

시변 다중 신호원의 DOA 추정 및 신호 취득에 대한 고찰 에

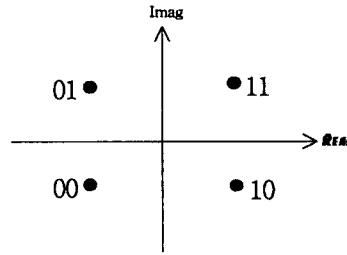
권순만, 이종무, 박민국, 김석주, 김춘경
한국전기연구원

A Consideration on the DOA Estimation and Signal Copy for Multiple Moving Sources

S. Kwon, J. Lee, M. K. Park, S. J. Kim, and C. K. Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문은 공간상에서 움직이는 다중신호원의 신호 도달 방향 추정과 신호원이 보낸 신호를 다중 센서 어레이를 이용하여 판별하는 문제를 다룬다. 일반적으로 정지하고 있는 신호원의 방향 추정은 어레이에서의 출력 방정식의 방향 벡터들이 시불변인 상수이기 때문에 잡음환경 하에서도 샘플링된 벡터(Snapshot) 수가 늘어날수록 훨씬 정확하게 방향 추정이 가능하지만 신호원이 움직이는 경우에는 신호원의 방향이 변하게 되어 결국 어레이 방정식의 방향 벡터들이 시변이므로 추정값의 분산(variance)이 커지게 되어 정확한 추정이 어렵게 된다. 이러한 경우에 대한 정량적인 분석 예는 드물어 실제 여러 가지 추정 기법들의 특성이 어떻게 나타나는지 가능하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 경우에 대한 시나리오 예를 설정한 후 이 시나리오에 따른 랜덤 가우시안 잡음 하에서의 수치 데이터 모델을 생성하여 수신기에서는 마지의 값인 이 데이터에 대해 기존의 DOA 추정 기법을 이용하여 추정을 수행하여 그 정량적인 결과들을 계산해 봄으로써 시변인 경우에서의 그 성능을 판단해 보기로 한다.

는 경우를 가정한 데이터이다. 따라서 여기서는 DOA 추정과 함께 전송하는 데이터도 알아내야 한다. 이때 신호통신은 QPSK이고 신호의 constellation map은 다음과 같다.



<그림 2> 신호 Constellation Map

1. 서 론

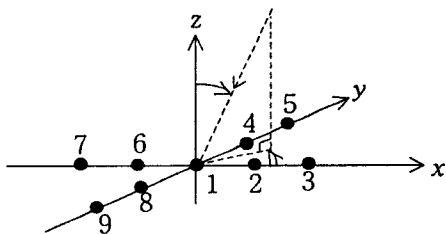
센서 어레이(sensor array)는 멀리 떨어진 신호원의 방향을 추정하여 추정된 방향 벡터를 이용하여 그 신호원이 전송하는 신호를 잡음대 신호의 비(SNR) 관점에서 최적으로 수신할 수 있는 효과적인 수단인 하나이다. 이러한 센서 어레이는 일상생활에 보편화되어 있는 다중 송신 형태의 무선 통신이나 레이더 등에 활발히 적용이 시도되고 있다[1][2].

무선통신의 경우 센서 어레이를 적용함으로써 채널용량(channel capacity)을 증대시킬 수 있으며 레이더의 경우 다중 목표를 동시에 추적할 수 있어 효율적이다. 그러나 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 복잡한 실시간 신호처리 과정을 필요로 하므로 강력한 연산능력을 가진 컴퓨터가 필요하게 된다.

2. 본 론

2.1 시나리오 및 데이터 생성

본 논문에서 적용하는 시나리오는 다음과 같다. 먼저 공간상에 M개(M의 값은 알려져 있지 않음)의 움직이는 신호원이 있으며 잡음은 균일하게 공간상에 등방형으로 분포한다고 가정한다. 이러한 경우에 대한 좌표계는 다음 그림 1과 같이 나타낼 수가 있는데 센서 어레이는 그림에서 점으로 표시한 바와 같이 9개의 센서로서 구성되며 알려지지 않은 이득(gain)과 위상(phase) 오차가 어레이 manifold상에 존재한다고 가정한다.



<그림 1> 어레이 구조

데이터는 SNR=10dB인 경우를 적용하여 9x160 크기의 데이터를 다음 Z와 같이 생성하였다.

$$Z = [z(1) z(2) \dots z(160)]. \quad (1)$$

이 식에서 $z(\cdot)$ 는 9x1 벡터를 나타내며 따라서 매트릭스 Z는 9개의 센서에서 샘플링된 160개의 snapshot을 나타낸다.

- 이 데이터를 생성한 조건은 다음과 같다.
- 1) 이 매트릭스의 첫 32개의 벡터는 모든 신호원이 $\theta=0$ 인 지점에 놓여 있을 때를 가정하여 생성되었다. 따라서 이 데이터를 어레이 조정(calibration)에 이용하도록 한다.
 - 2) 33번째 벡터부터 64번째 벡터까지는 신호원들이 움직이고 있는 경우를 나타낸다. 따라서 이 데이터를 이용하여 DOA를 찾도록 한다.
 - 3) 65번째 데이터부터 끝까지에서는 신호원이 움직이면서 데이터를 전송하

2.2 어레이 조정 및 신호원 수 추정

먼저 이 경우의 신호 모델은 다음 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$z(k) = \sum_{m=1}^M d(\theta_m) s_m(k). \quad (2)$$

여기서 $d(\theta_m)$ 과 $s_m(k)$ 는 각각 k번째 샘플링된 m번째 신호원의 방향벡터와 그 신호원이 전송하는 신호의 값을 나타낸다.

어레이 조정은 두 가지 방법으로 수행한다. 첫 번째 방법은 샘플링된 매트릭스의 샘플 분산 매트릭스(Sample Covariance Matrix)를 eigendecomposition하는 방법이며 두 번째 방법은 [4]에서 제안한 추정법을 이용하는 것이다. 본 논문에서 계산한 결과는 SNR이 커지면 커질수록 두 값은 점점 더 가까워짐을 알 수 있었다. 이 계산결과는 다음과 같다.

```
>>
>>
>> load 'final94.mat';
>> calarray(z)
ans =
1.0000
1.0994 + 0.0328i
1.1459 + 0.0533i
0.9915 + 0.1154i
1.0182 + 0.2152i
0.9126 + 0.0054i
0.7863 + 0.0089i
0.8900 - 0.0880i
1.0006 - 0.1714i
```

<그림 3> 어레이 조정 벡터값 계산 결과

신호원 수 추정은 시행착오를 거쳐야 한다. 먼저 9x19 크기를 갖는 sliding 데이터 창에 대해 1,2차원 MVDR(Minimum Variance Distortionless Response) 추정을 수행한다. 여기서 벡터 개수를 19로 한 것은 MVDR 스펙트럼의 sharpness를 판단하여 선정한다. 또한 일반적으로 공분산(covariance) 추정의 goodness를 보장하기 위해서는 센서수의 2배내지 5배 정도의 snapshot 수가 좋다고 알려져 있다[3][4]. 그러나 이것은 신호원이 정지해 있을 경우를 말하며 본 논문에서 고려하는 시나리오에서는 신호원이 움직이고 있으므로 이 점을 고려하여 센서수의 2배(18)보다 약간 큰 값인 19를 선택하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

MVDR 및 MUSIC의 스펙트럼은 다음 식(3)과 (4)로 주어진다[5][6].

$$MVDR_{\text{spectrum}} = \frac{1}{d^H(\theta) R^{-1} d(\theta)} \quad (3)$$

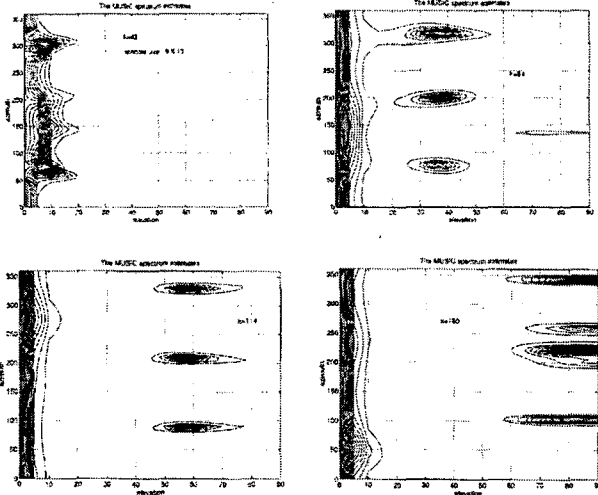
$$MUSIC_{\text{spectrum}} = \frac{1}{d^H(\theta) U_2 U_2^H d(\theta)}. \quad (4)$$

여기서,

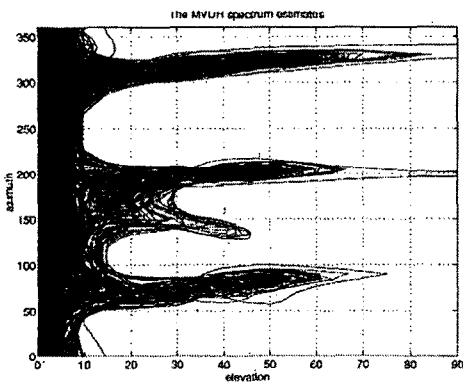
$$\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K z(k)z^*(k) = [U_1 \ U_2] \begin{bmatrix} \lambda_1 & \dots & \dots \\ \dots & \lambda_M & \dots \\ \dots & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이다.

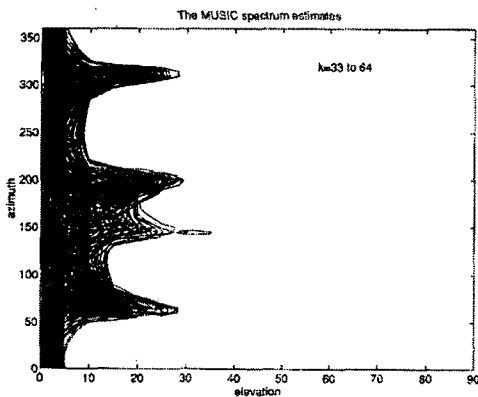
19개의 데이터 창을 주어진 데이터 매트릭스상에서 움직여 가면서 스펙트럼을 평가하는 Exhaustive Searching에 의해 결국 4개의 신호원이 존재한다는 것이 판명된다. 이러한 신호원의 추적은 샘플 데이터의 공분산 매트릭스의 스펙트럼에서의 피크(peak) 값의 움직임으로 표시되며 다음 그림4에 나타낸 그림들에서 볼 수 있는 바와 같이 MVDR 스펙트럼이나 MUSIC 스펙트럼에서의 피크값들의 추적과 같게 된다. 다음 그림5는 $k=33, 34, \dots, 160$ 에 대한 MVDR 스펙트럼 추정값의 추적을 나타내고 있으며 그림 6, 7은 $k=33, 34, \dots, 64$ 및 $k=33, 34, \dots, 160$ 에 대해 계산한 MUSIC에 의한 스펙트럼 추정값을 나타낸다.



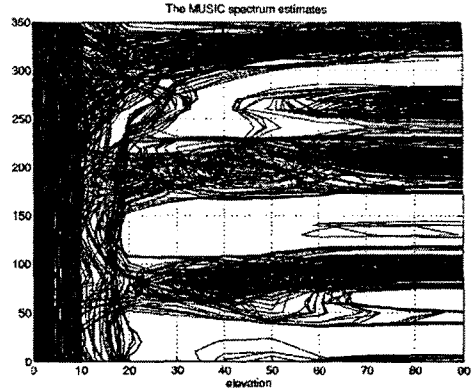
〈그림 4〉 k에 따른 MUSIC 스펙트럼 추정 궤적 변화



〈그림 5〉 MVDR 스펙트럼 추정 궤적($k=33, \dots, 160$)



〈그림 6〉 MUSIC 스펙트럼 추정 궤적($k=33, \dots, 64$)



〈그림 7〉 MUSIC 스펙트럼 추정 궤적($k=33, \dots, 160$)

그림 5와 7에서 볼 수 있는 바와 같이 같은 데이터에 대해 MVDR 스펙트럼과 MUSIC 스펙트럼 추정값의 모양이 다르게 나타난다. 그러나 이 두 경우에 대해 스펙트럼의 피크값을 계산해 보면 거의 같은 값을 나타낸다.

2.3 방향 추정(DOA Estimation)

신호가 입사하는 방향은 결국 앞의 그림에서 나타낸 네 개의 신호원의 스펙트럼 각각에 대해 최대값을 찾는 것이 된다. $k=33, \dots, 64$ 에 대한 계산결과는 다음 표 1과 같이 나타난다.

〈표 1〉 DOA 추정값($k=33, \dots, 64$)

k	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
33	100.6	100.6	280.6	280.6	-0.377	-0.377	-0.377	-0.377
34	70.5	70.5	250.5	250.5	-0.657	-0.657	-0.657	-0.657
35	69.1	69.1	249.1	249.1	-0.523	-0.523	-0.523	-0.523
...
60	218.2	66.1	191.8	310.0	1.094	21.10	19.77	17.96
61	239.9	66.0	191.7	309.7	1.445	21.11	19.88	18.22
62	265.2	66.0	192.4	310.1	2.193	21.77	20.18	18.71
63	273.7	66.1	194.6	310.6	2.783	21.92	21.72	20.20
64	279.4	65.9	194.1	310.9	3.265	23.09	21.79	20.73

2.4 신호 추정(Signal Copy)

신호추정은 DOA 추정과 같이 이루어진다. 각 $k=65, \dots, 160$ 의 값에 대해 DOA를 추정한 다음 beamforming을 통해 신호값을 추정한다. 이에 대한 최종 추정결과는 다음 그림 8과 같다.

```
>>
>> load 'sh1.dat';
>> load 'sh2.dat';
>> load 'sh3.dat';
>> load 'sh4.dat';
>>
>> ascii(sh1)
congratulations! you are
>> ascii(sh2)
now an expert in statis
>> ascii(sh3)
tical signal processing
>> ascii(sh4)
for sensor ajeqq?
>>
>>
```

〈그림 8〉 신호 추정 결과

신호추정 결과의 끝부분을 보면 전송정보를 정확히 추정하지 못하고 있는 것을 알 수 있는데 이것은 추정을 위한 추가 데이터($k=161, \dots$)가 없기 때문이다.

3. 결 론

시변 신호원을 가정한 시나리오에 대해 실제 데이터를 생성하여 MUSIC의 추정성능을 정량적으로 계산하여 보았다. 결과적으로 비교적 느린 시변(Slowly Time-varying) 신호원의 경우에 대해서도 이 추정기법은 좋은 성능을 나타냄을 보여 주었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Louis L. Scharf, Statistical Signal Processing, Addison Wesley, 1991.
- [2] Steven M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing Volume II Detection Theory, Prentice Hall, 1998.
- [3] E. J. Kelly, "An Adaptive Detection Algorithm", IEEE Trans. on AES, Vol. AES-22, No. 1, pp.115-127, 1986.
- [4] D. R. Fuhrmann, "Estimation of Sensor Gain and Phase", IEEE Trans. on SP, Vol. 42, No. 1, 1994.
- [5] R. Kumaresan and D. W. Tufts, "Estimating the Angles of Arrival of Multiple Plane Waves", IEEE Trans. on AES, Vol. AES-19, No. 1, 1983.
- [6] R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans. on AP, Vol. AP-34, No. 3, 1986.