

# 위성통신시스템에서의 DS-CDMA 와 FH-CDMA의 성능 비교분석

\* 이양선 \*강희조

\* 동신대학교 전기전자공학과

## Performance Comparison Analysis of DS-CDMA and FH-CDMA in Satellite Communication System

\* Yang Sun Lee, \* Heau Jo Kang

\* Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

E-mail : sesiman@sbsmail.net

### 요약

본 논문에서는 다중사용자 환경 및 Rayleigh 페이딩 통신로 환경으로 모델링 되는 DS-CDMA 와 FH-CDMA 통신 시스템의 성능을 비교 분석 하였다. 성능 개선기법으로는 MRC다이버시티 기법을 적용하여 두 시스템간의 개선 정도를 구하여 비교 분석하였다. 동일한 조건에서 두시스템의 성능을 비교하기위해 동일통신대역(300kHz)을 사용, 재밍신호 10~20dB, 사용자 데이터율 300bps의 조건에서 사용자 수를 증가 시키면서 BER성능을 분석하였다. 결과에 의하면 다중사용자 환경에서의 DS방식과 FH방식은 Rayleigh 페이딩 환경하에서 현저하게 열화되지만 MRC 다이버시티 수신기법을 적용함으로써 열화된 시스템의 성능을 개선 시킬수 있었고 특히 DS시스템에서의 MRC기법을 적용하였을때가 FH시스템보다 약 9.5배의 우수한 성능개선을 보임을 알수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, the performance of DS-CDMA system and FH-CDMA system has been comparison analyzed in a channel environment which is characterized by Multi-User environment and Rayleigh fading environment. The techniques of improvement of the performance has been comparison analysis evaluated when adopting MRC diversity techniques. In same condition, We are analyzed the BER(Bit Error Rate) as increase Use's number due to comparing performance of two systems by Same communication band(300KHz), jamming signal(JSR) 10~20dB, user data-rate 300bps. In the result, the performance of DS and FH systems in multiuser and Rayleigh fading environment is improved performance when adopting MRC diversity techniques. Especially DS system has been improved performance about 9.5 times than FH system when adopting MRC diversity techniques.

### I. 서론

위성시스템은 FDMA를 기본으로 하고 CDMA, TDMA를 선택적으로 적용하였으나 주로 TDMA를 중심으로 발전해 왔다. 그러나 최근지상 이동통신망에서의 CDMA의 성공에 힘입어 위성CDMA방식도 활발히 연구되고 있다. 위성 통신 링크의 특성은 잡음에 노출되어 있고, 신호를 도청하는 것도 가능하다. 이러한 위협을 회피하는 방법으로 대역확산에 의한 DS방식과 FH방식이 사용된다. 위의 두 방식은 다중 사용자 환경을 고려한 코드분할 다중접속 방식인 CDMA(Code Division Multiple Access)와 접목되어 DS-CDMA방식과 FH-CDMA방식이 된다. 두 CDMA방식의 각 사

용자의 신호는 Code에 의해 구분된다. FH-CDMA 기법은 Fast FH와 Slow FH기법으로 나뉘고, DS-CDMA 기법은 Single Carrier DS-CDMA와 Multi-Carrier DS-CDMA로 분류될 수 있다 [1].

본 논문에서는 다중 사용자 환경에서 MPSK (M=2) 변조신호의 Single Carrier DS-CDMA 시스템과 MFSK 변조신호의 Fast FH-CDMA 시스템의 허용되는 사용자수의 증가에 따라 BER이 열화 되는 정도를 예측하고 Rayleigh 채널환경에서의 성능열화 및 개선방안으로 MRC다이버시티 수신기법을 적용했을 때의 개선정도를 비교,분석 하였다.

## II. 해석 모델

### 2.1. Rayleigh fading 통신로 모델

위성에서 가시영역의 직접파가 차폐되어 거의 수신되지 않는 경우에 수신신호의 진폭 확률밀도 분포는 레일리분포(Rayleigh distribution)가 된다. 이때의 페이딩을 레일리 페이딩(Rayleigh fading)이라고 한다. Rayleigh 분포는 그 적용 범위가 매우 넓으며 대표적인 것으로 단파대의 원거리 전파, 마이크로파의 다중로 전파, 시가지에서의 육상이동통신에 있어서 짧은 주기의 확률분포로서 많이 이용되는데 그 확률밀도함수는 다음과 같이 나타내진다.

$$p(r) = \frac{r}{\phi_0^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\phi_0^2}\right) \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 수신 신호의 진폭,  $\phi_0 = \sqrt{r^2/2}$ 으로 평균 수신신호전력이다 [2].

### 2.2. DS-CDMA 시스템

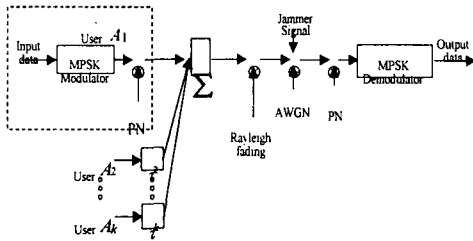


그림 1 DS-CDMA 송수신부

그림 1의 DS-CDMA 시스템의 송신 신호는 RF 경로상에서 Rayleigh fading 및 재밍 신호(J)와 합쳐지고 역확산 과정에서 재밍 신호가 확산된다. 재밍 전력은 송신 신호전력(C)일 때,  $J=C \cdot JSR$  (Jammer to signal Ratio)로 표현되며, 다른 사용자 간섭 잡음 전력은 총 사용자수를 K라 할 때,  $I=(K-1) \cdot C$ 이다. 열잡음을 무시한 잡음은  $N=J+I$ 로 전대역에 고루 분산되어 있다고 할 수 있고, 잡음의 전력은  $N=C \cdot \{JSR+(K+1)\}$ 이며, 1Hz 당 잡음 에너지는  $N_0=N/W_s$ 이고 여기서  $W_s$ 는 반대역폭이다. 송신신호 1bit의 에너지는  $E_b=C/R_b$  ( $R_b$ 는 bitrate)로 되어, 역확산 후의 신호대 잡음비  $[E_b/N_0]_D$ 는

$$[E_b/N_0]_D = 1/[JSR+(K-1)] \cdot (W_s/R_b) \quad (2)$$

여기서 K는 사용자 수이고,  $W_s/R_b$ 는 처리 이득 ( $PG_{DS}$ , Processing Gain)이다.

기저대역 신호는 MPSK 2진 디지털 신호이므로, 에러확률은,  $P_e = 1/2 \text{erfc}[(E_b/N_0)]^{0.5}$  (3) 이다[6]. Rayleigh fading 채널을 채용한 MPSK 방식의 BER 성능  $P_e$ 는,

$$P_e = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left( \sqrt{1+\frac{m}{R}} \right) {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1-m; \frac{3}{2}; \frac{R}{m+R}\right) \quad (4)$$

단,  $R=(E_b/N_0)_D$ ,  $m$ = 페이딩 지수( $m=1$ )  
이에 따라 JSR(10~20dB)에 대해 사용자 수에 따른 데이터 에러 성능은 그림 2와 같다.

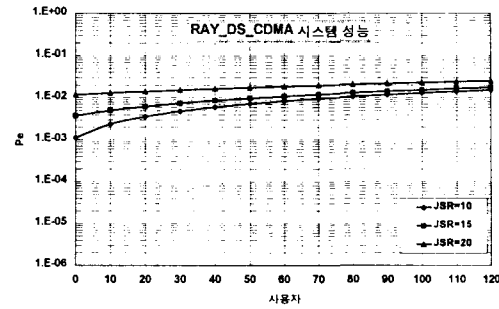


그림 2. Rayleigh 페이딩 환경에서의 DS-CDMA 시스템 성능

### 2.3. FH-CDMA 시스템

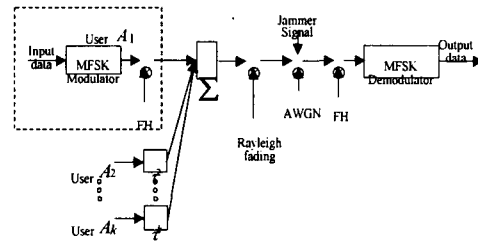


그림 3. FH-CDMA 송수신부

Fast FH시스템의 대역폭은 Hopping Rate ( $R_h$ )에 의존한다. 따라서 Hopping Rate가 높아지게 되면, 넓은 대역폭을 사용하게 되고, 한정된 통신 대역을 사용하는 경우, 주파수 Hopping Set의 수가 적어진다. 여기서 처리이득(PG)을 한번 고찰해 보면, 일반적으로  $PG=W_s/R_b$ 로 표현될 수 있다. 처리이득( $PG_{FFH}$ )은

$$PG_{FFH} = W_s/R_h, \quad (R_h: \text{Hopping Rate}) \quad (5)$$

이다[4]. 이는 동일 통신 대역을 사용할 경우, hopping rate를 증가시키면 처리이득은 상대적으로 더 적은 값이 된다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 FH시스템에서 한 Symbol이 다른 사용자와 임의의 충돌이 일어날 확률( $P_h$ )은

$$P_h = 1 - (1-1/q)^K \approx (k-1)/q \quad (k < q) \quad (6)$$

이다. 여기서 q는 Hopping 주파수 set이고 K는 사용자 수이다[8].

Fast FH시스템에서 다른 사용자 신호가 M-1 개중 특정 1 symbol에 연속 m번 중첩될 확률( $P_{hs}$ )은, PG개의 주파수 slot중 1개에 1 사용자 이상이 점유할 확률이  $1-(1-1/PG)^k$ 이며, m번

의 hop에서 m번 중첩되어야 하며, M-1개의 symbol의 종류가 있으므로

$$P_{hs} = \{1 - (1 - 1/PG)^{k-1}\}^m \cdot (M-1) \quad (7)$$

이다.

여기서 m=3(Symbol 당 Hop수)

$$M=8\text{-ary}, k=3(M=2^k)$$

이 경우의 신호 symbol의 에너지는 다른 사용자 간섭 symbol 에너지와 같거나 크므로 에러 확률  $P_{ehl}=0.5$ 이다. 위의 경우를 제외한 나머지 경우는 모든 잡음은 전 대역에 골고루 분산된다고 가정한다.

먼저 Fast FH시스템의 잡음은 열잡음, 재밍 잡음 그리고 다른 사용자 간섭 잡음의 합이다. 즉  $N=kTB+J+I$  이다. 여기서 열잡음(kTB)을 무시하고 재밍 잡음은 전대역을 가정하면  $J=C \cdot JSR$  이며, 다른 사용자 간섭 신호  $I=C \cdot (K-1)$ 로 된다.  $W_s$ 의 대역폭을 점유하는 잡음 신호는 역확산시에 Fast FH시스템의 대역폭을 결정하는  $R_h$ 대역으로 역확산된다. 이는 DS-CDMA 경우인  $W_s$ 가  $R_b$ 의 대역으로 역확산 되는 것과 대비가 된다.

$$N = C \cdot \{JSR + (K-1)\}, N_0 = N/W_s \text{ 이다.}$$

송신전력은 hopping rate와 관계 있다.

$$C = E_h \cdot R_h, E_b = (m/k) \cdot E_h$$

$E_h$ 는 hop당 에너지, m은 symbol당 hop 수

$$E_b = (m/k) \cdot (C/R_h) \text{ 이다. [4]}$$

그러면 신호대 잡음비는

$$[E_b/N_0]_F = [(m/k)/(JSR + (K-1))] \cdot [W_s/R_h] \quad (8)$$

이때 MFSK에서의  $P_{ehl2}$ 는

$$P_{ehl2} = (M-1)/2 \cdot \text{erfc}(k \cdot E_b/2N_0)^{1/2} \quad (9)$$

으로 표현된다. 식(7), 식(8), 식(9)에서 BER성능

$$P_{eh} = P_{hs} \cdot P_{ehl1} + (1 - P_{hs}) \cdot P_{ehl2} \quad (10)$$

Rayleigh 페이딩 채널에서 MFSK BER성능  $P_e$ 는,

$$P_e = \sum_{k=1}^{M-1} (-1)^{k+1} \binom{M-1}{k-1} \frac{1}{k+1} \left(1 + \frac{Rk}{m(k+1)}\right)^{-m} \quad (11)$$

단,  $M=8, R=(E_b/N_0)_F$  이다.

열잡음을 무시한 JSR(10dB~20dB)과 사용자수에 의한 Rayleigh 페이딩 채널에서의 성능은 그림 4와 같다.

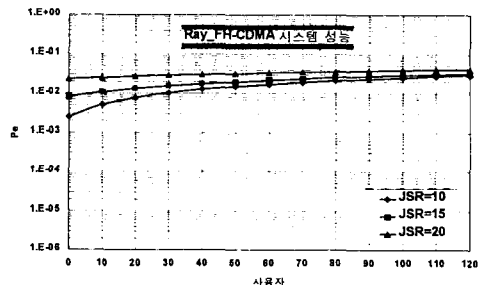


그림 4. Rayleigh 페이딩 환경 하에서의 FH-CDMA 시스템 성능

### III. 성능 개선 기법

#### 1. 최대비합성 다이버시티(MRC Diversity)기법

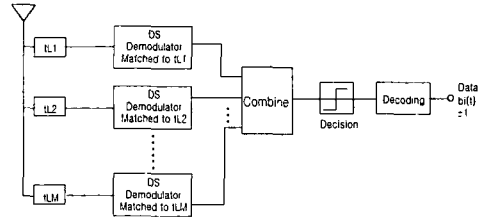


그림 5. 최대비합성 다이버시티의 구조

다이버시티 수신 기법은 동일한 신호를 2개 이상의 가지(branch)로 수신하여 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩 영향을 효과적으로 줄일 수 있다.

본 논문에서 고려한 MRC 다이버시티 기법은 다이버시티 가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 동시에 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR에 크게 기여하는 방식으로서 여러 다이버시티 기법중 가장 효과적이며 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다[3]. Rayleigh fading 채널에서 다이버시티기법을 채용한 MPSK 2진 디지털 변조 방식의 BER 성능  $P_e$ 는,

$$P_e = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(mL + \frac{1}{2})}{\Gamma(mL)} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m}{R}}} \right) \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1 - mL; \frac{3}{2}; -\frac{R}{m+R}\right) \quad (12)$$

단, L=branch 수(L=2)

Rayleigh 페이딩 채널에 다이버시티기법을 적용시킨 MFSK BER성능  $P_e$ 는,

$$P_e = \sum_{k=1}^{M-1} (-1)^{k+1} \binom{M-1}{k-1} \frac{1}{k+1} \left(1 + \frac{Rk}{m(k+1)}\right)^{-mL} \quad (13)$$

단,  $M=8, L=2, R=(E_b/N_0)_F$  이다.

그림 6과 그림 7는 Rayleigh 페이딩 채널에서 열화된 DS방식과 FH시스템성능을 다이버시티기법을 적용하여 데이터 에러성능을 개선시킨 그림이다.

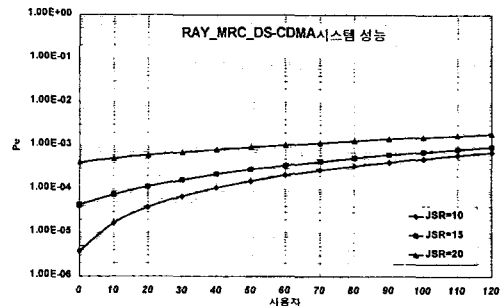


그림 6. Rayleigh 페이딩 환경 하에서 다이버시티 개선기법을 적용한 DS-CDMA 시스템 성능

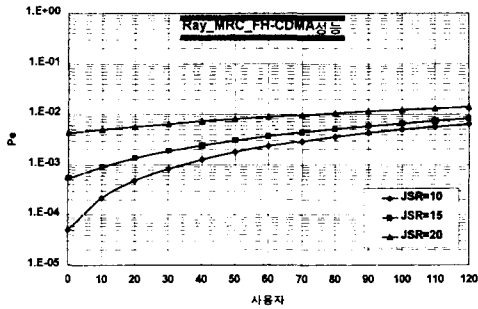


그림 7. Rayleigh 페이딩 환경하에서 다이버시티 개선기법을 적용한 FH-CDMA 시스템 성능

IV. DS - FH 시스템 비교

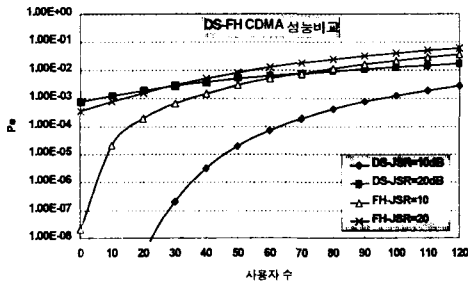


그림 8. DS와 FH 시스템의 성능 비교.

그림 8에 DS-CDMA시스템과 FH-CDMA시스템의 다중 사용자 환경에서의 BER성능을 비교하였다. 처리이득은 동일 하며(27dB), 기저대역 변조 방식으로 DS-CDMA 시스템은 MPSK(M=2)를 FH-CDMA시스템은 8FSK를 사용하였다.

JSR 20dB에서는 DS시스템이나 FH시스템 성능이 유사하여, 사용자 25명까지는 FH시스템이 다소 우수하고, 이후에는 DS시스템의 열화가 완만하게 나타나 DS시스템이 우수한 것으로 나타났다. Fast FH시스템은 전반적으로 사용자 수의 증가에 BER성능이 급격하게 변한다. 따라서 Fast FH시스템에서는 사용자의 제한 기능을 매우 강화 하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

반면 DS시스템에서는 사용자 수 증가에 대해 BER성능 변화가 FH 시스템에 비해 완만하다.

두 시스템은 처리이득을 증가시킬 수 있는 각각의 대안을 갖고 있는데, DS-CDMA방식은 QPSK등 주파수 대역 효율이 높은 변조방식을 사용할 수 있으며, FH-CDMA방식은 넓은 대역(2GHz)에 확산하는 방식을 사용할 수 있다. 제한된 통신 대역폭을 사용하는 위의 두 시스템에서는 FH-CDMA방식은 사용자 수 증가에 대해 비교적 예민하므로 DS-CDMA 방식보다 사용자 수를 제한하는 기능이 강화되어야 한다는 것을 알았다 [1].

그림 9는 Rayleigh 페이딩 채널환경에서의 두

시스템 성능을 비교하였다. 그림 9에서 보인바와 같이 전대역 재밍환경에서 사용자수가 증가할수록 완만한 시스템 성능저하를 보이고 있으며 DS시스템이 FH시스템에 비해 약 2.1배 정도 성능이 좋음을 보이고 있다.

그림 10은 Rayleigh 페이딩채널에서 다이버시티(MRC)기법을 채용했을 때 두 시스템의 성능을 비교하였다. FH시스템에 비해 DS시스템이 사용자 수에 관계없이 전대역 재밍환경에서 약 11.3배의 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 DS시스템은 Rayleigh 페이딩 채널에서의 성능열화정도가 FH시스템 보다 훨씬 심하다는 것을 알 수 있고 MRC기법을 적용하였을때는 FH시스템보다 DS시스템이 훨씬 좋은 성능개선을 보임을 알 수 있다. 위의 분석에서 코드 동기 방식은 동기식을 사용하였고, 단말의 전력 제어는 동일함을 가정하였다.

Fast FH-CDMA의 경우 동일한 통신 대역폭을 사용하면, Hopping Rate의 증가에 따라 처리이득이 낮아진다(식2). 그러나 더 많은 통신 대역이 허용된다면 허용되는 만큼의 대역확산이 가능(최대2GHz, SHF)하고 그러면 처리이득도 크게 가져가는 것이 가능하다[4].

반면 DS-CDMA방식은 통신 대역폭이 더 많이 허용되더라도 Single Carrier 방식으로 대역폭을 넓혀가는 것은 비교적 어렵다.

사용자 수의 증가에 대한 망 재설정 능력을 볼 때는 DS시스템은 설계초기에 확정되는 반면에 FH시스템은 대역폭을 늘여가는 것이 비교적 쉬워 FH의 단순구성이 적응능력 면에서 비교적 우수하다고 볼 수 있다.

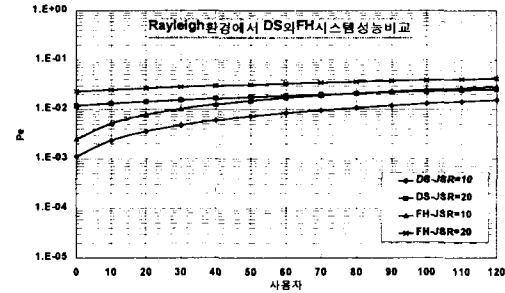


그림 9. Rayleigh 페이딩 환경에서의 DS와 FH시스템 성능비교

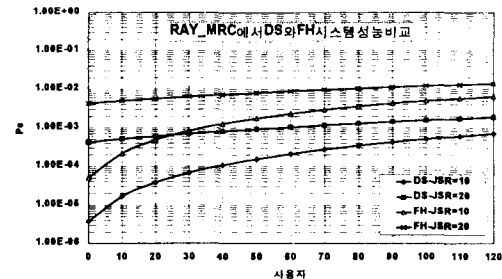


그림 10. Rayleigh 페이딩 환경에서 다이버시티 기법을 적용한 DS와 FH시스템 성능비교

## V. 결 론

본 논문에서는 다중접근방식중 DS-CDMA와 Fast FH-CDMA에 대해 위성의 제한된 자원인 통신 대역을 고정하여 각각 유사한성능을 갖는 DS 및 FH 시스템을 설계하고, 사용자 수를 증가 하면서 예측되는 BER 성능과 Rayleigh 페이딩 채널모델을 사용하여 시스템 성능을 비교분석하였고, 성능개선기법으로 MRC 다이버시티 수신기법을 적용하여 그 개선정도를 비교 분석하였다.

Rayleigh 페이딩 채널에서는 두 시스템 모두 열악한 성능을 보이지만 FH시스템에 비해 DS시스템은 전대역 재밍환경에서 약2.1배의 우수한 성능을 보임을 알수 있었다. 성능개선 기법으로 다이버시티기법을 채용하였을때는 FH시스템보다 DS시스템이 약 9.5배의 향상된 성능을 보임을 알수 있었다. 각 시스템의 장점을 보면 FH시스템은 대역폭을 넓게 할수 있으며 Rayleigh 페이딩채널에 강하고 DS시스템은 통신신호를 은닉하는 능력과 다이버시티기법 적용에서 유리하다. 또한 다이버시티기법은 FH시스템에서는 만족할만한 성능개선을 보이지 못하지만 DS시스템에서는 약 14배의 우수한 성능개선을 보임을 알수 있었다.

향후 연구과제로는 대수정규분포 페이딩과 다중사용자에 따른 다중접속간섭(MAI)환경에서 DS 시스템과 FH시스템의 성능열화 및 개선방안에 대해 비교 검토 하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] 이성민, 백해현, 안호성, "군위성시스템에서의 DS-CDMA와 FH-CDMA 성능비교", 제2차 통신/전자부문 학술대회, pp 189~195. 1998. 9. 25
- [2] 최용석, "위성통신", 성안당, pp 196~200, 1999.
- [3] M. Nakagami, "The m-cistribution A general Formular of intensity distribution of rapid fading." In statistical methods of radio wave propagation, W. C. Hoffman Ed. Elm-sford, New York, Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.
- [4] A. Nejat Ince. "Digital Satellite Communications System and Technologies Military and Civil Applications." Kluwer Scademic-Publishers, 1992.
- [5] 이십석, "육상이동통신 채널상에서 DS/CD-MA 시스템의 성능분석" 동신대학교 대학원 석사학위논문, 1999. 8.
- [6] H. Taub & Shilling. "Principle of Communication Systems, Vol 2."Mcgrawhill. 1986.
- [7] Savo Glisic & Branka Vucetic, "Spread Spe-

ctrum CDMA Systems for Wireless Comm-unications." Artech House. Inc. Boston Lon-don.1997.

- [8] TH T. Ha. "Digital Satelite Communications." McGraw Publishing Company, 1990.