

적응 Sidelobe Canceller에서의 Spatio-temporal 처리구조에 관한 연구

A Study on the Spatio-temporal Processing Structure in Adaptive SLC

김은정* · 문성빈* · 이병섭* · 김진호** · 홍동희**

Eun-Jung Kim* · Sung-Bin Moon* · Byung-Seub Lee*
Jin-ho Kim** · Dong-Hee Hong**

요 약

SLC에 관련된 중요한 문제는 서로 다른 방향에서의 간섭이 증가할수록 SLC의 성능이 저하된다는 것이다. 일반적으로 적응 배열 안테나를 이용하는 SLC에서는 보조소자의 수에 따라 제거할 수 있는 간섭이 제한되어 DOF를 증가시키기 위해서는 보조소자의 수를 늘려야 한다. 그러나 하나의 소자로도 tapped delay line을 이용하여 다중 간섭을 제거할 수 있다. 그러므로 적응 배열 안테나를 거친 출력을 다시 tapped delay line을 가진 적응 필터를 통과시키는 spatio-temporal 구조를 제안하고 이 구조는 적응 배열 안테나의 소자 수를 증가시키지 않고 보다 빠른 수렴속도와 DOF의 증가를 얻을 수 있다.

Abstract

An important problem associated with adaptive sidelobe canceller(SLC) systems is that their performance deteriorates with an increase in jammers arriving from different directions. Generally the number of jammers which can be effectively cancelled is limited by the number of the auxiliary elements in a SLC system. But the single-auxiliary-element with tapped delay line adaptive filter can effectively cancel multiple jammers. Therefore this paper proposed the spatio-temporal processing structure cascading adaptive array and tapped delay line adaptive filter and showed that this could obtain more rapid convergence rate and an increase of DOF without increasing the number of element.

I. 서 론

일반적으로 신호를 수신하는 시스템은 안테나의 sidelobe를 통해 원하지 않는 신호들을 수신하게 되어 SINR 성능의 저하를 가져오게 된다. 이러한 SINR의 저하는 다중경로 환경이나 변화하는 간섭환경에서 더욱더 증가된다. 그러므로 현대 레이더 시

스템에서 방해신호의 억압은 간섭이 많은 환경에서 높은 탐지 성능을 얻기 위해 중요하다. 즉 탐색 레이더는 안테나의 방위각이 옳더라도, 안테나 방사 패턴의 sidelobe에 방해 신호가 수신되어 그 영향을 받게 되는 것이다. 적응 알고리즘은 레이더 시스템에서 적응배열이나 sidelobe canceller 기술을 통해 재머의 효과를 줄일 수 있는 유용한 수단으로 고려되

* 한국항공대학교 항공통신정보공학과(Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Hankuk Aviation University)

** 국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 990823-066

· 수정완료일자 : 1999년 12월 9일

어져 왔다. 따라서 방사 패턴의 부엽을 통해 레이더에 수신되는 방해 신호의 영향을 줄이기 위해서, 적응 시스템은 안테나 패턴을 조절하여 방해 신호의 입사 방향으로 널(null)을 형성시킨다. 이러한 동작은 메인 안테나인 레이더 안테나의 가까운 곳에 보조 안테나인 적응배열 안테나를 설치함으로써 이루어진다^{[1],[5]}.

적응 배열을 이용한 SLC는 일반적으로 간섭의 수가 증가할수록 SLC의 간섭제거능력은 저하되는데 SLC가 효과적으로 제거할 수 있는 간섭의 수는 SLC의 보조소자의 수에 의해 제한된다. 즉 N 개의 보조소자로 N 개의 널을 구동시킬 수 있으므로 최대 서로 다른 방향의 N 개의 신호만을 제거시킬 수 있다. 그러므로 DOF(Degree of Freedom)를 증가시키기 위해서는 보조소자의 수를 증가시켜야 한다.

그러나 DOF를 증가시키기 위해 보조소자의 수를 증가시키는 대신 적응 배열 안테나 각 소자에 tapped delay line을 가지는 적응필터를 이용하는 방법이 제안되었다. 단, 간섭이 서로 다른 주파수를 가져야 하는 상황으로 제한되었다^[6]. 또한 최근 하나의 보조 소자로 tapped delay line을 이용하여 다른 방향으로부터 수신되는 여러 간섭을 제거할 수 있다는 사실이 증명되었다^{[8],[9]}.

그러므로 본 논문에서는 보조소자의 수를 증가시키지 않고 DOF를 증가시키기 위해 적응 배열 안테나를 이용한 spatial processing과 적응 필터를 이용한 temporal processing을 직렬 접속하는 방안을 제안한다.

2장에서는 적응 배열 안테나를 이용한 일반적인 SLC구조와 원리에 관해 살펴보고 3장에서는 tapped delay line을 이용한 SLC에 대해 살펴본다. 그리고 4장에서는 빠른 수렴속도와 DOF를 증가시키기 위해 제안된 spatio-temporal 처리구조를 갖는 SLC에 대해 살펴보고 5장에서는 각 처리구조에 따른 간섭제거 결과를 비교해 보고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 적응배열 안테나를 이용한 Spatial processing

2-1 일반적인 SLC의 원리 및 구조

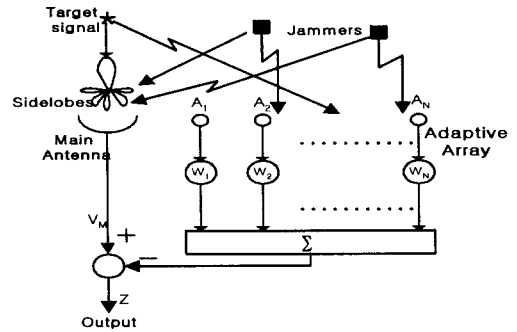


그림 1. 적응 배열 안테나를 이용한 SLC
Fig. 1. SLC using adaptive array antenna.

전형적인 SLC 시스템은 그림 1과 같다. 보조 안테나의 이득은 메인 안테나의 이득 패턴의 평균 sidelobe level에 근사하도록 디자인되어진다^[1].

보조 안테나의 목적은 메인 안테나 방사패턴의 sidelobe에서 제거되어야 하는 방해 신호들의 복제(replica) 신호를 찾아내는 것이다. 따라서, 보조 안테나의 위치는 그것에 수신되는 간섭 신호의 샘플이 레이더 안테나의 sidelobe에 수신되는 간섭 신호와 상관성이 있도록 하기 위해서 레이더 안테나의 phase center에 아주 가깝게 놓여져야 한다. 가중치 W 에 의해서 제어되는 N 개의 보조 안테나들은 방해 신호를 제거하기 위해 메인 안테나의 방사패턴에서 N 개의 널을 구동시킬 수 있어 N 개의 간섭신호를 제거하는데 유효하다. 보조 안테나의 방사 패턴 모양은 가중치 W 에 의해서 결정되어지고, 이러한 가중치는 적절한 수렴 시간을 통해서 생성된다. 그러므로 레이더 안테나에 수신된 신호로부터 보조 안테나에서 수신된 간섭 신호를 적절한 가중치에 의해 빼면 간섭 신호가 제거된 원하는 신호를 얻을 수 있다.

2-2 적응 배열 안테나를 이용한 SLC의 신호 모델

메인 안테나의 신호는 V_M 이고 N 개의 보조 안테나의 신호들을 포함하는 N 차원 벡터 V 와 가중치 벡터 W 는 아래와 같다.

$$V^T = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_N] \quad (1)$$

$$\mathbf{W}^T = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_N] \quad (2)$$

V_M 과 \mathbf{V} 의 샘플들은 N 차원 공분산 행렬 Φ 과 N 차원 상호상관 벡터 \mathbf{R} 로 나타내어질 수 있다.

$$\Phi = E \{ \mathbf{V}^* \mathbf{V}^T \} \quad (3)$$

$$\mathbf{R} = E \{ V_M \mathbf{V}^* \} \quad (4)$$

메인 채널에서 방해 신호의 제거는 V_M 으로부터 방해 신호의 추정치를 뺀으로써 이루어지고, 최적 가중치 벡터 $\hat{\mathbf{W}}$ 은 SLC 출력 Z 의 전력을 최소화 함으로써 결정되어진다.

$$P_z = E \{ |Z|^2 \} = E \{ |V_M - \mathbf{W}^T \mathbf{V}|^2 \} \quad (5)$$

$$= E \{ |V_M|^2 \} - \mathbf{W}^H - \mathbf{W}^T \mathbf{R}^* + \mathbf{W}^H \Phi \mathbf{W} \quad (6)$$

P_z 의 gradient를 취하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \nabla_{\mathbf{W}} P_z &= \left[\frac{\partial P_z}{\partial W_1} \quad \frac{\partial P_z}{\partial W_2} \quad \dots \quad \frac{\partial P_z}{\partial W_N} \right]^T \\ &= 2[\Phi \mathbf{W} - \mathbf{R}] \end{aligned} \quad (7)$$

P_z 가 최소가 되기 위한 \mathbf{W} 는 식 (7)에서의 gradient가 0이 되는 해로 구해진다.

$$\hat{\mathbf{W}} = \mu \Phi^{-1} \mathbf{R} \quad (8)$$

SLC를 사용할 때의 성능은 간섭 신호의 제거 비 (CR : Cancellation Ratio)로써 나타내어지고, 이는 보조 안테나가 존재할 때와 존재하지 않을 때의 출력 잡음 전력의 비율로 정의된다.

$$\begin{aligned} CR &= \frac{E \{ |V_M|^2 \}}{E \{ |V_M - \hat{\mathbf{W}}^T \mathbf{V}|^2 \}} \\ &= \frac{E \{ |V_M|^2 \}}{E \{ |V_M|^2 \} - \mathbf{R}^H \Phi^{-1} \mathbf{R}} \end{aligned} \quad (9)$$

III. Tapped delay line을 이용한 Spatio-temporal processing

3-1 Tapped delay line을 이용한 SLC 구조

효과적으로 제거될 수 있는 간섭의 수는 SLC시

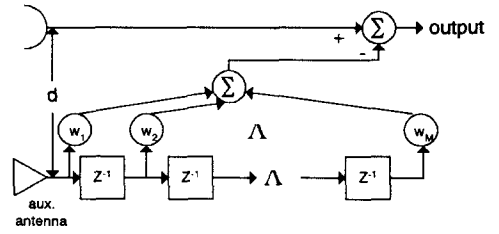


그림 2. 하나의 보조소자를 가지는 Frost 구조의 SLC
Fig. 2. SLC of Frost beamformer with a auxiliary element.

스텝의 보조소자의 수에 달려 있다. 그러나 최근에 하나의 보조안테나로 다른 방향으로부터의 여러 개의 간섭을 제거할 수 있는 사실이 증명되었다^[8]. 즉 서로 다른 방향으로부터 수신되는 간섭들은 null에 의해 제거되지만, 그들간의 상호작용에 의해서 또한 제거될 수 있다.

그림 2는 보조소자에 tapped delay line이 연결되어 있는 구조로 spatio-temporal processing을 동시에 행하는 Frost의 구조와 동일하다^[10].

하나의 보조소자를 가지므로 $M-1$ 개의 탭을 연결할 경우 M 개의 가중치가 요구되며 N 개의 보조소자로 확장될 경우 NM 개의 가중치가 요구된다.

3-2 신호 모델 및 제거 메커니즘

그림 2와 같이 하나의 보조소자를 가지는 SLC시 스텝에서 K 개의 협대역의 간섭만이 각각 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ 로 수신되고 있다고 생각하면 각 간섭신호는 식 (10)과 같다^[8].

$$J_i(t) = A_i \exp \{ j(\omega_0 t + \phi_i) \} \quad (10)$$

여기서 ϕ_i 는 간섭신호의 random한 위상이다.

메인 안테나와 보조안테나의 입력은 협대역 신호들의 합으로 각각 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_0(t) = \sum_{i=0}^k J_i(t) = B_0 \exp \{ j(\omega_0 t + \phi_0) \} \quad (11)$$

$$x_1(t) = \sum_{i=0}^k J_i(t - \delta_i) = B_1 \exp \{ j(\omega_0 t + \phi_1) \} \quad (12)$$

이때 B_0 와 B_1 , ϕ_0 와 ϕ_1 은 각 합성된 신호의 크기와 위상을 나타내며 i 번째 간섭의 메인 안테나와 보조 안테나간의 시간 지연을 나타낸다.

LMS나 Howells-Applebaum 알고리즘이 사용되었다고 가정하고 식 (8)에 의해 구해진 정상상태의 가중치, array factor $C(\theta)$ 그리고 수렴 후 최종 출력은 각각 아래와 같다.

$$w_{st} = B_1^{-2} B_0 B_1^* \exp[-j(\phi_0 - \phi_1)] = (B_0/B_1) \exp[-j(\phi_0 - \phi_1)] \quad (13)$$

$$C(\theta) = 1 - w_{st} \exp[j\psi(\theta)] \quad (14)$$

$$y(t) = \sum_{i=0}^k C(\theta) J_i(t) = \sum_{i=0}^k J_i(t) \{1 - w_{st} \exp[-j\psi(\theta_i)]\} = X_0(t) - w_{st} X_1(t) = 0 \quad (15)$$

$$y(t) = C(\theta_1) J_1(t) + C(\theta_2) J_2(t) + \dots + C(\theta_K) J_K(t) = 0 \quad (16)$$

그러므로 DOF의 수는 간섭의 수보다 적음에도 불구하고 하나의 보조 안테나를 가진 SLC가 서로 다른 방향으로부터 수신되는 여러 개의 간섭을 제거할 수 있음이 명백하다.

식 (15)를 다시 식(16)과 같이 표현할 수 있는데 DOF가 간섭의 수보다 적은 경우 식 (16)에서의 어떤 성분은 0이 아닐 수 있으며 합이 0이 된다는 의미는 0이 아닌 성분들이 서로 출력을 최소화하기 위해 상쇄하게 된다. 이러한 제거 메커니즘을 적응 상호작용(adaptive interaction)이라고 말할 수 있으며 가중치는 적응 알고리즘에 의해 제어되어 적응 상호작용은 단일 보조 소자를 가진 SLC로 하여금 여러 개의 간섭을 제거할 수 있도록 해준다.

IV. 제안된 직렬접속구조의 Spatio-temporal processing

4-1 제안된 Spatio-temporal processing의 SLC 구조

그림 3은 제안된 spatio-temporal (이하 S-T) 처리를 이용한 SLC 구조를 나타낸 것이다. 이 제안된

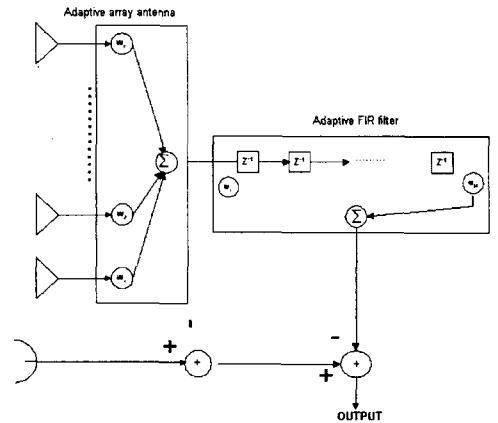


그림 3. 제안된 S-T processing SLC
Fig. 3. Proposed S-T processing SLC.

구조는 spatial processing과 temporal processing을 직렬 접속한 구조이다.

적응 배열을 통과한 신호는 다시 적응 필터를 통과하게 되는데 적응 배열을 통과한 출력은 배열의 수만큼 서로 다른 방향으로부터 수신되는 간섭이 제거된 신호이며 제거되지 못한 신호를 필터를 이용해 다시 한번 적응시킴으로써 더욱 빠른 수렴속도를 얻으며 또한 적응배열안테나의 수에 제한된 DOF를 증가시킬 수 있다.

4-2 제안된 S-T구조에서의 신호 모델

그림 3과 같이 N개의 보조 안테나와 M개의 tap을 갖는다고 가정하면 제안된 S-T구조는 총 N+M개의 가중치가 요구된다. 적응 배열 안테나를 통과한 신호의 출력 Z 는 식 (5)와 같으며 j 시각에서의 각 tap을 거친 참조 신호 벡터 V_j 와 적응 FIR 필터의 가중치벡터 W_j 는 아래와 같다.

$$V_j^T = [V'(j) \ V'(j-1) \ \dots \ V'(j-M+1)] \quad (17)$$

$$W_j^T = [W_1'(j) \ W_2'(j) \ \dots \ W_M'(j)] \quad (18)$$

적응배열 안테나를 통과한 출력에 남아있는 간섭을 제거하기 위해 적응필터의 가중치에 의해서 출력 Z' 의 전력을 최소화하며 이는 앞의 2, 3절과 같은 동작을 갖는다. 적응 필터를 거친 출력전력 P_z 은

식 (19)와 같다.

$$P_z = E\{|Z'|^2\} = E\{Z - \mathbf{W}'^T \mathbf{V}'|^2\} \quad (19)$$

V. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션 모델은 앞 절에서 설명된 일반적인 spatial processing을 이용한 SLC, Frost Beamformer를 이용한 SLC, 직렬접속한 spatio-temporal SLC의 세 가지 구조이다. 시뮬레이션 환경은 표 1과 같으며 시뮬레이션에 대한 간섭신호는 CW신호로 제한하였고 각 간섭에 대한 INR은 20 dB이다. 가중치 갱신 알고리즘은 Howells-Applebaum 알고리즘을 이용하였다. 그리고 각 구조에 대한 성능평가는 간섭제거비(Cancellation Ratio : CR)에 의해 평가한다.

각 processing에 따라 시뮬레이션을 행한 구조를 분류하면 아래와 같다.

- (a) 1개의 보조소자를 가지는 spatial processing 구조의 SLC
- (b) 1개의 보조소자에 3개의 tap이 연결된 구조로 하나의 배열을 가지는 Frost 구조의 SLC
- (c) 1개의 보조소자와 3개의 tap을 가진 적응필터가 직렬접속된 spatio-temporal processing 구조의 SLC

그림 4는 (a)구조에서 간섭 수에 대한 간섭제거비를 나타낸 것이다. 1개의 보조안테나로 구성되어 있으므로 최대 1개의 간섭만을 제거할 수 있다. 1개의 간섭만이 존재할 경우 약 900번째 샘플에서부터 10 dB 이상의 간섭제거비를 보이며 정상상태에서의 간섭제거비는 30 dB 이상으로 이는 간섭이 거의 제

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. simulation environment.

SLC배열 개수	1
Tapped delay line	3
메인안테나의 mainlobe방향	0°
간섭신호수	1, 2, 3
간섭신호방향	60°, -45°, -20°

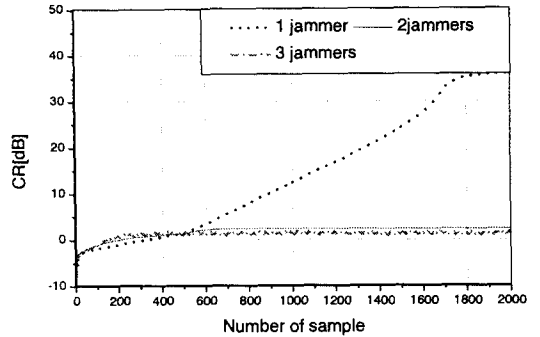


그림 4. Spatial processing SLC에서의 간섭 수에 따른 간섭제거비

Fig. 4. CR by the number of jammer in spatial processing SLC.

거됨을 알 수 있다. 2개 이상의 간섭이 존재하는 경우 이에 대한 간섭제거비는 3 dB를 넘지 못하는 결과를 보인다. 즉 2개 이상의 간섭은 제거하지 못함을 알 수 있다.

그림 5는 (b)구조에서 간섭 수에 대한 간섭제거비를 나타낸 것이다. 이 구조는 1개의 간섭이 존재하는 경우 (a)구조에 비해 제거능력이 떨어짐을 보이나 2개 이상의 간섭이 존재할 경우 10 dB 이상의 간섭제거비를 가지며 어느 정도 간섭이 제거됨을 볼 수 있다.

그림 6은 (c)구조에서 간섭 수에 대한 간섭제거비를 나타낸 것이다. 하나의 간섭신호가 존재할 경우 15 dB의 간섭제거비가 되는 샘플수를 비교해볼

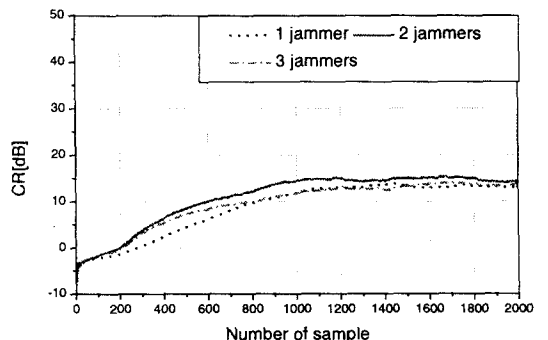


그림 5. Frost 구조를 갖는 SLC에서의 간섭 수에 따른 간섭제거비

Fig. 5. CR by the number of jammer in SLC of Frost beamformer.

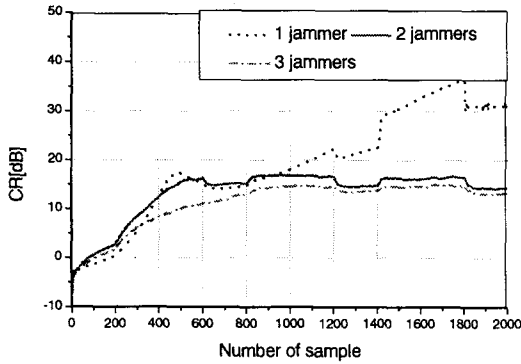


그림 6. 직렬접속된 S-T processing SLC에서의 간섭 수에 따른 간섭제거비

Fig. 6. CR by the number of jammer in cascaded S-T processing SLC.

때 (a),(b)의 구조에 비해 (c)의 구조가 빠른 수렴 속도를 나타낸다. 또한 2개 이상의 간섭이 존재할 경우 만족할만한 간섭제거 성능을 보인다.

그림 7은 서로 다른 방향에서 수신되는 간섭이 2개일 때 각 구조에 대한 간섭제거비를 비교하기 위해 나타낸 것이다. (a)구조의 경우는 간섭을 완전히 제거하지 못하고 (b)와 (c)의 경우 간섭이 제거되며 수렴속도에 있어서는 (b)의 구조는 약 1,000번째 샘플에서 정상상태에 가까이 가기 시작하는데 (c)의 구조는 약 600번째 샘플에서 정상상태에 가까이 가기 시작하여 Frost구조인 (b)보다 (c)구조의 수렴속도가 빠르며 제거 성능도 좋음을 알 수 있다.

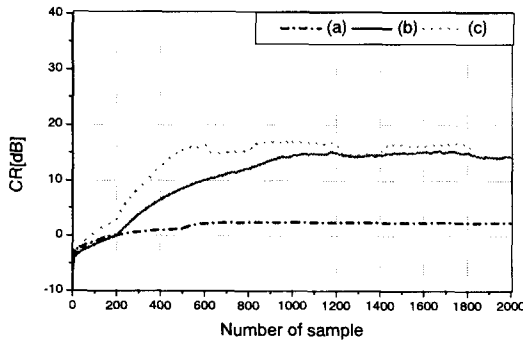


그림 7. 간섭이 2개일 때 각 처리방법에 따른 간섭제거비 비교

Fig. 7. Comparison of CR by the processing method for 2 jammers.

표 2. 수렴후 간섭제거비[dB]

Table 2. Cancellation ratio in steady-state.

	1 jammer	2 jammers	3 jammers
(a)	32.09	2.33	1.23
(b)	14	16.09	15.26
(c)	44.41	17.10	15.33

표 2는 간섭 수에 따른 각 구조에 대한 수렴후의 CR(Cancellation Ratio)을 dB로 나타낸 것이다. 본 논문에서는 3,000번째의 샘플에서의 가중치에 의한 간섭제거비를 나타내었다. 1개의 간섭만이 존재하는 경우 (a)의 구조가 (b)의 구조에 비해 CR이 더 높으나 2개 이상의 간섭부터는 (a)의 구조가 다른 방향으로부터 수신되는 간섭을 하나 이상 제거하지 못하므로 CR이 급격히 떨어짐을 볼 수 있다. 그리고 제안된 (c)의 구조의 경우를 살펴보면 다른 두 경우에 비해 높은 CR을 가지므로 간섭제거성능이 좋을 수 있다.

VI. 결 론

일반적으로 서로 다른 방향으로부터 수신되는 간섭을 제거하기 위해 적응배열로 이루어진 구조가 제안되었으며 이 구조가 제거할 수 있는 간섭의 수는 배열의 수에 의해 제한된다. 시뮬레이션 결과 하나의 보조소자를 가지는 SLC의 경우 최대 1개의 간섭만을 제거할 수 있음을 확인하였다. 적응 배열 시스템에서 DOF를 증가시키기 위해서는 소자의 수를 증가시켜야 하므로 소자 증가로 인한 비용의 부담이 큰 경우 문제가 발생한다.

그러나 하나의 보조소자에 3개의 tapped delay line을 연결하여 spatial & temporal processing이 동시에 이루어지는 SLC구조를 이용해 2개의 간섭이 존재하는 경우에도 16.09 dB의 간섭 제거비를 얻을 수 있었다. 이는 보조 소자수를 증가시키지 않고도 tapped delay line을 이용해 DOF를 증가시킬 수 있음을 볼 수 있었다.

본 논문에서는 적응 배열 구조의 spatial processing으로 제거되지 못한 간섭들을 다시 적응 필터를 이용하여 제거할 수 있는 직렬 접속된 spatio-temporal

poral processing 구조를 제안하였는데 3개의 tapped delay line을 가진 적응 필터를 하나의 보조소자를 가지는 SLC에 직렬 접속하여 동일한 환경에서 다른 두 구조에 비해 수렴속도와 간섭제거에 있어서 더 좋은 성능을 얻을 수 있었다.

또한 배열안테나 소자수 이상의 간섭을 제거함으로써 배열안테나의 소자수에 제한 받는 DOF를 증가시키는 결과를 가져왔다.

그러므로 적응 SLC구조에서의 보조안테나의 수를 증가시키는 대신 적응필터를 이용하여 DOF를 증가시킬 수 있으며 수렴속도의 성능도 개선될 수 있다. 만약 소자의 수를 증가시키는 경우의 경제적 부담이 더 크다면 제안된 직렬접속된 spatio-temporal processing의 구조가 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Bernar, Samuel D. Stearns, *Antenna-Based Signal Processing Techniques for Radar System*, Atech House, 1992.
 [2] Edmond Nicolau, Dragos Zaharia, *Adaptive Arrays*, Elsevier, 1989.
 [3] R. T. Compton, *Adaptive Antennas -Concept and Performance*, Prentice Hall, 1988.
 [4] W. E. Rodegers, R. T. Compton, JR., "Adaptive Array Bandwidth with Tapped Delay-Line Processing", *IEEE trans, on Aerospace*

& Electronic System, vol. AES-15, no. 1, Jan., 1979.
 [5] Warren D. White, "Wideband Interference Cancellation in Adaptive Sidelobe Cancellers" *IEEE trans, on Aerospace & Electronic System*, vol. AES-19, no. 6, Nov., 1983.
 [6] Yeh, Chien-Chung, Honge, young J., Ucci R. R., "Use of The Tapped Delay Line Adaptive Array to Increase The Number of Degrees of Freedom for Interference Suppression", *IEEE trans, on Aerospace & Electronic System*, vol. AES-23, no. 6, Nov., 1987.
 [7] Mathew W. Ganz, "Rapid Convergence by Cascading Applebaum Adaptive Arrays", *IEEE. Trans. on Aerospace & Electronic System*, April, 1994.
 [8] Jiangtao Xi, Joe F. Chicharo, "Performance of Single-auxiliary-element Adaptive Sidelobe Cancellers for Multiple Jammer Environment", *International Journal of Electronics*, vol. 76, no. 6, 1994.
 [9] Jiangtao Xi, Joe F. Chicharo, "The Cancellation Mechanism in Adaptive Sidelobe Cancellers", *International Journal of Electronics*, vol. 79, no. 1, 1995.
 [10] O. L. Frost, III, "An algorithm for Linearly constrained adaptive array processing." *Proceedings of IEEE*, vol. 60, no. 8, Aug., 1972.

김 은 정

1975년 10월 2일생

1994년 3월~1998년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보 공학과(공학사)

1998년 3월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (석사과정)

[주 관심분야] 신호처리, Adaptive Array

문 성 빈

1972년 10월 7일생

1991년 3월~1999년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보 공학과(공학사)

1999년 3월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보 공학과 (석사과정)

[주 관심분야] 신호처리, Adaptive Array

이 병 섭

1957년 1월 1일생

1979년 2월: 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)

1981년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학석사)

1981년 2월~1992년 1월: 한국전자통신연구소

1990년 5월: New Jersey Institute of Technology(공학박사)

1992년 9월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과 부교수

[주 관심분야] 위성통신, 신호처리, Adaptive Array

홍 동 희

1957년 2월 9일생

1979년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)

1981년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1987년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1987년 3월~현재: 국방과학연구소

[주 관심분야] Phased Array Antenna, 레이더, Adaptive Array

김 진 호

1965년 2월 25일생

1988년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학사)

1990년 2월: 아주대학교 전자공학과(공학석사)

1990년 3월~현재: 국방과학연구소

[주 관심분야] 신호처리, Adaptive Array