Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrevet opmærksomhed i RTS-spil

Bachelorprojekt ved Datalogisk Institut Københavns Universitet

Oskar Behrendt & Ejnarn Håkonsen

Vejleder: Jon Sporring

25/01/2011
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

<table>
<thead>
<tr>
<th>Indledning</th>
<th>3</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Problemformulering</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>Udvikling af Problemformulering</td>
<td>3</td>
</tr>
<tr>
<td>Motivation</td>
<td>3</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Valg af løsning</th>
<th>4</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Valg af værkøl</td>
<td>4</td>
</tr>
<tr>
<td>Spilkoncept</td>
<td>6</td>
</tr>
<tr>
<td>Beslægte spilkoncepter</td>
<td>6</td>
</tr>
<tr>
<td>DoTA AI m. fl.</td>
<td>7</td>
</tr>
<tr>
<td>Nexus Wars, Income Wars m. fl.</td>
<td>7</td>
</tr>
<tr>
<td>Majesty</td>
<td>7</td>
</tr>
<tr>
<td>Diner Dash</td>
<td>7</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Spildesign og implementation</th>
<th>8</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Banedesign og terræn</td>
<td>8</td>
</tr>
<tr>
<td>Enheder</td>
<td>9</td>
</tr>
<tr>
<td>Våben og panser</td>
<td>10</td>
</tr>
<tr>
<td>Balancering</td>
<td>11</td>
</tr>
<tr>
<td>Hastighed</td>
<td>11</td>
</tr>
<tr>
<td>Liv og skade</td>
<td>12</td>
</tr>
<tr>
<td>Iteration</td>
<td>12</td>
</tr>
<tr>
<td>Abilities</td>
<td>12</td>
</tr>
<tr>
<td>Missioner og mål</td>
<td>13</td>
</tr>
<tr>
<td>Fjender</td>
<td>13</td>
</tr>
<tr>
<td>Endgame</td>
<td>14</td>
</tr>
<tr>
<td>Spillets titel</td>
<td>14</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Interface</th>
<th>14</th>
</tr>
</thead>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>AI</th>
<th>17</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Spillernes enheds-AI</td>
<td>17</td>
</tr>
<tr>
<td>Relatedede AI-projekter</td>
<td>17</td>
</tr>
<tr>
<td>Valg af metode og parametre</td>
<td>18</td>
</tr>
<tr>
<td>Implementation og udvikling</td>
<td>19</td>
</tr>
<tr>
<td>Primitiv fjende-AI</td>
<td>21</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Udførmning af brugertest</th>
<th>22</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Mål</td>
<td>22</td>
</tr>
<tr>
<td>Valg af testpersoner</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>Testscenarie 1: Måling af AI-effektivitet i konkrete kampscenarier</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>Testscenarie 2: Måling af spildtids mod og uden AI</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>Testscenarie 3: Måling af spiller-effektivitet med og uden AI</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>Testscenarie 4: Observation af spillere mod AI mod spillere uden</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>Spørgeskema</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>Erfaring og custom maps</td>
<td>24</td>
</tr>
<tr>
<td>Sværhedsgrad</td>
<td>25</td>
</tr>
<tr>
<td>Missions- og Opgraderings-interface</td>
<td>25</td>
</tr>
<tr>
<td>Styring af enheder</td>
<td>25</td>
</tr>
<tr>
<td>AI’ens styring af enheder.</td>
<td>25</td>
</tr>
<tr>
<td>Fjender</td>
<td>25</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>Resultater og diskussion</th>
<th>26</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Udvikling af testscenarier</td>
<td>26</td>
</tr>
<tr>
<td>Procedurer og ændringer</td>
<td>26</td>
</tr>
<tr>
<td>Testscenarie 1: Resultater for AI-effektivitet</td>
<td>27</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

Konklusion på AI-benchmarks:  
Setup 1:  
Setup 4:  
Setup 5:  
Setup 6:  
Setup 7:  
Setup 8:  
Setup 9:  
Setup 10:  
Setup 12:  
Testscenarie 2: Resultater for spildtid med og uden AI  
Testscenarie 3: Resultater for spiller-effektivitet med og uden AI  
Spørgeskema  
- Erfaring og custom maps  
- Svarhedsgrad  
- Missions- og opgraderings-interface  
- Styting af enheder  
- Ålens styting af enheder  
- Fjender  
- Generelle kommentarer til spillet  

Evaluering projektforløb:  
- Udfordringer ved værktøjet  

Konklusion  

Litteratur  

Bilag  
- Oprindelig Problemformulering  

Side 2 af 49
Indledning

Problemformulering

Hvordan kan man lave et real-time multiplayer spil, hvor man, ved at interagere med spillets enheds-AI, kan aflaste spillerens opmærksomhedsbehov, mere end med de typiske enheds-AI'er, der primært bare kan pathfinde fra A til B, og reagere når enheden er under angreb. Intentionen med dette er, at kunne designe en anderledes spiloplevelse, der udfordrer spilleren på nye måder, men stadig har en lav indlæringskurve for personer med erfaring fra RTS-genren.

Udvikling af Problemformulering

Den oprindelige problemformulering er vedlagt i bilag.

Undervejs i projektet blev vi opmærksomme på, at vores originale problemformulering var misvisende for det, som vi i virkeligheden har arbejdet mod. Hvor vi oprindeligt udtrykte et ønske om at “sprede” spillerens opmærksomhed, har vores mål i virkeligheden været at “aflaste” spillerens opmærksomhedsbehov i en række konkrete situationer, således at spilleren skal bruge mindre opmærksomhed på den enkelte taktiske kampsituation, og dermed kan bruge mere tid på de overordnede strategiske beslutninger.

“Sprede” ville dække over et system, der antageligvis primært var interface-baseret og som helt reelt lod spilleren overskue flere situationer, samtidig med at han kunne foretage samme mængde handlinger.

Det vi har valgt at gøre er, at ændre gameplayet, ved at aflaste spilleren med en AI, der kan håndtere taktiske kampsituationer, baseret på langt færre konkrete ordrer fra spilleren. Således fjerner vi ikke de taktiske udfordringer fra spillet, men baserer dem på spillerens strategiske beslutninger og evne til at samarbejde med den assisterende AI. Forhåbentlig med det resultat, at udfordringerne, og dermed spiloplevelsen, ændrer sig fra udgangspunktet og skaber en forholdsvis u-udforsket subgenre.

Motivation

Computerspil er en international milliardindustri. Spilglæden alene er det vigtigste mål for computerspil [1], og denne afhænger i høj grad af, om et spil kan byde på underholdende udfordringer, som spilleren gradvist kan mestre.

RTS er en særdeles populær spilgenre, hvor den generelle præmis er, at spilleren skal detaljestyre sine enheder, for at klare udfordringerne. Ved at lade en AI håndtere detaljestyringen, ud fra spillerens mere overordnede ordrer og strategier, ændrer man de udfordringer, som spillet byder på. Ideelt vil dette ydermere reducere opmærksomhedskravene til de enkelte spilsituationer, således at spillere kan sprede sin opmærksomhed bredere, hvilket yderligere ændrer spiloplevelsen.
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

Dette åbner for en subgenre, som vi endnu ikke har set bredt udnyttet i spilmediet. Hensigten i projektet er, at skabe en konstellation af spildesign, AI og interface der kan illustrere potentialet i denne subgenre. Hvis dette lykkes, er det mindre væsentligt hvorvidt vores prototype udnytter dette underholdningspotentiale til fulde.

**Valg af løsning**

**Valg af værktøj**


Vi har begge haft erfaring fra Blizzard Entertainments gamle Warcraft 3-editor - forgængeren for Starcraft 2-editoren. En konsekvens af, at Starcraft 2-editoren er så meget kraftigere, er dog, at ikke alle vores gamle erfaringer kommer os til gode, og at indlæringskurven har været langt højere end for de tidligere produkter i serien.

Ved at bruge Starcraft 2 som basis, har vi mulighed for at distribuere vores produkt til et aktivt community, og potentielt følge op på det efter projektets afslutning. Via battle.net, kan millioner af brugere nemt få adgang til uploadede projekter, og netop dette community har en historie for at avle og popularisere varianter af RTS-genren, så de senere er nået ud til den kommercielle branche.

Samtidig ved vi, at det er nemt at finde testpersoner med forhåndsviden, som gør testen nemmere at gennemføre.

En anden mulig editor er Warcraft 3-editoren. Den er dog ikke helt på højde med Starcraft 2 editoren på flere punkter. Starcraft 2-enginen har forbedret ydeevne og funktionalitet i forhold til Warcraft 3. Vi ville derfor skulle revidere vores spilkoncept, for at kunne gennemføre projektet. Warcraft 3-editoren giver kun adgang til en bestemt mængde funktionalitet, og der ville være risiko for, at projektet kunne gå i stå pga. tekniske vanskeligheder. Dog ville det være nemt at finde hjælp, da der er et stort community omkring udvikling i denne editor.

Editoren indeholder muligheden for at kode i en GUI-del eller i en tekst-del. I udviklerens Warcraft 3-editor var der flere muligheder i tekst-delen af editoren, og man afskar sig dermed fra en række muligheder ved at ikke at programmere i tekst-delen. Dette har de valgt at forbedre, således at Starcraft 2 har al funktionalitet tilgængelig via GUI’et.

Vi har valgt at bruge editorens GUI til at programmere i af flere grunde:
Det er langt nemmere at arbejde flere på et projekt i GUI-delen end hvis vi havde bruge tekst-delen. Tekst-delen består af en lang tekstfil, som bliver oversat. Opbygningen af denne
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

fil ser ret ligetil ud, men gemmer på et par “features”, som kan blive et problem, hvis der er flere der retter samtidigt.

Vi har også den fordel, at vi ikke kan komme til at lave syntaksfejl når vi bruger GUI-delen. Hvis vi brugte tekst-delen ville vil potentielt tage os længere tid at lære syntaksen og mulige funktioner, idet vi ikke ville have hjælpen som GUI’en har.
Der er også langt mere hjælp at få mht. hvordan triggers udføres i GUI’en end der er i tekstdelen, fordi editoren er så ny som den er. Der er ikke så mange der endnu har taget skridtet til at bruge tekstdelen og der er derfor ikke så stor viden om den præcise syntaks eller mulige problemer, der kan opstå. Der kommer stadig mere og mere viden, men på nuværende tidspunkt, vurderer vi ikke at der er nok tilgængeligt.

Hvis vi ser lidt fremadrettet på det, vil det være nemmere at finde folk, der vil hjælpe med viderudviklingen, hvis vi holder os til GUI-delen, som flere kender indgående. Mange udviklere af custom maps kender ikke meget til reel programmering og vil have svært ved at at kode på tekstformen. Dette giver ligeledes den fordel, at en implementation i GUI’et vil være nemmere for mange at lære fra, hvis andre i community’et fatter interesse i at udvikle relaterede projekter.

**Spilkoncept**

Vi har valgt at lave et multiplayerspil, hvor hver spiller styrer få enheder indirekte via få valg, såsom flytype, våben og aggressionsniveau for den enkelte enhed. Ved at fratage spilleren ansvaret for, at skulle detaljestyre hver enheds angreb og bevægelse, behøver spilleren ikke bruge så meget af sin opmærksomhed på små detaljer. Spilleren bør derfor i højere grad kunne fokusere på de strategiske beslutninger: At udruste hver enhed optimalt til at håndtere de udfordringer den stilles.

Spilleren står for at udvælge missioner, som skal udføres, og at udstyre hver enhed optimalt til den valgte mission. Missioner giver belønninger i forhold til deres sværhedsgrad. I takt med at spillerens enheder klarer missioner, indtjener spilleren penge til at udruste dem bedre og påtage sig sværere missioner. Udfordringen for spilleren er, at gøre fremskridt hurtigst muligt, ved at holde alle fly effektive samtidigt, og udruste samt instruere dem således, at de klarer deres missioner hurtigst muligt, og med mindst mulig risiko. Hvis en enhed dør, mister ejeren en del af sine penge til modstanderen, og der går lidt tid før spilleren får enheden igen. Denne tid består af en konstant værdi, plus en faktor af distancen hjem, for at det aldrig skal kunne betale sig at lade en enhed dø, for at få den hurtigere hjem.

**Beslægtede spilkoncepter**

Der findes mange subgenrer, som er udsprunget af RTS-genren, ved at ændre få nogle-elementer, der radikalt ændrede spiloplevelsen. Da vores spilkoncept har så mange ligheder med klassiske RTS-spil, illustreres den ændrede spiloplevelse måske tydeligere ud fra forskellighederne fra de spil, der også har tjent som inspirationskilder:

**DoTA AI m. fl.**

DoTA [4] (tidligere kendt som Defense of the Ancients) blev skabt i Warcraft 3-editoren. Det er en variant af grundspillet, hvor man udelukkende styrer en enkelt enhed, som man kan konfigurere langt grundigere end normalt, imens man spiller i to hold mod hinanden. Dette spil er gået i den modsatte groft, af vores spil: Det besidder det strategiske aspekt ved at konfigurere en enkelt helt, og har ellers 100% strategisk fokus, på dennes kampsituationer.

For blandt andet DotA, er der også udviklet AI-versioner, som er interessante, fordi computeren styrer visse med- eller modspillere. Disse imponerende AI’er har været en
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

inspiration for vores funktionalitet, men indgår i disse spil som træningsfunktioner, der ikke ændrer de udfordringer, som former spiloplevelsen.

**Nexus Wars, Income Wars m. fl.**

Varianter af disse minispil har eksisteret både i Warcraft 3- og Starcraft 2-communitiet. To hold af spillere producerer hundredevis af enheder, der hjerneløst vandrer mod modstanderens base og angriber alt på deres vej. Udfordringen i spillet er, at vælge de enhedstyper, der bedst dræber modstanderens valgte enheder.

Disse spil har, som vores koncept, et fokus på overordnede strategiske beslutninger, men de fratager spillere enhver taktisk indflydelse, idet de ikke reagerer intelligent eller med mere avancerede mål end “gå til fjendes base og skyd alt på min vej”. Spillerne gives ikke muligheden for at ændre den vej enhederne tager til fjendes base, eller at lade enhederne samles i en større gruppe før de angriber.

Hvor disse spil skaber strategiske udfordringer ved at fjerne taktisk indflydelse, er den taktiske indflydelse, i vores spil, forudsætningen for de strategiske beslutninger. Samspillet med AI’en er en præmis for spillet, og alle valg om hver enkelt enheds udrustning og aggressionsniveau, vil påvirke den taktik, som AI’en benytter på ens vegne, for at klare de (potentiel rel ativt komplekse) missioner, som enhederne sendes ud på. Spillerne får ingen mulighed for at detaljestyre enhederne i kamp, men den spiloplevelse, vi skaber, ville falde til jorden i det øjeblik, hvor spilleren ikke længere føler, at han har indflydelse på hvordan de styres.

**Majesty**


**Diner Dash**

Et klassisk time management spil, og skoleeksempel på en spiloplevelse af at maksimere profit over tid. I modætning til de andre nævnte subgenrer, er kravet om tidseffektivitet en essentielt faktor i vores koncept, da behovet for at sprede spillere om omfælten, til at kunne overskue flere enheder samtidig, kun opstår når der eksisterer et tidspres.

Diner Dash betragtes dog ikke som et RTS-spil, da udfordringer man skal klare effektivt på tid, består i at optimere en rute mellem kunderne og det inventar man ønsker at betjene på restauranten, frem for at bunde i en taktisk forståelse af kampsituationer og godt samspil med AI’en.
Spildesign og implementation

Projektet er tredelt i AI, Interface, og design af det grundspil som giver præmissen for at de kan fungere. Mange af vores valg omkring vores design af grundspillet, har været ansporet af det faktum, at vi ikke har haft så lang tid til projektet. Når valget har stået mellem flere forskellige løsninger har vi tit valgt det, der var hurtigst at implementere.

Spil skal helst være sjove og udfordrende at spille, så spilleren har lyst til at spille det igen. Et vigtigt element i vores spildesign er, at spillet har en lav indlæringskurve, og føles lige til at gå til for erfarne RTS-spillere. Vi har fået meget af dette forærende ved at vælge at udvikle i Starcraft 2, da spillet allerede har velkendte standarder som de fleste spillere vil genkende. Vi har derfor med vilje ikke ændret på udseendet af dialogbokse, og vi benytter os, så vidt det er muligt, af de etablerede stereotyper for GUI i Starcraft 2. Ved at så meget af vores GUI er standard og velkendt håber vi, at det opvejer for den noget usædvanlige styreform.

Styreformen er vores spils største forandring. Vi har valgt at spilleren kan vælge aggressionssniveau, og igennem dette valg styre kamphandlingernes udvalg. Det er muligt at vælge mellem 3 niveauer og derigennem få enhederne til at opføre sig efter ens hensigt.

“For at et spil skal være underholdende at spille, kræver det, at spilleren føler at have en indflydelse på spillets udfald, og at de rigtige valg på de rigtige tidspunkter vil føre til, at man vinder spillet.”[2] Det er dermed vigtigt, at spillere stadig får oplevelsen af at få indflydelse på kampen, med ganske få instruktioner.

Vores spil er designet uoverkommeligt for en spiller uden AI-assistance. Det er bevidst skaleret til, at man hele tiden har tilstrækkeligt mange strategiske beslutninger at træffe, til at holde en udfordret, hvilket vil sige at det nærmest er umuligt også at overskue de taktiske detaljer, uden AI’en til at håndtere dem for en.

Banedesign og terræn

Vi har overvejede flere forskellige typer baner, men valgte at gå efter en, med så få elementer som muligt. Meget tid kan gå med at lave banen flot og indsætte små grafiske elementer. Dette har vi sparet væk ved at vælge flyvende spiller-enheder, sætte temaet i rummet og holde banen helt enkel. Vores bane består mest af tomt rum som ikke har nogen indflydelse på enhederne. Ved ikke at have terræn, som skal håndteres, bliver det meget nemmere at skrive en fornuftig AI, foruden at vi sparer meget af produktionstiden.

Denne type spil kunne også foregå på en bane med land, floder og kløfter, men alle disse elementer vil have en direkte indflydelse på hvordan de enkelte enheder bedst kan placeres og hvordan de skal kæmpe. Det kunne være interessant at implementere en AI, der også kan göre spilkonceptet funktionelt for landenheder i varieret terræn, men det har vi valgt at fraprioritere for dette projekt, da det ikke er afgørende for at afprøve spilkonceptet, og det er en øget kompleksitet, som ville give et forholdsvis lavt udbytte af yderligere strategiske overvejelser for spilleren.
Enheder

Vi har valgt at lave 3 typer af enheder, som spilleren styrer: en bomber-, en fighter- og en recon-type. Der er ikke rene typer, forstået på den måde, at de ikke kun kan angribe hvad deres type ville indikere. En bomber kan for eksempel også skyde fjendtlige fly, men ikke lige så godt som fighteren kan. Det er derfor muligt at sende for eksempel en recon type på en fighter mission med en vis grad af succes. Dette har vi valgt, for at give spilleren mulighed for at bruge hans enheder kreativt og potentielt opnå succes med det. At spilleren føler at der er mange muligheder er kun positivt for gameplayet.


Inde for hver gren har vi lavet 5 fly. Et basisfly, 2 hurtige, manøvredygtige fly og 2 langsomme fly med mere liv og panser.

Vi kunne principielt have produceret dette spil langt nemmere, ved kun at forholde os til en enkelt flytype, og dermed låse vores AI fast på, at forholde sig til en bestemt grad af bl. a. manøvredygtighed. Vi har dog bevidst valgt at tilføje denne øgede kompleksitet, da det ikke
bare øger udfordringen ved at udvikle Al’en, men også giver udbytte i form af mange væsentlige strategiske beslutninger for spilleren. Det viser ydermere, at vores koncept er forholdsvis dynamisk og med rimelighed kan tilpasses et væld af forskellige enheder, frem for nogle med et enkelt sæt prædefinerede værdier.

Dette er et af en række punkter, hvor vi har vurderet det værd at øge kompleksiteten. Disse valg har uden den mindeste tvivl ført til en AI, der har flere svagheder og imperfektioner end det ellers havde været os muligt. Når vi alligevel har truffet dem, er det fordi spiloplevelsen afhænger af, at spilleren bliver præsenteret for hyppige beslutninger af væsentlig strategisk betydning, og slet og ret fordi vi har ønsket at udfordre os selv, og presse grænserne for hvad vi kunne få Al’en til at håndtere. Således har vi under vores design af grundspillet til tider tilføjet attributer til fly, våben eller fjender alene for at se om vi kunne finde en elegant måde, at overveje dette element i den generelle AI. Til tider viste det sig let overkommeligt, samt en inspiration til at udvikle Al’en i en retning, der var i stand til at rumme flere situationer, men andre gange måtte vi erkende, at der ikke var nogen hurtig og smuk måde at implementere det på, og som konsekvens skalere ned på effekten af visse sådanne specialtilfælde.

### Våben og panser

De 3 forskellige flytyper har hver især deres udvalg blandt 3 forskellige primær-våben, som er unike for flytypen, foruden et udvalg blandt 3 sekundære våben som er fælles for alle fly.

Ideen er inspireret af Starcraft 2-banen Catalyst, og Warcraft 3-banen Battleships. I disse styrer man en enkelt enhed, som man udruster med op til 6, potentielt ens, våben. Da vi arbejder med 3 fly samtidigt, har vi ønsket at reducere mængden af beslutninger, der skal træffes, samt øge betydningen af hver enkelt. Beslutningen om kun at have et primært og sekundært våben, har ydermere gjort at man kan ændre opsætningen på et fly med færre klik, og tilladt os at lave et mere overskueligt GUI. Man kunne godt vælge at skalere op til flere våben, men det essentielle for spilkonceptet er blot, at der er et udvalg af våben, med væsentlige kombinationsmulighed og betydning for hvilke situationer et fly kan håndtere effektivt.

Fjenderne i spillet har selvfølgelig også forskellige våben, så ud over valg af våben, kan man vælge den type panser, ens fly udrustes med. Der findes den generelt gode, der simpelthen giver flyet mere liv end de andre to muligheder. Der findes det tunge panser, der i stedet fokuserer på at reducere skaden fra hvert enkelt skud med en konstant mængde, og dermed er godt mod mange hurtige angreb. Til sidst er der også det lette panser, der simpelthen ikke er lige så stærkt i kamp som de to andre, men gør at flyet bevæger sig hurtigere, og dermed kan klare missionen på mindre tid, hvis det, trods handicappet, stadig er stærkt nok. Da spilkonceptet handler om, at holde mange bolde i luften samtidig og maksimere sin profit over tid, har vi i flere tilfælde bevidst tilføjet en sådan mulighed, for at vælge hastighed fremfor råstykke, når man mener, at ens enheder er opgaven overlegen.

Ligesom flyene, kan de tre kategorier, primær-/sekundær-våben og panser, opgraderes undervejs, i takt med at man tjener penge til det og påtager sig hårdere missioner. Da det er hensigten at man skal kunne tilpasse sin udrustning til hver enkelt mission, har vi valgt at en opgradering af eksempelvis primær-våben gør, at det pågældende fly får låst op for det nye
niveau af samtlige typer primær-våben. Trods tilpasningsmulighederne er det dog stadig en specialisering af flyet, i dette tilfælde, at fokusere på våben frem for eksempelvis panser, eller en opgradering af selve flyet.

Vi ønsker at ethvert valg af opgraderinger skal medføre en tydeligt mærkbar forskel på hvad flyet kan præstere. Derfor har vi undladt marginale opgraderinger, og i stedet valgt opgraderinger, der som udgangspunkt, giver en forøgelse i ydelse på godt 80% i forhold til foregående niveau. Man kan vælge at specialisere sig kraftigt i et enkelt ting, men da priserne, ligesom ydelsen, stiger eksponentielt, vil omkostningerne være tilsvarende høje.

Balancering

Balancering har været en udfordring, da det er en konstant proces, der, af nødvendighed, må køres halvt på instinkt. Det har aldrig været realistisk, at opnå perfekt balancering i prototypen, men vi har alligevel tilstræbt et niveau, der er solidt nok til at mange strategier er mulige og gode strategiske beslutninger bliver belønnet. Ligesom spilkonceptet er AI’en også afhængig af en forholdsvis solid balance, for at vi kan opnå nogenlunde konsekvente resultater, og dermed kan evaluere og videreudvikle vores AI-løsninger.

Blandt mange lærebøger om spildesign, har vi oplevet at det er de færreste der giver sig i kast med udfordringen om at balancere et spil, med for mange parametre til at det umiddelbart kan gøres analytisk. Den eneste gode kilde vi har fundet på området [5], konstaterer, at balance bedst opnås ved at etablerer en meget grov balance, og dernæst foretage ændringer ud fra erfaringer og observationer, når folk spiller det mod hinanden. For at opnå et tilstrækkeligt udgangspunkt at rette ind efter, anbefales det, at man vælger et sæt kerne-værdier at fokusere på først, og gradvist arbejder sig ud derfra mod de mere perifrære elementer. Vi har valgt at bruge spillerflyene, med deres udstyr, som dette udgangspunkt for balancen af resten af spillet:

Hastighed

Spillerflyenes hastighed er afgørende for spillets tempo, og vi har derfor været opmærksomme på, at balancere dem mod banens størrelse. Da banen havde taget form, eksperimenterede vi med hvordan forskellige værdier for hastighed ville påvirke den typiske ventetid, undervejs til og fra missioner. Denne ventetid er en afgørende faktor for hvor mange beslutninger vi kan forvente at spilleren træffer mellem missioner, så vi har valgt at
sætte spillerflyenes hastighed i centrum, finde værdier der giver et generelt spiltempo vi er tilfredse med, og bruge dette som den kerne, alle andre enheders hastighed balanceres ud fra.

Liv og skade
Liv og skade kan i langt højere grad baseres på arbitrære værdier. Vi har derfor fokuseret på et relativt forhold, spiller-flytypernes liv imellem, som vi synes er hensigtsmæssigt, og har valgt at lade værdierne starte i det 3-cifrede og gradvist eskalerne mod 4-cifrede. Dermed ligger værdierne både i et interval, der er let at overskue visuelt og med hovedregning, og de er stadig tilstrækkeligt høje til, at vi har mulighed for at foretage små justeringer i fremtiden, og dermed ikke risikerer en situation, hvor den mindste enhed vi kan manipulere, udgør flere procent af spillerens samlede livsværdi. At have så små enheder tillader os også i højere grad, at udsejle spilleren for varieret modstand - store truende våben, såvel som enorme mængder af små hurtige angreb. Bemærk her, at spillerens liv ikke er kerne for fjendernes liv, men fjendernes skade. Fjendernes liv kommer til at basere sig på spillerens våben, og er kun af samme størrelsesorden, fordi vi også har et ønske om, på sigt, at lade spillerfly kæmpe mod spillerfly.

Spillerens våben, kontra fjendernes liv, præsenterer i vores tilfælde en større udfordring, da vores kerne omfatter hele 12 våben, på 5 niveauer hver, og der ikke findes nogen analytisk formel for hvordan en ulempe i andre egenskaber, som eksempelvis rækkevidde, bør opvejes i skade. Vores løsning har her været at lave en indre kerne - et sæt af generelle skadesklasser, som vi derefter har passet flyenes forskellige våben ned i, baseret på vores subjektive vurdering af værdien af deres andre egenskaber. Dette har fungeret som et godt udgangspunkt, og i de tilfælde hvor et våben enten har været for godt, eller ikke har excellered i de situationer det var designet til, har vi kunnet rette det, ved at balancere på dets unikke egenskaber, fremfor at flytte det til en ny skadeskategori.

Iteration
Med kerner etableret inden for hvert område, har vi kunnet udvide til, først, de mest basale og så, gradvist, de mere avancerede fjender. Da vi har prioriteret agil udvikling, og hele tiden har sørget for at arbejde i en spilbar version, har vi så kunnet prøve disse indledende estimater i praksis, rette kerneværdierne, rette de grundlæggende fjender lidt til igen, og måske justere nogle af de mere avancerede. Det var ikke planlagt, men i praksis itererede vi den indledende balanceringsproces to gange yderligere, for at nå frem til en acceptabel balance, hvor de fleste ting præsterede godt i de situationer de var designet til at gøre det, uden at være generelt overlegne i alle situationer. Forfra og til solid multiplayerbalance er der stadig lang vej, men det er efter vores overbevisning lykkedes os, at lave en indledende spilbalance, der er tilstrækkelig konsistent og gennemarbejdet til, at vi forholdsvis nemt ville kunne rette ind for de tendenser til ubalance, der måtte vise sig i en bred multiplayer test, foruden at vi har været bevidste om muligheden for at tilføre fremtidig funktionalitet.

Abilities
Specielle evner er typiske for RTS-genren, og editoren giver os fine muligheder for at udvikle sådanne evner. De er dog, nærmest per definition, en serie af undtagelser. Vi har, som udgangspunkt, valgt at afgrænse fra dette og prioritere mere generaliserbar udrustning til
enhedene af hensyn til både AI-udnyttelse og udviklingstid, da abilities ikke er essentielle for at have et funktionelt grundspil.

**Missioner og mål**

Indledningsvist brainstrommede vi en række interessante missioner, man kunne lave inden for dette design, men til prototypen har vi begrænset os til det vi betragtede som de mest fundamentale missionstyper, og som karakteriserer hvert flys formål.

Hver gang en spiller gennemførte en mission registrere vi det og når spilleren har klaret nok missioner så stiger spillerens niveau. Nye missioner der genereres vil ligge omkring dette niveau, med størst mulighed for at få missioner på samme niveau, et over eller et under.

De to mest basale missionstyper består af en gruppe fjendtlige enheder, der skal dræbes, med overvægt af enten jord- eller luft-enheder, for henholdsvis bomber’ens og fighter’ens foretrukne missionstype.

Dernæst kommer rekognosceringsmissioner til recon-flytypen: Disse byder på ekstra mange fjender, i forhold til missionens niveau, og forholdet mellem jord- og luft-enheder kan variere langt mere. Målet er i første omgang bare at få øje på samtlige fjender i denne ekstra store gruppe, men når missionen er klaret, er der en høj sandsynlighed for, at man blive tilbudt en opfølgende mission til at udrydde dem. Dette kan være svært, da denne opfølgende mission ikke er genereret med henblik på at noget enkelt fly nødvendigvis skal kunne håndtere enheds-fordelingen overlegent, ligesom fighterens og bomberens typiske missioner, men til gengæld har man haft mulighed for at se nøjagtigt hvilke enheder, der befinner sig i gruppen.

Missionernes belønning skaleres efter hvilket niveau som missionen er og hvor langt væk den er. Det er altid muligt at droppe missioner uden at der koster spilleren noget. Der bliver genereret en ny mission hver 20 sekundt op til der er 5 missioner som ikke er blevet accepteret eller droppet. Hvis en mission er valgt kan den også droppes og enhederne fra den mission vil forsvinde. Dette giver mulighed for at droppe missioner som spiller syntes er for svære og tillader ham selv at vurdere hvad der er effektivt og overkommentlige lige nu.

I takt med at man tjener flere penge sammen, til at opgradere sine fly, tilbydes man også gradvist sværere missioner. På sigt er det dog hensigten at man skal samarbejde som hold, i dette spil, og besejre det fjendtlige hold for at vinde. Missions-progressionen kulminerer derfor i level 10 missioner, der er designet til at forblive en udfordring, selv for de højest opgraderede fly, medmindre man er flere om dem, eller perfekt udrustet og opgraderet. Hensigten er, at disse skal være en evigt udfordrende mulighed, med høj belønning, men at spillerens primære fokus, til den tid, alligevel vil være på at udsette det andet hold.

**Fjender**

Fjenderne i spillet er, som nævnt, balanceret ud fra spillernes skibe. Vi har derudover forsøgt at lave et væld af forskellige typer, med alle deres unikke styrker og egenskaber. Fælles for alle fjenderne, er at de er opdelt i racer, og tildelt en værdi. En mission får derved genereret sine fjender, ved at der vælges en race, derudfra udvælges fjender med en samlet styrke svarende til en fast-defineret værdi for missionens niveau.

Denne struktur giver stærkt varierende missioner, hvor det er let for os at tilføje nye fjender i fremtiden, og hvor spilleren kan foretage kvalificerede gæt, når han får oplyst missionens niveau, og den stærkeste tilstedeværende enhedstype. Det er på dette begrænsede oplysningsgrundlag at spillerne udvælger deres missioner, og udruster deres fly til den trussel de forventer.

Endgame
Sejrsbetingelser er en forudsætning for, at produktet er spilbart. På sigt vil vi gerne have, at spillet gradvist eskalerer mod et klimaks, der kulminerer i, at det ene hold vinder. Dette kunne eksempelvis ske i form af, at hvert hold er tilknyttet en konstant angribende hær, der vokser sig større og større i takt med spillernes succes i missioner, og til sidst overvælder og besejrer det andet hold.


Spillets titel
Da vi ikke har nogen historie i vores spil, og arbejder med en ny subgenre, har vi prioriteret en beskrivende titel, frem for en original og kunstnerisk.

Vi ville gerne have en titel hvor ordet “command” eller “commander” indgik, da det strategiske, koordinerende fokus er essensen af vores spilkoncept.


Interface
Vores interface har stor betydning for opfattelsen af vores AI, da et besværligt interface kan besværligøre brugerens forsøg på at få AI’en til at yde det optimale. Starcraft 2 har
Brugervenlig enheds-AI, til at minimere påkrævet opmærksomhed i RTS-spil

standardelementer til at opbygge et interface, og det er selvfølgelig vigtigt, at vi arbejder hen mod noget velkendt for brugerne. Dette vil mindske den overordnede mængde af nye ting, som spilleren skal overskue at sætte sig ind i. Vi har derfor baseret interfacet på kendte stereotyper fra Starcraft, fordi det er sådan vores målgruppe har lært at orientere sig og tilgå funktioner.

Vi har derfor ikke undersøge alternativer for interfacet, men prøvet i alt design at underbygge det med de erfaringer, spilleren allerede har med spillet.

Der er meget af interfacet, som vi gerne ville vi have lavet som et Command Card, men de tekniske begrænsninger på Command Card’et forhindre os i at gøre dette. I øjeblikket er det kun muligt at have 4 Command Cards pr. bygning eller enhed, men blizzard har lovet, at der kommer en patch inden for nogle måneder, der vil ændre på dette. I selve Starcraft 2 er Command Card’et der hvor næsten al interaktion foregår. Command Card’et består som det kan ses på billedet af knapper som enten aktiverer en evne, beordrer enheden til at udføre en handling, eller åbner en undermenu. Knapperne er samlet i et 5x3 gitter, men, som det også ses på billedet, så er det tit opdelt logisk efter hvad en gruppe af knapper gør. Command Card’et er ikke altid nok, og custom maps bruger derfor tit ekstra menuer og vinduer. De tekniske begrænsninger har derfor betydet, at vi har været nødt til at skabe mere interface selv.

Vi har prøvet at få vores interface til at ligne Command Cards så meget som muligt i opbygningen og i farve og font på tooltips. Vi har dog det problem, at genvejstaster ikke rigtig er mulige, da dette potentielt vil forstyre andre funktioner i spillet. Et godt eksempel på dette er vores dispatch menu, som mangler genvejstaster så man hurtigere kan sende fly ud på missioner. Så snart editoren bliver opdateret er det planen, at overflytte så mange af disse funktioner til Command Cards som muligt og dermed få genvejstaster på det hele.

Der er også flere fordele ved denne måde at gøre det på. Da alle opgraderinger har deres egen knap er det muligt at vise information om fremtidige opgraderingers styrke og svagheder. I mange custom maps har spilleren kun mulighed for at se information om næste niveau af opgraderinger, og man kan derfor ikke se om f.eks. et våben på et senere niveau vil blive meget stærkt eller ophøre med at være funktionelt. Med vores interface har spilleren altså alle muligheder for at kigge frem og planlægge hvad han vil sigte mod at opnå uden at behøve at bruge penge på opgraderinger der viser sig at være ubrugelige. Det er samtidig nemt at danne sig et overblik over hvad der samlet set er af opgraderinger i spillet, da der ikke er nogen der er skjulte. Dette giver den fordel, at forhåndskendskab til banen er mindre essentielt for at planlægge sin strategi.
Når en spiller udvælger den mission han vil gennemføre, så kan han se hvad den stærkeste fjende for henholdsvis luft og jord vil være. På billedet er vi ved at vælge en mission hvor der kun er flyvende fjender. For at informationen om stærkeste enhed hjælper spilleren, er han nødt til at have en ide om hvad de forskellige enheder kan, og dette kræver forhåndsviden til spillet. Et lille billed på enhederne der omtales og info når man holder musen over det ville afhjælpe meget af det problem. Det har dog ikke været en prioritet i prototypen.

Vi har samtidig gjort meget ud af at fremhæve med farver, hvad der er den vigtigste information. Det er gjort, for at nye spillere nemmere kan se hvad der er vigtig at lægge mærke til, og det gør det samtidigt nemmere for erfarende spillere af vores spil, hurtigt at kigge de rigtige steder.

For at give et støre overblik over spillerens 3 fly har vi lavet lifebars, som samtidig viser flyets status. Det gør det nemmere at have overblik over hvilken mission hver fly er på og om hvor den er nået til i den sammenhæng. Før vi implementerede life bars var det nemt ikke lige at være opmærksom på et fly og så miste det uden at have opdaget at det var i problemer. Det går nogle gange meget hurtigt hvis flyet er blevet udstyret forkert i forhold til den mission den er sendt til. Det var ikke til at se hvad det var der var udfordringen på missionen som havde dræbt enheden, fordi fog of war var sat ind
igen og man derfor ikke kunne se noget i området. Derfor ville spilleren ikke have tid til at få den nødvendige information så han kunne ændre sin opsætning til noget bedre. Nu er det Hurtigt at se når et fly hurtigt mister liv og man kan nå at skifte fokus til dette og enten nå at gøre noget ved problemet eller se hvorfor man dør. Dette hjælper spilleren meget til at overleve og tilrette sin strategi når ting ikke fungere.

**AI**

**Spillernes enheds-AI**

Dette er den primære AI-udfordring i projektet: En AI-implementation, der kan håndtere kampsituationer for samtlige missionstyper i spillet, samt eventuelle kampsituationer på rejsen til og fra disse mål.

Den bør generelt være så dynamisk som muligt, og bør så vidt muligt være i stand til både at rumme nuværende og kommende enheder, våben, fjender og missionstyper i sin logik. Vi har bevidst tilføjet visse særpræg til flere af disse elementer, for at se hvor godt de generelle kamp-algoritmer kan rumme sådanne variationer.

AI’en behøver ikke spille 100% optimalt - det er langt vigtigere at spilleren generelt føler, at den er pålidelig, og tør betro den med sine enheder. Med det sagt, kan man lige så godt gøre det godt, og udnytte en AI's styrker. Hvis spilleren konstant imponeres over AI’en, og oplever at han i dette spil, via AI’en, kan udnytte enheder på måder, som han ellers ikke er i stand til, er det bare en bonus for spillet.

Pålidelighed til trods, er det essentielt at spilleren har indflydelse på hvordan AI’en vælger at spille. Spilleren skal gerne føle, at AI’en er god til at udnytte de redskaber den udstyres med, samt at den reagerer på det aggressionsniveau man sætter. Denne feedback på spillerens beslutninger er endnu vigtigere end at AI’en spiller optimalt eller pålideligt, og AI’en må derfor gerne være mindre tidseffektiv, hvis den er sat til at spille særligt forsigtigt, eller risikere at dø (men potentielt spare tid ved de øgede risici), hvis den tillades at spille hazarderet eller udrustes dårligt til opgaven.

**Relaterede AI-projekter**

Default AI’en i Warcraft- og Starcraft-spillene er slet ikke på niveau med vores behov, og de gængse brugerudviklede AI’er fokuserer oftest mere på strategi end taktik. Der findes dog enkelte projekter som har implementeret løsninger i stil med vores behov.

Der findes flere projekter, der fokuserer på at kontrollere en enkelt enhed, som har et fast våben, og forholdsvis simple fjender, men som også har en række mere komplicerede abilities. Forud for projektet, havde vi kontakt med to udviklere, som var villige til at dele deres teknikker i dette, så vi havde et fundament at bygge ovenpå, og tilpasse vores formål. Efter projektstart ændrede den ene dog holdning til at dele sit arbejde, mens den anden viste sig at have overdrevet sine evner voldsomt. Vi fandt et andet projekt i samme kategori, med endnu en udvikler, der ikke ønskede at være åben omkring sine teknikker, så vi besluttede os istedet for at designe vores løsning fra bunden.

---

Side 17 af 49
Vi har efterfølgende set på ambitiøse åbne AI-projekter, og har fundet Behemoth AI[8], der er et forladt projekt, i alpha-stadiet, som ud over sit strategiske fokus, har en algoritme for hvordan en specifik enhed, med foruddefinerede og stærkt favorable værdier, kan udmønovere en gruppe bestående af en anden specifik enhedstype, med et sæt kendte værdier. Denne algoritme havde en række svagheder, og var slet ikke dynamisk og tidseffektiv nok til vores formål, men ideen bag den var en nyttig inspiration.

Blandt andre strategi-fokuserede AI-projekter, har vi fundet Berkeley Overmind[9]: Et projekt fra UC Berkeleys Computer Science Division, hvor et hold på 13 forskere bruger Starcraft 1 som miljø for at udvikle deres AI-tenikker. Selvom det primære fokus i dette projekt er strategisk, har de forsøgt at optimere samtlige elementer af AI’ens præstation, og de benytter sig af potential fields, til at tiltrække og frastøde hver enkelt enhed, i en stor sværm, i hver sin hensigtsmæssige retning, mens hver eneste enhed er bevidst om sin egen værdi i kontrast til de mål den udvælger sig. De har set sig teknologisk begrænset til kun at benytte en enkelt enheds-type, med faste værdier, og har så benyttet koncepter fra machine-learning til at finjustere deres bevægelsesmønstre mod hver eneste anden enhedstype i spillet, der hver især også har konstante værdier. De har fået den op på et niveau, hvor den, med visse fordele, kan besejre professionelle spillere[10], men den er primært interessant for os som perspektivering, for hvordan andre AI-tenikker ville kunne udnyttet. Vi har ikke samme resurser som dem, og deres teknikker er optimeret til at styre en sværm af enheder, med faste værdier. Vi har behov for at en enkelt enhed med varierende værdier, kan kæmpe mod et væld af fjender med varierende værdier, og mængden af mulige permuterninger i vores spil ville umiddelbart gøre tilsvarende metoder upraktiske.

**Valg af metode og parametre**


State-machines er, foruden at være den af teknikkerne vi har mest forhåndskendskab til, fremhævet i vores litteratur for at være simple at kode og debugge, intuitive at implementere, og lette at tilpasse særlige behov. Vi synes at det er nemmere at relaterer dem til den måde vi selv ville træffe beslutninger i spillet, og i de konkrete situationer benytte specielt tilpassede metoder, som eksempelvis en videreudvikling af den teknik Behemoth AI benyttede sig af.

Den vigtigste faktor har dog været at vi synes de, for vores vedkommende, egner sig bedre til agil udvikling. I modsætning til de andre teknikker, er vi fuldstændig overbeviste om at vi hurtigt kan bringe en state-machine løsning til et spillbart resultat, hvor vi umiddelbart kan vurdere resultatet af de løsninger vi implementerer, og gradvist bygge oven på dem.

Vi har valgt at implementere vores AI med et parameter, kaldet aggression, som spilleren frit kan sætte for hvert af sine fly. Hensigten med denne er at den skal påvirke AI’ens adfærd i en væsentlig grad, således at spilleren ikke føler at han opgiver kontrollen med sine enheder, men udelukker detaljerne omkring det, og blot vælger den overordnede taktik. Aggression definerer hvor mange risici vores AI er villig til at tage i sin beslutningsproces, i forsøget på at opnå mere effektive resultater. Vores AI skal selv i nogen grad være i stand til
at træffe beslutninger, men, hvis spillerens valg skal have nogen værdi, skal vi også tillade den at spille suboptimalt, og potentielt fejle, når dårlige beslutninger træffes fra spillerens side. Aggression, med dens nuværende balance, betyder at spilleren generelt skal observere når flyene når en kampsituation, og potentielt skal give dem en instruktion om at ændre deres taktik. Avancerede spillere vil til tider kunne presse ekstra marginaler ud af at ændre taktik 1-2 yderligere gange i løbet af en kampsituation, hvilket stadig burde give langt mere overskud, end at skulle detaljestreår hver eneste bevægelse for flyet.


Implementation og udvikling

Vi har valgt at implementere vores AI som en to-lags state-machine: Det yderste lag gør at den hele tiden er bevidst om sit overordnede mål. Dette kan eksempelvis være at den er landet og inaktiv mens den afventer ordre, at den bevæger sig mod en destination uden trusler i syne, at den er ved at undvige en trussel på vej til sin destination, eller at den er ved sin missions-destination, og har fjenderne i syne. For hver state, der involverer en trussel, analyserer den så sine omgivelser, og tager stilling til hvilken metode der bedst egner sig til denne situation. AI’en analyserer sit mål og sine omgivelser hvert halve sekund, og kan der vælge at gå over i andre states, hvis dens mål har ændret sig, eller den føler at en anden teknik, i situationen nu ville være fordelagtig.

Analyse af omgivelser og mål

Bevidstheden om sig selv og sine omgivelser er kernen i vores beslutningsproces. Hvert halve sekund, når spillerflyet analyserer sine omgivelser, vil det registrere alle fjender inden for et område baseret på dets synsvidde. For hver fjende, vil det måle hvor meget skade denne gør per skud, og tildle fjenden en trussels-værdi, baseret på hvor længe denne ville være om at dræbe spillerflyet, hvis kom inden for rækkevidde. Trusselsværdien vægtes med en række faktorer, baseret på om fjenden er overleg i hastighed, rækkevidde og andre værdier, der har betydning for om spilleren kan udmanøvrere den.

Spillerflyet udregner derefter tilsvarende, hvor lang tid det selv ville skulle bruge på at eliminere denne fjende, hvis det benytter henholdsvis begge våben samtidig, eller kun det længststrækende. Fjenden tildeles en mål-effektivitet, baseret på hvor meget ”trussel” den kan dræbe per sekund, vægtet i forhold til hvor tæt på fjenden aktuelt er. Spillerflyet opdaterer hele tiden sit mest effektive mål, for både udmanøvrering, og direkte angreb med begge våben.

Baseret på den satte aggression, våbnenes rækkevidde og forholdet mellem den totale “rå” trussel, og ‘trussel vægtet med manøvreringsfaktor’, vælger flyet så, i et traditionelt kampscenarie, om det er realistisk at udmanøvrere fjenderne. Bemærk at flyet, i AI’ens nuværende tilstand, ikke vil tage stilling til om det er effektivt, men blot om det er praktisk. Det er spilleres ansvar at skubbe enhedens beslutning i den ønskede retning - særligt for
våben med middel rækkevidde, hvor spillerens hensigt mod de aktuelle fjender ikke nødvendigvis er åbenlys.

**Bevægelse og kamptilstande**

Vi afgrænsede os til, i prototypen, at definere fire grundlæggende tilstande som AI’en skulle kunne håndtere: Udmanøvrering, direkte angreb, scouting og undvigelse af fjender på vej til og fra vores destination.

**Direkte angreb**, er den simpleste af disse, og samtidig en af de letteste at gøre effektiv, sammenlignet med spilleres præstationer. Normalt, når man uddeler en ordre til ens enhed, vil den bevæge sig inden for rækkevidde af sit længstrækkende våben og angribe, uden hensyn til at dens kortere-rækkevidde våben ikke bliver udnyttet. Vores AI er bevidst om sin korteste rækkevidde, så den vil konstant udvælge sit mest effektive mål, bevæge sig lige inden for rækkevidde af det, og angribe øjeblikkeligt derefter. I denne proces, har vi valgt at vægte distance ekstraordinært højt i effektivitetsberegningen, for at flyet, i endnu højere grad, skal prioritere de nære fjender først, og minimere rejsetid mellem målene.

**Udmanøvrering** udnytter at flyet, samtidig med trusselsberegningerne, beregner vinklen mellem hver fjenden og flyet, vægtet med denne fjendes trussel. Den vægte vinkelsum angiver den retning vi optimalt kan flygte i, men vi tilfører en lav konstant værdi til dette, for langsomt at cirkle rundt om missionen, og fjenderne, frem for at bevæge os evig længere væk. Vi har ikke bare lyst til at bevæge os væk fra fjenderne så hurtigt vi kan, men til at være nøjagtigt langt nok væk, til at vi stadig er inden for rækkevidde af vores udsete mål - og hvis vi kan se at målet er på vej mod os, tillægger vi dens hastighed i beregningerne. Vi har dermed en nuværende distance fra målet, en ideel distance, vi ønsker at være fra målet, og en retning vi vil bevæge os i. Med to distancer og en vinkel i denne trekant, kan vi benytte trigonometri til at udregne nøjagtigt hvor langt vi ønsker at bevæge flyet i denne retning.

Dette er kerne-processen ved udmanøvrering. Vi har dertil en lang række funktioner og særlige hensyn, der sørger for at flyet eksempelvis øger idealafstanden, når våbnet alligevel ikke er klar, vender sig om og skyder på de rette tidspunktner, ikke tager højde for landenheders hastighed, hvis de alligevel ikke kan bevæge sig nærmere flyet, og aldrig udvælger et udmanøvrerings-mål der har længere rækkevidde end flyet selv.

**Scouting**-missionerne stiller krav til at man udmanøvrerer fjenderne, og holder et skrøbeligt, men hurtigt, fly i live mens det får oje på alle fjenderne. Medmindre spillerne dedikerer deres fulde opmærksomhed, er de ikke i stand til at sende flyet midt ind blandt fjenderne, og håbe at de kan nå at få det ud igen i live. Det ville være simpelt at forsøge det samme, men dette er samtidig et punkt hvor vi, via AI’en har haft mulighed for at tilføre denne del af spillet lidt ynde og dybde.

Vores AI vil konstant vurdere hvor truede fjender der befinder sig mellem den selv og missionens centrum, og udnytte eventuelle svagheder til at flyve ind og opdage flere enheder. Så længe truslen er væsentlig, vurderet ud fra aggression, og hvor længe den har forsøgt sig uden en direkte tilgang, vil flyet forsøge at cirkle rundt om fjendegruppen, og få oje på flere fjender, samt eventuelle åbninger. Distancen fra midten afhænger af hvilken aggression der er sat, hvilket medfører at en for forsigtig indstilling i dette tilfælde kan
risikere at medføre en langsom død, i tilfælde hvor Aggressive-indstillingen faktisk kan klare missionen effektivt, i kraft af de forhøjede risici flyet tager.

Undvikelse af urelaterede fjender, undervejs til og fra missionerne, er baseret på udmanøvrerings-logikken. Forskellen her, er vi ikke har noget behov for at sænke vores hastighed, for at holde os inden for rækkevidde af fjenden, og at vi, afhængigt af aggression, godt kan tillade os at vægte retningen mod destinationen højt nok til at vi tager imod et par angreb på vejen. Frem for at benytte et vinkel-offset i en fast retning, vælger vi dog retningen for det, baseret på hvad der er tættere på vores destination.

Teknikker, dilemmaer og udfordringer undervejs
Løsningerne er primært beskrevet i generelle strategier. Hver af dem indeholder en lang række konstante parametre, som vi har været nødt til at definere på overskuelig vis, så vi har kunnet justere dem hele vejen gennem udviklingen af AI’en, for at få en hensigtsmæssig opførsel.

En af de udfordringer vi løb ind i, var at AI checker sine omgivelser hvert halve sekund, frem for hver eneste frame, som en spiller reelt ville gøre det. I et spil med dette tempo, kan et halvt sekund gøre en verden til forskel, hvis man pludselig ser, at man er på vej, direkte mod en truende fjende. Vi har derfor set os nødsaget til at implementere visse krykker og kompromier undervejs, for at kompensere for dette: Når et fly nærmer sig sit mission, vil den sænke sit tempo, afhængigt af sin aggression, så den i højere grad kan nå at reagere i tide på eventuelle trusler, der måtte vise sig. Dette er et af mange eksempler på en række konstante faktorer, der måtte justeres for ikke at virke kunstige og spilforstyrrende.

Ligeledes var det et problem, at AI’en ikke havde nogen hukommelse af fjenderne, så snart den nærmede sig deres synsfelt. Vi valgte derfor reelt at lade den analysere sine omgivelser i en radius der var højere end dens synsfelt. Dette var et dilemma, fordi det i princippet lader AI’en ”snyde”, men i sidste ende handler det om at skabe en AI’en der forekommer naturlig for spilleren, og denne ændring lod den reagere i bedre tid, når den nærmede sig fjender uden for synsfeltet, samt emulere den naturlige intuition, som en spiller ville have for fjenderne i området, når han først har fået et glimt af dem, og er klar over om de er efter ham, eller den generelle ide som en spiller har, om hvilke fjender der afventer ham på missionen, og hvor forsigtig han skal være ved at nærme sig dem. I sidste ende handler det om den spiloplevelse det medfører, og vi erkendte at denne ændring fik dem til at opføre sig mere naturligt, uden at mangedoble den påkrævede regnekraft.

Primitiv fjende-Al
Der viste sig at være to AI-udfordringer i udviklingen af dette spil. Foruden spiller-enhedernes avancerede AI, der aktivt skal kunne tage stilling til situationer og opnå sine mål på en tilnærmelsesvis optimal måde, er der også de relativt passive fjender, der primært bare skal holde sammen som gruppe, yde modstand når de er under angreb og vende om hvis de kommer for langt fra deres udgangspunkt, eller angrives fra en lokation de ikke kan nå.

Vi havde forventet at spillets default-Al ville være tilstrækkelig til denne opgave, men dette viste sig ikke at være tilfældet. Spillere har indlærte forventninger til hvordan en AI skal opføre sig (vores valgte fjende-Al er eksempelvis stereotyp for missioner i MMO-spil), og
default AI’en virkede “utroværdig” i forhold til dette, foruden at den ydede alt for lidt modstand.

Vi løste dette ved selv at implementere den relativt simple fjende-AI. Dette medførte den fordel, at fjendernes beslutningsproces blev fuldstændig gennemskuelig for os, så vi gennem udviklingen af den primære AI har været bevidst om samtlige konsekvenser ved de beslutninger der træffes, og har kunnet forhindre utilønsede resultater af AI’ens instruktioner.


Fjenderne afbryder deres angreb, hvis landenheder bliver angrebet, og de ikke kan bevæge sig tæt nok på, til at skyde tilbage. Hele grupper trækker sig så tilbage, i forsøget på at trække spillerflyet tættere på, så de alle kan angribe samlet. Den anden mulighed for at de afbryder kampen, er hvis de er kommet for langt væk fra deres missionsområde, ved at et spillerfly har angrebet og er løbet lidt væk. Vi tjekker relativt sjældent (hvert 30. sekund) om dette er tilfældet.

Udformning af brugertest

Mål
Ideelt vil vi gerne kunne vise, at vores AI aflaster spillerens opmærksomhedsbehov, så man kan overskue flere situationer samtidigt, end når man spiller uden AI.

Der er en række forudsætninger for dette:
- AI’en skal gerne kunne spille effektivt.
- Spillerne skal føle at AI’en styrer deres enheder pålideligt. Den subjektive spilleroplevelse er i dette tilfælde langt vigtigere end de objektive data.
- Interfacet skal ikke hæmme spilleren, i udnyttelsen af AI’en.

Vi ønsker at undersøge i hvor høj grad det er lykkedes os at opfylde disse forudsætninger.

Hvis dette er lykkedes os, er det dog ikke dermed ensbetydende med, at det også er lykkedes os at aflaste spillerens opmærksomhedsbehov. Vi har derfor opstillet en række hypoteser, for hvordan en sådan aflasting af spilleren bør udmønte sig i konkrete målbare
data og vi vil observere i hvor høj grad disse hypoteser stemmer overens med de resultater vores testbrugere leverer.

**Valg af testpersoner**


Vi vil gerne have testpersoner fra forskellige ligaer til vores tests. Til testscenarie 1 er det dog vigtigt, at vi har nogle fra de højeste ligaer, da vi kan være sikre på at man, på det niveau, kan finde ud af at styre sine enheder nogenlunde optimalt og er bevidst om de enkelte enheders styrker og svagheder. Vores testpersoner har alle tilknytning til DIKU og alle er i omtrent samme aldersgruppe. Vi har i vores undersøgelse kun et smalt segment repræsenteret, men de indgår alle i vores målgruppe, og bør derfor stadig være egnede til at indikere, om vores spilkoncept fungerer efter hensigten.

**Testscenarie 1: Måling af AI-effektivitet i konkrete kampscenarier**

I denne test forsøger vi at få objektive data på hvor godt vores AI er i stand til at hamle op med menneskelige spillere i konkrete kampscenarier. Vi udvælger en række scenarier, hvor vi sætter spillere til at konkurrere om hvem der, ved gentagne forsøg, kan levere den bedste præstation. Efter at samtlige spillere har leveret deres forsøg, sætter vi vores AI til at spille samme kampscenarier, både med og uden yderligere instruktioner fra spilleren, og sammenligner resultaterne med det bedste, som mennesker har været i stand til at præstere.

Intentionen her er ikke at vores AI skal være lige så god som spillerne, men hvis vores AI i de fleste situationer kan præstere inden for eksempelvis 80% af dokumenterbart dygtige spillere fra de højeste ligaer, som får unaturlige fordele i form af gentagne forsøg og forudkendskab til kampsituationen, kan vi sige noget om AI'ens generelle effektivitet og pålidelighed.

Kampscenarierne er skabt ved en normal gennemspilning af spillet, uden snyd, hvor vi bevidst har gjort en indsats for at bruge meget varierende udstyr undervejs, og har gentæt 10 scenarier umiddelbart efter at de relevante enheder var sendt på vej mod de ønskede missioner. På det tidspunkt hvor scenariet blev gemt, havde vi selv kun de samme begrænsede oplysninger om missionerne, som spilleren præsenteres for, og har på den baggrund valgt udrustning, som vi forventede ville vise sig velegnet til missionerne.

Under produktionen af kampscenarierne, har vi erstattet 2 af dem: Et fordi det blev gemt så sent, efter flyenes afsendelse, at spillere ikke havde haft nogen reaktionstid før det første fly nåede sin destination; et andet fordi kampen viste sig langt mere triviel end ventet, og kunne håndteres af både AI og mennesker, med teknikker som de andre scenarier allerede dækkede. Et af de 10 endelige kampscenarier er efterfølgende kasseret, grundet en bug der forhindrede både spillere og AI i at styre den ene enhed korrekt.
Testscenarie 2: Måling af spildtiden med og uden AI
Hypotesen her er, at en spiller uden AI vil være meget længere tid om at udrust e sine enheder mellem missioner, og generelt vil have sværere ved at holde alle sine enheder aktive samtidigt.

Vi måler her hvor mange sekunder hver spiller fly sammenlagt bruger, inaktive i deres landing zones. Hvis vores hypotese er korrekt, bør spillere uden AI have væsentligt højere inaktivitet.

Testscenarie 3: Måling af spiller-effektivitet med og uden AI
Hypotesen her er, at spillere med AI vil være mere effektive end spillere der ikke aflastes på samme måde, da de kan holde flere fly aktive, og dermed klare flere missioner hurtigere.

Vi måler spillere, over en række spil, mens deres færdigheder udvikler sig, og observerer om de tjener flere penge, når de spiller med AI.

Testscenarie 4: Observation af spillere med AI mod spillere uden AI
Af ren nysgerrighed, er det oplagt at observere om spillere med AI har tendens til at slå tilsvarende dygtige spillere uden AI. Vi forventer at dette generelt bliver tilfældet når begge parter får erfaring med AI'en, men det er ikke en tendens vi forventer bliver udpræget nok til at vi kan konkludere noget ud fra vores begrænsede testdata, da modspilleren også indgår som uforudsigelig faktor.

Spørgeskema
Vi har valgt at lave et spørgeskema af flere grunde. Vi vil danne os et billede af vores brugers erfaring, for at bestemme testpersonernes evner i grundspillet, samt om de har haft erfaring med at lære mange andre brugerskabte spil, kendt som custom maps, i tilsvarende engines.

Vi spørger også om spillerens oplevelse af interfacet, samt overordnet styring af enheder og AI'ens styring af enhederne. Spørgeskemaet er subjektivt og går ud på spillere oplevelse af spillets elementer. Spørgeskemaet er udfyldt efter at testspilleren har prøvet at spille både med og uden AI.

Igennem hele spørgeskemaet, har der været mulighed for ikke at ville svare på et konkret spørgsmål og vi har gjort vores bedste for at alle spørgsmål er så neutrale som muligt. Vi har også inddelt det i sektioner, der fokuserer på hver sin del, for at gøre det nemmere at forstå spørgsmålenes kontekst.

Erfaring og custom maps
Det har en stor betydning hvor mange custom maps man har spillet, i forhold til ens evne til at omstille sig fra en kendt verden til noget hvor flere dele har forandret sig. Det er nemmere jo mere forskelligt man har prøvet at sætte sig ind i de ideer et nyt spil er bygget på, så et
højt antal custom maps er til vores fordel, og repræsenterer netop de brugere der naturligt kunne finde på at prove vores spil, hvis det blev distribueret. Vi vil helst have testere, der har prøvet over 20 custom maps, men det er ikke et krav for at være med i testen. Vi vil også gerne vide hvor længe de har spillet Starcraft 2 og hvor meget de har spillet på det sidste. Dette er for at tække om de har den erfaring vi ønsker, så vi er sikre på at de er hjemme i starcraft 2. Det er vigtigt at testspillerne kan finde ud af at spille godt uden vores AI så vi har et reelt sammenligningsgrundlag.

Sværhedsgrad
Vi har valgt at spørge om dette fordi vi vil undersøge spillerernes indtryk af balancen i spillet. Hvis denne værdi er meget høj eller meget lav, så er spillet potentielt ikke balanceret godt nok, hvilket kan udgøre en fejlkilde for samtlige resultater. Det gør denne værdi til en af de meget vigtige, da den viser om vi har opnået et spil som vi rent faktisk kan teste på.

Missions- og Opgraderings-interface
Det er vigtigt for os at vide, hvis interfacet forhindre spillerne i at klare sig godt. Hvis spillerne kæmper med interfacet, vil det påvirke vores data betydeligt. Spillerne vil, hvis vores missions- og upgrade-interfaces ikke er gode nok, bruge unødvigt meget energi på de elementer af spillet, som vores AI bør hjælpe dem med at overskue.

Styring af enheder
Dette er den vigtigste værdi for vores interface. Hvis vores testere føler at det er meget besværligt at bruge interfacet til at styre enheder, kan det påvirke deres bedømmelse af AI’en, såvel som deres effektivitet med den. Jo mere de kæmper med interfacet, jo mere må vi gå ud fra de har haft problemer med at få AI’en til at udføre hvad de vil have den til. Hvis spillerne vurderer styringen lavt, men samtidig giver AI’en en god vurdering, er det ikke et kritisk problem. Mens at hvis testbrugerne svarer lavt, både på dette spørgsmål, og på AI’en generelt, kan vi ikke vide om det er interfacet som har hevet vores AI-resultat ned.

AI’ens styring af enheder.
Vi har i testsenario 1 tilstræbt at indsamle de objektive data om AI’ens effektivitet i forhold til spillerne. Vi vil gerne supplere disse data med spillerernes subjektive vurdering af vores AI. En spiller der sider med følelsen af, at hvis bare han kunne få lov til at slå AI’en fra, så skulle det hele nok gå, er det værst tænkelige vi kan komme ud for. Vores spilkoncept afhænger af at spillerne kan fatte tillid til AI-styringen, og dette spørgsmål vil vise hvor tæt eller langt vi er fra en fungerende AI til et sådan spil.

Fjender
Vi spørger ind til hvad spilleren synes om fjendernes måde at reagere på, for at få en fornemmelse af, om der er noget her, der kan påvirke deres oplevelse af spillet og vores AI. Hvis de ikke synes om måden vores fjender reagerer på, kan det have betydning for deres vurdering af spillet, både positivt og negativt. Hvis fjenderne reagerer på en måde, som spillerne synes er urealistisk og at de uden vores AI ikke føler, at de kan forudse hvad fjenden vil gøre, så kan de have svært ved at kæmpe mod dem. Vores AI kan være lavet, så
den tager højde for disse mulige særheder og får på den måde en fordel i forhold til en spiller uden AI. Det kan også være at spillerne føler, at fjenderne er for nemme uden AI, idet at de kan udnytte måden fjenderne reagere på til deres fordel, mens de med AI'en ikke føler de kan klare situationen.

Resultater og diskussion

Udvikling af testscenarier

Vi har testet vores produkt i flere iterationer. De indledende tests afslørede en række problemer med proceduren, yderligere tendenser der kunne observeres, bugs og muligheder for at forbedre spillet/AI'en. Vi har i to omgange foretaget en brugertest med to brugere, hvorefter vi har benyttet vores endelige format til at foretage tre sådanne brugertests. Vi valgt at bruge spørgeskemaresultaterne, de subjektive resultater, fra de to sidste iterationer af testen, da spørgeskemaet og interfacet allerede havde nået deres endelige form, og testbrugerne fra anden iteration bidrog med en del konstruktive kommentarer om deres oplevelse. For de målbare resultater, har vi kun medtaget seneste iteration, da den observerer flere faktorer, og det er væsentligt at de alle er fra samme version af spillet, hvor vi blandt andet har haft nátat at rette en række indledende problemer med AI'en.

Procedurer og ændringer

Vi har valgt konsekvent at teste brugere to ad gangen, i 1 mod 1 spil. Dette gør at de potentielt kan påvirke hinandens resultater lidt, men vi tror at motivationen, fra at have en aktiv modstander å konkurrere mod, er en væsentlig faktor i at presse testbrugerne til at præstere på et realistisk niveau, frem for hvis vi lod dem køre deres egen lille optimerings-trædemølle. Brugerne blev sat til at spille to spil, hvor de skiftedes til at have AI slået til, for at vi kunne sammenligne deres præstation med og uden.

Den første begrænsning vi måtte erkende, var simpelthen tid, og vores evne til at skaffe testpersoner. Vores første iteration forløb med særdeles uerfarne testbrugere, der gjorde ekstremt langsomme fremskridt i spillet, og i sidste ende ikke havde tid til at gennemføre testen. Vi valgte derfor at udvide sejrsbetingelsen med en tidsgrænse, hvorefter spilleren med flest ophobede ressource ville vinde, så vi kunne sætte en øvre tidsgrænse på hvor lang tid den tilmige folk at deltage i to testspil. Det var en ændring som gjorde det langt mere praktisk at indsamle testdata, men som også påvirkedes vores testbrugeres spillestil.

Ligeledes måtte vi erkende, at testbrugerne ikke kunne dedikere den tid, det ville kræve for dem at blive fuldt tilvænnet til vores bane. Dette er en stor svaghed i vores resultater, da vi tester en styreform, som folk har års erfaring med, mod en, som de er ved at lære undervejs, i det 35-minutters spil, hvorefter spilleren med flest ophobede ressource ville vinde, så vi kunne sætte en øvre tidsgrænse på hvor lang tid den tilmige folk at deltage i to testspil. Det var en ændring som gjorde det langt mere praktisk at indsamle testdata, men som også påvirkedes vores testbrugeres spillestil.
hjælp, da testbrugerne ikke i samme grad skulle anstrenges sig for at lære spillet samtidig, men deres spillestil og evner med Al’en, samt deres kendskab til konkrete våben og fjender, var under udvikling hele spillet igennem.

For testscenarie 2-4, som fulgte denne testform, har vi også undervejs udviklet vores hypotesser og metoder, i takt med de observationer vi gjorde os, i de indledende test-iterationer. Dette vil bliver uddybet, sammen med de enkelte testscenariers resultater.

**Testscenarie 1: Resultater for AI-effektivitet**

Dette er vores benchmark-test, hvor vi ønsker at sammenligne Al’ens evner med det bedste vores testspillere har været i stand til at præstere.

Testspillerne loader et spil, og skal, efter bedste evne, styre samtlige aktive fly gennem de missioner de er sendt på. Da vores spil primært handler om at optimere antallet af missioner klaret over tid, har vi valgt den sammenlagte missionstid som det primære bedømmelseskriterie. Vi måler derudover også hvor meget liv hver enhed havde tilbage, for at illustrere hvor sikkert missionerne blev klaret, og belyse eventuel overlegenhed på den front.

Det er ikke lykkedes os at gøre denne test til en bred konkurrence blandt mange spillere, og vi har i stedet nøjedes med få særligt kvalificerede testspillere:

Vi har haft en spiller fra den næst-højeste ordinære liga (Platinum League) til at kæmpe sig igennem samtlige kampscenarier, igen og igen, indtil han ikke følte at han kunne forbedre sine resultater yderligere. Derefter har vi selv gjort det samme, og sat endnu bedre rekorder, hvor vi har været i stand til det. Dette er det eneste tilfælde, hvor vi bruger os selv som testpersoner, da bias ikke er en faktor i en konkurrence om hvem der kan levere den hårdeste tid for vores AI at konkurrere imod. Bemærk dog, at vi ikke inkluderer vores egne fejltagelser i diskussionen om hvor meget besvær spillere havde med opgaver - vores tal bruges udelukkende i de tilfælde, hvor vi har været i stand til at sætte et bedre resultat.

Det lykkedes os at finde en ekstraordinært kvalificeret testperson til at presse grænsene yderligere. Han spiller i den nyligt oprettede Master’s League, som er en ekstraordinær liga for de bedste 2% af spillere. Denne elite-liga består af en række divisioner, hvoraf ingen er hævet over de andre. I sin division ligger han (per 23-01-2011) rangeret som nummer 18 ud af 100. Foruden at han dokumenterbart er en af de bedste Starcraft 2-spillere i verden, har han også erfaring fra over 50 andre brugerskabte spil i Warcraft 3 og Starcraft 2, og havde forud for vores benchmark-test foretaget to fulde gennemspilninger, med og uden AI, i forbindelse med en ordinær brugertest.

Da han, efter gentagne forsøg, var tilfreds med sine resultater, observerede vi optagelserne og benyttede vores erfaring som spillers skabere, samt fra at observere samtlige testbrugere der har prøvet spillet, til, i de tilfælde hvor det var os muligt, at optimere på hans teknikker og vinde yderligere margaler.

I hver testopstilling har vi så brugt det bedste resultat, som det, gennem den proces, er lykkedes en menneskelig testbruger at præstere, som sammenligningsgrundlag for vores AI.
Hensigten er, at dette giver en acceptabel tilnærmelse, for den ypperste grænse af menneskelig formåen, og at vores AI dermed kan siges at fungere forholdsvist effektivt, hvis den generelt placerer sig inden for 80% af denne effektivitet.

Først efter at al brugerafprøvning er afsluttet, har vi testet hvordan AI’en håndterer de samme situationer. Dette registreres både når den ikke ændres fra de balancerede default-værdier, og når en spiller må kontrollere den, ved at sætte aggression for flyene. AI’en har leveret ekstremt konsistente resultater, og har ikke fået mere end 3 forsøg, medmindre andet er nævnt.

Vores testopstillinger er navngivet svarende til vores testnoter, der er vedlagt som digitalt bilag. Bemærk at dette medfører at setup 2, 3 og 11 ikke eksisterer. Årsagen til dette er beskrevet i afsnittet om udformning af denne brugertest.

**Setup 1:**
Dette er et typisk startscenarie. De 3 fly bliver sendt af sted på den første, den bedste, mission af hver type, som spillet genererede for os.

Bomber: Har default-udstyret, som er egnet til at angribe ligepå og hårdt. Skal dræbe en gruppe standard start-fjender i en ret nem mission.


<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 1</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>56</td>
<td>61</td>
<td>52</td>
<td>0,62</td>
<td>0,81</td>
<td>0,31</td>
<td>0,58</td>
<td>169</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>56</td>
<td>76</td>
<td>52</td>
<td>0,60</td>
<td>0,66</td>
<td>0,49</td>
<td>0,58</td>
<td>184</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>56</td>
<td>62</td>
<td>52</td>
<td>0,63</td>
<td>0,54</td>
<td>0,49</td>
<td>0,55</td>
<td>170</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>1,000</td>
<td>0,984</td>
<td>1,000</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,953</td>
<td>0,994</td>
</tr>
</tbody>
</table>


Den kontrollerede AI bruges som udgangspunkt for alle effektivitetsligninger. Den balancerede er blot for at illustreere hvordan den vil klare sig, hvis spilleren slet ikke giver den nogen instruktioner.
I setup 1 har vi observeret, at det var svært for spillerne at holde deres Recon i live, hvis de på nogen måde skulle styre de andre to situationer samtidig. Den mest succesfulde løsning for dem, var, over gentagne forsøg, at finde et punkt hvor de kunne flyve direkte ind, få øje på alle fjender og slippe ud igen, frem for langsomt at skulle udmanøvrere dem.

AI’en var fuldt effektiv i det direkte angreb med bomberen, og klarede sig også imponerende hurtigt og sikkert på recon-missionen. Den balancerede AI brugte uødvendigt lang tid på at udmanøvrere fjenderne med fighteren, imens den kontrollerede AI klarede dem næsten lige så effektivt som mennesker.

Det, som AI’en ikke kunne hamle op med, var at mennesker kunne udmanøvrere fjenderne imellem sine skud, på en intelligent måde, der samtidig bragte dem tættere på deres destination. AI’en udmanøvrerede enten med fuld fokus på egen overlevelse, eller skød først, og bevægede sig så efter at alle fjender var døde.

Vores AI klarede sig for alle fly imponerende, med samlet effektivitet på 99,4% af den bedste spiller-præstation.

**Setup 4:**
Både fighter og bomber er her udstyret til at udmanøvrere deres fjender, og er stærkt udrustet til deres missioner. Bomberen er dog oppe imod både flyvende enheder og en fjende, som gør enorm skade, hvis man lader den komme i nærkamp. Recon er på en forholdsvis normal mission, der dog ligger bag en anden gruppe fjender, som den er nødt til at navigere sikkert uden om på vejen.

**Setup 4**

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>70</td>
<td>59</td>
<td>54</td>
<td>0,19</td>
<td>0,95</td>
<td>0,29</td>
<td>0,47</td>
<td>183</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>117</td>
<td>59</td>
<td>69</td>
<td>0,86</td>
<td>0,91</td>
<td>0,41</td>
<td>0,73</td>
<td>245</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>71</td>
<td>59</td>
<td>60</td>
<td>0,16</td>
<td>0,87</td>
<td>0,63</td>
<td>0,55</td>
<td>190</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>0,986</td>
<td>1,000</td>
<td>0,900</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>1,170</td>
<td>0,963</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Den balancerede AI taber meget tid på at spille ekstremt sikkert med bomberen, som kan ses på dens enorme livsværdi. De andre to "spillere" har helt bevidst valgt at ofre liv for at vinde tid, når de følte at den udmanøvrerede fjende var såret nok til at de kunne klare det. Recon klarer sin mission imponerende, men bruger meget lang tid på at komme uden om forhindringen på vejen.

Den kontrollerede AI klarer både fighterens og bomberens kampscenarier godt, selvom bomberen taber marginaler på ikke lige så effektivt, at kunne omstille sig fra udmanøvrering til direkte angreb. Recon klarer sin mission imponerende sikkert og forholdsvis effektivt, men bruger stadig for meget tid på at komme sikkert uden om fjenderne på vej til missionen.

AI’en klarer kampene imponerende, men er langsom til at komme uden om forhindringer på vejen til sin mission. Samlet effektivitet er 96,3%.
Setup 5:
I denne mission får spilleren lejlighed til at fokusere på en enkelt bomber, der med lynhurtige våben skal dræbe en stor mængde svage fjender hurtigst muligt. Dette kan være svært for en spiller, da flyet besidder to våben, hvoraf kun det længstrækkende kan matche fjendernes rækkevidde, således at man manuelt skal sørge for at flyet bevæger sig tæt nok på, til at begge våben kan benyttes samtidigt.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 5</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>46</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,42</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,42</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>50</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,45</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,45</td>
<td>50</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>48</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,41</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,41</td>
<td>48</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>0,958</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,972</td>
<td>0,958</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Dette er et interessant resultat, fordi vores aggressive AI er fænomenal til hele tiden at ændre sin position, så den lige nøjagtigt er inden for rækkevidde med begge sine våben. Selvom situationen umiddelbart favoriserer vores AI, og selv den balancerede AI leverer resultater på linje med hvad menneskene generelt præsterede, fandt vores mester-spiller en position, der tillod ham at ramme størstedelen af fjendere fra start af, og derefter eliminere de resterende udelukkende med hans primærvåben, frem for at bruge tid på yderligere bevægelse. Dette overgik vores AI, der hele tiden antog, at det ville være optimalt at bevæge sig marginalt for at kunne udnytte begge sine våben.

Vores AI viste sig mindre dynamisk end spillerne, men opnåede 95,8% effektivitet.

Setup 6:

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 6</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>51</td>
<td>50</td>
<td>39</td>
<td>0,67</td>
<td>0,21</td>
<td>0,25</td>
<td>0,38</td>
<td>140</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>55</td>
<td>54</td>
<td>Dead</td>
<td>0,59</td>
<td>0,47</td>
<td>0,00</td>
<td>0,35</td>
<td>Failed</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>51</td>
<td>49</td>
<td>44</td>
<td>0,65</td>
<td>0,13</td>
<td>0,14</td>
<td>0,31</td>
<td>144</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>1,000</td>
<td>1,020</td>
<td>0,886</td>
<td>0,818</td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,972</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

I denne test havde bomberen en let opgave, men både fighter og recon stillede så store krav, at spillerne ikke havde tid til at optimere på dens præstation. Vores Platinum-spiller måtte bruge 6 forsøg på overhovedet at holde sine fly i live gennem missionerne, og kun ved at benytte sit forhåndskendskab til at finde et punkt hvor recon kunne komme ind, se fjenderne og lige nøjagtigt slippe ud i live, fik spillerne overskud til at forbedre deres bomber- og fighter-præstationer nok til, at de var konkurrencedygtige med AI'en.
Den balancerede AI slap ikke hurtigt nok væk fra sin recon-mission efter at have klaret den. Selv med aggression-kontrol kunne AI'ens recon ikke hamle op med menneskenes ind-ud manøvre, men dens fighter manøvrerede så effektivt, at den fra første forsøg satte en bedre tid end nogen spiller havde leveret.

Vores AI opnåede her samlet 97,2% effektivitet, og slog alle spellertider med fighteren.

**Setup 7:**
Bomberen er i dette tilfælde udrustet til langtrækkende angreb, mod en fjende, der er en enorm trussel på tæt hold, og et par fly, som den kun kan skade med dens svage sekundære våben. Fighteren er udrustet til at udmanøvrere en stærk flyvende fjende, men missionen viser sig at indeholde hele to tårne, som den er meget dårligt udrustet til at håndtere, da dens primære våben kun angriber flyvende enheder. Recon har nu stærkere panser og længere synsvidde, på bekostning af hastighed, og er på en mission med både et ekstremt langtrækkende fly, og en super stærk landfjende, der også har middel rækkevidde.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 7</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>64</td>
<td>72</td>
<td>32</td>
<td>0,54</td>
<td>0,20</td>
<td>0,47</td>
<td>0,40</td>
<td>168</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>79</td>
<td>Dead</td>
<td>52</td>
<td>0,86</td>
<td>0,00</td>
<td>0,78</td>
<td>0,55</td>
<td>Failed</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>61</td>
<td>72</td>
<td>30</td>
<td>0,41</td>
<td>0,01</td>
<td>0,88</td>
<td>0,43</td>
<td>163</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>1,049</td>
<td>1,000</td>
<td>1,067</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>1,073</td>
<td>1,031</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Det lykkedes i et tilfælde vores mester-spiller, at levere en fighter-tid, der var et sekund hurtigere end AI’ens, men dette var på bekostning af en samlet tid, der var over 10 sekunder langsommere. I begge de to andre tilfælde, lykkedes det overraskende AI’en at overgå samtlige spillertider med flere sekunder.

Bomberen viser sig at være lidt dårligere end spillerne til at udmanøvrere landfjender, men til gengæld at være særdeles effektiv til at være aggressiv med to langtrækkende våben, da fjenden var såret nok.


Som spiller, krævede det alle tricks i bogen at få AI’en til at overleve denne mission: Vi satte den først til careful, så den nærmeste sig missionen langsomt, og ikke kom til at flyve for langt ind. Så snart de mobile fjender kom imod os skiftede vi til balanced, for at udmanøvrere og dræbe dem mere tidseffektivt, og skiftede dernæst til aggressive for at dræbe tårnene hurtigst muligt. Selv der, var missionen på grænsen af hvad vi kunne præstere, selvom tiden var glimrende.

Vores AI viser sig langt mindre dynamisk mod overvældende modstand, men overgår spillerne, med hele 103,1% effektivitet, foruden at 2 ud af 3 fly slår spellernes rekorder.
**Setup 8:**

Vores bomber skal her besejre en lille gruppe stærke, regenererende fjender, og er udrustet med bomber, der gør skade i en stor radius, men kræver at man hele tiden holder sig lige over de fjender man angriber. Fighteren er udrustet til at udmanøvrere en gruppe af normale fjender, men skal også besejre et meget stærkt, immobilt skib, med længere rækkevidde end den selv. Vores Recon er igen udrustet til synsvide frems for hastighed, er nu oppe mod en gruppe særdeles langtrækkende landtropper, og skal nå sikkert uden om en anden mission på vejen.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 8</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>89</td>
<td>123</td>
<td>60</td>
<td>0,71</td>
<td>0,18</td>
<td>0,20</td>
<td>0,36</td>
<td>272</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>Dead</td>
<td>134</td>
<td>88</td>
<td>0,00</td>
<td>0,44</td>
<td>0,71</td>
<td>0,38</td>
<td>Failed</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>86</td>
<td>124</td>
<td>71</td>
<td>0,75</td>
<td>0,23</td>
<td>0,72</td>
<td>0,57</td>
<td>281</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>1,035</td>
<td>0,992</td>
<td>0,845</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>1,571</td>
<td>0,968</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Dette scenarie er især interessant fordi bomberen benytter et våben der kræver konstant tæt distance, hvilket AI’en er ideel til, men som gør enorm skade til alle fjender omkring sit mål, hvilket AI’en slet ikke er bevidst om når den vælger hvem den angriber. Mens spillerne gjorde en indsats for at tvinge fjenderne til at samle sig, så de hurtigt kunne dræbe dem med mangedobbelt skade, var AI’en ligeglad og præsterede at pløje lige igennem dem, væsentligt hurtigere end nogen spiller var i stand til.

Fighteren var næsten lige så hurtig som spillerne, men mistede igen marginaler på, at spillerne er i stand til intelligent at udmanøvrere i retning af deres næste mål. Recon klarer selve missionen med rimelig effektivitet, men illustrerer igen, at vores AI er meget ineffektiv til at komme uden om andre fjender på vejen.

Vores AI taber meget tid på at omgå forhindringer, og ender på 96,8% effektivitet, på trods af at bomberen markant overgår spillernes præstationer.

**Setup 9:**


<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 9</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>121</td>
<td>82</td>
<td></td>
<td>0,32</td>
<td>0,36</td>
<td></td>
<td>0,34</td>
<td>203</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>110</td>
<td>78</td>
<td></td>
<td>0,38</td>
<td>0,90</td>
<td></td>
<td>0,64</td>
<td>188</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>110</td>
<td>70</td>
<td></td>
<td>0,39</td>
<td>0,20</td>
<td></td>
<td>0,29</td>
<td>180</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>1,100</td>
<td>1,171</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>0,863</td>
<td>1,128</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Resultaterne her er overvældende. Spillerne kan forholdsvist nemt klare hver mission, hver for sig, men når de forsøger dem samtidigt, der de i alle tilfælde hvor de ikke går væsentligt på kompromis med mindst et fly. Spillerne kunne næsten matche Al’ens præstationer, når de fokuserede på flyene enkeltvis, men ingen spiller var i stand til at kontrollere begge situationer samtidig, uden at være, selv den balancerede AI, underlegen.

Dette er det første virkelig markante resultat. Spilleren har to fly, der hver især er fænomenalt konfigureret til sin mission. På trods af, at de to fly ankommer 15 sekunder forskudt, og det 3. fly slet ikke er aktivt, er Al’ens effektivitet 12,8% højere.

Setup 10:
I denne opstilling ankommer de tre fly lidt forskudt. Bomberen er udrustet til at udmanøvrere, og er oppe imod en stærk gruppe af landenheder, samt enkelte luftenheder, som kun dens sekundære våben kan true. Fighteren er i nærkamp med en horde af svage fjender, og har et våben der rammer op til 6 yderligere mål ved siden af det primære. Recon er udrustet til lang synsvidde, men blandt dens fjender, er en, som er langt hurtigere end noget spiller-styret skib og gør enorm skade.

Resultaterne blev muligvis påvirket af at spillerne havde lidt kort tid til at reagere og uddele ordrer, efter at de loadede denne testopstilling.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 10</th>
<th>BT</th>
<th>FT</th>
<th>RT</th>
<th>Best player</th>
<th>BHealth%</th>
<th>FHealth%</th>
<th>RHealth%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>143</td>
<td>Dead</td>
<td>Dead</td>
<td>0,61</td>
<td>0,00</td>
<td>0,00</td>
<td>0,47</td>
<td>0,17</td>
<td>0,20</td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>128</td>
<td>43</td>
<td>71</td>
<td>0,19</td>
<td>0,47</td>
<td>0,91</td>
<td>0,17</td>
<td>0,20</td>
<td>242</td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>0,922</td>
<td>1,093</td>
<td>0,930</td>
<td>0,18</td>
<td>0,57</td>
<td>0,61</td>
<td>0,17</td>
<td>0,20</td>
<td>2,634</td>
</tr>
<tr>
<td>Overall Time</td>
<td>0,955</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

Fighteren viser sig overraskende at være markant bedre end hvad spillerne præsterede, i en situation hvor bomberen ikke engang er nået frem endnu. Bomberen afslører til gengæld en svaghed i Al’en: Landtropperne er så stor en trussel, at bomberen er nødt til at udmanøvrere dem, men i sit udmanøvrerings-state, bruger den evigheder på at udmanøvrere og dræbe de forholdsvis svage luftenheder, der assisterer dem, og kun kan skades med dens sekundære våben. Spillerne vælger derimod at ignorere dem totalt, indtil de er færdige med at dræbe landtropperne, hvorefter de dræber dem, uden insats, for at undgå dem undervejs.

Recon klarer faktisk sin mission imponerende effektivt, men er bag nogle af fjenderne når det sker. Selv om den har rigeligt liv, forsøger den alligevel at undgå hver eneste fjende, på vej tilbage til sin landing zone.

Både bomber og recon udsættes for svaghed i Al’en. På trods af at fighteren klarede sig markant bedre end spillerne, er den samlede effektivitet nede på 95,5%.

Setup 12:
I denne opstilling styrer spilleren kun en enkelt fighter. Den mest truende fjende er super hurtig og skadende, men accelererer langsomt, så spilleren er udrustet til at kunne udmanøvrere den effektivt, i mange små ryk, når den kommer inden for rækkevidde.
Vi har dog været uheldige i dette tilfælde. Man får i missions-beskrivelsen kun afsløret den stærkste fjendetype, og denne mission indeholder foruden denne super-stærke fjende, og en horde af de typiske svage fjender, også en anden fjendetype som flyet på ingen måde er udrustet til at håndtere. Dette immobile skib, har enorm rækkevidde, så det nemt rammer en, mens man er beskæftiget med de andre skibe, og man er nødt til at udslette det i et direkte angreb, der vil kræve ca. 50% af fighterens samlede liv, hvis alle andre fjender allerede er døde.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Setup 12</th>
<th>B time</th>
<th>F time</th>
<th>R time</th>
<th>B Health%</th>
<th>F Health%</th>
<th>R Health%</th>
<th>Health AVG</th>
<th>Overall Time</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Best player</td>
<td>141</td>
<td>0,13</td>
<td>141</td>
<td>0,13</td>
<td>141</td>
<td>Failed</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Balanced</td>
<td>Dead</td>
<td>0,00</td>
<td>0,00</td>
<td>Failed</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Controlled</td>
<td>Dead</td>
<td>0,00</td>
<td>0,00</td>
<td>Failed</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>AI - Directed</td>
<td>149</td>
<td>0,27</td>
<td>0,27</td>
<td>149</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>AI Efficiency</td>
<td>0,946</td>
<td>0,946</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

Denne mission var brutal. Foruden uheldet med fjendetyperne, var de spawnet på lokationer, der gjorde, at ikke en eneste spiller overlevede kampen, uden først at cirkle om på den anden side af missionen, og angribe den mest truen fjende først, så den ikke fik tid til at accelerere på vej mod en.

Dette var det eneste tilfælde hvor vores AI måtte se sig slået, da den aldrig endte med nok liv til at besejre den stationære fjende. Vi måtte dog samtidig erkende, at selv vores mesterspiller døde, da han, uden forhåndskendskab til situationen, angreb fra den oplagte vinkel. Vi lavede derfor endnu et sæt data, hvor vi har lavet samme indledende manøvre, med at cirkle om på den anden side af fjenderne, før vi har slået AI’en til igen, og ladet den kæmpe.

Resultatet var, at den faktisk var i stand til at håndtere situationen glimrende, når den fik samme fordel som spillerne. Den slog de fleste spillerforsøg, når den først udmanøvrerede en stor del af fjenderne, dernæst angreb en lille mængde af de svageste lige, frem for at komme længere væk, og dernæst vendte hele vejen tilbage og dræbte den immobile fjende. Vores mesterspiller præsterede dog at finde potentielle de havde overset, ved, når han dræbte de sidste fjender, ikke bare at angribe dem direkte, men at bevæge sig længere tilbage mellem hvert skud, så han effektivt sparede mange sekunder.

Vi må for første gang erkende vores AI ude af stand til at klare en mission, selv med hensigtsmæssig styring fra spilleren. Hvis man tilføjede en feature til at vælge hvilken retning den skulle angribe fra, ville den nuværende kamp-Al dog være i stand til at opnå en effektivitet på 94,6%.

**Konklusion på AI-benchmarks:**

Vi forsøgte at sætte en urealistisk høj spiller-standard at benchmarke vores AI imod, men endte, til vores overraskelse, med at overgå den i flere tilfælde.

Vores tests afslørede en række svagheder i AI’en, som der er potentielle for at forbedre, men, med hensigtsmæssige instruktioner fra spillerens side, kom vores AI aldrig under 94,6% af spillernes effektivitet, eller 84,5% for enkelte flys præstationer. Der er dog i vores
målinger tilladt en undtagelse i setup 12, hvor Al’en fik lov til at angribe fra en anden retning, da alle spillere ligeledes var afhængige af at gøre det samme for at overleve, og dette valg er en feature som realistisk ville kunne implementeres i fremtiden.

Vores mål med AI’en var, at man med få overordnede instruktioner om AI’ens strategi, kunne nå op over 80% af en spillers effektivitet, når han bruger sin fulde opmærksomhed på kampsituationerne, og dermed opgive muligheden for samtidig at forberede sine fly på det næste sæt missioner. Resultaterne overgik langt vores forventninger, med adskillige præstationer, der overgik de menneskelige resultater, og en gennemsnitlig effektivitet på 99,1% set over 9 testopstillinger, der tilstræbte at inkludere alle de situationer, som potentielt ville vise sig problematiske for AI’en.

Dette viser at vores AI i høj grad er effektiv, og dermed at den opfylder den af forudsætningerne for at være i stand til at aflaste spilleren. Dog skal det også siges, at vi testede typiske gameplay-situationer, hvor man sender en hensigtsmæssig enhed til den pågældende mission. Vores tests viste samtidig, at mennesker udviste større overlevelsesevne, når modstanden blev markant overlegen, og en kreativ løsning var påkrævet.

Testscenarie 2: Resultater for spildtid med og uden AI

Hensigten med dette testscenarie, var oprindeligt at måle i hvor høj grad spillere var i stand til at holde alle deres fly aktive, ved at se hvor lang tid deres fly sammenlagt brugte, inaktive, i landingszonerne, henholdsvis med og uden AI slået til.

Dette burde i teorien have givet gode data, men fejlede spektakulært i praksis. Landingszonerne er de områder hvor fly vender tilbage efter hver mission, og venter, imens spilleren udruster dem og udvælger nye missioner til dem. Hvor Al’en automatisk gør at al inaktivitet foregår i landingszonerne, skete det dog ofte at en stresset spiller uden AI kom til at sende dem til et punkt lige uden for deres landingszone, til en forkert landingszone, eller bare til et område vi på ingen måde havde forudset.

For at vi kunne få brugbare data i de efterfølgende test-iterationer, ændrede vi derfor vores dataopsamling, til istedet at måle hvor mange sekunder, igennem spillet, hvert fly tilbragte uden at have nogen ordre.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Inaktivitet</th>
<th>Uden AI</th>
<th>Med AI</th>
<th>Al/Uden AI</th>
<th>Al</th>
<th>Første til andet spil</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Spiller 1</td>
<td>3426</td>
<td>4004</td>
<td>1,17</td>
<td>Først</td>
<td>0,86</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 2</td>
<td>4857</td>
<td>3720</td>
<td>0,77</td>
<td>Sidst</td>
<td>0,77</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 3</td>
<td>3589</td>
<td>3436</td>
<td>0,96</td>
<td>Først</td>
<td>1,04</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 4</td>
<td>3721</td>
<td>1706</td>
<td>0,46</td>
<td>Sidst</td>
<td>0,46</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 5</td>
<td>3080</td>
<td>3608</td>
<td>1,17</td>
<td>Først</td>
<td>0,85</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 6</td>
<td>3237</td>
<td>3325</td>
<td>1,03</td>
<td>Sidst</td>
<td>1,03</td>
</tr>
<tr>
<td>Total</td>
<td>21910</td>
<td>19799</td>
<td>0,904</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Gennemsnit</td>
<td>3652</td>
<td>3300</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
Disse data viser at vores testbrugere i gennemsnit oplevede 9,6% mindre inaktivitet med AI’en slået til, hvilket er en langt svagere tendens end vi havde forventet. Dette kan muligvis forklares ved, at både spilere med og uden AI i deres første spil havde behov for at bruge lang tid på at orientere sig om de forskellige muligheder for udrustning, samt at AI-brugerne var nysgerrige, og i starten brugte en del opmærksomhed på at se hvor godt vores AI præsterede.

Under brugertesten, observerede vi to tendenser, der så ud til at udligne hinanden i noget omfang: Brugere med AI havde mere overskud til at orientere sig om de strategiske beslutninger, men dette betød at de brugere der havde startet med AI’en på, havde nået at danne sig et bedre overblik over spillet før de spilte uden AI.

Vores tal viser, at to af spiltesterne oplevede 17% forbedring uden AI’en, men at begge disse havde spillet med AI i deres første spil. Den gennemsnitlige forbedring fra første til andet spil, var på 17,6%, imens at brugerne der havde orienteret sig med AI’en på i første spil, og derefter måtte klare sig uden, havde en gennemsnitlig forbedring på 8,2%. For folk der havde haft det første spil til at orientere sig, og derefter fik assistance af AI’en, var denne gennemsnitlige forbedring i stedet på hele 24,9%.

Disse resultater er stadig ikke så dramatiske, som vi have forventet, men vi observerede samtidig en anden tendens: Spillerne med AI sendte i højere grad deres fly på mange forskellige situationer samtidig, imens spillerne uden AI var mere tilbøjelige til at gruppere deres fly, så de kunne udnytte alle 3, uden at skulle overskue lige så mange situationer. Grupperingerne havde yderligere den fordel, at flyene kunne kompensere for hinandens svagheder, så de ikke, i samme grad, behøvede at udrustes specifikt til den mission de blev sendt på.

Vi så nærmere på optagelserne af vores brugertests, og optalte grupperinger, defineret som enhver situation hvor mere end et af spillerens fly er fremme ved samme mission samtidig, og forsøger at klare den. Vi har ikke medregnet de situationer, hvor det ene fly bare forsøgte at komme udenom, på vej til sin egen destination, og heller ikke de situationer, hvor endnu et fly blev sendt af sted, men aldrig nåede frem, før missionen blev klaret.

| Grupperinger | Uden AI | Med AI | AI/Uden AI |
|--------------|---------|=======|------------|
| Spiller 1    | 2       | 7     | 3,50       |
| Spiller 2    | 7       | 8     | 1,14       |
| Spiller 3    | 22      | 8     | 0,36       |
| Spiller 4    | 18      | 23    | 1,28       |
| Spiller 5    | 16      | 2     | 0,13       |
| Spiller 6    | 31      | 11    | 0,35       |
| Total        | 96      | 59    | 0,615      |
| Gennemsnit   | 16      | 9,83  |

Vi så her, at spillerne med AI samlet set har grupperet deres enheder 38,5% mindre end når de har spillet uden. Set i kontekst med at spillerne allerede havde mindre inaktivitet med AI’en, og at hver gruppering repræsenterer en situation, hvor man aktiveter to fly, med samme indsats som et, foruden at kravene og spillerindsatsen for at udruste flyene var
mindre i disse tilfælde, tegner der sig en meget tydelig tendens af at spillerne med AI, simpelthen har været i stand til at engagere sig i flere situationer samtidig.

Vi har ikke tilstræbt at vise dette med statistisk signifikans. Hvis man skulle drage endelige konklusioner, ville det kræve mere testdata, og brugere der er erfarne nok til at de føler sig hjemme i spillet, og begge styringsformer.

**Testscenarie 3: Resultater for spiller-effektivitet med og uden AI**

Målet i dette scenarie er at observere om spillerne opnår højere effektivitet med AI’en slået til. Den oprindelige hypotese var at AI’en ville tillade spilleren at have flere fly aktive en større del af tiden, og dermed opnå større indtægt.

I vores to første test-iterationer bemærkede vi dog en tendens til at færre af spillerens fly døde, med AI’en slået til, så vi har valgt at udvide målingen til også at se om spillerl uden AI mister flere fly, samt hvor mange af disse mistede fly, der, målbart, døde som konsekvens af manglende opmærksomhed fra spillerens side. Vi har observeret en række tilfælde hvor en spiller har været uopmærksom, og reagerer for sent på det til at redde en enhed. Vi har dog valgt at sætte disse tal konserveret, og kun måle de tilfælde hvor han stod ikke reagerer overhovedet. Tabene ”uden opmærksomhed” omfatter kun de fly, som spilleren ikke har givet nogen som helst form for instruktion, i de 5 sekunder, der ledte op til at de døde. Det er kun tab uden AI vi måler på, da AI fly altid er en ordre.

Dataene for tab, med og uden AI, viste kun en beskeden forskel. Vi observerede til gengæld et problem med de sejrsbetingelser vi havde indført i prototypen: Tidsgrænsen gjorde at det ikke kunne betale sig at opgradere til det sidste, meget dyre, niveau af opgraderinger, og at spillerne efter bedste evne forsøgte at klare sig uden, på de niveau 9-10 missioner som var designet til at være særdeles udfordrende, for fuldt opgraderede fly. Vi har allerede set at AI’en ikke er nær så dynamisk og kreativ som en spiller, når den står imod overvældende modstand, og det viste sig også at spillerne, med AI slået til, havde langt sværere ved at gruppere deres enheder på en mission, end dem der styrede manuelt. Vi så derfor optagelserne igennem igen, og observerede forskellen frem til det punkt, hvor den første spiller har nået slutspillet, og bliver tilbudt en niveau 10-mission.

Forskellen var dramatisk. Der var en tendens til at spillerne med AI klarede sig imponerende i starten af spillet, og spektakulært dårligt i slutningen, hvor de, som resultat, led en stor mængde dyre enhedstab, der gav modstanderen penge, samtidig med at de stort set ikke klarede flere missioner. Spillerne uden AI havde generelt også store problemer i slutspillet, men kunne begrænse deres tab i langt højere grad, og lettere overkomme hårde missioner ved at samle deres enheder i større grupper.

Når man betragter vores data, frem til det punkt hvor hvert spil når en niveau 10 mission, tegner der sig en langt tydeligere tendens: Der er ikke en eneste spiller, som har mistet flere enheder, når han spillede med AI, end når han spillede uden – indtil slutningen af spillet, hvor man ved at sammenligne de samme tal, kan se at tendensen går den modsatte vej. Forud for det punkt, lider spillerne uden AI gennemsnitligt 30% flere tab, end dem med.
Vi kan se, at en rimelig stor del af de tab, som spillere uden AI lider, er tab hvor flyet ikke har fået opmærksomhed. Fra optagelserne kan vi sige, at det efter vores mening er flere fly end her angivet, der mistes pga. uopmærksomhed. Det hænger sammen med at vi i indsamlingen af data har sat en høj værdi på 5 sekunder, hvor flyet skal være uden kontrol. Et fly kan dø på 2-3 sekunder, så 5 sekunder er meget i denne sammenhæng, og en række af de døende fly modtager en ordre, da det allerede er alt for sent, og tælles derfor ikke med. Selv når vi holder os til de tilfælde, hvor vi direkte kan måle at enheden ikke har været opmærksomme på situationen, viser vores målinger at hele 50% af tabene uden AI direkte skyldes at spillere ikke har været opmærksomme på situationen.

Dette viser at spillere har et tydeligt effektivitetstab uden AI, og at der dermed er stort potentielle for forbedring, hvis de aflastes efter hensigten. Hvorvidt vores AI har succes med at aflaste dem, er svært at bedømme under disse omstændigheder, men den viser imponerende tal, på trods af, at en væsentlig del af spillernes dødsfald med AI, var direkte konsekvenser af at uerfarne spillere udstyrede og instruerede den så ringe til situationen, at AI’en ikke må være i stand til at kompensere for det, da spillerens valg ellers ville være uden tilstrækkelig indflydelse.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Tab</th>
<th>Med AI (Før 10)</th>
<th>Uden AI (Før 10)</th>
<th>Med AI</th>
<th>Uden AI</th>
<th>Tab uden opmærksomhed</th>
<th>Tab uden opmærksomhed %</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Spiller 1</td>
<td>9</td>
<td>10</td>
<td>10</td>
<td>14</td>
<td>10</td>
<td>71,43</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 2</td>
<td>16</td>
<td>19</td>
<td>21</td>
<td>19</td>
<td>8</td>
<td>42,11</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 3</td>
<td>12</td>
<td>15</td>
<td>18</td>
<td>26</td>
<td>11</td>
<td>42,31</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 4</td>
<td>7</td>
<td>14</td>
<td>14</td>
<td>17</td>
<td>13</td>
<td>76,47</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 5</td>
<td>7</td>
<td>11</td>
<td>16</td>
<td>11</td>
<td>4</td>
<td>36,36</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 6</td>
<td>9</td>
<td>9</td>
<td>14</td>
<td>16</td>
<td>5</td>
<td>31,25</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>60</td>
<td>78</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td>49,99</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Vi kan se en tendens for at AI’en er effektiv i starten af spillet hvor hver fly alene kan klare missioner. Senere er det bedre at para sine fly op og her har en spiller uden AI det nemmere.

Den spiller der har klaret sig bedst i et spil af alle (Spiller 4) grupperede ikke i starten af spillet med AI men begyndte senere at gruppere hele tiden. Vi så at flere af AI spillerne nærmest gik i stå sidst i spillet pga. denne ændring i måden de skulle styre deres enheder. For spillere uden AI var det narturligt at grupperede tidligt fordi de havde svært ved at overkomme at focucer på så mange fly. Denne taktik gav ikke så meget i starten men
betød senere at de var erfaringe i at få deres fly til at arbejde sammen da det blev nødvendigt. De få grupperinger som vi ser fra AI spillere skal der i fremtiden gøres noget ved.

<table>
<thead>
<tr>
<th>Grupperinger</th>
<th>Uden AI</th>
<th>Med AI</th>
<th>Indkomst U</th>
<th>Indkomst M</th>
<th>Indkomst T</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Spiller 1</td>
<td>2</td>
<td>7</td>
<td>10783</td>
<td>8072</td>
<td>18855</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 2</td>
<td>7</td>
<td>8</td>
<td>5481</td>
<td>4794</td>
<td>10275</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 3</td>
<td>22</td>
<td>8</td>
<td>7858</td>
<td>6543</td>
<td>14401</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 4</td>
<td>18</td>
<td>23</td>
<td>9095</td>
<td>12156</td>
<td>21251</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 5</td>
<td>16</td>
<td>2</td>
<td>10086</td>
<td>9302</td>
<td>19388</td>
</tr>
<tr>
<td>Spiller 6</td>
<td>31</td>
<td>11</td>
<td>10119</td>
<td>10133</td>
<td>20252</td>
</tr>
</tbody>
</table>


Vi må konstaterre at der ifølge vores data er en tendens til at spillere uden AI tjæner mere en spiller med AI. Vi mener ikke at vi kan lige så meget i vores tal omkring Indkomst pga. de mange problemer og ubalancer som spillere var udsat for. Det overresker os ikke efter at have gemmest de forskellige spill at spillere uden AI har større indkomst i det tidsrum der var afsat i test-spilne. Ser vi på de tab som de forskellige spillere har er der en klar tendens af at AI’en ikke klare sig særlig godt omkring level 7-10, men op til dette punkt er AI’en mere effektiv end de fleste spillere uden AI.

Testscenarie 4: Observation af spillere med AI mod spillere uden

En af spillere var så god til spillet og hans modstander havde det så svært, at han vandt begge sine kampe, selvom han ikke have så meget, som andre tabte med i andre kampe.

Havde vi afkortet kampene med 10 minutter, havde resultatet sikkert være meget anderledes og det kunne også tænkes at AI spillere ville komme tilbage, havde kampene været længere, så det sidste niveau af opgraderinger kunne nå at tjene sig ind. Havde AI spillere fået tid til at lære at parre deres fly op i grupper havde kampen muligvis også været mere lige. Vi må erkende at AI spillere i dette scenarie blev slået, men de har klaret sig så godt i den første store del af spillet, at den midlertidige sejrsbetingelse vi indførte til prototypen, lader til at være af afgørende betydning.
Spørgeskema

Erfaring og custom maps

Hvad er den højeste Starcraft 2 liga du har spillet i?

- Ønsker ikke at svare
- Ingen
- Bronze
- Silver
- Gold
- Platinum
- Diamond


Vi kan se at generel spilforståelse er vigtig, for at klare sig godt i custom spil. Efter at vores testpersoner var færdige med at udfylde spørgeskemaet, talte vi lidt sammen, og de spillere der havde prøvet mange custom maps følte generelt, at de havde mere styr på spillet fordi de er mere vant til at tilpasse sig den nye situation.

Hvor mange forskellige Starcraft 2 og Warcraft 3 custom maps har du sammenlagt prøvet?

- Ønsker ikke at svare
- 1-5
- 6-10
- 11-20
- 21-50
- 51-100
- 101+

Ud fra de to oplysninger kan vi derfor med stor sikkerhed sige, at vi har fat i spillere, som er øvede og som ikke vil have manglende viden eller forståelse for de grundlæggende spilmekanikker. Vores testspillere har således været godt inde i standard-styringen, og interfacet, og har, med deres erfaring i andre custom maps, været klar til at tilpasse sig
vores spil. De har samtidigt haft en god evne til at styre enhederne, så vores AI har haft sin sag for.

Sværhedsgrad
Det er vigtigt at spillerne finder spillet svært nok til at være udfordrende. Vi har fået en gennemsnitlig værdi af 3,43 i sværhedsgrad på en skala fra 0 til 6, men der er ingen der har svaret 0, 1 eller 6. Vi har altså ramt en balance, hvor testspillerne føler at det er udfordrende, men at de samtidigt kan følge med.

Et af vores mål med spillet var, at der var meget at lave så vi kunne aflaste spilleren med vores AI. Som kommentar har vi blandt andet fået “Man skal være rigtig mange steder og have styr på mange ting for at spille optimalt.” og “Det var mere stressende end det var svært.” som de 2 mest sigende svar. Dette indikerer at det er lykkedes os at skabe et spil, hvor presset er for højt til at de fleste personer realistisk kan bevare overblikket og følge med uden assistance – en af forudsætningerne for at vores AI ville kunne komme til sin ret.

Missions- og opgraderings-interface
Det er vigtigt, at ingen af disse interfaces er til gene for spilleren. Hvis spilleren spilder sin tid på at have problemer med interfacet, vil det sløre vores resultater.

Vi kan se at testpersonerne generelt ikke har nogen problemer med vores missions- og opgraderings-interface. Vi har haft enkelte lave svar, og kommentarerne viser at dette ikke så meget skyldes, at der er nogle fejl, men at de savner ekstra funktionalitet. Et godt eksempel er dette svar:
"FLERE HOTKEYS!
Der mangler en "luk" knap på vælg-fly-menuen, det tog lidt tid inden det gik op for mig at man skulle bruge ESC.
Jeg ville synes det var nice, hvis I kunne samle alle våben/skjold opgraderingerne på 1 skærm. Det kunne gøres ved, at niveauet blev vist som et tal (i stedet for en række billeder) og så bare lave 1 menu der hedder "upgrades".
Hvis det er muligt, kunne det også være nice at flyene blev lavet til "heroes" i spillet - så får de ikoner man kan vælge dem på, og så er de automatisk bundet til hotkeys F1-F3.
Derudover kunne de også have genveje til AI controls på dem (og måske også upgrades) så man ikke skal holde styr på hvilket command center de hører til. I relation til det kunne det også være nice hvis command centrene skiftede navn alt efter hvilken flytype/level der hørte til."

Vi har allerede forklaret problemet i, at vi ikke kan lave genvejstaster på vores custom GUI, uden for store omkostninger, men vi er enige i at genvejstaster ville være en stor fordel for alle erfærne spillere, og bør overvejes på sigt, hvis spill-enginen tillader det. Han mener også han vil være mere effektiv ved at have alle upgrades på en og samme oversigt. Dette vil hjælpe ham når han allerede har 100% kendskab til spillet, men alle, der ikke kender spillet, vil have sværere ved indledningsvis at danne sig et overblik over fremtidige muligheder. Han efterlyser også mere feedback fra den enhed der er valgt. I det originale spil får man, når man vælger en enhed, en specifik lyd og billede, afhængigt af enhedens type, samt en ring om den valgte enhed. Fordi vi styrer enhederne fra bygninger, og dermed ikke vælger selve enheden, får spillere ikke denne feedback. Dette kan gøre det sværere for spillere, der er vant til at få det, at overbevise sig selv om, at de har den rigtige enhed valgt. Derfor vil han også gerne have mulighed for at vælge flyet, og betjene samtlige muligheder for instruktioner til flyet, direkte fra flyet. Vi vil i fremtiden gerne give denne mulighed, eller forbedre feedback så meget, at spilleren føler, at han har valgt det rigtige. Det har naturligvis haft en indflydelse, for hvor god han har følt, at styringen af hans enheder har været.

Styring af enheder
Spillerne har alle svaret højt på hvor intuitiv styringen var. Helt præcist var gennemsnittet 4,14 på en skala fra 0 til 6. Der er dog ikke så gode resultater på hvor effektiv styringen af enhederne er, som det ses på grafen. Meget af dette skyldes de ting, som er nævnt ovenfor. Når spilleren sad og kiggede på et fly, og fandt ud af at det ikke gik så godt, så tog det tid for ham at skifte flyets indstillinger. Han skulle først huske på hvilket nummer flyet var og så trykke 1,2 eller 3, for så først herefter, at kunne ændre på det han ville. I Starcraft 2 er det normal reaktion, at vælge det man vil styre på skærmen. I øjeblikke hvor spillet udvikler sig hurtigt og adrenalinen pumper, er vores styreform med AI, ikke den mest ligetil at bruge. Det er selvfølgelig er et præmis for vores spildesign, at styringen af vores AI er indirekte, men vi skal se om ikke vi kan gøre mere for at hjælpe spilleren, til hurtigere at kunne skifte indstillingerne for flyene, i situationer hvor det er nødvendigt.

**AI’ens styring af enheder.**

Der var, som skrevet ovenfor, nogle interface problemer, som har haft en stor effekt på spillernes holdning. Flere testspillere har pointeret, at vores AI ikke er så effektiv til at komme rundt om andre missioner på vej til og fra deres egen mission. ”Kun i de tilfælde hvor den ikke valgte at flyve uden om fjenderne ved tilbagetækning.” Der er endda enkelte situationer, hvor fly dør som direkte konsekvens af en svaghed i Al’en, men den generelle holdning repræsenteres godt af kommentaren: ”Udførte en direkte forkert handling nej. Mit største problem i den sammenhæng er nok når den løber ind i andre missioner på vejen, som nævnt tidligere.”

Der er en af vores testbrugere der ikke har følt at han havde nok indflydelse på AI’en. Han har desværre ikke kommenteret hvad han bygger det på. Efter hvad vi så så, udnyttede enkelte spillere næsten ikke aggression, for at holde deres enheder effektive. Vi så flere gange et fly bliver udstyret med korte kraftige våben og så samtidig stå på careful hele kampen. Flyet kom så ikke tæt nok på fjenderne til at kunne angribe, da et fly på careful for det meste vil holde sig uden for fjendernes rækkevidde.

![Diagram](image1)

Vi kan til gengæld se at samtlige spillere synes at vores AI spillede pålideligt, hvilket er et meget vigtigt resultat for at vurdere spiloplevelsen, og hvorvidt AI’en præsterer at leve op til de grundlæggende forudsætninger.
Et konkret element som vores AI fik virkelig stor ros for, var vores scout missions-logik. I vores testscenario 1, er der en generel tendens til, at mennesker er bedre end vores AI på dette punkt. Det er fordi at genspilning af situationerne giver spilleren mulighed for at finde lige det perfekte punkt til at flyve ind og ud igen, en gang, og have set samtlige fjender. Når de ikke har mulighed for at prøve igen og igen for at finde det rigtige punkt, så er de langt langsommere, og scout-flyet kræver langt mere opmærksomhed. Dette fører tit til, at de ofte ikke får set alle fjender, før de er så langt nede på liv, at de enten kan flyve ind i mødene og håbe på at få set resten af enhederne, før de dør, eller de må flygte hjem efter liv og komme tilbage. Vores AI scout'er bedre end de fleste testspillere selv føler at de kan klare. Nedenfor kan se en graf over hvad spillere generelt syntes om vores AI's evner.

Der er mange af spillere der har svaret 3 og egentlig indikeret at vores AI efter ders opfattelse ligger under eller lige under deres egne evner. Vi har stadig nogle fejl i AI'eren som en sjælden gang kan få flyene til at lave helt forkerte handlinger. Udover det har vi, som før, stald et problem når der ligger en anden mission på vejen til et flys mission. Alle disse nuværende svagheder trækker selvfølgelig ned i spillernes vurderinger, men det er vær at bemærke at alle besvarelser ligger i den høje ende af skalaen og at vores testpersoner er bedre end gennemsnitligt til Starcraft 2. Da vi med betegnelsen for 6 "bedre end jeg selv kunne", har valgt at gøre denne vurdering relativ til deres egne evner, påvirker dette høje niveau resultatet.

**Fjender**
Spillerne har alle svaret, at de syntes at fjenderne opførte sig fornuftigt. Den primitive fjende AI, som vi har lavet, er moduleret efter en model, der ellers mest bruges til fjende-reaktioner i MMO'er, som eksempelvis World of warcraft, hvor man skal meget tæt på fjender for at de reagerer, selvom man kan se dem på afstand. Det kom lidt bag på os hvor godt denne model fungerer på vores fjender og virker naturlig, for alle der har oplevet denne stereotype for fjendeopførsel. De kommentarer vi har fået, har også været positive, lige med undtagelse af, at de føler at fjenderne forfølger deres fly meget langt når de prøver at flygte. Vores frygt for det faktum, at alle fjender angriber samme ende mål selvom der er to af spillernes fly der angriber samtidigt, viste sig at være ubegrundet og virker fornuftigt på spillere.

**Generelle kommentarer til spillet**
Spiller oplyste på eget initiativ at de fandt spillet sjovt og unikt, men savnede i den nuværende form et ordentligt slutspil, og mere direkte kamp mod modspilleren undervejs. Testspillerne syntes at den AI-assisterede styringsform var sjov at prøve, og ingen følte at styringen var så problematisk at det ville forhindre konceptet i at fungere.
Evaluering projektførløb

Udfordringer ved værktøjet


Editoren giver ikke altid gode fejlbeskeder eller fejlbeskeder overhoved. Et stort problem med editoren er, at enkle ting så som variabelstørrelser ikke er fastsat: Det er ikke offentligjort hvor stor int og real er og der er ingen åbenlyse fejl at se i programmet når overløb sker. Koblent sammen med at der er nærmest tilfældige ikke oplyste grænser på forskellige elementer kan det være svært at vide, om det, man prøver at implementere, kan lade sig gøre. Dette gælder også når det kommer til computerkraft: Hvornår grænsen, for hvad spillet kan klare, nås, er ikke til at vide. Vi har derfor, i de vigtige elementer, brugt hvad vi følte var nødvendigt af computerkraft, og kun begrænset os selv, hvis spillet ikke har kort flydende.

Blizzard arbejder stadig videre på editoren og har flere projekter i gang, om at forbedre den. Det betyder at der løbende kommer opdateringer til editoren og at flere og flere ting bliver muligt eller bare gjort nemmere, selvom det også, i et enkelt tilfælde, forårsagede en kritisk bug i vores spil, få timer forud for en brugertest.

Et element i editoren, som Blizzard arbejder på at forenkle, er dataeditoren, som rummer de unikke data for våben og enheder m.m. Denne har fantastisk frihed til at redigere i alt grundspillet data, men med dette følger en enorm kompleksitet som, selv ved brug af glimrende tutorials, tog os flere uger at overvinde.
Konklusion

Formålet med dette bachelorprojekt, var at undersøge potentiallet for en subgenre af RTS-spil, der til vores kendskab aldrig har været bredt udfyttet. Vi satte os for at afprøve vores spilkoncept, ved at implementere et spil, der krævede mange væsentlige strategiske beslutninger af spilleren, samt en enheds-AI til at aflaste hans opmærksomhedsbehov, ved at håndtere detaljestyringen af de enkelte kampscenarier, og et interface der gjorde denne let tilgængelig for spillere med erfaring fra traditionelle RTS-spil.

Vi har bekræftet at vores AI både er imponerende effektiv, og at spillerne fandt den sæderes pålidelig. Dermed lever den i høj grad op til de forudsætninger vi havde opstillet, for at den ville have en mulighed for hjælpe med at aflaste spilleren efter hensigten. Derudover, overgik dens benchmark-resultater alle vores forventninger, ved at levere resultater der opnåede 99,1% af testbrugernes generelle effektivitet, og i flere tilfælde overgik alle de tider der menneskene havde været i stand til at sætte på samme mission. Den udviste dog samtidig et par svagheder og, vigtigere, at mennesker stadig er bedre til kreativt at tilpasse sig mod overvældende modstand.

Vores interface blev generelt godt modtaget, og levede op til vores målsætning om at være tilgængeligt. Netop interfacet til at styre ens fly har dog vist sig ineffektivt, i en grad der måske har påvirket resultaterne, og som levner tydelig plads til forbedring.

Vores generelle brugertest, har lidt under at den midlertidige sejrbetingelse farvede resultaterne, således at vi så stærkt afvivende tendenser fra standard-spilforløbet til slutspillet. Vi har dog stadig målt, at spillerne med AI’en til, sammenlagt har ladet deres enheder stå inaktive i 9,6% mindre tid, på trods af at spillerne uden AI i langt højere grad grupperede deres enheder, for at have flere enheder aktiv i færre situationer. Forbedringen i inaktivitet, kombineret med en 38,5% reduktion i totale grupperinger, antyder i høj grad at vi har haft succes med at lade spillerne overskue flere situationer samtidig.

Vi forsøgte at måle om AI’en ogede spillerens effektivitet, ved at lade dem overskue flere ting samtidig. Både vores målinger af hvordan de klarede missioner var fordelt blandt spillerens fly, og vores målinger af spillerens indtægt, blev påvirket af AI’en, gav rodede resultater, som ikke umiddelbart understøttet vores hypotese om forbedret effektivitet, men vi observerede til gengæld at spillerne konsekvent mistede færre fly i den første store del af spillet, når de spillede med AI’en til, samt at mindst 50% af de enhedstab spillerne lider uden AI, sker som direkte konsekvens af manglende opmærksomhed, og at der derfor er et stort potentiale for øget effektivitet, ved at mindske spillerens behov for at havde konstant opmærksomhed på dem.

Vores tendenser understøttede generelt at vi har haft succes med at vise potentialet i denne subgenre, men vi har ikke tilstræbt statistisk signifikans. Det ville ikke blot kræve væsentligt mere testdata, men også et sæt testbrugere, hvis spillestil ikke var i konstant udvikling, mens de stiftede bekendtskab med spilkonceptet.

Måske mest sigende af alt, for vores overordnede mål, oplevede vi at flere af vores testbrugere, med ekstremt bred erfaring i RTS-baserede spil, efter testen helt uopfordret fortalte os at vores spilkoncept var sjovt, og bød på unikke udfordringer. Dette tyder på at vores del-elementer i dette projekt har spillet godt nok sammen til at realisere målet om at illustrere potentialet i denne subgenre.
Litteratur

[1] Penelope Sweetser & Peta Wyeth: 
GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games
ACM, 2005

[2] Andrew Rollings & Dave Morris: 
Game Architecture and Design A new Edition
New Riders, 2004

[3] Henrik Laust Schou-Pedersen og Anders Schmock Thøgersen: 
Flokintelligent i Multi-Agent Spil,
6. august, checked on 20/12/2010.


[5] Erik Bethke: 
Game Development and Production
Wordware Publishing Inc., 2003

[6] Alex J. Champandard: 
AI Game Development - Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors

[7] Mat Buckland 
Programming Game AI by Example
Wordware Publishing Inc.2005

[8] SC2Mapster 
Behemoth AI, by rowland
http://www.sc2mapster.com/assets/behemoth-ai/ - Revised June 7, 2010

[9] UC Berkeley - Computer Science Division 
The Berkeley Overmind Project
http://overmind.cs.berkeley.edu/ - Revised January 25, 2011

[10] Ars technica: 
Skynet meets the Swarm: how the Berkeley Overmind won the 2010 StarCraft AI competition

[10] SC2Mapster og især ProzaicMuzes data editor tutorials: 
http://forums.sc2mapster.com/resources/tutorials/9026-prozaics-past-poll-winners/
**Bilag**

I .zip-filen er der vedlagt:

- Vores spil. Kan eksekveres fra editoren, ved at trykke Ctrl+F9 (Test Document).
- Noter og replays fra vores brugertests. Noterne er ikke reformateret, siden vi selv har arbejdet med dem. Det anbefales at åbne dem som regneark, frem for PDF.
- Den fortolkede råkode, som editoren genererer ud fra vores scrips. Vores kode bør istedet betragtes ved at åbne vores spil i editoren og trykke F6, for at se triggers.
- To gæstenøgler til Starcraft 2, gyldige i 14 dage eller til 7 timers spil.

**Oprindelig Problemformulering**

"Hvordan kan man lave et real-time multiplayer spil hvor man ved at interagere med spillets enheds-AI kan sprede spillerens opmærksomhed mere end med de typiske enheds-AI'er, der primært bare kan pathfinde fra A til B, og reagere når enheden er under angreb. Intentionen med dette er at kunne designe en anderledes spiloplevelse, der udfordrer spilleren på nye måder, men stadig har en lav indlæringskurve for folk med erfaring fra RTS-genren."