

논문 2012-49-12-5

제주 정낭 채널 Code II

(Jeju Jong Nang Channel Code II)

이 문 호*, 칸하심알리**, 박 주 용***

(Moon Ho Lee, Md. Hashem Ali Khan, and Ju Yong Park)

요 약

“제주 정낭 Code I”에서는 배경과 역사 그리고 물리적 의미에 대해 알아보았고, 본 논문에서는 디지털 휴먼 이진 코드인 한국의 제주도 전통에서 나무문으로 쓰인 정낭 정보통신의 뿌리를 소개하면서 AWGN 모델과 비슷한 정낭 결정 채널 모델을 조사하고, 채널 용량 분석에 접근하는 결정적 모델을 찾는 것을 목표로 한다. 또한 이 분석은 AWGN 모델의 용량에 대한 이해를 제공한다. 정낭 정보통신은 가족의 행방을 전달 위해 세 구멍으로 두 수직 돌에 3개의 서까래를 놓은 것으로 결정적인 신호이다. 따라서 정낭 채널 코드는 이동통신 기지국간 Backhaul에 사용됨을 보인다.

Abstract

We had introduced the backgrounds, history and physical meanings of Jong Nang in “Jeju Jong Nang Channel Code I”. In this paper, we introduce practical the root of digital human binary coded Jong Nang communications as the wooden gate in Korea Jeju Island custom. We investigate Jong Nang gatemodels as an approximation of the AWGN model. The objective is to find a deterministic model, which is accessible to capacity analysis. Furthermore, this analysis should provide insights on the capacity of the AWGN model. Motivated by backhaul cooperation in cellular networks where cooperation is among base stations, we term the interference channel with conferencing transmitters. Jong Nang communications is normal 3 rafters placed on two vertical stones with three holes to convey the family’s whereabouts that is deterministic signal, nowadays it is applied to backhaul in mobile base station and traffic signal.

Keywords : Deterministic model, Jong Nang, Analysis of capacity, Gaussian Interference channel

I. 서 론

제주도 마을에 있는 나무로 된 대문인 정낭(Jong Nang)은 가족의 행방을 전달하기 위해 정주목(3개의 구멍을 가진 2개 큰 돌기둥)에 걸린 3개의 나무로 된

서까래를 사용한다. 제주도 사람들의 지혜의 산물인 정낭은 제주지역 문화의 독특한 관습에서 나온 것이다. 제주도의 집에는 대문이 없기 때문에 마당에 널려 있는 날래(날미: 제주 방언)인 보리나 조 등 곡식을 소나 말이 들어와서 먹지 못하도록 나무를 걸쳐 놓다가 나중에 는 집 안에 사람이 있는지 없는지를 외부에 알리는 정보 표현 기능까지 겸하게 된 것이다^[1~6].

정낭은 디지털 통신 및 오늘 날의 컴퓨터와 유사한 이진법을 이용했다. 3개의 나무로 된 서까래는 3개의 2진 숫자와 유사했다. 정낭 정보는 2^3 가지 상이한 정보를 전달할 수 있다. 정낭 3개 중에 하나만 걸쳐 있으면 “100”으로 집 안에 사람이 없지만 이웃에 잠깐 갔다가 곧 돌아온다는 것을 나타낸다. 2개의 정낭이 걸쳐 있으면 “101”로 이웃 마을에 가 있어 시간이 좀 걸린다는

* 평생회원, ** 학생회원, 전북대학교 전자공학부 (Department of Electronic Engineering, Chonbuk National University)

** 정회원, 신경대학교 인터넷정보통신학과 (Department of Internet Information and Communication, Shyngyeong University)

※ 본 연구는 한국연구재단 세계 수준의 연구중심대학 (World Class University, WCU R32-2012-000-20014-0, BSRP 2010-0020942, 그리고 MEST 2012- 002521의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2012년6월7일, 수정완료일: 2012년11월26일



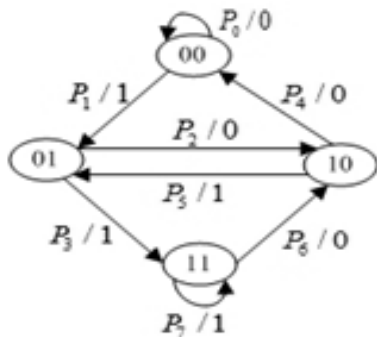
(a) 3개의 정낭 열림 (000)



(b) 3개의 정낭 닫힘 (111)



(c) 2개의 정낭 닫힘 (011)



(d) 정낭 Markov process

그림 1. 제주 정낭과 마코브
Fig. 1. Korea Jeju Jong Nang and Its Markov.

표 1. 정낭의 십진수 및 이진 숫자 비교

Table 1. The Comparison of decimal and binary number in the Jong Nang.

10 진수	2 진수	NOR 회로	비교
0	000		집 주인이 집에 있음
1	001		잠시 외출 중
2	010		잠시 외출 중
3	011		두 세시간 외출 중
4	100		잠시 외출 중
5	101		두 세시간 외출 중
6	110		두 세시간 외출 중
7	111		장시간 외출 중

뜻이다. 3개의 정낭이 모두 걸쳐 있으면 그림 1에서 보여주는 것과 같이 “111”로 먼 곳에 출타 중이란 내용이다. 정낭이 아무것도 걸쳐 있지 않으면 그림 1에서 보여주는 것처럼 “000”으로 집 안에 사람이 있다는 표시이다. 이 시스템은 제주도 사람들의 생활에서 유래되었다. 표 1은 정낭 메시지와 집주인의 유무를 알려준다. 정낭 분석^[6]은 실질적인 결정적 방식의 한 종류이다. Tse 등과 Gamal 등은 가우스 채널을 가진 결정적 모델에 대해 많은 연구 논문을 발표했다^[9~14].

표 1은 3개의 서까래의 조합을 3-NOR회로로 표시하고 그 의미를 나타낸다. 3-NOR회로의 출력이 1이면 집에 주인이 있고 0이면 부재중임을 나타낸다.

마코브 속성을 충족, 지속 시간 확률적 과정을 마코브 과정(Markov Process)이라고 한다. 이 속성을 가진 과정은 변하지 않는 전이 확률을 가진 과정, 또는 시간 균질 과정으로 알려져 있다. 일반적으로 마코브 과정의 표기법은 $p(s_i | s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{ij})$ 조건부 확률(Conditional Probability)로 어떤 상태의 시스템인지 고려한다. 한 개의 메모리 근원을 위해 거기에는 q 상태가 있고 근원 알파벳의 각 s_i 상정을 위한 1개가 있다. 4개의 상태가 있다고 가정하자. 그림 1의 (d)에서 마코브 과정에 전환도표를 보여준다. 표 2는 표 1을 기준으로 3-NOR 게이트의 마코브 상태를 보여준다.

인코더의 처음 내용은 모두 0이다. 첫 번째 입력 비트가 0일 때 결과는 00이고 첫 번째 입력 비트가 1일 때 결과는 01이며 두 번째 입력 비트가 0일 때 두 번째 결과물은 10이다. 만약 처음 입력 비트가 1이고 두 번째 입력 비트가 1이면 두 번째 결과는 11이다. 비슷한

표 2. 정남 3-NOR 게이트의 마코브 상태
Table 2. Markov State of the Jong Nang 3-NOR Gate.

10진수	2진수	확률	10진수	2진수	확률
0	000	P_0	4	100	P_4
1	001	P_1	5	101	P_5
2	010	P_2	6	110	P_6
3	011	P_3	7	111	P_7

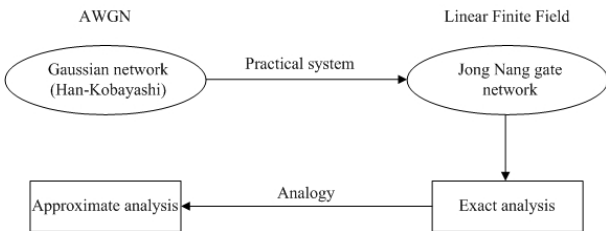


그림 2. 정남 게이트 모델링에 의한 AWGN 용량
Fig. 2. AWGN Capacity by the Jong Nang Gate Modeling.

방법으로 과정은 변하고 결과가 도출된다.

본 논문의 주요 동기는 정남 게이트(Jong Nang gate, JNG) 모델링에 의한 AWGN 용량에 근거한다. 정남 게이트는 실용적인 시스템과 기존의 가우스 간섭 채널(Gaussian interference channel, IC)과 비교했다. 강한 Interference일 때 Han-Kobayashi Channel Capacity를 분석했다.

q-ary 확장 결정적(q-ary expansion deterministic, QED) 채널에 의해 가우스(Gaussian) 간섭 채널(interference channel, IC)의 근사치는 처음 Avestimehr, Diggavi, 그리고 Tse에 의해 제안되었다. Bresler, Parekh, 그리고 Tse는 가우스 IC 근사화로 이 방법을 적용했다. q-ary 확장 결정적 IC를 위한 선형 부호 방법을 달성한 대칭 용량은 Jafar와 Vishwanath에 의해 가능하게 되었다. Bandermer는 전체 용량의 영역이 선형 코딩 방식에 의해 달성될 수 있음을 보여줬다^[10~12].

본 논문에서는 송신기(transmitter)의 협력(cooperation)으로 정남 결정적 채널 접근법(deterministic channel approach)에 대해 소개하고, 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 정남 Backhaul을, III장에서는 가우스 간섭 채널의 정남 게이트를 소개하고, IV장에서는 송신기 협력 정남 게이트 간섭 채널을 설명하며 V장에서 결론을 맺는다.

II. 정남 Backhaul

다중 셀룰러 하향링크 네트워크에서는 무선 자원의 효율성을 극대화시키기 위하여 동일한 무선 자원(시간, 주파수, 혹은 코드)을 활용하여 각 기지국이 다수의 사용자들에게 동시에 신호를 전송하기 때문에 셀 내의 사용자 간 간섭 신호(inter-user interference, IUI) 뿐만 아니라 타 셀의 기지국으로부터의 간섭 신호(inter-cell interference, ICI)의 영향으로 인해 전체 네트워크의 성능이 크게 악화될 수 있다. 다중 셀룰러 하향링크 네트워크에서의 전송률을 향상시키기 위해, 완벽한 채널 정보 및 메시지를 각 기지국이 공유하는 협력 다중 셀 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 그러나 이 같은 연구들은 기지국 간의 협력을 필요로 하기 때문에 막대한 양의 백홀(표 3) 인프라가 구축되어야 하기 때문에 실제 구현에 있어서 바람직하지 않다. 다중 사용자 간섭 채널 혹은 무선 X 채널에서 간섭 신호들을 확보 가능한 신호 공간 중 일부의 부분 공간에 제한함으로써 원하는 신호를 위한 공간을 확보하는 간섭 정렬(interference alignment) 기법에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있다^[15]. 최근에는 이러한 간섭 정렬 기법을 활용하여 다중 셀 다중 안테나 하향링크 채널에서 자유도(degree of freedom)를 향상시키는 방안에 대한 연구가 이루어졌다. 다중 셀 하향링크 네트워크에서 셀의 개수와 셀 내 사용자의 수가 제한되지 않는 일반적인 상황에 적용 가능한 간섭 정렬 송수신기 설계에 대해 반복 알고리즘(iterative algorithm) 기반이고 기지국 간의 협력을 필요로 한다. 유효 ICI 채널을 정의하고, 타 셀로부터 오는 ICI를 유효 ICI 채널에 효과적으로 정렬시키는 수신 빔포밍(beamforming) 행렬을 구한다. 이어서 특정 사용자에게 다수의 스트림을 전송할 때 야기될 수 있는 스트림 간 간섭 신호(inter-stream interference, ISI)와 IUI, ICI를 제거할 수 있는 송신 프리코딩 행렬을 계산한다. 이러한 과정을 통해 제안하는 송수신기 설계가 사용자 당 전송되는 데이터 스트림의 수만큼 자유도를 달성할 수 있다.

시분할다중접속시스템과 다중 사용자 하향링크 네트워크에서 사용되는 블록 대각화(block diagonalization) 기법을 사용하여 간섭 신호를 제거하기도 한다^[16]. 그림 1의 정남에서 왼쪽을 송신단, 오른쪽을 수신단으로 채널 모델링하고 기지국간 Backhaul 통신 3×3에 적용한다.

표 3. 기지국 간 BACKHAUL
Table 3. Basestation BACKHAUL.

Technology	Max. bandwidth	Min. node latency	Link latency	Max. length
Ethernet	100 Gbit/s	A few ^a μ s	5 μ s/km (fiber)	40km
XGPONI	10 Gbit/s shared	~ 100 μ s (upstr.)	5 μ s/km (fiber)	20km
DVSL2	Multi. ^b 100 Mbit/s	1.25...2ms ^c	\ll node latency	~ 0.4 km ^d
Microwave	1 Gbit/s	~ 100 μ s	3 μ s/km (air)	A few ^e km

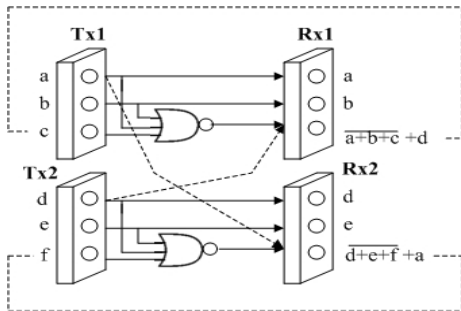
CoMP를 가능하게 하는 라디오 액세스 네트워크 (RAN)에 대한 Backhauling은 표 3에서 보는 것과 같다.

III. 가우시안 협력 채널의 정량 게이트

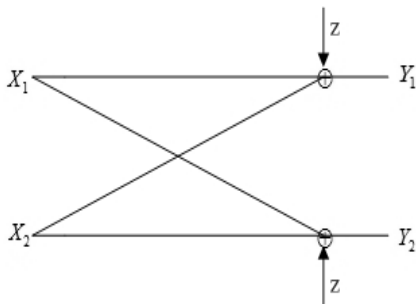
III 장에서는 q-ary 확장 JNG 간섭 채널 및 높은 SNR의 한계속에 밀접한 가우시 IC를 소개한다. 간섭 매개 변수 $\alpha \in [0, 2]$ 그리고 표 1에 의해 지정된 대칭 케이스를 고려한 것이다. 그림 3은 JNG 와 가우시안 간섭 채널을 보여준다.

X_1 은 $[x_{1,L-1}, x_{1,L-2}, x_{1,L-3}, \dots, x_{1,0}]$ 로 표현되고 X_2 도 비슷하게 표현된다.

채널의 출력은 음수 또는 양수에 따라 달라진다. 이 동 parameter(s)는 다음과 같이 정의한다.



(a) 정량 게이트, $\alpha = \frac{m}{n} = \frac{\log INR}{\log SNR} = \frac{1}{3}$



(b) Gaussian IC

그림 3. JNG & Gaussian IC의 블록 다이어그램
Fig. 3. Block Diagram of JNG & Gaussian IC.

$$s = (\alpha - 1)L, \quad (1)$$

L 은 q-ary 숫자 자리이다. 이제 EQ에서 교대 매개 변수를 얻을 것이다.

$$s = (\alpha - 1)L = (1/3 - 1)6 = -4$$

그림 3(a)에서부터 $\alpha = 1/3, L = 6$

Downshift : $0 \leq \alpha \leq 1$, Y_1 은 q-ary이다.

$$Y_1 = \begin{cases} a \\ a+b+c+d \pmod{q} \end{cases} \quad (2)$$

채널의 출력은 이렇게 표시된다.

$$Y_1 = X_1 + G_s X_2 \quad (3)$$

G_s 는 $L \times L$ downshift 행렬

Upshift : $1 \leq \alpha \leq 2$

$$Y_2 = \begin{cases} d \\ d+e+f+a \pmod{q} \\ c \end{cases} \quad (4)$$

채널의 출력은 이렇게 표시된다.

$$Y_2 = G_s X_1 + X_2 \quad (5)$$

대칭 QED-IC(q-ary expansion deterministic interference channel)의 용량은 단사결정의 IC의 용량을 간소화하여 얻을 수 있다. 정규화된 용량 영역은 (R_1, R_2) 에 의해 나타난다.

$$\begin{aligned} R_1 &\leq 1, R_2 \leq 1, \\ R_1 + R_2 &\leq \max\{2\alpha, 2-2\alpha\} \\ R_1 + R_2 &\leq \max\{\alpha, 2-\alpha\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\alpha \in [1/2, 1]$$

그리고

$$\begin{aligned} R_1 &\leq 1, R_2 \leq 1 \\ R_1 + R_2 &\leq \max\{2\alpha, 2-2\alpha\} \\ R_1 + R_2 &\leq \max\{\alpha, 2-\alpha\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\alpha \in [0, 1/2]$.

대칭 QED-IC의 용량 영역은 단일 선형 코딩 방식을 사용하여 통제받지 않고 오류를 얻을 수 있다. 인코딩의 경우, encoding 매트릭스 A 를 사용한다. 그림 3(a)에서 $[A]_6$ 이 얻어진다. 2진법 확장 IC를 $q=2, L=6$ 그리고 $\alpha=1/3$ 과 함께 고려하면 다음과 같이 얻어진다.

$$[A]_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{mod} 2 \quad (8)$$

이 디코딩 절차는 행렬 B 에 의해 출력을 곱한 것에 해당한다.

$$[B]_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$[B]_6[A]_6 = [I]_6$ 와 $BG_s A = 0$ 이기 때문에 간섭은 제거되고 원하는 신호는 완벽히 복원된다. 전송신호는 $X_j = AU_j$ 와 같이 나타낼 수 있고, 이때 A 는 q -ary 행렬이다. 또한 U_j 는 균일하게 분포된 이진 벡터 집합이다. 디코더는 수신신호 Y_j 에 해당 행렬 B 를 j 번 곱해 U_j 를 완벽히 복원한다. 즉, $Y_j = BU_j$ 와 같다.

예를 들면 인코딩의 경우,

$$X_1 = AU_1, X_2 = AU_2 \quad (10)$$

디코딩의 경우,

$$Y_1 = BU_1, Y_2 = BU_2 \quad (11)$$

와 같다.

송신 심볼 X_j 와 수신벡터 Y_j 는 그림 4에 나타내었다. U_1 의 디코딩은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$U_{1,0} = Y_{1,0}, U_{1,1} = Y_{1,1}, U_{1,4} = Y_{1,4}, U_{1,5} = Y_{1,5}$$

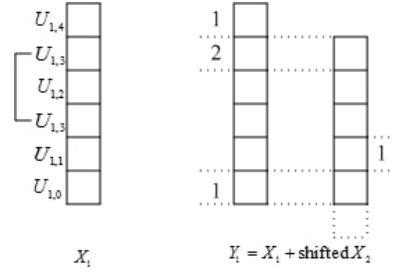


그림 4. 송신 심볼 X_j 와 수신벡터 Y_j

Fig. 4. Transmitted Symbol X_j and the Received Vector Y_j .

$$U_{1,3} = Y_{1,3} \oplus Y_{1,4} = Y_{1,3} \oplus U_{2,5}$$

그리고

$$U_{1,6} = Y_{1,6} \oplus Y_{1,1} = Y_{1,6} \oplus U_{2,2}$$

대칭용량은 다음과 같이 표시된다.

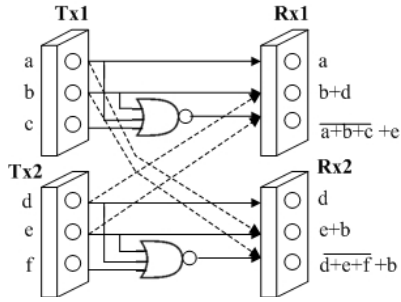
$$C_{sym} = H(U_j) = I(U_j; Y_j) = I(X_j; Y_j) \quad (12)$$

따라서 대칭용량은 간섭을 잡음처럼 처리함으로써 간단히 오류 없이 달성된다. 그림 5(c)는 직교화와 간섭을 잡음처럼 처리하는 기본적인 방법의 성능을 보여주고 있다. 신호 대 잡음비(SNR)와 간섭대 잡음비(INR)를 dB스케일로 강조해서 보여주고 있다. 그림 5(b)에 의하면 α 값은 이론적으로 최대 2까지 가능하고, 실제 정량 방법에서는 다음과 같이 모델링 할 수 있다. 만약 a 가 자신의 신호를 선택 한다면 b 와 c 는 분명히 간섭신호가 되고, 같은 방법으로 α 값은 최대 2까지 다다르게 된다.

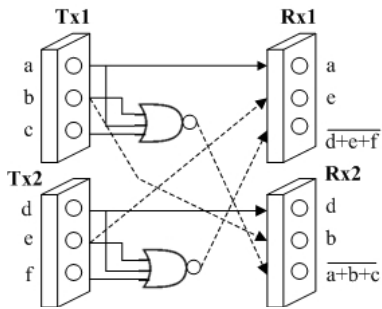
대칭의 경우에는 INR과 SNR이 증가하여 그림 5(a)로부터 $\alpha=2/3$ 을 선택한다. 인코딩의 경우는 A_1 행렬을 사용한다.

$$[A]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{mod} 2 \quad (13)$$

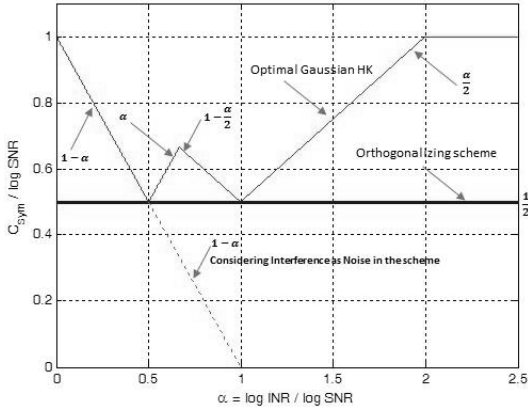
디코딩 행렬 B_1 은 다음과 같다.



(a) $\alpha = \frac{m}{n} = \frac{\log INR}{\log SNR} = \frac{2}{3}$



(b) $\alpha = \frac{m}{n} = \frac{\log INR}{\log SNR} = 2$



(c) 자유도

그림 5. 정낭 게이트 간섭채널의 방법과 성능
Fig. 5. An Achievable Scheme of the Jong Nang Gate Interference Channel.

$$[B] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$[B_1]_6 [A_1]_6 = [I]_6$ 임을 감안 하면 간섭은 제거되고

반면에 원하는 신호가 완벽히 복원됨을 알 수 있다. 따라서 디코딩도 다음과 같이 수행 될 수 있다.

$$\begin{aligned} U_{1,0} &= Y_{1,0}, U_{1,4} = Y_{1,4} \\ U_{1,2} &= Y_{1,2} \oplus U_{2,4}, U_{1,3} = Y_{1,3} \oplus U_{2,5} \\ U_{1,5} &= Y_{1,3} \oplus U_{1,1} \text{ 그리고 } U_{1,6} = Y_{1,6} \oplus U_{1,2} \end{aligned}$$

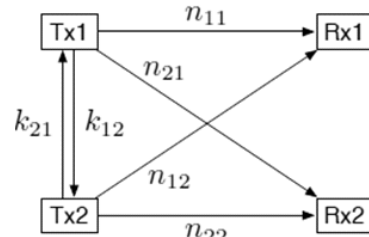
같은 방법으로, 그림 5 (b)로부터 인코딩 행렬 A_2 와 $\alpha = 2$ 를 얻고,

$$[A_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ mod } 2 \quad (15)$$

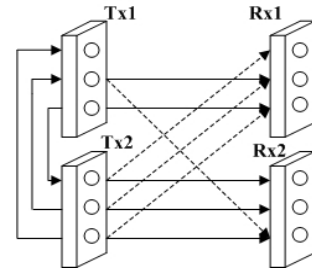
디코딩 행렬 B_2 는 A_2 로부터 얻을 수 있다. 즉, $[B_2] [A_2] = [I]_6$

IV. 협력 송신기를 갖는 정낭 게이트 IC

본 장에서는 성취도와 inner bound 모두에서 복잡도를 해결하기 위해 협력 송신기를 갖는 정낭게이트에 대



(a) 채널 모델



(b) 협동송신 JNG

그림 6. 협력송신기를 갖는 정낭 게이트
Fig. 6. The Jong Nang Gate IC with Cooperation Transmitters.

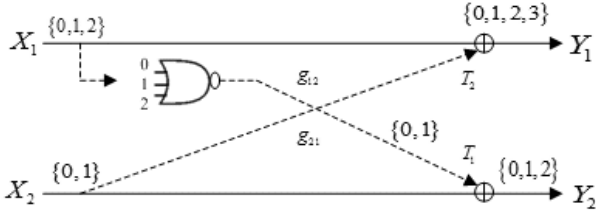


그림 7. 간섭채널의 블록 다이어그램

Fig. 7. Block Diagram of Interference Channel.

해 논의 한다. 해당 선형결정 채널은 음수가 아닌 정수 $n_{11}, n_{21}, n_{22}, n_{12}, k_{12}$ 와 k_{21} 에 의해 변수가 정해진다. 단 여기서, $n_{ij} = \left(\left[\log |h_{ij}|^2 \right] \right)^+$, $i, j = \{1, 2\}$ 이다.

그림 6은 협력송신기를 갖는 정량게이트를 보여주고 있다. 송신기간의 자연적인 협력방법은 각 송신 블록 이전의 두 송신기가 만나 서로간의 메시지 정보를 알려 주어 서로 알고 있다는 것이다^[12]. 따라서 메시지는 2종류로 분류된다. 첫 번째는 서로간의 회합으로 두 송신기 모두 알고 있는 협력 메시지이고, 두 번째는 협력 링크 능력의 한계 때문에 상대 송신기에 알려지지 않은 비협력 메시지이다.

그림 7에 보인 바와 같이 X_1 으로부터 T_1 으로 X_2 로부터 T_2 로 매핑(mapping)을 통해 일반화(generalization)가 가능하다.

채널의 출력은 식 (16)과 같이 주어진다.

$$Y_1 = y_1(X_1, T_2), Y_2 = y_2(X_2, T_1) \quad (16)$$

여기서 $T_1 = t_1(X_1), T_2 = t_2(X_2)$, $X_1 = \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\}$, 그리고 $X_2 = \{x_{20}, x_{21}, x_{22}\}$ 이다.

y_1 과 y_2 는 t_1 과 t_2 에 각각 주입되어 있는 것으로 가정한다. $H(Y_1 | X_1) = H(T_2)$ 와 $H(Y_2 | X_2) = H(T_1)$ 을

적용하면, 두 송신기의 확률은 $P(T_1 | x_{1,0}, x_{1,1}, x_{1,2})$ 와 $P(T_2 | x_{2,0}, x_{2,1}, x_{2,2})$ 로 나타 낼 수 있다.

$p(u_1, u_2 | q, x_1, x_2) = p_{T_1|x_1}(u_1 | x_1) p_{T_2|x_2}(u_2 | x_2)$ 의 제약을 갖는 Han-Kobayashi inner bound는 다음과 같이 요약 할 수 있다^[13].

Proposition: 정량 결정적 IC에 대한 어떠한 비율 쌍 (R_1, R_2) 도 다음 비동치(inequality)를 만족해야 한다.

$$R_1 \leq H(Y_1 | U_2, Q) - H(T_2 | U_2, Q), \quad (17)$$

$$R_2 \leq H(Y_2 | U_1, Q) - H(T_1 | U_1, Q), \quad (18)$$

다음과 같이 inner bound를 Gaussian으로 특화할 수 있다.

Time division: Gaussian IC의 capacity 영역에 대한 시간 분할 inner bound를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$R_1 < \alpha C(SNR_1 / \alpha), R_2 < \bar{\alpha} C(SNR_2 / \bar{\alpha}) \text{ for } \alpha \in [0, 1] \quad (19)$$

간섭을 잡음으로 처리: 간섭을 잡음처럼 처리하면 capacity 영역은 다음과 같다.

$$R_1 < C\left(\frac{SNR_1}{1 + INR_1}\right), R_2 < C\left(\frac{SNR_2}{1 + INR_2}\right) \quad (20)$$

Interference decoding: 강한 간섭을 갖는 Gaussian IC의 capacity 영역은 다음과 같은 비율 쌍으로 나타낼 수 있다.

$$R_1 \leq C(SNR_1), R_2 \leq C(SNR_2) \\ R_1 + R_2 \leq \min\{C(SNR_1 + INR_1), C(SNR_2 + INR_2)\} \quad (21)$$

위의 Inner bound는 그림 8에 비교 되어 있다.

이 Inner bound는 [14]에 주어진 capacity 영역과 또 간섭을 잡음처럼 처리했을 때에 달성할 수 있는 영역과 비교되어 있다. 간섭 복호는 full diversity를 달성하지 못한다. Han-Kobayashi rate splitting과 중첩 복호화가 full capacity에 대해서는 필요하다. 결합기능과 수신기 능은 덧셈으로 얻어 진다.

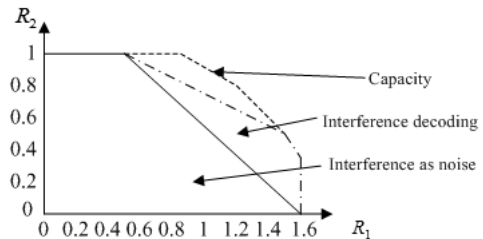


그림 8. 채널 용량 영역과 Inner Bounds

Fig. 8. Inner Bounds Channel Capacity Region.

Feedback case: 이 방법은 두 단계를 사용하는데, 첫 번째 단계서 송신기 1과 2는 각각 (a,b,c) 와 (d,e,f) 를 전송한다. 각 수신기는 디코딩을 두 번째 단계에 넘겨준다. 두 번째 단계에서는 피드백을 사용하여 각 송신기는 서로 다른 사용자의 정보를 디코드 한다. 즉, 송신기 1과 2는 각각 (d,e,f) 와 (a,b,c) 를 디코드 한다. 그리고 각 송신기는 다른 사용자의 정보를 송신 한다. 이제 각 수신기는 두 개의 수신 신호로부터 자신만의 데이터를 디코드 할 수 있다. 단 이때 두 번째 단계는 추가적인 정보를 송신하지 않고 이전에 보내온 모든 비트를 갱신 하는데 사용되었다.

이 경우 c 와 f 에 대해 생각해 보면, 출력이 1일 때 feedback이 가능하다. 이 로직은 표 4에 계산되어 있다.

표 4. 송신기 (a,b,c), (d,e,f) 케환
Table 4. Feedback of Tx (a,b,c), (d,e,f).

Tx1 Input			Tx2 Input			Rx1 Output			Rx2 Output		
a	b	c	d	e	f	a	b	s	d	e	w
0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0
0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0

V. 결 론

본 논문에서는 정량 gate 간섭 채널을 위해 달성할 수 있는 대칭 rate에 대해 서술 하였다. 결정적 모델은 무선통신 네트워크의 용량을 근사화 하고 전송방법을 설계하는데 이용될 수 있다. 제주도 특유의 정주목에 올려진 세 개의 서까래를 사용하여 가족의 부재여부와 현재의 위치의 원근을 표시해주는 JNG의 capacity를 보였다. 이 간섭 디코딩 inner bound가 어떤 특별히 강한 간섭 조건하에서 tightly함을 보였다. 또한 이 inner bound는 간섭을 잡음처럼 처리함으로써 얻어지는 inner bound를 포함하고 있음을 강하게 나타 내었고, 결정적 채널에 대한 간섭할당을 포함하고 있었다.

참 고 문 헌

[1] M. H. Lee, "Jong Nang", *EXPO '93 Information & Telecom*, Pavilion poster, 1993.
[2] M. H. Lee, *The History of Information and Communication*, Kimyeong-Sa, Seoul, 1994.

[3] M. H. Lee, "Jong Nang: The symbol of digital communication and Ying and Yang," *Telecom*, vol. 9, no. 1, 1993.
[4] M. H. Lee, "Jong Nang System," *Patent*, no. 133285, Korea, 1998.
[5] M. H. Lee, "The History of Jeju Jong Nang Binary Code," *IEEE VTS News*, vol. 50, no. 1, 2003.
[6] M. H. Lee, X. Jiang, C.H. Choe, S. H. Kim, "Analysis of Jong Nang Multiple Access Channel," *ISITA 2006*, Seoul, Korea, 2006.
[7] T. M. Cover, J. A. Thomas, *Elements of Information Theory*, John Wiley & Sons, New York, 1991.
[8] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423 and 623-656, 1948.
[9] N. Schrammar, "On Deterministic Models for Wireless Networks," *Licentiate Thesis in Telecommunications Stockholm*, Sweden 2011.
[10] A. Salman, D. Suhas, D. Tse, "A Deterministic Approaches to Wireless Relay Networks", *ISIT2007*, 2007.
[11] C. Suh, D. Tse, "Symmetric Feedback Capacity of the Gaussian Interference Channel to within One Bit," *ISIT 2009*, Seoul, Korea, 2009.
[12] I. H. Wang, D. Tse, "Interference Mitigation through Limited Transmitter Cooperation," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 57, no. 5, May 2011.
[13] A. El Gamal, Y. H. Kim, *Network Information Theory*, Cambridge University Press, 2011.
[14] B. Bandemer, A El Gamal, "Interference Decoding for Deterministic Channels," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 57, no. 5, May 2011.
[15] S.A Jafar, "Interference Alignments," *Globecom 2012 Tutorial*, 7 Dec 2012.
[16] Moon Ho Lee, *Jacket Matrices : Constructions and Its Applications for Fast Cooperative Wireless Signal Processing*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 1 Dec 2012.

저 자 소 개



이 문 호(평생회원)-교신저자
 1970년~1980년 남양 MBC 송신
 소장
 1984년 전남대학교 전기공학과
 박사, 통신기술사
 1985년~1986년 미국 미네소타
 대학 전기과 포스트닥터
 1990년 일본 동경대학 정보통신공학과
 박사
 1980년 10월~2010년 2월 전북대학교 전자공학부
 교수
 2010년 2월~현재 WCU-2 연구책임교수
 <주관심분야 : 무선이동통신>



칸하심알리(학생회원)
 2005년 Islamic University,
 Bangladesh (이슬라믹
 대학) 졸업
 2009년 전북대학교 전자공학과
 박사 재학
 <주관심분야 : 무선이동통신>



박 주 용(정회원)
 1982년 전북대학교 전자공학과
 학사
 1994년 전북대학교 전자공학과
 박사 졸업.
 1991년 3월~2006년 2월 서남대학
 교 전자공학부 교수
 2007년 3월~현재 신경대학교 인터넷정보통신
 학과 부교수
 <주관심분야 : 무선이동통신>