



밀리미터파 대역 다중쌍 양방향 릴레이 통신 시스템에서의 하이브리드 송수신 기법 설계
Hybrid Filter Designs for Millimeterwave Multi-Pair Two-Way Relaying Systems

저자 (Authors) 오태석, 김민태, 이인규
Taeseok Oh, Mintae Kim, Inkyu Lee

출처 (Source) [한국통신학회 학술대회논문집](#) , 2018.1, 592-593 (2 pages)
[Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences](#) , 2018.1, 592-593 (2 pages)

발행처 (Publisher) [한국통신학회](#)
Korea Institute Of Communication Sciences

URL <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07368822>

APA Style 오태석, 김민태, 이인규 (2018). 밀리미터파 대역 다중쌍 양방향 릴레이 통신 시스템에서의 하이브리드 송수신 기법 설계. 한국통신학회 학술대회논문집, 592-593.

이용정보 (Accessed) 고려대학교
163.152.37.***
2018/10/26 17:26 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

밀리미터파 대역 다중쌍 양방향 릴레이 통신 시스템에서의 하이브리드 송수신 기법 설계

오태석, 김민태, 이인규
고려대학교

e-mail: {jets00, wkd2749, inkyu}@korea.ac.kr

Hybrid Filter Designs for Millimeterwave Multi-Pair Two-Way Relaying Systems

Taeseok Oh, Mintae Kim, Inkyu Lee
School of Electrical Eng., Korea Univ., Korea

요약

본 논문은 밀리미터파 대역 다중쌍 양방향 릴레이 통신시스템에서의 효율적 하이브리드 송수신 기법 설계에 대해 다룬다. 다중쌍 양방향 릴레이 시스템에서는 쌍간 신호간섭이 전체적인 성능의 주된 열화 요인이다. 본 논문에서는 이러한 쌍간 신호간섭을 효과적으로 제거해 좋은 합전송률 성능을 보이는 하이브리드 아날로그-디지털 송수신 기법을 설계하고, 시뮬레이션 결과를 통해 기존 기법대비 좋은 성능을 보임을 확인한다.

I. 서론

RF 체인의 높은 비용과 밀리미터파 대역(mmWave)에서의 채널추정의 어려움 때문에, 안테나 수와 RF 체인 수가 같은 전디지털 (fully digital) 시스템에서 개발된 송수신 기법을 밀리미터파 대역의 거대 입출력 (massive MIMO) 통신시스템에 그대로 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다.

이를 해결하기 위해, 아날로그 빔포밍과 디지털 빔포밍을 따로 수행하는 하이브리드 빔포밍 기법이 많이 연구되었다 [1]. 이러한 하이브리드 빔포밍 기법들은 다수의 안테나를 활용하여 높은 어레이 게인을 얻을 수 있지만, 높은 경로손실에 기인하는 mmWave 시스템 특성 중 하나인 짧은 송신범위는 여전히 극복해야하는 문제이다.

수신신호를 증폭해서 전달하는 Amplify-and-forward (AF) 릴레이는 짧은 송신범위를 극복하는 가장 강력한 해결책 중 하나이다. 이러한 장점 때문에 릴레이 시스템에서의 송수신 기법 개발에 많은 연구가 진행되었다.

본 논문에서는 모든 통신 노드들이 하이브리드 빔포밍을 수행하는 mmWave 다중쌍 양방향 릴레이 시스템에서 효율적인 아날로그 빔포밍과 디지털 빔포밍을 각각 설계한다. 마지막으로 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 기법의 우수성을 확인한다.

II. 본론

본 논문에서는 릴레이가 N 개의 안테나, N_{RF} 개의 RF 체인을 갖고, 각 사용자들이 M 개의 안테나, M_{RF} 개의 RF 체인을 갖는 K -쌍 양방향 AF 릴레이 시스템을 고려한다. 또한, k 번째 사용자와 \bar{k} 번째 사용자가 릴레이의 도움을 받아 반이중 방식으로 통신한다고 가정한다.

mmWave 채널들을 통상적으로 한정된 경로들로 이루어졌다고 가정되기 때문에, 우리는 k 번째 유저에서 릴레이까지의 채널 \mathbf{H}_k 와 릴레이에서 k 번째 유저까지의 채널 \mathbf{G}_k 가 각각 L 개의 경로들로 이루어졌다고 가정한다. 이러한 경우 k 번째 유저의 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y}_k = \underbrace{\mathbf{G}_k \mathbf{Q} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k}_{\text{desired signal}} + \underbrace{\mathbf{G}_k \mathbf{Q} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \mathbf{s}_k}_{\text{back propagated self-interference}} + \underbrace{\sum_{j \neq \{k, \bar{k}\}} \mathbf{G}_k \mathbf{Q} \mathbf{H}_j \mathbf{F}_j \mathbf{s}_j}_{\text{inter-pair interference}} + \mathbf{G}_k \mathbf{Q} \mathbf{n}_R + \mathbf{n}_k,$$

이 때, \mathbf{Q} , \mathbf{F}_k , s_k , \mathbf{n}_k 는 각각 릴레이 송수신필터, k 번째 유저의 송신필터, k 번째 유저의 송신 신호, k 번째 유저에 해당하는 노이즈 벡터이다.

이 수신신호를 하이브리드 수신 필터를 통과시키면 시스템의 합 전송률을 최대화 하는 문제를 다음과 같이 정립할 수 있다.

$$\operatorname{argmax}_{\{\mathbf{F}_k, \mathbf{W}_k, \mathbf{Q}\}} \sum_{k=1}^{2K} \log_2 \left| \mathbf{I}_{N_s} + \frac{\rho}{N_s} \mathbf{R}_{\text{NL},k}^{-1} \mathbf{R}_{D,k} \right| \quad (P1)$$

$$\text{s.t. } \operatorname{Tr}(\mathbf{F}_k \mathbf{F}_k^H) \leq P, \quad \forall k, \quad (C1)$$

$$\operatorname{Tr}(\mathbf{Q} \mathbf{R}_y \mathbf{Q}^H) \leq P_R, \quad (C2)$$

$$\mathbf{W}_k = \mathbf{W}_{\text{BB},k} \mathbf{W}_{\text{RF},k}, \mathbf{F}_k = \mathbf{F}_{\text{RF},k} \mathbf{F}_{\text{BB},k}, \text{ and } \mathbf{Q} = \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}} \mathbf{Q}_{\text{BB}} \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Rx}} \quad (C3)$$

이 때, (C1) 과 (C2)는 각각 k 번째 사용자와 릴레이 노드의 송신전력제약이다. 마지막으로 (C3)는 하이브리드 필터의 구조에서 오는 하드웨어 제약이다.

본 논문에서는 (P1)을 해결하는 효율적인 아날로그 및 디지털 필터 설계 방법을 제안한다. 우선 Gram-Schmidt 프로세스를 기반으로 하는 아날로그 필터 설계 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

Algorithm 1 RF Filter Design Algorithm

Require: RF beamforming codebooks, $\mathcal{F}_k, \mathcal{W}_k, \mathbf{Q}_k^{\text{Tx}}$, and \mathbf{Q}_k^{Rx}

- 1: **for** $k \leq 2K$ **do**
- 2: $\mathbf{H}_{k,\text{res}} = \mathbf{H}_k, \mathbf{G}_{k,\text{res}} = \mathbf{G}_k.$
- 3: **for** $i \leq M_{\text{RF}}$ **do**
- 4: Solve $\{\mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Rx}*}, \mathbf{f}_{(k,i)}^*\} = \operatorname{argmax}_{(m,n)} \left| \mathbf{Q}_{(k,i),m}^{\text{Rx}} \mathbf{H}_{k,\text{res}} \mathbf{f}_{(k,i),n} \right|$
and $\{\mathbf{w}_{(k,i)}^*, \mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Tx}*}\} = \operatorname{argmax}_{(m,n)} \left| \mathbf{w}_{(k,i),m} \mathbf{G}_{k,\text{res}} \mathbf{q}_{(k,i),n}^{\text{Tx}} \right|.$
- 5: Update $\mathbf{H}_{k,\text{res}} = \mathbf{H}_{k,\text{res}} - \left| \mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Rx}*} \mathbf{H}_{k,\text{res}} \mathbf{f}_{(k,i)}^* \right| \left(\mathbf{f}_{(k,i)}^* \mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Rx}*} \right)^H$
and $\mathbf{G}_{k,\text{res}} = \mathbf{G}_{k,\text{res}} - \left| \mathbf{w}_{(k,i)}^* \mathbf{G}_{k,\text{res}} \mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Tx}*} \right| \left(\mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Tx}*} \mathbf{w}_{(k,i)}^* \right)^H.$
- 6: $\mathcal{F}_k = \mathcal{F}_k \setminus \{\mathbf{f}_{(k,i)}^*\}, \mathcal{W}_k = \mathcal{W}_k \setminus \{\mathbf{w}_{(k,i)}^*\},$
 $\mathbf{Q}_k^{\text{Tx}} = \mathbf{Q}_k^{\text{Tx}} \setminus \{\mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Tx}*}\}, \text{ and } \mathbf{Q}_k^{\text{Rx}} = \mathbf{Q}_k^{\text{Rx}} \setminus \{\mathbf{q}_{(k,i)}^{\text{Rx}*}\}.$
- 7: **end for**
- 8: $\mathbf{F}_{\text{RF},k} = [\mathbf{f}_{(k,1)}^* \dots \mathbf{f}_{(k,M_{\text{RF}})}^*], \mathbf{W}_{\text{RF},k} = [\mathbf{w}_{(k,1)}^{*T} \dots \mathbf{w}_{(k,M_{\text{RF}})}^{*T}]^T,$
 $\mathbf{Q}_{\text{RF},k}^{\text{Rx}} = [\mathbf{q}_{(k,1)}^{\text{Rx}*} \dots \mathbf{q}_{(k,M_{\text{RF}})}^{\text{Rx}*}]^T, \text{ and } \mathbf{Q}_{\text{RF},k}^{\text{Tx}} = [\mathbf{q}_{(k,1)}^{\text{Tx}*} \dots \mathbf{q}_{(k,M_{\text{RF}})}^{\text{Tx}*}]^T.$
- 9: **end for**
- 10: $\mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Rx}} = [\mathbf{Q}_{\text{RF},1}^{\text{Rx}} \dots \mathbf{Q}_{\text{RF},2K}^{\text{Rx}}]$ and $\mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}} = [\mathbf{Q}_{\text{RF},1}^{\text{Tx}} \dots \mathbf{Q}_{\text{RF},2K}^{\text{Tx}}].$
- 11: **return** $\mathbf{F}_{\text{RF},k}, \mathbf{W}_{\text{RF},k}, \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Rx}}, \text{ and } \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}}.$

이렇게 찾은 아날로그 필터를 고정시키고 (P1)과 동등한 weighted sum minimum mean square error (WMMSE)를 해결하는 문제를 세우면 다음과 같이 표현된다.

$$\min_{\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{W}_{\text{BB},k}, \mathbf{Q}_{\text{BB}} \\ \mathbf{F}_{\text{BB},k}, \mathbf{\Omega}_k \end{array} \right\}} \sum_{k=1}^{2K} (\operatorname{Tr}(\mathbf{\Omega}_k \mathbf{R}_{e,k}) - \log |\mathbf{\Omega}_k|) \quad (P2)$$

s.t. (C1) and (C2)

여기서 $\mathbf{\Omega}_k$ 와 $\mathbf{R}_{e,k} = \mathbb{E}[(\hat{\mathbf{y}}_k - \mathbf{s}_k)(\hat{\mathbf{y}}_k - \mathbf{s}_k)^H]$ 는 각각 가중행렬과 k 번째 유저에서의 오류 공분산 행렬이다. 위의 문제는 최적화변수들 각각에 대해 convex 이므로, block coordinate descent 방법으로 지역 최적값을 갖는 해를 다음과 같이 구할 수 있다.

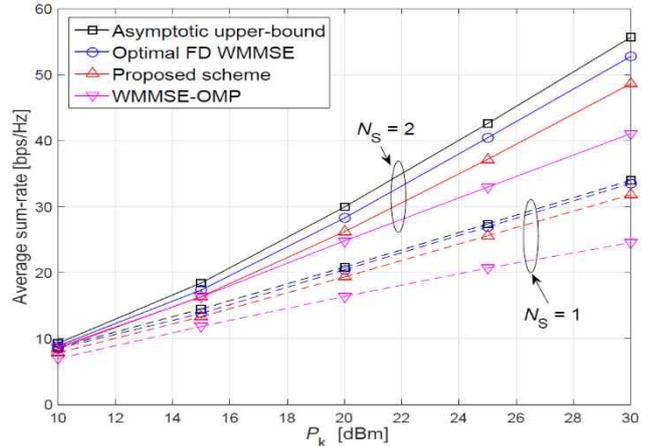


그림 1. mmWave 대역 다중쌍 양방향 릴레이에서의 합 전송률 비교

$$\operatorname{vec}(\mathbf{Q}_{\text{BB}}^{\hat{\Delta}}(\nu)) = (\mathbf{C}_k + \nu (\mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Rx}*} \mathbf{R}_y^T \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx},T} \otimes \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx},H} \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}}))^{-1} \operatorname{vec}(\mathbf{B}_k),$$

$$\mathbf{F}_{\text{BB},k}^{\hat{\Delta}}(\{\mu_k\}, \lambda) = (\mathbf{E}_k + \mu_k \mathbf{F}_{\text{RF},k}^H \mathbf{F}_{\text{RF},k} + \lambda \mathbf{H}_{\text{eff},k}^H \mathbf{Q}_{\text{BB}}^H \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx},H} \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}} \mathbf{Q}_{\text{BB}} \mathbf{H}_{\text{eff},k})^{-1}$$

$$\times \mathbf{H}_{\text{eff},k}^H \mathbf{Q}_{\text{BB}}^H \mathbf{G}_{\text{eff},k}^H \mathbf{W}_{\text{BB},k}^H \mathbf{\Omega}_k^{-1},$$

$$\mathbf{W}_{\text{BB},k}^{\hat{\Delta}} = \mathbf{F}_{\text{BB},k}^H \mathbf{H}_{\text{eff},k}^H \mathbf{Q}_{\text{BB}}^H \mathbf{G}_{\text{eff},k}^H \mathbf{R}_y^{-1}, \quad \text{and} \quad \mathbf{\Omega}_k^{\hat{\Delta}} = \mathbf{R}_{e,k}^{-1},$$

여기서

$$\mathbf{B}_k \square \sum_{k=1}^{2K} \mathbf{G}_{\text{eff},k}^H \mathbf{W}_{\text{BB},k}^H \mathbf{\Omega}_k \mathbf{F}_{\text{BB},k}^H \mathbf{H}_{\text{eff},k}^H,$$

$$\mathbf{C}_k \square \sum_{k=1}^{2K} \mathbf{A}_k^T \otimes (\mathbf{G}_{\text{eff},k}^H \mathbf{W}_{\text{BB},k}^H \mathbf{\Omega}_k \mathbf{W}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{eff},k}),$$

$$\mathbf{A}_k \square \sum_{j \neq k} \mathbf{H}_{\text{eff},j} \mathbf{F}_{\text{BB},j} \mathbf{F}_{\text{BB},j}^H \mathbf{H}_{\text{eff},j}^H + \sigma_{nr}^2 \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx},H} \mathbf{Q}_{\text{RF}}^{\text{Tx}}, \quad \text{and}$$

$$\mathbf{E}_k \square \sum_{m \neq k} \mathbf{H}_{\text{eff},k}^H \mathbf{Q}_{\text{BB}}^H \mathbf{G}_{\text{eff},m}^H \mathbf{W}_{\text{BB},m}^H \mathbf{\Omega}_m \mathbf{W}_{\text{BB},m} \mathbf{G}_{\text{eff},m} \mathbf{Q}_{\text{BB}} \mathbf{H}_{\text{eff},k}.$$

이와 같이 정의된다.

위 그림 1에서는 고려하는 시스템에서 제안하는 기법의 평균 합전송률 성능을 다른 기법들과 비교한다. 그림에서 확인할 수 있듯, 제안하는 기법이 기존기법 대비 좋은 성능을 보인다. 또한, 상한인 전디지털 기법에 비해 적은 RF 체인을 사용함에도 비교적 비슷한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 mmWave 대역에서 동작하는 다중쌍 양방향 릴레이 시스템에서의 하이브리드 빔포밍 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 우수성을 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 2017R1A2B3012316)

참고 문헌

[1] O. Ayach et al., "Spatially Sparse Precoding in Millimeter Wave MIMO Systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.13, pp. 1499-1513, 2014.