

계층형다항식분류기를 리용한 자동 변조방식분류의 한가지 방법

김광, 왕상덕

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 발전된 나라들에서 이룩한 과학기술의 성과를 널리 받아들이고 그것을 더욱 발전시킴으로써 최신과학기술의 높은 봉우리를 빨리 점령하여야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 142페이지)

자동변조방식분류(AMC)[2]는 수신된 신호의 변조형태를 자동적으로 식별하는 과정으로서 신호검출과 복조의 중간공정에 놓인다.

최근년간 AMC에 대한 연구가 광범히 진행되어 현대통신체계의 여러 응용에 리용되고있다. 실례로 인지무선체계[1]에서 AMC는 신호의 스펙트르에서 신호형태를 식별하여 가능한 스펙트르의 효과적리용으로 스펙트르리용률을 높인다.

AMC알고리즘은 두가지 방식 즉 최대우도법에 기초한 방식과 특징추출에 기초한 방식으로 나눈다.

최대우도법은 복잡한 계산공정을 거치며 위상이나 주파수편이, 임펄스잡음이 섞이는 경우 그 성능이 떨어지게 된다.

특징추출에 기초한 방식[2]은 실현이 쉽고 정확한 특징만 선택한다면 최대우도법과 아주 유사한 성능을 나타낸다. 특징값을 어떻게 선택하는가 하는것은 식별하려는 변조방식과 분류기류형선택의 영향을 받으며 체계성능에 영향을 준다.

선행연구[3]에서는 다항식분류기를 하나만 리용하였기때문에 고찰하는 변조방식이 늘어남에 따라 체계성능이 상당히 떨어지는 결함이 있다. 즉 계층형이 아닌 다항식분류기는 그 분류정확도가 떨어진다.

본문에서는 한번에 두가지 유형의 변조방식만 분류하는 2진다항식분류기를 나무구조로 배열하여 리용하는 계층형다항식분류알고리즘을 제안하였다.

1. 계층형다항식분류기구성

신호가 느린 평탄웨이딩통로를 거쳐 전파된다고 보면 이것은 실제적인 통로조건과 아주 유사하다. 그러므로 기초대역의 불변속수신신호는 평탄웨이딩환경에서 백색가우스잡음(AWGN)의 영향을 받아 다음과 같이 표현된다.

$$y_n = h_n x_n + w_n, \quad n=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

여기서 x_n 은 불변속전송신호이고 w_n 은 양쪽전력스펙트르밀도가 $N_0/2$ 인 령평균백색가우스잡음, h_n 은 레일리 혹은 라이스분포를 따르는 복소통로리득값, N 은 매 프레임의 전송기호개수이다.

전송신호 x_n 은 L 개의 가능한 변조방식에 의하여 변조된다.

본문에서는 BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM의 6가지 변조방식을 고찰하

였으므로 $L=6$ 이다. 그리고 잡음분산을 미리 알고있거나 수신측에서 추정할수 있다고 가정하였다.

수신된 신호는 레일리 혹은 라이스웨이팅의 다중경로영향으로 진폭의 크기와 위상이 변화되게 된다. 또한 수신기와 송신기의 상대이동은 주파수에서의 편이를 산생시키며 이것이 수신된 신호의 도플러편이로 나타나게 된다.

론문에서는 분류기에 가해지는 특징량으로서 수신신호를 통계적으로 처리하여 얻어진 고차루적량(HOC: High Order Cumulant)을 리용한다. 일반적으로 HOC는 신호의 고차모멘트(HOM: High Order Moment)의 함수로 표현된다.

표 1에 HOC와 HOM사이의 관계를 보여주었다.

표 1. 고차루적량(HOC)과 고차모멘트(HOM)사이의 관계		
루적량	HOC	HOM
2차루적량	C_{20}	M_{20}
	C_{21}	M_{21}
	C_{40}	$M_{40} - 3M_{20}^2$
4차루적량	C_{41}	$M_{40} - 3M_{20}M_{21}$
	C_{42}	$M_{40} - M_{20} ^2 - M_{21}^2$
	C_{60}	$M_{60} - 15M_{20}M_{40} + 3M_{20}^3$
	C_{61}	$M_{61} - 5M_{21}M_{40} - 10M_{20}M_{41} + 30M_{20}^2M_{21}$
6차루적량	C_{62}	$M_{62} - 6M_{20}M_{42} - 8M_{21}M_{41} - M_{22}M_{40} + 6M_{20}^2M_{22} + 24M_{21}^2M_{20}$
	C_{63}	$M_{63} - 9M_{21}M_{42} + 12M_{21}^3 - 3M_{20}M_{43} - 3M_{22}M_{41} + 18M_{20}M_{21}M_{22}$

표 1에서 복소값우연변수 y 에 대하여 모멘트 M_{pq} 는 다음과 같이 정의된다.

$$M_{pq} = E[y^{p-q}(y^*)^q] \quad (2)$$

여기서 y^* 은 y 의 공액복소수, q 는 공액신호 y^* 의 제곱수이다.

따라서 HOM은 다음과 같이 얻는다. 실례로 M_{63} 은

$$M_{63} = E(y^3(y^*)^3)$$

이다. 여기서 $E(\cdot)$ 은 수학적기대값이다.

HOC를 다시 축소하기 위하여 특징량을 표준화하며 이때 매 루적량값은 $2/p$ 제곱으로 된다. 여기서 p 는 루적량의 차수이다. 실례로

$$\hat{C}_{42} = C_{42}^{1/2}, \hat{C}_{63} = C_{63}^{1/3}$$

으로 표시된다.

복소값우연변수 y 의 p 차모멘트가 복소수가 아니라 실수로 되는 특징을 리용하면 연산량을 줄일수 있으며 루적량의 크기만 관심하면 별자리편이영향을 적게 받을수 있다. 이러한 두가지 사실을 리용하면 체계성능을 높일수 있다.

특징량을 추출한 다음에는 어떤 분류기를 선택하는가 하는것이 중요한 문제로 나선다.

현재 자동변조방식분류에서 리용되는 분류기에는 여러가지 종류가 있는데 여기서 가장 계산량이 적고 속도도 빠른 분류기가 바로 다항식분류기이다.

다항식분류기는 주어진 공간의 특징묶음을 높은 차원공간으로 확장시켜 확장된 공간에서 두 모임을 선형으로 갈라낼수 있다는 특징을 가진다.

론문에서는 계층화된 다항식분류기(HPC)를 제안하였다.

제안된 분류기에서는 6개의 변조방식이 계층형2진분류기들을 거쳐 분류되게 된다.

일반적으로 다항식분류기는 훈련과정과 검사과정을 거쳐 적합한 분류기무계를 선택한다.

제안된 분류기의 동작과정은 다음과 같다.

매 단계에서 유사한 특징을 가지는 변조방식들을 한 모임으로 하고 나머지를 다른 모임으로 가른다. 따라서 수신된 신호는 먼저 PSK 혹은 QAM으로 분류된다. 그리고 다음단계에서 신호가 만일 PSK신호라면 새로운 분류기가 동작하게 되는데 이 분류기는 BPSK를 한 모임으로 하고 QPSK와 8PSK를 다른 한 모임으로 한다. 만일 수신된 신호가 BPSK라면 분류처리는 끝나게 되며 그렇지 않으면 신호는 또 다른 2진분류기를 거친다. 이 분류기는 QPSK와 8PSK를 분류하는 분류기이다. 이와 같은 원리가 QAM류형의 신호에도 적용된다.

그림에 계층형다항식분류알고리즘을 보여주었다.

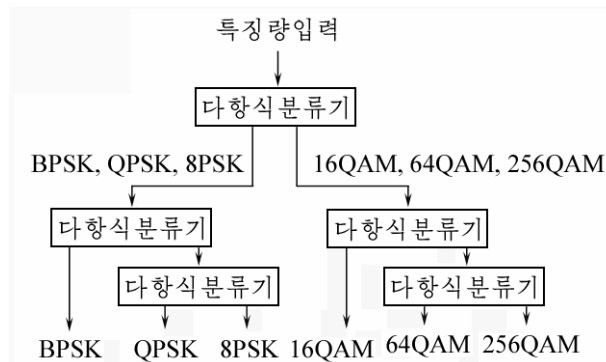


그림. 계층형다항식분류알고리즘

제안된 알고리즘은 매 2진분류기에서 무계값들을 최량화함으로써 전반적인 분류기의 정확도를 개선시킨다. 즉 매 변조방식에 대한 최량무계모임을 얻지 않고 한번에 하나의 2진다항식분류기를 리용하며 알려진 변조형태의 매개 수신신호특징으로 2차, 4차, 6차루적량들을 리용한다. 얻어진 특징들은 더 높은 공간차원으로 확장되며 다항식분류기는 이 값들을 받아서 더 많은 특징을 가지고 모임의 분류를 더 쉽게 진행한다.

한편 다항식분류기의 차원수는 공간차원수에 의해 결정된다. 비록 높은 차원수의 다항식분류기를 리용할수도 있지만 실현의 간단화를 위하여 2차다항식분류기가 보편적으로 리용되며 새로운 특징모임은 원래의 특징모임들에 그것들의 적과 두제곱값을 추가하여 만든다.

실례로 표준화된 고차루적량들로 이루어진 입력특징벡토르 $d = [d_1, d_2, \dots, d_M]$ 에 대하여 확장된 특징벡토르 p 는 다음과 같이 표시된다.

$$p = \begin{bmatrix} 1, d_1, \dots, d_M, d_1 \times d_2, \dots, d_1 \times d_M, d_2 \times d_3, \dots, d_2 \times d_M, \dots \\ \dots, d_{M-1} \times d_M, d_1^2, d_2^2, \dots, d_M^2 \end{bmatrix}_{1 \times R} \quad (3)$$

여기서 M 은 입력된 고차루적량의 개수이며 R 는 확장된 특징벡토르의 차수이다.

제안된 방식은 한번에 2개의 모임을 구분할수 있도록 해당한 계층구조를 구성해주면 임의의 개수의 변조류형에 대하여서도 다 분류할수 있다.

2. 모의실험 및 결과분석

모의실험은 2, 4, 8PSK와 16, 64, 256QAM으로 변조된 각각 100개의 신호들에 대하여 신호 대잡음비(SNR)가 15dB인 환경에서 진행하였다. 매 신호는 $N=2\ 000$ 개의 기호들로 구성되었다.

학습신호와 검사신호로서 BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM방식으로 변조된 신호들이 각각 1 000개, 100개씩 포함된 6 000개, 600개의 표본들을 분류기에 넣어 분류하였다. 즉 모든 변조방식에 대하여 1 000 개의 표본값으로 학습을 진행하고 100개로 검사를 하는 경우에 얻어진 오차를 가지고 신뢰도를 평가하였다.

표 2에 6가지 변조방식에 대한 분류결과를 보여주었는데 세로축은 제안한 방법으로 설계한 분류기의 출력이고 가로축은 해당한 신호의 실제변조방식이다.

표 2. 6가지 변조방식에 대한 분류결과표

	BPSK	QPSK	8PSK	16QAM	64QAM	256QAM
BPSK	100					
QPSK		100				
8PSK			100			
16QAM				100		
64QAM					96	1
256QAM					4	99

표 2에서 보는바와 같이 신뢰도가 각각 96%, 99%인 64QAM과 256QAM을 제외하고 나머지경우에 100%의 신뢰도를 가지고 변조류형을 분류하였다. 모의실험을 통하여 제안한 방식의 오류검출정확도가 99.2%에 달한다는것을 알수 있다.

맺 는 말

SNR가 15dB인 AWGN통로환경에서 진행하였기때문에 비교적 신뢰도가 높다. 웨이딩 환경과 이동으로 인한 도플러편이영향과 다른 분류방법과의 대비분석은 략하였다.

참 고 문 헌

- [1] W. Su; IEEE Communications Letters, 17, 9, 1688, 2013.
- [2] C. Zhendonget al.; 11th IEEE International Conference on Electronic Measurement Instruments (ICEMI), 1, 70, 2013.
- [3] A. Abdelmutalab et al.; 25th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC), 785, 2014.

A Method of Automatic Modulation Classification Using Hierarchical Polynomial Classifier

Kim Kwang, Wang Sang Dok

We proposed a new method of automatic modulation classification(AMC) using hierarchical polynomial classifier and identified signals modulated in BPSK, 4PSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM and 256QAM with 99.2% of correct classification probability under 15dB of SNR.

Keywords: AMC, polynomial classifier, high order cumulants(HOC)