

위상 간섭 관리에서의 메시지 전달 기법

탁준우, 노종선

서울대학교 뉴미디어통신공동연구소

jwt@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr

Message Passing Method for Topological Interference Management

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

요 약

본 논문에서는 간섭 채널에서 채널 정보를 0 과 1 으로 간소화시킨 위상 간섭 관리 문제를 고려한다. 위상 간섭 관리 문제에서 얻을 수 있는 자유도 향상을 위해 상향링크에서 쓰일 수 있는 메시지 전달을 가정하며 이 때 필요한 기법을 제시한다.

I. 서 론

간섭이 존재하는 채널 환경에서의 자유도 향상 문제는 논문[1]에서 제시한 간섭 정렬(Interference Alignment) 기법 이래 많은 네트워크 상황에 대해 연구되어 왔다. 하지만 지금까지의 많은 논문에서의 연구는 송신단측에서의 완벽한 채널 정보를 필요로 한다는 점에서 현실적으로 활용하기에 큰 제약조건이 있을 수 밖에 없다. 이 점에 착안하여 논문[2]에서는 얻을 수 있는 채널 정보를 0 또는 1 으로 간소화시킨 위상 간섭 관리 문제를 제시한다. 구체적으로는 특정 간섭 레벨보다 낮은 세기의 링크에는 0 을, 특정 간섭 레벨보다 높은 세기의 링크에는 1 을 할당하는 방식을 사용한다. 결과적으로 본래의 네트워크는 일부 링크만 연결된 모양을 갖추게 된다. 이러한 가정 아래 위상 간섭 관리 문제에서의 자유도를 구하는 문제는 인덱스 코딩에서의 채널 용량 영역을 구하는 문제와 일치함이 알려져 있다. 이 덕분에 위상 간섭 관리 문제를 고려하는데 있어 인덱스 코딩 문제를 풀기 위해 사용해왔던 기법들을 활용 가능하게 되었다. 본 논문에서는 위상 간섭 관리 문제에서의 자유도 향상을 가져오기 위해 주어진 위상을 어떤 구조로 변형시켜야 하는지, 그리고 그 변형을 위한 메시지 전달 기법을 제시한다.

II. 본 론

논문[2]의 연구에 의하면 K 명의 사용자가 있는 간섭 채널에서 위상의 구조에 따른 사용자당 얻을 수 있는 자유도는 다음과 같이 정리된다.

- (i) 내적 충돌이 없는 경우: $\frac{1}{2}$
- (ii) 수요 그래프가 비순환적일 때(방향을 가지는 순환을 포함하지 않는 경우): $\frac{1}{K}$

- (iii) (i)과 (ii) 사이의 경우: $\frac{\Delta}{2\Delta+1}$

(Δ : 정렬-충돌 그래프에서 최소 내적 충돌 거리)

위 내용에서 사용된 내적 충돌, 수요 그래프, 정렬-충돌 그래프의 개념은 아래와 같다.

- (1) 정렬 그래프
어떤 둘 이상의 송신단이 해당하는 수신단이 아닌 다른 수신단에 간섭 링크로 이어져 있는 경우 그 송신단들의 번호를 가지는 꼭짓점을 검은 실선으로 연결한 무향 그래프.
- (2) 충돌 그래프
간섭 링크로 이어져 있는 송신단과 수신단측의 번호를 가지는 꼭짓점을 붉은 점선으로 연결한 무향 그래프.
- (3) 수요 그래프
송신단에서 수신단 방향으로 원하는 메시지를 전달하고자 하는 링크를 변으로 연결하고, 수신단에서 송신단 방향으로 수신단측과 연결되어 있지 않은(채널정보가 0 이 되는) 링크를 변으로 연결한 유향 그래프.
- (4) 내적 충돌
정렬 그래프의 실선으로 이어진 꼭짓점들 사이에 충돌 그래프의 변이 존재하는 경우 이를 내적 충돌이라 부른다.

예를 들어 아래 그림 1 의 네트워크에 대해 정렬-충돌 그래프를 그려 보면 그림 2 와 같다. 그림 2 에서 꼭짓점 1 과 꼭짓점 2 사이에는 내적 충돌이 발생하고 있다.

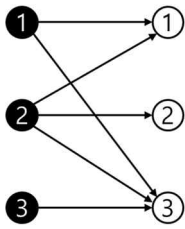


그림 3

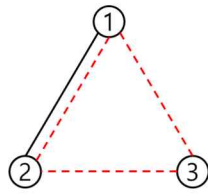


그림 2

본 논문에서는 위와 같이 내적 충돌이 발생하는 경우에 대해 내적 충돌을 제거함으로써 얻을 수 있는 최대의 자유도인 $\frac{1}{2}$ 을 확보하려 한다. 상향링크 통신 환경을 가정하면 기지국 간의 메시지 전달 기법을 통해 간섭으로 작용하는 특정 링크를 제거할 수 있다. 이러한 상향링크에서의 메시지 전달 기법의 도입은 논문 [3]에서 제시된 바 있으나 아직까지는 메시지 전달을 위한 구체적인 알고리즘은 확보되지 않은 상태이다.

내적 충돌을 제거하기 위한 방법으로는 두 가지 측면에서 살펴볼 수 있는데 먼저 1) 충돌 자체를 끊는 방법과 2) 정렬 그래프로 이어진 꼭짓점 사이에 충돌이 존재하지 않게끔 정렬 그래프를 해체하는 방법이 있다. 두 방식 모두 간섭으로 작용하는 특정 링크를 제거한다는 점에선 공통점이 있지만 제거하는 링크는 서로 다르며, 특히 정렬 그래프를 해체하는 데에는 선택하기에 따라 여러 가지 방법이 있을 수 있다. 간섭으로 작용하는 링크의 제거는 간섭을 가하게 되는 수신단의 메시지를 듣는 수신단(기지국)에서 간섭을 듣는 수신단으로의 메시지 전달을 통해 이루어진다. 메시지를 전달받은 수신단측에서는 원하는 메시지와 간섭이 섞여 있는 메시지로부터 원하는 메시지만을 분리하여 복원할 수 있게 된다. 본 내용을 예시를 들어 설명하면 아래와 같다.

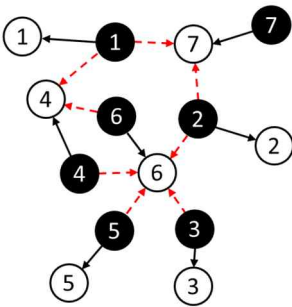


그림 1

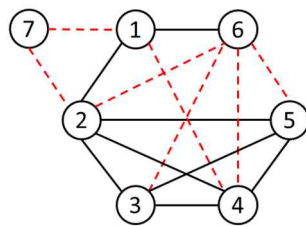


그림 4

위 그림 3 은 송-수신단간에 존재하는 링크를 표시한 것이다. 검은 화살표는 원하는 메시지가 전달되어야 하는 링크를, 붉은 화살표는 간섭으로 작용하는 링크를 나타낸 것이다. 그림 3 에 해당하는 정렬-충돌 그래프를 그려보면 그림 4 와 같다. 이 경우 모든 내적 충돌들 중 꼭짓점 간의 거리가 최소인 경우를 찾으면 꼭짓점 2 와 6 사이의 충돌이 2-1-6 의 경로로 최소의 거리인 $\Delta = 2$ 를 가지게 된다. 따라서 이 경우 $\frac{\Delta}{2\Delta+1} = \frac{2}{5}$ 의 자유도를 가진다. 만일 위 경우에 대해 최소 내적 충돌 거리를 가지는 꼭짓점 2 와 6 사이의 내적 충돌을 제거할 수 있다면 최소 내적 충돌 거리는 3-2-1-6 또는 1-2-3-4 의 경로로 $\Delta = 3$ 으로 증가하게 되어 $\frac{\Delta}{2\Delta+1} = \frac{3}{7}$ 으로 자유도 향상을 가져오게 된다. 내적 충돌을 제거하기

위해서는 송신단 2 에서 수신단 6 으로의 간섭 링크를 제거해야 하는데, 이를 위해서는 간섭의 영향을 받지 않고 메시지를 수신하고 있는 수신단 2 에서 얻은 메시지를 이용해야 한다. 수신단 2 측에서는 수신한 메시지를 수신단 6 측으로 전달하여 송신단 2 로부터의 간섭을 제거할 수 있다.

여기에서 더 나아가 최소 내적 충돌 거리를 4 로 증가시키면 그에 따른 자유도의 향상을 가져오겠지만 이를 위해서는 꼭짓점 1 과 4 사이의 내적 충돌과 꼭짓점 3 과 6 사이의 내적 충돌 두 경우를 모두 제거해야만 하는 비용이 따른다. 그 대신 내적 충돌이 존재하지 않도록 정렬 그래프를 해체하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 앞서 언급한 대로 최소 내적 충돌 거리를 3 으로 개선한 후에 꼭짓점 1 과 꼭짓점 2 사이의 정렬 그래프를 끊을 수 있다면 이전에 존재하던 모든 내적 충돌은 더 이상 내적 충돌이 아닌 것이 된다. 정렬 그래프를 끊기 위해서는 앞선 메시지 전달 방식과 마찬가지로 송신단 1 에서 수신단 7 으로의 간섭 링크 또는 송신단 2 에서 수신단 7 로의 간섭링크 제거를 수행해야 하는데, 이를 위해서는 수신단 1 또는 수신단 2 에서 수신받은 메시지를 수신단 7 측으로 전달해야 한다. 이 경우 내적 충돌이 없을 때의 자유도인 $\frac{1}{2}$ 를 얻을 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 위상 간섭 관리 문제에서 내적 충돌을 제거하는 방법에 대해 논의하였다. 내적 충돌을 제거하는 방법의 수는 여러 가지가 있으며 제거를 위한 기법 중의 하나로 메시지 전달 기법을 사용할 수 있다. 내적 충돌을 제거하는 데에 여러 가지 방법이 있을 수 있는 만큼 효율적인 내적 충돌 제거를 위한 알고리즘에 대한 후속연구와 제거를 위한 기법의 후속 연구가 진행중이다.

ACKNOWLEDGMENT

서울대학교 뉴미디어통신공동연구소

참 고 문 헌

[1] Viveck R. Cadambe, and Syed Ali Jafar, " Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 54, no.8, pp. 3425-3441, August 2008.

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

[3] Xinping Yi, Giuseppe Caire, "Topological interference management with decoded message passing", Information Theory (ISIT) 2016 IEEE International Symposium on, pp. 550-554, 2016