제목: 격자 기반 베이지안 방식의 mmWave 대역 채널 추정

저자: 박주성, 백승환, 황상원, 이인규

소속: 고려대학교 통신 및 인공지능 연구실

요약:
밀리미터파 채널은 sparse한 특성을 지니고 있는데, 이는 beam domain 관점에서 적은 수의 nonzero 항으로 표현된다. 따라서 밀리미터파 채널 추정 문제는 beam domain에서 격자 위의 nonzero 항의 위치 및 크기 추정문제로 볼 수 있다. 추가적으로 이전 상황에서의 path 각도 및 크기와 그 변화하는 양상이 사전정보로 주어진다면 확률정보를 활용하여 채널 추정의 정확도를 증가시킬 뿐만 아니라 모든 영역을 탐색하지 않고 필요한 부분 주위로 탐색을 하여 불필요한 overhead를 줄일 수 있다. 문제는 수신신호 $\mathbf{Y}=\sqrt{P}\mathbf{W}^H\mathbf{HF}+\mathbf{N}$ 에 수신,송신 빔 $\mathbf{W},\mathbf{F}$ 를 알 때, $\mathbf{H}$ 를 추정하는 것으로 벡터화를 통해 $\mathbf{y}=\mathbf{Qh}+\mathbf{n}$ where $\mathbf{y}=vec(\mathbf{Y})\in\mathbf{C}^{N_T^{Beam}N_R^{Beam}\times 1}$, $\mathbf{Q}=\sqrt{P}\left(\mathbf{F}^T\mathbf{A}_T^*\otimes\mathbf{W}^H\mathbf{A}_R\right)\in\mathbf{C}^{N_T^{Beam}N_R^{Beam}\times N_TN_R}$, $\mathbf{h}=vec(\mathbf{H}_b)\in\mathbf{C}^{N_TN_R\times 1}$ 에서 $\mathbf{Q}$ 가 주어졌을 때, $\mathbf{y}$를 통해 $\mathbf{h}$를 추정하는 문제가 된다. 채널 항의 희소성을 이용하기 위해 nonzero 항을 나타내기 위한 indicator로 $\mathbf{s}$ 매개변수를 도입한다. 이후 베이지안 방식에 따라서 MMSE 방식으로 도출된 답은 오른쪽과 같다. $E[\mathbf{h}\,|\,\mathbf{y}]=\int\mathbf{h}P(\mathbf{h}\,|\,\mathbf{y})d\mathbf{h}=\sum_{s\in\Omega}P(\mathbf{s}\,|\,\mathbf{y})\int\mathbf{h}P(\mathbf{h}\,|\,\mathbf{s},\mathbf{y})d\mathbf{h}=\sum_{s\in\Omega}P(\mathbf{s}\,|\,\mathbf{y})E[\mathbf{h}\,|\,\mathbf{s},\mathbf{y}]$ 이 때, 채널 항의 희소성을 이용하여 다음과 같이 표현 가능하며, $\mathbf{y}_{\Omega_1}=\left[\mathbf{Q}_{\Omega_1}\right]_m\mathbf{h}(m)+\mathbf{n}_{\Omega_1}$ 문제는 nonzero 채널 항의 위치를 추정하는 문제와 그 값을 추정하는 문제로 일반성을 잃지않고 나누어지게 된다. 이 때, 계산을 통해 얻은 해답은 다음과 같다.

$$P\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}\,|\,\mathbf{s}_{\Omega_1}=\tilde{\mathbf{s}}_{\Omega_1}\right)=\frac{1}{\pi^{(2\delta+1)^2}\det(\mathbf{\Sigma})}\exp\left(-\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}-\rho h_{\Omega_1,pre}\left[\mathbf{Q}_{\Omega_1}\right]_m\right)^H\mathbf{\Sigma}^{-1}\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}-\rho h_{\Omega_1,pre}\left[\mathbf{Q}_{\Omega_1}\right]_m\right)\right)$$

$$P\left(\mathbf{s}_{\Omega_1}=\tilde{\mathbf{s}}_{\Omega_1}\,|\,\mathbf{y}_{\Omega_1}\right)=\frac{P\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}\,|\,\mathbf{s}_{\Omega_1}=\tilde{\mathbf{s}}_{\Omega_1}\right)P\left(\mathbf{s}_{\Omega_1}=\tilde{\mathbf{s}}_{\Omega_1}\right)}{\sum_{s\in\Omega_1}P\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}\,|\,\mathbf{s}_{\Omega_1}\right)P\left(\mathbf{s}_{\Omega_1}\right)}$$

$$E\left[\mathbf{h}\,|\,\mathbf{s}_{\Omega_1},\mathbf{y}_{\Omega_1}\right]=\left(\rho h_{\Omega_1,pre}+\frac{1}{P+\frac{\sigma_n^2}{1-\rho^2}}\left[\mathbf{Q}_{\Omega_1}\right]_m^H\left(\mathbf{y}_{\Omega_1}-\rho h_{\Omega_1,pre}\left[\mathbf{Q}_{\Omega_1}\right]_m\right)\right)\cdot\mathbf{e}_m$$

$$\hat{\mathbf{h}}=E[\mathbf{h}\,|\,\mathbf{y}]=\sum_{\Omega_l}E\left[\mathbf{h}\,|\,\mathbf{y}_{\Omega_l}\right]$$

$$\hat{\mathbf{H}}_b=\mathrm{vec}^{-1}\left(\hat{\mathbf{h}}\right)$$

$$\therefore\ \hat{\mathbf{H}}=\mathbf{A}_R\left(\Theta_R\right)\hat{\mathbf{H}}_b\mathbf{A}_T^H\left(\Theta_T\right)$$

Acknowledgements: 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 21A20131612106.)