

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer Simulationsumgebung zur Untersuchung von Gleichgewichtszuständen bei wiederholten Spielen. In einer Simulation wird eine Menge von Agenten betrachtet. Agenten werden zu Paaren zusammengefasst und spielen das der Simulation zugrundeliegende Stufenspiel gemäß ihren aktuellen Strategien gegeneinander. Diese Abfolge wird als Runde bezeichnet und viele Male wiederholt. Nach der letzten Runde wird anhand der erhaltenen Auszahlungen eine Rangliste aller Agenten erstellt. Die Agenten passen daraufhin ihre Strategien an; nicht mit dem Ziel, ihr Absolutkapital zu maximieren, sondern einen möglichst hohen Rang zu erreichen. Eine solche Folge nennen wir einen Adaptionsschritt.

Adaptionsschritte werden ebenfalls wiederholt; und zwar so lange, bis sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat oder eine maximale Zahl von Schritten durchgeführt wurde. Vor dem ersten Adaptionsschritt werden die Agenten mit Strategien und Kapital initialisiert. Dieser ganze Ablauf wird nun als eine Wiederholung bezeichnet.

In einer ganzen Simulation werden nun mehrere Wiederholungen durchgeführt, damit eine aussagekräftige Statistik erstellt werden kann. Am Schluss der Simulation werden die Ergebnisse präsentiert.

Dabei soll der Simulator möglichst frei konfigurierbar sein, bspw. Sollen Agentenzahl und Stufenspiel, aber auch komplexere Aspekte wie der Algorithmus zur Paarbildung oder der Mechanismus zur Strategieanpassung vom Nutzer eingestellt werden können.

-----Max. 2 min

Für uns ergaben sich bei der Konzeption des Simulators drei wichtige Fragestellungen:

- Welche Parameter sollen konfigurierbar sein.
- Was genau bedeutet Gleichgewichtszustand.
- in welcher Form sollen die Ergebnisse einer Simulation aufbereitet werden.

Unser Lösungsansatz und dessen Umsetzung wollen wir anhand einer Beispielinteraktion vorstellen.

Wenn man das Programm startet, öffnet sich zunächst dieses Fenster. Es ist bereits eine Standardkonfiguration voreingestellt, von der hier eine Zusammenfassung angezeigt wird. Würden wir jetzt den Start-Knopf drücken, würde eine Simulation mit dieser Konfiguration gestartet werden. Wir wollen aber die Konfiguration erstmal bearbeiten und klicken dazu auf das Zahnrad. Dann öffnet sich das Konfigurationsfenster.

Der erste Abschnitt sind die Grundeinstellungen. Hier können einige grundlegende Einstellungen wie die Anzahl der Agenten, das zugrundeliegende Stufenspiel oder die Menge aller in diesem Simulationslauf erlaubten Strategien eingestellt werden. Wollen wir die Menge zugelassener Strategien verändern, klicken wir auf dieses Dropdown Menü und wählen über die Checkboxes aus der Liste alle gewünschten Strategien aus. Wollen wir gemischte Strategien zulassen, aktivieren wir diese Checkbox.

Als nächstes haben wir uns Gedanken gemacht, wie wir die initiale Kapital- und Strategieverteilung realisieren wollen. Die Schwierigkeit, die sich dabei ergeben hat, ist das die Konfiguration einerseits möglichst einfach, andererseits aber auch sehr flexibel sein soll. Zum Beispiel soll so etwas möglich sein wie 70% der Agenten spielen Tit-for-Tat, die anderen Grim und das initiale Kapital ist Poissonverteilt. Außerdem wollten wir das Einteilen der Agenten in verschiedene Gruppen, also z.B. rote, blaue und grüne Agenten ermöglichen. (-> Gruppenfolie)

Zunächst kann man also die Agenten in Gruppen einteilen, wobei es auch gruppenlose Agenten geben darf. Als erstes war dann unsere Idee, dass man dann für jede dieser Gruppen unabhängig initiale Strategien und initiales Kapital festlegen kann. Das heißt einerseits kann man die Verteilung für das initiale Kapital festlegen, das heißt für jeden der Agenten aus dieser Gruppe wird das Anfangskapital zufällig aus der gewählten Verteilung gezogen. Andererseits kann man eine Menge von Anfangsstrategien festlegen; dann wird jeder Agent dieser Gruppe mit einer zufällig gewählten Strategie aus dieser Menge initialisiert.

Dann ist uns aber aufgefallen, dass so Initialkapital -bzw. Strategien zu eng an die Gruppen gekoppelt sind(, die drei sollen aber eigentlich unabhängig voneinander konfiguriert werden können). Es ist so z.B. nicht möglich, eine Gruppe zu erstellen, in der 70% der Agenten Tit-for-Tat und 30% Grim benutzen.

Daher haben wir das Konzept von Segmenten eingeführt. Anstatt die Konfiguration für jede Gruppe zu machen, können die Gruppen jeweils nochmal in Segmente eingeteilt werden. Die Konfiguration für initiales Kapital und initiale Strategien wird dann für jedes Segment einzeln vorgenommen. Die Segmente sind also Hilfskonstruktionen für die Initialisierung und haben ab da keinen Einfluss mehr auf den Simulationsablauf. Grob gesagt: Die Agenten kennen ihre Gruppe, aber nicht ihr Segment.

Nachdem wir nun dieses Konzept erklärt haben, kommen wir zurück zum Konfigurationsfenster. Unter den Grundeinstellungen ist der Abschnitt für die Gruppeneinstellungen. Über diesen Knopf können wir neue Gruppen erstellen, und so sieht es aus, nachdem wir zwei Gruppen hinzugefügt haben. Über den Slider können die Gruppengrößen eingestellt werden. Die farbigen Abschnitte stehen für die Gruppen, der weiße für die gruppenlosen Agenten. Für die Segmenteneinstellungen gibt es für die Gruppen und die gruppenlosen jeweils einen Tab. (Über das X auf dem Tab kann eine Gruppe wieder gelöscht werden.)

In den Segmenteneinstellungen einer Gruppe können auf ähnliche Weise Segmente gebildet werden. Wie ich vorhin erklärt habe, kann nun für jedes der Segmente die Verteilung für das initiale Kapital und die Menge der initialen Strategien konfiguriert werden. (kurz GUI erklären, 3-4 Sätze).

Als nächstes kommt noch der Abschnitt zu den Erweiterten Einstellungen. Hier können der Algorithmus zur Paarbildung, die Erfolgsquantifizierung, der Adaptionsmechanismus und das Gleichgewichtskriterium ausgewählt und parametrisiert werden. Dafür haben wir uns zwei Kriterien überlegt. Einmal, dass sich die Strategien der Agenten in aufeinanderfolgenden Adaptionsschritten nur noch wenig ändern und einmal dass sich die Rangliste nur noch wenig ändert. Hier ist z.B. das Ranglistengleichgewicht eingestellt. Beide haben

zwei Parameter. Der erste ist zwischen 0 und 1 und gibt an, wie streng das Gleichgewicht sein soll (0 heißt keine Änderung,...). Der zweite gibt an, wie viele Runden dieses Kriterium erfüllt sein muss, damit es als Gleichgewicht erkannt wird. Auf diesen Abschnitt hier kommen wir später nochmal zurück. Indem wir jetzt auf den Haken in der Toolbar klicken, gelangen wir zurück ins Startfenster und können unsere Simulation starten. Die laufende Simulation erscheint dann in dieser Liste und die Progress-Bar zeigt an, wie viele der Wiederholungen bereits abgeschlossen wurden.

Sobald die Simulation abgeschlossen ist, erhalten wir durch Klicken auf den Listeneintrag die Simulationsergebnisse. Diese besteht aus zwei Seiten. Auf der ersten Seite können finale Strategie- und Kapitalverteilung der Agenten für die einzelnen Wiederholungen eingesehen werden. Die betrachtete Wiederholung kann über diesen Slider eingestellt werden. Über den Range-Slider kann ein Quantil der Agenten eingestellt werden, deren Verteilung betrachtet werden soll. Zieht man z.B. den rechten Knopf bis ganz rechts und den linken in die Mitte, werden die Verteilungen für die besten 50% der Agenten gebildet. Will man die Wiederholungen nicht einzeln betrachten, kann man diese Checkbox aktivieren. Dann werden in den Verteilungen Mittelwerte über alle Wiederholungen angezeigt.

Auf der zweiten Seite sind Informationen zu Gleichgewichtshäufigkeit, Gleichgewichtseffizienz und Einstellungsdauer. Effizienz ist ein Maß für die Kooperativität des Gleichgewichts; 0 heißt, dass überhaupt niemand kooperiert, 1 dass jeder mit jedem kooperiert. Die Einstellungsdauer ist die Anzahl von Adaptionsschritten, bis es zum Gleichgewicht kam. Die Abbildungen sind als Histogramme zu verstehen, das heißt dieser Balken bedeutet etwa,... Darunter wird jeweils noch der Mittelwert angezeigt.

Als nächstes wollen wir das Konzept der Multikonfiguration erklären. Die Idee dahinter ist, dass wir eine Möglichkeit bieten wollen, den Einfluss eines bestimmten Parameters auf die Gleichgewichtsentstehung und deren Effizienz zu untersuchen. Dazu soll es also möglich sein, bei der Konfiguration einen Parameter zu wählen, der dann in bestimmten Schritten eine bestimmte Wertemenge durchläuft, während alle anderen Parameter fixiert bleiben. In der Ausgabe wollen wir dann eine Abstraktion bieten, die dem Nutzer kompakt die Abhängigkeit von Gleichgewichtswahrscheinlichkeit, Gleichgewichtseffizienz etc. von dem gewählten Parameter aufzeigt.

Wir wollen das ganze an einem Beispiel demonstrieren. Und zwar wollen wir untersuchen, wie sich der prozentuale Anteil der Agenten, die mit Grim initialisiert werden, auf die Gleichgewichtsentstehung auswirkt. Wir wollen also eine Menge von Simulationen starten, in denen je  $x\%$  der Agenten mit Grim und die restlichen mit Tit-for-Tat beginnen, wobei  $x$  von 10 bis 100 in 10%-Schritten laufen soll. Der Einfachheit halber soll es keine Gruppen geben. Dazu öffnen wir wieder durch Klick auf das Zahnrad das Konfigurationsfenster und löschen die beiden Gruppen. Für die gruppenlosen Agenten erstellen wir zwei Segmente, eins für die Grim- und eins für die Tit-for-Tat-Agenten. Der Multikonfigurationsparameter ist jetzt also die Segmentgröße. Um die MK zu aktivieren, befindet sich hier neben dem Slider eine Checkbox, welche wir nun aktivieren. Da die Segmentgrößen jetzt variabel sind, ist der Slider jetzt ausgegraut. In den Erweiterten Einstellungen können wir jetzt hier Start- und Endwert sowie Schrittweite für den Parameter angeben. In unserem Fall

also 10%, 100% und 10%. Wie vorhin bestätigen wir die Konfiguration und starten die Simulation. Tatsächlich werden nun also 10 Simulationen mit jeweils 100 Wiederholungen durchgeführt. Wieder erscheint die laufende Simulation in der Liste. Ist sie abgeschlossen, können wir uns wieder durch einen Klick auf den Eintrag die Ergebnisse anzeigen lassen. Wie wir sehen, gibt es nun drei Seiten. Die ersten beiden stimmen mit denen zuvor überein, mit dem Unterschied, dass man jeweils die betrachtete Konfiguration, in diesem Fall gibt es 10 Stück, einstellen muss. Auf der dritten Seite befindet sich die gewünschte Abstraktion. Für jede zugehörige Konfiguration wird die Gleichgewichtseffizienz und die Einstellungsdauer über alle Wiederholungen gemittelt und dann diese Werte sowie die Gleichgewichtshäufigkeit über dem Multikonfigurationsparameter aufgetragen. Hier können wir etwa erkennen, dass die Effizienz auftretender Gleichgewichte mit dem Anteil der Grim-Agenten sinkt, während die Wahrscheinlichkeit, dass sich überhaupt ein GG einstellt und wie lange das dauert weitestgehend unabhängig davon sind.