

# Oligopolistyczna zмова cenowa przy użyciu algorytmu Q-learning

Krzysztof Siegieda

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

## Streszczenie

Celem wystąpienia jest analiza wpływu asymetrii pamięci agentów uczących się metodą Q-learning na zjawisko zmowy algorytmicznej w sekwencyjnym duopolu cenowym. Badanie podejmuje problem ukrytej heterogeniczności wyników symulacji, niewidocznej w standardowych miarach zagregowanych.

W badaniu wykorzystano symulacje sekwencyjnego duopolu Maskina–Tirole’a (1988) z dwoma agentami Q-learning. Przeprowadzono po 1000 niezależnych przebiegów dla trzech konfiguracji pamięci: symetrycznej pamięci jednookresowej, pamięci jednookresowej vs. zerowej oraz jednookresowej vs. dwuokresowej. Reżimy cenowe w stanie ustalonym identyfikowano za pomocą algorytmu K-średnich, stosowanego do uśrednionych cen rynkowych.

Wyniki wskazują, że asymetria pamięci nie osłabia zmowy algorytmicznej – przeciwnie, stabilizuje koordynację i zwiększa odsetek przebiegów osiągających równowagę Nasha. Analiza skupień ujawnia trzy jakościowo odrębne reżimy: ceny ogniskowe monopolistyczne i koluzyjne (na różnych poziomach cen z siatki możliwych) oraz niepełne cykle Edgewortha.

Badanie pokazuje, że heterogeniczność algorytmów w ramach tej samej klasy może sprzyjać cichej koordynacji i tworzyć bodźce do „wyścigu zbrojeń” w głębokości pamięci, działając na szkodę konsumentów. Wyniki sugerują, że organy ochrony konkurencji powinny analizować nie tylko poziomy cen, ale również architekturę algorytmów, a metody klastrowania mogą służyć jako narzędzie wykrywania autonomicznie skoordynowanych reżimów cenowych.

## Abstract

The purpose of this presentation is to examine the impact of memory asymmetry among Q-learning agents on algorithmic collusion in a sequential pricing duopoly. The study addresses the hidden heterogeneity of simulation outcomes that standard aggregate metrics fail to capture.

The research employs simulations of the Maskin–Tirole (1988) alternating-move duopoly with two Q-learning agents. For each of three memory configurations—symmetric one-period memory, one-period vs. no memory, and one-period vs. two-period memory—1,000 independent runs were conducted. Steady-state pricing regimes were identified using K-means clustering applied to average market prices.

The findings show that memory asymmetry does not disrupt algorithmic collusion; on the contrary, it stabilizes coordination and raises the share of runs converging to a Nash equilibrium. Cluster analysis reveals three qualitatively distinct regimes: monopoly focal price, collusive focal price at another grid level, and incomplete Edgeworth cycles.

The study provides evidence that within-class algorithmic heterogeneity can facilitate tacit coordination and create incentives for a “memory arms race” that harms consumers. The results suggest that competition authorities should scrutinize not only price levels but also algorithmic architectures, and that cluster-based diagnostics can serve as a tool for detecting autonomously coordinated pricing regimes.