

---

# Forecasting

- suppose we observe  $z_1, \dots, z_n$ .

(목표) predict the future value  $z_{n+m}$ , where  $m = 1, 2, 3, \dots$

(가정) (1)  $\{Z_t\}$  is stationary and (2) the model parameters are known.

- (prob 3.26.)  $z_1, \dots, z_n$  be a sample of size  $n$  from a causal AR(1) process,  $Z_t = \phi Z_{t-1} + \epsilon_t$ . Let  $\hat{\phi}$  be the Yule-Walker estimator of  $\phi$ .

(1)  $\hat{\phi} - \phi = O_p(n^{-1/2})$ .

(2)  $z_{n+1}^n - \hat{z}_{n+1}^n = O_p(n^{-1/2})$  where

- $z_{n+1}^n$ : the one-step-ahead forecast of  $z_{n+1}$  (1) given the data  $z_1, \dots, z_n$   
(2) based on the known parameter,  $\phi$ .

- $z_{n+1}^n$ : the one-step-ahead forecast of  $z_{n+1}$  (1) given the data  $z_1, \dots, z_n$   
(2) based on the estimated parameter  $\hat{\phi}$ .

- 결국 true-parameter를 알고 있다고 가정해도 무방하다. (모르면 예측해서 끼워넣으면 된다. 그렇게 끼워넣어도  $O_p(n^{-1/2})$  만큼만 차이날테니까)

- $z_{n+m}$ 을  $\hat{z}_{n+m}$ 으로 예측한다고 하자. 어쨌든 우리는  $z_1, \dots, z_n$  과 known-parameter를 기반으로  $z_{n+m}$ 을 예측할 것이므로 (어차피 알 수 있는 정보가 이게 다잖음?)  $\hat{z}_{n+m}$ 을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{z}_{n+m} = g(z_1, z_2, \dots, z_n; \phi_1, \dots, \phi_p; \theta_1, \dots, \theta_q)$$

편의상 아래와 같이 쓰자.

$$\hat{z}_{n+m} = g(\mathbf{z}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\theta})$$

교재에 따라서 간단하게 아래와 같이 쓰기도 한다.

$$\hat{z}_{n+m} = g(\mathbf{z})$$

혹은  $n$ 개의 자료를 관측했다는 점을 강조하기 위하여 아래와 같이 쓰기도 한다.

$$\hat{z}_{n+m}^n = g(\mathbf{z})$$

- 어떻게 예측해야 잘했다고 할까? 즉  $\hat{z}_{n+1}$ 을 어떻게 구하면 잘했다고 할까?  $g(\mathbf{z})$ 가 아래를 최소화 하도록 하면 되지 않을까?

$$E(x_{n+m} - g(\mathbf{z}))^2$$

참고로 위의식을 *mean square error*라고 한다.

- 이러한  $g(\mathbf{z})$ 는 아래와 같이 구할 수 있음이 알려져있다.

$$\hat{z}_{n+m} = g(\mathbf{z}) = E(z_{n+m}|\mathbf{z})$$

결국 이는  $z_{n+m}$ 을  $E(z_{n+m}|\mathbf{z})$ 와 같이 예측한다는 의미이다. 이때  $E(z_{n+m}|\mathbf{z})$ 를 *minimum mean square error predictor* 라고 한다.

- $g(\mathbf{z})$ 의 형태를 아래와 같이 제한하자.

$$g(\mathbf{z}) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k z_k$$

즉  $g(\mathbf{z})$ 를 관측치들의 선형결합정도로만 표현하자. ARMA( $p,q$ )모델 같은 경우는 이정도 예측자(*predictor*)로도 충분하다. 이러한 예측자를 선형 예측자(*linear predictor*)라고 한다. 많은 선형예측자중에서 아래식을 가장 작게 만드는 예측자를 최적선형예측자(*best linear predictor*)라고 부르고 줄여서 BLP라고 한다.

$$E\big(x_{n+m} - g(\mathbf{z})\big)^2$$

**(정리)** 자료를  $z_1, \dots, z_n$ 을 관찰한 상황을 가정하자.  $m$ 시점뒤의 값  $z_{n+m}$ 에 대한 최적선형예측자를 구하기 위해서는 아래식을 연립하여 풀면 된다.

$$\begin{aligned} E\big((z_{n+m} - \hat{z}_{n+m})z_1\big) &= 0 \\ E\big((z_{n+m} - \hat{z}_{n+m})z_2\big) &= 0 \\ &\dots \\ E\big((z_{n+m} - \hat{z}_{n+m})z_n\big) &= 0 \end{aligned}$$

**note:** 여기에서  $m$ 시점뒤의 값  $z_{n+m}$ 의 최적선형예측자는 선형예측자중에서  $z_{n+m}$ 의 값을 가장 **잘** 맞추는 예측자라는 뜻이다. (이때 **잘** 맞추는다는 것은 mean square error를 최소화 한다는 의미임)

**note:**  $m$ 시점뒤의 값  $z_{n+m}$ 의 최적선형예측자는 아래와 같은 모양을 가져야만 한다. (왜냐하면 이것도 결국 선형이기 때문)

$$\hat{z}_{n+m} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k z_k$$

**note:** 위에서  $\hat{z}_{n+m}$ 은 다양하게 표현할 수 있다. 최적선형예측자라는 의미를 강조하기 위해서 아래와 같이 표현하기도 하고

$$\hat{z}_{n+m} = \hat{z}_{n+m}^{BLP}$$

이것도 결국  $z_1, \dots, z_n$ 의 함수라는 점을 강조하기 위하여 아래와 같이 표현하기도 한다.

$$\hat{z}_{n+m} = g(z_1, \dots, z_n) = g(\mathbf{z})$$

---

또한  $z_1, \dots, z_n$ 의 선형결합이라는 점을 강조하기 위하여 아래와 같이 표현하기도 한다.

$$\hat{z}_{n+m} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k z_k$$

• 위의 연립방정식을 *prediction equation* 이라고 부른다. 그리고 이 연립방정식으로 통하여  $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ 을 구할 수 있다.

• 참고로

$$\hat{z}_{n+m} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k z_k$$

은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$(\hat{z}_{n+m} - \mu) = \sum_{k=1}^n \alpha_k (z_k - \mu)$$

**note:** 이게 성립하는 이유는

$$\hat{z}_{n+m} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \alpha_k z_k$$

의 양변에 평균을 취함으로써 쉽게 알 수 있다.

**note:** 위에서  $\mu$ 라고 당당하게 쓸 수 있는 이유는 true-model을 알고 있기 때문이다.

• 1시점뒤를 예측하여보자. 1시점뒤의 최적선형예측자  $\hat{z}_{n+1}$ 은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{z}_{n+1} = \alpha_n z_n + \dots \alpha_1 z_1$$

$\alpha_1 = \phi_{n1}, \dots, \alpha_n = \phi_{nn}$ 이라고 두면

$$\hat{z}_{n+1} = \phi_{n1} z_n + \dots \phi_{nn} z_1$$

와 같이 쓸 수 있다.