

Computerbaseret offsidedetektering i fodbold – optimering af et dommerstøttesystem

1. Indledning.....	3
1.1. Problemformulering.....	5
1.2. Metode.....	6
1.3. Læsevejledning.....	7
1.3.1. Forudsætninger	8
2. Offsidereglen	9
2.1. Fodboldlovens § 11	9
2.1.1. Eksempel	9
2.2. Præcisering af § 11	10
2.2.1. Nærmere	10
2.2.2. Bolden røres	12
3. Undersøgelse	13
3.1. Cairos	13
3.1.1. Teknik	13
3.1.2. Services.....	15
3.2. DommerStøtteSystem	16
3.2.1. Nærmere	16
3.2.2. Afleveringstidspunkt	16
3.2.3. Afleverende spiller.....	16
3.2.4. Design	17
3.3. Bevægelsesanalyse	17
3.3.1. Qualisys.....	19
3.3.2. Analysesoftware.....	23
3.3.3. Almindeligt løb.....	24
3.3.4. Retningsskift	26
3.3.5. Acceleration	26
3.3.6. Nærkamp.....	26
3.3.7. Hovedstødsduel	27
3.3.8. Delkonklusion	28
3.4. Realtidskrav	29
4. Algoritmer.....	30
4.1. Sortering	30
4.2. Detektering af aflevering.....	30
4.3. Bolden ude af spil	30
4.4. Ude af banen.....	30
4.5. Detektering af afleverende spiller	30
4.5.1. Ud fra føddernes placering.....	31
4.5.2. Ud fra omfattende data	31
4.6. Bestemmelse af afleveringens retning.....	31
4.6.1. Undersøgelse af boldens bane i forhold til fart og vinkel.....	31
4.7. Bestemmelse af modtagende spillers position.....	31
4.7.1. Ud fra føddernes placering.....	31
4.7.2. Ud fra overkroppens placering.....	31
4.8. Detektering af offside	31
5. Prototyper.....	32
5.1. ScenarioGenerator	32
5.2. ScenarioSender	32
5.3. DommerStøtteSystem	32

5.4. Visualizer	32
6. Test	33
6.1. Scenario 1	33
6.2. Scenario N	33
6.3. Testresultater	33
6.4. Realtidskrav	33
7. Fremtidigt arbejde	34
8. Konklusion	35
9. Appendiks	37
9.1. Dataudglatning	37
9.2. Afstandsberegning	38
10. Litteratur	40

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 offsidetituationer, og da offsidetituationer 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.

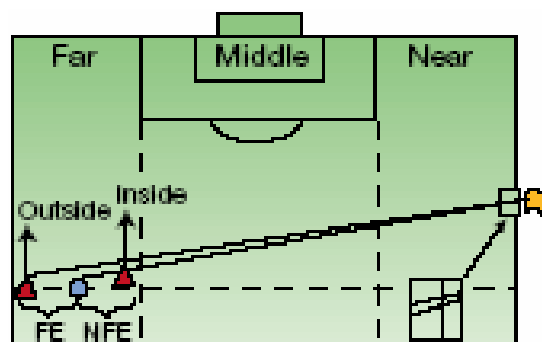
Også de retfærdighedssøgende har interesse i, at det hele går korrekt til. Fair play er et stort tema hos verdensfodboldforbundet FIFA, og bestemt også hos den klub, der går glip af store indtægter på grund af et mål scoret af modstanderne efter en offside, der ikke blev dømt, eller fordi de mangler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

Offsidereglen 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.

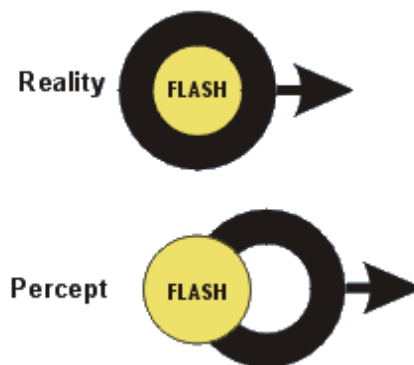
Linjedommerne tager fejl

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.].

En anden forklaring på linjedommerens fejlskøn findes i [Baldo et al.], og her er det den menneskelige opfattelsesevne, der menes at være fejlkilden. Der findes et fænomen kaldet *flash-lag effect* (glimt-forsinkelses-effekten), hvor et objekt i bevægelse opfattes som værende foran dets egentlige placering ved en kortvarig stimulus såsom blinket i Figur 1.2. Der findes mindst fire forskellige forklaringer på denne effekt, men fælles for dem alle er, at objekter i bevægelse og kortvarige stimuli ikke opfattes på samme tid. Overført til fodbold er de bevægelige objekter fodboldspillerne, mens den blinkende stimulus er en aflevering. [Baldo et al.] anslår forskellen mellem en spillers reelle placering og hans opfattede placering til at være mellem 2 og 64 cm. Denne forskel kan være med til at forklare skævheden i [Oudejans et al.] i fordelingen af fejlkendelser, hvor linjedommerens flag blev hævet henholdsvis ikke hævet.



Figur 1.2 – Flash-lag effect. Cirklen i bevægelse opfattes som værende længere mod højre end den blinkende cirkel, selvom de i virkeligheden er placeret over hinanden. Kilde: [Eagleman & Sejnowski].

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 kan være en tredje årsag til fejlkendelser. Det tager mindst 160 millisekunder at flytte øjnene, og i dette tidsrum kan en gennemsnitsspiller flytte sig mere end en meter. Afstanden mellem to spillere, der løber hver sin vej, kan altså ændre sig med over to meter, mens linjedommeren flytter sine øjne¹. Figur 1.3 og Figur 1.4 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 1.3 – Øjeblikket før afleveringen. Angriberen er på den rigtige side. Kilde: [Maruenda].



Figur 1.4 – Øjeblikket efter afleveringen. Forsvarskæden er rykket frem, mens angriberen er løbet i modsat retning. Kilde: [Maruenda].

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

Ofte 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 linjedommernes arbejde, men på ingen måde gøre dem overflødige. Det vil stadig være en vurderingssag, om en spiller i offsideposition 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.

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 realtidsskrav 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. Realtidsskravet 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 aktive-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 offsidetetektering 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 1.5.

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 offsidetetektering 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 Cairos, som et virkeligt system vil skulle bygges over, og af den grund kan data også bruges som input til testalgoritmer.

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.

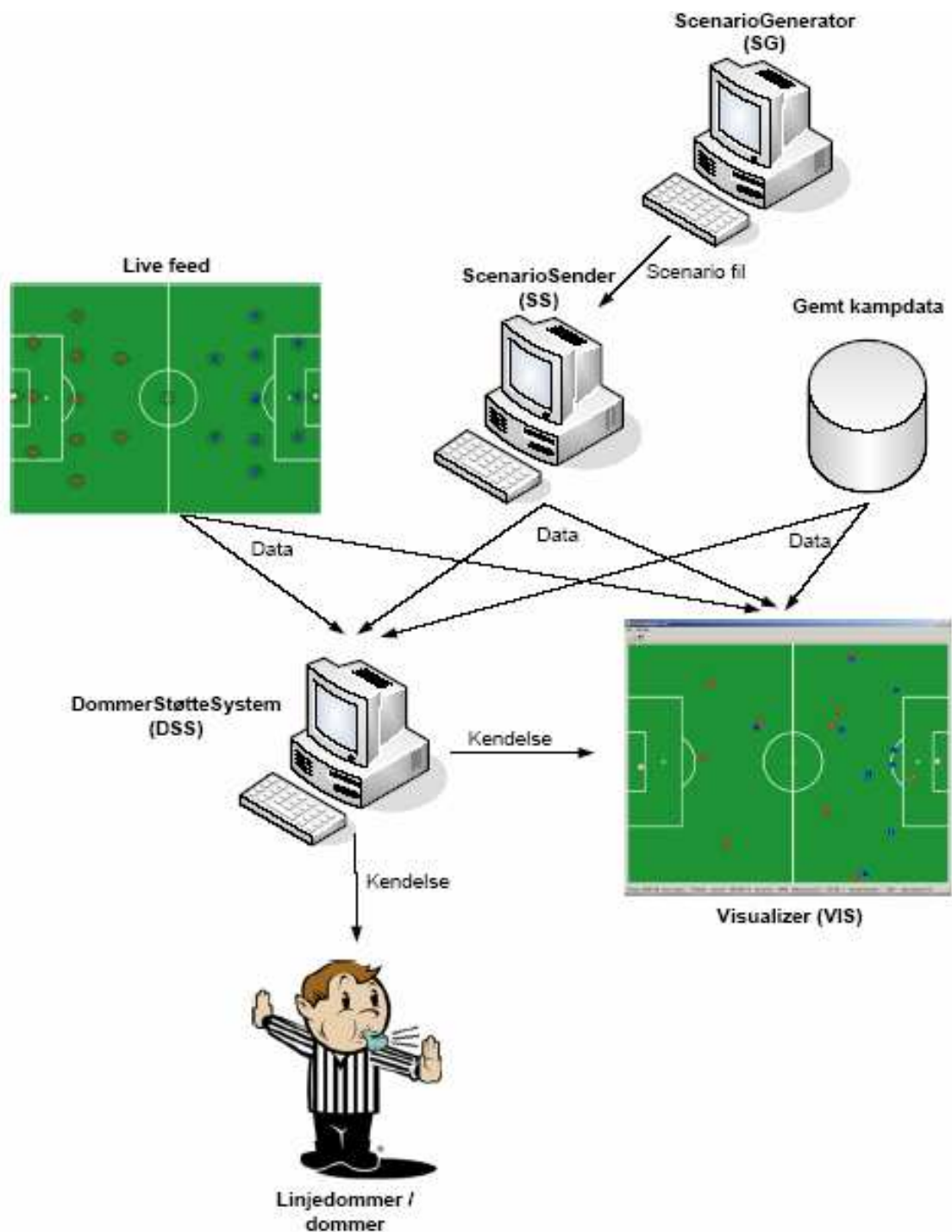
ScenarioSender

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 offsidetetekteringen. Disse strategier skal videreudvikles for at imødekomme de ændringer, som er nødvendige for at systemet bliver tilstrækkeligt pålideligt.



Figur 1.5 – Systemoversigt fra [Larsen & Hansen].

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 – Algoritmer

Da kravene til systemet nu er fastlagt, er det muligt at gå i dybden med at designe de algoritmer, automatisk offsidetektering 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 5 – Prototyper

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

Kapitel 6 – 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 7 – 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 8 – 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. Offsidereglene

Formålet med offsidereglene 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 offsidereglene, 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 reglene.

I [Larsen & Hansen] foretages der valg vedrørende fortolkning af afleveringsøjeblik og det at være nærmere målet end næstsidste modspiller. Disse valg vil blive diskuteret i dette kapitel.

2.1. Fodboldlovens § 11

[Fodboldloven] forklarer spillets regler og er noget nær en direkte oversættelse af FIFA's regelsæt, som anvendes over hele verden. § 11 beskriver offsidereglene 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 næstsidste modspiller

En spiller er ikke i offsideposition, hvis:

- han er på egen banehalvdel, eller
- han er på linje med næstsidste 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 modspiller, 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 røre bolden, *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 offsidereglene 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 blåts 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 reflekterede 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.

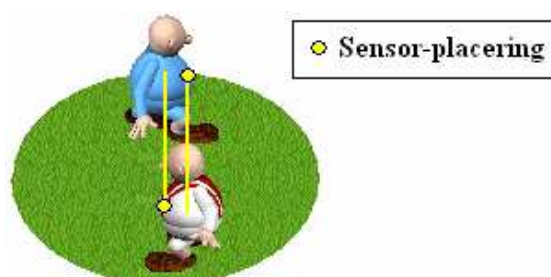
2.2. Præcisering af § 11

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 offsideposition skal angriberen befinde sig tættere på modstandernes 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, idet der blot skal kigges på x-koordinaten (banens længderetning).

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. Figur 2.2 viser en situation, hvor spillernes orientering vil føre til en fejlkendelse.

En spillers placering kan altså ikke udledes ud fra en enkelt sender placeret på eksempelvis hans brystkasse, fordi hans krop har et vist omfang. I [Fodboldloven, s. 46] fortolkes 'nærmere' med følgende tekst:

En spiller er ikke længere på linje med en modspiller, når den overvejende del af hans krop har passeret modspillerens krop.

Denne formulering er stadig ikke præcis nok, men i [mail fra DBU] gives en entydig forklaring:

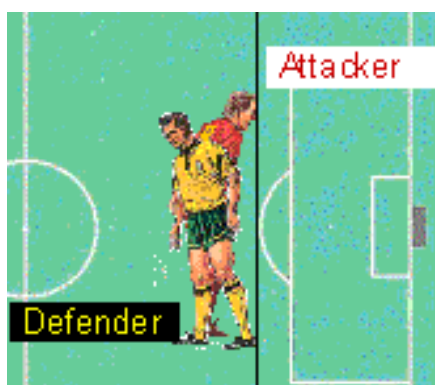
Principielt klapper fælden, når 51 % af angriberens torso har passeret det punkt af forsvarerens torso, som er nærmest egen mållinje.

Kroppen er altså defineret som torsoen, mens 'den overvejende del' helt præcist er over halvdelen. Dette er tilstrækkeligt præcist til at et computersystem kan forstå det, så hvis systemet fodres med de fornødne data, er det let at afgøre, om en angriber er i offsideposition. [Den røde tekst i dette afsnit er den gamle fortolkning af offsidereglen]

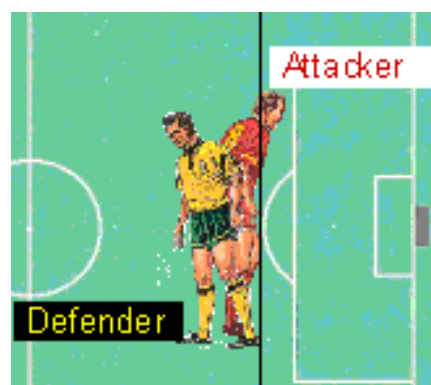
Indtil for nylig har det været op til de nationale fodboldforbund at definere deres egen version af 'nærmere', men i den seneste udgave af fodboldloven har FIFA vedtaget en fortolkning, som fremover skal benyttes over hele verden. [En eller anden reference – måske skal blokteksten også skiftes ud] forklarer den officielle fortolkning således:

Fremover er man nærmere, når nogen del af hoved, krop eller fødder har passeret modspilleren (og bolden). Armene tæller ikke med – dem spiller man jo ikke fodbold med.

Figur 2.3 og Figur 2.4 forklarer bedre end ovenstående forklaring, hvad det vil sige at være nærmere modstandernes mållinje end en forsvarsspiller. Det er altså det punkt på spillerens krop (bortset fra armene) der er nærmest mållinjen, en eventuel offsideposition vurderes ud fra.



Figur 2.3 – Angriberen (den røde spiller) er ikke i offsideposition [Kilde: FIFA].



Figur 2.4 – Angriberen er i offsideposition [Kilde: FIFA].

Dette speciale tager sit udgangspunkt i 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 (undersøges nærmere i afsnit 3.1) skal spillerne bære en sender i hver benskinne, og det er således føddernes placering, spillernes positioner skal findes ud fra. Dermed rejses spørgsmålet, hvor kroppen 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 3.2 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, offsidepositionen skal vurderes, er det vigtigt at få dette øjeblik præciseret. Dette øjeblik vil i dette speciale blive omtalt som afleveringsøjeblikket, men afleveringen behøver ikke være tilsigtet, og principielt hører driblinger også med i kategorien af tilfælde, hvor bolden røres. Bliver en angrebsspiller ramt af bolden – eksempelvis når en forsvarer forsøger at sparke den ud af forsvarszonen – vil denne berøring i lige så høj grad som et almindeligt spark betegnes som en aflevering.

I [Larsen & Hansen, s. 27] vælges det at bestemme afleveringsøjeblikket som det tidspunkt, hvor spillerens støvle ikke længere har kontakt med bolden. 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. **De har også referencer til litteratur.**

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. Dette gælder i øvrigt uanset boldens fart ved nedslaget. Ved et spark til bolden er kontakten rundt regnet en hundrededel af et sekund [Wesson, s. 19], hvilket kan tolkes til at være en smule længere. Igen gælder det, at kontakttiden er omtrent konstant, så et hårdere spark forøger ikke tidsrummet med kontakt med bolden – kun boldens fart forøges.

[Larsen & Hansen, s. 67] benytter 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.

DBU's opfattelse af afleveringstidspunktet stemmer ikke overens med den i [Larsen & Hansen]. [mail fra DBU] formulerer en aflevering som følger:

'At røre bolden' kan [...] nagelfast defineres som det øjeblik, hvor den første kontakt opstår mellem bold og medspiller – og ikke i det øjeblik, hvor bolden slipper medspilleren (afleveringen foretages).

Denne formulering medfører visse komplikationer i forhold til den fra [Larsen & Hansen]. I det øjeblik, hvor bolden og foden ikke længere har kontakt, er det nemlig let at detektere en aflevering. Når afleveringen er detekteret, gælder det blot om at undersøge spillernes placering for at finde ud af, om en medspiller til den afleverende befinder sig i en offsideposition.

Når afleveringstidspunktet defineres som det øjeblik, hvor der opstår kontakt, kan en aflevering ikke umiddelbart detekteres. Der vil gå nogle millisekunder inden det bliver opdaget, at bolden har ændret retning eller fart, og dermed er det nødvendigt at have historiske data for spillernes placeringer. Efter detektering af en aflevering skal der nemlig bestemmes et tidspunkt, hvor kontakten med bolden opstod (dvs. en hundrededel af et sekund tidligere), og det er spillernes placeringer på dette tidspunkt, offsidetituationen skal vurderes ud fra.

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.

3.1. Cairos

I [Larsen & Hansen, s. 21] blev positioneringssystemet fra Cairos valgt som værende det mest egnede til at levere positioneringsdata fra fodboldkampe. Dette afsnit vil afdække de facetter af systemet, der har betydning for designet af algoritmerne til offsidetetektering.

I første omgang blev radiobaserede systemer foretrukket frem for videobaserede systemer på grund af at, opdateringsfrekvensen i videobaserede systemer gør præcisionen for lav. Videobaserede systemer har endvidere den ulempe, at det kan risikeres at der ikke kan gives positioneringsdata om bolden, hvis der står spillere i kameraernes synsvinkel.

Af de radiobaserede positioneringssystemer var Cairos' det mest præcise med en fejlmargen på +/- 1,5 cm [Cairos] og er endvidere det eneste radiobaserede system, der går brug af chips så små og robuste, at de kan integreres i bolden og levere data om boldens position. Derfor er det oplagt at basere de nødvendige algoritmer i et offsidetetekteringssystem på et system som Cairos'.

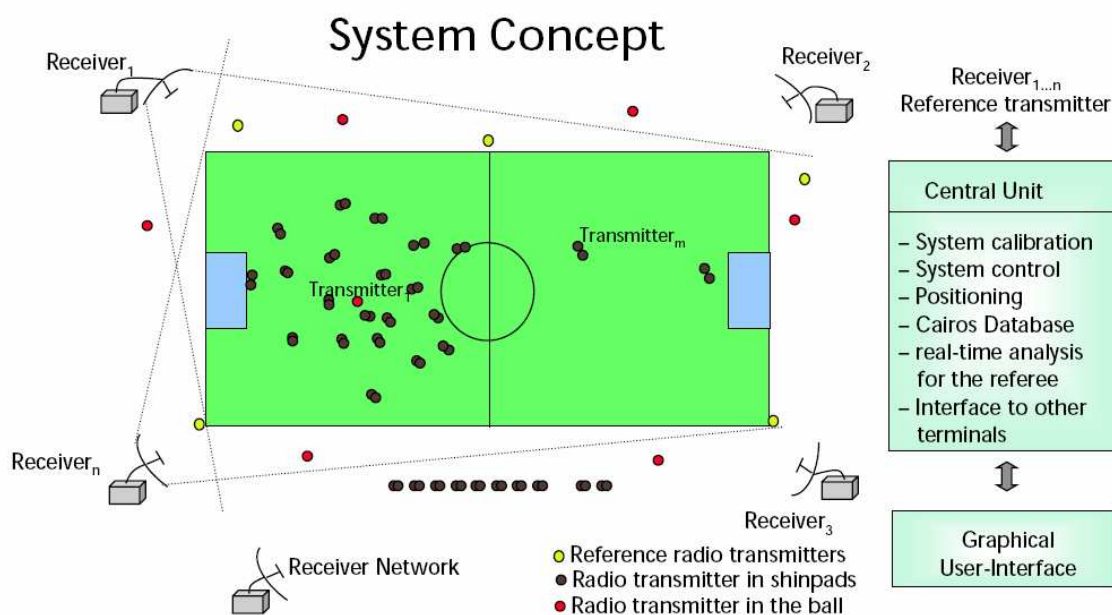
Cairos' system er ikke kun et positioneringssystem, men består også af en række applikationer [Cairos2], der gør brug af de opsamlede positioneringsdata i realtid. Dataene kan eksempelvis bruges til at levere information om spillernes fart og bevægelsesmønstre, fart og præcision i skud på mål og afleveringer, boldbesiddelse for hvert af de to hold samt andre relevante statistikker, som kan bruges i for eksempel tv-transmissioner. Det er også muligt at lave 3D-animationer til brug som langsomme gengivelser eller til senere kampanalyse.

Endvidere kan systemet hjælpe dommeren ved at fortælle om bolden har passeret mållinjen og der derfor er mål, og om forsvarsmuren står de nødvendige 9,15 meter fra det sted, hvor et frispark skal sparkes. Cairos er dog ikke nået så langt i udviklingen, at de kan hjælpe linjedommeren med at dømme offside.

3.1.1. Teknik

Systemet er som nævnt baseret på radioteknologi, og radiosenderne i bold og spillere er gjort så simple som muligt for at mindske størrelse og batteriforbrug [von der Grün, s. 7]. Derfor er radiosenderne lavet som *transmittere*, hvilket vil sige, at de ikke har anden funktionalitet end at sende deres ID ud med en vis frekvens. De forskellige radiomodtagere i modtager-netværket opfanger dette radiosignal med hver sin forsinkelse, og ud fra forsinkelserne i hver enkelt modtager kan den centrale enhed beregne positionen på radiosenderen.

Udover bold og spillere er der også radiosendere i et antal reference-sendere (de gule i Figur 3.1). Reference-sendere står på faste og i forvejen kendte positioner og sender deres positioner, som så kan bruges til automatisk, løbende kalibrering af det samlede positioneringssystem.

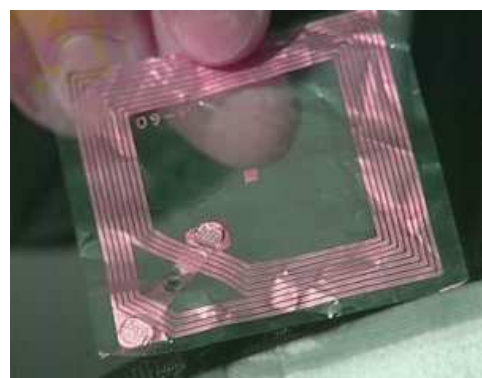


Figur 3.1 – Systemoversigt for Cairos. Kilde: [Cairos].

Kommunikationen mellem modtagerne og den centrale enhed foregår gennem et højhastighedsnetværk, og består dels af forsinkelsen for alle radiosenderne, dels af synkroniseringssignaler fra den centrale enhed, så alle modtagere er enige om tiden.

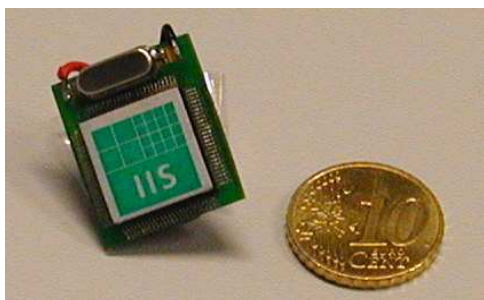
Hver spiller bærer to radiosendere som den i Figur 3.2 – en i hver benskinne. Benskinnerne er valgt til at repræsentere spillernes positioner, og det gør det eksempelvis muligt at beregne skridtlængde (som kan give indikationer om træthed til spillerens træner) og den fart, foden rammer bolden med, når der sparkes eller tackles.

Benskinnerne har ydermere den fordel frem for andre dele af beklædningen, at de meget sjældent skiftes i løbet af kampen. Man kan komme ud for, at spillerne skifter fodboldstøvler undervejs, fordi de har valgt støvler med en forkert længde knopper. Er knopperne eksempelvis for korte og banen meget blød, kan man risikere at glide og komme til skade. Strømper, bukser og trøjer bliver ofte skiftet i pausen, fordi de er blevet våde og beskidte, og så er der kun benskinnerne tilbage af den obligatoriske påklædning.



Figur 3.2 – Cairos radiosender. Kilde: [Cairos].

Radiosenderne kan konfigureres til at sende signaler op til 750 gange pr. sekund [Cairos], og med den frekvens kan en spiller højst nå at bevæge sig 1,67 cm – svarende til positioneringssystemets usikkerhed – mellem to samples. Dette er beregnet ud fra en hastighed på 9 sekunder pr. 100 meter, og det kan ikke engang de hurtigste mennesker i verden nå op på [Larsen & Hansen, s. 36].



Figur 3.3 – Cairos radiosender til brug i boldene, med en 10 eurocent-mønt ved siden af. Kilde: [Cairos].

For boldens vedkommende bruges en radiosender som vist i Figur 3.3. Med sine beskedne 2*2*0,5 cm og en vægt på 12 gram [Cairos] skulle det være muligt at indlejre chippen i centrum af en fodbold uden at ændre på boldens egenskaber². Sådan en bold har Cairos, deres normale samarbejdspartner Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen samt adidas (der producerer sportsudstyr) udviklet i samarbejde, og til efterårets verdensmesterskaber for U/17-landshold skal denne bold testes [FIFA]. Formålet er at hjælpe dommerne ved at give besked, når bolden har passeret mållinjen, og derfor vil eksperimentet også fungere som test af Cairos'

positioneringssystem. Forløber testen – som i øvrigt er bemyndiget og overvåget af FIFA, der er fodboldens højeste instans – som planlagt, vil bolden og systemet kunne tages i brug til fodbold-VM i Tyskland i sommeren 2006.

Radiosenderen i bolden kan sende signaler op til 2.000 gange pr. sekund [Cairos], hvilket tillader en bold at bevæge sig 2,08 cm mellem to samples [Larsen & Hansen, s. 37]. Denne distance er beregnet ud fra en hastighed på 150 km/t, og et spark med så høj fart ses yderst sjældent.

Levetiden for et fuldt opladet batteri i en radiosender i en bold er omtrent fire timer ved en samplingsfrekvens på 2.000 Hz [Cairos]. Dette rækker så rigeligt til en fodboldkamp, som allerhøjest kan nå op på tre timers varighed, når der indregnes tid til både den ordinære kamp, eventuel forlænget spilletid og straffesparkskonkurrence samt de mellemliggende pauser. Batterierne til radiosenderne i benskinnerne antages at have omtrent samme levetid på en fuld opladning.

3.1.2. Services

At dømme ud fra [Cairos2, s. 8] indeholder Cairos-systemet en mekanisme til at genkende begivenheder som afleveringer, indlæg, driblinger og skud på mål. Denne mekanisme gør det muligt at forsyne applikationer med data på et højere niveau end blot positioner, når en begivenhed på banen indtræffer. For en afleverings vedkommende kunne højniveau-data eksempelvis bestå af boldens fart og retning, den afleverende spiller og hans fart samt det sted, bolden sandsynligvis vil lande.

Som det var tilfældet for [Larsen & Hansen] har Cairos ikke ønsket at medvirke til dette speciale, og selvom de gjorde, kunne mekanismen ikke nødvendigvis bruges til offsidetetektering. I forbindelse med offsidetituationer vil notifikationer om detekterede afleveringer ikke være tilstrækkeligt, da alle boldberøringer som forklaret i afsnit 2.2.2 tæller på lige fod med afleveringer.

Man kan ikke forvente, at et andet positioneringssystem end Cairos' kan tilbyde en mekanisme som denne, så i dette speciale vil algoritmerne blive baseret udelukkende på rå positioneringsdata. For at være sikker på at alle boldberøringer opfanges og at det rigtige øjeblik bedømmes som afleveringsøjeblikket, vil der altså i dette speciale skulle laves en nogenlunde tilsvarende mekanisme, men specialiseret til offsidetetektering.

² En anden mulighed kunne være at beregne sig frem til boldens centrum. En fodbold er dækket af 32 små fem- og sekskantede lapper, som er syet sammen og omkranser en gummibold, der pumpes til et lufttryk på 1,6-2,1 atmosfære, hvilket gør at bolden kan hoppe [Wesson, s. 4]. En lap på hver sin side af bolden kunne udstyres med en radiosender som den i Figur 3.2, og boldens centrum ville dermed være gennemsnittet af de to radiosenders placeringer. Radiosenderen i Figur 3.3 er en forholdsvis intelligent chip, der kan give oplysninger om boldens lufttryk, spin, fart og acceleration [Cairos], men positionen på boldens centrum er tilstrækkeligt til offsidetetektering.

3.2. 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.

1000 Hz for både bold og spillere [24]

Kun (x,y) [24]

Én pakke [24]

Fast mål på banen [25] i cm

Spillere og bold er et punkt [26] – spillerens bryst

Først bold, så spiller [32] fair nok, for man kan alligevel ikke se, om angribere generer

Opdage offside indenfor 1 s. efter *afleveringen* [32]

Dommeren betragtes ikke, og dødbolde ej heller [33]

Kommunikationstid [34]

Kun acceleration [40] 10 m/s over 10 ms [67]

Positioneringssystem giver timetamps [40]

Multicast UDP [43] TCP/Ethernet

Persistering [56]

Strategy Pattern? [59]

Cirkulær buffer af størrelse 11 svarende til 10 ms [59]

Preemptive scheduling [63]

Kryptering af signal til linjedommer [63]

3.2.1. 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.

3.2.2. Afleveringstidspunkt

Defineres som det øjeblik, hvor bold og støvle ikke længere har kontakt [27]. 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 offsidealgoritmen, vil systemet ikke opdage en eventuel offside.

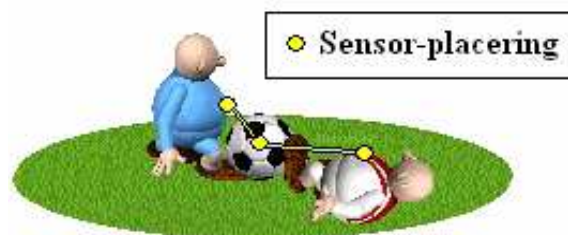
Bolden kan eksempelvis afleveres ved at en lang fremlægning spilles videre med hovedet, hvorved den kun skifter retning, og altså ikke fart. Ydermere kan retningsskiftet risikere kun at foregå i z-koordinaten, mens boldens (x, y)-retning forbliver uændret.

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.

3.2.3. Afleverende spiller

Her udvælges den spiller, hvis brystkasse (hvor chippen sidder) er nærmest bolden i (x, y)-planet [27]. 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 3.4 – 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].

3.2.4. Design

Datakommunikation og meget andet.

3.3. Bevægelsesanalyse

Som beskrevet i afsnit 2.2.1 afgøres en spillers eventuelle offsideposition af det punkt på spillerens hoved, krop og fødder, som er nærmest mållinjen. Positioneringssystemet fra Cairos benytter sig, jf. afsnit 3.1.1, af radiosendere i benskinerne til at bestemme spillernes positioner, hvilket ikke umiddelbart er tilstrækkeligt til at afgøre en eventuel offsideposition. I dette afsnit vil det blive undersøgt, om det er muligt at udlede punktet nærmest mållinjen ud fra oplysningerne om spillernes fødder samt deraf afledte informationer såsom retning, hastighed og acceleration.

Til undersøgelserne benyttes et system fra svenske Qualisys [henvisning], som normalt bruges til at analysere bevægelser inden for idrætten. Det kan for eksempel være vægtløftning eller løb, hvor uhensigtsmæssige bevægelser kan medføre dårlig kraftudnyttelse eller højt energiforbrug og deraf følgende ikke-optimal præstation, og i værste fald skader. I systemet benyttes en række infrarøde kameraer til at skabe en 3D-model af bevægelserne, som opfanges ved hjælp af reflekterende markører på udvalgte steder på kroppen – eksempelvis de led, der medvirker til den bevægelse, som ønskes analyseret. Dataene gemmes i en datafil og kan efterfølgende analyseres ved at afspille den optagede sekvens og betragte den fra forskellige vinkler. Markørerne reflekterer infrarødt lys udsendt af kameraerne tilbage i kameraernes linser, og hvis flere kameraer kan se den samme markør, kan markørens position beregnes i tre dimensioner. Systemet fra Qualisys beskrives nærmere i afsnit 3.3.1.

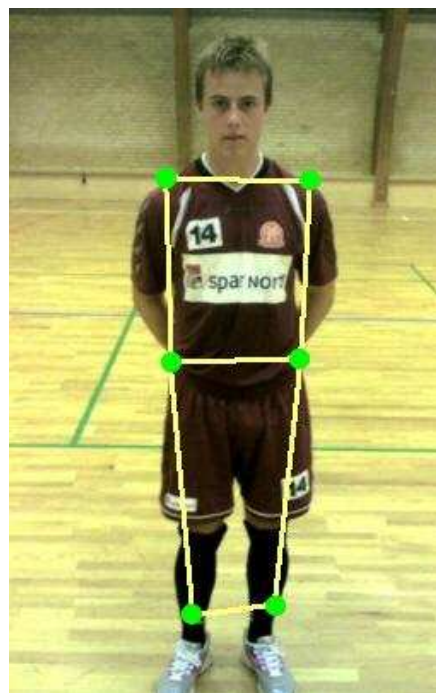
Kroppens placering i forhold til fødderne kan findes ved at sætte markører på spillerens skinneben, hofter og skuldre som vist i Figur 3.5. Systemet fra Qualisys repræsenterer markørerne som prikker, der kan følges gennem optagelsen, og imellem prikkerne kan der efterfølgende indsættes 'knogler' for bedre at kunne følge bevægelserne. Figur 3.6 viser, hvordan omridset af en fodboldspiller ser ud fra Qualisys' synspunkt, når markørerne er placeret som beskrevet. I omridset indgår ikke den nederste del af spillerens ben samt hans hoved, men disse dele af kroppen vil ikke kunne befinde sig alverden langt fra henholdsvis skinneben (målbart helt op til 25 cm) og skuldre (op til 20 cm). Skinnebenene er valgt frem for fødderne, fordi Cairos' system jo bruger radiosendere i benskinerne.

Markørerne på hofterne har vist sig at være overflødige, idet hofterne altid vil befinde sig et sted mellem fødderne og skuldrene i (x, y)-planet. Da optagelserne blev lavet, var det imidlertid en anden fortolkning af 'nærmere', der var gældende. Dengang var det den overvejende del af overkroppen, der skulle have passeret hele forsvarsspillerens overkrop, for at man kunne være i offsideposition. Ved at sætte markører på hofter og skuldre kan man lave en kasse, der udgør spillerens overkrop, og har centrum af denne

kasse passeret hele forsvarsspillerens overkrop/kasse, vil angriberen være i offsideposition. FIFA udsendte den nye fortolkning med virkning fra 1. juli 2005, og fra da af er det altså det punkt på hele kroppen undtaget armene, der er nærmest mållinjen, der afgør offsidepositionen.



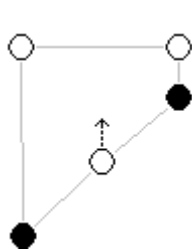
Figur 3.5 – U/21-landsholdsspiller Jeppe Lund Curth med påsatte markører.



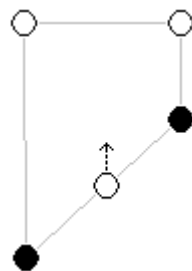
Figur 3.6 – Illustration af markørernes placering.

I løbet af en fodboldkamp vil en fodboldspiller foretage en række bevægelser, hvor kroppen skifter position i forhold til fødderne. Når man løber, vil kroppen være i en bestemt position, men for at accelerere må man læne sig mere forover for ikke at miste balancen. På samme måde skal man læne sig til siden for at skifte retning. Ved hovedstødsdueller er det oftest nødvendigt at hoppe for at komme først på bolden, og i andre nærkampe må man skubbe til modspilleren med skulderen for at holde ham væk fra bolden.

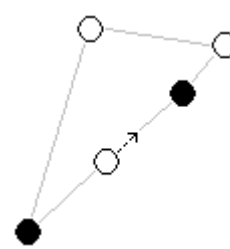
Målet med bevægelsesanalysen er at finde frem til en metode, hvormed man kan udregne omridset af en fodboldspiller ud fra placeringen af spillerens fødder. Eksempler på omrids kan ses i Figur 3.7, Figur 3.8 og Figur 3.9, hvor fødderne er de sorte prikker, mens skuldrene udgøres af de hvide prikker. Den hvide prik med pilen viser den (x, y)-retning, spilleren bevæger sig i og befinder sig midt imellem fødderne, hvilket skyldes en formodning om, at skuldrene bevæger sig med samme og konstant fart. Fødderne skiftes til at være i høj og lav fart, og skuldrene vil derfor befinde sig med en konstant afstand fra gennemsnittet af føddernes placering i (x, y)-planet. Hvis det er muligt at regne sig frem til omrids som dem i de tre figurer, kan punktet nærmest mållinjen findes ved ganske enkelt at sammenligne punkternes x-værdier.



Figur 3.7 – Omridset af en spiller ved almindeligt løb, set ovenfra.



Figur 3.8 – Ved acceleration læner man sig frem.



Figur 3.9 Ved retningsskift flyttes overkroppen i den retning, der skiftes til.

Almindeligt løb, retningsskift og acceleration har størst betydning for de spillere, der står lige omkring offsidegrænsen, når bolden røres – altså forsvarsspillere og de angribere, bolden afleveres til. Offsidegrænsen er den linje på tværs af banen, der går igennem punktet nærmest mållinjen på den næstsidste forsvarsspiller, jf. afsnit 2.2.1. I hovedstødsdueller og nærkampe er kroppens position afgørende for, om systemet kan identificere den rette spiller som den, der har rørt bolden – altså kilden til afleveringen.

Optagelserne til undersøgelserne er foregået i AaB-hallen, som ligger i forbindelse med den ålborgensiske superligaklub AaB's træningsanlæg. Medierne i optagelserne var fire professionelle spillere fra AaB's superligatrup; Thomas Kortegaard, Jacob Sørensen, Michael Jakobsen og Jeppe Lund Curth, hvoraf de tre sidstnævnte er at finde på Danmarks U/21-landshold, som er ungdomslandsholdet for spillere op til 21 år. Det er altså spillere på allerhøjeste niveau i Danmark, der har fungeret som medier. Elitespillere bevæger sig anderledes og går ind i nærkampe på en anden måde end spillere fra de lavere rækker, og eftersom systemet er mest relevant på højt plan, hvor der står mange penge på spil, er elitespillere bedre repræsentanter i undersøgelsen.

De fire spillere har deltaget i en række spilsituationer, der er specielt tilrettelagt for at fremprovokere bevægelser, hvor der kroppens placering i forhold til fødderne ikke umiddelbart kan aflæses. Det vil være for omfattende at beskrive øvelserne her, men kort fortalt er det en række spilsituationer med tilhørende løbemønstre, som skal afdække de ovennævnte situationer. Spilsituationerne er designet til at ligne almindeligt spil mest muligt, så spillet ikke bliver for kunstigt. Samtidig er der givet mulighed for en vis grad af improvisation undervejs, så spillerne har været nødt til at agere ud fra spillets udvikling frem for at følge skabelonen slavisk.

Udover at kortlægge elitespilleres bevægelser har formålet med optagelserne været at generere testdata til brug i test af de udviklede algoritmer. Systemet fra Qualisys giver nemlig mulighed for at eksportere 3D-optagelserne til rå tekstfiler, som en modificeret udgave af ScenarioSender kan sende ud på netværket. [Larsen & Hansen] udviklede deres egen simple ScenarioGenerator til at opsætte scenarier til brug i test. Optagelser med Qualisys er langt mere realistiske og omfattende, og vil således bedre kunne bruges til at vurdere algoritmerne ud fra. Samtidig giver det mulighed for automatisk at verificere det samlede systems afgørelser, men mere herom i kapitel 6.

Liggende spillere, som kaster sig vandret fremefter, kan få indflydelse på spillet.

3.3.1. Qualisys

Som nævnt ovenfor bruges et optagesystem fra Qualisys til analyse af kroppens placering i forhold til fødderne ved forskellige bevægelser i en fodboldkamp. I dette afsnit beskrives det, hvordan systemet fungerer, og hvordan de optagne scenarier skal behandles, så de bliver egnede til menneskeligt brug og computerbrug.

Systemet kan optage en slags videosekvenser, hvor der i stedet for levende billeder optages 3D-positioneringsdata for bestemte punkter. Punkterne identificeres ved at sætte reflekterende markører på udvalgte steder på de emner, der skal optages.

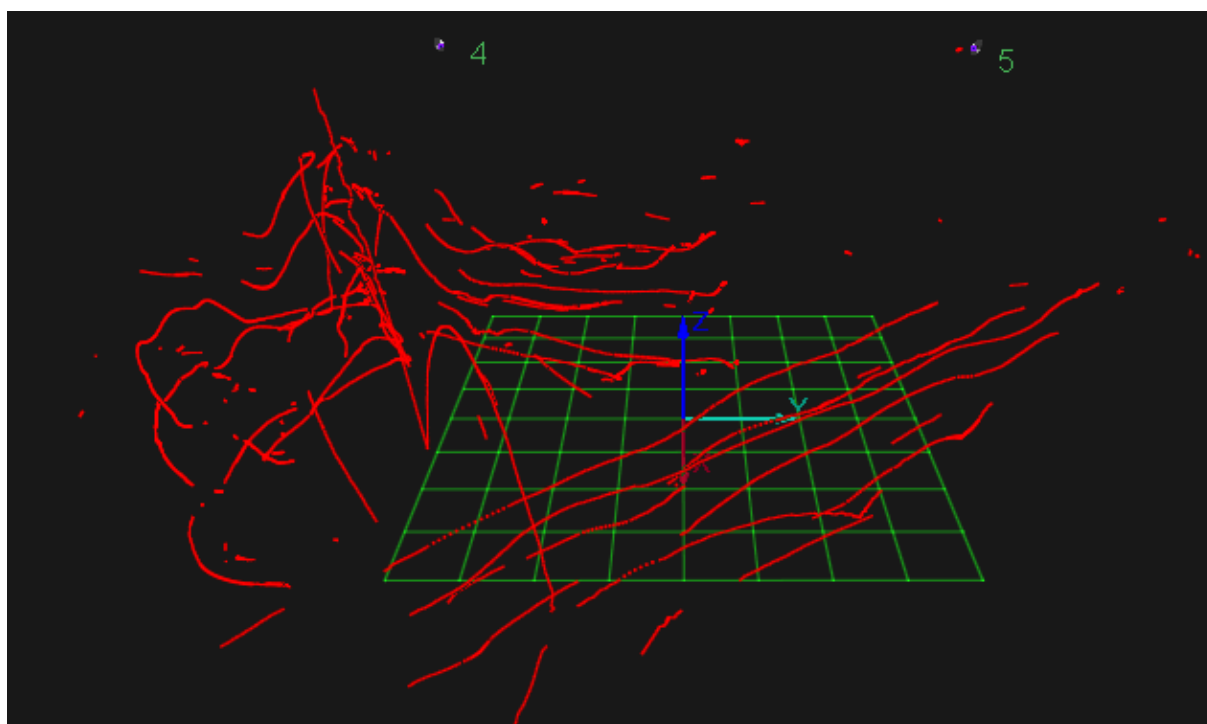
I systemet benyttes en række kameraer, der stilles op omkring det område, hvor der skal optages. Ved hjælp af en L-formet stok med en bestemt størrelse og med reflekterende markører, kan hver enkelt kamera ud fra dets betragtningsvinkel beregne dets fysiske position. Kameraerne udsender infrarødt lys, som reflekteres af markørerne og dermed kan genkendes af kameraets linse og softwaren bag. Systemet er herefter kalibreret, og hjørnet af stokken udgør 3D-koordinatsystemets nulpunkt.

Optagelserne foregår på samme måde med infrarødt lys og reflekterende markører. Hvis to eller flere kameraer kan se den samme markør, kan markørens 3D-position beregnes efter almindelige trigonometriske principper. Dette gøres i systemets software med en frekvens på 240 Hz, og data gemmes i en fil.

En datafil kan åbnes med et program ved navn Qualisys Track Manager, hvor det optagede scenario kan afspilles. Markørernes bevægelser kan følges som røde prikker, der bevæger sig i et 3D-rum, hvor man løbende kan skifte betragtningsvinkel og zoom, så man kan se bevægelserne fra forskellige vinkler og i forskellig detaljeringsgrad.

Efterbehandling af data

Qualisys Track Manager benyttes også til at efterbehandle datafilerne. Til det formål kan det være nyttigt at få vist hele scenariet på én gang, som det er gjort i Figur 3.10, hvor alle markørernes baner gennem scenariet er tegnet op. Som det kan ses på figuren, indeholder datafilerne en del støj, og det er i det hele taget ikke nemt at finde hoved og hale i optagelsen.



Figur 3.10 – 3D-billede med ubehandlede data. De røde baner udgør markørernes bevægelser gennem optagelsen. Det grønne område er 4x4 meter, og koordinatsystemets nulpunkt findes, hvor den blå, den lyseblå og den mørkerøde pil mødes. De blå kasser ved siden af 4-tallet og 5-tallet foroven viser den fysiske placering for to af kameraerne.

For at give bedre overblik over det optagne scenario er det muligt at navngive hver enkelt bane og give den en farve. I Figur 3.13 er banerne for markørerne på tre spillere samt bolden blevet farvelagt, så alle baner for den samme spiller har samme farve.

Hvis der er 'huller' i optagelserne, hvor kameraerne ikke har kunnet se markørerne tilstrækkeligt godt – eksempelvis den lyseblå spillers højre skulder, som udgøres af den øverste lyseblå linje – skal markørens bane stykkes sammen af flere baner. Den lyseblå

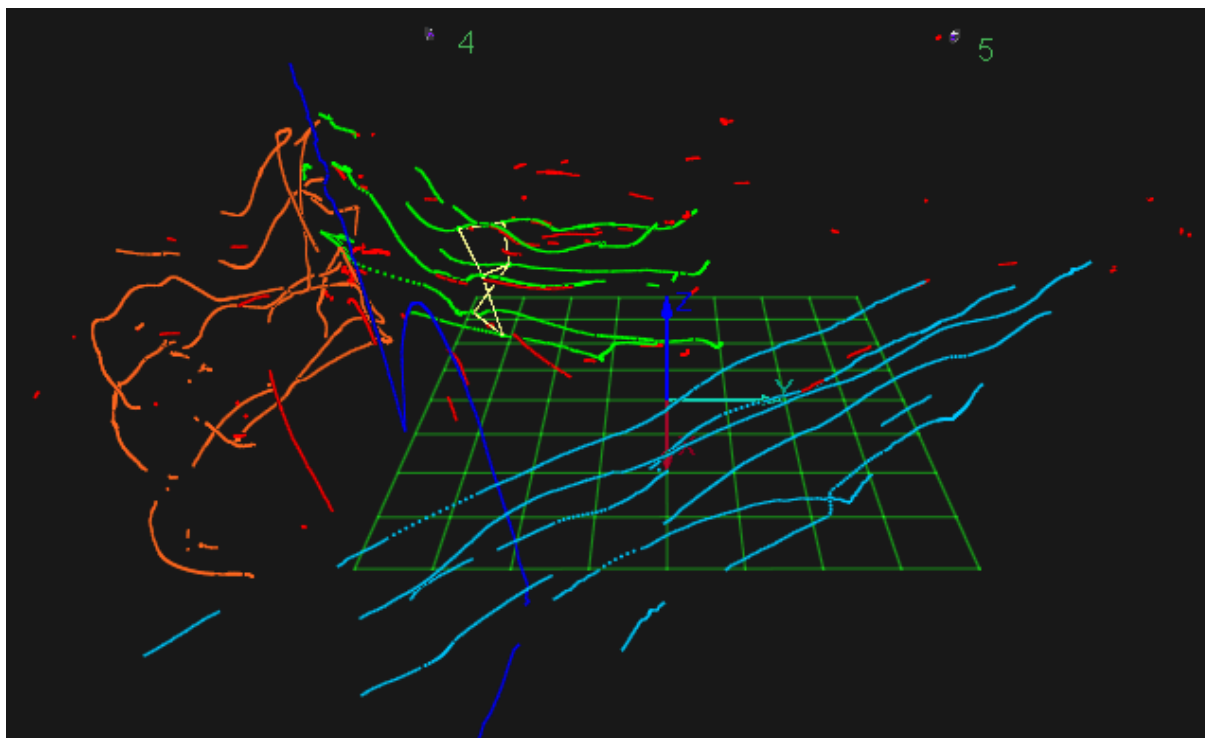
spillers højre skulder har et hul længst til venstre på billedet, men da de to baner ikke overlapper hinanden i tid, kan de uden videre sættes sammen til at tilhøre den samme navngivne bane. Er der kun et lille tidsmæssigt overlap mellem to baner, kan banernes positioner i overlappet interpoleres, så de kun fremstår som én bane. I figurene angiver de stiplede linjer, at banen er blevet interpoleret, og som det kan anes i Figur 3.10 laver systemet selv en vis mængde interpolering, når markørernes baner beregnes.

Optagelserne er foregået i idrætshallen på AaB's træningsanlæg, hvor der er trægulv. Denne type gulv giver en lille smule efter, når man løber på det, hvilket har den uheldige konsekvens, at kameraerne også rystes en smule. Derfor risikeres det, at den samme markør fremstår som flere baner i optagelsen med en lille forskydning imellem dem. Ofte er det tidsmæssige overlap stort, men den ene bane kan starte tidligere, mens den anden slutter senere, som illustreret i Figur 3.11. For at give den længst mulige bane skal de to baner sættes sammen, og dermed vil den sammensatte bane afvige fra den virkelige bevægelse. Figur 3.12 viser, hvordan en ret linje i virkelighedens verden kan blive forvansket på grund af støj i optagesystemet.

Figur 3.11 – To forskudte optagelser af den samme markør.

Figur 3.12 – De to baner fra Figur 3.11 sat sammen til én bane.

Yderligere kan der indsættes 'knogler' mellem banerne, hvilket også blev vist i Figur 3.6. I Figur 3.13 er der knogler mellem den grønne spillers fødder, hofter og skuldre, og dermed fås en omrids af den pågældende spiller. Knogler gør det lettere at se sammenhængen mellem banerne – både i efterbehandlingsfasen og når scenariet afspilles.

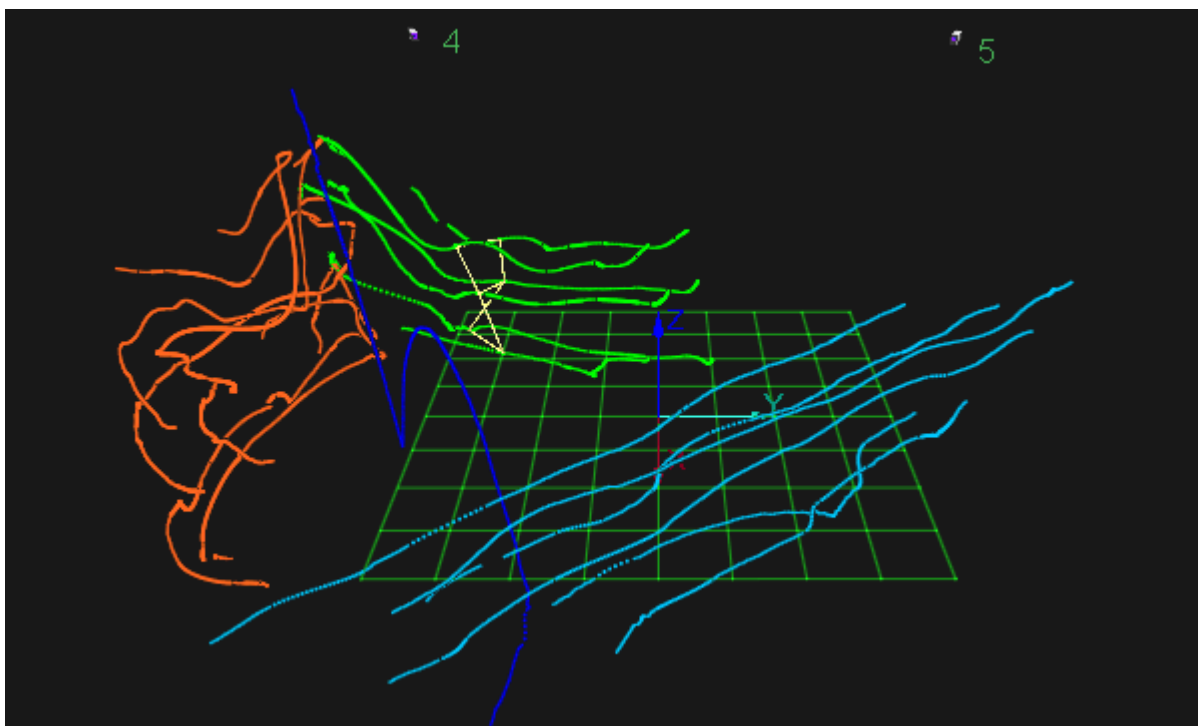


Figur 3.13 – Scenariet fra Figur 3.10, hvor de reelle baner er blevet farvelagt. Den blå bane er bolden, de røde baner er støj, mens de lyseblå, grønne og orange baner repræsenterer markørerne på spillerne. De gule streger, der forbinder de grønne baner, er den grønne spillers 'knogler' på et givet tidspunkt.

Sidste trin i efterbehandlingsfasen er at fjerne støjen og udfylde hullerne i banerne. Qualisys Track Manager stiller et værktøj til rådighed, hvor man visuelt kan fylde hullerne

ud, så banerne får så flydende et forløb som muligt. Denne udfyldning er en interpolering mellem de to endepunkter, som hullet befinder sig imellem, men der tages højde for retningen på endestykkerne, så retningsændringer sker i en blød bue. På samme måde forholder det sig med hensyn til farten, så en acceleration eller deceleration ikke kommer på et øjeblik, men spredes ud over det udfyldte hul.

Figur 3.14 viser, hvordan scenariet fra Figur 3.10 ser ud, når efterbehandlingen er afsluttet. Selvom hullerne er blevet fyldt ud, ser banerne ikke ud til at være helt sammenhængende, og det skyldes, at markøren har foretaget et stort spring imellem to billeder. Dette er ikke nødvendigvis i overensstemmelse med virkeligheden, men skyldes unøjagtigheder forårsaget af omgivelserne.



Figur 3.14 – Støjen i Figur 3.13 er nu fjernet, hvormed kun de reelle data er at se. Endvidere er markørernes baner gjort sammenhængende, så der ikke længere er 'huller' i banerne.

Efterfølgende kan det optagede scenario eller dele deraf eksporteres til en tabulator-separeret tekstfil, som i dette speciale vil gøre det ud for testdata til de udviklede algoritmer. I tekstfilerne angives markørernes 3D-placering med en nøjagtighed på millimeterniveau, endda med tre decimaler, men **hvorvidt denne præcision svarer til virkeligheden, står sikkert i deres dokumentation**. Desuden fungerer tekstfilerne som input til den software, som analyserer spillernes bevægelser. Mere herom i afsnit 3.3.2.

Optagelsernes kvalitet

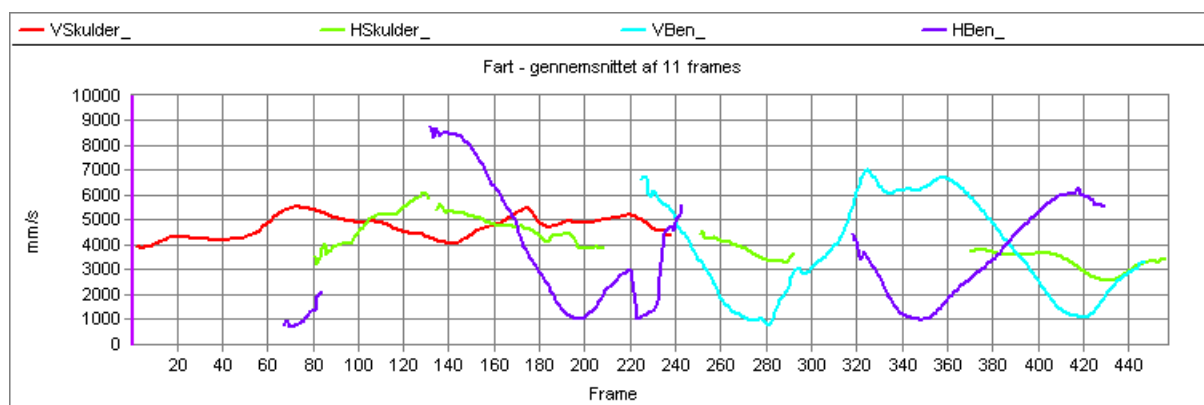
Som nævnt ovenfor kan kameraerne blive påvirket af, at gulvet giver efter, når der løbes på det, og det kan give huller, dubletter og spring i de baner, markørerne opfattes at have. Det skal også medgives, at udfyldning af hullerne kan give en afvigelse fra markørens reelle bane, især hvor hullerne strækker sig over store tidsrum. Samlet set betyder det, at resultaterne af undersøgelserne skal tages med visse forbehold.

Alternativerne til at bruge systemet fra Qualisys vurderes ikke til at kunne give mere nøjagtige resultater. Med videobaserede systemer er det næsten umuligt at positionsbestemme med få centimeters nøjagtighed, og med hensyn til radiobaserede systemer er der kun ét system, der kan give data om boldens position, og det er systemet fra Cairos, som ikke har ønsket at medvirke til dette speciale.

Der vil kunne opnås en anelse bedre resultater ved at lave nye optagelser på et mere fast gulv, men praktiske hensyn gør dette til en større opgave. Først og fremmest skal optagelserne helst ligge udenfor fodboldsæsonen for ikke at forstyrre spillernes forberedelser til den næste kamp og rehabiliteringen mellem deres træningspas. Dernæst er det et problem at finde en passende hal, fordi de fleste idrætshaller har trægulv og i øvrigt er fuldt bookede af folkeskoler. Optagelserne kan kun foregå inden døre, idet det infrarøde lys ellers vil blive forstyrret af solens lys.

Til undersøgelsesernes formål vurderes de optagede data tilstrækkeligt nøjagtige til at kunne give et indtryk af kroppens placering i forhold til fødderne i forskellige bevægelser. For at kompensere for de nævnte usikkerheder udregnes fart, acceleration og retningsændringer for et bestemt tidspunkt ud fra gennemsnittet af de omkringliggende tidspunkter. Dermed bliver der mindre spring i eksempelvis farten fra sample til sample, og dette svarer bedre overens med de forventninger, man kan have til menneskets bevægelser. Når man eksempelvis flytter sit ben, foregår det i en glidende bevægelse, hvor farten ikke ændrer sig alverden på et millisekund.

Figur 3.15 viser farten på fire forskellige punkter gennem et optaget scenario. I figuren er farten for hvert tidspunkt (frame) beregnet ud fra gennemsnitsfarten i de fem foregående og de fem efterfølgende tidspunkter – altså 11 punkter i alt. 11 punkter vurderes i afsnit 9.1 i appendiks til at give det bedste kompromis mellem kurveglathed og nuancerigdom på kurverne. Dette er vurderet ud fra fartkurver, men samme sammenhæng antages at gælde for retning og acceleration. Figuren er i øvrigt fremstillet med Qualisys Track Manager's analyseværktøj.



Figur 3.15 – Udglattede fartkurver med intervaller uden data. Kurverne svarer til de data, der benyttes i bevægelsesanalysen.

I Figur 3.15 findes der huller i kurverne, hvilket selvfølgelig skyldes, at der er huller i banerne i optagelsen. Godt nok kan disse huller udfyldes som beskrevet ovenfor, men denne lapning tilfører et element af usikkerhed. For at bevægelsesanalysen så vidt muligt foretages på data der afspejler virkeligheden, benyttes til dette formål kun baner, hvor hullerne ikke er udfyldt.

De fire punkter, hvis fart afbildes i Figur 3.15, er ben og skuldre på en fodboldspiller i løb. Spillerens højre og venstre ben skiftes til at have høj og lav fart, mens skuldrene holder en nogenlunde ens og konstant fart. Selvom kurverne ikke er sammenhængende, kan man se antydningen af, at farten på skuldrene befinder sig i samme leje som gennemsnittet af farten på de to ben.

Datakvaliteten på de optagede scenarier er alt i alt ikke tilstrækkelig god til at kunne bruges som endegyldigt bevis i videnskabelig sammenhæng. Trods dette vurderes dataene til at kunne finde anvendelse i dette speciale, når blot der kun benyttes 'virkelige' data, kurverne gattes lidt ud og de værste udslag i resultaterne sorteres fra.

3.3.2. Analysesoftware

Noget software, jeg selv har skrevet.

Parser.

Fart, retning og acceleration i punkter i forhold til mennesker. KoordinatBeregner, MenneskeBeregner.

```
Retning:   retningCos = Math.acos(distanceX/distanceXY);   //distanceXY: Pythag.
           retningSin = Math.asin(distanceY/distanceXY);
           if(retningSin<0.0)
               retningCos = Math.PI*2-retningCos;
```

Afstand mellem fødder og skuldre – se afsnit 9.2 i appendiks.

Fart?

Acceleration?

Udglatning 11 samt støj. 11 svarer til 10.

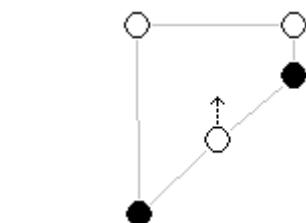
Hvordan gemmes og præsenteres data?

3.3.3. Almindeligt løb

Almindeligt løb dækker over de tidspunkter i en fodboldkamp, en fodboldspiller løber ligeud med en nogenlunde konstant hastighed, og er således den simpleste bevægelse, der laves. I de optagede scenarier findes der tolv løb, der kan betegnes som almindeligt løb, og i dette afsnit bestemmes kroppens placering i forhold til fødderne i disse.

Som det blev antydnet tidligere i Figur 3.15 skiftes fødderne til at være i høj fart, mens overkroppen ser ud til at have en nogenlunde konstant fart, som svarer til gennemsnittet af føddernes fart. Derfor kan det antages, at skuldrene hele tiden har samme afstand til det punkt, der befinder sig midt imellem fødderne – i hvert fald så længe der løbes ligeud og med samme fart.

Hvis det er tilfældet, at skuldrene hele tiden befinder sig med samme afstand til gennemsnittet af føddernes placering, kan skuldrenes placering beregnes som illustreret i Figur 3.16.



Figur 3.16 – Ved almindeligt løb formodes overkroppen hele tiden at have samme afstand til punktet midt imellem fødderne.

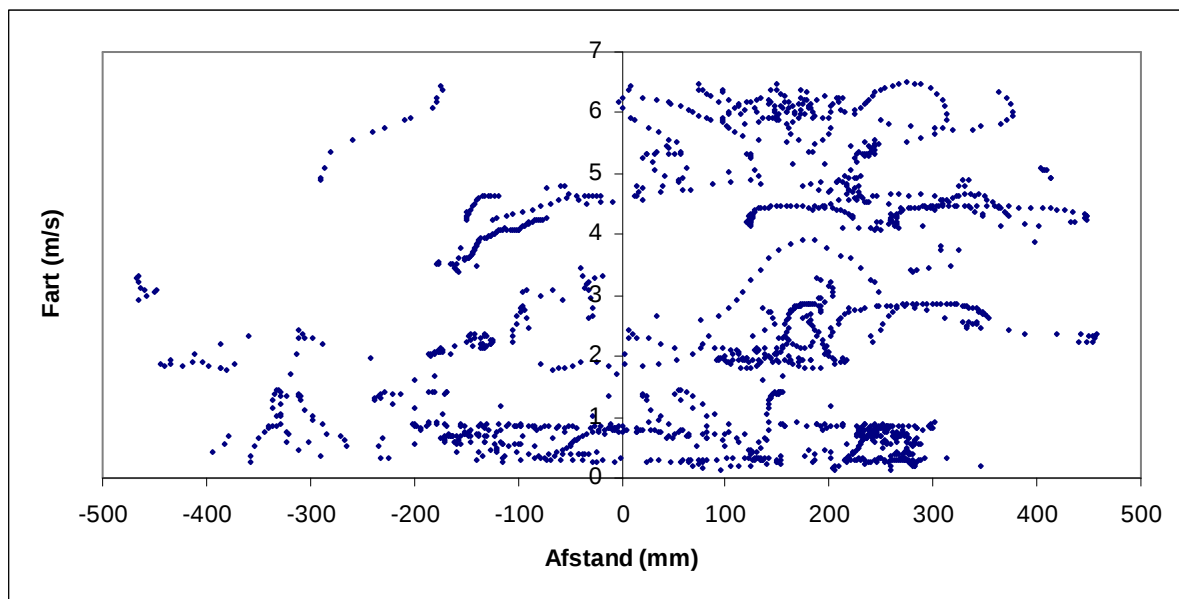
For at undersøge, hvorvidt der kan udledes en bestemt afstand mellem fødder og skuldre, gennemløbes data fra de optagede scenarier, der er kategoriseret som almindeligt løb. Da scenarierne indeholder huller, er undersøgelserne udelukkende baseret på frames, hvor begge fødder samt mindst én skulder har været at finde.

I hver frame udregnes (x, y)-afstanden fra føddernes gennemsnitlige placering til skulderens placering i den retning, der løbes. Dette indebærer en lang række trigonometriske beregninger og er derfor en forholdsvis kompliceret udregning, som er nærmere beskrevet i afsnit 9.2 i appendiks.

Føddernes placering leveres naturligvis af positioneringssystemet, så skuldrene må befinde sig en vis distance foran fødderne i den retning, der løbes. Føddernes retning kan beregnes ved hjælp af de tidligere placeringer, men da de to fødder blot ved små retningsændringer ikke har samme retning, må spillerens retning beregnes på en anden måde.

I Figur 3.17 vises afstanden til skuldrene, når spillerens retning beregnes som et gennemsnit af føddernes retning. En negativ afstand betyder, at skulderen er placeret bag føddernes middelpacering. Som det ses, er der stor spredning i de beregnede

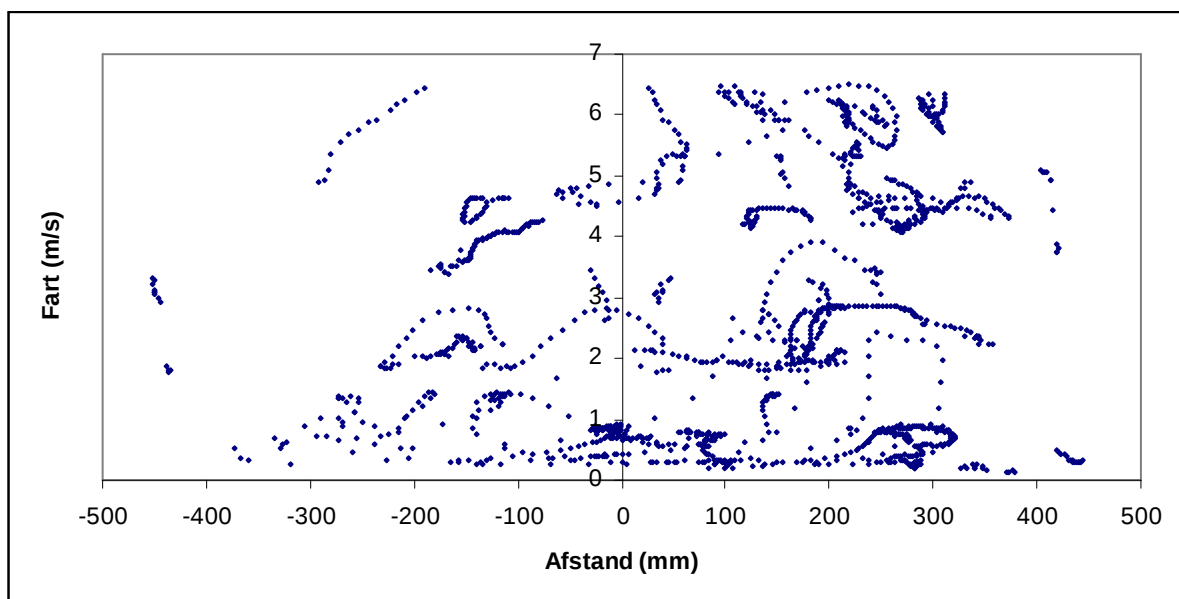
afstande, og umiddelbart har spillerens fart ikke nogen betydning for afstanden mellem fødder og skuldre. Farten er i øvrigt defineret som gennemsnitsfarten på fødderne.



Figur 3.17 – Afstand fra **benenes middelposition til en skulder. Løberetningen defineres som **benenes** gennemsnitlige retning.**

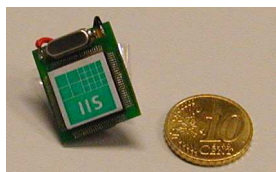
I stedet for den gennemsnitlige retning på fødderne, kan retningen på den hurtigste fod anvendes. Meget simplificeret står det ene ben stille, når det andet bevæger sig, og derfor vil foden med størst fart være en bedre repræsentant for den retning, spilleren bevæger sig i. Figur 3.18 viser de udregnede afstande, når retningen defineres ud fra den hurtigste fod. Igen ser der ikke ud til at være nogen sammenhæng mellem afstanden og den fart, der løbes med.

Anvendes gennemsnitsretningen opnås en gennemsnitlig afstand på 93 mm med en standardafvigelse på 192 mm. Benyttes den hurtigste fod giver det en lidt længere afstand, 114 mm, men til gengæld også mere konsistens, da standardafvigelsen nu er på 181 mm. Nærstuderet et tilfældigt udvalgt scenario opnås samme konklusion, idet der med metode nummer to generelt er mindre forskel på afstanden til de to skuldre, hvilket stemmer bedre overens med, hvad man forventer – at skuldrene er cirka lige langt foran. Spillerens retning findes derfor bedst ud fra den hurtigste fods retning.

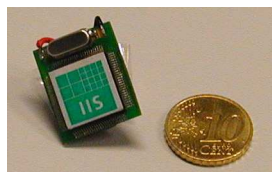


Figur 3.18 – Afstand fra benenes middelposition til en skulder. Løberetningen defineres som retningen på benet med den højeste hastighed.

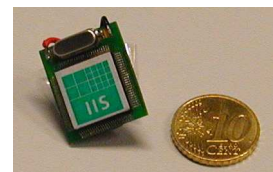
Kan dette sandsynliggøres med mindre usikre data? Ellers er der ingen grund til at gå videre med analysen – brug i stedet tre sendere.



Figur 3.19 – Fase 1.



Figur 3.20 – Fase 2.



Figur 3.21 – Fase 3.

V.skulder	X			
	Y			
	Fart			

I offside-sammenhæng er almindeligt løb mest interessant for de spillere, der befinder sig omkring offsidegrænsen, som altså er det punkt på næstsidste forsvarsspiller, der er tættest på mållinjen.

Modtagende spiller + forsvarsspiller

3.3.4. Retningsskift

Modtagende spiller + forsvarsspiller

Hvad skal man tro?

3.3.5. Acceleration

Modtagende spiller + forsvarsspiller

Forreste punkt er x cm foran gennemsnittet af føddernes placering plus gennemsnittet af accelerationen af fødderne?

Overkroppen er, hvor fødderne kommer til at være lidt senere?

3.3.6. Nærkamp

I en fodboldkamp opstår der mange situationer, hvor to spillere fra hvert sit hold har mulighed for at nå bolden før den anden. I kampen for at nå bolden først vil spillerne ofte i en vis grad skubbe eller hive i hinanden for at komme det afgørende skridt foran modspilleren eller for at skærme modspilleren af og forhindre ham i at komme hen til bolden. (Billeder fra AaB Online?)

Når to spillere på denne måde kæmper om den samme bold, kaldes det en nærkamp. Nærkampe kan gøre det svært at identificere den spiller der rører bolden, og dermed om det er spillerne fra det ene eller det andet hold, der har risiko for at stå i en strafbar offsideposition. Dette skyldes både at spillerne er så tæt på hinanden at de begge kan nå bolden, og at bolden undervejs kan røre begge spillere og derfor få en tilfældig bane.

En nærkamp vil altid foregå i nærheden af bolden, hvorfor det ikke er interessant i forhold til om en spiller er i offsideposition eller ej. Det er altså udelukkende i forbindelse med identificering af den afleverende spiller, at bevægelsesanalyse af nærkampe har relevans.

Grundet nærkampes natur har det ikke været muligt at optage sekvenser med nærkampe til bevægelsesanalysen. Systemet fra Qualisys kræver jo udsyn til markørerne, og når spillerne er tæt på hinanden, vil de komme til at dække for hinandens markører.

Glidende tacklinger hører også ind under kategorien nærkampe, men da optagelserne til bevægelsesanalysen er foregået på et halgulv, er denne slags situationer ikke blevet undersøgt, da et sådant gulv giver hudafskrabninger, når man glider på det.

Et radiobaseret positioneringssystem vil kunne give bedre informationer om placeringen af fødder og skuldre, og vil også kunne benyttes udendørs. Endnu en gang skal det dog påpeges, at det så ikke vil være muligt at få informationer om boldens bane, idet kun systemet fra Cairos kan levere disse oplysninger. Boldens bane er nødvendig, idet det er spillernes position på afleveringstidspunktet, der har betydning for, om et computersystem vil kunne identificere den afleverende spiller korrekt, og dette tidspunkt kan kun findes ud fra boldens bane og fart.

I analysen af kroppens placering i forhold til skuldrene har det altså ikke kunnet lade sig gøre at lave målinger fra nærkampe. Man kan dog dele nærkampe op i to kategorier alt efter, hvor højt bolden befinder sig. Er bolden i nærheden af græsset, vil spillerne forsøge at spille den med fødderne, og her vil overkroppens placering ikke have nogen relevans. Bolde positioneret over en vis højde vil forsøges spillet med hoved eller bryst og går derfor ind under kategorien hovedstødsduel, som hører til i næste afsnit.

Mere spøjse situationer, hvor to fødder under ingen omstændigheder vil være nok.
BILLEDER.

Ud fra billederne ser det ud til, at kroppen befinder sig nogenlunde over fødderne?

3.3.7. Hovedstødsduel

Hovedstødsdueller hører til den anden kategori af nærkampe, hvor bolden befinder sig i luften og forsøges spillet med hovedet. Oftest kommer spillerne løbende fra hver sin side og hopper op for at møde bolden så tidligt som muligt. Den indledende afstand mellem spillerne gør, at det i modsætning til den første kategori af nærkampe har været muligt at optage scenarier brugbare til analyse.

Ligesom ved regulære nærkampe handler hovedstødsdueller om at identificere den afleverende spiller. En spiller vil ikke have nogen fordel af at gå op i en hovedstødsduel på afleveringstidspunktet, da bolden vil være så længe undervejs, at han alligevel vil have nået jorden inden den når frem.

I løbet af et hovedstød vil man gennemføre fire faser. Der tages tilløb efterfulgt af afsættet til selve springet, og herefter befinder man sig i luften, indtil man lander på jorden igen. Kun tiden i luften er interessant, idet det ikke vil være muligt at vinde en

hovedstødsduel uden at hoppe, medmindre der ikke er modspillere i nærheden. I så fald kan det næppe kaldes en duel, og eftersom der ikke er andre spillere i nærheden af bolden, giver det sig selv, hvem der afleverede.

For at kunne genvinde balancen, når man lander på jorden igen, er det nødvendigt at forblive oprejst gennem hele springet. Derfor foregår analysen af overkroppens placering i forhold til fødderne på den måde, at afstanden i (x, y)-planet mellem en fod og den tilhørende skulder måles. I de optagede scenarier findes 14 spillere, der hopper med det formål at støde til bolden med hovedet, og i disse 14 hovedstødsforsøg måles kun afstanden i intervallet fra spilleren sætter af for at hoppe til det øjeblik, spilleren igen lander på jorden. Dette tidsinterval varierer mellem $\frac{1}{2}$ og $1\frac{1}{2}$ sekund, og for hver frame i intervallet måles altså afstanden fra venstre ben til venstre skulder henholdsvis højre ben til højre skulder, når disse data eksisterer.

Målingerne viser, at (x, y)-afstanden fra markøren på spillerens ben til markøren på skulderen i samme side gennemsnitligt er på 23,7 cm, med en standardafvigelse på 14,7 cm.

Af balancemæssige hensyn spredes benene ofte ud til siderne som illustreret i Figur 3.22. Det betyder, at overkroppen og dermed skuldrene befinder sig imellem fødderne frem for at være foran fødderne som det forholder sig ved almindeligt løb. Derfor giver føddernes placering i lige så høj grad som skuldrenes placering indikationer på, hvor spilleren befinder sig.

Hvis retningen på hoppet tages med i betragtning som det er tilfældet for almindeligt løb, opnås en gennemsnitlig afstand på -5,7 cm og en standardafvigelse på 17,8 cm. Skuldrene befinder sig altså i gennemsnit knap 6 cm bagved føddernes gennemsnitsplacering i forhold til løberetningen. Når der sættes af på ét ben, svinges det andet ben fremad og opad for at få så stor kraft som muligt i afsættet, og det er derfor overkroppen findes bag føddernes middelpacering. En stor del af standardafvigelsen kan tilskrives, at man kommer løbende fra siden i forhold til boldens retning, og derfor hopper skævt op i forhold til løberetningen for at vende rigtigt i forhold til bolden. Hovedstød er lettest at styre, hvis man har front mod bolden.

Med hensyn til hovedstødsdueller ser det altså ud til, at føddernes koordinater er tilstrækkeligt til at kunne afgøre, hvem der afleverede bolden.

3.3.8. Delkonklusion

Hvordan skelner man mellem almindeligt løb, retningsskift og acceleration?

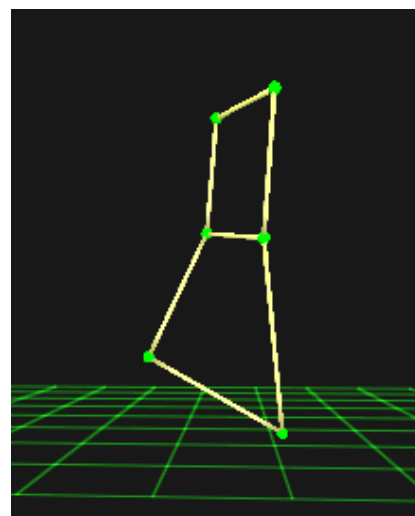
Måske kan det nærmeste punkt på kroppen ikke udledes af føddernes placering, retning, fart og acceleration – inden for tidsgrænsen? I så fald kræves der regelfortolkningsændring fra FIFA's side.

Afleverende spiller kan ikke afgøres 100 % sikkert ud fra data fra Qualisys. Nærmere undersøgelser med Cairos eller lignende system.

Boldens bevægelser er ikke tilstrækkeligt præcise til at kunne give en fuldstændigt naturlig bane.

Ikke nok data om skruning + brække i luften, som det foregår i virkeligheden. Afleveringsdetektering.

Findes der ordentligt udstyr der kan bruges i stedet for Qualisys?



Figur 3.22 – En fodboldspiller i en hovedstødsduel.

Tre punkter vil givetvis være nødvendige.

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.

Med linjedommerens 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.

Entydigt bevises på tv = sammenligningsgrundlag

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.

Bruges også til at finde frem til den afleverende spiller?

4.2. Detektering af aflevering

Her skal der især tages højde for, at bolde kan ændre retning uden at have rørt en spiller (knolde på banen, bolden skruer, brækker i luften), og at driblinger ikke forveksles med afleveringer. Desuden kan en spiller ikke være strafbart offside ved målspark, hjørnespark og indkast.

Bolden kan brække i luften, men kan ikke (bortset fra specialtilfælde, når overliggeren rammes) få ekstra fart ved at glide i græsset [Wesson, s. 13]. Bolden skifter retning, når den rammer jorden eller dommeren. Hvor meget kan bolden skrue?

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. Ude af banen

Spillere som befinder sig udenfor banen har ingen indflydelse på offsidekendelserne. En forsvarsspiller, der ligger skadet på banen, vil tælle som næstsidste forsvarsspiller, men en tilsvarende angriber vil blot betegnes som uden indflydelse på spillet.

Ny bold

4.5. 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.

4.5.1. *Ud fra føddernes placering*

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

4.5.2. *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.

4.6. 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. Afleveringen behøver derimod ikke være fremadrettet.

4.6.1. *Undersøgelse af boldens bane i forhold til fart og vinkel*

Til filtrering af afleveringer, der aldrig vil nå frem. [Wesson] beskriver det. Der vil selvfølgelig blive taget udgangspunkt i en approksimation, for vindforhold og den slags har stor betydning for, hvor lang en aflevering kan blive.

4.7. 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.

Hvis der skal bruges tre punkter, må der være 20 cm til skulderen, 20 cm til fødderne og 20 cm til panden.

4.7.1. *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.

4.7.2. *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.

4.8. 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 i en mulig strafbar offsideposition.

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.

Læse alle positionsdata ind i RAM a priori

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.

250 ms mellem gentegning

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.

Ikke alting kan testes med så små scenarier.

Testopstilling. Jf. appendiks.

Pakketab [43]

Testdata er sammenstykket af bidder optaget med min lillebror, Frands Boe Johansen, der har erfaring fra 2. division.

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. I øjeblikket benytter linjedommerne et system, hvor der i deres flag er inkorporeret en radiosender, så de ved at trykke på en knap kan sende et signal til en sensor på dommerens arm. Knappen bruges, når linjedommeren hejser sit flag, og aktiverer en bip-lyd eller en vibrator på dommerens arm. På den måde behøver dommeren ikke hele tiden kigge ud på linjedommeren for at se, om der skal dømmes offside, men kan koncentrere sig mere om spillet på banen.

Linjedommeren kunne udstyres med en lignende sensor, som kunne sørge for kommunikationen mellem DommerStøtteSystem og linjedommerne. Antallet af bip kan indikere antallet af spillere i offsideposition.

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.

Mere nøjagtige undersøgelser/test for nærmere at kunne bestemme afleveringernes kilde i forbindelse med nærkampe, hovedstødsdueller.

8. Konklusion

Den tredje koordinat er nødvendig for at kunne finde spilleren? Placeret i nakken helst.

Udstyret har ikke været godt nok til at afgøre kilden til afleveringen.

Virkelighedens usikkerheder i form af brækkende bolde, knolde på banen, bolden skruning.

Spillernes placering er nok til at afgøre offside, hvis afleveringsdetekteringen ellers fungerede? 2 eller 3 radiosendere? Ellers laves fortolkningen om.

Afleveringsdetektering ikke tilstrækkeligt sikker – kan man give linjedommeren besked herom?

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:

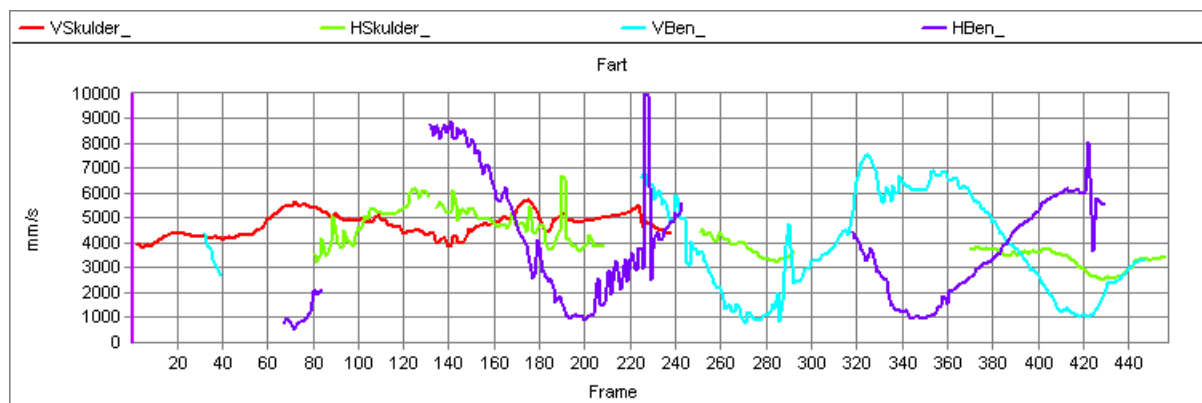
Læse korrektur, skrive indledning, fremtidigt arbejde, konklusion

12. december: Aflevering

9. Appendiks

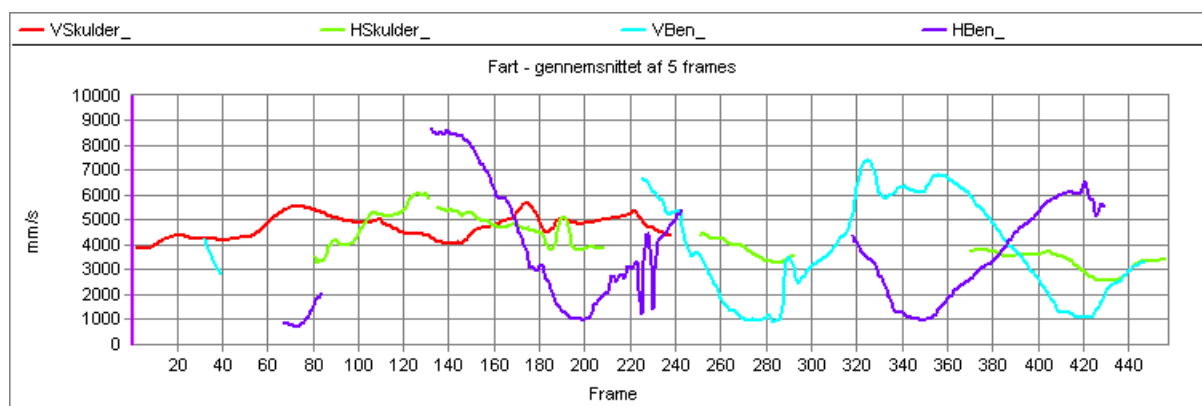
9.1. Dataudglatning

Figur 9.1 viser farten for fire forskellige punkter på en fodboldspiller gennem en spilsituation optaget med systemet fra Qualisys som beskrevet i afsnit 3.3. Som det ses er kurverne meget kantede, hvilket skyldes støj samt den korte samplingsfrekvens. Det virker ikke sandsynligt, at benet på et menneske ændrer fart så mange gange i løbet af et skridt som eksempelvis den lille kurve (spillerens højre ben) i figuren antyder.



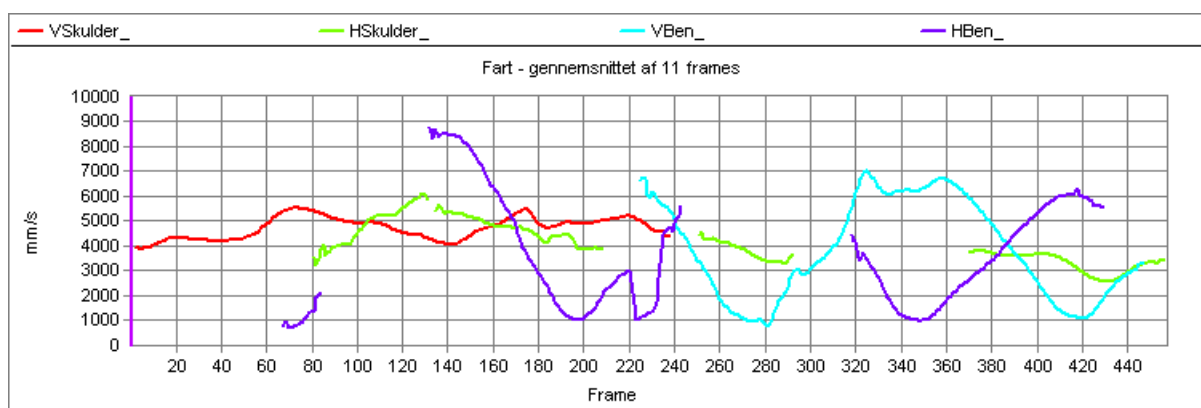
Figur 9.1 – Fart.

Ved at beregne farten som et gennemsnit af farten i de foregående og efterfølgende frames opnås glattere kurver. Figur 9.2 viser kurverne, når farten i de to foregående og de to efterfølgende frames tages med i udregningen af farten.



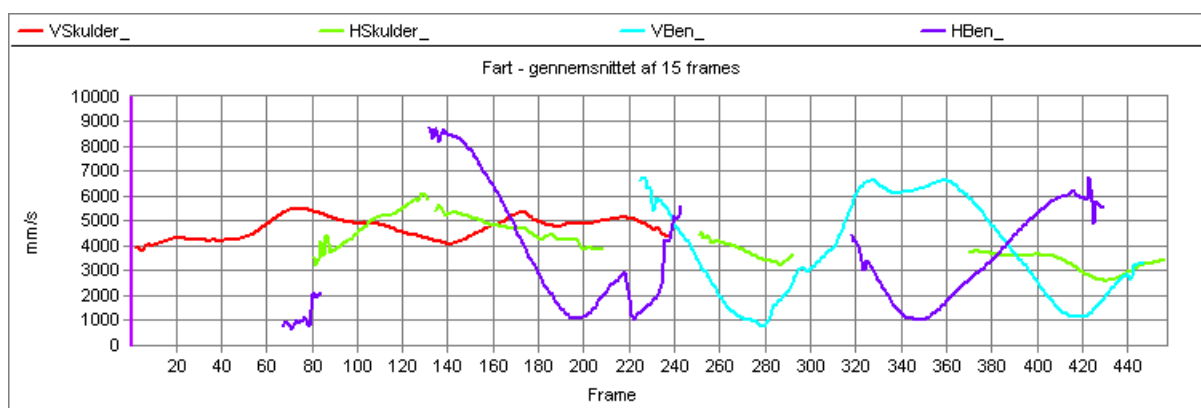
Figur 9.2 – Fart som gennemsnit af 5 frames.

I Figur 9.2 er der stadig en del kanter på fartkurverne, men i Figur 9.3 er disse glattet mere ud ved at benytte flere historiske data. Farten beregnet ud fra farten i 11 frames – altså med de fem foregående og de fem efterfølgende som en del af beregningen – giver de glatteste kurver.



Figur 9.3 – Fart som gennemsnit af 11 frames.

Benyttes der flere end 11 frames begynder kurverne igen at se kantede ud, som illustreret i Figur 9.4, og det bliver værre, jo flere frames der benyttes. Dette skyldes, at udglatningen kommer til at dække over flere fartændringer. Især i enderne af kurvestykkerne kommer der nu ganske meget støj sammenlignet med en glat kurve.



Figur 9.4 – Fart som gennemsnit af 15 frames.

Desuden har udglatning over et større antal frames den bivirkning, at små stykker kurve forsvinder, som det er tilfældet med den del af den lyseblå kurve, der er længst til venstre i Figur 9.1.

Qualisys Track Manager har et værktøj til at fylde hullerne i banerne ud, så de kommer til at fremstå som sammenhængende. Da fartkurverne bruges til bevægelsesanalyse er det væsentligt at kun reelle data analyseres. I de reelle data findes der huller i banerne, så for at have så mange data som muligt at analysere ud fra, skal der ikke smides alt for mange små stykker data ud.

9.2. Afstandsberregning

Sådan beregnes afstanden fra fødderne til skuldrene i (x, y)-løberetningen (**dette afsnit skriger efter illustrationer og dertil hørende forklarende tekst**):

- 1: Beregn føddernes gennemsnitlige retning.
- 2: Beregn føddernes gennemsnitlige placering.
- 3: Find den retning, der står vinkelret på føddernes gennemsnitlige retning.
- 4: Beregn hældningen på denne retning.
- 5: Bestem skæringspunktet med y-aksen for den linje parallelt med den vinkelrette, som går gennem føddernes gennemsnitlige placering.

6: Bestem skæringspunktet med y-aksen for den linje parallelt med det vinkelrette, som går igennem skulderens placering.

7: Afstanden mellem de to skæringspunkter bruges til at finde skæringspunktet mellem linje 2 og føddernes gennemsnitlige retning, når koordinatsystemet sættes til at starte i føddernes gennemsnitlige placering.

8: Ved hjælp af skæringspunktets x- og y-koordinater kan afstanden beregnes med Pythagoras' sætning.

10. 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

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

[Baldo et al.]

Marcus Vinicius C Baldo, Ronald D Ranvaud, Edgard Morya, *Flag errors in soccer games: the flash-lag effect brought to real life*, Perception, vol. 31, pp. 1205-1210, 2002

http://www.fisio.icb.usp.br/~vinicius/Public_pdf/Baldo_Ranvaud_Morya.pdf

[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>

[Cairos]

Cairos Technologies AG, <http://www.cairos.de>

[Cairos2]

Cairos System Utilization, præsentation af Cairos-systemets anvendelighed

[Eagleman & Sejnowski]

David M. Eagleman and Terrence J. Sejnowski, website med supplerende information til artiklen *Motion Integration and Postdiction in Visual Awareness*, Science, vol. 287, 17. marts 2000, <http://nba.uth.tmc.edu/homepage/eagleman/flashlag/>

[euro2004.com]

UEFA's website om EM-slutrunden i Portugal i 2004, <http://www.euro2004.com/tournament>

[FIFA]

International F.A. Board AGM, *New Laws of the Game*, FIFA.com, 28. februar 2005, <http://www.fifa.com/en/news/feature/0,1451,105505,00.html?articleid=105505>

[Fodboldloven]

Fodboldloven, 55. udgave, 2004/2005, Dansk Boldspil Union <http://www.dbu.dk/data/dbu/filedb/791.pdf>

[von der Grün]

Thomas von der Grün, *3D Online Localisation and Tracking System of Players and Ball using Wireless Technologies*, Cairos Technologies AG, 2003.

[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.bmjjournals.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>

[Wesson]

John Wesson, *The Science of Soccer*, Institute of Physics Publishing, 2002