



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Essays on nonlinear evolutionary game dynamics

Ochea, M.I.

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Ochea, M. I. (2010). *Essays on nonlinear evolutionary game dynamics*. Amsterdam: Thela Thesis.

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.

Samenvatting

Het doel van dit proefschrift is om de dynamica van evolutionaire spellen te bestuderen. Aanvankelijk werd evolutionaire speltheorie gezien als een manier om rationele speltheorie te “repareren”. De hoop was dat het geëgregereerde gedrag van een populatie van begrepsd rationele spelers convergeert naar klassieke rationele oplossingsconcepten zoals het Nash-evenwicht door middel van leer- of evolutionaire processen. Er is echter nog steeds geen klasse van evolutionaire dynamica, noch eenvoudige imitatie (replicatorodynamica), noch gecompliceerd leergedrag op basis van verwachtingen over het gedrag van andere spelers (fictief spelen of beste-antwoorddynamica), die garanderen dat er convergentie is naar het Nash-evenwicht tenzij er gekeken wordt naar een beperkte klasse van spelen met meestal een klein aantal strategieën.

In dit proefschrift worden beperkt rationele spelers gemodelleerd met een geperturbeerde versie van de beste-antwoorddynamica, de zogeheten logitregel. De strategische context, waarin dit evolutionaire proces wordt toegepast, varieert van eenvoudige cyclische competitie modellen (Steen-Papier-Schaar, SPS in het vervolg), tot bedrijfstakorganisatie (Cournot-oligopolie) en publieke goederenspellen zoals het herhaalde gevangenendilemma. De logitregel heeft de aantrekkelijke eigenschap dat het verscheidene gradaties van (bijziend) rationeel gedrag kan omvatten door de regel meer of minder gevoelig te maken voor verschillen in de aantrekkelijkheid van keuzes. De rode draad door de hoofdstukken is de vraag of een vaste toestand op de lange termijn de uitkomst is van de evolutionaire dynamica, gekenmerkt door het

gebruik van de logitregel, of dat er gecompliceerder gedrag kan ontstaan. Hierbij kan men denken aan meervoudige evenwichten (padafhankelijkheid), cyclische of zelfs chaotische aantrekkers.

Hoofdstuk 2 vergelijkt het gedrag op de lange termijn van de replicatordynamica met het gedrag van de logitdynamica in standaard SPS- en coördinatiespellen. Het is bekend dat replicatordynamica niet leidt tot stabiele limietcycli maar tot heterocliene cycli in 3×3 circulaire SPS-spellen (Zeeman (1980)). Wij verkrijgen een alternatief bewijs van dit klassieke resultaat gebaseerd op de berekening van de eerste Lyapunov-coëfficiënt in de normaalvorm van het vectorveld geïnduceerd door de replicatordynamica en laten zien dat alle Hopf-bifurcaties gedegeneerd zijn. Met dezelfde techniek laten we zien dat generieke Hopf-bifurcaties wel voorkomen in de logitdynamica en zelfs dat deze bifurcaties superkritiek zijn, d.w.z. het systeem vertoont stabiele limietcycli. Dit resultaat wordt uitgebreid door middel van continuatietechnieken en met behulp van het softwarepakket Matcont naar de klasse van 3×3 niet-circulaire SPS-spellen. Net als generieke Hopf-bifurcaties komen ook zadelknoten niet voor in 3×3 spellen onder replicatordynamica (Zeeman (1980)). Met behulp van een eenvoudig 3×3 coördinatiespel vinden wij numeriek een scenario waarin drie opeenvolgende zadelknooppunten onder logitdynamica leiden tot meervoudige inwendige vaste toestanden. Zowel de Hopf-bifurcatie als de codimensie I zadelknoop worden gecontinueerd in de payoffparameters van het spel en gedragsparameters zoals de keuzeintensiteit. Hieruit volgen bifurcatiekrommen in de parameter ruimte waarlangs codimensie II singulariteiten zich bevinden. Vervolgens bestuderen wij een frequentie-gewogen versie van de logitdynamica (wlogit), die wij toepassen op een circulair 3×3 SPS-spel. Wij laten zien dat stabiele limietcycli met een grote amplitude voorkomen. Deze cykel vertoont overeenkomsten met de heterocliene cykel die de drie eenvormige vaste toestanden onder de replicatordynamica verbindt. Anders dan logitdynamica, kan wlogit chaotisch gedrag vertonen in een symmetrisch 4×4 -spel. Het voorbeeld, dat wij construeren, is geïnspireerd door

de biologie.

Waar Hoofdstuk 2 zich richt op acties gekozen in een specifieke strategische situatie, bestudeert Hoofdstuk 3 de evolutie van leerregels op een dieper niveau. Dit gebeurt in de context van een Cournot-duopolie met lineaire vraag en kwadratische kosten. In elke tijdsperiode kiezen de bedrijven niet alleen de hoeveelheid die zij aanbieden, rekeninghoudend met hun verwachtingen over de keuze van hun concurrent, maar zij kiezen ook welke heuristiek zij gaan gebruiken om deze verwachting te bepalen. Deze hogere-orde mededinging tussen verwachtingsregels beïnvloedt de stabiliteitseigenschappen van het onderliggende Cournot-Nash-evenwicht. Verschillende paren van verwachtingsregels, zoals naïve verwachtingen, adaptieve verwachtingen, (gewogen) fictief spelen en rationele verwachtingen, worden met elkaar vergeleken. Bijvoorbeeld, de evolutionaire competitie tussen gratis adaptieve verwachtingen en een prijzige gewogen fictief spelenregel destabiliseert het Cournot-Nash-evenwicht door middel van een primaire periodeverdubbelingsbifurcatie en een secundaire Neimark-Sacker-bifurcatie, waardoor uiteindelijk een chaotisch gebied wordt bereikt. In Hoofdstuk 4 wordt deze analyse uitgebreid naar een Cournot-oligopolie met lineaire vraag, lineaire kosten en een arbitrair aantal spelers in de geest van het Theocharis (1960) “twee is stabiel, drie is onstabiel”-resultaat. In een omgeving met heterogene verwachtingsregels bestaande uit adaptieve en rationele spelers laten wij zien dat het Cournot-Nash-evenwicht destabiliseert door een periodeverdubbelingsroute naar chaos als het aantal spelers groter wordt. Het Theocharis (1960)-resultaat wordt afgeleid als het limietgeval met homogene naïve verwachtingen. Verrassend genoeg kan het systeem worden gestabiliseerd door de modelparameters aan te passen, bijvoorbeeld door verwachting adaptiever te maken (het plaatsen van een hoger gewicht op observaties verder in het verleden).

Modellen met begrensd rationele en heterogene spelers uitgerust met slimme én eenvoudige heuristieken (Gigerenzer and Todd (1999)) lijken een veelbelovende manier om het raadsel van samenwerking in het gevangendilemma op te lossen. Een

ecologie van eenvoudige regels in een geïtereerd gevangenendilemmaaanwerk wordt geconstrueerd in Hoofdstuk 5 en de selectie van regels wordt aangedreven door logit-achtige evolutionaire dynamica. Deze ecologie bestaat uit reciprocators, onconditionele afwijkers, onconditionele samenwerkers, Pavlov (stimulus-respons) en vergevingsgezinde reciprocators, die allemaal met een kleine kans een fout kunnen maken bij het uitvoeren van hun actie en een kleine fout in het kiezen van de beste heuristiek die beschikbaar is. Met een mengeling van analytische en numerieke methoden wordt de rijke evolutionaire dynamica van de resulterende deelecologie bestudeerd. De ecologie is cruciaal voor het succes en het mislukken van bepaalde heuristieken en er is geen duidelijk beste heuristiek. Pavlov (stimulus-respons) spelers doen het goed in omgeving waarin geen onconditionele samenwerkers zijn, maar varen slecht bij de aanwezigheid van spelers die altijd “aardig” zijn. SPS-achtige cykels ontstaan in 3×3 ecologieën, terwijl sommige 4×4 ecologieën gevoelig zijn voor padafhankelijkheid en coëxistentie van periodieke en chaotische aantrekkers.

Een algemene conclusie van dit proefschrift is dat evolutionaire selectie tussen begrensd rationale strategieën niet noodzakelijk convergentie naar het Nash-evenwicht impliceert en dat rijk dynamisch gedrag eerder regel dan uitzondering is.