

Bachelorthesis

Konzeption und Umsetzung von Software-Architekturen in Multiplayer-Spielen

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

eingereicht im Fachbereich Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik an der
Technischen Hochschule Mittelhessen

von

Leon Schäfer

29. Januar 2022

Referent: Dr. Dennis Priefer Korreferent: < noch nicht festgelegt >

Erklärung der Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie die Zitate deutlich kenntlich gemacht zu haben.

Gießen, den 29. Januar 2022

Leon Schäfer

Abstract:

Der Einstieg in die Multiplayer-Spieleprogrammierung gestaltet sich für angehende Entwickler als schwierig. Ein erstes eigenes Projekt umzusetzen erfordert viel Einarbeitung und es gibt viele Einstiegshürden.

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine Einstiegshilfe für die Entwicklung von Multiplayer-Spielprojekten zu geben. Hierzu wird eine abstrakte Vorlage konstruiert, welche auf möglichst viele Multiplayer Use-Cases anwendbar ist.

Dazu wurden abstrahierte Konzepte erstellt, welche auf möglichst viele Spieleideen übertragbar sein sollen. Diese Konzepte bestehenden aus einzelnen Software-Komponenten, welche selbst noch keine konkrete Implementierungsvorgabe sind, sondern lediglich das Konzept der Komponente abstrakt beschreiben.

Als Proof of Concept wurden die beschriebenen Konzepte anhand einer Implementierung in einem Multiplayer-Spiel in der Unity Engine, mithilfe des Mirror Frameworks implementiert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Problembeschreibung und Motivation	1
1.2	Ziele dieser Arbeit	2
1.3	Vorgehensweise	3
1.4	Abgrenzung	3
1.5	Struktur der Arbeit	4
2	Hintergrund	5
2.1	Grundlagen des Networkings in Online-Videospielen	5
2.2	Verschiedene Arten des Hostings	6
2.3	Datenspeicherung und Transfer	8
2.4	Informationskontrolle und Interest Management	10
2.5	Matchmaking	10
2.6	Synchronisation	12
3	Konzepte	13
3.1	Vorwort zu den aufgestellten Konzepten	14
3.2	API für Matchmaking & Server Runner	14
3.3	Anti Cheat Patterns	16
3.4	Client UI & Visual Controller	16
3.5	Client Network Manager	18
3.6	Server Network Manager	18
3.7	Lobby / Multi Scene Manager (optional)	18
3.8	Client Connection Manager	18
3.9	Serverside Client Manager	20
3.10	Prepare-Game-Manager	21
3.11	Progress / Game-State Manager	22
3.12	Runtime Spawn Manager	23
3.13	Interest Manager	25
3.14	Entwicklung sonstiger Server Logik	27
3.15	Entwicklung sonstiger Client Logik	27
3.16	Studienkonzept	27
4	Realisierung	31

5	Zusammenfassung	33
5.1	Fazit	33
5.2	Auswertung	33
5.3	Weitere Ansätze	33
5.4	Nächste Schritte	33
5.5	Ausblick	33
	Literaturverzeichnis	35
	Abkürzungsverzeichnis	37
	Abbildungsverzeichnis	37
	Tabellenverzeichnis	39
	Listings	41
A	Anhang 1	43
B	Anhang 2	45

1 Einführung

Die Spieleindustrie ist im Wandel. Reine Singleplayer-Spiele, die ohne andere menschliche Mitspieler auskommen, werden immer seltener entwickelt. Die Erfolgsaussichten erscheinen um ein Vielfaches schlechter. Die drei bestplatzierten Titel der meistverkauften PC- und Konsolenspiele 2019 (FIFA 2020, Call of Duty: Modern Warfare und Mario Kart 8 Deluxe) in Deutschland enthalten einen großen Multiplayer-Anteil.[gam20]

Deutlicher wird der Trend, wenn die Statistik der meistgespielten Titel auf der Online-Spiele-Vertriebsplattform Steam betrachtet wird. Das mit Abstand meistgespielte Spiel 2020 ist das Multiplayer-First-Person-Shooter Spiel 'Counter-Strike: Global Offensive' gefolgt von 'DOTA 2' auf Platz 2. Beide Spiele sind reine Multiplayer-Titel.[Git21]

Einer internationalen Umfrage zufolge geben 60% der Befragten an, seit Beginn der Corona Pandemie mehr Multiplayer-Videospiele zu spielen. [Sim20]

Wegen der Marktentwicklung ist es für angehende Entwickler, welche in der Spieleindustrie Fuß fassen möchten, auf lange Sicht eine gute Entscheidung, sich mit dem Bereich Multiplayer-Spieleentwicklung auseinanderzusetzen.

1.1 Problembeschreibung und Motivation

Konzeption und Entwicklung von Online-Multiplayer-Spielen stellt angehende Entwickler vor große Herausforderungen. Einer der Hauptunterschiede zwischen einem Multiplayer- und einem Einzelspieler-Spiel ist, dass eine Spielumgebung unabhängig von einem Spieler existiert. Außerdem benötigt das Versenden von Nachrichten über das Internet eine gewisse Zeit. Der Entwickler muss also herausfinden, wie man mit asynchroner Kommunikation, Clients und Servern umgeht. Ebenso stoßen Entwickler vor Probleme wie Hosting, Matchmaking und Datenverwaltung. [Pay19]

Die Einstiegshürden sind groß, der Dschungel an Technologien und Frameworks unübersichtlich. [MFa21]

Einheitliche Vorgehensmodelle und Best-Practises gibt es nicht oder beziehen sich stets auf eine spezielle Art von Spieltyp. Das Thema Hosting ist ebenfalls ein komplexer

Aspekt eines solchen Projekts, welcher von Anfängern oft nicht sofort durchschaut wird. Durch erste Projekterfahrung gewinnen die Entwickler nach und nach das Know-How. Ohne ein erfahrenes Team sind die Chancen auf Misserfolg jedoch hoch. [Pay19]

Die Motivation für diese Arbeit war es, diese Probleme zu untersuchen und Lösungsmöglichkeiten anhand von praktischen Konzepten zu schaffen. Angehende Entwickler können diese Konzepte in ihrem Praxisprojekt ausprobieren und idealerweise davon profitieren.

1.2 Ziele dieser Arbeit

Die Arbeit setzt sich folgende Ziele:

Um einen einfachen Einstieg in die Multiplayer-Spieleentwicklung zu gewährleisten, beschäftigt sich diese Arbeit mit einigen Grundlagen und bietet Ansätze, die Entwicklern einen Vorteil bei der anfänglichen Gestaltung ihrer Software-Architektur bringen soll.

Ein Entwickler soll außerdem nach dem Studium dieser Arbeit eine konkrete Vorstellung davon besitzen, welche Voraussetzungen ein Framework oder eine Game-Engine erfüllen muss, damit die Konzepte möglichst leicht umzusetzen sind.

Die Arbeit soll eine Blaupause liefern, welche andere Entwickler nutzen können, um einen leichteren Einstieg in ein Multiplayer-Projekt zu gewährleisten. Diese Blaupause soll allerdings derart generisch sein, dass sie unabhängig von einem konkreten Implementierungskontext funktioniert. Die beschriebenen Konzepte sollen auf möglichst viele Szenarien anwendbar sein.

Durch die Konzepte sollen verschiedene Use cases in der Multiplayer-Spieleprogrammierung abgedeckt werden. Beispiele sind das Aufbauen und Trennen von Client/Server Verbindungen, Matchmaking [Wik21c] und Spielerverwaltung.

Als 'Proof-of-Concept' soll ein Prototyp eines Hide-and-Seek Multiplayer-Spiels dienen, welches sich an den abstrahierten Konzepten orientiert, bzw. diese implementiert.

Folgende Forschungsfragen soll die Arbeit beantworten:

F1: Können durch die Untersuchung der beschriebenen Probleme Konzepte abgeleitet werden, die das Potential haben, diese Probleme zu lösen beziehungsweise zu vereinfachen?

F2: Wie könnte ein Studienkonzept aussehen, welches die beschriebenen Konzepte auf Massentauglichkeit in der Praxis untersucht?

1.3 Vorgehensweise

F1 soll wie folgt beantwortet werden:

Zunächst wird die Problemstellung anhand von Literatur und Internetquellen aufgezeigt und erläutert.

Aus der bisher gesammelten Praxiserfahrung und gefundenen Literatur werden Konzepte abstrahiert, welche jeweils einen bestimmten Einsatzzweck erfüllen sollen. Hierbei wurde auf Implementierungsdetails verzichtet und lediglich ein generelles Konzept erarbeitet, an welchem der Entwickler sich während des Implementierungsprozesses orientieren kann.

Jedes dieser Konzepte wurde in einem Prototyp umgesetzt, welche im Kapitel Realisierung näher vorgestellt wird.

F2 soll wie folgt beantwortet werden:

Es wird ein Studienkonzept erarbeitet, welches beschreibt, wie durch wissenschaftliche Methoden und Forschung untersucht werden kann, ob die Konzepte einen tatsächlichen Mehrwert für angehende Entwickler bietet. Das Studienkonzept findet sich im Kapitel Konzepte in der Sektion Studienkonzept.

1.4 Abgrenzung

Die Arbeit ist jedoch keine Schritt-für-Schritt Anleitung für Multiplayer-Spieleprojekte. Implementierungsdetails müssen von einem Entwickler, welcher diese Arbeit als Hilfsmittel nutzt, selbstständig konzipiert und umgesetzt werden. Es wird außerdem lediglich auf Spielkonzepte Rücksicht genommen (insbesondere Matchmaking), welche in der heutigen Industrie gängig sind [Wik21c]. Es ist durchaus denkbar, dass zukünftige Multiplayer/Matchmaking Architekturen nicht mehr mit den hier beschriebenen Konzepten umzusetzen sind.

Es ist außerdem nicht final bewiesen, dass die beschriebenen Methoden tatsächlich einen Mehrwert bei unterschiedlichen Projekten bieten. Die Konzepte wurden lediglich an einem Prototyp getestet und validiert. Um zu testen, ob die Konzepte auch praxistauglich für verschiedene Arten von Projekten sind, muss eine weitergehende Untersuchung erfolgen. Diese kann anhand des in dieser Arbeit beschriebenen Studienkonzept stattfinden.

Die erarbeiteten Konzepte sind außerdem unabhängig von einer Game-Engine oder einem Framework. Durchaus ist es aber möglich, dass ein bestehendes Framework oder eine Game-Engine Hilfestellung bei der Implementierung der Konzepte bietet, oder diese bereits als Feature bereitstellt.

1.5 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit besteht aus der Einführung, in welcher die generelle Problemstellung erläutert, und die Forschungsfragen gestellt wurden. Ebenfalls wurde die Relevanz des Themengebiets verdeutlicht und eingeordnet.

Im Anschluss wird der Hintergrund erklärt, dort sind alle Informationen zu finden, um die späteren Konzepte zu verstehen. Hier werden ebenfalls Begrifflichkeiten und Grundlagen erläutert.

Das Kapitel Konzepte behandelt nun die erarbeiteten Konzepte, welche in Summe die oben beschriebene Blaupause abbilden. Es wird auf jedes einzelne Konzept im Detail eingegangen und genauer erklärt.

Anschließend werden die beschriebenen Konzepte in einem Prototyp umgesetzt, dieser wird im Kapitel Realisierung näher erklärt. In diesem Kapitel befindet sich kommentierter Beispielcode aus dem umgesetzten Prototyp um einen besseren Eindruck der gelösten Probleme zu bekommen.

In der Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Arbeit beleuchtet und ein Ausblick aufgezeigt.

2 Hintergrund

In diesem Kapitel wird das Hintergrundwissen erläutert, welches nötig ist um die Konzepte und Realisierung genauer zu verstehen. Unter anderem Wird auf die Grundlagen des Networkings, die verschiedenen Arten des Hosting, Datenspeicherung und Transfer, Informationskontrolle sowie Interest Management, Matchmaking und Synchronisation eingegangen.

2.1 Grundlagen des Networkings in Online-Videospielen

Die Grundlagen des Networkings in Videospielen lassen sich in zwei große Bereiche kategorisieren. Die physische und die logische Plattform.

Die physische Plattform setzt sich aus den physikalischen Komponenten zusammen, die vereint eine Infrastruktur bilden. Hierzu zählt Hardware, welche in Rechenzentren eingesetzt wird, das lokale Endgerät wie z.B. ein Smartphone oder Personal Computer. Ebenfalls zählen Kabelleitungen und drahtlose Übertragungswege dazu.

Online-Videospiele sind aus technischer Sicht auch nichts anderes als Anwendungen, welche miteinander kommunizieren. Die physischen Restriktionen wie Bandweite und Latenz können also ebenfalls auf den Kontext der Multiplayer-Spiele angewendet werden. Die Menge an Informationen, welche über ein Netzwerk versendet werden kann je nach Spieltyp sehr hoch skalieren, weshalb sich die Entwickler eines Multiplayer-Spiels intensiv mit der logischen Plattform beschäftigen müssen.

Die logische Plattform baut auf der physischen Plattform auf und nutzt ihre Ressourcen. Sie kann unterteilt werden in Kommunikation zwischen Clients und Server, Datenspeicherung und Transfer sowie Kontrolle des Spielflusses. Auf diese drei Punkte wird in den folgenden Sektionen näher eingegangen.

[Sme02b]

2.2 Verschiedene Arten des Hostings

Die Kommunikation zwischen Clients und Server kann in zwei verschiedenen Varianten vorkommen:

Client Host:

Bei dieser Variante wird der Serverprozess auf dem selben Gerät ausgeführt, auf dem auch eine Client-Instanz gestartet wurde. Ein Spieler übernimmt also selbst das Hosting. Andere Clients haben die Information, welcher Client einen Serverprozess besitzt und wie sie sich dorthin verbinden können.

Vorteile: Die Unabhängigkeit von Hardwareressourcen für Entwickler, dieses Problem wird schlichtweg an die Spieler ausgelagert.

Nachteile: Da der Serverprozess nun ebenfalls auf einem Gerät läuft, auf welches Spieler Zugriff haben gibt es ebenfalls mehr Möglichkeiten des Hackings (Spielmanipulation) [?]. Die Entwickler haben keinerlei Einfluss auf die Serverprozesse, welche ein Spieler startet. [Sme02a]

Client Server:

Diese Variante trennt Client und Server physikalisch von einander. Serverprozesse werden außerhalb einer Client-Umgebung gestartet und verwaltet. Clients haben einen (oder mehrere) zentrale Zielsysteme, zu welchen sie sich verbinden können.

Vorteile:

Mehr Kontrolle auf Seiten der Entwickler. Hacking ist deutlich erschwert. Die Software-Architektur kann verhindern, dass spielentscheidende Daten nicht in der Hand der Spieler liegen, und somit ein sicheres und faires Spiel gewährleistet werden kann. [Sme02a]

Nachteile:

Die Kosten für Hardware und Bandbreite skalieren mit den Spielerzahlen. Diese Tatsache kann sehr schnell hohe Kosten verursachen. [Den18]

Ein Ausfall des zentralen Servers kann dazu führen, dass ein Großteil der Spielerfahrung nicht mehr spielbar ist.

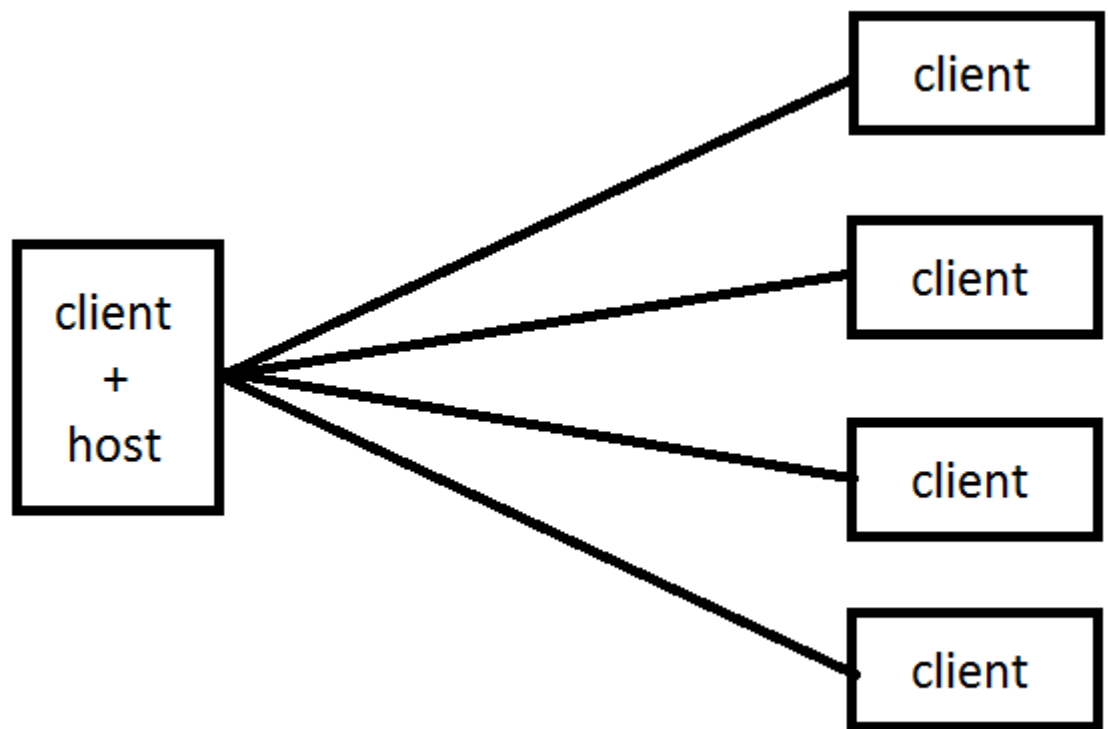


Abbildung 2.1: Das Client-Host Modell einfach veranschaulicht

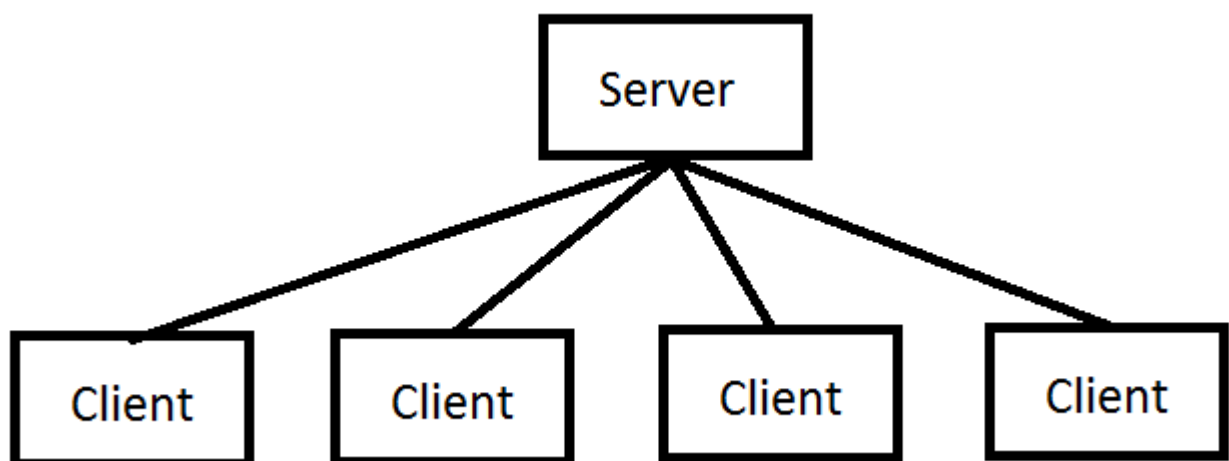


Abbildung 2.2: Das Client-Server Modell einfach veranschaulicht

2.3 Datenspeicherung und Transfer

Um ein bestmögliches Spielerlebnis zu ermöglichen, sollte innerhalb der Entwicklung von Online Multiplayerspielen darauf geachtet werden, dass spielentscheidende Daten schnellstmöglich zwischen den Clients synchronisiert werden. Wie auch bei anderen Echtzeitsystemen [Wik21a] kommt es also auch bei der Entwicklung von dieser Art von Software darauf an, Daten zu serialisieren [Wik19].

Daten unterscheiden sich im Kontext der Online Spielentwicklung grundsätzlich nicht großartig von anderer Software. Typischerweise werden Programmiersprachen wie C# oder C++ genutzt, um Klassen und Datenstrukturen zu erstellen, welche die eigene Spiellogik abbilden. [Gli08]

Das folgende rudimentäre Klassendiagramm zeigt zwei simple Klassen. Eine Spielerklasse, welche Informationen über den Spieler enthält sowie eine Network Manager Klasse, welche alle Spieler verwaltet.

Das Beispiel hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, soll jedoch illustrieren, auf welche Art und Weise Daten typischerweise innerhalb eines Multiplayer-Kontextes verwaltet werden.

Der Entwickler entscheidet hierbei selbst, welche Informationen in welchem Kontext vorhanden ist. Konkret muss sich ein Entwickler stets die Frage stellen, ob eine Information im Server-Kontext oder im Client-Kontext verwaltet bzw. verarbeitet werden soll.

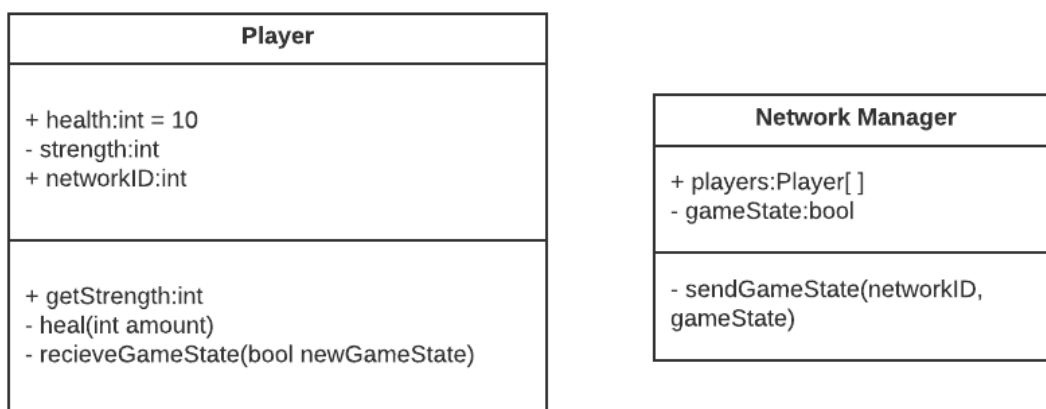


Abbildung 2.3: UML Klasse Player und Network Manager

Serialisierte Daten werden über ein Netzwerk transportiert. Je Nach Art des Hostings erfolgt ein Umweg über eine Server-Instanz, oder direkt zu einem anderen Client. [Sme02b]

2.4 Informationskontrolle und Interest Management

Informationskontrolle:

"Welche Information soll zu welchem Zeitpunkt in welchem Kontext verfügbar sein?" Diese Frage müssen sich Multiplayer-Spieleentwickler aus verschiedenen Gründen regelmäßig stellen. Die Gründe sind:

Security: Beispiel: Bei einem Online-Poker Spiel wäre es fatal, wenn ein Mitspieler jederzeit über alle Karten seiner Mitspieler Kenntnis hätte.

Network traffic: Beispiel: In Mario Kart sammelt ein Spieler ein Item ein. Der Server würfelt für diesen Spieler ein zufälliges Item aus, welches der Spieler im Anschluss verwenden soll. Die Information über das Resultat der Zufallsauswahl sollte an den jeweiligen Spieler gesendet werden, welcher dieses Item erhalten soll. Alle Anderen Spieler muss diese Information nicht interessieren.

Interest Management:

Interest Management beschreibt ein Konzept, welches deligiert, welche Informationen in welchem Kontext zu welcher Zeit für welche Personen verfügbar sind. Befindet sich der Spieler in einem bestimmten Bereich einer Spielwelt, kann das Interest Management dafür sorgen, dass dieser Spieler für manche Spieler sichtbar, und für manche Spieler nicht sichtbar ist, je nachdem wie nahe sich die Spieler zueinander befinden, oder in welchem Areal der Spielwelt sie sich befinden.

Dieses Paradigma wird besonders oft in MMO-Spielen [?] benutzt, damit ein Server mehrere Tausend Spieler ohne Abstürze verwalten kann. Ebenso wird es benutzt, um Spiellogik umzusetzen, welche es nur ausgewählten Spielern erlaubt, andere Spieler oder Objekte innerhalb der Spielwelt zu sehen und/oder mit ihnen interagieren zu dürfen.

[Sme02b]

2.5 Matchmaking

Matchmaking bei Multiplayer Online Spielen ist ein Dienst, der es Spielern ermöglicht andere Mitspieler oder Gegner zu finden. [.2014]

In dieser Arbeit wird auf einige Varianten solche Matchmaking Dienste näher eingegangen. Die häufigsten Konzepte von Matchmaking Diensten sind:

Playlists:

Playlists sind automatisch verwaltete Ströme von "Spielsitzungen", denen die Spieler nach Belieben beitreten und Verlassen können. Anhand einer Reihe vordefinierter Regeln wird die Konfiguration der einzelnen Sitzungen festgelegt, ohne dass ein Mensch eingreifen muss.

Die Spiele bieten in der Regel eine Auswahl an thematischen Wiedergabelisten (z. B. Teams oder Einzelspieler, ausgefallene Regeln usw.), um verschiedenen Geschmäckern oder Stimmungen gerecht zu werden. Da die Wiedergabelisten von Servern verwaltet werden, die vom Entwickler des Spiels kontrolliert werden, können sie im Laufe der Zeit geändert werden.

Wenn ein Spieler eine Wiedergabeliste auswählt, schließt er sich einem Pool von anderen Spielern an, die die gleiche Wahl getroffen haben. Der Playlist-Server verbindet sie dann entweder mit einer bestehenden Sitzung oder erstellt eine neue.

Parties:

Partys sind Gruppen von Spielern, die von Matchmaking-Systemen als eine Einheit behandelt werden. Eine Gruppe kann von Sitzung zu Sitzung wechseln, ohne dass ihre Spieler voneinander getrennt werden. Das Konzept eignet sich besonders gut für Wiedergabelisten, die automatisch die Logistik der Suche oder Erstellung von Spielsitzungen mit genügend Platz für die gesamte Gruppe übernehmen können.

Lobbies:

Lobbys sind Menübildschirme, in denen die Spieler die bevorstehende Spielsitzung einsehen, die Ergebnisse der letzten Sitzung prüfen, ihre Einstellungen ändern und miteinander sprechen können.

In vielen Spielen kehren die Spieler am Ende jeder Sitzung in die Lobby zurück. In einigen Spielen werden Spieler, die einer bereits begonnenen Sitzung beitreten, bis zum Beginn der nächsten Sitzung in der Lobby untergebracht. Da Lobbys nur wenige Ressourcen verbrauchen, werden sie manchmal zusätzlich als "Warteschleife" für Spieler verwendet, bis ein geeigneter Gastgeber für die nächste Sitzung gefunden ist.

Lobbys, die von Playlists erstellt werden, haben oft einen Countdown-Timer, bevor die Sitzung beginnt, während Lobbys, die von einem Spieler erstellt werden, im Allgemeinen nach dessen Ermessen übergehen.

Ranking:

Viele Matchmaking-Systeme verfügen über ein Ranglistensystem, mit dem versucht wird, Spieler mit ungefähr gleichen Fähigkeiten zusammenzubringen. Ein Beispiel dafür ist das TrueSkill-System von Xbox Live.

Spiele wie League of Legends verwenden Divisionen und Ränge für ihr Matchmaking-Bewertungssystem. Jeder Spieler tritt in verschiedenen Rängen an: Eisen, Bronze, Silber, Gold, Platin, Diamant, Meister, Großmeister, Herausforderer, und für jeden Sieg gibt es Ligapunkte, für jede Niederlage werden Ligapunkte abgezogen.

Bei Spielen mit Rangliste werden in der Regel nicht gewertete Sitzungen für Spieler angeboten, die nicht wollen, dass ihre Leistung aufgezeichnet und analysiert wird. Diese werden getrennt gehalten, damit sich rangierte und nicht rangierte Spieler nicht vermischen. Videospiele wie League of Legends, Counter-Strike: Global Offensive, Rocket League und Brawlhalla verwenden das Elo-Bewertungssystem in ihren Ranglistenspielen.

Server browsers:

Einige Spiele (vor allem solche mit dedizierten Servern) zeigen den Spielern eine Liste aktiver Sitzungen an und ermöglichen ihnen, manuell eine Sitzung auszuwählen. Dieses System kann in Verbindung mit Ranglisten und Lobbys verwendet werden, wird aber durch die On-Demand-Sitzungserstellung von Wiedergabelisten vereitelt.

Die meisten dieser Server-Browser ermöglichen es den Spielern, die Ergebnisse zu filtern, die sie liefern. Zu den üblichen Filterkriterien gehören Servername, Spielerzahl, Spielmodus und Latenzzeit.

Contacts lists:

Eine der grundlegendsten und gängigsten Formen des Matchmaking besteht darin, den Spielern eine Liste anderer Spieler zur Verfügung zu stellen, die sie bereits kennengelernt haben und mit denen sie vielleicht wieder spielen möchten. Der Status jedes Spielers (offline, online, spielend) wird angezeigt, es besteht die Möglichkeit, einer laufenden Sitzung beizutreten, und im Allgemeinen ist es möglich, Chat-Nachrichten zu senden.

In vielen Fällen werden die Kontaktlisten von der Plattform verwaltet, auf der ein Spiel läuft (z. B. Xbox Live, PlayStation Network, Steam), um den Spielern den Aufwand zu ersparen, viele separate Listen für viele einzelne Spiele zu verwalten.

[Wik21c]

2.6 Synchronisation

// TODO Add Content

3 Konzepte

In diesem Kapitel werden Konzepte beschrieben, die möglichst abstrakt gehalten sind. Entwickler (Besonders Anfänger) eines Online-Multiplayer Spiels sollen anhand von diesen Konzepten eine Hilfestellung bekommen, um einen roten Faden in ihrer Entwicklung verfolgen zu können. Insbesondere wenn der Entwickler noch wenig oder keine Erfahrung mit der Entwicklung von Online-Multiplayerspielen gesammelt hat, sollen diese Konzepte bei der Erstellung einer soliden Grund-Architektur dienlich sein.

Bevor eines dieser Konzepte angewandt werden kann, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Das grundsätzliche Spielkonzept wurde erarbeitet und steht fest.
2. Anhand von dem festgelegten Spielkonzept kann abgeschätzt werden, ob sich für das Spiel eine Client / Server oder eine Client / Host Architektur eignet.

Sollte das Team bzw. der Solo-Entwickler zum Entschluss gekommen sein dass sich ein Client / Server Modell am besten für den spezifischen Use-Case eignet, so müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die Hardware-Ressourcen für den späteren Server-Runner bzw. die Matchmaking API sicher zu stellen. Die Grundvoraussetzung ist jedoch ein aus dem Internet erreichbarer PC mit einer festen IP-Adresse.

Alternativ kann auch zunächst lokal innerhalb eines LAN [?] entwickelt werden. Hierbei ist jedoch wichtig, dass eventuell auftretende Seiteneffekte, die durch Latenz [?] oder Bandbreite [?] verursacht werden, nicht unter Realbedingungen getestet werden können.

Es empfiehlt sich deshalb bereits innerhalb der ersten Entwicklungsiterationen auszutesten, wie Prototypen für Serverprozesse auf unterschiedliche Standorte der Serverhardware reagieren.

Nun gilt es einen passenden Technologie-Stack zu finden. Hier gibt es keine Klare Empfehlung, jedoch können die in diesem Kapitel beschriebenen Konzepte als Entscheidungshilfe dienen. Auf dem offenen Markt existieren bereits Frameworks & Game Engines, die Manche dieser Konzepte bereits implementiert haben und als Libraries für Entwickler bereitstellen.

[MFa21]

3.1 Vorwort zu den aufgestellten Konzepten

Wie bereits in der Einführung erläutert, sind die folgenden Konzepte keine konkrete Entwicklungsanleitung. Viel mehr sind sie im Kontext einer bereits erarbeiteten Spielidee eine Hilfestellung zur Erarbeitung einer individuellen technischen Architektur.

Konkret muss beachtet werden, dass einige der Konzepte nicht als einzelne Programm-Klassen verstanden werden müssen, sondern als Hilfestellung für Ableitungen zu konkreten Klassen oder Skripten genutzt werden können. Es ist auch gut denkbar, dass einige Implementierungen deutliche Vorteile genießen, wenn bestimmte Konzepte jeweils für getrennte Spiel-Szenen [?] umgesetzt werden.

3.2 API für Matchmaking & Server Runner

Bei diesem Konzept muss eine API entworfen werden, welche unabhängig von einem existierenden Client oder Serverprozess arbeitet. Diese API hat 2 grundsätzliche Aufgaben.

Matchmaking:

Die API muss einen Algorithmus implementieren, welcher mehrere Spieler zu einer Spiel-Session zusammenführt. Mögliche Matchmaking Konzepte sind bereits im Hintergrund-Kapitel beschrieben. Die Matchmaking API verwaltet als eine Liste an aktiven Serverprozessen sowie die Information, wie man sich zu ihnen verbindet. In der Regel wird pro Serverprozess ein Netzwerk-Port an der Server-Maschine reserviert, auf denen sich dann N Spieler verbinden können.

Je nach Spielkonzept können hunderte, tausende Serverprozesse existieren, welche jeweils nur eine vergleichsweise geringe Anzahl (1-20) an Spieler verwalten. Spielkonzepte, welche viele Spieler (200-1000) innerhalb eines einzigen Serverprozesses voraussetzten, erzeugen dagegen zwar quantitativ weniger Serverprozesse, diese neigen aber in der Regel schnell zu Überlastung. Neben der Umsetzung von Interest Management und einer schlanken Architektur für möglichst wenig Network-Traffic kann aber auch die Matchmaking API Abhilfe schaffen, bspw. durch "Umverlegung" von Spielern auf andere oder neue Serverprozesse.

Server Runner:

Neben dem Matchmaking ist die API ebenfalls auch zuständig für das Starten und die Überwachung von Serverprozessen. Ebenfalls können technische Statusinformationen über aktuell laufende Spiel innerhalb eines Serverprozesses von der API verwaltet werden (Bspw. ob es möglich ist einem Server beizutreten, oder wieviele Spieler bereits auf einem Serverprozess spielen)

Je nach Use-Case kann das Aufgabenfeld der API um weitere Punkte erweitert werden, hier ein paar Beispiele: - Datenbank für Authentifizierung bzw. Kommunikation mit externen SSO-Service Providern [Wik21f] - Datenbank für InGame Shop / Kommunikation mit externen Lösungen

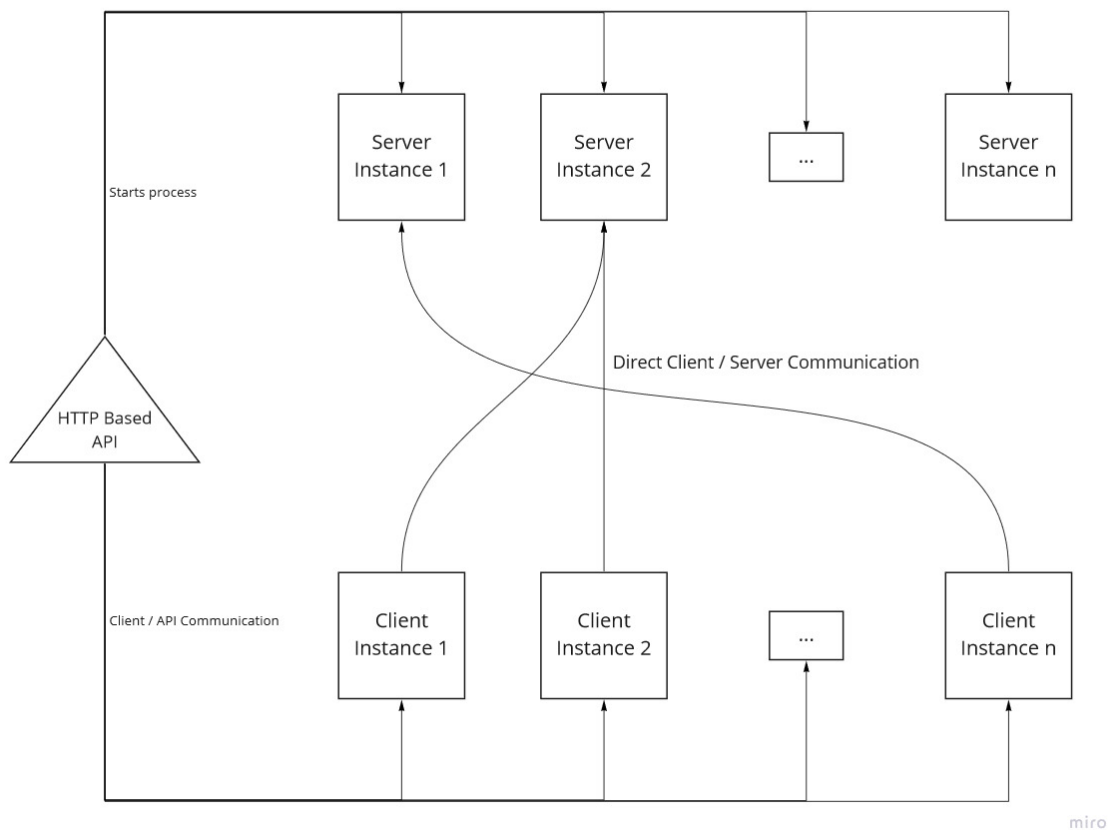


Abbildung 3.1: Veranschaulichung des API Konzepts

3.3 Anti Cheat Patterns

3.4 Client UI & Visual Controller

Das Konzept des Client UI & Visual Controllers beschreibt die Art und Weise, wie die Benutzeroberfläche und visuelle Ebene eines Spielers durch Antworten des Servers oder einzelner Spieleraktivitäten manipuliert wird.

Konkret sorgt ein Server-Ereignis, der Input eines Spielers (beispielsweise durch klicken eines Buttons oder einsammeln eines Gegenstands) oder eine andere Bedingung dafür, dass Funktionen innerhalb des Client UI & Visual Controllers aufgerufen werden. Innerhalb dieser Funktionen werden Komponenten der Benutzeroberfläche wie z.b. Anzeigetexte, Bilder etc. oder Objekte innerhalb der Spielwelt selbst manipuliert.

Wichtig ist, dass Funktionen des Client UI & Visual Controller erst nach server- oder clientseitigen Überprüfungen ausgeführt werden. Der Controller selbst sollte nur überprüfen, ob die Komponente, welche er manipulieren will überhaupt existiert. Spielrelevante

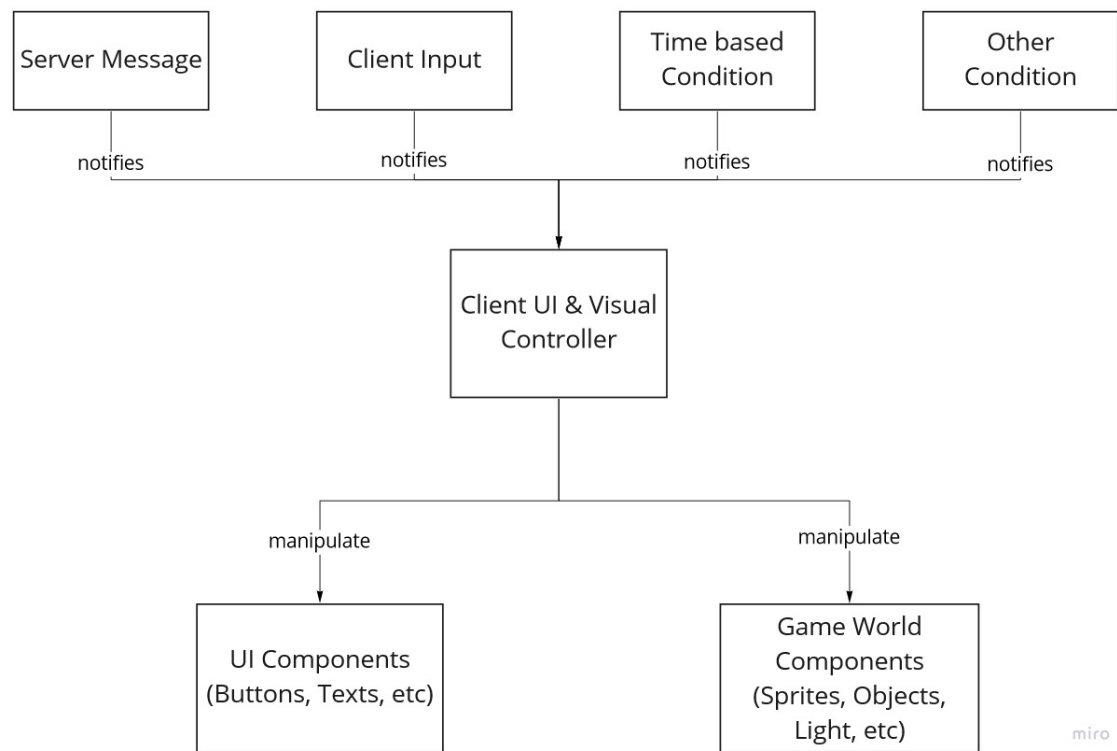


Abbildung 3.2: Veranschaulichung des Client UI & Visual Controller Konzepts

Logik, beispielsweise ob ein Spieler berechtigt ist, bestimmte Aktionen durchzuführen, ist nicht Teil des Client UI & Visual Controllers.

3.5 Client Network Manager

// TODO: Add Content

Abstrakte Methoden zum Implementieren beschreiben.

3.6 Server Network Manager

// TODO: Add Content

Abstrakte Methoden zum Implementieren beschreiben.

3.7 Lobby / Multi Scene Manager (optional)

// TODO: Add Content

3.8 Client Connection Manager

Das Konzept Client Connection Manager beschreibt eine Softwarekomponente, welche folgende Aufgaben umsetzen muss:

- Implementierung von clientseitigen Methoden zum Informationsaustausch mit Matchmaking API. Z.B. stellt die Matchmaking API dem Client über HTTP-Kommunikation Informationen bereit, mit denen sich der Client auf einen speziellen Server verbinden kann (IP + Port). [Wik21b] [Wik21e]

- Verarbeitung der von Matchmaking API bereitgestellten Informationen.

Z.B. könnte die Matchmaking API einem Client die Information bereit stellen, dass aus einem bestimmten Grund dem angeforderten Serverbeitritt verweigert wird. Diese Information muss der Client Connection Manager zwischenspeichern und verwalten.

- Aufruf von Methoden eines Client UI Controllers.

Z.B. Die soeben erlangte Information über den verweigerten Serverbeitritt muss nun dem Nutzer dargestellt werden, hierfür ruft der Client Connection Manager Funktionen auf, welche ein Client UI Controller implementiert hat.)

- Ausführen von Handler-Funktionen und Auslösen von Callbacks für clientseitige Konsequenzen bei Netzwerkabbruch, manuellem Verlassen einer Server-Session oder sonstigen Abbruchgründen, welche dazu führen, dass eine Online-Spielsession verlassen wird.

Z.B. Wird die notwendige Verbindung zum Internet während des Spiels unterbrochen. Der Client Connection Manager löst Callbacks aus, welche im Client UI & Visual Controller implementiert sind. Diese Sorgen dafür, dass der Spieler zurück ins Hauptmenü geleitet wird, in dem eine Fehlermeldung dargestellt wird, welche erklärt warum das Spiel abgebrochen ist.

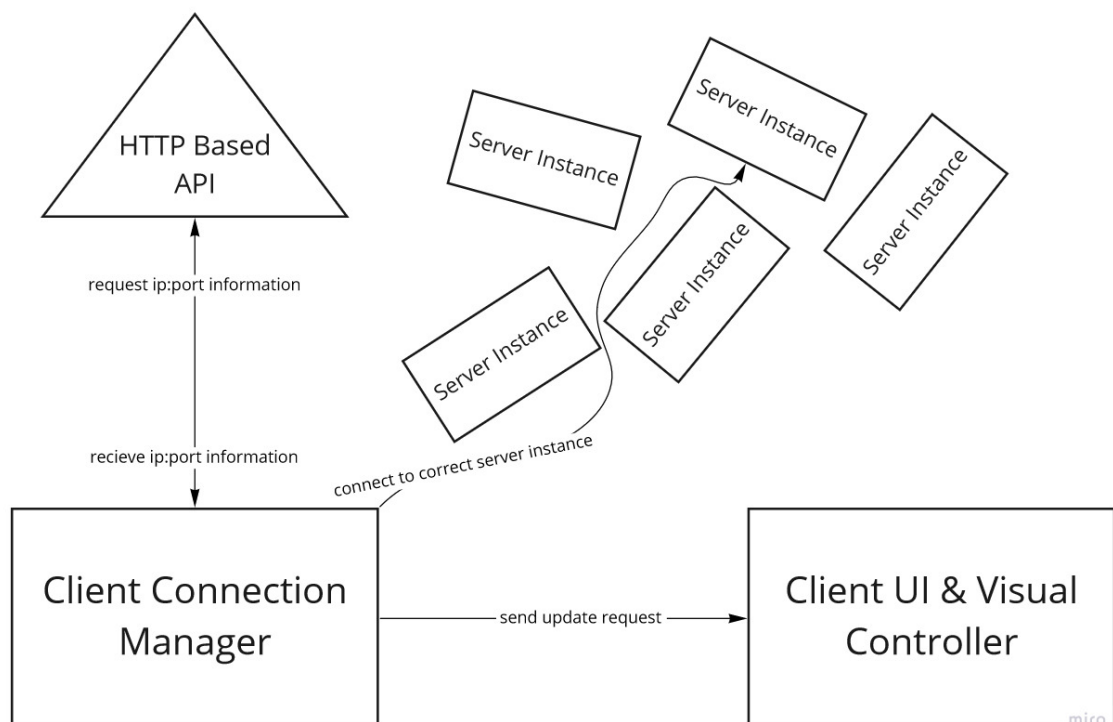


Abbildung 3.3: Veranschaulichung des Client Connection Manager Konzepts

3.9 Serverside Client Manager

Das Konzept des serverseitigen Client Manager beinhaltet die Verwaltung aller verbundener Clients innerhalb eines aktiven Serverprozesses. Insbesondere speichert der serverseitige Client Manager 2 Arten von Information über jeden Client:

Einerseits werden Netzwerk-bezogene Informationen über einen Client gespeichert, im einfachsten Fall ist dies lediglich die IP Adresse des Hosts sowie der Port, auf welchem der Server seinen Kommunikationskanal geöffnet hat. Bei Spielkonzepten, welche eine weitergehende Authentifizierung des Spielers voraussetzen, können hier auch Benutzernamen, Benutzertags, Email-Adressen o.ä. gespeichert und weiterverarbeitet werden.

Zum Anderen speichert und verwaltet der serverseitige Client Manager auch spielspezifische Informationen wie Bspw. den aktuellen Anzeigenamen, konfigurierte Individualisierung des Spielcharakters, Spielerrollen oder andere Eigenschaften, über die der Server während einer Spiel-Session Kenntnis haben sollte.

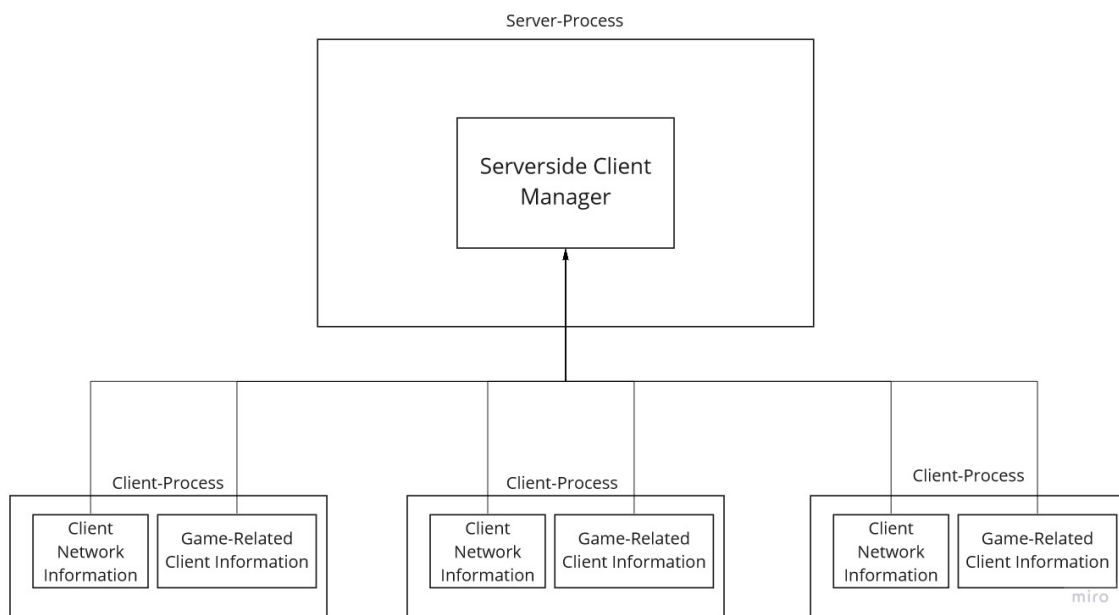


Abbildung 3.4: Veranschaulichung des serverseitigen Client Manager Konzepts

3.10 Prepare-Game-Manager

Der Prepare-Game-Manager ist Teil des Serverprozesses und beinhaltet alle Funktionen, welche nötig sind um eine Spielszene vorzubereiten, bevor die Spieler ihr beitreten dürfen. Die Funktionen sollten konkret umsetzen:

- Spawning [Wik20] von NPCs [Wik21d] oder Spielgegenständen, die in Abhängigkeit zur Anzahl der beitretenden Spieler, einer Spielkonfiguration oder sonstigen Parametern stehen.
- Anpassung der Eigenschaften von bereits gespawnten NPCs oder Spielgegenständen, die in Abhängigkeit zur Anzahl der beitretenden Spieler, einer Spielkonfiguration oder sonstigen Parametern stehen.
- Initialisierung der Spawnpunkte für Spieler anhand von Spawnalgorithmen oder festgelegten Punkten in der Spielwelt.
- Abarbeitung sonstiger serverseitigen Abläufe, welche Voraussetzung für den Start des Spiels sind

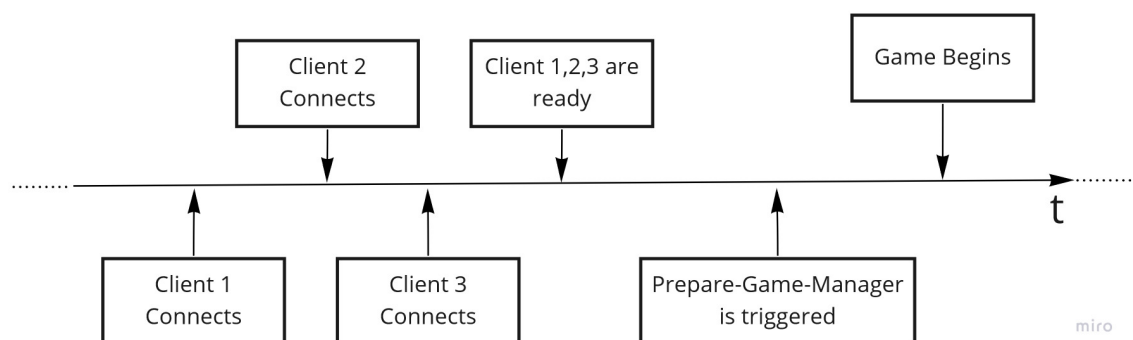


Abbildung 3.5: Veranschaulichung des Prepare Game Manager Konzepts

3.11 Progress / Game-State Manager

Die Aufgabe eines Progress bzw. Game-State Managers ist es, Gewinn bzw. Verlustbedingungen einer Spielsession zu speichern und zu verwalten.

Beispiele hierfür sind: - Verwaltung und Synchronisierung von globalen Timern - Verwaltung und Synchronisierung von Spiel-Kennzahlen (z.B. der Spielstand bei einem Fußball-Match)

Außerdem ist der Progress Manager / Game-State Manager dafür verantwortlich, alle Clients über spielentscheidende Ereignisse zu informieren.

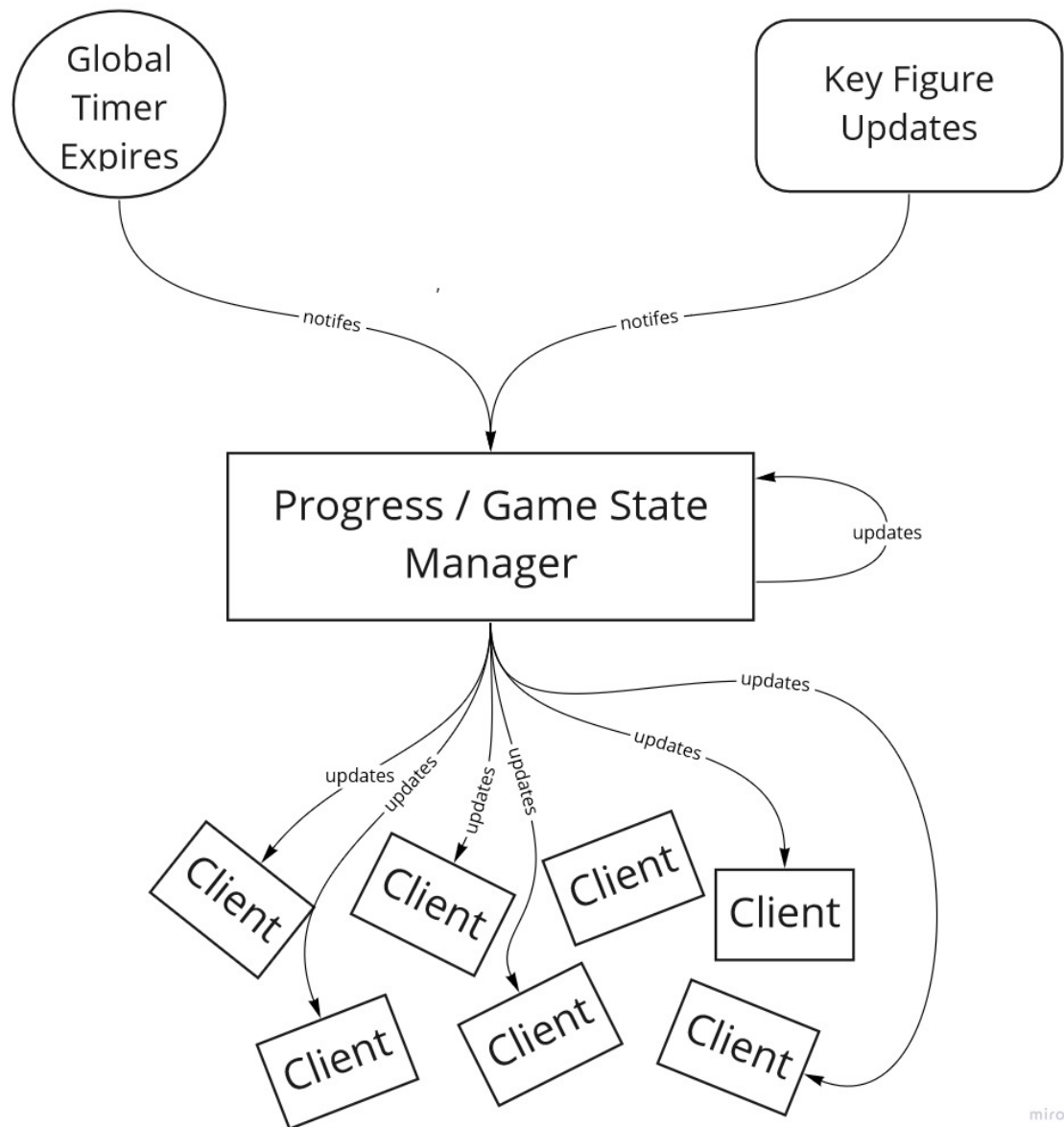


Abbildung 3.6: Veranschaulichung des Progress / Game-State Manager Konzepts

3.12 Runtime Spawn Manager

Der Runtime Spawn Manager verwaltet die zur Laufzeit zu erzeugenden Spieler und Nicht-Spieler Objekte. Konkret werden Funktionen des Runtime Spawn Managers ausgeführt, wenn ein spezifisches Event innerhalb einer Spiel-Session ausgelöst wird oder ein Spieler bzw. Nicht-Spieler-Character stirbt, und diese erneut an anderer Position spawnen sollen ("Re-Spawning"). Die Logik, wo genau ein Spieler oder Nicht-Spieler Objekt seine neue Einstiegsposition erhält, regelt ebenfalls der Runtime Spawn-Manager.

Ein Beispiel: In einem Online Multiplayer Ego-Shooter [?] stirbt ein Spieler durch Schüsse anderer Spieler. Der Runtime Spawn Manager sorgt dafür, dass anhand von bestimmten, zur Laufzeit ausgerechneten Bedingungen eine neue Spawn-Position für den gestorbenen Spieler gefunden wird.

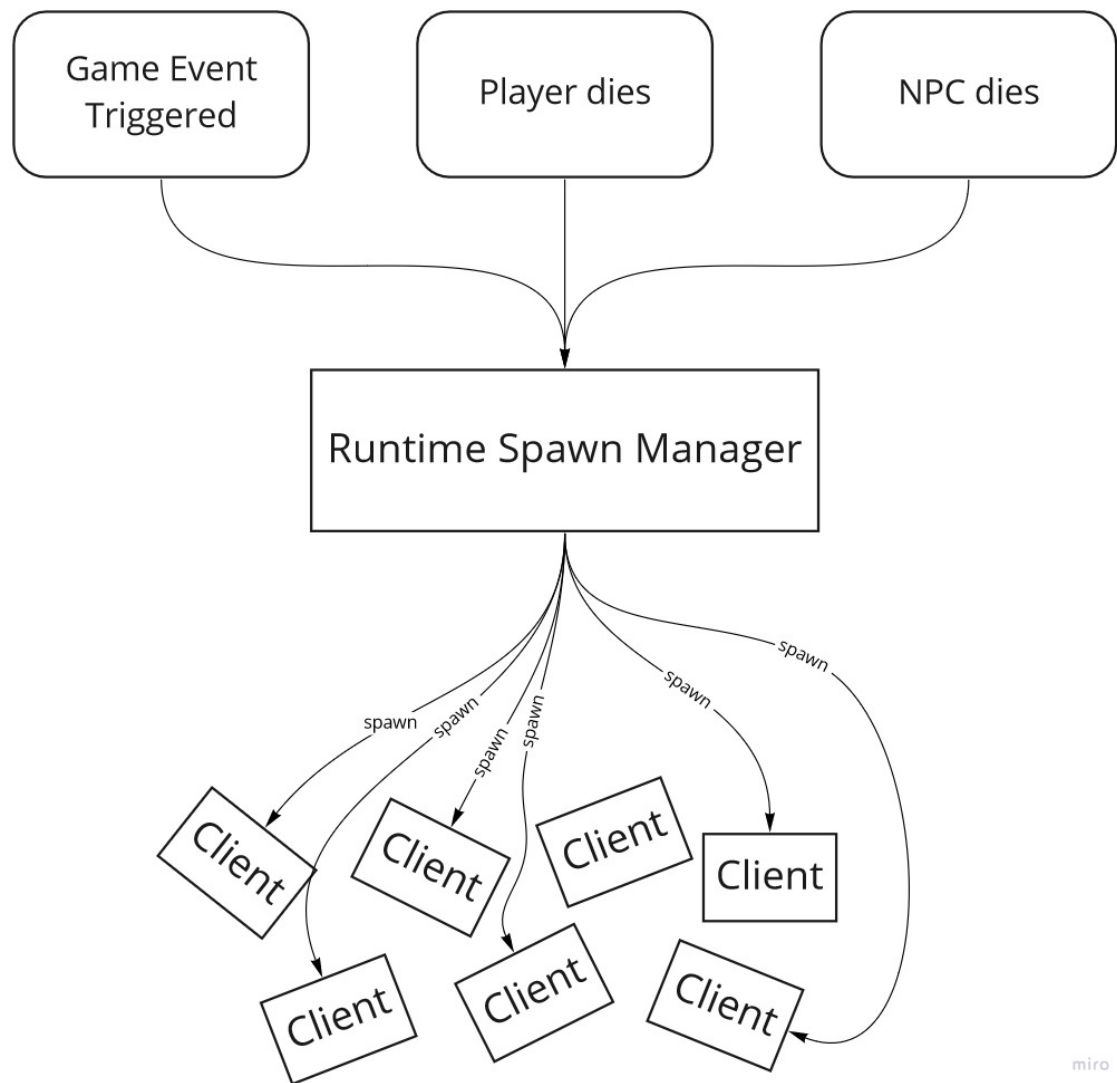


Abbildung 3.7: Veranschaulichung des Runtime Spawn Manager Konzepts

3.13 Interest Manager

Wie bereits in der Sektion über Interest Management erklärt, ist es je nach Spielkonzept notwendig, dass der Spieler stets nur über den für ihn relevanten Teil der Spielwelt Kenntnis hat. Aus diesem Grund sollten sich angehende Spieler-Entwickler fragen, ob sie eine solche Software-Komponente in die Architektur ihres Projekts integrieren möchten.

Mögliche Faktoren, die der Interest Manager benutzen kann, um den Spielern die Objekte anzeigen zu lassen, die sie sehen dürfen sind:

- Distanz zwischen Spieler und anderen Objekten

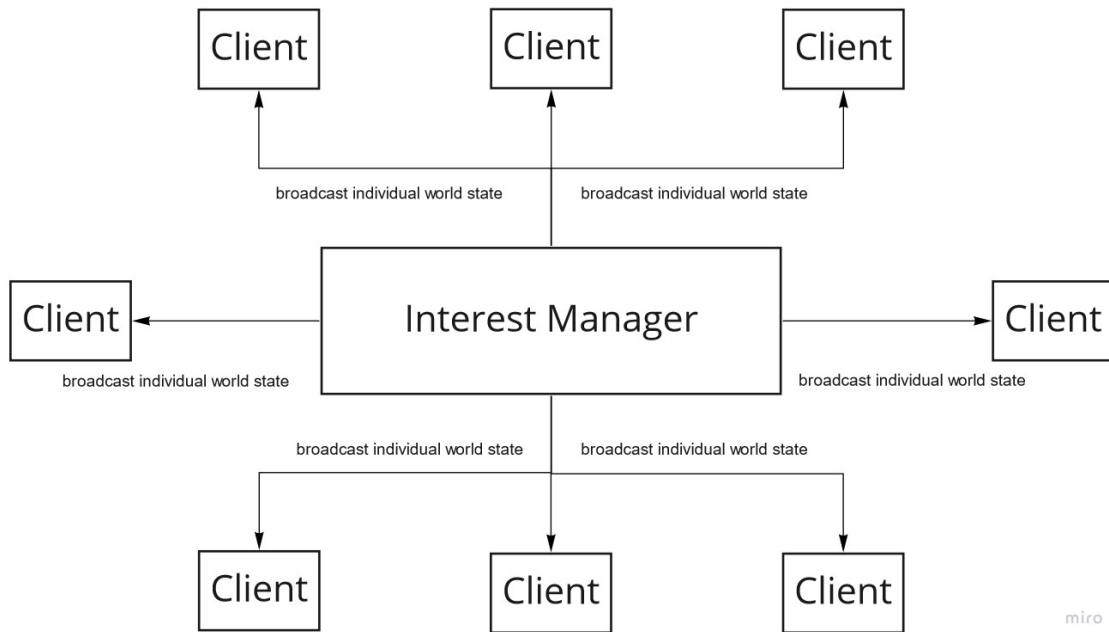


Abbildung 3.8: Veranschaulichung des Interest Manager Konzepts

- Teams bzw. Gruppen. Die registrierten (Spieler)-Objekte innerhalb eines Teams/ einer Gruppe sind für Spieler, welche ebenfalls innerhalb des Teams/Gruppe registriert sind sichtbar.
- Spatial Hashing / Grid Checker: Die Spielwelt und ihre Objekte werden in quadratische Zellen eingeteilt. Je nachdem in welcher Zelle sich ein Spieler befindet, werden nur diejenigen Objekte der Spielwelt mit dem Spieler synchronisiert, welche sich innerhalb der 8 "Nachbarzellen" befinden:

Sollte keine der hier beschriebenen Beispiele auf das gewünschte Spielkonzept passen, so ist es notwendig, eine komplett eigene Logik für das Interest Management zu implementieren.

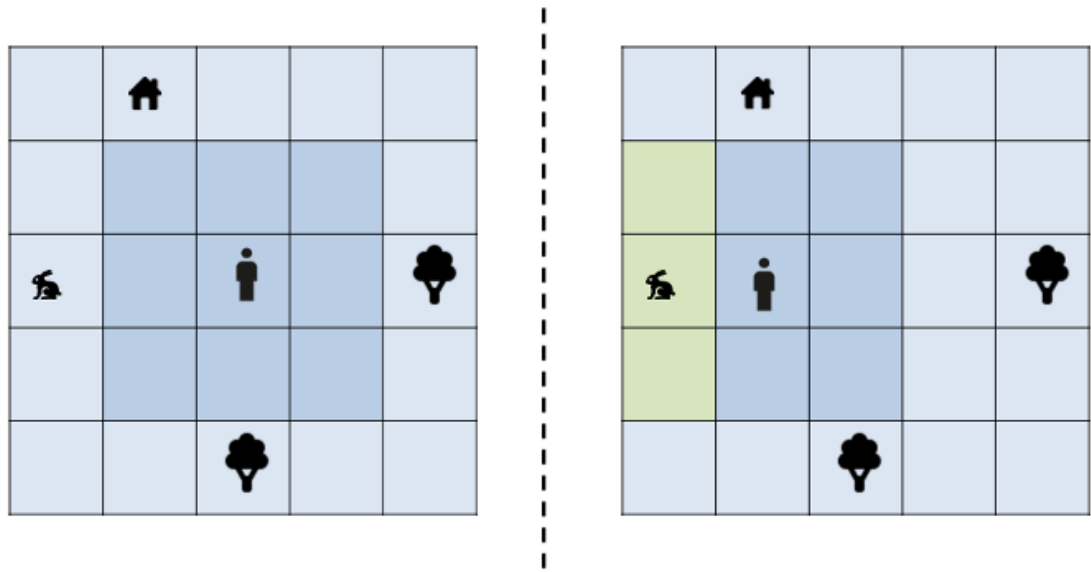


Abbildung 3.9: Illustration des Konzepts Interest Management. [Jer17]

3.14 Entwicklung sonstiger Server Logik

(Hier noch ein paar Konzepte herausarbeiten)

3.15 Entwicklung sonstiger Client Logik

(Hier noch ein paar Konzepte herausarbeiten)

3.16 Studienkonzept

Wie bereits im Teil der Einführung erwähnt, hat diese Arbeit nicht den Anspruch zu beweisen, dass die Konzepte tatsächlich einen Mehrwert für eine Vielzahl an Projekten bieten. Um dies beweisen zu können, wäre eine weitere Feldstudie nötig. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Studienkonzept erarbeitet, welches zukünftig für andere Arbeiten genutzt werden kann:

Teil dieses Studienkonzepts müssen sein:

Repräsentative Umfragen -> Befragung von mehreren Hundert Personen -> aus unterschiedlichen Online-Genres (MMORPG, First Person Shooter, Mobile-Games, etc.) -> aus unterschiedlichen Ländern

Welche Fragestellungen müssen untersucht werden? -> Welche Probleme haben angehende Entwickler für Online-Multiplayer Spiele? -> Lassen sich diese Probleme auf die in dieser Arbeit beschriebenen Konzepte übersetzen? -> Bringen die hier beschriebenen Konzepte einen Vorteil in der Praxis?

Herangehensweise: (TODO: Jeden Punkt genauer beschreiben)

-> Passende Frage/Problemstellungen in Umfrage umwandeln

Zunächst müssen Frage - und Problemstellungen, welche als Annahme getroffen wurden, in Fragen umgewandelt werden. Diese Frage - und Problemstellungen beziehen sich auf konkrete Themen der Multiplayer-Spielenentwicklung.

Fragen an junge, angehende Online-Spieleentwickler, welche ein eigenes Projekt umgesetzt haben bzw. welches sich aktuell in Umsetzung befindet:

Problemstellung/Annahme: Es gibt inzwischen viele Frameworks und Engines zur Entwicklung von Online-Multiplayerspielen [MFa21]. Die Entscheidung eine passende Technologie auszuwählen ist mühsam.

Abgeleitete Frage: Wie leicht kamen sie zurecht bei der Auswahl eines Frameworks und/oder eine Game-Engine für ihr erstes Online-Multiplayer Projekt?

Auswahlmöglichkeiten: Auswahl fiel mir sehr leicht, Auswahl fiel mir leicht, Auswahl fiel mir schwer, Auswahl fiel mir sehr schwer

...weitere Fragen...

-> Umfrage veröffentlichen

Die Umfrage soll per Email an ausgewählte Personen an Hochschulen und Unternehmen verschickt werden. Außerdem kann die Umfrage in einschlägige Entwickler-Foren gepostet werden. Beispiele hierfür sind: forum.unity.com , forums.unrealengine.com, www.gamedev.net/forums/forum/8-networking-and-multiplayer.

Die Umfrage kann anonym, oder mit Personenbezug für eine bessere Auswertung der Ergebnisse erfolgen. Ebenso wäre es denkbar getrennte Umfragen für eine Gruppe an ausgewählten Einzelpersonen sowie die öffentliche Entwickler-Community im Internet zu erstellen.

-> Parallel Versuch starten: 2 Gruppen von Anfänger Entwicklern eine Aufgabe geben (Multiplayer-Spiel bauen), eine bekommt die Konzepte, die andere nicht

Mithilfe eines Experiments (oder mehrerer Experimente) soll gezeigt werden, dass Einstiegs-Entwickler in der Multiplayer-Spieleprogrammierung einen klaren Vorteil haben, wenn sie das technische Design eines Neuprojekts nach diesen Konzepten ausrichten.

Hierfür werden 2 Gruppen aus jeweils maximal 3 Personen bestimmt, welche beide ein identisches, rudimentäres Online-Spiel entwickeln sollen. Die eine Gruppe bekommt die Konzepte als Orientierung zur Verfügung, die andere nicht.

Die Anforderungen an die Probanden sind: -> Sollten die Probanden aus Studenten bestehen, so müssen alle Probanden im gleichen Semester sein. -> Die Probanden müssen gleich viel (am besten keine, oder wenig) Erfahrung im Bereich der Multiplayer-Spieleentwicklung haben.

Die Anforderungen an das Experiment sind: -> Es muss die Zeit gemessen werden, wie viel Stunden jede Gruppe zur Fertigstellung des vorgegebenen Projekts benötigt werden. -> Alle Probanden müssen Zugang zu ähnlicher Hardware besitzen. -> Die Gruppen teilen die Aufgaben unter sich auf, und suchen sich selbstständig Frameworks und Engines für das Projekt aus. -> Im Anschluss müssen beide Gruppen die oben erarbeitete Umfrage ausfüllen.

-> Ergebnisse der Umfrage auswerten, passen die Ergebnisse zu der hier beschriebenen Problemstellung?

Die Ergebnisse der Umfrage an ausgewählte Personen und an die Entwickler Community werden ausgewertet. Kann man einen Trend erkennen? Können die Problemstellungen / Thesen validiert werden? (Konkret: Sind die Annahmen dieser Arbeit korrekt? Haben Anfänger-Entwickler tatsächliche Schwierigkeiten mit den Punkten X, Y, Z ..?)

-> Auswertung des Experiments / der Experimente: Hat die Gruppe, welche sich an die Konzepte gehalten hat einen messbaren Vorteil gehabt? (Geschwindigkeit, Anfangsschwierigkeiten)

Die Daten aus dem Experiment (Zeitmessung, Umfrageergebnisse) sollen nun wie folgt ausgewertet werden:

-> Ist die Gruppe, welche das Projekt mit den Konzepten umgesetzt hat, schneller zum Ziel gekommen, als die Gruppe ohne Hilfestellung der Konzepte?

-> Hatte die Gruppe, welche das Projekt mit den Konzepten umgesetzt hat, weniger Start-Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Projekts, als die Gruppe ohne Hilfestellung der Konzepte?

4 Realisierung

3. Implementierung 1 :

Genutzte Frameworks / Technologien

Grundlagen des Mirror Frameworks: -> worauf basiert es eigentlich? -> Auszug Features | diese erklären. -> Network-Manager -> NetworkManager Callbacks -> Network Identity / Network Behavior / Network Transform -> Network Behavior Callbacks -> Server und Clientcode in einer Datei -> Dedicated Server vs. Self-Host -> Synchronization -> Remote Actions -> Player Game Objects -> Anticheat -> Transports

4. Implementierung 2:

-> Beispiel Implementierung Matchmaking System (Hide n seek)

5. Abschluss:

5 Zusammenfassung

5.1 Fazit

5.2 Auswertung

5.3 Weitere Ansätze

5.4 Nächste Schritte

5.5 Ausblick

Literaturverzeichnis

- [.2014] *Matchmaking in multi-player on-line games: studying user traces to improve the user experience* (2014)
- [Den18] DENG, Yunhua; LI, Yusen; SEET, Ronald; TANG, Xueyan und CAI, Wentong: The Server Allocation Problem for Session-Based Multiplayer Cloud Gaming. *IEEE Transactions on Multimedia* (2018), Bd. 20(5): S. 1233–1245
- [gam20] GAME - VERBAND DER DEUTSCHEN GAMES-BRANCHE E.V.: Jahresreport der deutschen Games-Branche 2020 (2020), URL <https://www.game.de/wp-content/uploads/2020/08/game-Jahresreport-2020.pdf>
- [Git21] GITHYP: Most played games on Steam in 2020, by hourly average number of players (February 2021), URL <https://www.statista.com/statistics/656319/steam-most-played-games-average-player-per-hour/>
- [Gli08] GLINKA, Frank; PLOSS, Alexander; GORLATCH, Sergei und MÜLLER-IDEN, Jens: High-Level Development of Multiserver Online Games. *International Journal of Computer Games Technology* (2008), Bd. 2008: S. 1–16, URL <https://www.hindawi.com/journals/ijcgt/2008/327387/>
- [Jer17] JEROME RENAUX: Interest management for multiplayer online games (2017), URL <https://www.dynetisgames.com/2017/04/05/interest-management-mog/>
- [MFa21] MFATIHMAR: Game Networking Resources (2021)
- [Pay19] PAYNE, John: Making Multiplayer Games Doesn't Have to Be Difficult. *Crayta* (18.09.2019), URL <https://medium.com/crayta/making-multiplayer-games-doesnt-have-to-be-difficult-d08d19c83de>
- [Sim20] SIMON-KUCHER & PARTNERS: Impact of COVID-19 on the frequency of playing multiplayer video games worldwide as of June 2020 (2020), URL <https://www.statista.com/statistics/1188549/covid-gaming-multiplayer/>
- [Sme02a] SMED, Jouni; KAUKORANTA, Timo und HAKONEN, Harri: Aspects of networking in multiplayer computer games. *The Electronic Library* (2002), Bd. 20(2): S. 87–97, URL <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02640470210424392/full/pdf>
- [Sme02b] SMED, Jouni; KAUKORANTA, Timo und HAKONEN, Harri: *A review on networking and multiplayer computer games*, Citeseer (2002), URL

- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.16.2565&rep=rep1&type=pdf>
- [Wik19] Serialisierung (2019), URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Serialisierung&oldid=190015284>
- [Wik20] Spawnen (2020), URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Spawnen&oldid=200710033>
- [Wik21a] Echtzeitsystem (2021), URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Echtzeitsystem&oldid=217468472>
- [Wik21b] IP-Adresse (2021), URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=IP-Adresse&oldid=218224804>
- [Wik21c] Matchmaking (video games) (2021), URL [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Matchmaking_\(video_games\)&oldid=1056891415](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Matchmaking_(video_games)&oldid=1056891415)
- [Wik21d] Nicht-Spieler-Charakter (2021), URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Nicht-Spieler-Charakter&oldid=217227874>
- [Wik21e] Port (Protokoll) (2021), URL [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Port_\(Protokoll\)&oldid=216781784](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Port_(Protokoll)&oldid=216781784)
- [Wik21f] Single Sign-on (2021), URL https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Single_Sign-on&oldid=215677155

Abbildungsverzeichnis

2.1	Client-Server Modell	7
2.2	Client-Server Modell	7
2.3	UML Klassen	8
3.1	API Konzept Diagramm	16
3.2	Client UI & Visual Controller Diagramm	17
3.3	Client Connection Manager Diagramm	19
3.4	Serversided Client Manager	20
3.5	Prepare-Game-Manager	21
3.6	Progress / Game-State Manager	23
3.7	Runtime Spawn Manager	25
3.8	Interest Manager	26
3.9	Interest Management	27

Tabellenverzeichnis

Listings

.

A Anhang 1

B Anhang 2