

# 위상 간섭 관리에서의 지연 문제

탁준우, 노종선  
 서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소  
 jwt@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr

## Delayed Topological Interference Management

Jun-Woo Tak, Jong-Seon No  
 Seoul National Univ.

### 요약

위상 간섭 관리 기법은 송신단 측에서 필요로 하는 채널 정보를 0 또는 1 으로 간소화하여 간섭 관리 문제를 해결한다. 본 논문에서는 이 채널 정보가 지연되어 얻어지는 경우에 대하여 가정하고 이 때의 간섭 관리 기법을 제안한다.

### I. 서론

위상 간섭 관리(Topological Interference Management)는 2014 년 소개된 간섭 관리 기법으로[1], 송신단 측에서 필요로 하는 채널 정보를 0 또는 1 으로 간소화시킨 시스템 모델을 사용한다. 특정 간섭 채널들의 세기의 합이 잡음 세기보다 낮은 채널들에 대해서는 끊어져 있다는 의미의 0 을, 그렇지 않은 채널에는 연결되어 있다는 의미의 1 을 사용한다. 여기서 0 또는 1 으로 주어지는 채널 정보들을 위상(topology)이라 부르며 각각은 한 비트(bit)만을 사용하여 표현 가능하기 때문에 최소한의 피드백으로 채널 정보를 전달할 수 있는 형태라고 할 수 있다.

위상 간섭 관리에 관하여는 다양한 채널 모델에 대하여 여러 방면으로 연구되어 왔다. 그 중 특징적인 것으로 송신단 측에서의 협동[2]과 수신단 측에서의 협동[3]이 연구된 바 있다. 본 논문에서는 위상 정보가 지연되어 사용 가능한 경우 송신단 측에서의 협동을 통하여 얻을 수 있는 결과를 살펴보고자 한다.

### II. 본론

기존의 위상 간섭 관리 문제에서는 채널 정보로 주어지는 위상이 통신이 이루어지는 시간 내에서는 일정하게 유지되며 이 정보를 실시간으로 사용 가능한 경우에 대하여 가정하였다. 일정한 값을 가지는 위상이 주어져 있다면 적절한 시간 간격으로 송신해야 할 송신단을 정하여 수신단 측에서 간섭이 서로 일어나지 않거나 간섭을 제거할 수 있도록 송신 방법을 설정한다. 본 논문에서는 이와는 다르게 통신이 일어나는 시간 내에 위상이 일정하게 유지되지 않는 경우를 살펴보고자 한다. 구체적으로는 송신이 일어나는 현재 시간에 송신단 측에서 실시간으로 사용 가능한 위상 정보가 없으며, 이전 시간의 통신에 적용되었을 위상 정보만을 얻을 수 있는 경우를 가정한다. 즉, 송신단 측에서 사용 가능한

정보가 지연된 위상 정보뿐일 때 이를 활용 가능할 수 있는지 알아본다. 이 때 수신단 측에서의 채널 정보는 지연 없이 사용 가능한 것으로 본다.

지연된 위상 정보를 송신단에서 얻게 된다는 것의 의미는 이전 시간의 전송에서 각 수신단에 어떤 메시지들의 합이 수식의 형태로 수신되었는지 알게 된다는 것과 같다. 송신단에서는 이 정보를 기반으로 다음 시간의 송신 방법을 설정해야 한다. 우선, 가장 간단한 형태인 세 쌍의 송수신단의 경우 예시를 들어 지연된 위상 정보가 도움이 되는 경우를 살펴본다.

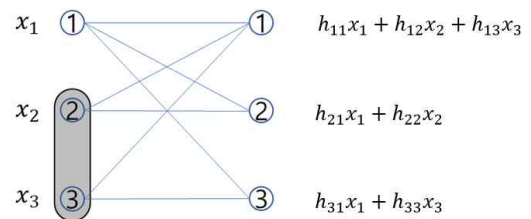


그림 1

위 그림 1 은 첫 번째 시간에서의 송신을 나타낸 것으로,  $h_{ij}$  는 송신단  $j$ 에서 수신단  $i$ 로의 채널을,  $x_i$  는 송신단  $i$ 에서 송신하는 메시지를 의미한다. 그림에서 볼 수 있듯이, 각 송신단에서는 해당하는 수신단에서 원하는 메시지를 각각 전송한다. 이 때 송수신단 2 와 3 은 서로 간섭이 없는 링크이고 송신단 측에 함께 묶인 음영으로 표시되었다. 또한 수신단 측에는 수신된 수식이 표시되었다. 이 예시의 경우, 두 번째 시간에서의 송신으로 그림 2 에서와 같이 모든 송신단에서  $x_1$  만을 전송한다면 두 번째 시간에 주어질 위상 정보가 어떻게 주어지는 경우라든 모든 수신단에서 원하는 메시지를 복원할 수 있다. 이를 위해서는 모든 송신단 측에서  $x_1$ 을 알고 있어야 하고 이는 송신단 측에서의 협동을 의미한다. 메시지의 복원 과정은 그림 1 에서 수신단

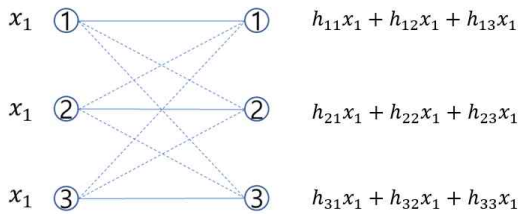


그림 2

측에서 얻어진 수식을 통해 알 수 있는데, 수신단 1 은 첫 번째 시간에 모든 메시지들이 포함된 형태의 수식을 수신했지만  $x_1$ 을 얻게 되면 그 자체로 원하는 메시지를 얻는 것이 되고, 수신단 2와 3은  $x_1$ 를 얻게 되면 수신된 수식으로부터 각각  $x_2$ 와  $x_3$ 을 복원해 낼 수 있다. 이 경우 모든 메시지가 두 번의 송신을 통해 전달되었기 때문에 얻어지는 자유도(DoF)는 1/2 이 된다.

위 예시는 송수신단이 세 쌍보다 많은 경우에도 그대로 적용 가능하다.  $K$  개의 송수신단에 대해 서로 간섭이 없는 링크들의 집합 중 가장 큰 크기의 원소의 개수를  $M$ 이라 하면, 이 때 얻을 수 있는 자유도는  $\frac{1}{K-M+1}$  이다.

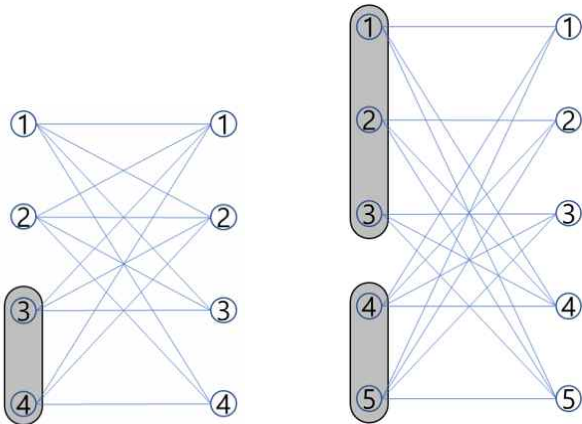


그림 3

그림 4

그림 3 과 그림 4 는 각각 첫 번째 시간에서의 송신을 나타낸 또 다른 예시이다. 위 결과에 따르면, 그림 3 의 경우  $\frac{1}{4-2+1}=1/3$ , 그림 4 의 경우  $\frac{1}{5-3+1}=1/3$  의 자유도를 얻는다.

지금까지의 예시들은  $K$  개의 송수신단에 대해  $\frac{1}{K}$  보다 같거나 큰 자유도를 얻는 경우이지만, 모두 첫 번째 시간의 위상만을 이용한 것으로 그 이후에 주어질 위상을 활용하지 않는 방식이다. 이후에 주어질 위상을 활용하는 방안으로 그룹화를 이용한 방식을 생각해 볼 수 있다. 그림 5 는 첫 번째 시간에서의 10 개의 송수신단의 전송을 나타낸 그림이다. 여기서 수신단 1, 2, 3은  $x_3$ 을 얻으면, 수신단 4, 5, 6, 7은  $x_4$ 와  $x_5$ 를 얻으면, 수신단 8, 9, 10은  $x_8$ 을 얻으면 모든 메시지들의 복원이 가능한 상황이다. 이 때 송수신단들을  $G_3 = \{1,2,3\}$ ,  $G_{4,5} = \{4,5,6,7\}$ ,  $G_8 = \{8,9,10\}$  의 세 그룹으로 나누어  $G_i$ 의 송수신단들은  $x_i$ 를 전송하도록 하면 이는 앞서 예시로 들었던 그림 1의 경우와 같은 모양이 된다. 이 때 만약  $G_i$ 의 송수신단들의  $x_i$  전송 결과 서로 간섭 링크가 존재하지 않는 그룹이 있다면 지연된 위상 정보가 도움이 되는 경우가 된다.

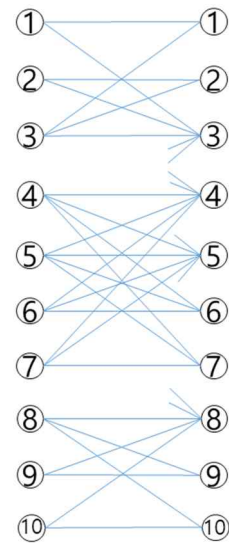


그림 5

III. 결론

본 논문에서는 위상 간섭 관리 연구의 확장으로 송수신단 측에서의 협동이 가능할 때 지연된 위상 정보만을 이용 가능한 경우에 대하여 다루었다. 이 때 지연된 위상 정보가 도움이 되기 위해서는 위상이 어떤 모양을 갖추고 있어야 하는지 간단한 예시를 통하여 알아보았다. 또한 첫 번째 시간의 위상만을 이용하는 방식을 그룹화를 통해 확장 가능하다는 것을 논의하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2016R1A2B2012960).

참고 문헌

[1] Syed Ali Jafar, "Topological Interference Management Through Index Coding", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 60, no.1, pp. 529-568, January 2014.

[2] X. Yi and D. Gesbert, "Topological Interference Management with Transmitter Cooperation," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 61, no. 11, pp. 6107-6130, November. 2015.

[3] X. Yi and G. Caire, "Topological Interference Management with Decoded Message Passing," 2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Barcelona, 2016, pp. 550-554.