Examensarbete

HÖGSKOLAN I SKÖVDE

STYRBETEENDEN FÖR ATT NAVIGERA GRUPPER AV AUTONOMA AGENTER

STEERING BEHAVIORS TO NAVIGATE GROUPS OF AUTONOMOUS AGENTS

Examensarbete inom huvudområdet Datavetenskap
Grundnivå 30 högskolepoäng
Vårtermin 2015

Arvid Backman

Handledare: Mikael Johannesson
Examinator: Anders Dahlbom

Sammanfattning

Nyckelord:

Innehållsförteckning

1 Introduktion

Artificiell intelligens (AI) har alltid varit ett betydande område inom datalogi och det finns fortfarande mycket mer att lära inom området. Inom spel har AI ökat väldigt snabbt under de senaste åren och det läggs större krav på spel och dess AI i den aspekten att agenter ska bete sig trovärdigt. Söktekniker för vägplanering hos agenter är den AI som är vanligast inom spel. En vanlig vägplaneringsalgoritm som används på agenter i spel med statiska hinder är A* (A-stjärna). Utöver en vägplaneringsalgoritm krävs det någon sorts navigering hos agenterna i spelet för att de ska kunna röra sig efter den planerade vägen.

I takt att spel blir större blir även dess AI mer komplex. Hantering och navigering hos stora grupper av agenter i en spelmiljö är ett exempel på detta. Realtidstrategi-genren är en genre som behöver handskas med detta problem men det finns i andra genrer också. Exempelvis i ett FPS där civila människor springer och söker skydd.

Ett sätt att navigera agenter i en miljö är med hjälp av så kallade styrbeteenden. När ett styrbeteende appliceras på en agent kommer den agenten att kunna agera och ta egna besluta. Dessa beslut grundas på den informationen som ges från miljön runtomkring. De två tekniker för att navigera grupper av agenter som tas upp i detta arbete är flödesfälts- och vägföljnings-beteende. De två teknikerna används i kombination med ett antal andra styrbeteenden som tillexempel hanterar kollision mellan agenterna och andra objekt i världen.

2 Bakgrund

2.1 Artificiell intelligens

Artificiell intelligens är konsten att skapa maskiner som utför uppgifter som kräver intelligens när de utförs av människor (Kurzweil, 1990). Artificiell intelligens handlar om att få datorer att utföra uppgifter och handlingar som människor och djur är kapabla att göra (Millington & Funge, 2009). Det är möjligt att programmera en dator att utföra uppgifter som är omöjliga för en människa (eller en grupp människor) att lösa under en rimlig tid. Exempelvis: sökning, aritmetiska problem, med mera.

Det är dock ett flertal uppgifter som datorer är dåliga på att utföra, som människor finner triviala: bestämma vad som ska göras härnäst, känna igen ansikten och vara kreativa är endast några få exempel. Det är just detta som AI-området utforskar genom att undersöka vilka algoritmer det är som krävs för att få fram dessa egenskaper hos datorer.

2.1.1 Traditionell AI

Det traditionella AI-området är uppdelat i två, mindre, områden: stark AI och svag AI. Stark AI eftersträvar att skapa ett beteende som efterliknar människors tankeprocess, medan forskningen inom svag AI applicerar AI-teknologier på resultatet av verkliga problem. Buckland menar, i boken *Programming Game AI by Example* (2004), att dessa två subområden tenderar att fokusera på att lösa ett problem på ett sätt som tar mindre hänsyn till hårdvara eller tidsbegränsningar. Exempelvis kan en AI-forskare låta en simulation exekveras i timmar, dagar, eller veckor så länge det ger ett lyckat resultat som kan diskuteras i en artikel.

2.1.2 Spel-AI

Till skillnad från traditionell AI måste AI-system inom spel ta hänsyn till vilka resurser som användaren har, till exempel vilken processor eller hur mycket RAM användaren har. Artificiell intelligens har alltid funnits inom datorspel, men *Pacman* (Namco, 1980) var det första spelet med en relativt avancerad AI. Fienderna rörde sig precis som spelaren och gav känslan av att det var riktiga människor som styrde dem (Millington & Funge, 2009).

En väldigt stor andel av de spel som finns idag har någon sorts AI implementerad. Oavsett om det är en hund som rör sig mellan två olika rum i ett hus, eller om det är en mer avancerad NPC (Non-Player Character) i ett rollspel som rör sig runt i en by, har båda agenterna ett sätt att navigera sig genom den miljön de befinner sig i. Inom datorspel är navigering och rörelse av agenter ett vanligt problem, oftast inom spel där en grupp av agenter ska navigeras tätt intill varandra. Tätt navigerande agenter är väldigt vanligt inom RTS (realtidspel) så som *Starcraft 2: Wings of Liberty* (Blizzard Entertainment, 2010) och *Warcraft 3: Reign of Chaos* (Blizzard Entertainment, 2002).

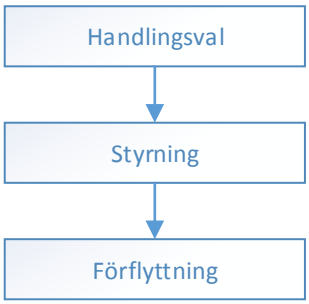
2.1.3 Autonom agent

En autonom agent är en enhet som kan uppfatta miljön runtomkring sig och agera utifrån den informationen, vilket ger agenten funktionaliteten att till viss del improvisera sina beslut. En agents beslut definierar vilket beteenden som en agent ska ha. Ett beteenden är något som får agenten att utföra olika uppgifter i en miljö. Ett exempel på ett beteenden är att en person är trött och beslutar sig för att sova. En agents beteenden beskrivs av

agentfunktioner som mappar en given uppfattning till en mekanism (Russell & Norvig, 2009).

Reynolds beskriver i *Steering Behaviors For Autonomous Characters* (1999) att ett beteende hos en autonom agent kan delas upp i flera lager för att lättare förstå det. Dessa lager är: handlingsval, styrning, och förflyttning (Figur 1).

- Handlingsval: Lagret som bestämmer vilket mål agenten har. Till exempel: ”gå hit”.
- Styrning: Lagret som ansvarar för att navigera agenten korrekt för att tillgodose målen som gavs från det tidigare lagret. Detta uppfylls genom att applicera styrbeteenden hos agenten för att producera en styrkraft som beskriver hur agenten ska röra sig.
- Förflyttning: Det lager som ansvarar för en agents förflyttning. Detta lager konverterar kontrollsignaler från styrningslagret till rörelse av agentens kropp.



Figur 1 Ett beteendes tre lager

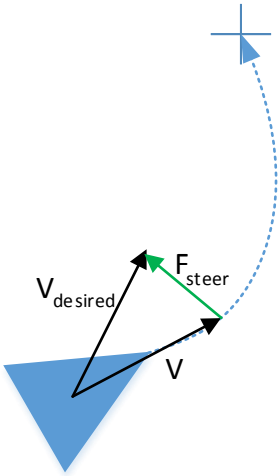
Ett exempel på en autonom agents beteende, i ett realtidstrategispel, är att spelaren ger order åt en autonom agent att röra sig till en ny position och den autonoma agenten navigerar sig själv genom miljön. Ett annat exempel är att ha två autonoma agenter, en råtta och en katt. Katten rör sig runt i en miljö medan musen sitter och äter. När musen ser att katten närmar sig flyr den från katten, samtidigt som katten börjar jaga musen. Alla dessa beslut görs utan någon översyn av en programmerare eller spelare.

2.2 Styrbeteende

Ett beteende som appliceras för att producera en styrkraft hos en agent, kallas för ett styrbeteende. Det finns en mängd olika styrebeteenden som producerar en styrkraft på olika sätt. Flera av styrbeteendena kan kombineras för att styra den autonoma agenten på ett mer komplext och naturligt sätt. Dessa styrebeteenden presenteras av Reynolds i hans artikel *Steering Behaviors For Autonomous Characters* (1999).

2.2.1 Sök

Sök är ett styrbeteende som används för att styra en agent mot en specificerad position (P_{goal}), i global rymd. Beräkningen för detta styrbeteende är relativt enkel, först beräknas en önskad hastighet ($V_{desired}$) genom Formel 1. Med den önskade hastigheten går det att beräkna vilken styrkraft (F_{steer}) som ska appliceras på agenten med Formel 2.



Figur 2 Sökbeteendet

```
vector2D function seek(vector2D target)
{
        var desiredVelocity = target - agentPosition;
        var force = desiredVelocity - agentVelocity;
        return force;
}
```

Pseudokod 1 Pseudokod för sökningsbeteendet

$$V_{desired} = normalized(P_{goal} - P) * V_{max}$$

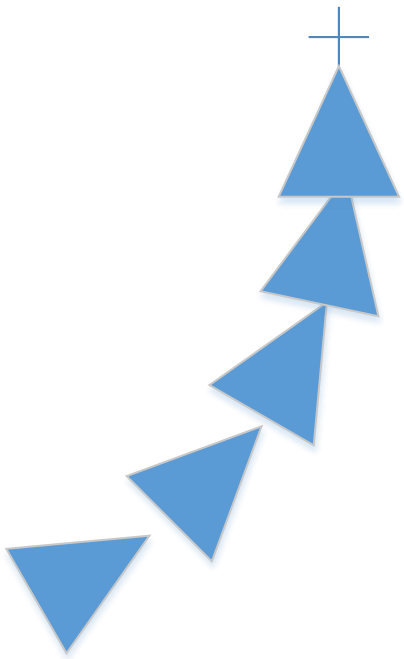
Formel 1 Beräkningen för den önskade hastigheten

$$F_{steer} = V_{desired} - V$$

Formel 2 Beräkningen för styrkraften

2.2.2 Ankomst

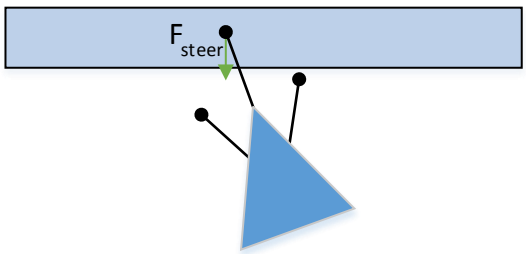
Styrebeteendet ankomst är identiskt till sök, så länge agenten är långt ifrån den specificerade målpositionen. Skillnaden från sökbeteenden, som styr sig mot målet, är att beteendet får karaktären att sakta ner när den närmare sig målet. Sträckan som definierar när agenten ska sakta ner går att förändra.



Figur 3 Ankomstbeteendet

2.2.3 Väggundvikande

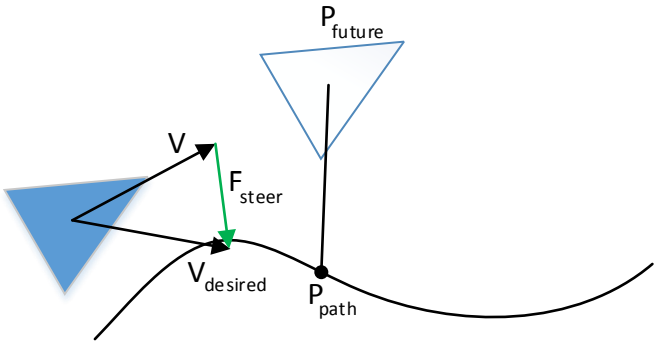
Väggundvikande ger en agent förmågan att styra ifrån potentiella kollisioner med väggar i en miljö. En vägg är ett linjesegment, i 3D en polygon. Detta görs med hjälp av avkännarpunkter för att se om en avkännarpunkt korsar en vägg. Om en avkännare korsar en vägg beräknas en styrkraft genom att beräkna hur mycket avkännaren har penetrerat väggen och sedan skapa en kraft av den penetrerade längden i väggens normalriktning. Denna typ av teknik för att undvika väggar går även att använda för att undvika vanliga objekt i en miljö i och med att tekniken endast känna om en avkännarpunkt har korsat en linje. Det ger möjligheten att skapa objekt (exempelvis cirkel- och rektangel-formade objekt) i en miljö som en agent sedan undviker kollision med.



Figur 4 Väggundvikelsebeteendet

2.2.4 Vägföljning

Vägföljningsbeteendet gör det möjligt för en agent att styras längs en serie av positioner som formar en väg. Agenten tittar, med hjälp av sin nuvarande position och hastighet, vilken position han kommer att ha om x sekunder (P_{future}). Från P_{future} beräknas den närmsta punkten på vägen (P_{path}). Ett sökbeteende appliceras sedan på agenten, med P_{path} som målposition. Om P_{path} skulle vara den sista punkten på vägen byts sökbeteendet ut mot ankomstbeteendet.

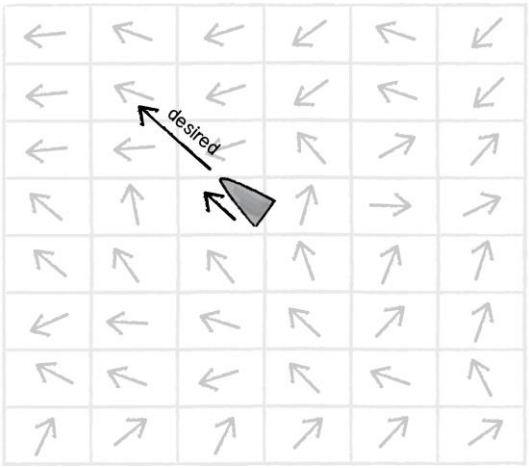


Figur 5 Vägföjlningsbeteendet

2.2.5 Flödesfält

Styrbeteendet flödesfält är ett beteende för navigering av agenter, och kan användas som ett alternativ till vägföljningsbeteendet. Ett flödesfält är ett, godtyckligt stort, rutnät, där varje cell i rutnätet innehåller en riktningsvektor. Denna riktningsvektor representerar vilken styrkraft som ska appliceras på en agent när den befinner sig i cellen. Cellernas riktningsvektorer kan vara statiska, men de kan också uppdateras dynamiskt. Dynamisk uppdatering av flödesfältet är fördelaktigt i spel där hinder för agenter förändras i realtid. Exempelvis realtidstrategispel, där agenterna inte får styras in i varandra och deras position alltid förändras.

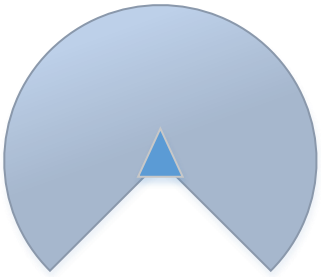
Under senare år har det skrivits ett antal artiklar där man tar upp denna typ av styrbeteende för att simulera stora grupper av agenter. Några exempel är *Continuum Crowds* (Treuille et al., 2006), använder flödesfält för att simulera en stadsmiljö med människor och bilar, *Directing Crowd Simulations Using Navigation Fields* (Patil et al., 2011), använder flödesfält för att simulera folkmassor i trånga utrymmen. Graham Pentheny (2013) diskuterar även om möjligheterna att använda flödesfält i spel där stora grupper av agenter måste förflytta sig i en miljö. Ett exempel på spel som använder flödesfält för att hantera grupper av agenter är *Planetary Annihilation* (Uber Entertainment, 2014) som är ett realtidstrategispel.



Figur 6 Flödesfältsbeteende (Shiffman, 2012)

2.2.6 Flockbeteende

I *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model* (1987) beskriver Reynolds tre olika styrbeteenden som alla samarbetar för att skapa ett flockbeteende hos grupper av agenter. Dessa tre styrbeteenden är: Separation, sammanhållning, och formering. Styrbeteendena appliceras endast på en agent beroende på de agenter som befinner sig inom sitt närområde. Närområdet definieras med hur långt och brett en agents synfält är.

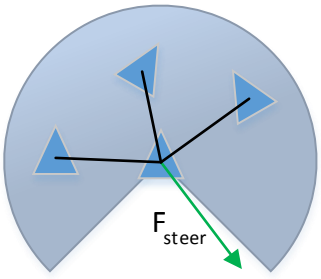


Figur 7 En agents närområde

Separationsbeteendet skapar en kraft som styr en agent ifrån andra agenter inom sitt närområde. När detta beteende appliceras på en mängd agenter kommer dom sprida ut sig, och försöka maximera längden från varandra. Kraften (F_{steer}) beräknas genom att beräkna en riktningsvektor mot alla agenter i närområdet. Riktningsvektorerna normaliseras och adderas sedan, se Formel 3. Detta beteende kan användas för att hindra agenter att tränga ihop sig.

$$F_{steer} = \sum_{i=1}^{n} normalized(P - P_i)$$

Formel 3 Beräkningen för styrkraften hos separationsebeteendet

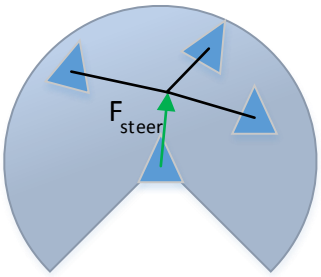


Figur 8 Separationsbeteendet

Sammanhållningsbeteendet ger en agent förmågan att närma, och gruppera, sig med andra agenter i närområdet. Styrkraften (F_{steer}) kan beräknas genom att beräkna medelpositionen hos de närliggande agenterna. Styrkraften kan sedan appliceras i riktningen från agenten och medelpositionen, se Formel 4.

$$F_{steer} = \frac{\sum_i^n P_i}{n} - P$$

Formel 4 Beräkningen för styrkraften hos sammahållningsbeteendet

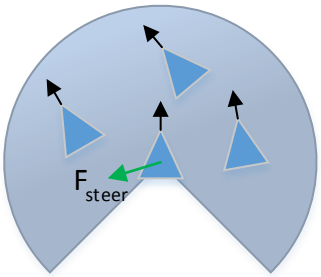


Figur 9 Sammanhållningsbeteendet

Formeringsbeteendet ger en agent förmågan att röra sig i samma riktning och hastighet som agenter i närområdet. Kraften (F_{steer}) kan beräknas genom att först beräkna medelhastigheten hos alla närliggande agenter och sedan subtrahera denna medelhastighet med agentens egen hastighet, se Formel 5.

$$F_{steer} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{n} - V$$

Formel 5 Beräkningen för styrkraften hos formeringsbeteendet



Figur 10 Formeringsbeteendet

2.3 Beräkningsmodell för kombination av styrbeteenden

Det är sällan som en autonom agent endast styrs av ett enda styrbeteende, utan det är oftast en samling styrbeteenden som styr en autonom agents beteenden. Det krävs till exempel tre styrbeteenden för att åstadkomma ett flockbeteende hos agenter; separation, sammanhållning, och formering. Vill man tillexempel att agenter ska söka sig till ett mål och samtidigt undvika kollision med andra agenter kan en lösning vara att kombinera sök- och separationsbeteendena.

Grunden bakom alla beräkningsmodeller är att addera ihop alla styrkrafter som produceras av styrbeteendena. Denna summa är den totala styrkraften som appliceras på agenten. Denna styrkraft får dock inte vara större än en specificerad maxkraft hos agenten. Två beräkningsmodeller beskrivs kort av Reynold i *Steering Behaviors For Autonomous Characters* (1999) medan Buckland (2004) går in på en mer detaljerad nivå när han beskriver dem.s

2.3.1 Viktad trunkerad summa

Det enklaste sättet att kombinera styrbeteenden är genom att multiplicera varje styrbeteende med en vikt för att sedan trunkera resultatet med maxkraften hos agenten. Med denna beräkningsmodell medföljer dock några nackdelar (Buckland, 2004). Det första problemet är på grund av att varje aktivt styrbeteenden beräknas varje tidssteg, så är den väldigt ineffektiv att utföra. En annan nackdel är att det inte är trivialt att tilldela vikterna till alla aktiva styrbeteenden.

$$F_{steer} = \sum_{i=1}^{n} behaviorWeight_i * behaviorForce_i$$

Formel 6 Beräkningen för den totala styrkraften med viktad trunkerad summa.

2.3.2 Viktad trunkerad summa med prioritering

Denna beräkningsmodell är väldigt lik den förra modellen, men den har två egenskaper som skiljer dem åt. Den första egenskapen är att varje styrbeteende har en prioritet som bestämmer hur viktig den är. Ett styrbeteende med en hög prioritering kommer att uppdateras före de som har låg prioritering. Exempelvis kan det vara viktigare att uppdatera att uppdatera separationsbeteendet, istället för sökbeteendet, hos en grupp agenter som inte ska kollidera med varandra.

Den andra egenskapen som skiljer denna modell ifrån den tidigare är att om den totala styrkraften hos en agent överskrider dess maximala tillåtna styrkraft kommer de resterande styrbeteendena, som har en lägre prioritering, inte att uppdateras. Det innebär att modellen ibland inte uppdaterar vissa styrbeteenden.

$$F_{steer} = \sum_{i=1}^{n} behaviorWeight_i * behaviorForce_i * unitStep(currentForce - maxForce)$$

Formel 7 Beräkningen för den totala styrkraften med viktad trunkerad summa med prioritering. Kraften för de högts prioriterade beteenden beräknas först.

2.4 Vägplanering

Den vanligaste metoden för att få agenter att navigera sig igenom en miljö, i ett datorspel, är genom vägplanering. Den huvudsakliga uppgiften som vägplaneringen står för, är att hitta den kortaste vägen mellan två definierade punkter. Vägplaneringen tar även hänsyn till statiska objekt i miljön, såsom byggnader, berg osv., när den kortaste vägen mellan punkterna beräknas. A* (Hart et al., 1968) är en av de vanligaste algoritmerna för att beräkna den kortaste vägen.

2.4.1 A*

A*, även kallad A-stjärna, är en sökalgoritm som först framställdes av Peter Hart, Nils Nilsson, och Betram Raphael (1968). Algoritmen är en förbättring av Djikstras (1959) algoritm och det som främst skiljer de två algoritmerna ifrån varandra, är att A* använder sig av heuristik för att hitta den kortaste vägen hos en graf. Heuristik innebär att algoritmen gör en uppskattning på vad avståndet från den nuvarande positionen till målpositionen. Funktionen för att beräkna det heuristiska värdet varierar från problem till problem och alla medför för- och nackdelar.

Anledningen till att A* är en vanlig algoritm för vägplanering inom dataspel är på grund av två egenskaper den har. Den första egenskapen är att algoritmen är komplett, vilket innebär att om det finns en väg till målet kommer den vägen att hittas. Den andra egenskapen är att algoritmen alltid kommer att hitta den mest optimala vägen, om det heuristiska värdet inte överskrider den verkliga kostnaden (Hart et al., 1968).

3 Problemformulering

Denna del av examensarbetet är uppdelat i två rubriker: Problembeskrivning och Metodbeskrivning. Problembeskrivning redovisar det problem som examensarbetet är baserat på. Metodbeskrivning redovisar hur examensarbetets frågeställning ska besvaras, undersökas, och utvärderas.

3.1 Problembeskrivning

I takten med att datorspel blir större ökar även komplexiteten hos AI-systemen som de använder (se exempelvis Brian Schwab (2004)). Antalet agenter ökar och komplexiteten på miljöerna dessa agenter rör sig i blir högre. Något som alltid måste hållas i åtanke när AI inom spel implementeras är till exempel att dess minneseffektivitet inte blir för låg i och med att det finns en begränsad resurs att använda sig av. Om minneseffektivitet blir för låg kommer spelet inte att köras på ett bra sätt och spelupplevelsen för användaren kommer att försämras.

Som beskrivet i avsnitt 2.2 är styrbeteenden är en samling av olika tekniker vars syfte är att styra en autonom agent och de första av dessa styrbeteenden skapades av Craig Reynolds (1987). Avsnitt 2.2.4 och avsnitt 2.2.5 förklarar vägföljningsbeteende respektive flödesfältsbeteende. Dessa två beteenden har båda som syfte att röra sig från en punkt till en annan punkt i en miljö.

Examensarbetet kommer att fokusera på vägföljnings- och flödesfälts-beteende för att navigera grupper av agenter genom en miljö. Båda teknikerna kommer att slås ihop med andra styrbeteenden när de utvärderas. Detta kommer att ske med hjälp av en beräkningsmodell. Detta är främst applicerbart hos spel som går inom genren realtidstrategispel men kan även användas inom andra spelgenrer, som till exempel rollspel där icke spelarstyrda karaktärer ska navigera sig i en miljö. Det går även att använda dessa tekniker för olika simulationer. Till exempel används flödesfältsbeteende i artikeln *Directing Crowd Simulation Using Navigation Fields* (Patil et al., 2011) för att simulera stora folkmassor i stadsmiljöer.

Det kommer att utföras experiment på grupper av autonoma agenter och storleken på dessa grupper kommer att variera från ett litet antal till ett hundratal agenter mellan de olika testfallen. Eftersom att miljöer i spel kan variera kommer testfallen att köras på ett flertal olika miljöer som lägger fokus på vissa aspekter, som till exempel trånga och fria utrymmen. Den frågeställning som arbetet kommer försöka besvara är:

- Hur jämför sig styrbeteendena flödesfälts- och vägföljnings-beteende för att styra grupper av autonoma agenter i olika miljöer med avseende på minneseffektivitet?

För att det ska vara möjligt att besvara frågeställningen kommer en applikation skapas. Det ska vara möjligt att förändra vissa värden i applikation, som till exempel rutnätets densitet för navigering med flödesfält. Det ska även vara möjligt att välja en miljö som testerna ska utföras på.

I takten med att datorspel blir större och mer avancerade kommer antalet agenter i datorspel och komplexiteten på miljöer att öka. Detta kommer att ha en påverkan på

minneseffektiviteten hos navigationen av agenterna är. Det är därför intressant att utföra tester för att se vilken navigeringsteknik som fungerar bäst under olika förhållanden.

Arbetets genomförande är indelat i två delsteg. Det första steget är att implementera en applikation vars syfte är att testa de två teknikerna, som arbetet ska utvärdera, i ett antal miljöer. Det andra steget är att göra utvärderingar på teknikerna med hjälp av den applikation som tidigare implementerats.

3.1.1 Delmål 1: Implementation

Avsikten med detta delmål är att implementera den applikation som kommer att användas för att utvärdera navigationsteknikerna. Därmed behöver alla styrbeteenden och beräkningsmodeller som ska användas, för utvärderingen, implementeras i applikationen. Det ska vara möjligt att skapa olika utfall för att enkelt kunna analysera teknikerna. Med olika utfall menas vilken miljö som ska användas, hur många agenter som ska navigera genom vald miljö, och vilken teknik de ska använda.

3.1.2 Delmål 2: Utvärdering

Detta delmål har som har som syfte att utvärdera navigeringsteknikerna. Det är i detta steg testfallen skapas med hjälp av applikation som implementerats i det tidigare delmålet. Vad som skiljer testfallen ifrån varandra är främst hur dess miljö ser ut, men även antalet agenter som navigerar genom miljön.

Den egenskap som arbetet kommer att utvärdera hos de två teknikerna är deras minneseffektivitet. Den operationella definitionen av minneseffektivitet i detta arbete är minnesanvändningen hos teknikerna. Med minnesanvändning menas hur mycket minne som allokeras och används för att navigera grupperna av agenter.

3.2 Metodbeskrivning

3.2.1 Metod för delmål 1: Implementation

Metoden för detta delmål är att implementera en applikation vars uppgift är att kunna besvara den frågeställning som arbetet har. Den mest vitala delen i detta delmål är implementationen av flödesfält- och vägföljningsnavigering. Styrbeteendena, och den beräkningsmodell, som agenterna kräver för att navigera sig i miljön måste också implementeras. Alla styrbeteenden som används i arbetet grundar sig från Craig Reynolds artikel *Steering Behaviors For Autonomous* Characters (1999). Det krävs även att applikationen har en implementation av sökalgoritmen A*, för att kunna hitta en väg som vägföljningsbeteendet kan använda. För att kunna evaluera minneseffektiviteten hos teknikerna används verktyget *dotMemory* (JetBrains, 2014).

3.2.2 Metod för delmål 2: Utvärdering

Metoden för denna del är att utvärdera de testfall som skapats i applikationen från tidigare del. Testfallen går ut på att en godtyckligt stor grupp ska ta sig från en punk till en annan punkt i en miljö. För att göra det möjligt att utvärdera testfallen med avseende på minneseffektivitet kommer det att används ett mått:

- Hur mycket minne krävs för att genomföra testfallet?

För att utvärdera detta mått hos teknikerna kommer ett flertal testfall utföras på de två teknikerna. Med hjälp av verktyget *dotMemory* (JetBrains, 2014) kommer resultaten från testfallen att kunna utvärderas. För att kunna mäta minnesanvändningen hos teknikerna kommer varje teknik att testas ett flertal gånger och alla testresultaten kommer att sedan att analyseras genom att ta fram ett medelvärde på dess minnesanvändning. Resultaten kommer att jämföras för att få fram vilken av teknikerna som skulle kunna lämpa sig bäst för att navigera grupper av agenter där minneseffektivitet är i fokus.

Den motivation som ligger bakom användandet av detta mått för att mäta minneseffektivitet hos de två teknikerna kommer mestadels från eget omdöme där det anses vara intressant att se hur teknikernas minnesanvändning påverkas mellan olika miljöer och antalet agenter. Motivationen har även viss inspiration från Kotushevski (2010) mastersavhandling.

3.3 Metodreflektion

Det går att diskutera över den metod som har valts för det första delmålet. Det finns motorer för realtidstrategispel som är öppna och gratis som mycket väl hade kunnat användas för detta arbete. Anledningen till att ett eget ramverk och en egen applikation implementeras är för att få en större kontroll arbetet och för att applikationen den ska bli mer specificerad mot det mått som används. Därför är det tvunget att en applikation implementeras för att det ska vara möjligt att få fram ett resultat som besvarar arbetets frågeställning.

För att få en större helhet över teknikernas minnesanvändning hade det gått att titta på fler aspekter som exempelvis: teknikernas största/minsta minnesanvändning, kommer någon teknik över en definierad mängd minnesanvändning. Dessa aspekter hade kunnat användas som komplement till att mäta medelvärdet. Anledningen till valet att mäta minneseffektiviteten hos teknikerna genom att använda medelvärdet av testresultaten bygger på praktiska begränsningar. Varken tid eller resurser finns för att göra det under den tidsram som arbetet har.

Ett problem som kan uppstå med mätningen av minnesanvändning är att applikationen som utför simuleringen också hanterar andra funktionaliteter, exempelvis rendering. Detta problem kommer att reduceras genom att teknikerna även kommer att testas utan någon typ av rendering eller några andra funktionaliteter som inte direkt påverkan på simuleringen och dess testresultat.

Som alternativ till att jämföra teknikernas minneseffektivitet baserat ett definierat mått hade det hade varit möjligt att utvärdera dess tidseffektivitet baserat på hur lång tid det tar för agenterna att ta sig från en punkt till en annan punkt i en miljö. Anledningen till att minneseffektiviteten valdes för att jämföra teknikerna är för att det är ett mer aktivt område inom spel-AI där minneseffektivitet hos AI-systemen är en väldigt viktig del på grund av de begränsade resurser som man har att arbeta med.

4 Genomförande

4.1 Förstudie

4.2 Progressionsexempel: modellering

5 Utvärdering

5.1 Presentation av undersökning

5.2 Analys

5.3 Slutsatser

6 Avslutande diskussion

6.1 Sammanfattning

6.2 Diskussion

6.3 Framtida arbete

Referenser

Blizzard Entertainment (2010). *Starcraft 2: Wings of Liberty* (Version 1.0) [Datorprogram] Blizzard Entertainment.

Blizzard Entertainment (2002). *Warcraft III: Reign of Chaos* (Version 1.0) [Datorprogram] Blizzard Entertainment.

Buckland, M. (2004). *Ai Game Programming by Example*. Wordware Publishing Inc.

Dijkstra, E.W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*. (http://csl.mendeley.com/styles/252469921/harvard-skovde-university-2). s. 269–271.

Hart, P., Nilsson, N.J. & Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*. s. 100–107.

JetBrains (2014). *dotMemory* (Version 4.2) [Datorprogram] JetBrains.

Kotushevski, G. (2010). *Intelligent driver agent model for autonomous navigation in a computer simulated vehicular traffic network*. Massey University.

Kurzweil, R. (1990). *The age of intelligent machines*. MIT Press.

Millington, I. & Funge, J. (2009). *Artificial Intelligence for Games, Second Edition*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.

Namco (1980). *Pacman* (Version 1.0) [Datorprogram] Namco.

Patil, S., Berg, J. van den, Curtis, S., Lin, M.C. & Manocha, D. (2011). Directing crowd simulations using navigation fields. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 17 (2). s. 244–54.

Pentheney, G. (2013). *GDC - The Next Vector: Improvements in AI Steering Behaviors*. 2013. Tillgänglig på Internet: http://www.gdcvault.com/play/1018230/The-Next-Vector-Improvements-in. [Hämtad 30 January 2015].

Reynolds, C. (1999). *Steering Behaviors For Autonomous Characters*.

Reynolds, C.W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '87*. 1 August 1987, New York, New York, USA: ACM Press, s. 25–34.

Russell, S. & Norvig, P. (2009). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall Press.

Schwab, B. (2004). *Ai Game Engine Programming*. Charles River Media, Inc.

Shiffman, D. (2012). *The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing*.

Treuille, A., Cooper, S. & Popović, Z. (2006). Continuum crowds. *ACM Transactions on Graphics*. s. 1160.

Uber Entertainment (2014). *Planetary Annihilation* (Version 1.0) [Datorprogram] Uber Entertainment.