

형태 기반 마이크로 레짐의 구조적 존재성과 시장 메모리 정렬에 따른 기능적 역할 분석

유민우*

*건국대학교

*snowpainter@konkuk.ac.kr

Structural Existence of Morphology-Based Micro-Regimes and Their Functional Roles under Market Memory Alignment

Yu Min Woo*

*Konkuk Univ.

요약

금융 시계열에서는 완전한 랜덤워크로 설명하기 어려운 반복적 형태 패턴이 단기 구간에서 관측된다. 본 연구는 이러한 형태 기반 마이크로 레짐(micro-regime)이 우연적 산물이 아닌, 실제 시장에 구조적으로 존재하는 상태인지 검증하고, 해당 구조 신호가 예측 문제에서 어떻게 오해되며 실패하는지를 시장 환경과 모델 메모리 특성의 관점에서 분석한다. 마이크로 레짐은 가격·변동성·모멘텀 기반 형태 피처에 대해 PCA - KMeans 파이프라인을 적용하여 비지도적으로 정의되며, 미래 수익률 정보는 전혀 사용하지 않는다. 정의된 레짐 구조는 노이즈 주입, 시간 분할, 교차자산 적용, 퍼뮤테이션 및 랜덤 데이터 대비 실험 등 다양한 교란 조건 하에서도 일관되게 재현됨을 통해 구조적 존재성이 확인되었다. 이후 입력 정보의 성격(기술 신호, 레짐 신호, 결합 입력)과 모델이 가정하는 시계열 메모리 구조(단기·장기·선택적 메모리)를 분리한 3×3 교차 실험을 주식 및 암호화폐 시장에 적용하였다. 실험 결과, 주식 시장에서는 레짐 지속성이 비교적 길어 형태 기반 레짐 신호가 안정적으로 누적되는 반면, 암호화폐 시장에서는 레짐 전환 빈도가 높아 동일한 신호를 독립적인 예측 변수로 해석할 경우 성능 붕괴 및 불안정성이 반복적으로 관측되었다. 이러한 결과는 형태 기반 레짐 신호의 효과가 그 존재 여부 자체보다는, 시장이 갖는 메모리 스케일과 모델이 가정하는 메모리 구조 간의 정렬 여부에 의해 좌우됨을 시사한다. 본 연구는 형태 기반 구조 신호를 보편적인 예측 변수로 간주할 때 발생하는 실패 양상을 실증적으로 정리함으로써, 시장 환경과 모델 가정에 대한 사전적 고려의 필요성을 제시한다.

I. 서론

금융 시계열은 오랫동안 랜덤워크 또는 약한 자기상관 구조로 근사되어 왔으나[1], 실제 시장 데이터에는 짧은 구간에서 반복적으로 나타나는 형태학적 패턴(추세 - 완화 - 재가속, 급격한 반전, 완만한 조정 등)이 관측된다. 이러한 패턴은 흔히 노이즈 또는 데이터 마이닝의 산물로 간주되며, 특히 비지도 학습 기반의 클러스터링 결과는 “파이프라인이 만들어낸 인공적 구조(artifact)”라는 의심을 받기 쉽다. 따라서 형태 기반 레짐을 논의하기 위해서는, 해당 구조가 데이터 분할·교란·랜덤화 조건에서도 일관되게 재현되는지(구조적 존재성)와, 존재가 확인된 구조 신호가 예측 문제에서 어떤 방식으로 실패하거나 왜곡되는지를 구분하여 검증할 필요가 있다.

기존 레짐 분석은 주로 수익률 분포나 변동성 수준을 기준으로 HMM/GMM 등 확률 모형을 적용하거나[2], 사전 정의된 규칙 기반 상태를 사용해 왔다. 그러나 이러한 접근은 분포적 스케일 변화는 포착할 수 있어도, 가격 경로 자체가 갖는 형태(shape)의 차이를 직접적으로 반영하지 못한다. 더 나아가, 형태 기반 구조 신호를 하나의 일반적인 예측 변수로 취급할 경우, 시장마다 상이한 시계열 메모리 특성(상태 지속 길이, 전환 빈도, 누적 효과)과 모델이 가정하는 메모리 구조 간의 불일치로 인해 성능 붕괴나 불안정성이 발생할 수 있음에도, 이에 대한 체계적인 분석은 충분히 이루어지지 않았다.

이에 본 연구는 (i) 가격·변동성·모멘텀 기반 형태 피처에 PCA - KMeans 파이프라인을 적용하여 미래 수익률 정보를 사용하지 않고 마이크로 레짐을 비지도적으로 정의한 뒤, (ii) 노이즈 주입, 시간 분할, 교차자

산 적용, 퍼뮤테이션 및 랜덤 과정 대비 등 다양한 교란 조건 하에서 구조가 재현되는지를 통해 형태 기반 레짐의 구조적 존재성을 검증한다. 이어서 (iii) 입력 구조(Tech/Regime/Hybrid)와 모델이 가정하는 시계열 메모리 구조(LSTM/S4/Mamba)를 분리한 3×3 교차 실험을 주식 및 암호화폐 시장에 적용함으로써, 형태 기반 구조 신호를 예측 변수로 해석할 때 시장 환경과 모델 메모리 가정에 따라 어떤 실패 양상이 반복적으로 발생하는지를 분석한다. 본 연구의 목적은 특정 신호의 수익성을 주장하는 것이 아니라, 구조 신호와 시장 메모리 스케일 간의 정렬 여부가 예측 성능 안정성에 미치는 영향을 실증적으로 정리하는 데 있다.

II. 본론

형태 기반 마이크로 레짐의 구조적 존재성은 해당 구조가 특정 데이터 분할이나 통계적 우연에 의해 생성된 인공물(artifact)이 아니라, 다양한 교란 조건에서도 일관되게 재현되는지 여부를 통해 검증될 수 있다. 본 연구에서는 가격·변동성·모멘텀 기반 형태 피처에 대해 PCA - KMeans 파이프라인을 적용하여 미래 수익률 정보를 전혀 사용하지 않은 상태에서 마이크로 레짐을 정의하였으며, 동일한 정의를 유지한 채 노이즈 주입, 시간 분할, 교차자산 적용, 퍼뮤테이션 및 랜덤 과정 대비 실험을 수행하였다. 이러한 접근은 시계열의 분포적 특성보다 형태적 유사성과 순서 구조에 주목하는 기존 형태 기반 시계열 분석 관점과 일치한다[3]. 그 결과, 실제 시장 데이터에서는 클러스터 할당의 일관성, 중심 간 분산, 형태 유사도 지표가 교란 조건 전반에 걸쳐 안정적으로 유지된 반면, 랜덤화된 데이터에서는 이러한 구조적 특성이 거의 재현되지 않았다. 이는 형태 기반 마

이므로 레짐이 단순한 분포 효과나 클러스터링 파이프라인의 산물이 아니라, 시계열 순서와 형태적 연속성에 의존한 구조적 상태로서 실제 시장에 존재함을 시사한다.

그러나 구조의 존재성은 곧바로 예측 문제에서의 유효성을 보장하지 않는다. 동일한 형태 기반 레짐이라 하더라도, 이를 하나의 일반적인 예측 변수로 해석할 경우 그 성능은 시장이 갖는 시계열 메모리의 스케일과 모델이 가정하는 메모리 구조에 따라 크게 달라질 수 있다. 이를 분석하기 위해 본 연구는 입력 정보의 성격(기술 신호, 레짐 신호, 결합 입력)과 모델 메모리 구조(단기 의존성, 장기 지속성, 선택적 상태 갱신)를 명시적으로 분리한 3×3 교차 실험 프레임워크를 구성하였다. 단기 의존성을 가정하는 순환 신경망 계열 모델[4], 장기 지속성을 명시적으로 모델링하는 구조화 상태공간 모델[5], 그리고 입력에 따라 상태 갱신을 조절하는 선택적 메모리 기반 시퀀스 모델[6]을 사용함으로써, 서로 다른 메모리 가정 하에서 구조 신호의 반응 양상을 비교하였다.

실험 결과, 주식 시장과 같이 레짐 지속성이 비교적 길게 유지되는 환경에서는 형태 기반 레짐 신호가 장기 메모리를 가정하는 모델에서도 비교적 안정적으로 누적되는 경향이 관측되었다. 반면 암호화폐 시장과 같이 레짐 전환 빈도가 높고 형태 패턴의 평균 수명이 짧은 환경에서는, 동일한 레짐 신호를 장기 메모리를 가정한 모델에 직접 주입할 경우 구조 정보가 과도하게 누적되면서 예측 성능의 저하 및 변동성 증가가 반복적으로 나타났다. 이러한 현상은 형태 기반 구조 신호가 시장의 메모리 스케일과 정렬되지 않을 경우, 예측 변수로서 불안정하게 작동할 수 있음을 보여준다. 특히 암호화폐 시장에서는 레짐 신호를 단독 예측 변수로 사용하거나, 장기 메모리 구조를 가정한 모델에 결합할 경우 성능 분산이 크게 증가하는 반면, 단기 또는 선택적 메모리를 가정한 모델에서는 상대적으로 완화된 실패 양상이 관측되었다. 이는 형태 기반 구조 신호의 유효성이 그 존재 여부 자체보다는, 시장 환경과 모델 메모리 가정 간의 정렬 여부에 의해 좌우됨을 시사하며, 구조 신호를 보편적인 예측 변수로 해석할 때 발생할 수 있는 한계를 실증적으로 보여준다.

III. 결론

본 연구는 형태 기반 마이크로 레짐이 금융 시계열 내에서 우연적 산물이 아니라, 다양한 교란 조건에서도 일관되게 재현되는 구조적 상태임을 검증하였다. 그러나 이러한 구조의 존재성은 곧바로 예측 문제에서의 유효성을 보장하지 않으며, 동일한 형태 기반 레짐이라 하더라도 이를 예측 변수로 해석할 때의 성능은 시장 환경과 모델이 가정하는 시계열 메모리 구조에 따라 크게 달라질 수 있음이 확인되었다.

입력 구조와 모델 메모리 가정을 분리한 3×3 교차 실험 결과, 레짐 지속성이 비교적 긴 주식 시장에서는 형태 기반 레짐 신호가 일부 모델에서 안정적으로 누적되는 반면, 레짐 전환 빈도가 높은 암호화폐 시장에서는 동일한 신호를 일반적인 예측 변수로 취급할 경우 성능 저하와 불안정성이 반복적으로 발생하였다. 이는 형태 기반 구조 신호가 시장의 메모리 스케일과 정렬되지 않을 때, 예측 문제에서 체계적인 실패를 유발할 수 있음을 보여준다.

종합하면, 형태 기반 레짐의 효과는 그 존재 여부 자체보다는, 시장이 갖는 메모리 특성과 모델이 내재적으로 가정하는 메모리 구조 간의 정렬 여부에 의해 좌우된다. 본 연구는 레짐 신호를 보편적인 예측 변수로 일반화할 때 발생할 수 있는 한계를 실증적으로 정리함으로써, 구조 기반 신호를 해석하고 평가함에 있어 시장 환경과 모델 가정에 대한 사전적 고려가 필요함을 시사한다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was conducted independently and was not supported by any specific grant or funding agency.

참 고 문 헌

- [1] E. F. Fama, "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work," *The Journal of Finance*, vol. 25, no. 2, pp. 383 - 417, May 1970.
- [2] J. D. Hamilton, "A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle," *Econometrica*, vol. 57, no. 2, pp. 357 - 384, Mar. 1989.
- [3] J. Lines, S. Taylor, and A. Bagnall, "Time series classification with HIVE-COTE: The hierarchical vote collective of transformation-based ensembles," *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, vol. 12, no. 5, pp. 1 - 35, July 2018.
- [4] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735 - 1780, Nov. 1997.
- [5] A. Gu, K. Goel, and C. Ré, "Efficiently modeling long sequences with structured state spaces," in *Proc. Int. Conf. Learn. Represent. (ICLR)*, Virtual, Apr. 2022.
- [6] A. Gu and T. Dao, "Mamba: Linear-time sequence modeling with selective state spaces," *arXiv preprint arXiv:2312.00752*, 2023.
- [7] J. Kim and N. Kim, "Stock price prediction using BERT and LSTM," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 45, no. 10, pp. 1768 - 1776, Oct. 2020.