



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Price discovery with fallible choice

Ruiter, A.G.J.M.

**Publication date**

2018

**Document Version**

Other version

**License**

Other

[Link to publication](#)

**Citation for published version (APA):**

Ruiter, A. G. J. M. (2018). *Price discovery with fallible choice*. [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.

# Appendix D

## Samenvatting (Dutch summary)

De algemene evenwichtstheorie kan condities benoemen voor de existentie, de uniciteit, en de optimaliteit van het Walrasiaanse evenwicht. Het biedt echter geen bevredigende verklaring voor hoe dit evenwicht kan worden bereikt. Experimenteel economen claimen echter dat er slechts een paar, ongeïnformeerde handelaren nodig zijn en een Continue Dubbele Veiling (CDV) om resultaten te behalen, die lijken op het Walrasiaanse evenwicht. Anderson et al. (2004) rapporteert bijvoorbeeld experimenten waarin proefpersonen handeldrijven in de voorbeelden van Scarf (1960). De resultaten daarvan zijn opmerkelijk: handel in het stabiele voorbeeld benadert het Walrasiaans evenwicht; in de instabiele voorbeelden bewegen de prijzen in de richting, die is voorspeld door tâtonnement theorie. Dit suggereert dat we iets wezenlijks kunnen leren over het ontstaan van evenwicht door experimentele handel te bestuderen.

Dit proefschrift wil een bijdrage leveren aan ons inzicht door experimentele handel te repliceren met behulp van algoritmes. Het zoekt een gedragsverklaring voor prijsvorming, die rekening houdt met het feit dat een economie zich buiten het evenwicht bevindt en met de feilbaarheid van menselijke keuzes. We willen weten hoe menselijke handelaren zich gedagen en hoe dit het proces van evenwicht zoeken beïnvloedt. Hoe komen zij tot voorgestelde prijzen? Welke mogelijkheden nemen ze waar? Als handelaren meerdere acties voor mogelijk houden, hoe komen ze dan tot een keuze? Zijn hun strategieën ecologisch rationeel, d.w.z. overleeft een strategie de concurrentie met andere handelwijzen?

Hoofdstuk 1 geeft een beknopte introductie tot en een overzicht van ons onderzoek.

Hoofdstuk 2 bespreekt verschillende theorieën over prijsvorming. Hierbij doen we vooral een beroep op stabiliteitstheorie omdat ons onderzoek plaats vindt in de context van een algemeen evenwichtsmodel. We vinden dat aannames met betrekking tot alomvattende plannen, prijzen die als gegeven worden beschouwd en de centrale rol van het geaggregeerde vraagoverschot niet stroken met onze doelstelling. Daarom geven we er de voorkeur aan om het onderwerp van stabiliteitstheorie te bestuderen vanuit het perspectief van experimentele economie en agent-based modeling.

In hoofdstuk 3 beschrijven we de experimenten van Anderson et al.. Deze zijn bijzonder relevant voor ons onderzoek omdat (i) handel tegen niet-evenwichtsprij-

zen in een CDV voldoende realistisch is; (ii) de Scarf voorbeelden stellen theorieën over prijsvorming zwaar op de proef; daarbij hebben Anderson et al. ook nog als complicatie toegevoegd dat één goed de rol van geld vervult; (iii) aangezien er twee markten zijn zal handel tegen niet-evenwichtsprijzen de stabiele toestand kunnen verschuiven, weg van het Walrasiaanse evenwicht; (iv) convergentie naar het Walrasiaanse evenwicht is met menselijke handelaren afhankelijk van de initiële allocatie; (v) de eventuele draairichting van prijzen biedt een extra mogelijkheid om onderscheid te maken tussen alternatieve verklaringen. Prof. Anderson is zo vriendelijk geweest om gegevens van twee experimenten ter beschikking te stellen (van het stabiele voorbeeld en van de economie waarin prijzen tegen de klok indraaien). Deze data bieden ons de mogelijkheid om 9799 individuele beslissingen te voorspellen. We gebruiken de data hier ook om gestileerde feiten af te leiden die menselijk handeldrijven karakteriseren.

Hoofdstuk 4 introduceert ons simulatie-platform, FACTS (dat staat voor Fallible Agents' Commodity Trading System). Als onderdeel van de calibratie van FACTS richten we ons op de totstandkoming van voorgestelde prijzen. Volgens de economische theorie is monopolistische concurrentie de aangewezen manier om gedrag buiten het evenwicht te begrijpen. In de Scarf economieën betekent dit dat handelaren prijzen zetten door hun nut te optimaliseren tegen de eigen verwachtingen met betrekking tot de kans dat een voorgestelde prijs wordt geaccepteerd. Dit is echter niet hoe de proefpersonen van Anderson et al. zich gedragen. In plaats daarvan lijken zij hun inschatting van de evenwichtsprijs te gebruiken om hun reserveringsprijs te verankeren. Dit herinnert aan prijs nemen, maar dan in een meer actieve vorm, omdat de handelaren te maken hebben met incomplete en onbetrouwbare prijs-signalen. Met betrekking tot de calibratie van prijsverwachtingen geven verschillende criteria de voorkeur aan verschillende algoritmes. Het algoritme dat menselijke acties het beste voorspelt, eBAS, leidt verwachte prijzen af uit de geldende bied- en laatprijzen. Algoritmes die zogenaamde "no arbitrage" prijzen schatten genereren robuuste convergentie. Het ZIP-algoritme van Cliff en Bruten (1997a) leidt tot prijzen die in de instabiele Scarf economieën systematisch draaien in de richting, die is voorspeld door tâtonnement theorie. Alles overziend geven we de voorkeur aan het eGD-algoritme, dat "no arbitrage" prijzen afleidt uit zogeheten Gjerstad-Dickhaut verwachtingen. Misschien wel het belangrijkste resultaat van de calibratie van prijsverwachtingen is het inzicht in hoe de algoritmes verbeterd kunnen worden. Onze robohandelaren genereren niet genoeg transacties; bovendien worden de Gjerstad-Dickhaut verwachtingen op den duur ongevoelig voor nieuwe informatie. Deze issues zijn gerelateerd en kunnen worden opgelost. Algoritmes, die gebaseerd zijn op een doelstelling van te behalen nut, kunnen naar verwachting meer profiteren van een groter aantal transacties dan andere algoritmes. Dit is een gevolg van het feit dat menselijk handeldrijven hoofdzakelijk niet speculatief is: handelaren kopen wat ze nodig hebben en verkopen wat ze kunnen missen. Meer transacties betekent dan dat robohandelaren leren dat ze een hoger nut kunnen behalen.

Hoofdstuk 5 betoogt dat menselijke keuzes feilbaar zijn. Dit kan worden gezien als een variant van "begrensd rationaliteit", waarbij agenten langdurig vooringenomen kunnen zijn. Als voortzetting van de calibratie van FACTS bestuderen we hoe mensen een keuze maken uit waargenomen mogelijkheden. Hierbij beperken we ons tot beslissingen waarbij de actie van een menselijke handelaar door het eGD-algoritme wordt herkend als een mogelijke optie. Om alternatieven te rangschikken maken we

gebruik van nutsmaximalisatie, cumulatieve prospect theorie, entropie-sensitieve preferenties (ESP) en vuistregels voor het prioriteren van mogelijke acties.<sup>1</sup> We vinden dat de vuistregels het gedrag van mensen het best voorspellen. Verder modeleren we speculatief gedrag door een beroep te doen op de theorie van mental accounting. Dit legt veel beperkingen op aan de verzameling van mogelijke acties en het impliceert kortzichtig gedrag. De voorspelling van menselijk gedrag verbetert licht wanneer ook arbitrage gedrag gebaseerd op mental accounting wordt toegestaan.

Hoofdstuk 6 onderzoekt of de resultaten van geselecteerde calibraties robuust zijn, door robohandelaren de gelegenheid te geven om te leren welke strategie het best bij hen past. Onze benadering van leren is een combinatie van zogenaamde replicator dynamics en van reinforcement learning. Hier zijn de belangrijkste resultaten dat (i) monopolistische concurrentie in de stabiele en in de tegen-de-klok-in economie sterk wordt gedomineerd door reserveringsprijzen die zijn gebaseerd op verwachte prijzen; (ii) de vuistregels voor het prioriteren van mogelijke acties sterk dominant zijn ten opzichte van andere manieren om een beste alternatief te selecteren; en, onverwacht, (iii) dat het ZIP-algoritme ecologisch rationeel is voor wat betreft de vorming van prijsverwachtingen.

Appendix A bespreekt marktfalen. Dit treedt op als Pareto verbeteringen niet kunnen worden geïmplementeerd door middel van handel. Onze initiële simulaties liepen snel vast in marktfalen, als gevolg van de wijze waarop prijsverwachtingen werden geïnitieerd (willekeurig gekozen uit de simplex) en door hoeveelheidsbepaling op basis van nutsmaximalisatie.

Appendix B geeft meer inzicht in FACTS. We leggen uit hoe robohandelaren mogelijkheden waarnemen en hoe deze voorgesteld kunnen worden als een loterij. Hier leiden we eveneens de vuistregels af voor het prioriteren van mogelijke acties. Verder beschrijft de appendix de algoritmes voor het leren van prijzen. We hebben bestaande algoritmes aangepast aan de context van de Scarf economieën en in een enkel geval verbeteringen aangebracht. Daarnaast hebben we variaties en nieuwe algoritmes toegevoegd.

Appendix C beschrijft een aanpassingsproces voor prijzen dat onderdeel was van de ontwikkeling van FACTS. In dit proces *veronderstelt* de veilingmeester dat alle handelaren een Cobb-Douglas nutsfunctie hebben. De gearticuleerde vraag naar goederen bij de eerder afgekondigde prijzen is voldoende om de hypothetische preferenties te identificeren. De unieke evenwichtsprijzen van de geassocieerde Cobb-Douglas economie vormen de input voor de volgende iteratie. We bewijzen globale convergentie in CES economieën, waarin de handelaren CES nutsfuncties hebben die kunnen variëren van Leontief tot en met Cobb-Douglas nutsfuncties.

Terugkijkend op de verklaring van convergentie in de stabiele Scarf economie geven we enkele bespiegelingen:

- algoritmes die economisch gezien betekenisvolle prijzen opleveren bereiken geen goede convergentie. We kunnen evenwel verwachten dat algoritmes die gebaseerd zijn op een doelstelling ten aanzien van nut het beter zullen doen indien robohandelaren meer transacties genereren.

---

<sup>1</sup>ESP introduceren een afweging tussen de verwachte waarde en de onzekerheid van een alternatief. Dit kan verschillende van de zogenaamde keuze-paradoxen verklaren. We laten zien dat ESP passen in het raamwerk van de keuze theorie nadat het axioma van onafhankelijkheid licht is afgezwakt.

- Handelaren kunnen leren van eerdere prijzen, maar ook door goed te kijken naar de acties die zij voor mogelijk houden. Hoofdstuk 3 laat zien dat slimme handelaren in de instabiele economieën de evenwichtsprijzen op basis van introspectie kunnen bepalen, d.w.z. zonder te handelen. Als de handelaren echter vuistregels gebruiken voor het prioriteren van mogelijke acties is het niet aanmerkelijk dat ze veel leren uit de beschikbare acties.
- In de Scarf economieën geldt dat afwijkingen van de evenwichtsprijs in één markt geen invloed hebben op de prijsvorming in de andere markt. Zo'n lokaal effect van "valse" prijzen zou ook een verklaring kunnen zijn voor het feit dat het competitieve evenwicht zo weinig verschuift van het Walrasiaanse evenwicht. Onze simulaties suggereren echter anderszins.
- Plott et al. (2013) oppert dat prijzen in de stabiele Scarf economie convergeren omdat handel een zogeheten "Marshalliaans pad" volgt, d.w.z. alsof kopers en verkopers zijn gerangschikt op hun reserveringsprijs. Het is ons niet duidelijk hoe een Marshalliaans pad geïmplementeerd zou moeten worden, want handelaren kunnen niet onderling coördineren op basis van private reserveringsprijzen; bovendien zou hier ook sprake kunnen zijn van een perverse prikkel.
- Marshall (1961) stelt een ander mechanisme voor dat veelbelovend lijkt. Volgens Marshall bepalen handelaren, op basis van verwachte prijzen, hoeveel ze aan ieder goed willen besteden. Daarna bepalen ze hun reserveringsprijzen, waarbij ze rekening houden met eerdere transacties. Indien iemand gemiddeld gesproken eerder teveel heeft betaald, dan wil hij nu minder betalen dan de verwachte prijs om het verschil te compenseren. Dergelijk gedrag corrigeert eerdere "fouten" in de markt waarin ze zijn ontstaan (en daarmee onderscheidt het zich van doelstellingen ten aanzien van het te behalen nut en van monopolistische concurrentie).