



Sử dụng hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị để kiểm định tính hiệu quả thông tin trên thị trường chứng khoán của các quốc gia ASEAN

TRẦN THỊ TUẤN ANH *

Trường Đại học Kinh tế TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN	TÓM TẮT
Ngày nhận: 30/07/2018 Ngày nhận lại: 13/11/2018 Duyệt đăng: 24/12/2018 Mã phân loại JEL: C65; D53; G14 Từ khóa: Thị trường hiệu quả; Phương pháp Bandt và Pompe; Hình mẫu khuyết; Entropy hoán vị; Entropy hoán vị chuẩn hóa. Keywords: Efficient market; Bandt and Pompe method;	Nghiên cứu này áp dụng phương pháp được đề xuất bởi Bandt và Pompe (2002) trên dữ liệu về chỉ số chứng khoán hằng ngày thu thập trên thị trường chứng khoán của 6 quốc gia Đông Nam Á, bao gồm Philippines, Việt Nam, Malaysia, Indonesia, Thái Lan và Singapore trong giai đoạn tháng 01/2000–11/2018 để tìm sự tồn tại của hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa. Kết quả tính toán của bài viết cho thấy có sự tồn tại của hình mẫu khuyết trên cả 6 thị trường chứng khoán. Xác suất xuất hiện của các hình mẫu hoán vị khác nhau cũng khác nhau. Đây là những dấu hiệu cho thấy tính không hiệu quả của thông tin trên thị trường. Kết quả tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa trên chuỗi chỉ số chứng khoán cũng cho thấy sự không hiệu quả của thị trường khi giá trị này không đạt được giá trị cực đại. Bài viết cũng cho thấy rằng việc sử dụng chuỗi chỉ số chứng khoán sẽ giúp tìm ra bằng chứng của thị trường không hiệu quả là rõ rệt hơn rất nhiều so với khi sử dụng chuỗi tỷ suất sinh lợi thị trường. Abstract This study applies the method proposed by Bandt and Pompe (2002) to daily stock index series collected from six ASEAN countries including Philippines, Vietnam, Malaysia, Indonesia, Thailand, and Singapore over the period 01/2000–11/2018 to look for the existence of a forbidden pattern and to calculate normalized permutation Entropy.

* Tác giả liên hệ.

Email: anhttt@ueh.edu.vn

Trích dẫn bài viết: Trần Thị Tuấn Anh (2018). Sử dụng hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị để kiểm định tính hiệu quả thông tin trên thị trường chứng khoán của các quốc gia ASEAN. *Tạp chí Nghiên cứu Kinh tế và Kinh doanh châu Á*, 29(11), 64–80.

Forbidden pattern;
Permutation Entropy;
Normalized permutation
Entropy.

The research results show that there exists a forbidden pattern in all 6 stock markets. The probability of different permutation patterns is also different. These are evidence for inefficient markets. Additionally, the result of computed normalized permutation Entropy using on stock index series also demonstrates the inefficiency of the market when this value does not reach its maximum value. This article also suggests that using a series of stock index will help to find evidence of an inefficient market much more powerful than using a series of market returns.

1. Giới thiệu

Giả thuyết thị trường hiệu quả do Fama (1970) đề xuất là một trong những chủ đề quan trọng của thị trường tài chính hiện đại. Dưới giả thuyết thị trường hiệu quả, nhà đầu tư không có cơ hội kinh doanh chênh lệch giá vì giá cả đã phản ánh toàn bộ thông tin của thị trường và mọi cơ hội kinh doanh chênh lệch giá đã bị loại trừ. Một đặc điểm quan trọng của thị trường hiệu quả là giá cả không thể dự báo dựa trên các thông tin quá khứ trước đó cũng như không tồn tại tính hình mẫu hay tính quy luật trong chuỗi giá của thị trường. Với đặc điểm này, một trong những hướng quan trọng để kiểm định tính hiệu quả của thị trường đó là dựa trên tính quy luật, tính hình mẫu và khả năng dự đoán được của chuỗi thời gian. Nếu chuỗi dữ liệu chứng khoán không ngẫu nhiên, có tính hình mẫu và có khả năng dự đoán được để có cơ hội kinh doanh chênh lệch giá thì thị trường được xem như không thỏa mãn giả thuyết thị trường hiệu quả.

Trong kinh tế học vật lý (Econophysics), Entropy là một trong những công cụ hữu hiệu để đo lường tính ngẫu nhiên cũng như để phát hiện tính hình mẫu của chuỗi thời gian. Các đại lượng Entropy tiêu biểu để đo lường mức độ ngẫu nhiên của chuỗi thời gian có thể kể đến: Shannon Entropy của chuỗi biểu tượng nhị phân do Risso (2008) đề xuất; Entropy xấp xỉ (Approximate Entropy) theo nghiên cứu của Pincus (1991); Entropy mẫu (Sample Entropy) của Richman và cộng sự (2000); Entropy hoán vị (Permutation Entropy) do Bandt và Pompe (2002) nghiên cứu; và các mở rộng thành Entropy đa lớp (Multiscale Entropy) của các đại lượng trên. Với xu thế phát triển mạnh mẽ của kinh tế học vật lý, ngày càng nhiều các nghiên cứu vận dụng Entropy vào trong nghiên cứu chuỗi thời gian tài chính nói chung và kiểm định giả thuyết hiệu quả của thị trường chứng khoán nói riêng. Trong số đó, hướng vận dụng hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị của Bandt và Pompe (2002) và các nghiên cứu mở rộng phương pháp này như một công cụ đo lường mức độ hiệu quả thị trường là một trong những hướng phát triển mạnh mẽ nhất. Với hướng tiếp cận như trên, bài nghiên cứu này được tổ chức thành các mục như sau: (1) Phần 2 giới thiệu cơ sở lý thuyết và các nghiên cứu có liên quan về hình mẫu khuyết, Entropy hoán vị, các nghiên cứu mở rộng Entropy hoán vị và mối liên hệ giữa các đại lượng này với mức độ hiệu quả thông tin trên thị trường; (2) Phần 3 trình bày về dữ liệu và phương pháp nghiên cứu; (3) Phần 4 phân tích kết quả xử lý dữ liệu của thị trường chứng khoán thu thập từ các quốc gia Đông Nam Á; và (4) Phần 5 kết luận và đề xuất một số hàm ý của kết quả nghiên cứu.

2. Tổng quan các nghiên cứu có liên quan

Sau khi Bandt và Pompe (2002) giới thiệu hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị như một đại lượng đo lường độ phức tạp của một chuỗi thời gian, với ưu thế về sự đơn giản trong tính toán cũng như quan tâm đến trật tự của chuỗi, phù hợp với chuỗi thời gian lớn, tính bất biến qua phép biến đổi đơn điệu thì đã có rất nhiều các nghiên cứu kế thừa, phát triển và ứng dụng Entropy hoán vị trong các nghiên cứu kinh tế và tài chính. Chẳng hạn như:

Amigó và cộng sự (2007) thảo luận về vai trò của hình mẫu khuyết trong việc kiểm tra tính ngẫu nhiên của chuỗi dữ liệu, và có thể sử dụng như một kiểm định giúp dễ dàng phân biệt giữa một chuỗi thời gian có quy luật biến động xác định và một chuỗi thời gian ngẫu nhiên. Tuy nhiên, nghiên cứu trên cũng cảnh báo về sự nhầm lẫn giữa hình mẫu khuyết thực và hình mẫu khuyết giả. Vì số lượng hoán vị tăng theo cấp số mũ của độ dài chuỗi con được xét nên khi tổng số quan sát của chuỗi thời gian nhỏ, độ dài chuỗi con lớn thì nhiều hoán vị không có cơ hội để xuất hiện nên xác suất xuất hiện tính được của hoán vị tương ứng sẽ bằng 0. Các hình mẫu khuyết như vậy được gọi là hình mẫu khuyết giả. Để tránh hiện tượng này khi xem xét chuỗi thời gian thì cần số kỳ đủ lớn và độ dài của chuỗi con cũng không nên quá lớn.

Matilla-García và Marin (2008) sử dụng phương pháp ký hiệu hóa chuỗi thời gian và Entropy hoán vị để đề xuất một phương pháp kiểm định sự tương quan chuỗi của dữ liệu thời gian. Thay vì sử dụng Entropy hoán vị trên các giá trị thực của chuỗi, các tác giả sử dụng Entropy hoán vị trên chuỗi dữ liệu đã được ký hiệu hóa dựa vào tính thứ tự của chuỗi. Dưới giả thuyết không (H_0) của kiểm định, các tác giả cũng xây dựng một phân phối tiệm cận của thống kê kiểm định để từ đó xác định giá trị tới hạn và đưa ra kết luận kiểm định.

Cánovas và cộng sự (2011) đề xuất kiểm định sự độc lập giữa hai chuỗi thời gian thông qua các hoán vị và Entropy hoán vị tương tự như kiểm định Chi-bình phương của Pearson, G-test hoặc kiểm định tỷ số giá trị hợp lý. Kiểm định được kiểm chứng bằng cả dữ liệu mô phỏng và dữ liệu thu thập thực tế từ tỷ giá và cho thấy khả năng kiểm định tốt trong cả hai trường hợp sự phụ thuộc là tuyến tính lẫn phi tuyến.

Tròn 10 năm sau khi Entropy hoán vị được Bandt và Pompe (2002) đề xuất, Zanin và cộng sự (2012) tóm tắt lại quá trình phát triển của Entropy hoán vị và các ứng dụng tiềm năng của Entropy hoán vị trong nghiên cứu kinh tế cũng như trong nghiên cứu y sinh học. Các lĩnh vực có thể ứng dụng Entropy hoán vị một cách hiệu quả bao gồm: (1) Phân loại các hệ động lực, (2) xác định điểm gãy cấu trúc của chuỗi thời gian, (3) dự đoán sự kiện tương lai, (4) tìm ra sự khác biệt hoặc kiểm định sự phụ thuộc giữa hai chuỗi, (4) xác định chiều hướng tác động nhân quả giữa các chuỗi thời gian, (5) kiểm tra tính hình mẫu hoặc tính quy luật của chuỗi. Trong số các ứng dụng này, ứng dụng kiểm định tính hình mẫu và quy luật của chuỗi thường được vận dụng nhiều nhất trong trường hợp kiểm định thị trường hiệu quả của Fama (1970).

Aghamohammadi và cộng sự (2014) thông qua nghiên cứu của mình đã cho thấy Entropy hoán vị có thể được sử dụng như một công cụ hữu hiệu để đo lường sự đa dạng của các hình mẫu vi mô trong chuỗi thời gian tài chính và từ đó có thể dùng để đo lường và so sánh độ phức tạp của các chuỗi thời gian. Bài viết trên cũng ứng dụng Entropy hoán vị trên ba chuỗi tỷ giá hối đoái USD/JPY, USD/GBP và GBP/CHF trong giai đoạn 2006–2012. Kết quả nghiên cứu của các tác giả cho thấy rất nhiều hình mẫu hoán vị thực tế đã diễn ra và số lượng hình mẫu thực sự diễn ra càng giảm đi khi tần số giao dịch

càng tăng lên. Ngoài ra, tính thanh khoản của thị trường càng tăng thì việc tìm hình mẫu thống trị càng trở nên khó khăn, nghĩa là khi thị trường đạt được tính thanh khoản cao, chuỗi tỷ giá càng ít có hình mẫu thống trị và vì vậy trở nên ngẫu nhiên hơn.

Vì giả thuyết thị trường hiệu quả có liên quan đến tính ngẫu nhiên của chuỗi, kết hợp với việc các Entropy hoán vị được vận dụng rất hữu hiệu khi xem xét tính ngẫu nhiên của chuỗi thông qua sự lặp lại của các hình mẫu theo thứ tự trong hoán vị, nên Entropy hoán vị có thể được sử dụng để kiểm định giả thuyết thị trường hiệu quả. Trong số các nghiên cứu vận dụng Entropy hoán vị để kiểm định tính hiệu quả thông tin của thị trường, có thể kể đến nghiên cứu tiêu biểu của Zunino và cộng sự (2009). Trong nghiên cứu của Zunino và cộng sự (2009), các tác giả đã sử dụng hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị chuẩn hóa để tìm thấy bằng chứng cho mối quan hệ thuận chiều giữa số hình mẫu khuyết xuất hiện và mức độ không hiệu quả của thị trường, từ đó kết luận rằng Entropy hoán vị tương quan thuận chiều với mức độ hiệu quả của thị trường. Các tác giả cũng nêu bật được ưu điểm của Entropy hoán vị trong nghiên cứu giả thuyết thị trường hiệu quả bởi đại lượng này dễ tính toán, dễ thiết lập, dễ diễn giải và kết quả thu được rất ổn định. Trong nghiên cứu gần nhất của Zunino và cộng sự (2017), các tác giả đã đề cập đến nhược điểm của Entropy hoán vị khi sự bằng nhau của các thành phần liên tiếp nhau hoặc các thành phần trong cùng chuỗi con được chọn ra có thể dẫn đến kết quả sai lệch trong kết quả Entropy hoán vị tính toán được. Vì vậy, trong thực nghiệm cần kiểm tra cẩn thận sự bằng nhau của các thành phần trong cùng chuỗi con để kiểm soát tính chệch có thể có giữa các đại lượng.

Sau nghiên cứu của Zunino và cộng sự (2009), Zunino và cộng sự (2011) tiếp tục cải tiến phương pháp của Bandt và Pompe (2002) và đề xuất khái niệm “mặt phân cách có tính nhân quả giữa độ phức tạp - Entropy” (Complexity-Entropy Causality Plane) để phân định các giai đoạn phát triển của thị trường chứng khoán và qua đó nhận định về sự không hiệu quả của thị trường. Alvarez-Ramirez và cộng sự (2010) sử dụng Entropy đa lớp (Multiscale Entropy) để kiểm định giả thuyết thị trường hiệu quả và thực nghiệm trên dữ liệu của chỉ số chứng khoán Dow Jones để khảo sát sự thay đổi theo thời gian của mức độ hiệu quả thị trường. Zhang và cộng sự (2017) đề xuất xây dựng Entropy hoán vị dựa trên chỉ số đa dạng hóa Hill (Hill's Index Diversity) để đánh giá độ phức tạp của các hệ động lực kinh tế như thị trường chứng khoán. Chen và cộng sự (2018) đề xuất Entropy hoán vị đa lớp có trọng số (Weighted Multiscale Entropy) để định lượng độ phức tạp dạng phi tuyến của chuỗi thời gian và ứng dụng trên bốn nhóm chỉ số chứng khoán như: (1) DJI, S&P500, và HIS; (2) NASDAQ và FTSE100; (3) DAX40 và CAC40; và (4) ShangZheng và ShenCheng.

Có thể thấy trên thế giới, việc vận dụng khái niệm Entropy nói chung và Entropy nói riêng ngày càng được mở rộng và trở nên phổ biến. Trong khi đó tại Việt Nam, các ứng dụng phương pháp định lượng bằng Entropy còn khá hạn chế. Về vấn đề kiểm định giả thuyết thị trường hiệu quả bằng Entropy của thị trường chứng khoán Việt Nam, Trần Thị Tuấn Anh (2018) đã sử dụng Shannon Entropy dựa trên chuỗi tỷ suất sinh lợi được ký hiệu hóa để kết luận thị trường không đạt trạng thái hiệu quả. Ngoài ra, gần như chưa có một nghiên cứu khác vận dụng Entropy hoán vị trên chuỗi giá chứng khoán của thị trường Việt Nam. Theo đó, tác giả sử dụng Entropy hoán vị theo phương pháp của Bandt và Pompe (2002) theo hướng vận dụng của Zunino và cộng sự (2009) và có quan tâm đến khả năng chệch trong kết quả tính toán Entropy hoán vị theo khuyến cáo của Zunino và cộng sự (2017) để xác định mức độ ngẫu nhiên cũng như tính hình mẫu hoán vị. Từ đó, tác giả kết luận về tính hiệu quả của thị trường chứng khoán Việt Nam và so sánh với các quốc gia Đông Nam Á như một nghiên cứu mở đầu về ứng dụng Entropy hoán vị với số liệu trong nước. Các khái niệm mở rộng của Entropy hoán vị như Entropy

hoán vị đa lớp hoặc Entropy hoán vị đa lớp có trọng số sẽ được tiếp tục kiểm định thực nghiệm trong các nghiên cứu tiếp theo.

3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu

Bài nghiên cứu sử dụng dữ liệu chỉ số chứng khoán theo ngày tại thị trường chứng khoán của các nước Đông Nam Á (bao gồm: Việt Nam, Philippines, Malaysia, Indonesia, Thái Lan và Singapore) được thu thập từ nguồn Investing.com trong giai đoạn tháng 01/2000–11/2018. Danh sách các chỉ số chứng khoán sử dụng trong bài viết được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1.

Các chỉ số chứng khoán của các quốc gia Đông Nam Á

STT	Quốc gia	Chỉ số chứng khoán	Diễn giải	Thời gian lấy dữ liệu	Số quan sát
1	Việt Nam	VN-Index	Vietnam Stock Index	31/07/2000– 08/11/2018	4.408
2	Philippines	PSEI	Philippines Stock Exchange Index	03/01/2000– 08/11/2018	4.636
3	Malaysia	FTFBMKLCI	FTSE Bursa Malaysia KLCI Index	03/01/2000– 08/11/2018	4.629
4	Indonesia	JCT	Jakarta Stock Exchange Composite Index	05/10/2000– 09/11/2018	4.416
5	Thái Lan	SET	Stock Exchange of Thailand SET Index	04/01/2000– 08/11/2018	4.616
6	Singapore	STI	FTSE Straits Times Index	02/01/2000– 08/11/2018	4.708

Nguồn: <https://www.investing.com/>

Dữ liệu chỉ số chứng khoán theo ngày, ký hiệu là P_t , được sử dụng để tính tỷ suất sinh lợi theo ngày dạng logarit cơ số tự nhiên, ký hiệu là R_t . Cả hai chuỗi chỉ số chứng khoán và tỷ suất chứng khoán đều được sử dụng để thực hiện mục tiêu nghiên cứu của bài viết, đó là tìm ra hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị của chuỗi và từ đó kiểm tra mức độ hiệu quả thông tin của thị trường. Các đồ thị thể hiện biến động của chỉ số chứng khoán và tỷ suất sinh lợi được thực hiện bằng phần mềm Stata, trong khi việc phát hiện hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị được lập trình trên phần mềm Python.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Với một chuỗi thời gian cho trước gồm N quan sát $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, việc tính toán Entropy hoán vị của chuỗi được bắt đầu với việc lựa chọn số chiều D và độ trễ τ , thông thường D và τ rất nhỏ so với N . Theo Amigó và cộng sự (2007), với chuỗi dữ liệu bình thường, D thường nhận các giá trị 3, 4, 5, 6, 7.

Với số chiều là D , có tất cả $D!$ hoán vị có thể có của các số tự nhiên $1, 2, 3, \dots, D$. Các hoán vị này được ký hiệu là $\pi_i, i = 1, 2, \dots, D!$

Tại một vị trí m bất kỳ của chuỗi X với $1 \leq m \leq N - (D-1)\tau$, chọn ra một bộ gồm m phần tử với khoảng cách giữa các phần tử là τ , bao gồm

$$X_m = \{x_m, x_{m+\tau}, \dots, x_{m+(D-1)\tau}\} \quad (1)$$

Tùy theo trật tự sắp xếp của các phần tử trong X_m mà tác giả xác định X_m sẽ tương ứng với hoán vị nào trong số các hoán vị $\pi_i, i = 1, 2, \dots, D!$ Sau khi duyệt từ đầu chuỗi đến cuối chuỗi, tương ứng với việc m nhận giá trị lần lượt từ 1 đến $N - (D-1)\tau$, từng hoán vị $\pi_i, i = 1, 2, \dots, D!$ sẽ được đếm số lần xuất hiện. Nếu có một hình mẫu nào trong số $D!$ các hoán vị hoàn toàn không xuất hiện, hình mẫu đó được gọi là hình mẫu khuyết (Forbidden Patterns). Nếu thị trường hiệu quả, sự biến động tăng hoặc giảm của giá chứng khoán là hoàn toàn ngẫu nhiên và không thể dự báo được bằng một mô hình hoặc hình mẫu nào thì sự xuất hiện của các hình mẫu hoán vị cũng là ngẫu nhiên, hình mẫu nào cũng có khả năng xảy ra và khả năng xảy ra như nhau. Vì vậy, sự xuất hiện của hình mẫu khuyết là dấu hiệu của thị trường không hiệu quả.

Khi độ dài của chuỗi thời gian đủ lớn, xác suất xuất hiện của hoán vị $\pi_i, i = 1, 2, \dots, D!$, ký hiệu $p(\pi_i)$ là chính là tỷ lệ giữa số lần hoán vị π_i xuất hiện so với tổng số số lần xuất hiện của các hoán vị, chính là $N - D + 1$.

Khi đó, tác giả có được phân phối xác suất theo hoán vị của chuỗi thời gian x_t sẽ là

$$P = \{p(\pi_i), i = 1, \dots, D!\} \quad (2)$$

Hoán vị Shannon Entropy tính được với phân phối xác suất này là:

$$H_p = - \sum_{i=1}^{D!} p(\pi_i) \ln(p(\pi_i)) \quad (3)$$

Hoán vị Shannon Entropy theo công thức (3) được tính dựa trên phân phối xác suất của các hoán vị nên còn được gọi là Entropy hoán vị. Ngoài ra, Entropy hoán vị chuẩn hóa (Normalized Shannon Entropy) được tính toán dựa trên Entropy hoán vị của công thức (3) bằng cách chia cho giá trị lớn nhất, $H_{\max} = \ln D!$, có thể đạt được của H . Khi đó, Entropy chuẩn hóa sẽ là

$$H_N = \frac{H_p}{H_{\max}} \quad (4)$$

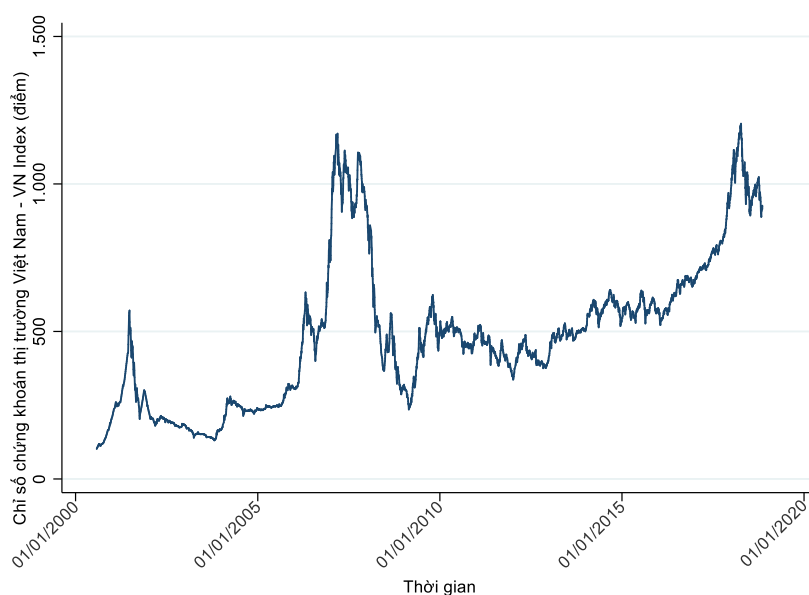
Sau khi chuẩn hóa, $0 \leq H_N \leq 1$. Giá trị nhỏ nhất $H_N = 0$ đạt được khi chuỗi x_t có các phần tử biến động theo chiều tăng dần hoặc giảm dần, vì khi đó chỉ có một hoán vị duy nhất có thể xảy ra. Giá trị lớn nhất $H_N = 1$ xảy ra khi tất cả các hoán vị có xác suất xảy ra bằng nhau. Trạng thái này có thể xảy ra khi chuỗi x_t là chuỗi ngẫu nhiên thuần túy, mọi hình mẫu đều có cơ hội xuất hiện như nhau. Như vậy, khi kiểm tra hình mẫu khuyết cũng như tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa đối với chuỗi chỉ số chứng khoán trên thị trường trường có thể giúp đưa ra bằng chứng thống kê để nhận định về sự không hiệu quả của thị trường.

Với ý tưởng do Bandt và Pompe (2002) đề xuất, tác giả sử dụng dữ liệu về chỉ số giá hàng ngày của thị trường chứng khoán các quốc gia Đông Nam Á bao gồm Indonesia, Malaysia, Philippines,

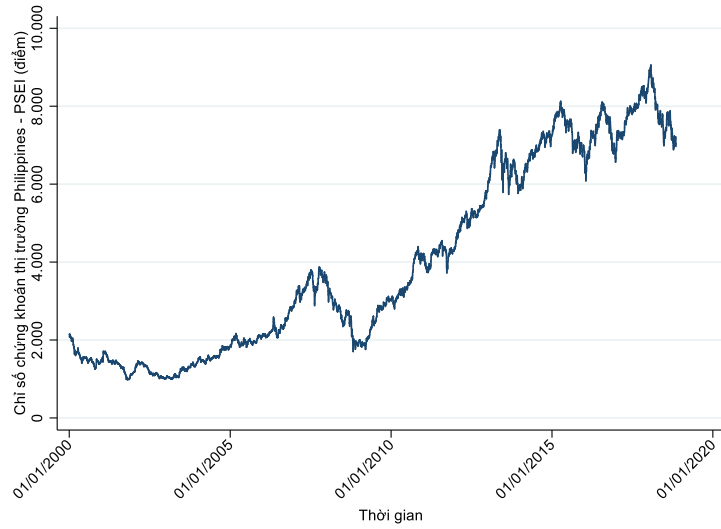
Singapore, Thái Lan và Việt Nam trong giai đoạn tháng 01/2000–11/2018 để kiểm tra sự xuất hiện của hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị để từ đó kiểm tra sự hiệu quả thông tin trên thị trường chứng khoán các quốc gia này. Ngoài ra, việc dựa trên tần số (hoặc tần suất) xuất hiện của các hoán vị cũng có thể dự đoán xu hướng biến động thị trường là tăng giá hay giảm giá. Tuy nhiên, để xem xét ảnh hưởng của việc xuất hiện các giá trị ngang bằng nhau trong chuỗi thời gian có thể làm chệch kết quả tính toán Entropy hoán vị, tác giả tiến hành kiểm tra số trường hợp phân tử bằng nhau trong chuỗi với khoảng cách có thể có là từ 1 đến D.

4. Kết quả và thảo luận

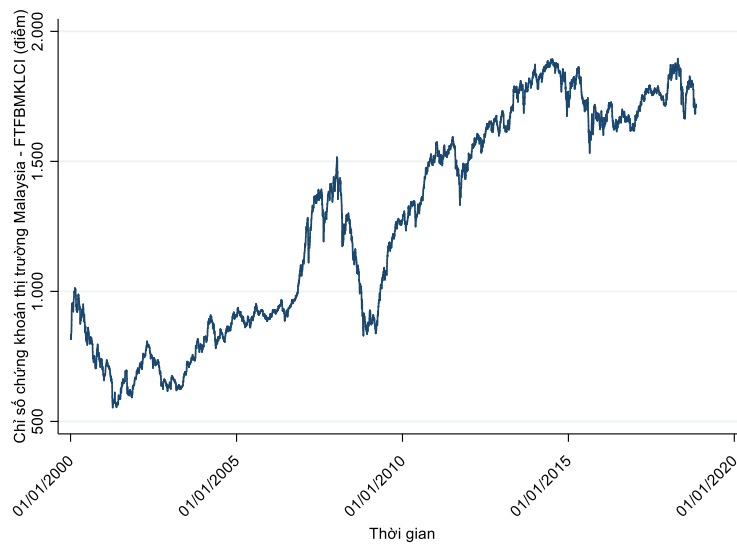
4.1. Kết quả nghiên cứu



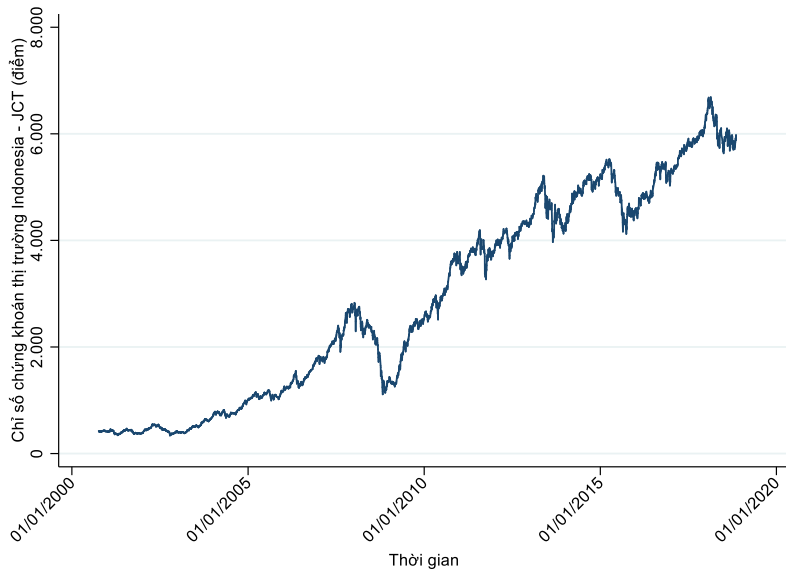
Hình 1. Chỉ số chứng khoán của Việt Nam



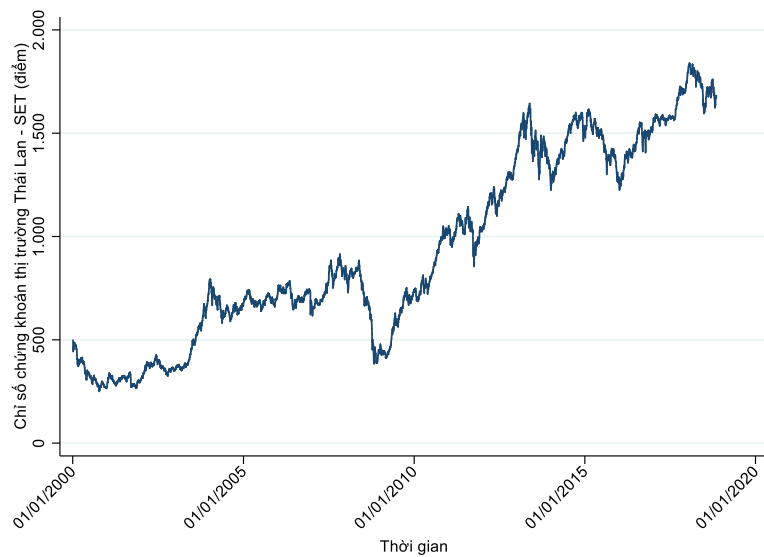
Hình 2. Chỉ số chứng khoán của Philippines



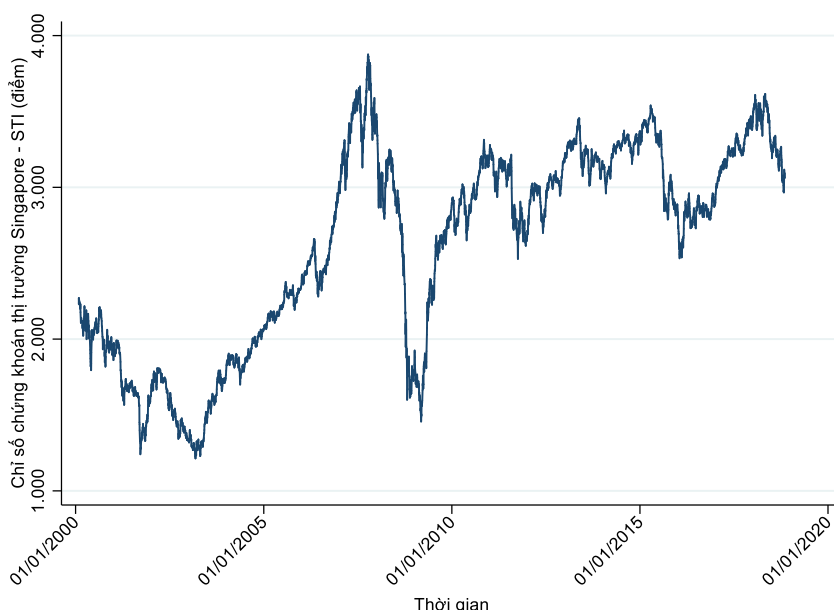
Hình 3. Chỉ số chứng khoán của Malaysia



Hình 4. Chỉ số chứng khoán của Indonesia



Hình 5. Chỉ số chứng khoán của Thái Lan



Hình 6. Chỉ số chứng khoán của Singapore

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu về chỉ số chứng khoán theo giá đóng cửa hàng ngày của các quốc gia Đông Nam Á để xác định sự tồn tại của hình mẫu khuyết trên thị trường và tính toán Entropy hoán vị. Để tránh nhược điểm về thể hiện kết quả sai lệch của Entropy hoán vị do sự bằng nhau của các thành phần liên tiếp nhau hoặc các thành phần trong cùng chuỗi con chọn ra, với các số chiều $D=4,5,6$, tác giả đã kiểm tra các trường hợp xảy ra sự bằng nhau của các thành phần trong chuỗi thời gian. Kết quả kiểm tra sự bằng nhau giữa các thành phần trong chuỗi con được thể hiện ở Bảng 2. Ví dụ, ở chuỗi chỉ số chứng khoán VN-Index của Việt Nam, trong số 4.408 ngày giao dịch, chỉ có 11 trường hợp hai ngày liên tiếp có giá đóng cửa bằng nhau, có 8 trường hợp ngày thứ t có giá đóng cửa bằng với ngày thứ $t-2$, có trường hợp ngày thứ t có giá đóng cửa trùng với ngày thứ $t-3$, và cứ thế tiếp tục cho các độ trễ khác và cho chuỗi tỷ suất sinh lợi cũng như cho các quốc gia khác.

Việc lặp lại các giá trị trong chuỗi chỉ số chứng khoán mặc dù có xảy ra nhưng số lần xảy ra khá nhỏ và tính tỷ lệ trên tổng số quan sát (hơn 4.400 quan sát) là gần như bằng 0 nên tác giả xem như xuất hiện của giá trị bằng nhau này không đáng kể và gần như không ảnh hưởng đến kết quả phân tích Entropy hoán vị như khuyến cáo của Zunino và cộng sự (2017).

Bảng 2.

Bảng thống kê các giá trị lặp lại trong chuỗi số liệu chứng khoán

Chuỗi	Khoảng cách giữa hai kỳ	Việt Nam	Philippines	Malaysia	Indonesia	Thái Lan	Singapore
Chỉ số chứng khoán	1	11	17	3	14	6	0
	2	8	3	1	1	1	2
	3	5	0	3	0	0	1
	4	5	2	2	1	0	0
	5	2	0	1	0	0	0
	6	0	0	2	0	2	1
Chuỗi tỷ suất sinh lợi	1	4	4	1	2	1	1
	2	3	1	6	1	1	1
	3	2	1	4	2	1	1
	4	1	4	2	1	1	1
	5	1	4	6	1	1	1
	6	1	1	4	4	1	1

Biến động chỉ số chứng khoán theo thời gian của các quốc gia được thể hiện trên Hình 1 cho đến Hình 6. Mỗi quốc gia có những hình mẫu biến động riêng nhưng nhìn chung đều có xu hướng theo thời gian. Giai đoạn khủng hoảng kinh tế thể hiện rõ nét trên chuỗi chỉ số chứng khoán khi các thị trường đều có một giai đoạn sụt giảm nghiêm trọng trong những năm diễn ra cuộc khủng hoảng, từ 2008–2010. Tuy nhiên, những hình vẽ cũng cho thấy rằng Việt Nam dường như là quốc gia có thị trường chứng khoán phục hồi chậm nhất sau khủng hoảng khi mà chỉ số chứng khoán sau khủng hoảng không thể đạt được đỉnh như trước đó. Trong khi các quốc gia khác, ngoại trừ Singapore, đều đã tăng trưởng vượt xa các đỉnh trước khủng hoảng. Tuy nhiên, thị trường không tăng liên tục tại mọi thời điểm, mà trạng thái tăng giảm của thị trường sẽ khác nhau tại nhiều thời điểm khác nhau. Theo giả thuyết thị trường hiệu quả, sự tăng giảm của thị trường sẽ mang tính ngẫu nhiên và không có một khả năng nào mang tính áp đảo do tính hiệu quả thông tin của nó, nhà đầu tư không thể dự đoán được hình mẫu biến động của thị trường để thu lợi nhuận bất thường.

Phân phối xác suất của hình mẫu theo các hoán vị như công thức (2) được thiết lập với nhiều độ dài D khác nhau. Cụ thể là ứng với độ dài D lần lượt bằng 4, 5, và 6. Độ dài $D=7$ không được xét đến vì số quan sát của chuỗi dữ liệu không thỏa điều kiện như đề xuất của Matilla-García (2008) và Amigó (2007). Với $D=4$, có $4! = 24$ hình mẫu được xét; với $D=5$, có $5! = 120$ hình mẫu và với $D=6$, có $6! = 720$ hình mẫu. (Bài viết chỉ sử dụng độ trễ $\tau=1$). Kết quả thống kê số lượng hình mẫu khuyết trên thị trường chứng khoán ứng với độ dài hoán vị $D=5$ và $D=6$ được thể hiện ở Bảng 3 và Bảng 4. Riêng độ dài $D=4$ không xuất hiện hình mẫu khuyết trong số $4! = 24$ hoán vị của 4 số tự nhiên đầu tiên.

Bảng 3 thể hiện hình mẫu khuyết khi xét độ dài $D = 5$. Có tất cả $5! = 120$ hình mẫu có thể có. Từ kết quả Bảng 3 có thể thấy rằng không có hình mẫu khuyết nào xuất hiện ở cả hai chuỗi chỉ số chứng khoán và chuỗi tỷ suất sinh lợi trên số liệu của cả 6 quốc gia Đông Nam Á. Dù không là mục tiêu nghiên cứu của bài viết, nhưng đối lập với việc khảo sát hình mẫu khuyết là việc tìm hiểu hình mẫu thường gặp nhất trên thị trường. Kết quả khá thú vị khi tất cả các thị trường chứng khoán của các quốc gia được xét đều có cùng hình mẫu phổ biến nhất đối với chuỗi chỉ số P_t . Hình mẫu này ứng với hoán vị 12345, nghĩa là chuỗi chỉ số chứng khoán tăng liên tục khi xét 5 thời điểm liên tiếp nhau. Xác suất xảy ra hình mẫu này cao nhất là ở Việt Nam (0,1263 tương ứng 12,63%) và thấp nhất là ở Singapore (0,0710 tương ứng 7,1%). Với 120 hình mẫu có thể có của thị trường, xác suất để xảy ra mỗi hình mẫu là $\frac{1}{120} \approx 0,0083$, tức 0,8%; thì việc một hình mẫu có khả năng xuất hiện đến trên 7% hoặc trên 12,6% là một bằng chứng cho thấy rõ tính không hiệu quả của thị trường. Nhà đầu tư có thể dựa vào những thông tin về khả năng hình mẫu xuất hiện phổ biến nhất này để từ đó xây dựng chiến lược đầu tư phù hợp.

Kết quả tính toán trên chuỗi tỷ suất sinh lợi với độ dài $D = 5$ cho thấy không có hình mẫu khuyết nào xuất hiện. Tuy nhiên, xác suất xuất hiện của các hình mẫu cũng rất khác nhau nhưng ít chênh lệch hơn so với khi dùng chuỗi chỉ số chứng khoán P_t . Hình mẫu xuất hiện phổ biến nhất vẫn là hình mẫu 54321 ứng với trường hợp tỷ suất sinh lợi giảm liên tục khi xét tại 5 thời điểm liên tiếp nhau $t-4$, $t-3$, $t-2$, $t-1$ và t và hiện tượng này xảy ra ở các thị trường Việt Nam, Malaysia và Indonesia. Các quốc gia còn lại như Singapore, Thái Lan và Philippines có hình mẫu tỷ suất sinh lợi phổ biến nhất rất khác nhau. Tuy nhiên, xác suất xuất hiện của các hình mẫu phổ biến nhất trong chuỗi tỷ suất sinh lợi không cao và không quá chênh lệch như trường hợp chuỗi P_t , các xác suất này chỉ nằm trong khoảng từ 1,2% đến 2%; rất gần với xác suất trung bình 0,8%. Với kết quả ban đầu này cho thấy việc dùng chuỗi chỉ số chứng khoán P_t sẽ cung cấp những bằng chứng rõ rệt hơn về sự không hiệu quả thông tin của thị trường hơn khi so với khi dùng chuỗi tỷ suất sinh lợi R_t .

Bảng 3.

Số hình mẫu khuyết với $D = 5$ và $\tau = 1$

Quốc gia	Số lượng hình mẫu khuyết (NFP) ¹		Hình mẫu xuất hiện nhiều nhất			
			Chỉ số thị trường (P_t)		Tỷ suất sinh lợi (R_t)	
	Chỉ số thị trường (P_t)	Tỷ suất sinh lợi (R_t)	Hình mẫu	Xác suất	Hình mẫu	Xác suất
Philippines	0	0	12345	0,0829	31245	0,0123
Việt Nam	0	0	12345	0,1263	54321	0,0204
Malaysia	0	0	12345	0,0993	54321	0,0141
Indonesia	0	0	12345	0,0964	54321	0,0134
Thái Lan	0	0	12345	0,0835	53412	0,0132
Singapore	0	0	12345	0,0710	52431	0,0123

¹ NFP: Số hình mẫu khuyết (Number of Forbidden Pattern).

Bảng 4 thể hiện kết quả xác định hình mẫu khuyết với độ dài $D = 6$ và độ trễ 1. Theo đó, có tất cả $6! = 720$ hoán vị tương ứng với 720 hình mẫu biến động có thể xảy ra. Khi xét trên chuỗi P_t , Việt Nam là quốc gia có số hình mẫu khuyết xuất hiện nhiều nhất, với 157 hình mẫu, chiếm hơn 22% ($= \frac{157}{720} \times 100\%$) số hình mẫu có thể có. Nghĩa là có đến hơn 22% số hình mẫu hoán vị không xảy ra trên chuỗi chỉ số chứng khoán VN-Index của Việt Nam. Điều này là một bằng chứng mạnh mẽ cho thấy sự không hiệu quả trong thông tin của thị trường chứng khoán Việt Nam. Malaysia và Indonesia là hai quốc gia có số lượng hình mẫu khuyết nhiều, lên đến 120, chiếm hơn 16,67% số hình mẫu có thể có. Trong khi đó, Singapore là quốc gia có ít hình mẫu khuyết nhất trong số các nước có trong mẫu với 71 hình mẫu khuyết cho trường hợp $D=6$. Mặc dù vậy, sự tồn tại hình mẫu khuyết trên chuỗi chỉ số chứng khoán cho thấy sự không hiệu quả của thị trường chứng khoán.

Bên cạnh đó, hình mẫu biến động phổ biến xảy ra ở cả 6 thị trường đối với chuỗi P_t vẫn là chuỗi biến động tăng dần khi xét 6 ngày giao dịch liên tiếp nhau, ứng với hoán vị 123456. Xác suất xảy ra hình mẫu này cao nhất ở thị trường Việt Nam với 0,0866 tức 8,6%; kế tiếp là ở Malaysia, với 5,7% và thấp nhất là ở Singapore với 3,7%.

Số hình mẫu khuyết trên chuỗi tỷ suất sinh lợi R_t ít hơn rất nhiều so với khi xét trên chuỗi chỉ số chứng khoán P_t . Malaysia là quốc gia có số hình mẫu khuyết cao nhất trong số 6 nước với 8 hình mẫu; tiếp theo là Việt Nam (7 hình mẫu khuyết); Philippines (5 hình mẫu khuyết). Thái Lan có số hình mẫu khuyết ít nhất với chỉ 1 hình mẫu không có cơ hội xuất hiện. Tuy nhiên, hình mẫu phổ biến nhất trên chuỗi tỷ suất sinh lợi ở các nước không còn là hình mẫu tăng liên tục của tỷ suất sinh lợi. Mỗi quốc gia khác nhau có hình mẫu phổ biến nhất của tỷ suất sinh lợi là khác nhau. Tỷ lệ xảy ra của các hình mẫu phổ biến nhất này trong tỷ suất sinh lợi khá nhỏ, chỉ vào khoảng 0,3% đến 0,7% như thể hiện trong hai cột cuối cùng của Bảng 4.

Bảng 4.

Số hình mẫu khuyết với $D = 6$ và $\tau = 1$

Quốc gia	Số lượng hình mẫu khuyết (NFP)		Hình mẫu xuất hiện nhiều nhất			
			Chỉ số thị trường (P_t)		Tỷ suất sinh lợi (R_t)	
	Chỉ số thị trường (P_t)	Tỷ suất sinh lợi (R_t)	Hình mẫu	Xác suất	Hình mẫu	Xác suất
Philippines	107	5	123456	0,0425	312465	0,0039
Việt Nam	157	7	123456	0,0866	654321	0,0075
Malaysia	122	8	123456	0,0571	215643	0,0037
Indonesia	120	2	123456	0,0510	261453	0,0034
Thái Lan	111	1	123456	0,0445	356241	0,0035
Singapore	71	2	123456	0,0372	451326	0,0038

Như vậy, bằng cách kiểm tra sự xuất hiện hình mẫu khuyết trên chuỗi chỉ số chứng khoán và chuỗi tỷ suất sinh lợi chứng khoán, bài nghiên cứu cho thấy rằng sự tồn tại của hình mẫu khuyết trên thị trường chứng khoán của các quốc gia cho thấy cả 6 thị trường chứng khoán Đông Nam Á đều không

phải là thị trường đạt được trạng thái hiệu quả thông tin. Các nhà đầu tư vẫn có thể dựa vào thông tin của các thời điểm trong quá khứ để đưa ra dự đoán cho các thời điểm trong hiện tại và tương lai, từ đó xây dựng chiến lược đầu tư thu được lợi nhuận bất thường.

Bảng 5.

Entropy hoán vị chuẩn hóa ứng với độ dài $D = 4$, $D = 5$, và $D=6$ và độ trễ $\tau = 1$

Quốc gia	D = 4		D = 5		D = 6	
	Chỉ số thị trường (P_t)	Tỷ suất sinh lợi (R_t)	Chỉ số thị trường (P_t)	Tỷ suất sinh lợi (R_t)	Chỉ số thị trường (P_t)	Tỷ suất sinh lợi (R_t)
Philippines	0,9086	0,9990	0,8781	0,9967	0,8474	0,9861
Việt Nam	0,8770	0,9920	0,8422	0,9895	0,8069	0,9786
Malaysia	0,9081	0,9955	0,8768	0,9922	0,8449	0,9804
Indonesia	0,9138	0,9978	0,8854	0,9956	0,8549	0,9855
Thái Lan	0,9195	0,9979	0,8888	0,9957	0,8553	0,9852
Singapore	0,9405	0,9991	0,9124	0,9973	0,8806	0,9880

Bên cạnh việc kiểm tra tính hiệu quả trên thị trường chứng khoán bằng số lượng hình mẫu khuyết, bài viết còn thực hiện tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa (NPE) cho chuỗi chỉ số chứng khoán và chuỗi tỷ suất sinh lợi của 6 quốc gia Đông Nam Á có thị trường chứng khoán. Nếu thị trường đạt được trạng thái hiệu quả thông tin như giả thuyết thị trường hiệu quả, Entropy hoán vị chuẩn hóa sẽ đạt giá trị 1 và càng gần 0 càng cho thấy thị trường kém hiệu quả. Kết quả tính toán Entropy chuẩn hóa được thể hiện trên Bảng 5.

Đối với chuỗi chỉ số chứng khoán P_t và độ dài $D = 4$, Singapore là quốc gia có Entropy hoán vị chuẩn hóa cao nhất với $NPE^2 = 0,9405$; tiếp đến là Thái Lan với $NPE = 0,9195$; Indonesia với $NPE = 0,9138$. Trong khi đó Việt Nam có giá trị Entropy chuẩn hóa thấp nhất với $NPE = 0,8770$. Thứ tự này duy trì ổn định cho cả khi xét với độ dài $D = 5$ và $D = 6$. Khi độ dài D càng lớn thì kết quả đo lường tính hiệu quả của thị trường càng kém đi, việc này cũng nhất quán với kết quả thu được từ việc phân tích số hình mẫu khuyết.

Khi xét trên chuỗi tỷ suất sinh lợi R_t , Singapore vẫn là quốc gia có Entropy hoán vị chuẩn hóa cao nhất ở tất cả các trường hợp của độ dài D được xét và giá trị rất gần 1, tiếp theo là Malaysia, Việt Nam vẫn tiếp tục là quốc gia có Entropy hoán vị chuẩn hóa thấp nhất tuy nhiên giá trị Entropy chuẩn hóa của Việt Nam cũng rất gần 1. Kết quả tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa trên chuỗi tỷ suất sinh lợi rất gần giá trị cực đại, trong khi chuỗi chỉ số chứng khoán không được cao như vậy.

4.2. Thảo luận kết quả nghiên cứu

Kết quả áp dụng phương pháp Bandt và Pompe (2002) có tính đến khả năng chệch như Zunino và cộng sự (2017) đề cập nhằm phát hiện hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa trên chuỗi dữ liệu chứng khoán của 6 quốc gia Đông Nam Á cho thấy rằng cả 6 quốc gia đều không đạt được trạng thái hiệu quả thông tin theo giả thuyết thị trường hiệu quả đối với chuỗi chỉ số chứng

² NPE: Entropy hoán vị chuẩn hóa (Normalized Permutation Entropy).

khoản và rất gần với trạng thái hiệu quả thông tin theo giả thuyết thị trường hiệu quả đối với chuỗi tỷ suất sinh lợi. Các bằng chứng thống kê mà bài viết tìm thấy có thể được liệt kê ra sau đây:

- *Thứ nhất*, sự tồn tại của các hình mẫu khuyết trên thị trường chứng khoán cho thấy biến động của các chuỗi chỉ số chứng khoán và tỷ suất sinh lợi không phải là chuỗi ngẫu nhiên thuần túy và có tính quy luật. Có những hình mẫu hoán vị hoàn toàn chưa xảy ra trên thị trường chứng khoán của các quốc gia này trong khoảng thời gian từ đầu năm 2000 đến gần cuối năm 2018.

- *Thứ hai*, xác suất xảy ra của các hình mẫu hoán vị khác nhau là khác nhau rõ rệt. Ngoài sự xuất hiện của hình mẫu khuyết cho thấy xác suất không bằng nhau, còn có những hình mẫu thường xuyên xảy ra trên thị trường với xác suất rất cao, cao hơn hẳn với mức chung khi thị trường đạt trạng thái hiệu quả cũng như cao hơn rất nhiều so với các hình mẫu khác.

- *Thứ ba*, Entropy hoán vị chuẩn hóa tính được trên chuỗi chỉ số chứng khoán không đạt được giá trị cực đại là bằng 1. Nếu thị trường hiệu quả thì Entropy chuẩn hóa tính được sẽ bằng 1. Do vậy, đây cũng là bằng chứng thống kê cho thấy thị trường không đạt trạng thái hiệu quả thông tin. Nếu dùng Entropy hoán vị chuẩn hóa để đo lường mức độ hiệu quả thị trường thì Singapore là quốc gia thuộc nhóm hiệu quả thông tin hơn so với các quốc gia còn lại. Và tính hiệu quả thông tin thấp nhất thể hiện ở kết quả của Việt Nam.

Ngoài ra, kết quả tính toán từ số liệu thu thập được cũng cho thấy rằng việc sử dụng chuỗi chỉ số chứng khoán để tính toán hình mẫu khuyết và Entropy hoán vị chuẩn hóa cung cấp bằng chứng thống kê về sự không hiệu quả của thị trường mạnh mẽ hơn là so với dùng chuỗi tỷ suất sinh lợi. Xác suất xuất hiện các hình mẫu khi xét chuỗi chỉ số chứng khoán cũng chênh lệch nhau rất rõ trong khi xác suất theo tỷ suất sinh lợi không có quá nhiều chênh lệch. Do vậy, các nhà đầu tư có thể dự đoán chiều hướng biến động giá dễ dàng hơn biến động tỷ suất sinh lợi nếu tiếp cận theo hướng tiếp cận của Zunino và cộng sự (2009).

5. Kết luận và gợi ý chính sách

Bài viết áp dụng phương pháp Bandt và Pompe (2002) theo hướng tiếp cận của Zunino và cộng sự (2009) có quan tâm đến sự chênh lệch của kết quả tính toán Entropy hoán vị như đề xuất của Zunino và cộng sự (2017). Kết quả tính toán trên dữ liệu về chỉ số chứng khoán hằng ngày thu thập trên thị trường chứng khoán của sáu quốc gia Đông Nam Á, bao gồm Philippines, Việt Nam, Malaysia, Indonesia, Thái Lan và Singapore trong giai đoạn tháng 01/2000–11/2018 để tìm hình mẫu khuyết và tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa. Kết quả tính toán của tác giả cho thấy rằng có sự tồn tại của hình mẫu khuyết tồn tại trên cả 6 thị trường chứng khoán ở độ dài $D = 6$, trong đó, Việt Nam luôn là quốc gia có số hình mẫu khuyết cao nhất trong khi Singapore là quốc gia có số hình mẫu khuyết thấp nhất. Xác suất xuất hiện của các hình mẫu hoán vị khác nhau cũng khác nhau, đặc biệt, có những hình mẫu xác suất xuất hiện rất cao, cụ thể là hình mẫu tăng liên tục của chuỗi chỉ chứng khoán được xét. Đây là những dấu hiệu cho thấy tính không hiệu quả thông tin của thị trường chứng khoán.

Bên cạnh đó, kết quả tính toán Entropy hoán vị chuẩn hóa cũng cho thấy sự không hiệu quả của thị trường khi giá trị này không đạt được giá trị cực đại của một thị trường hiệu quả đối với chuỗi chỉ số chứng khoán. Việt Nam là quốc gia nằm cuối cùng nếu sắp xếp tính hiệu quả tính bằng Entropy hoán vị chuẩn hóa theo hướng giảm dần trong khi Singapore luôn là quốc gia có mức đo hiệu quả này cao nhất. Bài viết cũng cho thấy rằng việc sử dụng chuỗi chỉ số chứng khoán sẽ giúp tìm ra bằng

chứng của thị trường không hiệu quả là rõ rệt hơn rất nhiều so với khi sử dụng chuỗi tỷ suất sinh lợi thị trường.

Bài viết này đã sử dụng cách thức vận dụng Entropy hoán vị với số liệu chứng khoán như nghiên cứu của Zunino và cộng sự (2009) và Zunino và cộng sự (2017) để kiểm định tính hiệu quả của thị trường chứng khoán Việt Nam và so sánh với các quốc gia Đông Nam Á. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ mới chứng tỏ tính không hiệu quả của thị trường khi xét độ trễ $\tau=1$. Trong các nghiên cứu tiếp theo, tác giả có thể cải tiến khái niệm Entropy hoán vị trong điều kiện dữ liệu Việt Nam hoặc các khái niệm mở rộng của Entropy hoán vị như Entropy hoán vị đa lớp khi xét các độ trễ $\tau > 1$ hoặc Entropy hoán vị đa lớp có trọng số để củng cố thêm bằng chứng về sự không hiệu quả của thị trường chứng khoán Việt Nam cũng như thị trường chứng khoán ở các quốc gia ASEAN ■

Tài liệu tham khảo

- Aghamohammadi, C., Ebrahimian, M., & Tahmooresi, H. (2014). Permutation approach, high frequency trading and variety of micro patterns in financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 413, 25–130.
- Alvarez-Ramirez, J., Alvarez, J., & Solis, R. (2010). Crude oil market efficiency and modeling: Insights from the multiscaling autocorrelation pattern. *Energy Economics*, 32(5), 993–1000.
- Amigó, J. M., & Kennel, M. B. (2007). Topological permutation entropy. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 231(2), 137–142.
- Bandt, C., & Pompe, B. (2002). Permutation entropy: A natural complexity measure for time series. *Physical Review Letters*, 88(17), 174102:1–174102:4.
- Bachelier, L. (1900). *Théorie De La Spéculation*. Ph.D. Thesis. Sorbonne, Paris.
- Cánovas, J. S., Guillamón, A., & Ruiz, M. C. (2011). Using permutations to find structural changes in time series. *Fluctuation and Noise Letters*, 10(01), 13–30.
- Chen, S., Shang, P., & Wu, Y. (2018). Weighted multiscale Rényi permutation entropy of nonlinear time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 496, 548–570.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417.
- Matilla-García, M., & Ruiz Marín, M. (2008). A non-parametric independence test using permutation entropy. *Journal of Econometrics*, 144(1), 139–155.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6), 2297–2301.
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039–H2049.
- Risso, W. A. (2008). The informational efficiency and the financial crashes. *Research in International Business and Finance*, 22(3), 396–408.
- Trần Thị Tuấn Anh. (2018). Đo lường mức độ hiệu quả thông tin trên thị trường chứng khoán các nước Đông Nam Á bằng Shannon Entropy. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển*, 252(6), 22–29.

- Zanin, M., Zunino, L., Rosso, O. A., & Papo, D. (2012). Permutation entropy and its main biomedical and econophysics applications: A review. *Entropy*, 14(8), 1553–1577.
- Zhang, Y., & Shang, P. (2017). Permutation entropy analysis of financial time series based on Hill's diversity number. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 53, 288–298.
- Zunino, L., Zanin, M., Tabak, B. M., Pérez, D. G., & Rosso, O. A. (2009). Forbidden patterns, permutation entropy and stock market inefficiency. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 388(14), 2854–2864.
- Zunino, L., Tabak, B. M., Serinaldi, F., Zanin, M., Pérez, D. G., & Rosso, O. A. (2011). Commodity predictability analysis with a permutation information theory approach. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 390(5), 876–890.
- Zunino, L., Olivares, F., Scholkmann, F., & Rosso, O. A. (2017). Permutation entropy based time series analysis: Equalities in the input signal can lead to false conclusions. *Physics Letters A*, 381(22), 1883–1892.