

위성통신 시스템에서 이동형 위성단말을 위한 개루프 전력제어 알고리즘

이호섭¹ · 박형원¹ · 윤원식^{2*}

An Open-Loop Power Control Algorithm for On-The-Move Terminal in Satellite Communication Systems

Ho-sub Lee¹ · Hyung-won Park¹ · Wonsik Yoon^{2*}

¹Communication R&D Lab, LIG Nex1, Seongnam, 463-400, Korea

²Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University, Suwon 443-749, Korea

요 약

본 논문에서는 정지궤도 위성을 운용하는 위성통신환경에서 이동형 위성단말의 송신전력제어를 위한 개루프 전력 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 위성체로부터 전송되는 비콘 신호를 기준으로 현재 위성채널 상태가 장애물에 의해 LOS가 제한되는 상황인지, 안테나의 위성추적 오차로 인해 발생하는 손실인지 판별한다. 판별된 신호 감쇄 원인을 기준으로 안테나 위성추적 오차 시는 RF 출력을 멈추며, 장애물에 의한 채널 단절이 발생할 경우는 전력제어 없이 확산을 통해 데이터 수신 확률을 향상시킨다. 제안하는 알고리즘의 성능분석을 위해 인접위성 간섭 수준과 채널 아웃티지 확률을 분석하였으며, 분석결과 제안하는 알고리즘이 더 높은 성능을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an open loop power control algorithm to control transmission power of the On-The-Move(OTM) Satcom terminal in GEO satellite communication environment. The proposed algorithm identifies the current channel state restricted by an obstacle or an antenna depointing loss based on the received beacon signal strength. On the basis of the determined signal attenuation causes, the OTM Satcom terminal turns off the RF output when an antenna tracking is failed. If the OTM Satcom terminal experiences a channel blockage by an obstacle, the terminal spreads the transmit data to increase data reception probability. To evaluate the performance of the proposed algorithm, we compare an adjacent satellite interference level and an outage probability. The results show the performance of the proposed algorithm is better than that of the conventional algorithm.

키워드 : 위성통신, 이동형 위성단말, 전력제어, 위성통신채널, 대역확산

Key word : Satellite communications, OTM terminal, Power control, Satellite communication channel, Spread spectrum

접수일자 : 2014. 07. 10 심사완료일자 : 2014. 08. 13 게재확정일자 : 2014. 08. 28

* **Corresponding Author** Wonsik Yoon(Email:wsoon@ajou.ac.kr, Tel:+82-31-219-2371)

Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University, Suwon 443-749, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.9.2298>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

위성통신체계는 지형적 제약을 크게 받는 지상통신 체계의 한계를 극복할 수 있기 때문에, 지상망 통신이 불가능한 선박, 항공기 등 안정적인 데이터 전송이 필요한 환경에서 사용되어 왔다. 이러한 장점 때문에 위성통신체계는 생존성이 중요한 군 통신 망 환경에도 적용되어 왔다. 특히 한국군은 36,000km 상공에 위치한 정지 궤도를 이용하여 한반도와 그 연안지역을 중심으로 육상, 해상, 공중에서의 지휘통신을 지원하는 군 위성통신체계를 구축하여 운용하여 왔다[1].

이러한 위성통신망 체계는 위성체에서의 인접 채널 간 간섭에 의해 용량이 제한되는 단점을 갖는다. 때문에 지상 단말에서 송신하는 신호의 스펙트럼 밀도가 위성체에서 일정하게 유지될 수 있도록 다양한 전력제어 알고리즘이 연구되었다[2-5]. [2]에서는 위성체에 의해 중계되는 신호를 각 송신 단말에서 직접 수신하여 수신 단말에서의 Signal to Noise Ratio(SNR) 값을 예측하여 전력제어를 수행하는 페루프 전력제어 방식을 제안하였다. 페루프 전력제어 방식 뿐만 아니라 위성체로부터의 비콘신호의 세기를 기준으로 전력제어를 수행하는 개루프 전력제어 기법도 제안되었다[3,4]. 특히 [3]에서는 페루프 전력제어 구현 시 고려되어야 할 위성채널에 대한 다양한 분석 결과를 제시하였다. 또한 주파수 변환기와 신호 증폭기를 이용한 단순한 위성 중계기가 아닌 On-Board Processing(OBP)형 탑재체를 고려한 전력제어 기법도 제안되었다[5]. 이러한 기존 전력제어 방식은 대부분 위성단말과 위성체 간 가시선이 안정적으로 확보되는 환경에서 강우감쇠로 인한 신호 손실을 보상하는 방식이다.

그러나 최근에는 신속한 작전템포에 따라 전장영역이 동적으로 변화되는 형태를 효과적으로 지원하기 위한 ‘On-The-Move(OTM)’ 지원 능력의 요구에 따라 이를 지원할 수 있는 새로운 형태의 위성단말이 개발되고 있으며, 한국군에도 적용될 것으로 예상된다. 위성단말의 이동에 의해 신호감쇠는 단순히 강우 뿐만 아니라 더 나아가 안테나의 위성추적 실패, 위성단말과 위성체 간 장애물에 의한 채널 blockage 등의 요인에 의해 발생 가능하다. [6,7]에서는 20~30GHz 주파수 대역을 운용하는 OTM단말의 특성을 고려한 EIRP 방사 속성 및 규제 방안에 대한 연구결과가 제시되었으나 OTM 단

말을 위한 전력제어 알고리즘에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 환경에서 이동형 위성단말인 OTM 위성단말의 채널 환경을 고려한 전력제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 위성체로부터의 비콘 신호를 기준으로 전력제어를 수행하는 개루프 전력제어 알고리즘이다. 제안하는 알고리즘은 신호감쇠 원인을 식별하는 단계와 식별된 결과에 따라 신호감쇠를 보상하는 단계로 구성된다. 이를 위해 OTM 위성단말 운용환경의 채널 blockage 모델과 위성추적 오차로 인한 신호 감쇠 모델 및 강우감쇠 모델을 도출하여 적용하였다. 이를 통해 제안하는 알고리즘은 송신 위성단말로부터의 전력 스펙트럼 밀도가 위성체에서 일정하게 유지될 수 있도록 전력제어를 수행한다. 특히 위성 지향 오차를 식별하여 송신전력을 차단함으로써 발생 가능한 인접 위성체로의 간섭을 억제하고 blockage 채널 환경에서는 데이터 확산을 통해 수신 성공 확률을 향상시켰다.

본 논문의 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 정지궤도 기반 위성통신환경에서 OTM 위성단말의 위성채널 모델을 분석한다. 3장에서는 제안하는 개루프 전력제어 기법을 제안하며, 4장에서는 제안하는 기법의 성능 분석 결과를 논의한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 설명한다.

II. 이동형 위성단말 채널 모델

2장에서는 OTM 위성단말의 채널 모델을 분석한다. 먼저 정지궤도 위성을 사용하는 위성통신체계에서 OTM 위성단말이 위성체로부터 비콘신호를 수신하는 구조를 살펴본다. 다음으로는 실제 OTM 위성단말의 송수신 경로 상에서 발생 가능한 채널 모델을 분석한다. 강우감쇠를 포함한 Propagation 모델과 채널 blockage 모델 및 위성추적 오차로 인한 신호감쇠 모델로 구분하여 분석하였다.

2.1. 시스템 구성

그림 1은 정지궤도를 이용하는 위성통신환경에서 OTM 위성단말이 운용되는 환경을 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 OTM 위성단말 운용환경은 지상의 운

용국, 위성단말 및 위성체로 구성된다. 지상의 운용국은 위성통신체계 내 사용자의 인증, 관리 등을 수행하며, 위성체는 지상의 위성단말이 위성채널 상태를 예측할 수 있도록 비콘 신호를 송신한다. 지상의 위성단말은 비콘 신호 세기를 지속적으로 측정하여 위성채널 상에서 발생하는 신호감쇠 수준을 예측한다.

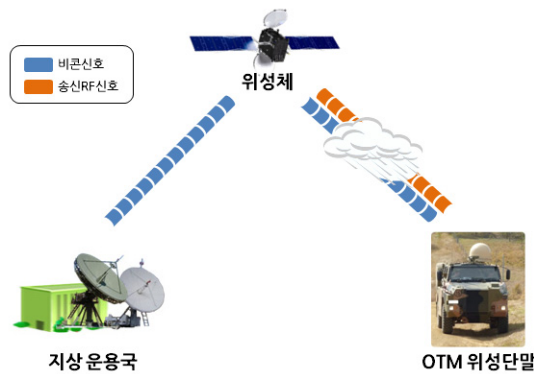


그림 1. 정지궤도 기반 위성통신체계 OTM 위성단말 운용개념
 Fig. 1 Operational concept of OTM satcom terminal in GEO satellite communication system

2.2. Propagation 모델

ITU-R P.618-9[14]의 지상과 우주 간 채널 모델에 따르면 지상-우주 간 통신 링크에 영향을 미치는 요소는 전리층에 의한 신호감쇠 요인과 비전리층 요소에 의한 신호 감쇠 요인으로 나눌 수 있다. 이 때 전리층 신호감쇠 수준은 $f^2 \sim f^3$ 에 반비례하기 때문에 1GHz 이상의 주파수를 운용하는 환경에서는 신호감쇠 수준을 무시할 수 있다[8]. 1GHz 이상 주파수 대역에서 송신신호에 영향을 미치는 비전리층 요소에 의한 신호 감쇠(L_n)는 다음과 같이 구성된다.

$$L_n(t) = L_p(t) + L_a(t) + L_c(t) + L_s(t) + L_r(t) \quad (1)$$

이 때,

- $L_p(t)$ = 자유공간손실 (dB).
- $L_a(t)$ = 대기흡수손실 (dB).
- $L_c(t)$ = 구름흡수손실 (dB).
- $L_s(t)$ = 신틸레이션손실 (dB).
- $L_r(t)$ = 강우감쇠손실 (dB).

이다.

각 감쇠 요인들을 ITU-R 표준[9]을 기준으로 모델링하였다. 먼저 자유공간손실은 위성단말과 위성체 간의 거리 및 운용 주파수 대역에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$L_p(t) = 92.44 + 20\log_{10}(f(t)) + 20\log_{10}(d(t)). \quad (2)$$

식(2)에서 $f(t)$ 는 운용 주파수대역(GHz), $d(t)$ 는 위성 과 위성단말 사이의 거리를 가리킨다. 대기흡수손실 과 구름흡수손실은 위성단말과 위성체 간의 경로 상 양각의 크기와 대기 속성에 영향을 받으며, 각각 다음과 같다.

$$L_a(t) = (h_o\alpha_o + h_w\alpha_w)\sin(\delta(t)). \quad (3)$$

$$L_c(t) = \left(M \times \frac{0.819f(t)}{52.53} \right) \sin(\delta(t)), \quad (4)$$

h_o 와 h_w 는 각각 산소층과 수분층의 높이, α_o 와 α_w 는 산소층과 수분층 감쇠지수, $\alpha(t)$ 는 위성과 위성단말 간 양각을 나타내며, M 은 Liquid water margin 값이다. 신틸레이션 손실은 대기층에서의 신호산란에 의한 감쇠 현상으로 아래와 같이 계산된다.

$$L_s(t) = 0.0036 + 37.32 \frac{p_w}{T^2} f(t)^{\frac{7}{12}} \left(\frac{0.5155}{\sin(\delta(t))} \right). \quad (5)$$

식(5)에서 p_w 와 T 는 각각 수압과 온도를 나타낸다. 마지막으로 강우감쇠 손실은 식(6)과 같다.

$$L_r(t) = -l(t) \times k_p(t) \times R(t)^{\beta(t)}. \quad (6)$$

l 은 위성과 위성단말 간 강우감쇠 유효경로 길이를 나타내며, R 은 시간당 강우율이다. k_p 와 β 값은 주파수, 강우밀도분포 및 위성단말과 위성 간 양각에 의해 결정되는 변수이다. 시간당 강우율은 강우가용도에 의해 결정되며, k_p 와 β 는 주파수에 가장 큰 영향을 받는다. 그림2는 식(6)에 따른 운용 주파수 대역과 강우가용도에 따른 강우감쇠 손실을 도시한다.

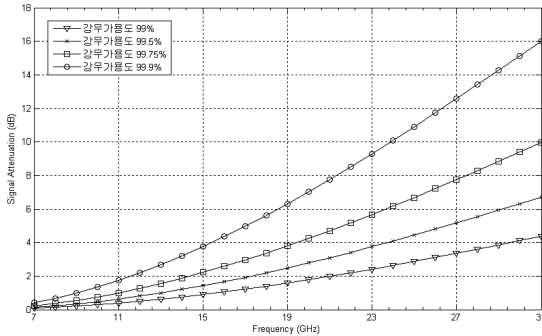


그림 2. 운용 주파수와 강우가용도에 따른 강우감쇠 손실
 Fig. 2 Rain attenuation according to the operational frequency and rain availability

그림에서 알 수 있듯이 강우감쇠는 운용 주파수 대역이 클수록, 요구 가용도가 높을수록 심각함을 알 수 있다. 특히 OTM 단말의 운용이 예상되는 Ka 대역(20~31GHz)에서는 강우가용도 99.9% 시 15dB 이상의 신호감쇠가 발생함을 알 수 있다. 위성단말 운용환경에서 $L_p(t)$, $L_a(t)$, $L_c(t)$, $L_s(t)$ 각각의 변동폭은 1dB 미만임을 감안하면, 강우 시 최대 15dB까지 신호손실이 발생 가능한 강우감쇠를 보상하는 방안이 전력제어의 핵심임을 알 수 있다.

2.3. Blockage 채널 모델

OTM 위성단말의 blockage 채널 환경을 모델링하기 위해 그림 3과 같은 2-state Markov 모델을 적용하였다 [10]. 그림 3에서 B는 block 상태를 U는 unblock 상태를 나타낸다. 위성단말이 이동 중 건물이나 나무 등에 의해 위성체와의 가시선 확보 실패로 인해 통신이 두절되는 경우가 상태 B이며, 반대로 성공적으로 통신이 제공되는 환경을 상태 U로 가정하였다.

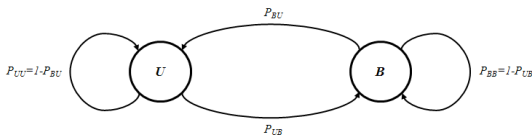


그림 3. blockage 채널에 대한 2-state Markov 모델
 Fig. 3 2-state Markov model of blockage channel

이 때,

$$P_B = \frac{T_B}{T_U + T_B} = \frac{P_{UB}}{P_{BU} + P_{UB}} = 1 - P_U \quad (7)$$

$$P_U = \frac{T_U}{T_U + T_B} = \frac{P_{BU}}{P_{BU} + P_{UB}} = 1 - P_B \quad (8)$$

이다[9]. 식(1), (2)에서 T_U 는 전체 통신 시간 중 링크가 성공적으로 연결된 평균 시간을 T_B 는 링크 연결이 실패한 평균 시간을 나타낸다. 이 때 각 상태가 지속되는 시간을 geometric 확률 변수로 나타낼 수 있으므로, T_U 와 T_B 는 각각 다음과 같이 수식적으로 표현 가능하다.

$$T_U = \sum_{n=1}^{\infty} n P_{UB} P_{UU}^{n-1} = \frac{1}{P_{UB}} \quad (9)$$

$$T_B = \sum_{n=1}^{\infty} n P_{BU} P_{BB}^{n-1} = \frac{1}{P_{BU}} \quad (10)$$

식(7) ~ (10)의 값을 기준으로 를 기준으로 생성한 OTM blockage 채널 모델의 예는 그림 4와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 blockage 발생 시에는 20dB 이상의 신호감쇠가 발생함을 알 수 있다.

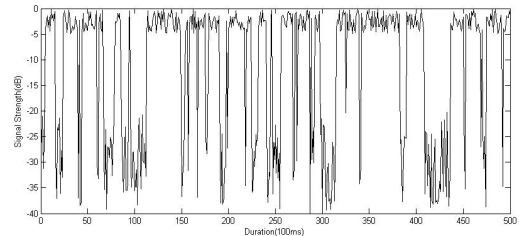


그림 4. Urban 환경에서 OTM 위성단말의 blockage 채널
 Fig. 4 Blockage channel characteristics of the OTM terminal in urban environment

2.4. 안테나 지향오차 모델

앞서 언급한 바와 같이 정지 궤도 위성은 36,000km 상공에 위치하며, 때문에 경로 상의 높은 신호 감쇠를 보상하기 위해 높은 안테나 이득을 갖는 지향성 안테나를 장착할 것으로 예상된다. 이러한 환경에서 OTM 위성단말의 이동은 지향성 안테나의 지향오차를 발생시킬 수 있다.

식(5)는 안테나 지향 오차로 인한 신호감쇠 모델을 나타낸다. 식에서 β , ϕ_{3dB} 는 각각 지향오차와 안테나의

3dB 빔폭을 가리킨다. OTM 위성단말이 반사판형 안테나를 사용한다고 가정할 시 ϕ_{3dB} 는 다음과 같다.

$$\phi_{3dB} = \frac{70\lambda}{d} \quad (11)$$

λ 는 파장이며, d 는 반사판형 안테나의 지름(m)이다. 지향성 안테나의 위성 추적 오차 발생 시에는 지상 단말로부터 송출되는 송신 신호의 EIRP가 변하게 된다. 안테나의 사이드로브에 대한 EIRP 스펙트럼 밀도 마스크는 MIL-STD-188-164A[12] 규격을 준수한다고 가정하였다.

$$A(dB) = 12\left(\frac{\beta}{\phi_{3dB}}\right)^2 \quad (12)$$

현재 출시되고 있는 대부분의 OTM 위성단말은 0.6~0.8m 크기의 안테나를 운용하고 있다. 이를 감안하여 0.4~1.0m 안테나 가정 시 발생 가능한 OTM 위성단말 안테나 지향오차 범위는 그림 5와 같다. 또한 인접 위성 간 간격 규격이 2°임을 고려할 때 허용 가능한 안테나 지향오차 범위는 1°이며, 이 경우 약 10dB 수준의 신호 감쇠 효과를 발생시킬 수 있다. 이와 같이 그림 4, 5의 결과를 통해 안테나 지향오차는 약 10dB, blockage 채널 조건에서는 약 20dB 수준의 신호 손실이 발생됨을 확인할 수 있다.

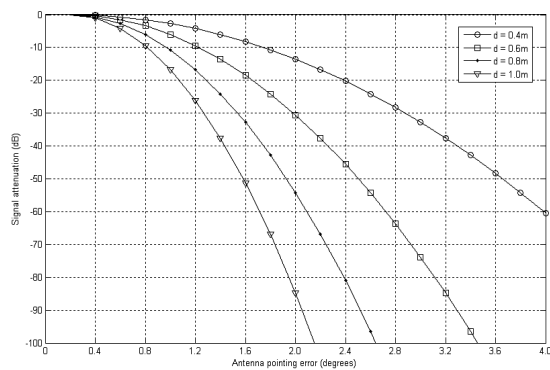


그림 5. 안테나 지향오차에 따른 신호감쇠(Ka대역)
Fig. 5 Antenna dipointing loss(Ka band)

III. 제안하는 전력제어 알고리즘

제안하는 전력제어 알고리즘은 수신 비콘신호 세기를 기준으로 동작하는 개루프 전력제어 알고리즘이다. 제안하는 알고리즘은 신호감쇠 원인을 식별하는 단계와 감쇠 원인에 따라 신호감쇠 현상에 대한 보상을 하는 2단계로 구성된다.

3.1. 신호감쇠 원인식별

앞 장에서 살펴본 시스템 모델과 같이 위성단말에서 위성채널 상태를 측정할 수 있는 수단은 위성 중계기로부터 지상 OTM 단말로 전송되는 비콘신호이다. 따라서 OTM 단말은 지속적으로 비콘신호의 $C/N((C/N)_b)$ 을 측정하여 위성채널 상태를 예측한다. 이 때 OTM 단말의 수신 $(C/N)_b$ 는 다음과 같이 표현 가능하다[13].

$$\left(\frac{C}{N}\right)_b = \gamma_b - L_n - L_b - L_d + (G/T)_r - 10\log(kT) \quad (13)$$

식(13)에서 L_n 은 비전리층 영향과 거리에 의한 손실이며, L_b 는 blockage에 의한 채널 손실, L_d 는 안테나 지향오차에 의한 신호손실을 나타낸다.

이 때 거리에 의한 손실은 위성체와 지상 단말 간의 먼 거리로 인해 손실 수준이 몹시 크지만, 시간에 따라 OTM 단말의 이동 변화 수준이 상대적으로 작기 때문에 상수로 가정할 수 있다. 또한 강우를 제외한 비전리층 영향에 의한 손실은 0.5~2dB 수준으로 크지 않으며, 손실량에 영향을 미치는 온도, 습도 등 변수의 변화 역시 거리와 마찬가지로 빠르지 않기 때문에 상수로 가정할 수 있다. 그러나 강우감쇄는 강우 수준에 따라 급격한 신호변화를 유도한다. 특히 Ka대역 주파수 대역에서는 순간적으로 15dB에 이르는 신호손실을 발생시킬 수 있다. 마찬가지로 L_b 역시 Fig.4에서 확인할 수 있듯이 수백ms 내에서도 수시로 신호 세기가 20dB 이상 변화함을 확인할 수 있다. 또한 안테나 지향오차를 나타내는 L_d 역시 주변 환경에 의해 10dB 수준의 변화가 발생함을 확인하였다. 이러한 특징을 기반으로 신호감쇠 원인을 식별하는 절차는 다음과 같다.

```

Procedure chk_ch_state (in:  $s, s_r, a$ , out:  $ch$ )

count the number of received beacon signal,  $C$ 
initialize the number of channel outage  $O = 0$ ;
initialize current channel state,  $ch = 0$ ;

for  $c = 1$  to  $C$  do
  if  $c = 1$  then
    continue;
  elseif  $s_r - s_c \leq a_1$  then
    continue;
  elseif  $s_r - s_c \leq a_2$  then
     $ch = 1$ ;  $O = O + 1$ ; // 1: depointing
  else
     $ch = 2$ ;  $O = O + 1$ ; // 2: blockage
  endif;
endfor;

if  $O > \alpha$  then
   $ch = 2$ ;
endif;
end.
    
```

그림 6. 신호감쇠 원인 식별 절차
Fig. 6 Procedure of signal attenuation identification

신호감쇠 원인 식별 절차에서 s, s_r, a 는 각각 한 프레임 내에서 수신된 비콘 신호 세기에 대한 프로파일, 요구 수신 비콘 신호 세기 및 신호감쇠 원인을 식별하기 위한 기준 값(a_1 : 비전리층에 의한 신호 감쇠, a_2 : 안테나 추적실패에 의한 신호감쇠)을 나타낸다.

3.2. 신호감쇠 보상

앞 장에서 식별된 채널상태에 따라 신호감쇠를 보상한다. 먼저 변동폭 1dB 미만의 비전리층에 의한 신호 감쇠는 수신 비콘신호 레벨을 기준으로 앞선 프레임의 수신 비콘신호 레벨과의 차이(δ)만큼을 송신 출력에 반영하여 전력제어를 수행한다.

만약 채널 상태가 안테나 추적실패로 인한 지향오차로 판단될 경우에는 송신 출력을 끈다. 이는 안테나 지향오차 시에는 인접 위성으로 RF 신호를 송출하여 인접 위성 간섭을 야기할 수 있기 때문이다. 특히 GEO 위성의 경우 위성 간 2° 수준의 간격으로 위치하고 있기 때문에 지향오차 시 인접 위성으로 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 채널 상태가 일반적인 비전리층 신호 감쇠 환경과 안테나 지향오차 실패가 아닌 경우는 20dB 이상의 신호 감쇠로 인한 채널 blockage가 발생하는 환경으로, 일반

적인 전력제어로는 이러한 수준의 blockage를 보상할 수 없다. 특히 장애물에 의한 채널 blockage의 경우에는 그림 4를 통해 확인 할 수 있듯이 이동 중 장애물을 회피하게 되면 다시 LOS가 보장되는 채널 환경이 되며, 이 경우 20dB 이상의 급격한 신호 증가로 인해 위성증폭기에 불필요한 간섭을 추가적으로 발생시키게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 송신출력을 조절하는 전력제어 대신 확산코드를 이용하여 시간축으로 확산을 시도하여 전송속도를 줄이는 대신 수신 확률을 향상시킨다. 그림 7은 이러한 신호감쇠 보상 절차를 도시하고 있다.

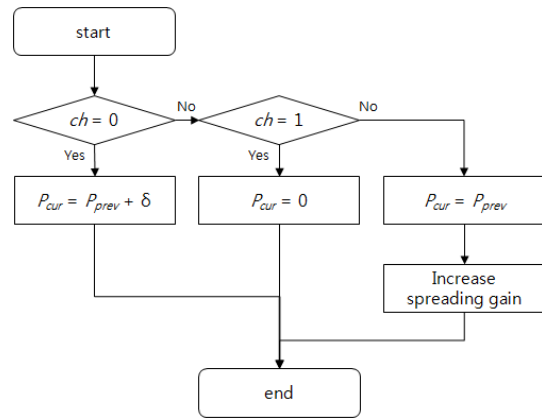


그림 7. 신호감쇠 보상 절차
Fig. 7 Procedure of signal attenuation compensation

IV. 시뮬레이션 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 이동형 위성단말 운용 조건에서 인접 위성 간 간섭 영향과 채널 outage 확률을 분석하였다. 먼저 신호감쇠 원인을 식별하기 위한 threshold 값으로 앞서 2장에서 분석된 채널 모델을 기준으로 $a_1 = 3\text{dB}$, $a_2 = 10\text{dB}$ 를 적용하였다. 강우감쇠 효과 적용을 위해 강우가용도는 99~99.5% 수준을 적용하였으며, 위성추적 오차 수준을 식별하기 위해 [15]에서 제시한 urban 환경에서의 실측정 오차 수준을 반영하였다. 다음 표 1은 이러한 시뮬레이션 파라미터를 나타낸 표이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table. 1 Simulation parameters

파라미터	값
주파수 대역	Ka대역
송신 EIRP	40~49dBW
수신 G/T	12dB/K
데이터 전송속도	64kbps
변조방식	QPSK
확산코드길이	16

이러한 조건에서 제안하는 전력제어 알고리즘 적용 여부에 따른 인접 위성 간 간섭 분석 결과는 다음 그림 8 과 같다. 지상 OTM 단말의 송신 EIRP 값에 따른 상향 링크 C/I 값을 비교하였다. 제안하는 알고리즘은 확산 여부에 따라 C/I 성능을 분석하였다. 기존 전력제어 알고리즘은 최대 송신 EIRP 범위 내에서 비콘 수신레벨에 따라 송신 전력을 조정한다고 가정하였다[11]. 결과에서 알 수 있듯이 지속적으로 송신 전력을 상승시키지 않는 제안하는 알고리즘이 일반적인 전력제어 방식에 비해 C/I 측면에서 훨씬 우수한 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다. 특히 기존 방식은 송신 EIRP 값과는 무관하게 10dB 이하의 C/I 값을 보여줌에 반해 제안하는 알고리즘은 지향오차로 인해 인접 위성에 영향을 미치는 경우나 단순한 blockage 환경에서 급격하게 신호를 증가시키지 않으므로 20dB 이상의 C/I 값을 유지함을 확인하였다. 추가로 확산을 통해 약 2dB 가량의 성능 향상도 확보할 수 있었다.

그림 8의 결과가 평균적인 C/I 값을 나타낸다면, 그림 9, 10은 실제 통신에 영향을 미치는 채널 outage 확률을 분석한 결과이다. 채널 outage는 이동으로 인해 인접 위성으로 간섭을 발생시킬 때, 발생된 간섭에 의해 인접 위성의 동일 주파수 채널을 사용하는 사용자의 채널 outage 확률을 분석하였다. 제안하는 알고리즘과 기본 방식은 동일 조건에서 확산 적용 유무에 따른 결과를 도시하였다. 그림 9는 송신 EIRP 값을 40에서 49까지 변화시키면서 결과를 비교하였다. 인접 위성망 단말의 송신 EIRP는 40dB로 가정하였다. 송신 EIRP 값 증가에 따라 간섭량 증가로 인해 채널 Outage 확률이 증가한다. 또한 비확산 시 인접망의 채널 outage 확률이 매우 높으며, OTM 위성단말 환경에서는 반드시 확산을 사용하여 함을 확인할 수 있다. 특히 제안하는 알고리즘은 간

섭 사용자의 송신 EIRP가 5dB 더 높더라도 1% 이하의 채널 outage 확률을 제공함을 알 수 있다.

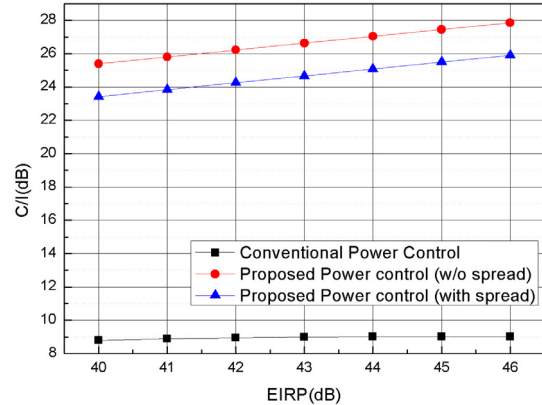


그림 8. 송신 EIRP값에 따른 상향링크 C/I 값 비교
Fig. 8 Uplink C/I comparisons according to the transmit EIRP

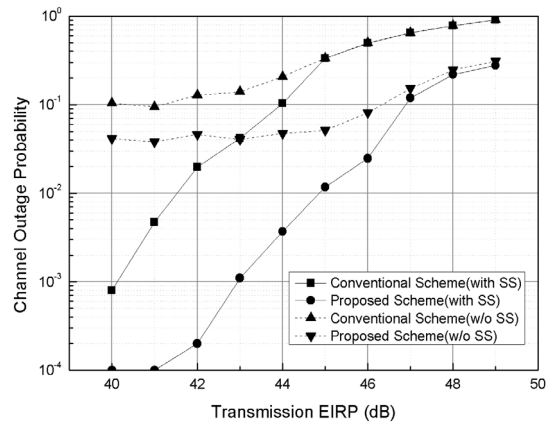


그림 9. OTM 채널 환경에서 송신 EIRP 변화에 따른 채널 outage 성능
Fig. 9 Channel outage performance according to the transmission EIRP in OTM channel environment

그림 10은 OTM 통신환경에 따른 채널 outage 확률을 도시한 그림이다. OTM 통신환경을 urban, suburban, highway[10]의 3종류로 구분하여 성능을 비교하였다. Urban 환경이 가장 채널 blockage 발생 확률이 높으며, highway는 채널 blockage 확률이 가장 낮다. 송신 EIRP 변화와 비교 시 채널 blockage 확률이 채널 outage

에 미치는 영향은 크지 않지만, 채널 blockage 확률이 높을수록 채널 outage 발생 확률로 나빠짐을 확인할 수 있었다. 이러한 조건에서 제안하는 알고리즘에 확산을 적용할 경우 채널 outage 확률이 1% 미만의 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

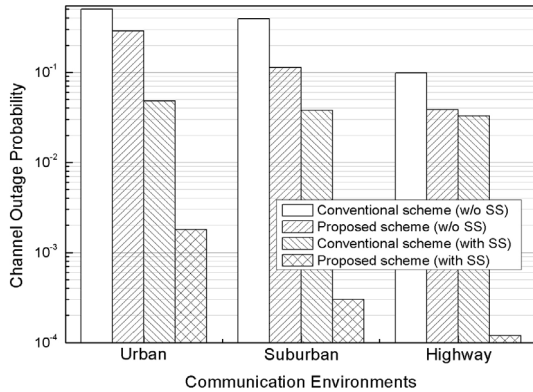


그림 10. OTM 통신환경 변화에 따른 채널 outage 성능
 Fig. 10 Channel outage performance according to the OTM communication environment

이와 같이 제안하는 알고리즘은 채널 blockage와 지향오차 환경을 서로 분리 식별하여 전력제어를 수행함으로써 인접 채널에 미치는 영향을 최소화하였으며, 상향링크 C/I 값과 인접 위성채널의 채널 outage를 분석하여 성능을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 정지궤도 위성을 기반으로 한 군 위성 통신체계 환경에서 새로운 운용개념의 On-The-Move (OTM) 단말에 대한 전력제어 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 먼저 위성채널 특성을 분석하였다. 특히 높은 손실을 발생시키는 강우감쇠, 안테나 지향오차에 의한 신호 손실, 장애물에 의한 신호 감쇠의 특성을 분석하였으며, 각각의 특성을 기준으로 수신 비콘 신호 세기에 따라 신호 감쇠 원인을 식별하는 절차를 도출하였다. 이를 기반으로 신호 감쇠 원인에 따라 전력 제어, 송신 출력 차단 또는 확산을 적용하였다. 제안하는 알고리즘을 통해 안테나 지향 오차 시 발생하는 심각한 위

험인 인접 위성 간 간섭을 줄일 수 있었으며, 장애물에 의해 통신이 두절되는 blockage 채널 환경에서 데이터 수신 확률을 향상시킬 수 있었다.

제안하는 알고리즘은 이동형 위성단말을 운용하는 환경에서 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 향후 OTM 위성통신단말 운용 환경에서 실측 자료를 확보하여 알고리즘을 개선할 계획이다.

REFERENCES

- [1] S. W. Han and J. W. Seo, "Future extension of the next generation military satellite", *Information and Communications Magazine*, vol. 26, no. 3, pp. 24-31, Feb. 2009.
- [2] S. Egami, "Individual closed-loop satellite access power control system using overall satellite link quality level," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-30, No. 7, pp.1806-1808, July 1982.
- [3] A. W. Dissanayake, "Application of open-loop uplink power control in Ka-band satellite links," *Proc. IEEE*, Vol. 85, No. 6, pp. 959-969, June 1997.
- [4] A. M. Monk, and L. B. Milstein, "Open-loop power control error in a land mobile satellite system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 13, No. 2, pp. 205-212, Feb. 1995.
- [5] V. Weerackody, and E. Cuevas, "A statistical approach to specifying the off-axis EIRP spectral density in on-the-move satellite communications," *Military Communications Conference, 2008, MILCOM 2008 IEEE*, pp. 16-19, Nov. 2008.
- [6] L. Gonzalez. et al, "A regulatory study and recommendation for EIRP spectral density requirement/allowance for SOTM terminal Ka-band on WGS system," *Military Communications Conference, 2010, MILCOM 2010 IEEE*, pp. 1992-1997, Nov. 2010.
- [7] Recommendation ITU-R P.618-9, Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, Int'l Telecommunications Union, 2007.
- [8] J. S. Seybold, *Introduction to RF propagation*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005, pp.218-282.
- [9] W. M. Smith, "Channel characterization for EHF satellite communications on the move," Massachusetts Institute of Technology, Technical Report TR-1109, July 2006.
- [10] J. B. Schodorf, "EHF satellite communications on the

- move: Experimental results,” Massachusetts Institute of Technology, Technical Report TR-1087, Aug. 2003.
- [11] H. W. Park, and B. G. Jeong, “A uplink power control method based on MF-TDMA satellite communication systems,” *2011 KICS Fall Conference*, pp. 70-75, Nov. 2011.
- [12] DoD MIL-STD-188-164B, Interoperability of SHF Satellite Communications Earth Terminals, 2002.
- [13] S. Woo. et al, “A power control based MF-TDMA resource allocation scheme for next generation military satellite communication systems,” *J. KICS*, vol. 37, no. 11, pp. 1138-1149, Dec. 2012.
- [14] ITU-R P.618-9, Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, 2007.
- [15] M. Alazab, et al., “Realistic emulation of the operational environment for SatCom On-The-Move(SOTM) terminals,” *APWC 2013*, vol. 81, no. 7, pp. 1115-1118, July 2013.



이호섭(Ho-Sub Lee)

1998년 인하대학교 전자공학과(공학사)
2014년 아주대학교 IT융합대학원 석사
1998년 ~ 현재 LG네스원 수석연구원
※ 관심분야: 군위성통신, 위성통신용 단말, RF/MW 시스템, 메타재질 구조



박형원(Hyung-Won Park)

2003년 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부 (공학사)
2005년 아주대학교 정보통신공학과(공학석사)
2009년 아주대학교 정보통신공학과(공학박사)
2009년 ~ 현재 LG네스원 C4I 연구소 통신연구센터
※ 관심분야: 전술데이터링크, 군 위성통신, 이동통신



윤원식(Wonsik Yoon)

1984년 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1994년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야: 무선통신 및 무선네트워크