프로세스라는 점은 Manning이 제시한 강우 감쇠의 동적 모델링 기법<sup>[11]</sup>에서도 확인할 수 있는데, 그림 2는<sup>[11]</sup>에서 제시한 모델링 기법을 이용하여 시간의 변화에 따른 강우 감쇠 프로세스를 발생시킨 한 예를 나타낸 것이다.

즉, 같은 랜덤 변수 발생기를 사용하여 (a)는 샘플링 간격을 2초로 (b)는 샘플링 간격을 0.02 초로 하였을 때 100 샘플 동안의 결과를 나타낸 것이다. 그림 2에서 나타내 주듯이 (a)와 (b)는 서로 자기 상관성이 있는 프로세스임을 알 수 있다.

## 2. 신틸레이션 프로세스의 파라미터 추정

본 절에서는 (추정된) 임의의 시간 간격의 감쇠 데이터를 인터폴레이션하는데 필요한 통계적 파라미터를 추정하는 기법에 대하여 기술한다.

전체 감쇠 데이터 샘플을 일정한 간격(보통 1-2dB)의 감쇠 영역으로 나눈다.  $A$ 를 dB로 표현되는 감쇠 값이라고 하고, 차이 값 프로세스  $W(t_2, t_1) = A(t_2) - A(t_1)$ 를 고려해 보자. 여기서 기본적인 가정은  $A(t_2)$ 와  $A(t_1)$ 이 같은 감쇠 영역에 속하면  $W(t_2, t_1)$ 는 오직 시간의 변화량  $\tau = t_2 - t_1$ 에만 의존한다는

것이다. 그러므로  $A_n$ 을  $n$ 번째 영역에서의 중간 감쇠 값이라고 하면 변화량 프로세스는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$W(t_2, t_1, A_n) = W(\tau, A_n) \quad (1)$$

샘플링된 시간 간격이  $\tau$ 라고 한다면,  $W(m\tau, A_n)$ 에 대하여 분석할 수 있을 것이다. 여기서  $m$ 은 양의 정수이다. 각  $m$ 과  $A_n$ 의 쌍에서 프로세스  $W$ 는 평균 값이 0이고 임의의 분산 값을 갖는 정규 분포  $N(0, \sigma_w^2)$ 로 가정한다. 이러한 가정은 참고 문헌<sup>[4][5]</sup>에서 잘 뒷받침되고 있으며 실질적으로 분석해 본  $W(\tau, A_n)$ 의 분포가 거의 가우시안에 가깝다는 것이 밝혀졌다<sup>[3]</sup>.

실제 시간에 따른 감쇠량의 변화가 나타내 주는 모양과 여러 가지 자연 현상의 유사점으로 보아 감쇠 현상을 FBM 프로세스로 근사할 수 있다. 우선 감쇠 프로세스의 Hurst 파라미터를 계산하여야 하는데, <sup>[3]</sup>에서는  $W$  프로세스의 분산 값을 다음과 같이 정의하여 실측치를 이용하여 Hurst 계수  $H$ 와  $V$ 를 감쇠 값  $A_n$ 의 다항식으로 나타내었다.

$$\sigma_w^2 = V\tau^{2H} \quad (2)$$

본 논문에서는 무궁화 2호의 비콘 신호에서 1분 간격으로 측정된 데이터를 이용하여  $W$  프로세스의 분산 값과 Hurst 파라미터를 구하여 사용할 것이다.

## 3. 감쇠 프로세스의 인터폴레이션

본 절에서는 일정한 시간 간격의 데이터 사이를 인터폴레이션하는 기법에 대하여 기술하는데, 앞서 언급하였듯이 강우 감쇠 프로세스가 FBM 프로세스라는 점을 이용하여 인터폴레이션하는 방법에 대하여 기술한다.

### 3.1. FBM 프로세스의 생성 기법 (Random midpoint displacement interpolation)

정확한 FBM 프로세스를 생성하기 위해서는 각 시점  $t_1, t_2, \dots, t_n$ 에서 각  $n$ -차원의 정규 분포로부터  $n$ 차원의 평균 값 벡터와  $n$ 차원의 covariance 행렬을 이용하여 랜덤 변수를 발생시켜야 하는데 이러한 방법은  $n$ 의 수가 커지면 covariance 행렬을 구하기가 힘들어 지므로 거의 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 근사적인 FBM 프로세스를 생성하는 방법의 하나로 random midpoint displacement (RMD) 알고리즘<sup>[12]</sup>에 대하여 기술하고자 한다.

먼저 시간 간격  $[0, T]$ 에서 FBM 프로세스를 생성하고자 할 경우를 고려해 보기로 한다. RMD 알고리즘의 기본 개념은 시간 간격  $[0, T]$ 를 순환적으로 분할해 가면서 양 끝점의 값을 토대로 그 중간 값을 만들어 나간다는 것이다. 다시 말해서 임의의 구간  $[a, b]$ 에서의 양끝 값  $Z(a)$ 와  $Z(b)$ 로부터 그 중간 값  $Z((a+b)/2)$ 를 생성해내는 것이 RMD 알고리즘의 기본 원리이다. 이러한 RMD 알고리즘은 만약  $Z$ 가 순수한 FBM 프로세스라면 생성된 중간 값과 양 끝 값의 중간 값과의 차이  $D$ 가 전 구간에 걸쳐서 두 양끝 값의 차이  $Z(b) - Z(a)$ 에 대해 독립적이라는 데에 바탕을 두고 있다.

$$D = Z\left(\frac{a+b}{2}\right) - \frac{Z(a)+Z(b)}{2} \quad (3)$$

이렇게 생성된 중간 값들은 평균 값이 0이고 분산 값이 다음에 설명될 방법에 의해 계산되는 가우시안 분포를 따르게 된다.

우선  $k$ 번째 단계에서 중간 값을 생성하기 위하여 사용되는 표준편차 값을  $\sigma_k$ 라고 하고  $\sigma_0$ 를  $T$  시간 스케일에서의 FBM 프로세스의 중간 값 생성을 위한 표준편차 값이라고 하면  $\sigma_0^2 = T^{2H}$ 가 된다. 그러나 본 문서에서 기술하고자 하는 최종 목표인 강우감쇠 데이터의 인터플레이션에서는  $\sigma_0$ 가 식 (2)의  $\sigma_w$ 가 되어야 할 것이다. 여기서 가장 기본적인 가정의 하나는 시간 간격  $T$ 가  $2^k$ 로( $k$ 은 임의의 양의 정수) 표현될 수 있어야 한다는 것이다.

FBM 프로세스의 스케일링 성질에 의해 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Var}\left[Z\left(\frac{1}{2^k}\right) - Z(0)\right] = \left(\frac{1}{2^k}\right)^{2H} \cdot \sigma_0^2 \quad (4)$$

여기서  $\text{Var}(X)$ 는  $X$ 의 분산을 의미한다. 또한 RMD 알고리즘의 동작 원리에 의해 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Var}\left[Z\left(\frac{1}{2^k}\right) - Z(0)\right] = \frac{1}{4} \text{Var}\left[Z\left(\frac{1}{2^{k-1}}\right) - Z(0)\right] + \sigma_k^2 \quad (5)$$

식 (5)을 식(4)에 대입하면

$$\left(\frac{1}{2^k}\right)^{2H} \cdot \sigma_0^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2^{k-1}}\right)^{2H} \cdot \sigma_0^2 + \sigma_k^2 \quad (6)$$

여기서 식 (6)을  $\sigma_k$ 에 대하여 정리하면 다음과

같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\sigma_k = \left(\frac{1}{2^k}\right)^H \sqrt{1-2^{2H-2}} \sigma_0 \quad (7)$$

위의 식은  $\sigma_0 = \sqrt{1-2^{2H-2}}$ 를 초기 값으로 정하고 다음과 같은 관계식을 이용하여 순환적으로  $k$ 번째 단계에서의 표준편차 값을 구할 수 있다. 다시

$$\sigma_k = \frac{1}{2^H} \sigma_{k-1} \quad (8)$$

이제 시간 간격  $[0, T]$ 에서 FBM 프로세스  $Z(t)$ 를 생성할 경우의 RMD 알고리즘을 간략히 나타내면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 우선  $Z(0)=0$ 으로 고정시키고  $Z(T)$ 를 평균 값이 0이고 분산 값이  $T^{2H}$ 인 가우시안 분포로부터 샘플링한다.
- $Z(T/2)$ 는  $Z(0)$ 와  $Z(T)$ 의 평균 값에 offset,  $O_1$ 를 더하여 생성된다. 즉

$$Z\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{Z(0)+Z(T)}{2} + O_1 \quad (9)$$

- 여기서  $O_1$ 은 첫번째 단계에서의 offset으로써, 그 표준편차 값  $1$ 이 다음과 같이 계산되는 가우시안 랜덤 변수이다.

$$\sigma_1 = 2^{-H} \sqrt{1-2^{2H-2}} \quad (10)$$

- 이제 두개로 갈라진 시간 간격,  $[0, T/2]$ 와  $[T/2, T]$ 를 다시 분할하고 두 번째 단계의 offset에 대한 분산값  $\sigma^2$ 을 첫번째 단계의 표준편차 값에  $1/2^H$ 를 곱하여 구한다.
- 계산된  $\sigma^2$ 을 이용하여 offset,  $O_2$ 을 구하고 식

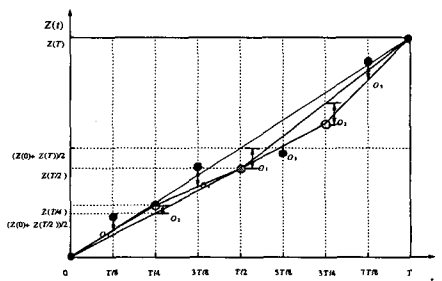


그림 3. RMD 알고리즘의 수행 과정

(9)와 같이 Z 값을 생성한다.

- 이러한 과정을 원하는 수만큼 반복한다.

다음 그림 3은 3단계의 RMD 알고리즘의 수행 과정의 예를 나타내 준다.

3.2. 감쇠 프로세스의 인터폴레이션 단계

본 절에서는 앞서 기술된 FBM 프로세스에 대한 이론적인 내용과 강우 감쇠 프로세스에 대한 FBM 파라미터를 이용하여 강우감쇠 프로세스를 인터폴레이션 하는 기법을 간략히 요약하기로 한다.

- 샘플링 시간 단위  $\tau$  의 (측정된) 강우감쇠 데이터를 일정 1~2dB 정도의 감쇠 영역으로 분류한다.
- 각 감쇠 영역 별로 여러 가지 시간 단위 ( $\tau$  의 정수배)에 대하여 차이 값에 대한 분산 값을 구한다.
- 차이 값 프로세스의 표준편차를 이용하여 Hurst 파라미터를 구한다; 식(2)
- 이제 식 (8)의  $\sigma_k$  가 식 (2)의  $\sigma_w$  가 된다.
- 시간 간격  $\tau$  를 이등분하고 RMD 알고리즘에 따라 인터폴레이션을 수행한다

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 Ku 대역을 사용하는 무궁화호의 위성의 비콘 신호에서 1분 단위로 측정된 1년간의 강우 감쇠 데이터를 이용하여 3장에서 기술된 방법으로 인터폴레이션한 결과를 분석한다. 우선 실측된 데이터의 샘플링 시간 간격이 1분이므로  $\tau$  를 1분으로 정하고 1,2,3 분 간격의 차이 값 프로세스의 분산 값을 감쇠 영역에 따라 구하였고 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 그 값이 나타나 있지 않는 부분은 샘플 수의 부족으로 인하여 신뢰성있는 값이 도출되지 않았음을 의미한다.

표 1에 나타난 데이터를 살펴보면 [6]에서 제시된 바와는 달리 차이 값 프로세스의 분산 값이 감쇠값과는 거의 의존성이 없음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 표 1에서 나타난 차이값 프로세스의 표준편차 값의 평균인 0.22를 사용하여 인터폴레이션을 수행한 결과를 제시하기로 한다.

표 1. 시간 간격에 따른 차이 값 프로세스의 표준 편차 값

Fading Depth	1분	2분	3분	4분
0	0.248163	0.25986	0.272153	0.272695
1	0.213203	0.22731	0.227692	0.218617
2	0.222888	0.23366	0.25233	0.273419
3	0.197164	0.2028	0.244489	0.140961
4	0.280223	0.17281	-	-
5	0.220644	-	-	-
6	0.272428	-	-	-
7	0.208309	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	0.2461	0.18558	0.207388	-

그림 4는 상기 데이터 분석 결과를 이용하여 1분 간격으로 생성된 데이터를 30초 간격으로 인터폴레이션한 결과의 일부분을 나타낸 것이다. 또한 그림 5는 같은 1분 간격의 데이터를 3.75초 간격으로 인터폴레이션 한 결과를 나타낸다.

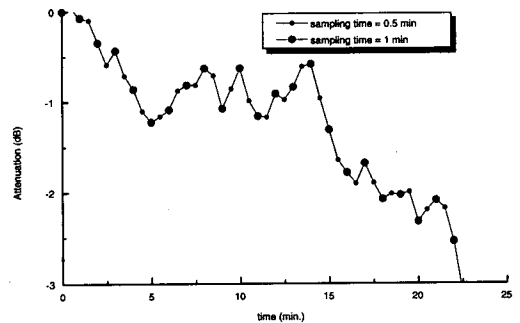


그림 4. 1분 간격의 강우 감쇠 데이터를 30초 간격으로 인터폴레이션 한 결과

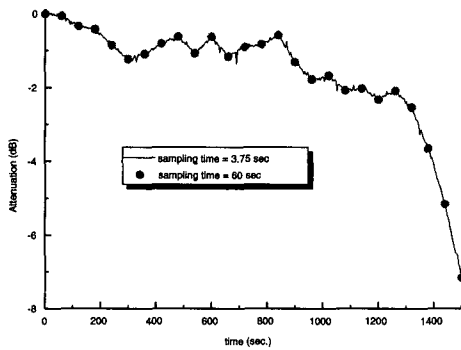
V. 결론

본 논문에서는 우선 강우감쇠와 신호전달과의 관계에 대해 알아보았다. 다음으로 일정 간격으로 샘플링 된 데이터에 대해 더 작은 시간 간격의 데이터를 인공적으로 만들어내는 인터폴레이션 기법에 대하여 살펴보고, 1분 간격으로 샘플링된 실측 강우 데이터를 이용하여 실제로 인터폴레이션한 결과를

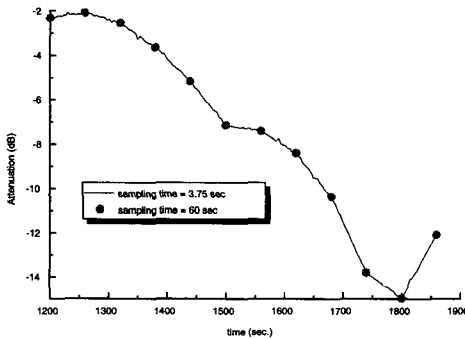
1) 본 데이터는 한국전자통신연구원에서 수행된 위성통신 강우환경 분석기술 연구과제에서 측정된 데이터임을 밝히며, 데이터 제공에 협조해 주신 최용석 박사님과 이주환 선임 연구원님께 감사드립니다.

살펴보았다. 이러한 기법은 적응형 강우감쇠 보상 기법을 개발하기 위한 시뮬레이션 모델을 정립할 때 반드시 필요한 요소 기술이라고 할 수 있다.

그러나 본 논문에서 통계적 특성을 이끌어내기 위해 사용된 실측 데이터 샘플의 수가 부족한 관계로, 다양한 감쇠 영역에 대하여 적절한 파라미터를 이끌어 낼 수가 없었다. 좀 더 신뢰성이 있는 파라미터를 추출하기 위해서 초 단위로 이루어진 감쇠량의 측정 단위를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 5. 1분 간격의 강우 감쇠 데이터를 3.75초 간격으로 인터폴레이션 한 결과

### 참 고 문 헌

[1] 김수영, 이수인, 김양수, “실측 데이터를 이용한 강우감쇠의 동적 특성 모델링 기법”, *한국통신학회 1998년도 하계 종합학술발표 논문집*, 17(1), pp. 445-448, 1998

[2] 김양수, 김수영, 백정기, “위성통신채널에서의 강우감쇠의 동적특성에 대한 주파수 스케일링 기법”, *한국통신학회 1998년도 추계종합학술발*

*표회 논문집*, 1, pp. 1155-1158 1998.

[3] N. Celandroni, F. Potorti, “A fractal attenuation model for the Ka band,” *Proceedings of the 3rd Ka-band Utilization Conference*, Sorrento, Italy, pp. 307-314, 1997.

[4] M. Flip and E. Vilar, “Optimum utilisation of the channel capacity of a satellite link in the presence of amplitude scintillations and rain attenuation,” *IEEE Transactions on Communications*, 38(11), pp. 1958-1965, 1990.

[5] Y. Karasawa and T. Matsudo, “Characteristics of fading on low-elevation angle earth-space paths with concurrent rain attenuation and scintillation,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 39(5), May 1991.

[6] E. Matricciani, M. Mauri, and C. Riva, “Relationship between scintillation and rain attenuation at 19.77 GHz,” *Radio Science*, 31(2), pp. 263-279, 1996.

[7] I. E. Otung, “Short-term distribution of amplitude scintillation on a satellite link,” *Electronic Letters*, 44(12), Aug. 1995.

[8] Y. Karasawa, M. Yamada, and J. E. Allnutt, “A new prediction method for tropospheric scintillation on earth-space paths,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36, pp. 1608-1614, 1988

[9] C. Kassianides and I. E. Otung, “A dynamic model of tropospheric scintillation,” *COST 255 Workshop*, Oct. 1998.

[10] T. Mousley and E. Vilar, “Experimental and theoretical statistics of microwave amplitude scintillations on satellite down-links,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagations*, 30(6), pp.1099-1106, 1982.

[11] R. M. Manning, “Ka-band rain attenuation prediction - A new challenge in modeling communication link performance,” *Proceedings of the 1st Ka-band Utilization Conference*, Sorrento, Italy, pp. 125-146, 1995

[12] W. Lau, A. Erramilli, J. L. Wang, and W. Willinger, “Self-similar traffic generation.: The random midpoint displacement algorithm and its properties,” *Proceedings of ICC 95*, Seattle, USA, pp. 466-472, 1995.

