

論文99-36S-4-3

Ka 밴드 위성시스템에서 강우효과를 고려한 계층형 8-PSK 변조방식의 성능평가

(Performance Analysis of Hierarchical 8-PSK Scheme for Ka-band Satellite Systems in the Presence of Rain Attenuation)

黃 旼 鉉 * , 崔 炯 辰 *

(Sung Hyun Hwang and Hyung Jin Choi)

요 약

본 논문에서는 Ka 밴드 위성시스템에서 가장 큰 신호감쇠 요인으로 작용하는 강우효과를 분석하고 그 보상 방안으로서 계층형 8-PSK 변조방식을 제안하였다. 동기복조를 가정한 이론적인 BER 성능과 국내 강우 데이터에 근거한 예상되는 수신신호 품질을 분석하고 기존의 계층형 16-QAM 변조방식과 제안한 계층형 8-PSK 변조방식간의 성능을 비교하였다. 강우강도 및 강우감쇠는 대수정규 분포함수를 이용하여 추정하고 수신신호 품질은 서비스 중단 확률, 평균 스펙트럼 효율, 평균 수신 SNR에 대해 분석하였다. 결론적으로 제안한 계층형 8-PSK 변조방식은 기존의 계층형 16-QAM 변조방식과 비교해서 전반적으로 매우 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

Abstract

This paper analyzes the rain effect which is the most dominant signal attenuation in Ka-band satellite systems and proposes the hierarchical 8-PSK scheme as a countermeasure. We first analyze theoretical BER performance of hierarchical 8-PSK assuming coherent demodulation and received signal qualities based on Korean rainfall data. Next, we compare the performances between the proposed hierarchical 8-PSK scheme and the conventional hierarchical 16-QAM scheme. Estimation of rainfall intensity and rainfall attenuation are modeled by lognormal distributions and received signal performance evaluation is based on several performance criteria, such as outage probability, mean spectral efficiency, and average received SNR. In result, we are convinced that the proposed hierarchical 8-PSK scheme is superior to the conventional hierarchical 16-QAM scheme as a whole

I. 서 론

위성통신 서비스의 종류가 다양해지면서 주파수 수요는 급증하는 반면 남은 주파수 재원은 거의 고갈되

어 새로운 고주파 대역(Ku, Ka, mm)에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 우리나라의 경우 1999년 발사 예정인 무궁화 3호 위성엔 Ku 밴드 통신용 24기와 방송용 6기 및 Ka 밴드 통신용 3기를 보유할 예정이어서 고주파 대역에 대한 기술개발 및 보유가 시급한 실정이다.

고주파 대역은 기존 대역에 비해 아직까지 풍부하나 대기인자(H_2O , O_2 등)에 의한 신호 감쇠가 심각하고

* 正會員, 成均館大學校 電氣電子컴퓨터 工學部
(School of Electrical & Computer Engineering, Sung Kyun Kwan University)

接受日字:1998年7月10日, 수정완료일:1999年1月11日

구조는 비대칭 8-PSK 구조와 유사하나 실제로 변조기 2개를 사용하여 계층변조한 것이다.

변조기 하나는 성단(cluster)을 통해 전송되는 기본정보(base information)를 변조하고 다른 변조기는 성단 내부의 포인트(point)를 통해 전송되는 상세정보(refinement information)를 변조한다. 일반적으로 근접시킨 포인트간 거리만큼 성단간 거리를 멀어지도록 위상을 할당함으로써 포인트에 실린 상세정보보다 성단에 실린 기본정보의 신뢰도가 커지도록 변조한다. 따라서 기본정보에 보다 중요한 정보를 전송함으로써 강우에 의해 각 포인트가 실어 나르는 정보를 손실하더라도 포인트가 속해있던 성단의 정보는 남아있기 때문에 최악의 경우라도 서비스 중단은 방지할 수 있다.

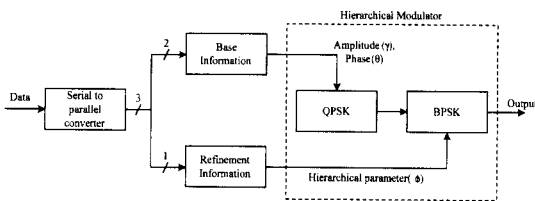


그림 2. 계층형 8-PSK 변조기 구조
Fig. 2. Hierarchical 8-PSK modulator.

한편, 계층형 8-PSK 신호를 발생시키는 변조기의 구조를 그림 2에 보였다. QPSK 변조기와 BPSK 변조기를 직렬 연결한 구조로서 1 심벌을 구성하는 3 비트 중에서 2 비트는 기본정보의 전송에 사용되고 나머지 1 비트는 상세정보의 전송에 사용된다.

그림 2에서 QPSK 변조기는 진폭(γ)과 위상(θ)을 이용하여 기본정보 2 비트를 변조하고 BPSK 변조기는 계층변조 파라미터(ϕ)를 이용하여 상세정보 1 비트를 변조한다. 여기서 BPSK 변조기의 진폭은 QPSK와 동일하고 위상은 $\pm \phi/2$ 를 갖는다. 일반적으로 진폭 차등할당방식의 계층형 변조는 병렬 변조구조를 주로 사용하고 [4] 위상 차등할당방식의 계층형 변조는 전단 변조기의 진폭정보를 필요로 하므로 직렬 변조구조를 사용한다.

III. 이론적인 동기복조 BER 성능

제안한 계층형 8-PSK 변조방식의 이론적인 BER 성능을 분석하기 위해 동기복조를 가정한 상태에서 기

본정보와 상세정보에 대한 BER을 유도하고 계층형 16-QAM 변조방식의 성능과 비교 분석하였다.

일반적으로 BER P_e 는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$P_e = \sum_{i=1}^N f(d_i)P(d_i) \quad (1)$$

여기서, d_i 는 성좌점과 영역경계간의 최소거리이고 $f(d_i)$ 는 d_i 가 발생할 비율(빈도)이며 $P(d_i)$ 는 d_i 를 갖는 성좌점의 에리확률이다. $P(d_i)$ 는 동기복조를 가정할 때 식 (2)와 같이 정의된다.

$$P(d_i) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{d_i}{\sqrt{N_o}}\right) = Q\left(\frac{d_i}{\sqrt{N_o/2}}\right) \quad (2)$$

식 (2)에서 $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 complementary error 함수이고 $Q(\cdot)$ 는 Q 함수이다. 따라서 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 기본정보와 상세정보의 BER을 유도할 수 있다. 기본정보의 BER을 P_b 라고 하고 상세정보의 BER을 P_r 이라고 할 때 계층변조 파라미터 ϕ 와 SNR을 이용하여 각각 식 (3), (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$P_b = \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc}\left(\cos(45^\circ + \phi/2) \cdot \sqrt{\frac{S}{N}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\cos(45^\circ - \phi/2) \cdot \sqrt{\frac{S}{N}}\right) \right] \quad (3)$$

$$P_r = \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc}\left(\sin(\phi/2) \cdot \sqrt{\frac{S}{N}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\sin(45^\circ - \phi/2) \cdot \sqrt{\frac{S}{N}}\right) \right] \quad (4)$$

그림 3은 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 기본정보와 상세정보의 BER 성능을 나타낸 것으로 계층형 16-QAM 변조방식에 대한 BER 성능도 함께 비교 설명하고 있다. 그림 3-(a)는 기본정보의 BER 성능을, 그림 3-(b)는 상세정보의 BER 성능을 각각 나타내고 있다. 여기서 R은 진폭 차등할당방식인 계층형 16-QAM 변조방식의 파라미터로서 포인트간 최소 거리에 대한 성단중심간 최소 거리비이고 [1] ϕ 는 위상 차등할당방식인 계층형 8-PSK 변조방식의 파라미터로서 성단 내부의 포인트간 최소 위상차이다.

그림 3-(a)에서 기본정보의 BER 성능은 $\phi=0^\circ$ 일 때 최상이고 $\phi=90^\circ$ 일 때 최악이며 그림 3-(b)에 보인 상세정보의 BER 성능은 $\phi=45^\circ$ 일 때 최상이고

$\phi=0, 90^\circ$ 일 때 최악의 성능을 가진다. 특히 상세정보는 $\phi=\phi_0, 90-\phi_0$ 일 경우 BER 성능이 동일함을 알 수 있다.

한편 그림 3-(a)에서 계층형 16-QAM 변조방식과 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 기본정보의 BER 성능이 유사한 계층변조 파라미터 $[R, \phi]$ 쌍을 나열하면 식 (5)와 같이 쓸 수 있다. 주시할 점은 나열한 $[R, \phi]$ 쌍의 BER 성능은 비슷하나 계층형 8-PSK 변조방식이 항상 우수함을 알 수 있다.

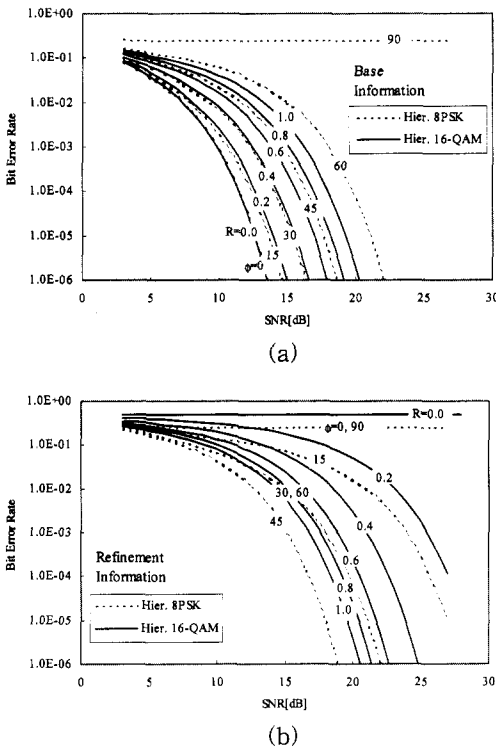


그림 3. 계층형 8-PSK 변조방식의 BER 성능 (a) 기본정보의 BER 성능 (b) 상세정보의 BER 성능

Fig. 3. BER performance of hierarchical 8-PSK (a) BER performance of base information (b) BER performance of refinement information.

$$[R, \phi] = \{ [0.0, 0^\circ], [0.2, 15^\circ], [0.4, 30^\circ], [0.8, 45^\circ] \} \quad (5)$$

식 (5)에서 나열한 $[R, \phi]$ 쌍에 대해 그림 3-(b)를 참조하여 상세정보의 BER 성능을 서로 비교한 결과 계층형 8-PSK 변조방식의 성능이 계층형

16-QAM 변조방식보다 훨씬 우수함을 알 수 있다. 결론적으로 제안한 계층형 8-PSK 변조방식이 기존의 계층형 16-QAM 변조방식보다 기본/상세정보 모든 측면에서 우수한 BER 성능을 만족함을 알 수 있다.

IV. 국내 강우효과를 고려한 계층형 8-PSK 변조방식의 성능평가

본 논문에서 Ka 밴드 위성의 강우감쇠 보상방안으로 제안한 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 성능검증을 위해 실제로 국내 강우 데이터를 고려한 수신신호 품질을 다각적으로 분석하였다. 지구국 위치는 국내 주요도시 중 강우효과 및 앙각 차이가 가장 크게 나타난 서울과 대구로 가정하고 정지위성의 위치는 무궁화 3호와 동일하다고 가정하였으며 요구되는 기본정보와 상세정보의 BER 성능은 모두 1.0×10^{-3} 으로 전체하였다.

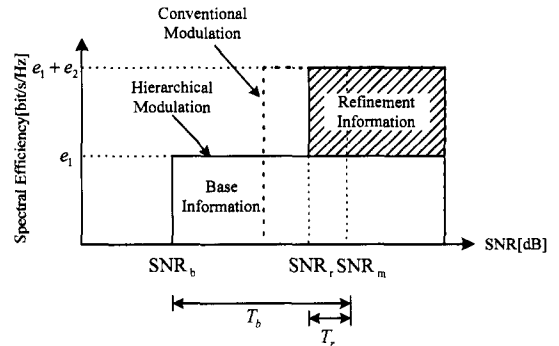


그림 4. 스펙트럼 효율 변화 Fig. 4. Variation of spectral efficiency.

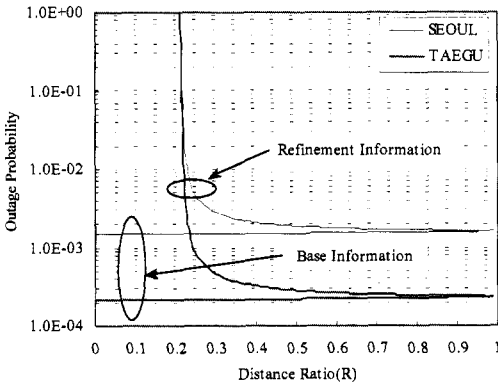
그림 4는 일반적인 변조방식과 계층형 변조방식의 차이를 스펙트럼 효율 면에서 나타낸 것으로 SNR_b 는 기본정보가 보장되기 위한 최소 SNR 값이고 SNR_m 은 상세정보가 보장되기 위한 최소 SNR 값이며 SNR_m 은 강우의 영향이 전혀 없는 즉 맑은 하늘의 최대 SNR 값이다. 또한 e_1 은 기본정보만 수신될 때의 스펙트럼 효율이고 e_2 는 기본정보와 상세정보가 모두 수신될 때 추가되는 스펙트럼 효율이다. 따라서 SNR이 $SNR_b \leq SNR \leq SNR_m$ 을 만족할 때의 스펙트럼 효율은 e_1 이고 $SNR_m \leq SNR$ 을 만족할 때의 스펙트럼 효율은 $e_1 + e_2$ 이다.

$$T_b = 10 \log_{10}[SNR_m - SNR_b] \quad [dB] \quad (6)$$

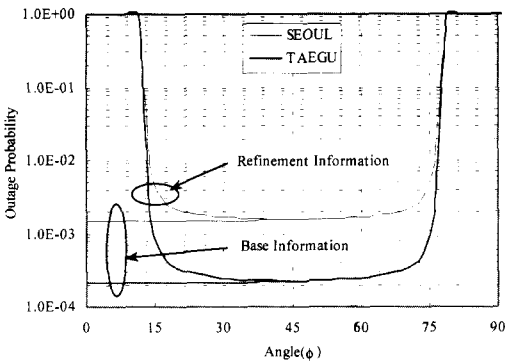
$$T_r = 10 \log_{10}[SNR_m - SNR_r] \quad [dB] \quad (7)$$

한편 그림 4에 표기한 T_b , T_r 은 기본정보와 상세 정보가 성공적으로 수신될 때 허용될 수 있는 최대 강우감쇠량을 의미하는 값으로 각 정보가 보장되기 위한 최대 강우감쇠 임계값이라 할 수 있고 식 (6), (7)과 같이 나타낼 수 있으며 계층변조 파라미터와 SNR_m 에 의해 결정된다.

1. 서비스 중단 확률



(a)



(a)

그림 5. 서비스 중단 확률
(a) 계층형 16-QAM 변조방식 (b) 계층형 8-PSK 변조방식

Fig. 5. Probability of service outage.
(a) Hierarchical 16-QAM (b) Hierarchical 8-PSK

서비스 중단은 기본정보가 성공적으로 수신되기 위해 보장되어야 할 강우감쇠 임계값 T_b 보다 더 큰 강우감쇠가 발생할 경우 일어나고 그 확률을 모두 더한

값이 서비스 중단 확률이다. 서비스 중단 확률 P_o 는 식 (A3)과 동일한 방법으로 구할 수 있으며 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $CDF_{rain}(T_b)$ 는 기본정보의 강우감쇠 임계값보다 작은 강우감쇠가 발생할 확률의 누적분포함수로서 서비스 신뢰도와 상통하는 의미이다.

$$P_o = P(\tau \geq T_b) = 1 - CDF_{rain}(T_b) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\log_{10} T_b - m_r}{\sqrt{2} s_r}\right) \quad (8)$$

그림 5는 식 (8)과 표 A3의 국내 강우감쇠 파라미터를 이용하여 서울과 대구지역을 중심으로 계층형 16-QAM 변조방식과 계층형 8-PSK 변조방식에 대해 서비스 중단 확률을 구한 것이다.

계층형 16-QAM 변조방식에서 기본정보의 서비스 중단 확률은 $0 \leq R \leq 1$ 범위에서 안정된 성능을 갖고 상세정보의 서비스 중단 확률은 $R \leq 0.2$ 범위에서 급격하게 증가한다. 한편 계층형 8-PSK 변조방식에서 기본정보의 서비스 중단 확률은 $75^\circ \leq \phi$ 범위에서 급격하게 증가하고 상세정보의 서비스 중단 확률은 $\phi \leq 15^\circ$, $75^\circ \leq \phi$ 범위에서 급격하게 악화된다.

2. 평균 스펙트럼 효율

평균 스펙트럼 효율 E는 기본정보가 보장될 신뢰도 즉 CDF(Cumulative Distribution Function) 특성과 그 때의 효율 e_1 의 곱에 상세정보가 보장될 신뢰도와 그 때의 추가되는 효율 e_2 의 곱을 더한 값으로서 식 (9)와 같이 정의될 수 있다(그림 4 참조).

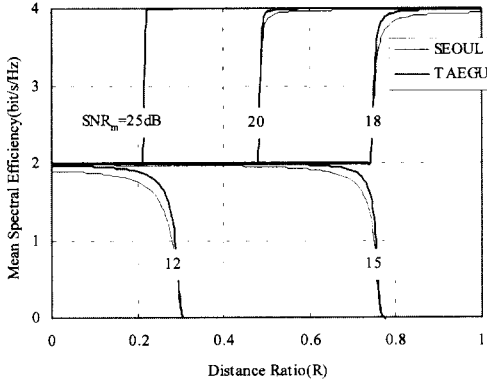
$$E(\phi, SNR_m) = e_1 CDF_{rain}(T_b) u(T_b) + e_2 CDF_{rain}(T_r) u(T_r) \quad [bit/s/Hz] \quad (9)$$

식 (9)에서 $u(\cdot)$ 는 단위응답함수이고 $CDF_{rain}(T_b)$ 는 기본정보의 신뢰도이며 $CDF_{rain}(T_r)$ 은 상세정보의 신뢰도이다. 식 (9)와 표 (A2)을 이용하여 구한 평균 스펙트럼 효율을 그림 6에 나타내었다.

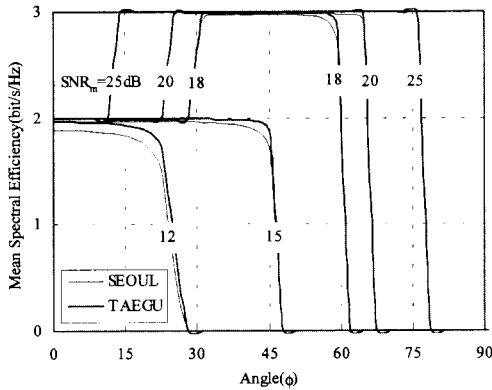
그림 5, 6을 참조할 때 상세정보의 서비스 중단 확률이 열악한 계층변조 파라미터의 범위에서 스펙트럼 효율은 2[bit/s/Hz]이고 기본정보의 서비스 중단 확률이 급격히 악화되는 범위에서 스펙트럼 효율은 0[bit/s/Hz]이다. 한편 그림 6에서 $SNR_m \leq 18$ [dB]이면 스펙트럼 효율은 최대 효율에 이르지 못하며 계속

해서 계층변조 파라미터를 증가시킬 경우 기본정보마저 손실되어 서비스 중단이 발생할 수 있다.

구한 평균 수신 SNR을 그림 7에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 6. 평균 스펙트럼 효율
(a) 계층형 16-QAM 변조방식 (b) 계층형 8-PSK 변조방식

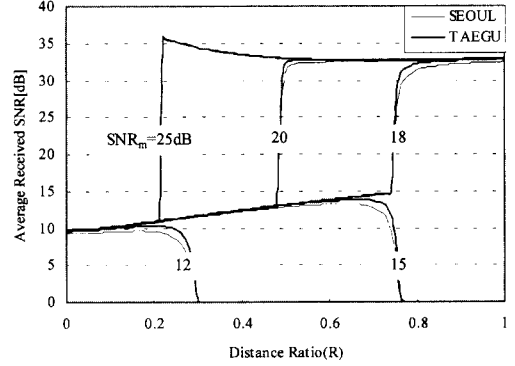
Fig. 6. Mean spectral efficiency.
(a) Hierarchical 16-QAM (b) Hierarchical 8-PSK

3. 평균 수신 SNR

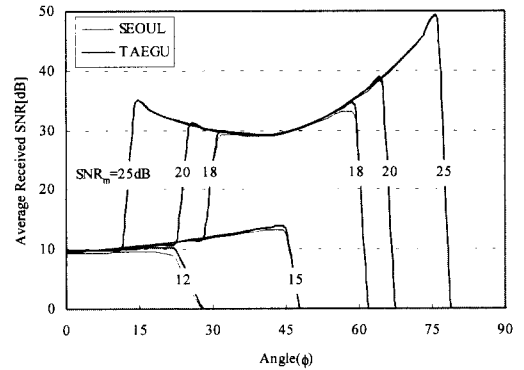
수신단 평균 SNR SNR_{ave} 는 기본정보만 수신될 경우의 평균 SNR에 기본정보의 신뢰도를 곱한 값과 상세정보가 수신될 경우의 평균 SNR에 상세정보의 신뢰도를 곱한 값을 합하여 구할 수 있고 이것을 식 (10)에 나타내었다.

$$SNR_{ave} = SNR_b CDF_{rain}(T_b)u(T_b) + SNR_s CDF_{rain}(T_s)u(T_s) \quad (10)$$

식 (10)과 표 (A2)의 국내 강우 데이터를 이용하여



(a)



(a)

그림 7. 평균 수신 SNR
(a) 계층형 16-QAM 변조방식 (b) 계층형 8-PSK 변조방식

Fig. 7. Mean received SNR.
(a) Hierarchical 16-QAM (b) Hierarchical 8-PSK

그림 7에서 계층형 16-QAM의 경우 평균 수신 SNR은 기본정보만 성공적으로 수신될 경우 10~15[dB] 수준이고 상세정보가 추가될 경우 32~35[dB]까지 보장된다. 그러나 $SNR_m \leq 18$ [dB]이면 계층변조 파라미터에 관계없이 상세정보는 항상 수신 실패하므로 평균 수신 SNR은 15[dB]를 넘지 못한다. 한편 계층형 8-PSK의 경우 평균 수신 SNR은 기본정보에 의해 10~13[dB] 정도가 보장되고 상세정보가 추가될 경우 30~50[dB]까지 크게 증가한다. 결론적으로 서비스 중단까지 견딜 수 있는 강우감쇠량은 계층형 16-QAM의 경우 SNR_m 에 따라 최고 17~25[dB]이고 계층형 8-PSK의 경우 18~40[dB]까지 극복할 수 있으므로 계층형 8-PSK가 월등히 우수함을 알 수 있

다.

일반적으로 우리나라의 경우 Ka 밴드 강우감쇠가 최고 20[dB]이상 발생할 수 있는 시간율은 전체 측정 기간의 약 0.03[%] 이하이고 30[dB]이상 발생할 시간율은 0.01[%]이하이므로^[5] 계층형 변조방식을 사용하면 위성 링크 가용도는 16-QAM 구조의 경우 99.97[%], 8-PSK 구조의 경우 99.99[%]까지 보장될 수 있다.

4. 성능 비교

제안한 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 전반적인 성능평가를 국내 강우효과를 고려하여 수행한 결과 기존의 계층형 16-QAM 변조방식과 비교해서 매우 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 한편 서울지역이 대구지역에 비해 강우 및 양각 조건이 대체로 열악하여 강우감쇠가 보다 심각함을 알 수 있었다. 특히 SNR_m 이 낮을수록 각 지역간의 성능차이가 심화됨을 알 수 있었다. 공통적으로 기본정보와 상세정보의 가장 우수한 서비스 중단 확률은 서울과 대구지역에서 각각 1.5×10^{-3} 과 2.0×10^{-4} 을 만족하고 $SNR_m \leq 18$ [dB] 범위에서는 상세정보가 성공적으로 수신되지 않으며 계속해서 계층변조 파라미터가 증가할 경우 전체적인 수신신호 품질이 극도로 악화된다. 참고로 기타 국내 주요도시의 수신신호 품질은 서울과 대구의 중간 정도의 성능을 만족한다.

V. 결론

본 논문은 Ka 밴드 위성시스템에서 심각한 신호전력의 감쇠 요인으로 작용하는 강우 효과를 분석하고 그 보상방안으로 계층형 8-PSK 변조방식을 제안하였다. 계층형 변조방식에 대한 성능평가로서 동기복조를 가정한 이론적인 BER 성능에서는 제안한 계층형 8-PSK 변조방식이 기본정보와 상세정보의 모든 측면에서 이미 알려진 계층형 16-QAM 변조방식보다 월등히 우수함을 알 수 있었다.

강우효과에 따른 계층형 변조방식의 성능을 분석하기 위해 실질적인 강우 데이터를 근거로 다양한 수신신호 품질을 평가하였다. 특히 국내 강우강도 데이터와 국내 주요도시 및 무궁화 위성 3호를 바탕으로 계산된 양각을 이용하여 성능평가를 수행함으로써 우리나라에 직접적으로 적용 가능한 결과를 얻을 수 있었

다. 강우강도는 대체로 정확성이 뛰어난 대수정규 분포함수를 이용하여 추정하였고 강우감쇠 또한 대수정규 분포함수를 이용하는 Morita 모델을 사용하였다. 이 방법은 강우강도가 대수정규 분포를 따를 때 강우감쇠 또한 대수정규 분포로 잘 근사화된다는 특성을 이용한 것이다^[2].

한편, 수신신호 품질은 서비스 중단 확률, 평균 스펙트럼 효율, 평균 수신 SNR에 대해 분석하였다. 서비스 중단 확률에 대해 살펴보면 계층형 16-QAM의 경우 기본정보의 성능은 거의 일정하나 상세정보의 성능은 $R \leq 0.2$ 에서 급격하게 증가한다. 계층형 8-PSK의 경우 기본정보의 성능은 $\phi \leq 75^\circ$ 에서 거의 일정하고 상세정보의 성능은 $15^\circ \leq \phi \leq 75^\circ$ 에서 안정된 값을 갖는다.

평균 스펙트럼 효율에 대해 살펴보면 계층형 16-QAM과 계층형 8-PSK는 공통적으로 기본정보와 상세정보의 성능이 모두 안정된 범위에서는 최대 스펙트럼 효율을 갖고 기본정보만 도달할 경우 2 [bit/s/Hz]를 갖는다. $SNR_m \leq 18$ [dB]이면 스펙트럼 효율은 최대 효율에 이르지 못하고 계속해서 계층변조 파라미터를 증가시키면 기본정보마저 손실되어 서비스 중단이 발생한다.

마지막으로 평균 수신 SNR에 대해 살펴보면 서비스 중단까지 견딜 수 있는 강우감쇠량은 계층형 16-QAM의 경우 SNR_m 에 따라 최고 17~25[dB]인 반면 계층형 8-PSK의 경우 훨씬 우수한 18~40[dB]까지 극복할 수 있다. 그리고 $SNR_m \leq 18$ [dB]이면 계층변조 파라미터에 관계없이 상세정보는 항상 수신 실패하므로 평균 수신 SNR은 15[dB]를 넘지 못한다.

결론적으로 제안한 계층형 8-PSK 변조방식은 기존의 계층형 16-QAM 변조방식과 비교해서 전반적으로 매우 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 지역적으로는 서울지역이 대구지역에 비해 강우 및 양각 조건이 열악하여 강우감쇠가 심각함을 알 수 있었다. 특히 SNR_m 이 낮을수록 지역간의 성능차이는 보다 심화됨을 알 수 있었다.

마지막으로 본 논문의 연구 결과는 무궁화 3호 위성 탑재된 Ka 밴드 중계기와 관련된 시스템 설계에 직접적으로 이용될 수 있고 국내 주요도시에 위치한 지구국의 강우감쇠 보상을 위한 대책 수립에도 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

(부록-국내 강우강도 및 강우감쇠 영향 분석)

강우강도[mm/h] 데이터를 근거로 강우감쇠를 추정하는 모델로서 잘 알려진 ITU-R이나 Crane 모델에서 제공하고 있는 강우강도 자료는 우리나라 전역을 같은 지역으로 분류하고 있어 어느 정도 정확성에 한계가 있다. 따라서 우리나라의 기후환경과 지형을 고려한 강우감쇠 분석이 수행되어야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 참고문헌 [6]에서 인용한 국내 주요도시에 대한 강우강도 데이터를 바탕으로 모든 강우강도 데이터에 대해 비교적 잘 일치하는 것으로 알려진 대수정규 분포함수를 이용하여 강우강도를 추정하였다. 또한 강우강도가 대수정규 분포를 따를 때 이것으로 인한 강우감쇠 역시 대수정규 분포로 근사화되는 특징을 이용한 Morita 모델을 사용하여 강우감쇠를 분석하였다^[2].

강우효과를 분석하기 위해 사용되는 강우강도 데이터는 시간율(percent of time)과 밀접한 관련이 있다. 시간율 p [%]에 대한 강우강도가 r_o [mm/h]라고 하면 전체 측정기간 중에서 강우강도가 r_o 이상인 시간이 전체시간에 대해 차지하는 퍼센트 비율이 p 임을 의미한다. 따라서 시간율 p 는 강우기간(F)에 대해 강우강도가 r_o 이상일 조건부 확률 $P(r \geq r_o / F)$ 를 이용하여 식 (A1)과 같이 쓸 수 있다.

$$p = P(r \geq r_o) = P(r \geq r_o / F)P(F) \tag{A1}$$

여기서 $P(F)$ 는 강우 F가 발생할 확률인 연중 강우 시간율로서 Morita 모델에서는 10%라고 가정하고 있다^{[11][2]}.

한편, 대수정규 확률밀도함수 $f(r)$ 는 식 (A2)와 같이 정의할 수 있고 조건부 확률 $P(r \geq r_o / F)$ 는 대수정규 확률밀도함수 $f(r)$ 를 이용하여 식 (A3)과 같이 쓸 수 있다.

$$f(r) = \frac{K}{\sqrt{2\pi}s_r r} e^{-\frac{(\log_{10} r - m_r)^2}{2s_r^2}} \tag{A2}$$

$$\begin{aligned} P(r \geq r_o / F) &= \int_{r_o}^{\infty} f(r) dr \\ &= \int_{r_o}^{\infty} \frac{K}{\sqrt{2\pi}s_r r} e^{-\frac{(\log_{10} r - m_r)^2}{2s_r^2}} dr \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\log_{10} r_o - m_r}{\sqrt{2}s_r}\right) = Q\left(\frac{\log_{10} r_o - m_r}{s_r}\right) \end{aligned} \tag{A3}$$

식 (A2)에서 K 는 $\log_{10} e = 0.4343$ 를 의미하고 m_r 과 s_r^2 은 각각 $\log_{10} r$ 의 평균과 분산을 의미한다. 결론적으로 표 A1의 국내 강우강도 데이터와 식 (A3)을 선형회귀 분석법에 적용하면 강우강도의 영향을 반영한 파라미터 m_r 과 s_r^2 을 구할 수 있다.

표 A1. 국내 주요도시의 시간율과 강우강도의 관계

Table A1. Relation of percent of time and rain intensity in urban area.

| 지역 \ 시간율(%) | 서울 | 대전 | 광주 | 대구 | 부산 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| 0.2 | 12.9 | 11.3 | 12.1 | 8.6 | 12.2 |
| 0.1 | 19.8 | 18.6 | 20.0 | 12.8 | 18.0 |
| 0.05 | 29.4 | 26.0 | 28.0 | 17.8 | 28.5 |
| 0.01 | 50.8 | 46.1 | 56.8 | 32.6 | 50.9 |
| 0.005 | 58.4 | 58.6 | 74.5 | 38.2 | 59.6 |
| 0.001 | 80.0 | 75.5 | 99.5 | 45.5 | 84.5 |

따라서, 강우감쇠 분석을 위해 사용한 Morita 모델에서 제시하는 식[2]을 이용하여 강우감쇠 T의 대수정규 분포함수의 파라미터인 평균 m_r 와 분산 s_r^2 을 구할 수 있다. 결론적으로 강우효과를 고려한 계층형 8-PSK 변조방식에 대한 성능평가에서 사용되는 양각 및 강우강도와 강우감쇠 파라미터를 구하면 표 A2와 같다.

표 A2. 양각 및 강우강도와 강우감쇠 파라미터

Table A2. Elevation angle, rain intensity and rain attenuation parameters.

| 파라미터 지역 | 위도/경도 | 양각 | m_r | s_r | 상관도 | m_T | s_T |
|---------|-------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 서울 | 37.5N127.0E | 45.0° | 0.194 | 0.474 | 0.988 | 0.326 | 0.360 |
| 대전 | 36.4N127.5E | 46.0° | 0.100 | 0.495 | 0.987 | 0.239 | 0.378 |
| 광주 | 35.2N126.8E | 47.6° | -0.012 | 0.559 | 0.991 | 0.137 | 0.434 |
| 대구 | 35.8N128.6E | 46.4° | 0.063 | 0.449 | 0.982 | 0.197 | 0.340 |
| 부산 | 35.2N129.0E | 46.9° | 0.086 | 0.509 | 0.990 | 0.222 | 0.391 |

● 본 논문은 한국통신 위성본부의 지원으로 수행중인 장기기초 연구과제 “적응형 가변전송을 이용한 Ka 밴드 위성의 신호감쇠 보상기술연구(98.2.20~98.12.10)”의 결과중 일부임.

참 고 문 헌

- [1] M. Morimoto, H. Harada, M. Okada, and S. Komaki, "A Study on Power Assignment of Hierarchical Modulation Schemes for Digital Broadcasting," IEICE Trans. Comm., vol.E77-B, no.12, pp.1495-1500, Dec. 1994.
- [2] K. Morita, "A Method for Estimating Propagation Characteristics on Earth-Satellite Links in Microwave and Millimeter Wavebands," E.C.L. Tech. Jour., vol.28, no.8, pp.1661-1676, 1979.
- [3] M. Filip, and E. Vilar, "Optimum Utilization of the Channel Capacity of a Satellite Link in the Presence of Amplitude Scintillations and Rain Attenuation," IEEE Trans. Comm., vol.38, no.11, pp.1958-1965, Nov. 1990.
- [4] K. Miyauchi, S. Seki, and H. Ishio, "New Technique for Generating and Detecting Multilevel Signal Formats," IEEE Trans. Comm., vol.COM-24, pp.263-267, Feb. 1976.
- [5] 한국통신 위성본부, 적응형 가변전송을 이용한 Ka 밴드 위성의 신호감쇠 보상기술연구에 관한 중간 보고서, 1998년 6월.
- [6] 이형수, 신철호, "강우감쇠의 영향 분석을 위한 국내 각 지역의 강우강도 분포," 한국통신학회 논문지, vol.23, no.4, pp.1006-1015, 1998년, 4월.

저 자 소 개



黃 勝 鉉(正會員)

1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사). 1998년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 3월 ~ 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 박사과정. 주관심분야는 위성통신, 이동통신, 디

지탈통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등임



崔 炯 辰(正會員)

1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업. 1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업. 1976년 3월 ~ 1979년 7월 주식회사 금성사 중앙연구소 근무. 1979년 9월 ~ 1982년 12월 University of Southern

California 전기공학과 박사(Ph.D). 1982년 10월 ~ 1989년 2월 LinCom Corp. 연구원으로 근무. 1989년 3월 ~ 현재 성균관대학교 전자공학과(정교수). 주관심분야는 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등임