

Computerbaseret offsidedetektering i fodbold – optimering af et dommerstøttesystem

1. Indledning	2
1.1. Problemformulering.....	4
1.2. Metode.....	4
1.3. Læsevejledning.....	6
1.3.1. Forudsætninger	7
2. Offsidereglen	8
2.1. Fodboldlovens § 11	8
2.1.1. Eksempel	8
2.2. Præcisering af § 11	9
2.2.1. Nærmere	9
2.2.2. Bolden røres	10
3. Undersøgelse	11
3.1. DommerStøtteSystem	11
3.1.1. Nærmere	11
3.1.2. Afleveringstidspunkt	11
3.1.3. Afleverende spiller	11
3.2. Cairos	12
3.2.1. Positionering	12
3.2.2. Data.....	12
3.2.3. Services.....	12
3.3. Overkroppens placering i forhold til fødderne	12
3.3.1. Qualisys.....	13
3.4. Realtidskrav	13
4. Algoritmer	14
4.1. Sortering	14
4.2. Detektering af aflevering.....	14
4.3. Bolden ude af spil	14
4.4. Detektering af afleverende spiller	14
4.4.1. Ud fra føddernes placering.....	14
4.4.2. Ud fra omfattende data	14
4.5. Bestemmelse af afleveringens retning.....	15
4.6. Bestemmelse af modtagende spillers position.....	15
4.6.1. Ud fra føddernes placering.....	15
4.6.2. Ud fra overkroppens placering.....	15
4.7. Detektering af offside	15
5. Prototyper	16
5.1. ScenarioGenerator	16
5.2. ScenarioSender	16
5.3. DommerStøtteSystem	16
5.4. Visualizer.....	16
6. Test	17
6.1. Scenario 1	17
6.2. Scenario N	17
6.3. Testresultater.....	17
6.4. Realtidskrav	17
7. Fremtidigt arbejde	18
8. Konklusion	19
9. Litteratur	20

1. Indledning

Da Portugal i 2004 afholdt EM i fodbold, blev der gennemsnitligt dømt offside fem en halv gang pr. kamp, mens antallet af mål var to et halvt pr. kamp [euro2004.com]. Antallet af mål er således lavt i forhold til antallet af offsitesituationer, og da offsitesituationer ofte medfører store chancer, kan det være afgørende for kampens udfald, om dommertrioen vurderer situationerne korrekt. Ved EM-slutrunden endte 13 kampe ud af 31 med en sejr på ét mål til det ene hold, mens 10 endte uafgjort. Et enkelt mål er således ofte den eneste forskel på en sejr eller en uafgjort, og i den sidste ende kan de manglende point have betydning for, om et fodboldhold klarer sig videre i turneringen, vinder mesterskabet, rykker ned eller lignende.

Med den generelt dårlige økonomi i fodboldbranchen og de mange indtægter fra især tv-retteligheder kan en undgået nedrykning eller en kvalifikation til en europæisk klubturnering gøre en stor forskel for den pågældende klubs økonomi. Samme økonomiske præmisser gælder for de nationale fodboldforbund, som står for landsholdsfodbolden. Alene det at deltage i EM i 2004 kastede 35 millioner kroner i præmiepenge af sig til DBU, og hertil kunne lægges 9,5 millioner for en sejr og to uafgjorte kampe, mens der var yderligere 14,25 millioner, fordi Danmark gik videre til kvartfinalerne [Berendt 2004]. Danmarks præstationer var altså næsten 60 millioner kroner værd, og med en årsomsætning på omkring 240 millioner [Berendt 2003] betød EM-deltagelse en forskel på 25 % alene i præmiepenge. Derfra skal naturligvis trækkes udgifterne ved sådan en slutrunde, men omvendt er det også lettere for succesrige hold at skaffe sponsorkroner, så resultaterne spiller bestemt en stor rolle økonomisk.

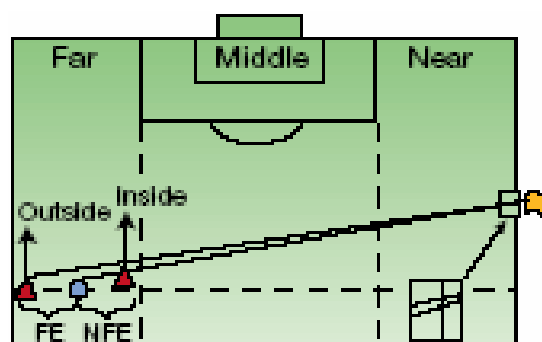
Også de retfærdighedssøgende har interesse i, at det hele går korrekt til. Fair play er et stort tema hos verdensfodboldforbundet FIFA, og bestemt også hos den klub, der går glip af store indtægter på grund af et mål scoret af modstanderne efter en offside, der ikke blev dømt, eller fordi de mangler et mål, der fejlagtigt blev annulleret for offside. Teknologiske hjælpemidler kunne være vejen frem mod en mere fair afvikling af kampene.

Offsidedereglen vil blive gennemgået mere detaljeret i kapitel 2, men for en god ordens skyld er den herunder at finde i en stærkt forsimplet udgave baseret på [Fodboldloven]:

En spiller er offside, hvis han er nærmere modstandernes mål end både bolden og næstsidste modspiller, og efter dommerens skøn deltager aktivt i spillet i det øjeblik bolden røres af en medspiller.

Linjedommerne tager fejl

Linjedommernes opgave i forbindelse med offside er at holde sig på linje med den næstsidste forsvarsspiller for at kunne vurdere, om en modspiller står tættere på målet i det øjeblik, bolden bliver afleveret. Ofte skyldes fejlkendelser, at linjevogteren er forkert placeret. Står han ikke på linje med den næstsidste forsvarsspiller, kan vinklen snyde, idet den vinkel, hvormed der kigges, ikke er ret i forhold til sidelinjen [Oudejans et al.]. På Figur 1.1 dømmes den røde angriber længst til venstre fejlagtigt offside, fordi linjedommerens vinkel i forhold til situationen er skæv, mens den anden angriber fra linjedommerens vinkel ser ud til at være på den rigtige side af forsvarsspilleren, selvom han reelt er i offsideposition.



Figur 1.1 – Situation hvor linjedommerens placering er årsag til fejlagtige vurderinger. På figuren mangler en målmand, så den blå forsvarsspiller får status af næstsidste forsvarsspiller. Kilde: [Oudejans et al.].

For at bestemme afleveringsøjeblikket skal linjedommeren samtidig med at holde sig på linje med næstsidste forsvarsspiller følge med i spillet, nærmere bestemt holde øje med, hvornår bolden afleveres. Dette kan ifølge [Maruenda] ikke fysisk lade sig gøre, hvilket er årsagen til mange fejlkendelser. Det tager mindst 160 millisekunder at flytte øjnene, og i dette tidsrum kan en gennemsnitsspiller flytte sig mere end en meter, så afstanden mellem to spillere, der løber hver sin vej, kan ændre sig med over to meter, mens linjedommeren flytter sine øjne¹. Figur 1.2 og Figur 1.3 illustrerer, hvor meget situationen kan ændre sig på kort tid, når forsvarerne og angriberne løber i hver sin retning. Mens linjedommeren flytter sine øjne fra boldholderen til den næstsidste forsvarsspiller (bemærk, at målmanden som regel er den bageste forsvarsspiller) kan spillerne have flyttet sig en del i forhold til hinanden.



Figur 1.2 – Øjeblikket før afleveringen.
Angriberen er på den rigtige side. Kilde:
[Maruenda].



Figur 1.3 – Øjeblikket efter afleveringen.
Forsvarskæden er rykket frem, mens
angriberen er løbet i modsat retning. Kilde:
[Maruenda].

Teknisk hjælp til dommerne

FIFA's præsident, Sepp Blatter, har tidligere været meget imod brug af teknologiske hjælpemidler [McNulty], men er nu mere positiv, så længe det ikke kræver regelændringer eller underminerer dommerens autoritet [Spiegel].

Oftentimes har det været diskuteret at bruge tv-billeder til at afgøre tvivlsomme spilsituationer (såsom offside eller om bolden har været over mållinjen) ligesom det ses i amerikansk fodbold. Hver gang er forslaget faldet til jorden, fordi man ikke ønsker stop i spillet for at dommeren kan kigge på tv-optagelser. Et system, der vil kunne afgøre den slags situationer mens de opstår, vil hjælpe dommertrioen med at komme frem til korrekte afgørelser uden at forsinke spillet og gøre tilskuerne utålmodige.

Et computerbaseret system til at opdage offside vil lette linjedommerens arbejde, men på ingen måde gøre dem overflødige. Det vil stadig være en vurderingssag, om en spiller i offside-position er passivt eller aktivt offside, da det kan afhænge af, hvordan spilsituationen udvikler sig. Omvendt vil et sådant system give linjedommerne mere overskud til at følge med i spillet og de små frispark, spillerne laver på hinanden bag ryggen på dommeren, og dette vil igen fremme fair play-ånden. For at komme disse unoder til livs har det i mange år været diskuteret, om man skulle indføre en ekstra dommer – ligesom man har i håndbold – ud fra devisen, at fire øjne ser bedre end to. Det er denne opgave, linjedommeren kan tage på sig, når hans egen opgave lettes.

¹ Beregnet ud fra, at en gennemsnitsspiller løber 100 meter på 14 sekunder og derfor kan flytte sig 71 cm på 100 millisekunder [Maruenda].

Computerbaseret offside-detektering

Det er således et særdeles relevant emne, Gert Vestergaard Larsen og Søren Thestrup Hansen tog op i deres speciale "Computerbaseret offside-detektering i fodbold - En undersøgelse af realtidskrav og definering af algoritmer" udarbejdet på Ingeniørhøjskolen i Århus i 2004 [Larsen & Hansen]. I specialet påviste de, at det er muligt for et computersystem at afgive offsidekendelser indenfor en fastsat acceptabel tidsgrænse på 1 sekund efter, at offside-situationen opstod. Realtidskravet på 1 sekund blev sat for at sikre en flydende afvikling af kampene.

Til at bestemme spillernes og boldens placering på banen fandt [Larsen & Hansen] frem til, at positioneringssystemet fra det tyske firma Cairos på grund af stor præcision var det bedste. Dette system benytter sig af radiosendere i spillernes benskinner og i bolden, og det betyder, at spillernes placering skal findes ud fra disse data. Det er overkroppen der ses på, når det skal afgøres, om en spiller er nærmere mållinjen end en anden. Dette kan ikke direkte udledes af føddernes placering, men [Larsen & Hansen] baserer alligevel deres prototype på, at spillerne kan defineres som ét punkt.

I dette speciale vil det blive undersøgt, om det af Larsen og Hansen udviklede DommerStøtteSystem er tilstrækkeligt pålideligt til, at dommertrioen i en fodboldkamp kan stole på systemets afgørelser. Hvis systemet skal have nogen praktisk værdi, skal det afgive signal til dommertrioen hvis og kun hvis en medspiller befinder sig i en offside-position, når bolden bliver afleveret. Der vil blive foreslået og implementeret løsninger på fundne problemer med systemet, ligesom der vil blive arbejdet videre inden for de forslag til fremtidigt arbejde, der blev foreslået i [Larsen & Hansen].

Bemærk, at der hverken her eller i [Larsen & Hansen] gøres noget forsøg på automatisk at vurdere, om en spiller deltager aktivt i spillet eller ej. Der kan let gå mere end et sekund inden det kan afgøres, om en spiller er aktivt offside, og derfor kan det umuligt nås inden for tidsgrænsen. Det vil stadig være op til linjedommeren at vurdere den aktiv-passive del af offside-reglen.

1.1. Problemformulering

Formålet med specialet kan formuleres med følgende hovedspørgsmål:

Kan en eksisterende prototype på et dommerstøttesystem til offside-detektering optimeres til at blive tilstrækkeligt pålidelig til brug i fodbold på topplan? Optimeringerne skal overholde realtidskravet på maksimum 1 sekund fra detektering af en offside-situation til annonceringen modtages af dommeren.

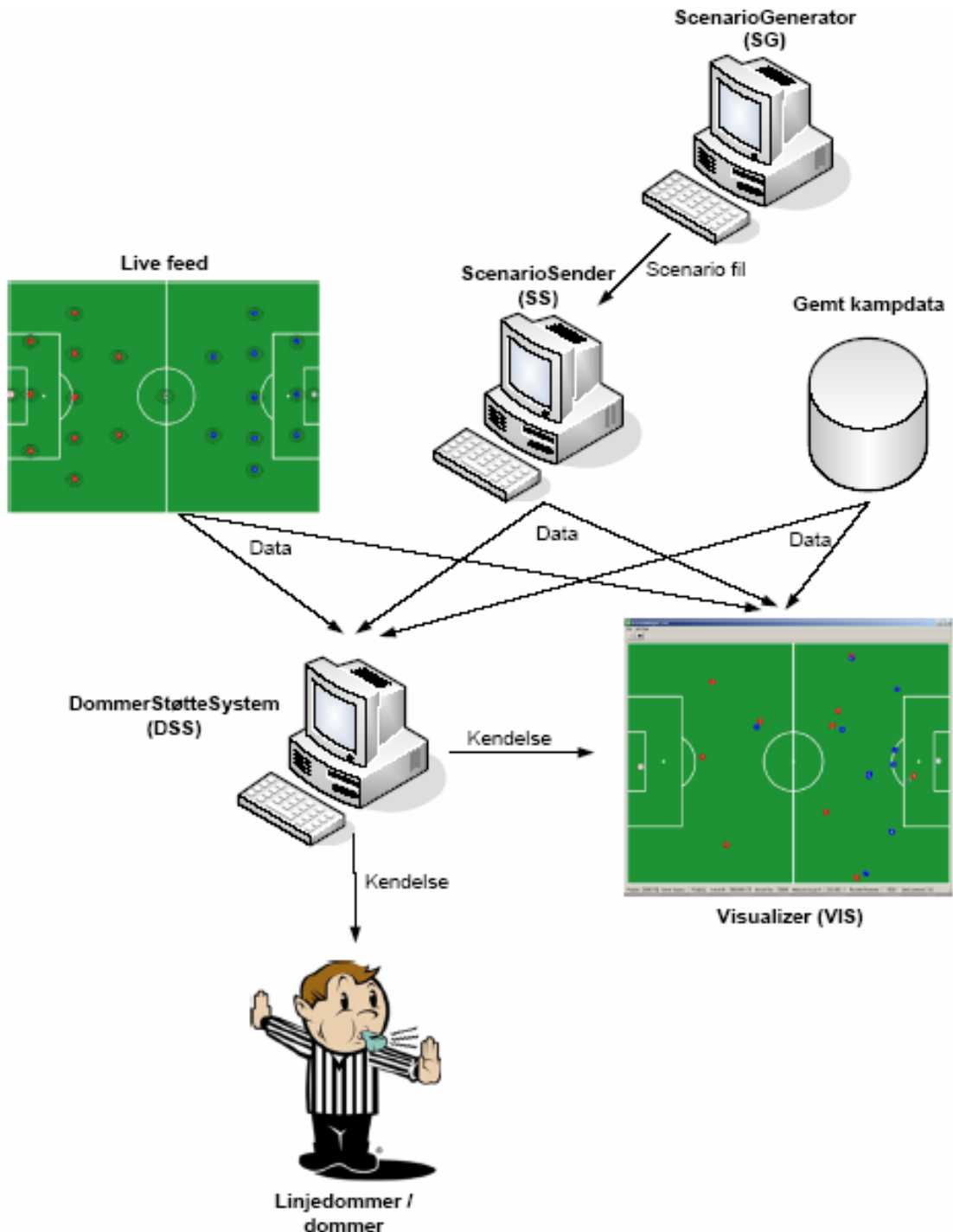
Til hovedspørgsmålet knytter der sig en række underspørgsmål:

- Kan spillernes positioner med positioneringssystemet fra Cairos præciseres tilstrækkeligt til at identificere den afleverende og den modtagende spiller?
- Er det muligt at beregne sig frem til, hvornår bolden afleveres? Alle typer afleveringer skal kunne opdages korrekt.
- Kan man ved at kombinere og anvende flere algoritmer samtidigt opnå en mere præcis vurdering af spilsituationerne?

1.2. Metode

Der arbejdes videre ud fra de prototyper der er udviklet i specialet "Computerbaseret offside-detektering i fodbold - En undersøgelse af realtidskrav og definering af algoritmer" af Gert Vestergaard Larsen og Søren Thestrup Hansen. Den udviklede programsuite består af fire prototyper, hvoraf den ene hedder DommerStøtteSystem (DSS) og er specialets egentlige formål, mens de andre tre er udviklet for at teste DSS. En oversigt over prototypernes sammenhæng i det samlede system kan ses i Figur 1.4.

Til forskel fra [Larsen & Hansen] er der i dette speciale adgang til positioneringsdata skabt med systemet Qualisys. Scenarier specielt designet til at repræsentere forskellige spilsituationer med relation til offsidedetektering optages med infrarøde kameraer for at give 3D-data om spillere og bolds placering. Disse data er langt mere omfattende end de data fra eksempelvis Cairós, som et virkeligt system vil skulle bygges over, og af den grund kan data også bruges som input til testalgoritmer.



Figur 1.4 – Systemoversigt fra [Larsen & Hansen].

ScenarioGenerator

ScenarioGenerator er udviklet med det formål at opstille et scenario, der kan bruges til at teste den udviklede algoritme. I dette program kan spillere og bolds placering og

bevægelser opsættes, og det opsatte scenario kan gemmes som en fil. Da der i dette speciale er adgang til semi-virkelige positioneringsdata er der ikke brug for ScenarioGenerator.

ScenarioSender

ScenarioGenerator er udviklet i C#, som har fine faciliteter til grafiske programmer, men til gengæld kan der ikke garanteres noget i relation til realtid. Derfor er ScenarioSender udviklet med henblik på at sende positioneringsdata ud på det netværk, der kobler systemerne sammen. ScenarioSender er udviklet i C++ og afvikles fra en PC med styresystemet RTOS fra OnTime, hvorfor det kan garanteres, at data om spillere og bolds placering kan sendes til DommerStøtteSystem hvert millisekund.

DommerStøtteSystem

DommerStøtteSystem modtager positioneringsdata fra enten et positioneringssystem eller et simuleret positioneringssystem og vurderer, om der findes medspillere i offside-position i det øjeblik, en spiller afleverer bolden. I så fald gives der besked til interesserede parter i form af Visualizer eller en linjevogter, som så kan vurdere, om spilleren er i en aktiv eller passiv offside-position.

Prototypen indeholder strategier til at bestemme afleveringstidspunkt, den afleverende spiller samt selve offside-detekteringen. Disse strategier skal videreudvikles for at imødekomme de ændringer, som er nødvendige for at systemet bliver tilstrækkeligt pålideligt.

Visualizer

Den fjerde applikation modtager positioneringsdata og kendelser og viser dem på skærmen. På den måde kan det efterses, om data afsendes korrekt, og rigtigheden af de afgivne kendelser kan kontrolleres.

For yderligere oplysninger om prototyperne henvises til [Larsen & Hansen, s. 42-63].

1.3. Læsevejledning

Dette speciale er opbygget på følgende måde:

OBS! Dette afsnit passer ikke med opbygningen af resten af specialet, som er beskrevet i de efterfølgende kapitler. Afsnittet vil først blive omskrevet, når strukturen er endeligt på plads. Alligevel har jeg valgt at bibeholde det i indledningen, så du kan se, hvordan jeg har tænkt mig, den skal se ud.

Kapitel 2 – Offsidereglen

Her forklares offsidereglen, og nødvendige præciseringer for at reglen kan inkorporeres i en algoritme foretages.

Kapitel 3 – Undersøgelse

Med offsidereglen præciseret er det muligt at opstille scenarier, der kan teste DSS' evne til at opdage offside. [Larsen & Hansen] og tilhørende kildekode vil blive studeret for at finde frem til virkemåden for DSS og dermed hvad der skal forbedres. Også grænsefladen til Cairos' positioneringssystem vil blive undersøgt med henblik på at gøre bedst muligt brug af de data, systemet stiller til rådighed.

Kapitel 4 – Realtidskrav

[Larsen & Hansen] udviklede oprindeligt DSS til en single board computer udviklet på Ingeniørhøjskolen i Århus. Denne computer var ikke kraftig nok til at kunne modtage den mængde data, der opstår i løbet af en fodboldkamp, og derfor gik man over til en større model. Om den øgede mængde data i dette speciale kræver en endnu større computer undersøges i dette kapitel, ligesom en eventuel slækkelse af kravene til algoritmen diskuteres.

Kapitel 5 – Algoritmer

Da kravene til systemet nu er fastlagt, er det muligt at gå i dybden med at designe de algoritmer, automatisk offside-detektering består af, heriblandt detektering af den afleverende spiller, opdagelse af afleveringsøjeblikket og beregning af, om angriberen er fri af forsvarsspilleren. Der udvikles flere algoritmer af hver slags med henblik på at kunne vurdere nytten af diversitet i beslutningsprocessen.

Kapitel 6 – Prototyper

I dette kapitel beskrives det overordnede design af de udviklede prototyper, med fokus på at leve op til realtidskravene.

Kapitel 7 – Test

Med udgangspunkt i offside-scenarier fra enten en virkelig kamp eller approksimation baseret på en båndet tv-kamp, vil algoritmerne i dette speciale blive sammenlignet med dem udviklet i [Larsen & Hansen]. Det at levere pålidelige vurderinger er essentielt i et system som dette, så det er i forhold til dette kriterium, systemerne vurderes.

Kapitel 8 – Fremtidigt arbejde

Det er praktisk talt altid muligt at forbedre systemer, så dette kapitel er afsat til at angive retningslinjer for dette. Den begrænsede mængde tid til specialeskrivning vil også betyde, at der vil være områder af et endeligt, kommercielt system, som ikke vil blive berørt i dette speciale.

Kapitel 9 – Konklusion

Her konkluderes der på arbejdet og de opnåede resultater.

1.3.1. Forudsætninger

Der stilles ikke krav til læserens forudgående viden om fodbold i almindelighed eller offsidereglen i særdeleshed, men fodboldkendskab vil naturligvis gøre det lettere at forstå problemstillingen, benyttede eksempler og andet fodboldfagligt indhold.

Med hensyn til den computermæssige side af sagen forudsættes en generel viden om softwareudvikling, programmering, systemarkitektur og deslige.

2. Offsidereglens

Formålet med offsidereglens er at forhindre angribere i at opholde sig tæt ved modstandernes mål og på den måde opnå en fordelagtig position alene med målmanden, når holdet erobrer bolden. I dette kapitel forklares offsidereglens, og diverse uklarheder i reglens formulering søges præciseret. Disse præciseringer eller fortolkninger lægger til grund for de udviklede algoritmer, og derfor frarådes det at springe kapitlet over, selvom man som læser føler sig godt bekendt med reglens.

I [Larsen & Hansen] foretages der valg vedrørende eksempelvis afleveringsøjeblik, positionering af spillere samt at være nærmere målet end næstsidsste modspiller. Disse valg vil blive diskuteret i dette kapitel.

2.1. Fodboldlovens § 11

[Fodboldloven] forklarer spillens regler og er noget nær en direkte oversættelse af FIFA's regelsæt, som anvendes over hele verden. § 11 beskriver offsidereglens og lyder således:

Offsideposition

Det er ikke strafbart i sig selv at være i offsideposition.

En spiller er i offsideposition, hvis:

- han er nærmere modspillernes mållinje end både bolden og næstsidsste modspiller

En spiller er ikke i offsideposition, hvis:

- han er på egen banehalvdel, eller
- han er på linje med næstsidsste modspiller, eller
- han er på linje med de to sidste modspillere

Strafbar offside

En spiller i offsideposition skal kun straffes for offside, hvis han, i det øjeblik bolden røres af en medspiller, efter dommerens skøn deltager aktivt i spillet ved at

- indvirke på spillet, eller
- genere en modspiller, eller
- opnå en fordel af sin offsideposition

Fortolkning

[Fodboldloven, s. 45] forklarer mere detaljeret, hvordan formuleringerne om at være aktivt offside skal fortolkes. *Indvirke på spillet* betyder at blive spillet, *genere en modspiller* kan eksempelvis være, hvis man dækker for målmandens udsyn, og *opnå en fordel af sin offsideposition* betyder, at han hvis bolden bliver reddet af målmanden eller rammer stolpen kan opnå en god mulighed ved at have været i offsideposition, da der blev afsluttet. Denne fortolkning er forholdsvis ny, idet den blev præciseret i den danske version af fodboldloven med virkning fra sommeren 2004.

Ikke-strafbar offside

Der foreligger ingen offsideforseelse, hvis spilleren modtager bolden direkte fra

- målspark, eller
- indkast, eller
- hjørnespark

2.1.1. Eksempel

Figur 2.1 viser en spilsituation, der kan bruges til at forklare offsidereglens med.

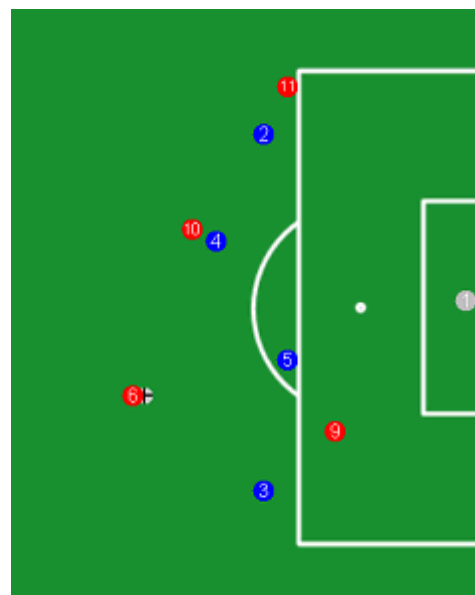
Det røde hold angriber fra venstre mod højre, og rød nummer 6 skal netop til at sparke til bolden. Rød nummer 11 er ikke i offsideposition, da han er på linje med blått holds næstsidste spiller (nummer 5), mens rød nummer 9 befinder sig i offsideposition.

Vælger rød nummer 6 at aflevere, skal det afgøres, om rød nummer 9 er strafbart offside, dvs. deltager aktivt i spillet.

- Spilles bolden til rød nummer 9, vil han være strafbart offside, fordi han *indvirker på spillet*.
- Hvis bolden spilles over i modsatte side, skal der ikke dømmes offside. Ingen af betingelserne præciseret i fortolkningen gælder for rød nummer 9, når bolden spilles til rød nummer 11.

Vælger rød nummer 6 derimod at sparke på mål, kan der ske det, at målmanden blokerer bolden, så den ryger ud i feltet igen.

- Rød nummer 9 vil blive vurderet som aktivt offside, hvis han forsøger at få fat i bolden, idet han har *opnået en fordel af sin offsideposition*.
- Er det rød nummer 11, der opfanger den løse bold, skal der ikke dømmes offside, da han ikke var i offsideposition (også kaldet onside) i det øjeblik, da bolden blev spillet. Afleveringsøjeblikket var ikke da målmanden blokerede bolden, men da rød nummer 6 afsluttede, så selvom han skulle være kommet tættere på målet end næstsidste modspiller i mellemtiden, kan han stadig ikke dømmes offside.



Figur 2.1 – Spilsituation hvor der kan opstå offside.

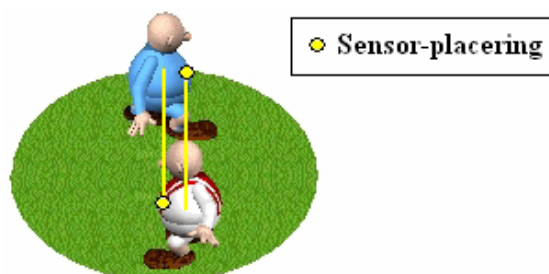
2.2. Præcisering af § 11

Formuleringerne vedrørende offside er mange steder vage og kræver yderligere præcisering for at kunne indgå i et computerbaseret system. Det drejer sig om, hvad det vil sige at være nærmere modspillernes mållinje samt hvornår bolden betragtes som værende rørt.

2.2.1. Nærmere

For at være i offside-position skal angriberen befinde sig tættere på modspillernes mållinje end næstsidste forsvarsspiller. Algoritmen udviklet i [Larsen & Hansen] tager udgangspunkt i, at spillerne positioneres som et enkelt punkt på banen. Et punkt har ikke noget omfang, så i dette tilfælde er det let at afgøre, hvem der er tættest på mållinjen.

Det punkt, der repræsenterer en spiller, måles ved hjælp af en sender, som placeres på spillerens brystkasse. Mennesker har en vis omkreds, og derfor er der positioneringen sårbar over for, om spilleren vender med fronten den ene eller den anden vej, som forklaret i [Larsen & Hansen, s. 26]. To spillere, der står skulder ved skulder og vender samme vej, vil korrekt nok blive vurderet til at være på linje. Vender den ene spiller derimod snuden i den modsatte retning, vil det se ud som om, der er en brystkasses forskel på afstanden til mållinjen,



Figur 2.2 – På grund af sensorernes placering vurderes den nederste spiller fejlagtigt til at være længere mod venstre end den øverste. Kilde: [Larsen & Hansen, s. 26].

fordi senderen for begge spilleres vedkommende er placeret foran.

Ifølge [Larsen & Hansen] er den gældende fortolkning, at hovedparten af overkroppen skal være tættere på målet end hovedparten af overkroppen på næstsidste forsvarsspiller, for at man er i offside-position. Jeg afventer i øjeblikket svar fra DBU's lovudvalg om, hvad der nærmere menes med hovedparten – om det er 51 %, 67 % eller 80 % af overkroppen.

Dette speciale vil blive baseret på positioneringssystemet fra Cairos, fordi det af [Larsen & Hansen] blev vurderet som det mest anvendelige, hvilket især hænger sammen med præcisionen af positioneringen. I Cairos' system skal spillerne bære en sender i hver benskinne, og det er således føddernes placering, spillernes positioner skal findes ud fra. Dermed rejses spørgsmålet, hvor overkroppen befinder sig i forhold til fødderne under en fodboldkamp.

Som tommelfingerregel kan det antages, at overkroppen ved løb er placeret lige over den forreste fod. Dermed skal der blot holdes styr på, hvilken retning spilleren løber i, så er det let at bestemme, hvilken radiosender, der skal bruges som spillerens position. I afsnit 3.3 undersøges det nærmere, om tommelfingerreglen er præcis nok i praksis.

2.2.2. *Bolden røres*

Da det er i det øjeblik, bolden røres af en medspiller, offside-positionen skal vurderes, er det vigtigt at få dette øjeblik præciseret.

I [Larsen & Hansen, s. 27] vælges det at bestemme afleveringsøjeblikket som det tidspunkt, hvor spillerens støvle ikke længere har kontakt med bolden. *Hvordan DBU's lovudvalg forholder sig til denne tolkning vil komme til at fremgå af ovennævnte svar, som forventes medio marts.* Valget hænger sammen med, at et studie af slowmotion-billeder af et spark til en hvilende bold viser, at der går omkring ti millisekunder, før bolden slipper støvlen. I dette tidsrum tilføjes bolden fart, og det er accelerationen, [Larsen & Hansen] bruger som indikator for, at bolden er blevet spillet.

Som sidebemærkning kan det nævnes, at bolden i samme tidsrum flyttes cirka 10 cm, og at det er kontakten mellem bold og støvle over en distance der gør, at man kan få bolden til at rotere, hvilket forårsager skruning.

Tidsmålingen stemmer fint overens med [Wesson, s. 9], som hævder, at en bold har kontakt med jorden i lige under en hundrededel af et sekund, når den hopper på jorden. Når bolden blot reflekterer mod en statisk flade som for eksempel jorden, bevæger den sig ikke, mens der er kontakt.

[Larsen & Hansen, s. 67] benytter disse fakta om tidsrummet med boldkontakt til at opdage afleveringer. Når bolden accelererer med mindst 950 m/s^2 , svarende til en hastighedsændring på 10 m/s over 10 millisekunder, tolkes det som en aflevering. Afleveringen opdages i samme øjeblik som bolden slipper støvlen på grund af, at den tid det tager at accelerere bolden svarer til den tid, der er kontakt mellem bold og støvle.

Dette kapitel er så godt som færdigskrevet. Lige så snart jeg får svar fra DBU's lovudvalg vil kapitlet kunne skrives færdigt på under en dag.

3. *Undersøgelse*

I dette kapitel undersøges de to systemer, der ligger til grund for hele specialet: DommerStøtteSystem og Cairos' positioneringssystem. Sidstnævnte system kan levere data om positionerne på spillernes fødder, men da offsidereglen fortolkes ud fra spillernes overkroppe, skal sammenhængen mellem placeringen på fødderne og overkroppen undersøges.

Arbejdet vil fortrinsvis foregå i april måned, men det afhænger blandt andet af, hvordan Cairos forholder sig til et samarbejde, hvilket jeg i øjeblikket venter på svar om. Er de interesseret i at bidrage med virkelige positioneringsdata, skal der bruges en del tid på at undersøge, hvordan disse data leveres, og hvilke services, systemet i øvrigt stiller til rådighed.

Thomas Bull Andersen fra Center for Idræt på Århus Universitet har lovet at hjælpe med at finde ud af, hvordan det forholder sig med overkroppens placering i forhold til fødderne. Vi har aftalt at bruge systemet Qualisys, som bruger et antal kameraer med infrarødt lys samt reflekterende markører, til at optage nogle videosekvenser af opstillede kampsituationer, som kan analyseres. Scenarierne gemmes som en 3D-model, hvor data kan eksporteres til tekstformat, så en ny ScenarioSender vil kunne afspille scenarierne med henblik på validering af algoritmerne.

Da der kræves medier til at agere fodboldspillere i scenarierne til videooptagelserne er der lidt usikkerhed om, hvornår dette arbejde kan tænkes at foregå, men et gæt kunne være i løbet af april måned. Dermed kan dette kapitel færdiggøres ved udgangen af maj, da kun 33 % af fjerde kvartal er afsat til specialeskrivning.

3.1. DommerStøtteSystem

Gennem design og implementation har [Larsen & Hansen] truffet en række valg i forhold til forskellige aspekter af offsidereglen. Disse valg analyseres og diskuteres i dette afsnit.

3.1.1. *Nærmere*

Nærmere tolkes som værende en overvejende del af overkroppen, men implementeres i [Larsen & Hansen] som senderen på brystkassen. Dette kan give fejl på grund af spillernes orientering, men med to punkter på hver spiller kan orienteringen fastlægges.

3.1.2. *Afleveringstidspunkt*

Defineres som det øjeblik, hvor bold og støvle ikke længere har kontakt. Udregnes som en acceleration på så og så meget. Der tages ikke hånd om at sortere ikke-afleveringer fra.

[Larsen & Hansen] tager ikke højde for, at bolden ikke nødvendigvis tilføres fart, når den afleveres. Derfor vil visse typer afleveringer ikke blive optaget af DommerStøtteSystem, og da det er detektering af en aflevering, som iværksætter offside-algoritmen, vil systemet ikke opdage en eventuel offside.

Bolden kan eksempelvis afleveres ved at en lang fremlægning spilles videre med hovedet, hvorved den kun skifter retning, og altså ikke fart. Ydermere kan retningsskiftet risikere kun at foregå i z-koordinaten, mens boldens (x, y)-retning forbliver uændret. Dermed opstår det problem, at bolden kan skifte retning på grund af ujævnheder i banen eller ved et stolpeskud, og det vil være en fejl at tolke disse hændelser som afleveringer.

3.1.3. *Afleverende spiller*

Her udvælges den spiller, hvis brystkasse (hvor chippen sidder) er nærmest bolden i (x, y)-planet. Dette kan give fejl i forbindelse med glidende tacklinger, hvor brystkassen er over en meter fra spillerens koordinat.

Ved at benytte radiosendere i spillernes benskiner, vil det kunne afgøres med større præcision, hvem den afleverende spiller er, fordi bolden oftest afleveres med fødderne. Ved hovedstødsafleveringer vil der være lidt mere tvivl om afgørelsen, men som regel vil hovedet befinde sig nogenlunde lige over fødderne i sådanne situationer.



Figur 3.1 – Den glidende spiller afleverer reelt bolden, men den stående spiller vurderes til at have afleveret, da hans brystkasse er tættere på bolden. Kilde: [Larsen & Hansen, s. 28].

3.2. Cairos

Positioneringssystemet fra Cairos blev i [Larsen & Hansen] valgt som værende det mest egnede til at levere positioneringsdata fra fodboldkampe. Derfor er det oplagt at basere de nødvendige algoritmer i et offside-detekteringssystem på Cairos' system. Dette afsnit vil afdække de facetter af systemet, der har betydning for designet af algoritmerne.

Formålet med positioneringssystemet fra Cairos er egentlig at levere statistik om blandt andet bevægelsesmønstre, skud på mål og afleveringer, som så kan bruges i for eksempel tv-transmissioner. Det må betyde, at systemet kan skelne eksempelvis afslutninger fra afleveringer, og hvordan dette fungerer, kan være nyttigt at vide. Det kunne tænkes, at man kunne abonnere på oplysninger af en bestemt type, og især er det interessant at få sorteret hændelser fra, som sker mens bolden er ude af spil.

3.2.1. Positionering

Der benyttes en chip i hver benskinne, fordi benskiner skiftes sjældent.

3.2.2. Data

Hvordan sendes data – koordinatsystem – præcision – kan man nøjes med at få det, man er interesseret i – hvor ofte kommer der data om hhv. spillere og bold – tidsstempel – dataprotokol.

3.2.3. Services

At dømme ud fra Cairos' hjemmeside ved systemet, hvornår bolden er ude af spil. Dette kunne eksempelvis være i forbindelse med frispark, hvor bolden skal trilles tilbage til det sted, hvor forseelsen blev begået. Indtil spillet sættes i gang igen, er der ingen grund til at belemre linjedommerne ved at indikere spillere i offside-position.

3.3. Overkroppens placering i forhold til fødderne

Det skal undersøges, hvordan det forholder sig med overkroppen, når man løber rundt på en fodboldbane og når man afleverer med eksempelvis hovedet. Dette kommer med stor sandsynlighed til at foregår ved at optage nogle typiske spilsценарier med et infrarødt optagesystem, som gemmer scenarierne som 3D-modeller. Efterfølgende skal modellerne analyseres for at bestemme placeringerne af overkrop i forhold til fødder for både forsvarsspillere og angrebsspillere. Inden optagelserne skal det planlægges, hvilke scenarier der er typiske i en fodboldkamp, og selve optagelserne tager også sin tid, hvilket også kan siges om analysen af billederne. Derfor kan vi nemt være i slutningen af maj, før kapitlet er færdigt, hvilket også hænger sammen med, at kun 33 % af tiden er afsat til specialeskrivning.

Med linjedommernes fejlmargen in mente kan det diskuteres, hvorvidt det er nødvendigt at få fastlagt overkroppens placering helt nøjagtigt, og om det gør en forskel, om

afleveringsøjeblikket er ti millisekunder før eller senere. Selvom systemet ikke lever 100 % op til fodboldloven, er det stadig langt bedre end hvad linjedommerne kan gøre. Jeg har også spurgt DBU om deres mening om dette, men under alle omstændigheder vil emnet blive diskuteret.

3.3.1. *Qualisys*

Systemet fungerer på den måde, at der påsættes markører på bestemte steder på kroppen, eksempelvis på skinnebenene, hvor Cairos' system jo har valgt at placere radiosenderne. Et antal kameraer placeret på strategiske steder sender infrarøde stråler ud, og markørerne reflekterer strålerne, hvormed afstanden til markørerne kan beregnes. Afstanden til markørerne til de forskellige kameraer samles i en computer, som ud fra alle positionerne kan beregne markørens placering i tre dimensioner.

3D-modellen af et optaget scenario kan herefter eksporteres til forskellige formater, heriblandt også tekstformat. Tekstfilen vil herefter kunne gives som input til en modificeret version af ScenarioSender, som kan parse filen og sende data som positioneringsdata.

3.4. Realtidskrav

[Larsen & Hansen] opstillede et krav om, at en offsidekendelse kunne distribueres ud til linjedommeren på under 1 sekund. Det lykkedes for dem med deres simple algoritme at udføre de nødvendige beregninger på under 1 millisekund. Da det er afleveringer, der sætter de andre algoritmer i gang, skal disse under alle omstændigheder kunne beregnes inden der kommer nye data. Frekvensen af afleveringer er dog lav, så de efterfølgende beregninger må gerne overskride tiden for den cyklus, som opdager afleveringer. Når blot offside-situationen er færdigberegnet inden den næste aflevering falder, er der ikke noget problem i at overskride deadline, så længe det ikke betyder, at der bliver en ophobning af udestående beregninger, eksempelvis i form af en masse data i netværksbufferne. Disse betragtninger forklares og diskuteres i dette afsnit.

4. Algoritmer

De algoritmer, der skal til for at detektere offside, beskrives med tekst og figurer i form af aktivitetsdiagrammer eller lignende i dette kapitel. Forskellige mulige løsninger til hvert problem vil blive afvejet i forhold til hinanden, og flere af dem kan måske endda supplere hinanden, hvormed der opnås bedre præcision i offsidevurderingerne.

Nogle af algoritmerne vil blive skrevet i to versioner, hvor af den ene kan bruges til test. Med optagesystemet fra Qualisys kan man sætte markører mange forskellige steder på medierne (fodboldspillere), og dette kan udnyttes til testformål, da det gør det muligt at få nøjagtige informationer om overkroppens placering. Frem for at skulle analysere videobilleder for at afgøre, om en angriber er nærmere mållinjen end næstsidste forsvarsspiller, kan dette arbejde nu gøres automatisk. Det kræver blot en mindre omskrivning af ScenarioSender, så den sender overkroppens placering i stedet for føddernes.

Hjælpealgoritmer til eksempelvis sortering af spillernes indbyrdes positioner vil også blive beskrevet i det omfang, der er brug for dem.

Hver enkelt algoritme vil sikkert kunne beskrives på et par sider, så alt efter antallet af alternativer vil kapitlet komme til at fylde 15-25 sider.

4.1. Sortering

[Larsen & Hansen] fandt frem til, at det ville være en fordel at sortere spillerne efter deres indbyrdes placering, og til dette formål valgte de QuickSort på grund af dens lave tidskompleksitet. Umiddelbart skulle jeg mene, det er unødvendigt at sortere spillerne for at finde frem til, om en af de to spillere, der er tættest på mållinjen, er fra det angribende hold. En test kan måske overbevise mig om noget andet.

4.2. Detektering af aflevering

Her skal der især tages højde for, at bolde kan ændre retning uden at have rørt en spiller, og at driblinger ikke forveksles med afleveringer. Desuden kan en spiller ikke være strafbart offside ved målspark, hjørnespark og indkast.

4.3. Bolden ude af spil

I forbindelse med frispark, målspark, indkast og hjørnespark stoppes spillet, men alligevel vil der komme data fra positioneringssystemet. Indtil spillet sættes i gang igen, vil det kun være til gene for linjedommerne, hvis de modtog kendelser om spillere i offsideposition.

4.4. Detektering af afleverende spiller

Eftersom spillernes positioner bestemmes ud fra deres fødder, er det i de fleste tilfælde let at finde ud af, hvem der afleverede bolden. Bolden kan imidlertid også spilles med hovedet eller ved at blive ramt i ryggen, og også i disse tilfælde skal den afleverende spiller kunne identificeres korrekt.

4.4.1. *Ud fra føddernes placering*

I et system der gør brug af data fra Cairos skal den afleverende spiller bestemmes ud fra føddernes positioner.

4.4.2. *Ud fra omfattende data*

Qualisys kan levere positioner på et vilkårligt antal steder på kroppen, og på den måde skulle det være muligt at bestemme den afleverende spiller med stor præcision.

4.5. Bestemmelse af afleveringens retning

En angriber kan kun være i aktiv offsideposition, hvis bolden spilles til ham, og derfor kan afleveringer, som på grund af retning eller fart aldrig vil kunne nå frem til spilleren, sorteres fra. Dette strider godt nok mod indledningen, hvor det blev beskrevet, at den aktiv-passive del af offsidereglen ikke ville indgå i systemet, men for at belaste linjedommerne mindst muligt, kan de helt åbenlyse passive offsidekendelser godt sorteres fra. Angriberen skal i øvrigt også befinde sig foran bolden, og her skal der tages højde for boldens omfang i forhold til spillerens placering.

4.6. Bestemmelse af modtagende spillers position

Positionen på den spiller, der afleveres til, skal bestemmes ud fra hans fødders placering på banen. Denne algoritme findes i to versioner – en der skal modtage data som fra Cairos' system, og en der kan bruges til test.

4.6.1. *Ud fra føddernes placering*

Denne fremgangsmåde skal benyttes i et endeligt system, da Cairos kun giver information om føddernes placering. Overkroppen skal altså beregnes ud fra, hvor fødderne befinder sig.

4.6.2. *Ud fra overkroppens placering*

Qualisys kan levere data om overkroppens placering, og derfor vil denne algoritme kunne give et nøjagtigt svar på, hvor spilleren befinder sig.

4.7. Detektering af offside

Når alle disse algoritmer er fastlagt, er det muligt at samle dem i en større sammenhæng, som gerne skulle kunne sende indikationer til linjedommerne hvis og kun hvis en spiller er offside.

5. Prototyper

Designet af de udviklede prototyper forklares i dette kapitel. Desuden forklares det, hvordan systemerne hænger sammen indbyrdes, og hvordan de kommunikerer med hinanden. Samlet set kan kapitlet forventes at komme til at fylde 20-25 sider inklusive klassesdiagrammer.

Designet af prototyperne fra [Larsen & Hansen] ligger til grund for disse prototyper, så anvendeligheden og muligheden for videreudvikling vil blive diskuteret.

5.1. ScenarioGenerator

Denne prototype vil ikke blive benyttet, da der er adgang til realistiske data fra Qualisys og måske også Cairos.

5.2. ScenarioSender

Afhængigt af, om det bliver Cairos eller Qualisys, der leverer filen med positioneringsdata, skal ScenarioSender sende disse data til DommerstøtteSystem i realtid.

Der vil skulle laves en version til at afspille positioneringsdata med kun føddernes placering, men til testformål skal der laves en anden version, som kan levere mere nøjagtige data om positioner flere steder på kroppen.

5.3. DommerStøtteSystem

Her beskrives arkitekturen for den væsentligste prototype, som står for selve det at lave offsidekendelser.

Også denne prototype skal laves i to versioner, så et endeligt system kan testes i forhold til et mere detaljeret system, som dog ikke kan bruges i praksis på grund af den til rådighed stillede mængde data.

5.4. Visualizer

Denne prototype vil nok ikke have ændret sig en helt masse i forhold til [Larsen & Hansen]. Den skal indstilles til at kunne modtage data i et lidt andet format på grund af at z-koordinaten på bolden også fremgår af de fra ScenarioSender afsendte data, og desuden skal det fremgå, hvilke spillere, der vurderes til at være offside. Visualizer skal sikkert indstilles til at kunne modtage to forskellige dataformater.

6. Test

På baggrund af data fra Qualisys og måske Cairos skal pålideligheden af DommerStøtteSystem vurderes. Dette gøres ved at sammenligne systemets resultater med resultaterne fra testudgaven af prototyperne. Til at vurdere, hvem den afleverende spiller er, er en menneskelig vurdering af situationerne på baggrund af 3D-modellen nødvendig. Da der ikke findes et system, der kan afgøre sådanne situationer 100 % korrekt, må systemets pålidelighed vurderes ud fra grundig analyse af videobilleder af spilsituationerne.

Hver enkelt algoritme fra kapitel 4 kan testes på denne måde, og derved kan opnås et billede af, hvor godt DommerStøtteSystem vil kunne gøre det i en virkelig situation. 3-5 typiske scenarier vil skulle beskrives, mens de samlede resultater kan opsummeres i et enkelt afsnit, hvormed 15-20 sider skulle være fyldt.

Da scenarierne optaget med Qualisys ikke helt kan betragtes som realistiske spilsituationer, kunne det være interessant også at teste algoritmerne med data fra en virkelig kamp optaget med Cairos' system. Her vil det være nødvendigt at have videobilleder af kampen for at kunne vurdere, om DommerStøtteSystem træffer de rigtige beslutninger.

6.1. Scenario 1

Ud fra videobilleder vurderes det, hvornår og af hvem bolden er blevet spillet, hvilken retning bolden spilles i, og om der findes en angriber i offsideposition. Ud fra disse data bedømmes det, om der er tale om offside.

Herefter sættes systemet til at afgøre samme situation, og resultaterne sammenlignes.

6.2. Scenario N

Ud fra videobilleder vurderes det, hvornår og af hvem bolden er blevet spillet, hvilken retning bolden spilles i, og om der findes en angriber i offsideposition. Ud fra disse data bedømmes det, om der er tale om offside.

Herefter sættes systemet til at afgøre samme situation, og resultaterne sammenlignes.

6.3. Testresultater

I dette afsnit vurderes resultaterne af de 20-25 scenarier, der i alt er blevet testet. Dette vises med skemaer over succesraten for hver enkelt algoritme og den overordnede offside-detekteringsalgoritme. Dermed er det muligt at finde områder, der skal forbedres for at algoritmerne kan anvendes i topfodbold.

6.4. Realtidskrav

Det skal undersøges, om systemet kan leve op til kravet om at afgøre offside-situationer på under 1 sekund. Dette gøres ved at sætte timere til at måle, hvor lang tid det har taget at udføre de nødvendige beregninger, og ud fra disse målinger forudsige, hvorvidt der kan opstå situationer, hvor systemet ikke kan følge med.

7. *Fremtidigt arbejde*

Her beskrives det, hvilket arbejde, der mangler at blive udført, før prototyperne kan implementeres i et virkeligt system. Om alt går vel, skal der blot mere udførlige test til at verificere de udviklede algoritmer.

I et samlet system til brug i virkelighedens verden skal systemets kendelser formidles videre til dommertrioen, og dette skal ske uden at omverdenen kan opsnappe eller manipulere kendelserne. Grænsefladen til linjedommerne kan laves på flere måder, f.eks. så de får at vide, hvor mange spillere, der står offside. Cairos' system kan eventuelt også bruges til at afgøre, om bolden har været i mål, ligesom systemet muligvis kan overføres til andre sportsgrene. Andre ideer til indhold til dette kapitel vil dukke op undervejs, hvorfor det ikke bør tage mere end et par dage at fylde ord på ideerne.

8. Konklusion

Dette kapitel kommer naturligvis til at fungere som specialets konklusion, men i denne aflevering er formålet mere at vise tidsplanen i overskuelig form.

Indtil juni har jeg andre fag, hvorfor jeg kun kan bruge 33 % af tiden på at skrive speciale. I september og oktober har jeg 67 % af tiden til at skrive speciale i, mens juli-august og november-december er afsat kun til specialeskrivning.

Opgaver, der skal udføres:

April-juli - kravspecifikation:

Planlægge, optage og analysere scenarier for at bestemme overkroppens placering i forhold til fødderne

Planlægge og optage spilsituationer til brug i test

Undersøge virkemåden af DommerStøtteSystem

Hvis de ønsker at samarbejde, skal dataformat og lignende fra Cairos undersøges

Undersøge dataformat og lignende fra Qualisys

Definere realtidskrav

August - forberedelse af prototyper:

Undersøgelse af prototypernes arkitektur og mulighed for udvidelse

ScenarioSender skal kunne læse en tekstfil fra Qualisys og sende data – to versioner

DommerStøtteSystem og Visualizer skal kunne modtage data i det rigtige format – to versioner (en til algoritmerne, en til testalgoritmerne)

September-oktober - algoritmer:

Så mange som muligt (minimum fire) af følgende iterationer bestående af design, implementation, test og beskrivelse af algoritmer (helst flere, så de kan supplere hinanden) til offsidedetektering

1. Offsidedetektering – den overordnede algoritme
2. Detektering af aflevering
3. Bestemmelse af modtagende spillers position – to versioner
4. Afleverende spiller – to versioner
5. Afleveringens retning
6. Bolden ude af spil

Eventuelt implementere ny ScenarioSender, som kan sende Cairos-data, som så kan testes i forhold til videobilleder

November - test:

Beskrive arkitektur af prototyper

Teste og vurdere præcisionen af de udviklede algoritmer samt om realtidskrav overholdes

December - færdiggørelse af rapport:

Læse korrektur, skrive indledning, fremtidigt arbejde, konklusion

12. december:

Aflevering

9. Litteratur

World Congress of Science and Football I-V, 1988-2005

bind III og IV bestilt hjem 15/2

bind I-IV findes på Statsbiblioteket, men lånes ikke ud

[Wesson]

The Science of Soccer by J Wesson, 2002

bestilt 15/2

Information om Cairos

Information om Qualisys

GoF – design patterns

POSA2

OnTime – realtidsstyresystemet RTOS32

[Adam]

David Adam, *Football hazy*, Nature, marts 2000

http://www.nature.com/news/2000/000302/pf/000302-10_pf.html

[Berendt, 2003]

Lars Berendt, *DBU forventer underskud på 8 millioner*, Dansk Boldspil Union, september 2003 <http://www.dbu.dk/news/newsShow.aspx?id=2243>

[Berendt, 2004]

Lars Berendt, *2,3 millioner for at vinde EM*, Dansk Boldspil Union, maj 2004 <http://www.dbu.dk/news/newsShow.aspx?id=21617>

[euro2004.com]

UEFA's website om EM-slutrunden i Portugal i 2004

<http://www.euro2004.com/tournament>

[Fodboldloven]

Fodboldloven, 55. udgave, 2004/2005, Dansk Boldspil Union

<http://www.dbu.dk/data/dbu/filedb/791.pdf>

[Larsen & Hansen]

Gert Vestergaard Larsen og Søren Thestrup Hansen. *Computerbaseret offsidedetektering i fodbold - En undersøgelse af realtidskrav og definering af algoritmer*, 2004

http://www.topscorer.dk/offside/Computerbaseret_offsidedetektering_i_fodbold.pdf

[Maruenda]

Francisco Belda Maruenda, *Can the human eye detect an offside position during a football match?*, British Medical Journal, vol. 329, s. 1470-1472, 18. december 2004

<http://www.pubmedcentral.gov/articlerender.fcgi?tool=pubmed&pubmedid=15604187>

<http://bmj.bmjournals.com/cgi/eletters/329/7480/1470#92782> (FJERNES IGEN)

[McNulty]

Phil McNulty, *Blatter rules out video aid*, BBC Sport Online, 27. juni 2002

http://news.bbc.co.uk/sport3/worldcup2002/hi/other_news/newsid_2069000/2069578.stm

[Oudejans et al.]

Raoul R. D. Oudejans, Raymond Verheijen, Frank C. Bakker, Jeroen C. Gerrits, Marten Steinbrückner, Peter J. Beek, *Errors in judging 'offside' in football*, *Nature*, vol. 404, s. 33, 2. marts 2000, <http://www.rps.as/rpsmedia/offside.pdf>

[Spiegel]

Spiegel Online, *FIFA testet intelligenten Ball*, 26. februar 2005, <http://www.spiegel.de/sport/fussball/0,1518,343922,00.html>