



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Essays on markets over random networks and learning in Continuous Double Auctions

van de Leur, M.C.W.

Publication date

2014

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

van de Leur, M. C. W. (2014). *Essays on markets over random networks and learning in Continuous Double Auctions*. [Thesis, externally prepared, Universiteit van Amsterdam].

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Bibliography

N. Alon, and J.H. Spencer (2008), *The Probabilistic Method*, John Wiley & Sons.

M. Anufriev, J. Arifovic, J. Ledyard and V. Panchenko (2013). “Efficiency of continuous double auctions under individual evolutionary learning with full or limited information”, *Journal of Evolutionary Economics* **23**, 539-573.

M. Anufriev and V. Panchenko (2009). “Asset prices, traders’ behavior and market design”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **33**, 1073-1090.

J. Arifovic and J. Ledyard (2003), “Computer testbeds and mechanism design: application to the class of Groves-Ledyard mechanisms for the provision of public goods”, manuscript.

J. Arifovic and J. Ledyard (2004), “Scaling up learning models in Public Good games”, *Journal of Public Economic Theory* **6**, 203-238.

J. Arifovic and J. Ledyard (2007), “Call market book information and efficiency”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **31**, 1971-2000.

K. Bae, H. Jang and K.S. Park (2003), “Traders’ choice between limit and market orders: evidence from NYSE stocks”, *Journal of Financial Markets* **6**, 517-538.

B. Biais, P. Hillion and C. Spatt (1995), “An empirical analysis of the limit order book and the order flow in the Paris Bourse”, *Journal of Finance* **50**, 1655-1689.

J. Blasiak and R. Durrett (2005), “Random Oxford Graphs”, *Stochastic Processes and their Applications* **115-8**, 1257-1278.

R. Bloomfield, M. O’Hara and G. Saar (2005), “The “make or take” decision in an electronic market: Evidence on the evolution of liquidity”, *Journal of Financial Economics* **75**, 165-199.

BIBLIOGRAPHY

- L. Blume, D. Easley, J. Kleinberg and É. Tardos (2009), “Trading networks with price-setting agents”, *Games and Economic Behavior* **67**, 36-50.
- E. Boehmer, G. Saar and L. Yu (2005), “Lifting the veil: An analysis of pre-trade transparency at the NYSE”, *The Journal of Finance* **60-2**, 783-815.
- B. Bollobás (1982), *Annals of Discrete Mathematics: Graph Theory*, North-Holland Publishing Company.
- G. Bottazzi, G. Dosi and I. Rebesco (2005), “Institutional architectures and behavioral ecologies in the dynamics of financial markets”, *Journal of Mathematical Economics* **41**, 197-228.
- W.A. Brock and C.H. Hommes (1997), “A rational route to randomness”, *Econometrica* **65**, 1059-1096.
- W.A. Brock and C.H. Hommes (1998), “Heterogeneous beliefs and routes to chaos in a simple asset pricing model”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **22**, 1235-1274.
- A. Calvó-Armengol (2001), “Bargaining power in communication networks”, *Mathematical Social Sciences* **41**, 69-87.
- T.N. Cason and D. Friedman (1996), “Price formation in double auction markets”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **20**, 1307-1337.
- R. Cervone, S. Galavotti and M. LiCalzi (2009), “Symmetric equilibria in double auctions with markdown buyers and markup sellers”, in: C. Hernandez, M. Posada and A. Lopez-Paredes, *Artificial Economics*, Springer, 81-92.
- K. Chatterjee and B. Dutta (1998), “Rubinstein auctions: On competition for bargaining partners”, *Games and Economic Behavior* **23**, 119-145.
- K. Chatterjee and W. Samuelson (1983), “Bargaining under incomplete information”, *Operation Research* **31-5**, 835-851.
- C. Chiarella and G. Iori (2002), “A simulation analysis of the microstructure of double auction markets”, *Quantitative Finance* **2**, 346-353.
- K.H. Chung, B.F. van Ness and R.A. van Ness (1999), “Limit orders and the bid-ask spread”, *Journal of Financial Economics* **53**, 255-287.

-
- M. Corominas-Bosch (2004), “Bargaining in a network of buyers and sellers”, *Journal of Economic Theory* **115**, 35-77.
- H. Dawid (1999), “On the convergence of genetic learning in a double auction market”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **23**, 1545-1567.
- D. Easley and J. Kleinberg (2010), *Networks, crowds and markets*, Cambridge University Press.
- P. Erdős and A. Rényi (1960), “On the evolution of random graphs”, *Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences* **5**, 17-61.
- P. Erdős and A. Rényi (1961), “On the strength of connectedness of a random graph”, *Acta Mathematica Academiae Scientiarum Hungarica* **12**, 261-267.
- E. Even-Dar, M. Kearns and S. Suri (2007), “A network formation game for bipartite exchange economies”, *SODA '07 Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, 697-706.
- S. Fano and P. Pellizzari (2011), “Time-dependent trading strategies in a continuous double auction”, in: *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* **652**, Springer Berlin-Heidelberg, 165-176.
- S. Fano, M. LiCalzi and P. Pellizzari (2013), “Convergence of outcomes and evolution of strategic behavior in double auctions”, *Journal of Evolutionary Economics* **23-3**, 513-538.
- D. Friedman (1991), “A testable model of double auction markets”, *Journal of Economic Behavior and Organization* **15**, 47-70.
- D. Gode and S. Sunder (1993), “Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders: market as a partial substitute for individual rationality”, *Journal of Political Economy* **101**, 119-137.
- D. Gode and S. Sunder (1997), “What makes markets allocationally efficient?”, *The Quarterly Journal of Economics* **112**, 603-630.
- M.D. Gould, M.A. Porter, N. Hautsch, S. Williams, M. McDonald, D.J. Fenn and S.D. Howison (2013), “Modelling limit order books with bilateral trading agreements”, manuscript.

BIBLIOGRAPHY

- M.D. Gould, M.A. Porter, S. Williams, M. McDonald, D.J. Fenn and S.D. Howison (2013), "Limit order books", arXiv:1012.0349.
- A. Hachmeister (2007), *Informed traders as liquidity providers: evidence from the German equity market*, Der Deutsche Universitäts-Verlag.
- P. Hall (1935), "On Representatives of Subsets", *Journal of the London Mathematical Society* **10-1**, 26-30.
- M.O. Jackson and A. Wolinsky (1996), "A strategic model of social and economic networks", *Journal of Economic Theory* **71**, 44-74.
- S. Janson, T. Luczak and A. Rucinski (2000), *Random Graphs*, John Wiley & Sons.
- E. Kranton and D. Minehart (2001), "A theory of buyer-seller networks", *The American Economic Review* **91-3**, 485-508.
- D. Ladley and P. Pellizzari (2014), "The simplicity of optimal trading in order book markets", in: R. Dieci, X.-Z. He and C. Hommes (eds.), *Economic Dynamics and Financial Modelling*, Springer, 183-199.
- M. LiCalzi and P. Pellizzari (2006), "The allocative effectiveness of market protocols under intelligent trading", in: C. Bruun (ed.), *Advances in Artificial Economics*, Springer, 17-29.
- M. LiCalzi and P. Pellizzari (2007), "Simple market protocols for efficient risk-sharing", *Journal of Economic Dynamics and Control* **31**, 3568-3590.
- M. Mucha and P. Sankowski (2004), "Maximum Matchings via Gaussian Elimination", *Proc. 45th IEEE Symp. Foundations of Computer Science*, 248-255.
- R. Myerson and M. Satterthwaite (1983), "Efficient mechanisms for bilateral trading", *Journal of Economic Theory* **29**, 265-281.
- C.A. Parlour and D.J. Seppi (2008), "Limit order markets: a survey", in: *Handbook of financial intermediation and banking*, Elsevier North-Holland, 63-96.
- A. Polanski (2007), "Bilateral bargaining in networks", *Journal of Economic Theory* **134**, 557-565.

I. Rosu (2009), “A dynamic model of the limit order book”, *Review of Financial Studies* **22**, 4601-4641.

D. Spulber (2006), “Firms and networks in two-sided markets”, in: *Handbooks in Information Systems*, Elsevier, 137-200.

D.B. West (1999), *Introduction to Graph Theory*, Prentice Hall.

R. Yamamoto and B. LeBaron (2010), “Order-splitting and long-memory in an order-driven market”, *The European Physical Journal B* **73**, 51-57.

W. Zhan and D. Friedman (2007), “Markups in double auction markets”, *Journal of Economic Dynamics and Control* **31**, 2984-3005.

Summary

The behaviour of traders has previously been studied extensively in different market designs. The setup of a market contains the information available to traders, the decisions traders have to make and the trading mechanism. Markets over networks, where transactions may occur between connected traders, have been studied mainly under full information about the network structure. In many agent-based models, for instance on Continuous Double Auctions, traders submit orders at random moments during a period under full or limited information about trading history. In both situations, traders simply have to select the optimal deterministic offer.

To study the effect of the design of the market, we have extended these models in this dissertation. In markets over networks we have introduced randomness and in equilibrium we have derived bounds on the maximal efficiency given the network structure. Moreover, under strategic behaviour of traders, we derived the effect of the available information about the network structure on the expected allocative efficiency. This effect depends also on the information about traders' valuations. We studied an alternative payoff function used in the Evolutionary Individual Learning algorithm under a Continuous Double Auction. Furthermore we extended this model by allowing traders to submit a two dimensional decision; their order and their preferred submission moment during the period, and studied the distribution of these moments. We compared with the original model to conclude whether it is optimal to allow traders this extra decision.

In Chapter 2 random bipartite networks are considered, similar to Erdős and Rényi (1960, 1961), where links between buyers and sellers are realised independently from each other with an equal

SUMMARY

probability. We considered a market over such a network, which models the foreign spot exchange market. For infinitely large networks we derived phase transitions, where the structure of the network changes abruptly. When the expected number of links per trader converges to zero, the network almost surely consists of isolated spanning trees, which connect a subset of traders of the graph but do not contain any cycle. We show that a remarkable change in structure occurs when the expected number of links per trader crosses the threshold value one. The structure of the network changes from a collection of relatively small spanning trees, to a network that contains a giant central market. As the expected number of links per trader converges to infinity, almost every trader is contained in the giant market. We derive bounds on maximal efficiency given the network structure, and improve these bounds in the phases where almost every trader is part of a spanning tree, by studying the number of traders that have more than one connected trader.

Chapter 3 extends this setup by considering the efficiency reduction in equilibrium due to strategic behaviour, under different information sets about the network structure. In a thin Erdős-Rényi market with two buyers and two sellers a trading mechanism is used that allows preferred trades to occur, not necessarily the trades that construct a globally optimal allocation. We have compared three ordered information sets about the network structure; no, partial and full information. Under no information traders only know the probability of a link, under partial information the existence of own links is revealed and under full information the entire network structure is known to all traders. Under complete information about traders' valuations and costs, partial information is weakly dominated and hence it is optimal if either everything or nothing of the network structure is revealed to traders. Under incomplete information about valuations and costs we have found that no and full information lead to a comparable efficiency, assuming that traders use markup strategies. Partial information dominates strongly, since volatility of strategies under full information is higher and under no information traders offer more aggressively. Thus under incomplete information about valuations, it is optimal if traders know the existence of the own links, but not of the links of other traders. We can conclude that the quantity of information about the network structure that is available to traders, has a non-monotonic effect

on allocative efficiency. Switching from complete to incomplete information about valuations and costs reverses the shape of this non-monotonicity.

In Chapter 4 the role of the information about the trading history that is available to traders is studied in a Continuous Double Auction market. Traders use the Individual Evolutionary Learning algorithm to determine their offer for the next period, based on the hypothetical payoff in the previous period. We introduced a new hypothetical payoff function when only information about past average prices is available, that uses more of the available information. We have shown that during the learning phase and in equilibrium, the efficiency and the number of transactions are higher than under full information about the trading history. Moreover, the price volatility is lower. This comparison of efficiency is in line with the results of Arifovic and Ledyard (2007) in a Call Market. However, when only past average prices are known the behaviour found is quite different than in Anufriev et al. (2013); instead of a divergence of offers, some convergence occurs. This behaviour is in line with Fano et al. (2013), who show that traders behave as pricemakers when only past profits and average prices are available. Moreover, we have found that these results are robust with respect to the size of the market and the number of units that agents desire to trade. Under the introduced hypothetical payoff function we have found that more information about the trading history leads to a higher price volatility and a lower efficiency and number of transactions.

Chapter 5 studies the timing of order submission. The Individual Evolutionary Learning algorithm is extended by requiring traders to make a two-dimensional decision: to choose the offer and the moment of submitting this offer. We have found that traders in a medium size market learn to submit their order around the middle of the period to balance the probability of trading and the expected profit from trade. Moreover, early submitted offers are more aggressive to gain a higher profit if trade occurs. Offers that are submitted late are less aggressive in order to increase the probability of trading. As a result, submitting early or late results in a higher expected profit, but respectively also in a higher risk of not trading or a higher price volatility. Traders learn to trade in the middle of the period, showing that in the IEL-algorithm traders learn not to

SUMMARY

select risky strategies. We showed that it is optimal not to allow traders to submit their offer at their preferred moment, since this results in a lower expected efficiency and a higher expected price volatility. As the size of the market or competition between traders increases, traders learn to submit their offer earlier and to submit a more conservative offer.

A general conclusion of this dissertation is that market design has a large impact on allocative efficiency. In random Erdős-Rényi markets the information about the network structure that is available to traders has a non-monotone effect on efficiency. This non-monotonicity is opposite under complete and incomplete information about traders' valuations and costs. In a Continuous Double Auction, information about the trading history reduces expected efficiency when traders use the Individual Evolutionary Learning algorithm. Allowing traders to choose their submission moment has a negative effect on allocative efficiency.

Samenvatting (Summary in Dutch)

Het gedrag van handelaren is in de literatuur uitgebreid onderzocht in verschillende marktdesigns. De opzet van een markt bevat de beschikbare informatie voor handelaren, de beslissingen die handelaren moeten nemen en het handelsmechanisme. Markten over netwerken, waarin transacties kunnen optreden tussen verbonden handelaren, zijn voornamelijk bestudeerd bij volledige informatie over de structuur van het netwerk. In veel agent gebaseerde modellen, bijvoorbeeld voor Continuous Double Auctions, plaatsen handelaren biedingen op willekeurig momenten gedurende een periode, met volledige of met beperkte informatie over de handelshistorie. In beide situaties hoeven handelaren dan alleen het optimale deterministische bod te selecteren.

Om te onderzoeken wat het effect is van het design van de markt, hebben we deze modellen in dit proefschrift uitgebreid. In markten over netwerken hebben we onzekerheid geïntroduceerd en in het evenwicht grenzen voor de maximale efficiëntie gegeven de structuur van het netwerk afgeleid. Bovendien bekeken we, bij strategisch gedrag van handelaren, het effect van de informatie die beschikbaar is over de structuur van het netwerk op de verwachte efficiëntie. Dit effect is ook afhankelijk van de informatie over de waarderingen van handelaren. We bestudeerden een alternatieve winstfunctie die gebruikt wordt in het Evolutionaire Individuele Leer algoritme, in een Continuous Double Auction. Dit model hebben we verder uitgebreid door handelaren een tweedelige beslissing voor te leggen; hun bod en het door hen geprefereerde moment tijdens de periode om dit bod te plaatsen, en bestudeerden de verdeling van het moment van plaatsen. We vergeleken onze resultaten met het oorspronkelijke model om te onderzoeken of het optimaal is om handelaren deze extra beslissing te laten nemen.

In Hoofdstuk 2 worden stochastische bipartiete netwerken beschouwd, vergelijkbaar met Erdős and Rényi (1960, 1961), waarbij connecties tussen kopers en verkopers onafhankelijk van elkaar worden gerealiseerd met dezelfde kans. We hebben een markt over een dergelijk netwerk onderzocht, hetgeen de spotmarkt voor buitenlandse valuta modelleert. Voor oneindig grote netwerken hebben we faseovergangen afgeleid, waarbij de structuur van het netwerk abrupt verandert. Als het verwachte aantal connecties per handelaar naar nul convergeert, bestaat het netwerk vrijwel zeker uit geïsoleerde opspannende bomen, die deelverzamelingen van handelaren verbinden maar geen cycli bevatten. We hebben aangetoond dat er een opmerkelijke verandering in de structuur optreedt wanneer het verwachte aantal connecties per handelaar de waarde één overschrijdt. De structuur van het netwerk verandert van een verzameling van relatief kleine opspannende bomen, naar een netwerk dat één grote centrale markt bevat. Wanneer het verwachte aantal connecties per handelaar naar oneindig convergeert, maakt bijna elke handelaar onderdeel uit van de grote markt. We leidden grenzen voor de maximale efficiëntie gegeven deze structuur van het netwerk af en verbeterden deze grenzen in de fasen waar bijna elke handelaar onderdeel uitmaakt van een opspannende boom, door het aantal handelaren dat meer dan één aangesloten handelaar heeft te bestuderen.

In Hoofdstuk 3 wordt dit model uitgebreid door in het evenwicht te kijken naar de efficiëntievermindering ten gevolge van strategisch gedrag, bij verschillende aannames met betrekking tot de informatie over de structuur van het netwerk. In een Erdős-Rényi markt met twee kopers en twee verkopers wordt een handelsmechanisme gebruikt waarbij de geprefereerde transacties plaatsvinden, niet per se de transacties die tot een sociaal optimale allocatie leiden. We hebben drie geneste informatieverzamelingen over de structuur van het netwerk vergeleken; geen, partiële en volledige informatie. Bij geen informatie kennen handelaren alleen de kans op een connectie, bij partiële informatie zijn alleen de eigen connecties bekend en bij volledige informatie is de hele netwerkstructuur bekend bij alle handelaren. Bij complete informatie over waarderingen en kosten van handelaren, wordt partiële informatie zwak gedomineerd en dus is het optimaal indien ofwel alles ofwel niets van de netwerkstructuur bekend wordt gemaakt aan handelaren. Onder incomplete informatie over waarderingen en kosten leiden geen en volledige

informatie tot een vergelijkbare efficiëntie, onder de veronderstelling dat handelaren gebruik maken van zogenaamde opslagstrategieën. Partiële informatie domineert sterk, omdat enerzijds de volatiliteit van de strategieën bij volledige informatie hoger is en anderzijds handelaren agressiever bieden bij geen informatie. Onder incomplete informatie over waarderingen, is het optimaal als handelaren de eigen connecties kennen, maar niet de connecties van andere handelaren. We concluderen dat de hoeveelheid informatie over de structuur van het netwerk die beschikbaar is voor handelaren, een niet-monotoon effect heeft op de efficiëntie. Veranderen van complete naar incomplete informatie over waarderingen en kosten, leidt tot een omkering van deze niet-monotoniteit.

In Hoofdstuk 4 is de rol van de informatie over de handelshistorie die beschikbaar is voor handelaren onderzocht in een Continuous Double Auction markt. Handelaren gebruiken het Individuele Evolutionaire Leer algoritme om hun bod voor de volgende periode te bepalen, aan de hand van de hypothetische winst in de voorgaande periode. We introduceerden een nieuwe hypothetische winst functie die meer informatie in een Continuous Double Auction markt gebruikt, als uit het verleden alleen informatie over gemiddelde aandelenprijzen beschikbaar is. We hebben aangetoond dat tijdens de leerfase en in het evenwicht, de efficiëntie en het aantal transacties significant hoger zijn dan onder complete informatie over de handelshistorie. Bovendien is gebleken dat de prijsvolatiliteit lager is. Deze vergelijking van efficiëntie komt overeen met de resultaten van Arifovic and Ledyard (2007) in een Call Market. Wanneer uit het verleden louter gemiddelde prijzen bekend zijn, leidt deze nieuwe winstfunctie tot ander gedrag dan onder de oude winstfunctie, die bestudeerd is in Anufriev et al. (2013); in plaats van een divergentie van biedingen, vindt enige convergentie plaats. Dit gedrag komt overeen met Fano et al. (2013), die laten zien dat handelaren proberen de transactieprijzen te beïnvloeden wanneer alleen historische winsten en gemiddelde aandelenprijzen bekend zijn. Onze resultaten bleken robuust met betrekking tot de omvang van de markt en het aantal eenheden dat agenten willen verhandelen. Gegeven de geïntroduceerde hypothetische winstfunctie hebben wij geconstateerd dat meer informatie over de handelshistorie leidt tot een hogere prijsvolatiliteit en een lagere efficiëntie en aantal transacties.

Hoofdstuk 5 beschrijft de keuze van het moment om een bod in te doen. Het Individuele Evolutionaire Leer algoritme wordt uitgebreid door van handelaren te vragen om een tweedelige beslissing te nemen: het bod zelf en het moment om dit bod te plaatsen. Handelaren in een middel grote markt leren om hun bod rond het midden van de periode te plaatsen, om de kans op een transactie en de verwachte winst uit een transactie tegen elkaar af te wegen. Vroeg geplaatste biedingen zijn agressiever om een hogere winst te behalen. Aanbiedingen die laat ingediend worden zijn minder agressief om de kans op een transactie te verhogen. Als gevolg hiervan, leidt het vroeg dan wel laat plaatsen van een bod tot een hogere verwachte winst, maar respectievelijk ook tot een hoger risico op het uitblijven van een transactie of een hogere prijsvolatiliteit. Handelaren leren om hun bod in het midden van de periode te plaatsen, hetgeen laat zien dat het leeralgoritme er toe leidt dat handelaren leren om de risicovolle strategieën niet te selecteren. Het is dus optimaal om handelaren niet toe te staan om te kiezen wanneer zij hun bod plaatsen, aangezien dit leidt tot een lagere verwachte efficiëntie en een hogere prijsvolatiliteit. Wanneer de omvang van de markt of concurrentie tussen handelaren toeneemt, leren handelaren om conservatiever te bieden en om hun bod eerder in te dienen.

Een algemene conclusie van dit proefschrift is dat het marktdesign een grote impact op de efficiëntie heeft. In willekeurige Erdős-Rényi markten heeft de informatie over de structuur van het netwerk die beschikbaar is voor de handelaren een niet-monotoon effect op de efficiëntie. Deze niet-monotoniteit is precies omgekeerd als we de gevallen met complete en incomplete informatie over waarderingen en kosten van handelaren vergelijken. In een Continuous Double Auction vermindert informatie over de handelshistorie de verwachte efficiëntie als handelaren gebruik maken van het Individuele Evolutionaire Leer algoritme. Toestaan om handelaren te laten kiezen wanneer zij hun bod plaatsen heeft een negatief effect op de efficiëntie.