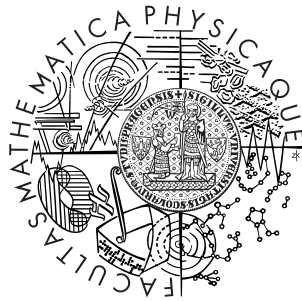


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Jan Beneš

Fotbal

Katedra aplikované matematiky

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Bernard Lidický

Studijní program: Informatika, programování

2008

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Mgr. Bernardu Lidickému za to, že měl odvahu se se mnou do této bakalářské práce pustit a také za jeho věcné připomínky. Dále bych rád poděkoval Jiřímu Hronovi, studentu teoretické fyziky a licencovanému fotbalovému trenérovi za diskuse, které se mnou na obě témata ochotně vedl, a Janu Binderovi, který můj program při vývoji ochotně testoval. Nakonec bych chtěl poděkovat svým blízkým a kamarádům za podporu, kterou mi při psaní i v životě projevili.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne

Jan Beneš

Obsah

1	Úvod	6
2	Fyzikální model	8
2.1	Souřadná soustava a rozměry	8
2.2	Kolizní primitiva	9
2.3	Fyzika míče	10
2.3.1	Míč v letu	10
2.3.2	Míč na zemi	11
2.3.3	Detekce kolize míče a ostatních objektů	11
2.4	Model branky	12
3	Herní model	13
3.1	Herní akce	13
3.1.1	Přihrávka	14
3.1.2	Centr	15
3.1.3	Střela	15
3.2	Ovládání	16
3.3	Rozestavení hráčů	17
3.3.1	Taktika	17
3.3.2	Formace	17
3.4	Hráč	19
3.4.1	Společné vlastnosti brankáře a hráče	19
3.4.2	Hráč v poli	22
3.4.3	Vedení míče	25
3.4.4	Hráč mimo ohrožení	27
3.4.5	Výběr směru běhu	28
3.4.6	Výběr příjemce přihrávky	29
3.4.7	Hodnocení možnosti střelby	29

3.4.8	Brankář	30
4	Implementace	37
4.1	Základní volby	37
4.2	Smyčky	38
4.3	Rozdělení tříd	38
4.4	Třída pro míč	40
4.5	Vykreslování	40
5	Uživatelská dokumentace	41
5.1	Hardwarové a softwarové požadavky	41
5.2	Instalace	41
5.2.1	Mac OSX	42
5.2.2	Linux	42
5.2.3	Windows	42
5.3	Možnosti nastavení	42
5.4	Navigace a použití menu	42
5.5	Hra	44
5.6	Ovládání	44
5.7	Herní akce	45
5.7.1	Odebírání míče soupeři	45
5.7.2	Střelba	45
5.7.3	Centr a přihrávka	45
5.7.4	Hra z voleje	45
5.8	Pravidla hry	46
5.9	Možné problémy	46
6	Srovnání s podobnými programy	48
6.1	New Star Soccer 3	48
6.2	Sensible Soccer, Yoda Soccer	49
6.3	Pro Evolution Soccer 2008	49
7	Závěr	51
	Literatura	53
A	Obsah přiloženého CD	55

Název práce: Fotbal

Autor: Jan Beneš

Katedra (ústav): Katedra aplikované matematiky

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Bernard Lidický

E-mail vedoucího: bernard@kam.mff.cuni.cz

Abstrakt: Cílem práce bylo navrhnout a implementovat simulátor fotbalového utkání a porovnat výslednou implementaci s ostatními programy se stejnou funkcí. Byl navržen model, podle kterého hráči a brankáři hrají fotbalové utkání. Program je možno provozovat v interaktivním módu, kdy jsou hráči jednoho z týmů ovládáni uživatelem, nebo je možné sledovat fotbalové utkání umělých inteligencí. Dále je součástí simulace reálná fyzika fotbalového míče a odrazů od břevna a tyčí.

Klíčová slova: fotbal míč simulace umělá inteligence

Title: Soccer

Author: Jan Beneš

Department: Department of Applied Mathematics

Supervisor: Mgr. Bernard Lidický

Supervisor's e-mail address: bernard@kam.mff.cuni.cz

Abstract: The purpose of this thesis was to design and implement an association football (soccer) match simulator and to compare the resulting implementation with other programs of similar function. A model after which both outfield players and goalkeepers play in an association football match was designed. It is possible to run the program in an interactive mode, whereby the players of one of the teams are controlled by the user, or to spectate a match of artificial intelligencies. Included in the simulation are the physics of the football and deflections off the crossbar and the posts.

Keywords: soccer football ball simulation AI

Kapitola 1

Úvod

Fotbal je sportem, který se těší obrovskému zájmu. Po celém světě je registrovaných zhruba 38 miliónů hráčů, z nichž je 113 tisíc profesionálů. Ti všichni jsou organizováni do asi 300 tisíc klubů a 1.7 miliónu týmů¹ [3]. Mistrovství světa v Německu bylo vysíláno v 214 zemích světa a na živo ho viděly přes 3.3 milióny fanoušků, přes 52 tisíc na každý zápas. O kulturním a ekonomickém významu fotbalu ve světě tedy není pochyb.

Fotbal však skýtá i řadu zajímavých teoretických problémů, především z oblasti umělé inteligence. Ve fotbale je potřeba řešit mnoho netriviálních úloh, například týmovou kooperaci, timing, rozhodování, biomechaniku hráčů apod. Byla by asi lež tvrdit, že fotbalisté simulovaní pomocí umělých bytostí přímo změni svět, mohou ale přispět k rozvoji oboru a zároveň k zábavě.

Díky popularitě fotbalu začaly brzo vznikat i počítačové hry. Nejstarší počítačová hra, kterou se podařilo dohledat, je 5A Side Soccer z roku 1984. V dnešní době se však o hráče dělí především série FIFA od EA Sports a Pro Evolution Soccer od Konami². Přestože příznivců žánru není ve srovnání s ostatními žánry tolik, jejich nadšení je o to větší.

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit program, který umožní hrát fotbal na počítači. Součástí práce je vytvoření inteligentních počítačových protivníků i spoluhráčů, věrné fyziky míče a vizualizace celé hry. Další částí je práce prozkoumání dostupných her s obdobnou tematikou a jejich vzájemné porovnání zejména s ohledem na inteligenci hráčů.

Očekává se základní znalost fotbalové terminologie a pravidel, nespor-

¹Jeden klub může mít několik týmů, například ženský, mládežnický a podobně.

²Variantou fotbalových her jsou fotbalové manažery, kde je úkolem hráče vést fotbalový klub, nikoliv se aktivně účastnit hry.

toenci méně známe termíny a pravidla budou vysvětlovány v textu.

Nejprve je v 2. kapitole popsán fyzikální model celého programu. Následuje kapitola, která se věnuje hernímu modelu a kde je popsána mimo jiné umělá inteligence a rozestavování hráčů na hřišti. V následujících dvou kapitolách jsou popsány hlavní rysy implementace a ovládání programu. Poslední kapitola před závěrem se pak zabývá srovnáním s programy s podobnou funkcí.

Kapitola 2

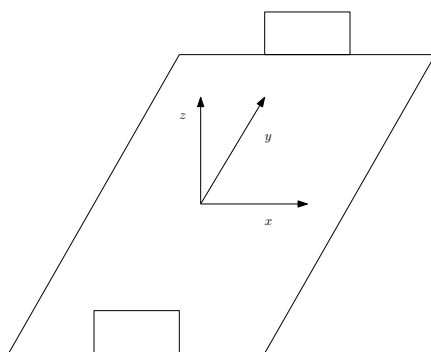
Fyzikální model

Nutnou podmínkou dobré fotbalové simulace je dobrý fyzikální model. Hráč by neměl mít pocit, že je hrou o nějakou důležitou vlastnost fotbalové fyziky ochuzen. Například odraz míče od brankové konstrukce by měl vypadat reálně a také se pokud možno reálně chovat. Mnoho branek padne po odrazu od tyče nebo břevna a naopak, mnoho nadějných střel je jimi zastaveno. Určitě by bylo možno simulaci upravit tak, aby balon k tyči nikdy nesměřoval a vždy se jí vyhnul. To by však hře velmi ubralo na prožitku.

Na druhou stranu je možno zanedbat nebo jen aproximovat jevy, které mají vliv extrémně malý nebo které nelze v reálném fotbale často pozorovat. Mezi takové patří například některé zvláštní přímé kopy, kaluže na trávníku, vítr, tření aj. Nesmíme dále zapomenout, že vývoj je časově omezený a ne vše je možné implementovat. Fyzika je implementována iterativně. Výpočty probíhají po krocích, kterých se provede 200 za vteřinu.

2.1 Souřadná soustava a rozměry

Celá hra se odehrává ve trojrozměrném prostoru s pravoúhlou souřadnou soustavou. Fotbalové hřiště je incidentní s rovinou XY , přičemž počátek souřadné soustavy je identický se středem hřiště. Kratší strana je rovnoběžná s osou x , delší s osou y a kladný směr osy z směřuje v herním světě vzhůru.

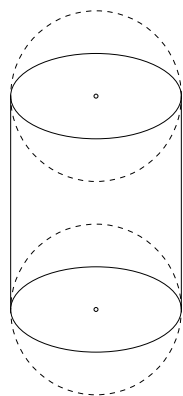


Obrázek 2.1: Souřadná soustava hřiště.

2.2 Kolizní primitiva

Při detekci kolizí se používá omezená množina těles, která aproximují herní objekty. Jsou to sféra, rovina a kapsle, která je sjednocením dvou sfér a válce. Kolize paprsku (přímky) se sférou, stejně jako s rovinou či s válcem, je popsána například v [7] a [8]. Kapsle je sice v počítačových hrách často používané primitivum, přesto pravděpodobně neexistuje jednotná definice.

Kapsli tedy pro naše účely definujeme dvěma body a poloměrem. Body definují středy podstav válce o daném poloměru. Kapsli získáme sjednocením tohoto válce s dvěma sférami o tom samém poloměru a středem incidentním se středy podstav válce, jak je znázorněno na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Kapsle. Koncové sféry jsou značeny čerchovaně.

2.3 Fyzika míče

Základní popis principů ovlivňujících fyziku míče lze najít v [1].

Míč je aproximován jako hmotný bod umístěný ve středu míče, jehož pozice a rychlost je iterativně počítána po fixních krocích¹. Tedy

$$p_{n+1} = p_n + \Delta t v_n$$

kde Δt je časový krok, v_k je rychlost míče v k -tém kroku a p_k je pozice míče v k -tém kroku.

Výpočet rychlosti v a zrychlení a se liší podle toho, jestli míč letí nebo jestli se pohybuje po zemi.

2.3.1 Míč v letu

Pokud míč letí, je popsán následující sadou rovnic

$$a = \Delta t m_t s_t \alpha + \Delta t m_s s_s \alpha$$

$$v_{n+1} = v_n + \Delta t g + \Delta t a$$

kde m je jednotkový vektor ve směru působení Magnusovy síly, s je bezrozměrná velikost rotace v rozsahu $\langle -1, 1 \rangle$, kde znaménko určuje směr rotace, v_k je rychlost v k -tém kroku, g je vektor tíhového zrychlení a α je koeficient, kterým lze vliv rotace na trajektorii upravovat. Indexy t a s určují, jestli se jedná o rotaci boční nebo horní. Velikost rotace považujeme při letu za konstantní.

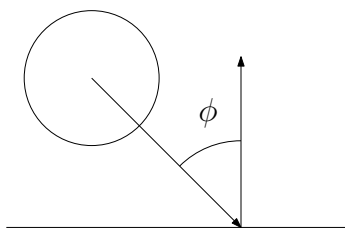
Varianta s boční a horní (dolní) rotací byla zvolena na místo jediné osy rotace, protože umožňuje snazší parametrizaci a je intuitivnější. Existují ale situace (například pokud je rychlost míče nulová), kdy směr působení horní rotace není definován, a ty je potřeba zvlášť ošetřit.

Rychlost míče a jeho rotace se po při dopadu a následném odrazu (viz obrázek 2.3) od země násobí $\beta \cos(\phi)$, kde ϕ je úhel dopadu² a β je koeficient odrazu. Rotace míče jsou po dopadu násobeny β^3 , což má za cíl rychlejší utlumení než v případě rychlost míče³.

¹Což nás zbavuje závislosti na aktuálním vytížení počítače, které by způsobovalo rozdíly ve výpočtech se stejnými počátečními hodnotami, které by mohly být způsobeny variabilními kroky.

²To znamená úhel mezi vektorem směřujícím vzhůru a vektorem opačným k směrovému vektoru míče před dopadem.

³Rozumný koeficient β je totiž zřejmě menší než 1.0, jinak by míč při dopadu nezpomaloval.



Obrázek 2.3: Znázornění úhlu dopadu míče.

2.3.2 Míč na zemi

Pokud se míč pohybuje po zemi, můžeme ignorovat horní rotaci jako parametr a předpokládat, že balón na podložce neklouže. Horní rotace míče je potom závislá na rychlosti, a tedy ji nemůžeme ovlivnit. Naopak už je vhodné započíst tření, které zpomaluje jak míč, tak jeho rotaci. Za použití už zavedeného značení je nová boční rotace

$$s_{s,n+1} = s_{s,n} - \Delta t \delta s_{s,n}$$

Nová rychlost je dána rovnicí

$$v_{n+1} = v_n + \Delta t a - \Delta t v_n \gamma$$

a zrychlení jako

$$a = m_s s_{s,n} \alpha$$

kde γ je koeficient ovlivňující chování rychlosti vůči tření a δ je koeficient ovlivňující chování boční rotace vůči tření.

Rovnice pro pozici zůstává stejná. Rychlost a boční rotace se v každém kroku sníží o nějaký svůj násobek, což simuluje tření.

2.3.3 Detekce kolize míče a ostatních objektů

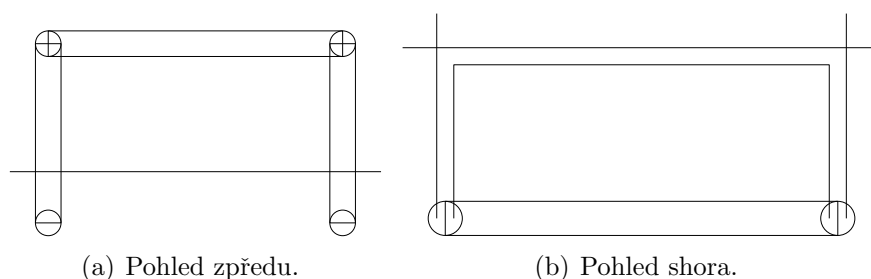
Jak je zřejmé z úvodu sekce, je trajektorie míče aproximována úsečkami. Díky vysokému počtu iterací je tato aproximace dostatečně přesná⁴. Tím se usnadňuje i detekce kolizí. Protože je míč sféra, stačí nám najít objekt, který je protnut současným směrovým vektorem v co nejbližším čase. Ve vzdálenosti poloměru míče po směrovém vektoru od průsečíku pak leží střed

⁴Ani při menším počtu iterací za vteřinu by však rozdíl nebyl nijak drastický.

míče v době kolize⁵. Hlavními údaji u kolize jsou pak čas (pro porovnání s dalšími kolizemi) a povrchová normála objektu, se kterým se míč srazí. Ta je nezbytná pro výpočet odrazu míče od objektu.

Protože výpočty s desetinnou čárkou nejsou na počítači realizovatelné přesně, je potřeba výpočet připravit na možnosti numerické chyby. Je tak vhodné každý průsečík posunout o konstantu po povrchové normále objektu, který paprsek protnul⁶, aby nenastala situace, kdy se míč při srážce dostane, byť minimální částí, dovnitř jiného objektu.

2.4 Model branky



Obrázek 2.4: Branková konstrukce.

Branková konstrukce je modelována několika objekty, které jsou vhodně sjednoceny tak, aby dávaly celou brankovou konstrukci.

Obě tyče a břevno jsou modelovány sjednocením tří kapslí. Tyče jsou zapuštěny do země a na svých vrchních koncích jsou spojeny břevnem (viz obrázek 2.4(a)). Díky vhodnému tvaru kapsle jsou do sebe tyče a břevno zapuštěny velmi efektně.

Branková síť je modelována čtyřmi vnitřními a čtyřmi vnějšími plochami, jak je ukázáno na obrázku 2.4(b).

Překrytí vnějších plošek zajišťuje, že se míč z vnější strany nedostane mezi vnitřní a vnější plošky. Zepředu jsou pak plošky uzavřeny kapslemi tyčí a břevna.

⁵Ve skutečnosti fungují kolizní funkce přesně naopak, posunou po normále rovinu nebo zvětší poloměr kapsle či sféry a pak teprve protínají s paprskem.

⁶Jedná se o standardní techniku, která se používá například při raytracingu.

Kapitola 3

Herní model

Herní model popisuje, jakými pravidly se herní svět řídí, jaké akce v něm lze provádět, jaké druhy entit se v něm vyskytují a také principy ovládnání hráče uživatelem, které mají na výslednou hru nemalý dopad.

Navržený herní model nebere v úvahu offside (ale ošetřuje situace tak, aby k němu nedocházelo), neumožňuje faulovat protihráče a díky tomu ani nepodporuje zahrávání přímých a nepřímých volných kopů.

Offside byl vynechán, protože jeho současná i dřívější verze příliš závisí na rozhodnutí rozhodčího [6]. Dále je, ze stejného důvodu, vynecháno pravidlo o úmyslnosti a neúmyslnosti tzv. „malé domů“¹, brankář míč vždy pouze odkopne, aby se zbavil možného ohrožení soupeřem.

3.1 Herní akce

V modelu jsou použity tři základní herní akce, které hráč může s míčem provést. Jsou to přihrávka, centr a střela. V každé části bude uveden princip, na kterém jsou tyto akce ve hře postaveny a proveden krátký rozbor, proč tomu tak je. Více o fotbalové taktice je možné najít například v [9].

Akci s míčem může provádět hráč, který ho má ve svém dosahu. Podrobnosti interakce s hráčem s míčem jsou popsány v sekci 3.4.1.

Hráč může zahrát míč i „z voleje“, tedy prvním dotykem.

¹Malá domů je přihrávka hráče dolní polovinou těla vlastnímu brankáři. Brankář pak míč nesmí zahrát rukama.

3.1.1 Přihrávka

Hráč může míč přihrát libovolným směrem a na libovolnou vzdálenost, záleží jen na postavení přijímajícího hráče, na kterého hra míč sama nasměruje.

Přihrávka je tedy orientovaná. Existují totiž i hry, kde hráč určí pouze směr, ale bližší zacílení provedeno není. Takový přístup je však silně omezen ovládním na klávesnici, které neumožňuje zamířit libovolným směrem a hodí se proto spíš pro platformy, kde se dá předpokládat existence např. gamepadu.

Problém je tedy převeden na problém výběru možných příjemců. Má mít hráč možnost vybrat si libovolného hráče, nebo má být omezen jen na nějakou skupinu? Prvním potenciálním problémem je přehled na hřišti. Zatímco počítač má přehled nekonečný, uživatel, ač může využívat radar², má možnosti rozhledu omezené. Navíc dosud nikdo nenavrhl takové ovládní, které by umožňovalo libovolného příjemce snadno vybrat.

Byla proto zvolena možnost, kdy hráč může vybrat jeden z 8 směrů a počítač automaticky vybere nejvhodnějšího hráče pro příjem přihrávky, která by směřovala daným směrem. Stejně rozhraní navíc používá i počítač, hráč je tedy znevýhodněn pouze tím, že počítač dopředu ví, kteří hráči jsou potenciálními příjemci přihrávky³.

Ve výšeci pro daný směr je vybrán hráč, který se míčí (potažmo autorovi přihrávky) nachází co nejbližší. To uživateli umožní snáze odhadnout, kterému hráči bude přihrávka adresována.

Počítač pak náhodně vybere, zda bude přihrávka zahrána malým obloukem nebo přímo po zemi (u dlouhé přihrávky je pravděpodobnost větší). Ať už je přihrávka vedena vzduchem nebo po zemi, je parametrizována rychlostí, kterou má k příjemci doputovat. To je motivováno faktem, že příliš rychlá přihrávka je na zpracování zbytečně složitá, zatímco pro příliš pomalou hrozí přebrání míče soupeřem. Tento parametr se v praxi ukázal jako vhodný.

V původním modelu bylo počítáno i s možností ovlivňovat výběr příjemce pro daný směr délkou stisku klávesy. Souhra nedostatku času a faktu, že by pak hráč neměl možnost dobře směřovat přihrávku, byla pro odmítnutí této vlastnosti rozhodující.

²Zmenšená mapa, která ukazuje rozestavení hráčů

³Řešením je podbarvovat hráče, který je potenciálním příjemcem, a dát tak uživateli najevo na kterého hráče by přihrávka směřovala. To ale není implementováno.

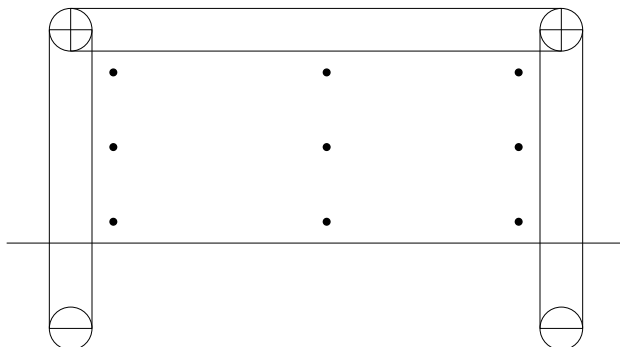
3.1.2 Centr

U centru, tedy delší přihrávky vzduchem, platí stejné úvahy jako u přihrávky. Výjimkou je změna pravidla, podle kterého se vybírá ideální příjemce. Tím je nově hráč, který je co nejbližší nějaké ideální vzdálenosti od míče. To ale neznamená, že centr nemůže být proveden například na velmi krátkou vzdálenost.

Úhel, pod kterým je míč zahrán, je náhodně vybrán z předem určeného rozsahu. Počítač pak dopočítá, jak rychle míč zahrát, aby k danému příjemci bez meziskoku doputoval.

3.1.3 Střela

Existují dva rozumné modely pro míření při střelbě. Jedním je model relativní, kde hráč střílí určitým směrem vůči své aktuální pozici. Je pak úkolem umělé inteligence nebo uživatele, aby svého hráče před střelou dobře umístil a aby tak střela směřovala kam má. Tato metoda je však nepoužitelná kvůli ovládání pomocí klávesnice.



Obrázek 3.1: Kam je možné zamířit střelu. Černé body značí možné cíle.

Druhou metodou je absolutní míření, kde hráč určuje kam na bránu chce střílet (viz obrázek 3.1). Protože jsou to právě rohy brány, spolu se střelami k tyči ve střední výšce, které jsou častým terčem pro zakončení a navíc metoda projevuje určitou nezávislost na analogovém ovladači, byla vybrána jako vhodné řešení.

Uživatel⁴ (a umělá inteligence) vybírá jeden z 8 bodů po obvodu vstupu do brány, případně střelu doprostřed. Míření je z pohledu uživatele, nikoliv

⁴Popsáno v kapitole 3.2

hráče, což uživateli velmi usnadňuje orientaci.

Rychlost střely stejně jako její rotaci určuje opět počítač. První je dáno zvoleným systémem míření. U druhého je situace složitější. Přesto existují hry, kde se rotace ovládá za letu pomocí kláves. Míč, který směřoval do rohu brány pak zahýbá blíže k prostředku brány nebo naopak z brány ven. Úhel, pod kterým byl míč vystřelen, už však změnit nelze, takže místo určování rotace se spíš jedná o mezihru pro uživatele, který se snaží korigovat nepřesnosti.

Počítač s určitým pravděpodobnostním rozdělením přiděluje každé střele rozsah nepřesnosti, ze kterého se pak náhodně vybere skutečná nepřesnost relativně k cíli. Metoda, kdy se o místo cíle střely mění úhel, ve kterém je střela vystřelena, by byl lepším řešením, na její začlenění se však nedostalo.

3.2 Ovládání

Ovládání je důležitou součástí herního modelu, je totiž rozhraním mezi hráčem a počítačem. Bez dobře navrženého ovládání nebude mít uživatel možnost hru dobře ovládat.

Předpokládá se vstup z klávesnice jako nejdostupnějšího vstupního zařízení. Situace by se rapidně změnila, pokud by do úvahy byla vzata analogová zařízení jako joystick nebo gamepad, která umožňují libovolně určovat směr.

Hráč hru ovládá osmi klávesami. Čtyřmi z nich určuje jeden z osmi možných směrů, další čtyři odpovídají střelbě, přihrávce, centrování a změně (přepnutí) vybraného hráče.

Přepínání mezi hráči je řešeno výběrem tří hráčů, kteří jsou nejbližší míči a u nichž se předpokládá, že by je uživatel mohl chtít ovládat. Další, čtvrtý, je přidán, pokud jsou všichni tři nejbližší hráči za míčem a nemohou jej dohnat. Aby se množina hráčů, na které se uživatel může přepnout, neměnila moc rychle, je měněna periodicky jednou za zhruba vteřinu. Uživatel se nemůže přepnout z hráče, který vlastní míč.

U míření byl zvolen model, kdy uživatel nejprve stiskne a drží klávesu pro zvolenou akci. Tím se hráč přepne do režimu, kdy automaticky zachovává původní směr pohybu hráče, a z kláves pro výběr směru se stanou klávesy pro míření. Po uvolnění klávesy pro akci pak hráč přechází opět pod kontrolu hráče a akce je provedena.

3.3 Rozestavení hráčů

V části textu 3.3.2, zabývající se pozicováním, je uvedeno, že pozicování je akce, kterou hráč provádí, pokud neprovádí žádnou jinou akci. Podstatou této činnosti je držení pozice podle taktických instrukcí.

Nejprve popíšeme vliv taktiky na herní dění a následně z toho vyplývající koncept formace.

3.3.1 Taktika

Aby tým nehrál naprosto chaoticky, musí mít každý hráč na hřišti svoji roli. Některé role, jako brankář, jsou dány pravidly, některé jsou dány trenérem. Základním taktickým pokynem je rozestavení, které je popsáno v následující sekci a které určuje, kde na hřišti se má který hráč přibližně pohybovat.

3.3.2 Formace

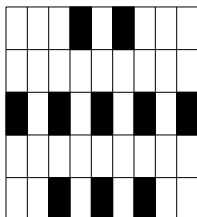
Vývoj fotbalu, stejně jako celého lidstva, došel ke specializaci. Každý hráč má přiřazenu roli v týmu podle rozložení svých schopností, která mu také určuje, kde se má po hřišti pohybovat.

Ačkoliv se možné funkce hráče v týmu s časem vyvíjejí⁵, ustálilo se rozdělení na čtyři základní kategorie (řady): brankář, obránce, záložník, útočník. Ty je dále možné rozšířit o role defenzivního záložníka (na krajích splývá s útočícím krajním obráncem) a útočícího záložníka (staženého, neboli podhrotového útočníka, nebo, hraje-li na kraji, tzv. „křídla“). Vznikne tím tedy pět řad (řada s brankářem se nezapočítává, brankář totiž může být jen jeden a hrát bez něj nemá smysl), pomocí kterých je možné klasifikovat prakticky kterékoliv dnes používané rozestavení. Zároveň je také z praxe známo, že vedle sebe v řadě nemůže rozumně hrát víc než pět hráčů.

Tím se dostáváme k modelu formace, který dělí hrací plochu na síť 9×5 pozic (jak je ukázáno na obrázku 3.2), která vedle sebe umožňuje hrát až pěti hráčům v pěti řadách. Protože je vhodné, aby hráči hrající spolu v jedné řadě byli umístěni symetricky podél osy hřiště, je potřeba devět pozic, aby byla symetrie možná jak pro sudý tak pro lichý počet hráčů v řadě. Jedinými omezeními je maximální počet hráčů, který vyplývá z pravidel fotbalu [6] a

⁵A také zanikají, například pozice libera se dnes ve vyšších soutěžích prakticky nepoužívá nebo je suplována brankářem.

podmínka, že dva hráči nesmějí stát vedle sebe. Tento model byl navrhnout podle modelu použitého v sérii Championship Manager od firmy Eidos.



Obrázek 3.2: Síť, která ukazuje jedno z možných rozestavení pro formaci se třemi obránci, pěti záložníky a dvěma útočníky. Řada ofenzivních i defenzivních záložníků je prázdná.

Tím máme definované přibližné rozestavení hráčů na hrací ploše. Formace se ale pohybuje a deformuje v závislosti na pozici míče. V našem modelu jsou tyto jevy modelovány následovně:

- Je-li míč u delšího kraje hřiště, šířka formace se postupně zmenšuje (škáluje) na násobek své velikosti.
- Je-li míč u kratšího kraje hřiště, délka formace se postupně zmenšuje na násobek své velikosti.
- Čím více je míč na polovině soupeře, tím více se postupně čtyři krajní sloupce formace, dva na každé straně, zmenšují, přičemž si ale útočná řada zachovává svou pozici, a efektem je tedy jakési vysouvání krajních řad směrem dopředu při útočení a návrat k původní formaci při bránění⁶.

Jakmile je formace i se všemi deformacemi vypočtena, musí se ještě vhodně umístit na hřišti. Logika umístění je pro každou souřadnici jiná. Na začátku je formace umístěna prostředkem na prostředek hřiště a AABB⁷ formace se nikdy ani částečně nesmí dostat mimo herní plochu.

Pro osu x , tedy posun formace do stran, platí, že má-li libovolný hráč z kteréhokoliv týmu míč, snaží se formace posunout svůj střed o tolik, o kolik se liší hráč vedoucí míč od své vypočtené pozice v neposunuté formaci.

⁶Toho se dá snadno dosáhnout vhodným umístěním počátku, například do levého horního rohu formace, před zahájením transformací.

⁷Axis Aligned Bounding Box - osově zarovnaný obdélník, který je nadmnožinou všech daných bodů.

Čím víc se tedy od své pozice posunuje hráč, tím víc se posunuje i formace a kopíruje tak jeho pohyby do stran. Je-li vlastníkem hráč soupeře, je posunutí zmenšeno multiplikativní konstantou, protože obecně o formaci druhého týmu nic nepředpokládáme a tedy nevíme, že hráč, který vede po kraji hřiště není na své straně osamocen a není jen léčkou, která má uvolnit prostor pro hráče soupeře na druhé straně hřiště. Pokud míč nevlastní nikdo, zarovná se střed formace s pozicí míče.

Na ose y je situace odlišná. Vlastní-li míč hráč soupeřova týmu, je formace umístěna tak, aby obranná hrana formace byla umístěna metr za útočníky. Tím by si jednotlivé řady obou formací měli odpovídat. Pokud míč vlastní hráč náležící týmu, jehož formaci konstruujeme, je formace umístěna 15 metrů za hráčem. Tím se zaručí, že hráč s míčem nebude předběhnut všemi spoluhráči, ale bude mít zajištěnou dostatečnou podporu, i pokud se zastaví. Konečně pokud míč nevlastní nikdo a je na útočné polovině, je formace umístěna středem 3 metry nad míč, jinak přímo na míč.

Pohyb formace není plynulý a podle měnících se podmínek může formace náhle přeskakovat po celém hřišti. Hráči v akci pozicování se snaží vždy doběhnout na svoji pozici a maximálně při náhle změně pozice formace náhle změni svůj směr, což lze pozorovat i ve skutečném fotbale.

Aby nebyl pohyb hráčů ve formaci pro lidské oko tolik viditelný⁸, jsou i pozice hráčů periodicky randomizovány. K vypočtené formaci se tak přidá nějaké náhodné posunutí v rozumném dosahu. Tím navíc hráč neustále zůstává v pohybu, stejně jako skuteční hráči.

3.4 Hráč

Nejprve uvedeme popis společných vlastností pro obě kategorie hráčů: brankáře a hráče v poli. Následovat budou popisy akcí a chování hráčů v poli a brankáře při hře.

3.4.1 Společné vlastnosti brankáře a hráče

Ačkoliv hráče v poli a brankáře pravidla fotbalu jasně rozlišují, jsou oba dva lidé, a tedy mají některé stejné schopnosti a vlastnosti. Ty budou popsány v této sekci a jsou tedy platné jak pro brankáře, tak pro hráče v poli.

⁸Stejně jako jsou v počítačové grafice rastry pro tisk natáčeny od svislých a vodorovných směrů tak, aby příliš nerušily.

Pozice hráče je definována pomocí souřadnic x a y . Jeho z -ová souřadnice je vždy nulová, v budoucnu by se mohla dát použít pro určení výšky výskoku.

Pohyb

Uživatелеm ovládaný hráč je schopný se pohybovat po hřišti ve čtyřech základních směrech a čtyřech směrech diagonálních. Toto dělení odpovídá i neanalogovému charakteru klávesnice, která je předpokládaným vstupním zařízením. Naopak počítačem ovládaný hráč, ač si udržuje i informaci o přibližném směru, je z implementačních důvodů schopen běhat směrem libovolným⁹ za podmínky, že není vlastníkem míče. To diskriminuje uživatelského hráče, který, potřebuje-li při běhu zahrnout, ztrácí náskok na svého počítačového protivníka, který je schopen ho dohonit po přímé spojnici.

Hráč se pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem shora omezenou nezápornou rychlostí¹⁰ a stejně i zpomaluje (zrychlení a zpomalení). Při změně směru o $\pm\pi/4$ nedochází ke snížení rychlosti, pokud je však změna směru razantnější, je hráč zastaven. To má za účel simulovat obtížnost náhlé změny směru.

Existuje ještě speciální akce náhlého zastavení, kdy je hráč schopen okamžitě snížit svoji rychlost na nulu. Ta se používá počítačem pro snazší implementaci dobíhání na místo a hráč ji nemůže nijak ovládat.

Další akcí, kterou lze na hráči provést, je omráčení. Pokud v reálu hráč upadne, provede skluz nebo například ztratí rovnováhu, je chvíli ochuzen o možnost účastnit se hry. Tyto potenciální situace má za úkol napodobit omráčení - jednoduše hráče na nějaký časový úsek vyřadí s možností pohybu nebo interakce s míčem. Používá se, je-li hráč obrán o míč a pokusí-li se neúspěšně obrátit o míč soupeře (případné fauly by byly ošetřeny podobně). Hráč při omráčení zůstane stát, ale jiná grafická reprezentace by byla vhodnější.

Kromě směru také hráč rozlišuje směr pohledu, podle kterého se volí grafika na vykreslení. Ačkoliv tedy neběží přímo jedním z osmi výše uvedených směrů, v jednom z nich se, z podstaty použité vizualizace, musí zobrazit.

⁹Pohyb hráčů, běhají-li všichni najednou pouze 8 směry, vypadá zaprvé velmi primitivně a zadruhé, díky použitému modelu značně ztěžuje výpočet skutečné vzdálenosti, kterou hráč urazí mezi dvěma body - není totiž schopen „trefit“ správně zlomy na lomené čáře, po které by měl běžet a v různých situacích kolem ní osciluje

¹⁰Implementován je i sprint, ale protože ho AI neumí používat, není uživateli zpřístupněn.

Interakce s míčem

Základní interakcí je vedení míče. Míč potom kopíruje pohyb hráče udržováním své pozice v určité vzdálenosti před pozicí hráče ve směru jeho pohybu a neprojevuje žádné další fyzikální vlastnosti¹¹.

Další interakcí je odebrání míče. Zatímco některé simulace volí aktivní odebrání, kdy uživatel, resp. umělá inteligence, musí o odebrání míče zažádat, použitý model se pokusí o odebrání míče v okamžiku, kdy se dva hráči z různých týmů přiblíží na nějakou vzdálenost a je-li míč před hráčem, který ho má odebrat (tedy úhel mezi směrem běhu a úsečkou spojující pozici hráče a míč je menší než $\pm\pi/2$ s drobnou tolerancí). Pokud je odebrání míče, jehož úspěch závisí na pevně dané pravděpodobnosti, úspěšné, je míč okamžitě veden hráčem, který míč odebral. Hráč obraný o míč je na necelou sekundu omráčen. Pokud je odebrání neúspěšné, hráč vedoucí míč pokračuje v běhu bez jakýchkoliv změn a omráčen je hráč, který se o odebrání pokusil.

Hráč tedy s míčem neinteraguje do okamžiku, kdy se míč dostane před něj. To má za následek snazší přejímání míčů za běhu, kdy by bylo jinak třeba učit hráče míči se vyhýbat ap.

Hlavičky nejsou v modelu separátně řešeny. Hráč je schopný přijmout míč, je-li splněna podmínka o vzdálenosti a úhlu a nadto je míč níže než na nějaké určené hladině. Hlavička pak odpovídá nějaké herní akci „z voleje“ pro míč, který letěl dostatečně vysoko. Hráč tak nepotřebuje skákat.

Zhodnocení

Model musí být hodně zjednodušený, aby ho bylo možné v rozumném čase implementovat. Hlavní herní vlastnosti, které modelu chybí, jsou možnosti skluzu, a tím i faulu. Dále je to hra tělem, která v modelu neexistuje a která by nad jakoukoliv únosnou mírou ztížila implementaci umělé inteligence. Pozitivní vliv na návrh systému pohybu by měla i včasná znalost [5], strany 763–782.

Naopak se model velmi elegantně vypořádává s hlavičkami a přejímkou přihrávek a celkově dobře splňuje svůj účel.

¹¹Je však řešena kolize s brankou tak, aby hráč s míčem nemohl do branky proběhnout například přes tyč.

3.4.2 Hráč v poli

Role hráče na hřišti se liší, jak je podrobněji rozebráno v sekci 3.3.2. Přesto jsou všichni modelováni stejně, protože základní sada chování je velmi podobná.

Při úvahách o možných přístupech k návrhu umělé inteligence pro počítačového hráče byla zvolena stavebním kamenem skutečnost, že reálný hráč je pouze člověk. Kreativní záložník není schopný promýšlet herní kombinace na několik „tahů“ dopředu ve zlomcích vteřiny, které má k dispozici před tím, než je vyzván na souboj o míč s protihráčem. Útočník při hledání vhodného prostoru není schopen obsáhnout pozice všech protihráčů a spoluhráčů, musí totiž očima sledovat míč a svou pozici neustále měnit spolu s pozicí ostatních hráčů.

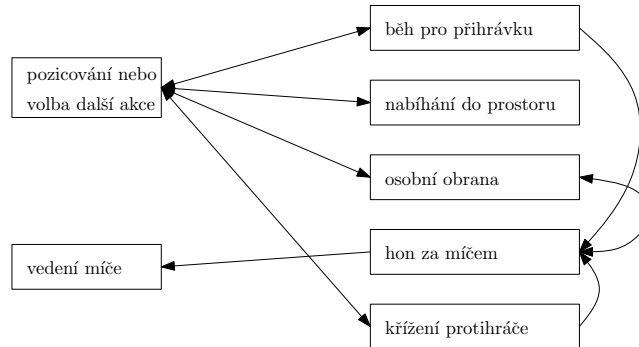
Následkem toho je umělá inteligence hry postavena na hypotéze, že fotbalista ve svém rozhodování disponuje pouze omezenými schopnostmi svých smyslů. Nevidí za sebe, ačkoliv o herní situaci může různé věci předpokládat podle nacvičené herní situace nebo podle pozice spoluhráčů a směru jejich běhu. Jeho rozhodování je podloženo hodinami nacvičování a praxe na tréninku pod vedením trenéra. Je-li to možné, rozhodování umělé inteligence by se tohoto ideálu mělo co nejtěsněji držet.

Možné akce

Hráč v poli v každém okamžiku vykonává právě jednu z níže uvedených akcí. Ty byly vybrány jako zástupci situací, metod a taktických pokynů, které jsou v reálném fotbalu nejčastěji k vidění. Některé budou popsány jen stručně, ty důležitější pak v samostatné sekci. Obecně se akce dělí do tří kategorií podle parametrů, které vyžadují:

- **pozice na hřišti** - akce je spojená s nějakým místem na hřišti, kde se má po doběhnutí provést nějaká činnost, případně přepnutí na jinou akci. Do této skupiny náleží nabíhání do prostoru a běh pro přihrávku.
- **hráč soupeře** - akce je spojená s hráčem soupeře, který je cílem akce. Patří sem osobní obrana, pokrytí hráče a křížení hráče.
- **žádný** - akce, která jsou ze své podstaty autonomní nebo závisí na nějaké snadno identifikovatelné herní entitě jako je např. míč. Jsou to vedení míče, hon za míčem a pozicování.

Některé akce používají pro přibližování se k nějakému bodu, ať už reprezentuje hráče, míč nebo cokoliv jiného, stejný postup. V okamžiku, kdy na místo dorazí, se náhle zastaví.



Obrázek 3.3: Možné stavy a přechody akcí hráče.

Následně popsané stavy jsou také znázorněny na obrázku 3.3.

- **běh pro přihrávku** - Akce, při které hráč běží na místo, které je určeno bodem na hrací ploše, aby na něm přebral přihrávku. Pokud v okamžiku doběhnutí na určený bod hráč stále není vlastníkem míče, musí zkontrolovat, jestli míč směřuje jeho směrem a jestli k němu dorazí v rozumném časovém horizontu¹². Pokud ano, čeká se na míč. Pokud ne, hráč změní akci na hon za míčem. Akci musí explicitně vyvolat přihrávající hráč.
- **nabíhání do prostoru** - Původně měla sloužit k vybírání volného prostoru. K tomu ale nikdy nedošlo a v současnosti slouží jen k tomu, aby se počítačové hráči, kteří se dostanou do offsidu, snažili dostat zpět za offsidovou linii. Pokud je tedy hráč za hranicí offsidové linie, vybere se náhodně bod těsně před hranicí offsidové linie, na který hráč doběhne. V okamžiku doběhu se snaží vybrat další akci.
- **pozicování** - Speciální akce, která hráčům říká, kde mají stát, pokud zrovna nemají nic lepšího na práci. Pozici hráč získá z formace (viz 3.3.2). Hráč se z akce přepne, pokud jsou splněny podmínky pro přechod do jiné, konkrétnější akce.

¹²V implementaci to je 1 vteřina a čas je vypočítám pouze ze současné rychlosti míče a vzdálenosti.

- **osobní obrana** - Hráč se snaží tzv. „osobně bránit“ určeného hráče soupeře. Popsáno níže.
- **pokrytí hráče** - Hráč se snaží držet pozici, kdy je v určité vzdálenosti od bráněného hráče na úsečce mezi pozicí bráněného hráče a míčem. Tato akce je implementována, ale není použita a dále zmiňována.
- **hon za míčem** - Hráč se snaží doběhnout na současnou pozici míče. Nepříjemným efektem je, že takováto cesta není vždy optimální. Hráč se z akce přepne do pozicování, pokud míč získá někdo z jeho týmu, nebo pokud chce hon za míčem zahájit jeho spoluhráč (předpokládá pak, že spoluhráč ví, co dělá).
- **křížení protihráče** - Snaha o zachycení soupeřů, kterým se podařilo proniknout obranou. Rozbor v samostatné sekci.
- **vedení míče** - Hráč má míč a rozhoduje se, jestli poběží dál nebo jestli se míče vzdá a jakým způsobem. Je rozebráno podrobně v sekci 3.4.2.

Pozicování

Základní akcí, ve které se hráči nachází, je pozicování. Je to přednastavená akce každého hráče a je to také akce, do které se velká část ostatních akcí přepne, pokud jejich úkol skončil. Naopak, v akci pozicování se inteligence sama rozhoduje na jakou další akci se podle výše uvedených kritérií přepnout.

Osobní obrana

Hráč se snaží osobně bránit určeného hráče soupeře. To provádí tak, že se snaží umístit o nějakou vzdálenost za bráněného hráče ve směru osy y směřujícím k jeho vlastní bráně¹³.

Akce se aktivuje, pokud je hráč vzdálen alespoň 20 metrů od půlící čáry, pozicuje se a v jeho dosahu je nebráněný soupeřův hráč.

Pokud útočící hráč, kterého náš hráč brání, získá míč, přepne se stav na hon za míčem. Pokud vzdálenost mezi ideální pozicí (jako v akci pozicování)

¹³Pokud by hráč místo za hráčem stál před hráčem, byl by silně znevýhodněn, pokud by se útočícímu hráči podařilo získat míč. Toto postavení mu dává určitý prostor pro reakci a zároveň možnost (v reálném světě) zabránit hráči tělem v postupu na branku.

překročí mez, je vybrána nová akce. Tím vzniká iluze zónové obrany, kdy hráč osobně brání hráče, který je v „jeho prostoru“, a v okamžiku, kdy tento hráč prostor opustí, ho přejímá hráč, do jehož prostoru se útočník dostal.

Křížení hráče

Akce je vybrána, pokud existuje spoluhráč, který pronásleduje míč, ale nemůže ho stihnout (tedy směr míče a pronásledujícího hráče se liší jen minimálně - zde je použit předpoklad stejné rychlosti útočícího i bránícího hráče). Potom se hráč v tomto stavu snaží svému spoluhráči vypomoci tzv. „křížením“.

Hráčem, který je vybrán jako křížící, je hráč, který je schopný se pohybem po ose x dostat útočícímu hráči do cesty včas¹⁴. Snaží se přitom, aby jeho souřadnice x byla stejná s útočnickovou.

Hráč se ze stavu křížení přepne na pozicování, pokud je hráč s míčem za jeho úrovní (tedy útočník je blíže brance, na kterou útočí, než bránící hráč; mohl totiž s útočícím hráčem prohrát souboj o míč). Dále se přepne na pozicování (akce je určena především jako záchranná brzda), je-li hráč moc daleko, protože se například otočil a běžel druhým směrem (není akutním nebezpečím). Je-li dostatečně blízko útočícímu hráči na to, aby se ho pokusil obrát o míč, přepne se do stavu honu za míčem. Křížící hráč může být vždy pouze jeden.

Možným (ale neimplementovaným) rozšířením by bylo zmírnění podmínek pro zahájení křížení. Hráč, kterého je třeba křížit, totiž není vždy pronásledován.

3.4.3 Vedení míče

Vedení míče je srdcem celé umělé inteligence - na hráče vedoucího míč je soustředěno nejvíc pozornosti.

Inteligence se dělí na dvě větve podle toho, jestli je hráč ohrožen (existuje hráč soupeře, který je od hráče ve vzdálenosti menší než 3.5 metrů, včetně brankáře), nebo jestli kolem sebe má dostatek volného prostoru.

V každé z nich musí AI rozhodnout o tom, jestli míč dále povede, nebo jestli se jej vzdá (přihrávkou, střelou, centrem) a pokud zvolí vedení, musí

¹⁴Implementace předpokládá, že se útočící hráč pohybuje pouze po ose y . To je jednodušší a vždy účinné, protože cesta po ose y je vždy nejkratší, tedy pokud hráče stihne za tohoto předpokladu, stihne ho vždy.

vybrat směr dalšího postupu.

Aby celý pohyb hráče nevypadal nepřirozeně, je vhodné nechat hráče „přemýšlet“ pouze ve větších časových intervalech. Pokud by například hráč měnil směr 200-krát za vteřinu v souladu s rychlostí herní smyčky, určitě by to vypadalo rušivě¹⁵. Nadto by měl počítač mít při myšlení podobnou rozlišovací schopnost jako hráč, tedy maximálně několik „úvah“ za vteřinu. Proto je frekvence přemýšlení omezena, pro každou z obou větví ale jinak.

Roztříštěním akce vedení míče na více menších akcí by mohlo být dosaženo lepšího efektu. Hráč by se například mohl explicitně snažit jít za míčem nebo doběhnout k rohovému praporku. Takové řešení by ale znásobilo složitost projektu.

Hráč v ohrožení

Je-li hráč v ohrožení, přemýšlí každých 50 milisekund, tedy 20-krát za vteřinu. To by mu mělo umožnit vyhnout se soupeři a okraji hřiště.

Možností běhu dopředu nazveme situaci, kdy se v osově zarovnaném obdélníku o rozměru asi 3×3 metru nenachází žádný soupeřův hráč. Tento obdélník je před nebo za hráčem ve směru osy y v závislosti na tom, na kterou branku útočí.

Hráč se nachází na kraji hřiště, pokud je na krajních 5% hřiště a zároveň běží směrem, který by ho mohl dovést z hřiště ven (takové směry jsou tři, případně 6, nachází-li se hráč u rohu).

Nejprve se, podle algoritmu popsáném v sekci 3.4.6, najde možný příjemce, ohodnotí možná střela, přihrávka a centr. První nadějí hráče je zkusit přihrát a tím míč předat spoluhráči, který není v tak svízelné situaci. Je-li ohodnocení přihrávky nebo centru nepřijatelně nízké, provede se následující sekvence kontrol:

1. Pokud je hráč na $2/10$ hřiště, které jsou nejbližší jeho vlastní bráně a zároveň je v necelém $\pm\pi$ od směru podle osy y k bráně, odkopne míč bezmyšlenkovitě do zámezí. Pokud by to neudělal, může jej soupeř ve velmi nebezpečné pozici připravit o míč nebo ho donutit s ním vběhnout za brankovou čáru, a tak způsobit v lepším případě roh, v horším případě gól¹⁶.

¹⁵A to i přesto, že počet překreslení za vteřinu je obvykle několikanásobně menší.

¹⁶Brankář by totiž vlastnímu hráči míč nemohl sebrat.

2. Pokud je dostatečně velké ohodnocení pro střelu, pak střílíme. Ohodnocení by mělo být takové, aby pozice byla na střelu dostatečně blízko a z dobré pozice, ale aby zároveň nepřišla až po odebrání míče soupeřem. Pokud je ohodnocení alespoň slušné a zároveň hráč nemůže běžet dopředu, vystřelí také.
3. Pokud hráč dopředu běžet může a není ještě na kraji hřiště, drží si směr a běží kupředu.
4. Pokud podmínky ani jedné ze tří předchozích možností nejsou splněny, je vybrán nový směr běhu. Tím se hráč také snaží svého soupeře obejít (za předpokladu, že je ohrožující hráč ve směru jeho běhu - což vzhledem k nesplnitelnosti podmínky o možnosti běžet dopředu velmi pravděpodobně je). To je úspěšná taktika především proti člověkem ovládanému protihráči.

Pokud není hodnocení přihrávky nebo centru nepřijatelně nízké, vypadá sekvence takto:

1. Pokud je možnost střelby dostatečně dobrá, následuje střela. Podmínky pro střelbu se zde liší od podmínek v předchozí sekvenci.
2. Je-li hodnocení pro centr lepší než hodnocení pro přihrávku a dostatečně vysoké, následuje centr.
3. Pokud je hodnocení pro přihrávku lepší než hodnocení pro centr a je dostatečně vysoké, následuje přihrávka.
4. Má-li hráč možnost běžet dopředu a není na kraji hřiště, běží podél osy y směrem k soupeřově bráně. Nechceme, aby zbytečně uhýbal.
5. Vybere se nový směr běhu.

Hráč může být v ohrožení pouze tehdy, je-li míč ve hře.

3.4.4 Hráč mimo ohrožení

Pokud je hráč mimo ohrožení, rozlišuje se, jestli je míč ve hře, nebo jestli se čeká na rozehraní. Pokud se na rozehraní čeká, pak se rozehraje¹⁷. Pokud se na rozehraní nečeká, kontrolují se postupně následující možnosti:

¹⁷Jsou rozlišeny další podsituace, jako out, rohový kop apod.

1. Je-li střela dostatečně dobrá a nemůže-li již hráč postupovat kupředu, nebo pokud je možnost střelby opravdu lákavá, pak hráč vystřelí.
Hráč by tedy měl jevit preferenci jít poměrně blízko k bráně před tím, než vystřelí.
2. S pravděpodobností $1/12$ hráč vyhodnotí, jestli je možnost centru dostatečně vysoká a pokud ano, centruje (přitom je hodnocení dost vysoké na to, aby bylo procento centrů na centry a přihrávky dostatečně nízké, kolem 20%). Pokud už necentroval, vyhodnotí ještě možnost přihrávky a případně přihraje.
3. Nyní už hráč ví, že střela, přihrávka ani centr nejsou dobrým řešením. Proto vybere další směr běhu.

Přemýšlení se vykonává 5-krát za vteřinu.

3.4.5 Výběr směru běhu

Postupně je ohodnoceno všech osm směrů, kterými hráč může pokračovat.

Je přitom použita následující hodnotící funkce, která rozdělí všechny hráče soupeře do tří skupin podle vzdálenosti (do 3 metrů, mezi třemi a 15 metry a nad 15 metrů). Potom je ke směru podle následující tabulky přičtena konstanta, která se liší podle úhlu (do $\pi/8$, od $\pi/8$ do $\pi/3$ a větší), který úsečka od pozice hráče k protihráči svírá se směrem běhu hráče.

Celý kruh je tedy rozdělen na kruhové výseče a soustředné kruhy. Hráči, kteří jsou příliš blízko vzdáleností i úhlem penalizují daný směr nejvíce. Čím větší vzdálenost od hráče nebo čím větší odchylka od směru běhu, tím menší nebo žádnou penalizací pro daný směr jsou.

Bonus se přičítá za zachování současného směru, což má působit jako stabilizující prvek, a další, proporcionální vzhledem k úhlu mezi směrem běhu a úsečkou od hráče k brance, za směřování na bránu.

Naopak je-li hráč na kraji hřiště a směr je nevhodný, jak bylo definováno výše, je směr penalizován tak silně, aby neexistovala šance, že bude vybrán.

Pokud je hráč pronásledován jiným hráčem a běží podél osy y (tedy v nějakém obdélníku těsně za ním je soupeřův hráč), nemění směr. Jinak si ze všech směrů vybere ten, který je nejlépe ohodnocený.

3.4.6 Výběr příjemce přihrávky

Aby měl uživatel i počítač při hře stejné podmínky, může přihrávat pouze stejné množině hráčů, kterým by na jeho místě mohl přihrát uživatel. Pro výběr příjemců je povolen směr běhu a dva nejbližší směry na každou stranu. Příjemce se tedy nesmí nacházet příliš za hráčem.

Hráč je pro každý směr vybrán podle algoritmu, který je popsán v sekci 3.4.6. Každý z této množiny maximálně pěti hráčů je pak ohodnocen podle níže uvedeného popisu.

Hráč je penalizován či bonifikován za to že je či není v ohrožení, může nebo nemůže běžet dopředu a je nebo není pronásledován.

Další bonifikaci hráč obdrží za blízkost brány, na kterou se útočí a za to, že je do vzdálenosti několika metrů od své útočné linie a přitom může běžet kupředu. Tím se preferují hráči, kteří jsou výhodně postaveni na hranici offsidu. Přitom jsou ale hráči, kteří se v offsidu skutečně nacházejí, silně penalizováni a není možnost, že by byli vybráni.

K tomu ke všemu je ještě připočtena náhodná proměnná.

Původně součástí hodnotící funkce bylo i ohodnocení průchodnosti přihrávky, přičemž příjemci, na něž přihrávky neměly možnost projít, byli silně penalizováni. To se ale projevilo jako kontraproduktivní, protože pak byla možnost přihrát minimální.

Nakonec se každému hráči přičte nebo odečte konstanta k hodnocení podle toho, jestli je blíže bráně, na kterou tým útočí, než současný vlastník míče.

Takřka totožná pravidla se používají pro příjemce centrů s tím rozdílem, že existuje dodatečná penalizace a bonifikace za optimální vzdálenost pro centr, která je kolem 20 metrů.

3.4.7 Hodnocení možnosti střelby

Výhodnost pozice pro střelbu je hodnocena pouze podle vzdálenosti od brány. Podle ní se i rozhoduje o tom, jak bude střela rychlá a jestli bude mít nějakou rotaci. K této hodnotě je přičtena náhodná hodnota, která má na hodnocení možnosti střelby poměrně velký vliv tak, aby simulovala poměrně nahodilé rozhodování většiny hráčů při zakončení.

Z 9 možných zamíření jsou pak preferovány křížné střely. Tedy pokud je hráč na levé straně, střílí doprava a naopak. Každé zamíření je pak ještě výrazně ovlivněno náhodnou proměnnou.

Přestože se může zdát takovýto princip hodnocení možnosti zakončit a výběru zaměření poněkud primitivní, kopíruje poměrně dobře skutečnost. Lepší hráči zakončují podle toho na které noze má brankář váhu, jestli je zrovna v pohybu nebo v klidu, jestli naznačil pohyb atd. a obdobně se při zakončení chová brankář, provokuje, snaží se přijít s nečekaným řešením. Je tedy poměrně těžké najít v zakončování nějaký konkrétní vzor¹⁸.

3.4.8 Brankář

Hlavní rolí brankáře ve fotbale je zabránit soupeři ve vstřelení gólu. V pokutovém území tomu může zabránit i rukama, pokud se míče před brankářem jako poslední dotknul soupeř nebo pokud byl míč brankáři zahrán horní polovinou těla spoluhráčem¹⁹.

Postavení brankáře a vybíhání

Pro brankáře je výhodné vyhledávat na hřišti (pozicovat se) takovou pozici, aby byl co nejlépe připraven zasáhnout proti případné střele nebo vyběhnout pro míč. Taková pozice je nejčastěji ve vápně, kde brankář může chytit míč do rukou²⁰. Zároveň se snaží o to, aby svým tělem pokryl celou plochu branky. Proto je pro brankáře vhodné vybíhat z prostředku brankové čáry (což je pro brankáře jakási základní pozice), a tím zmenšovat nepokrytý prostor²¹. Naopak platí, že čím blíž je soupeř, tím menší úhel brankář pokrývá. Blízkost soupeře, především soupeře s míčem, je tedy pro brankáře taky důležitý faktor, stejně jako možní příjemci přihrávky, kteří jsou v tak výhodné pozici, že by jejich střela pravděpodobně skončila gólem.

Specifická situace nastává v okamžiku, kdy je míč tzv. v „malém úhlu“, tedy je-li úhel mezi brankovou čarou a úsečkou spojující střed branky s míčem malý. V tomto okamžiku totiž často útočící hráč místo přihrávky volí střelu a brankáře tak dostane do velmi nevýhodné pozice.

¹⁸Situace tak evokuje myšlenky na centrální limitní větu ze statistiky.

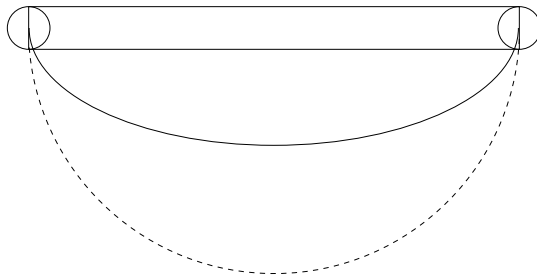
¹⁹Tuto vlastnost současná implementace nerozlišuje.

²⁰Jedním z trendů dnešního fotbalu je spojit roli brankáře s rolí tzv. „posledního“. Brankář se pak nejen snaží zabránit balonu vniknout do brány, ale zároveň zachytává soupeřovy přihrávky za obranu, což umožňuje různé taktické variace s obrannou linií. Tato taktická varianta je ale silně specifická a je mimo rozsah práce.

²¹Tím zvyšuje pravděpodobnost, že jej soupeř přelobuje. Lob je však z definice poměrně pomalý a obtížný na dobré provedení a v praxi se používá zřídka.

Funkce, která bude pozicovat brankáře na hrací ploše, by měla brát tuto krátkou analýzu v potaz. Protože je zhodnocení postavení hráčů poměrně náročné, bude funkce brankáře pozicovat tak, aby při malém úhlu neodbíhal daleko od branky a při velkém úhlu z branky poněkud vybíhal.

Vhodným geometrickým tvarem, kterým má požadované parametry, je půlelipsa se středem uprostřed brankové čáry a hlavní poloosou o délky poloviny šířky brány. Pokud se hráč dostane blíže než na nějakou kritickou hranici, bude se brankář snažit držet na půlkružnici se středem uprostřed brankové čáry a poloměrem rovným polovině šířky brány (viz obrázek 3.4). Tím je popsána množina bodů, na kterých se brankář bude pohybovat. Konkrétní bod je určen průsečíkem přímky vedené ze středu brankové čáry v míči a půlelipsy, resp. půlkružnice²².



Obrázek 3.4: Půlkruh a elipsa, po kterých se brankář snaží pohybovat.

Navíc, je-li brankář míči vzdálenostně nejbližší, snaží se běžet za míčem dokud ho nedosáhne nebo dokud se ho nezmocní jiný hráč²³. To, co s míčem po doběhnutí udělá, záleží na tom, jestli je nebo není ve vápně, a je rozebráno níže.

Reakce na střelu

V reálném světě brankář na střelu nejčastěji reaguje skokem (nebo pohybem, který se skokem nazývá). Na některé střely však reaguje i pouhým doběhnutím za míčem, pohybuje-li se míč moc pomalu nebo směruje přímo

²²Při implementaci je třeba si uvědomit, že jakkoliv lze body na elipse parametrizovat úhlem, tento úhel neodpovídá úhlu, který bude výsledný bod pro daný parametru svírat s osou elipsy.

²³Což může nastat, protože se nebere v úvahu směr ani aktuální rychlost brankáře a míče, pouze jejich pozice.

na něj. Náš model bude obsahovat právě tyto dvě akce a ignorování střely²⁴, mezi kterými se vybere podle parametrů střely.

Za tímto účelem definujeme 3 body:

- **nejbližší dosažitelný** - je bod na trajektorii míče, který je časově nejbližší době uvedení míče do pohybu a zároveň ležící uvnitř vápna, vertikálně v dosahu brankáře a časově dosažitelný.

Kdybychom nevybrali časově nejbližší bod od okamžiku uvedení míče do pohybu, musí existovat i první bod a mezi prvním a druhým bodem by míč teoreticky mohl někdo sebrat. Podmínky dosažitelnosti a omezení na vápno jsou zřejmé.

- **bod na rovině brankáře** - bod, který leží na rovině, která je kolmá na osu y a zároveň obsahuje bod, který identifikuje brankáře. Po této rovině může brankář skákat a na ní zachytit míč²⁵
- **bod na rovině branky** - bod, ve kterém míč projde přes brankovou čáru do branky. Pokud tedy míč projde přes brankovou čáru v místech, kde jediným následkem této situace je rohový kop, bod na rovině branky neexistuje.

V definici bodu na rovině brankáře je důležité, že rovina je kolmá na osu y , nikoliv na směr pohledu brankáře. Původní příčinou je neexistence odpovídající grafiky. Zároveň se jedná o podstatné zjednodušení systému, které se dá snadno kompenzovat lepšími schopnosti brankáře a v praxi se ukázalo jako dostatečný.

V reakci na střelu tedy brankář může provést jednu z následujících akcí

- **skok** - Pokud existuje bod na rovině brankáře a relativní čas kolize je menší než 1 vteřina, bude brankář skákat. K mechanice skoku se dostaneme dále. Hranice jedné vteřiny je dána omezenou délkou skoku.

²⁴Jako střelu tu označujeme všechny akce, při nichž je míč uveden do pohybu a hrozí tak nebezpečí vstřelení gólu. V terminologii herních akcí se jedná o střelu, přihrávku a centr.

²⁵Původně měl být brankář reprezentován kapslí. Kvůli numerickým problémům se od toho ale upustilo, brankář je však stejně stále chápán jako kapsle a proto je rovina posunuta o poloměr kapsle před brankáře. To i přesněji odpovídá tomu, že brankář není plochý jako bitmapa, která ho reprezentuje, ale zabírá místo v prostoru.

- **vyběhnutí** - Pokud nedojde ke skoku a pokud existuje nejbližší dosažitelný bod, brankář k němu začne vybíhat a čeká, až k němu míč doletí nebo dokud se míče nedotkne někdo jiný. V tom případě se začne opět pozicovat. Připomeňme, že takový bod existuje pouze za podmínky, že se k němu brankář může dostat. Pokud takový bod neexistuje, ale existuje bod na brankové čáře, běží brankář směrem k němu. To má simulovat chování, kdy se brankář většinou marně snaží doběhnout dlouhý míč, který na něj směřuje. Pravděpodobnost míče je totiž nulová, jinak by totiž brankář běžel na nejbližší dosažitelný bod.
- **nic** - nereagovat na střelu. Tato situace nastává, pokud neexistuje ani jeden ze tří výše uvedených bodů. To znamená, že se brankář k míči nedostane, jinak by existoval dosažitelný bod nebo bod na rovině brankáře. Zároveň ani nepadne gól, jinak by existoval bod na brankové rovině.

Skok

Simulovat skutečnou biomechaniku skoku je velice složité a určitě by to vydalo na samostatnou práci. Pro naše účely především potřebujeme, aby skok vypadal reálně a dával uživateli iluzi zajímavých herních situací. Proto se omezíme na jediný druh skoku, kdy má brankář vzpažené ruce nad hlavou.

Brankáře můžeme reprezentovat úsečkou, která je rovnoběžná s osou z , jeden koncový bod má incidentní s pozicí brankáře, druhý je nad ním (souřadnice z druhého bodu je větší než souřadnice z bodu prvního). Protože tato úsečka zároveň náleží rovině brankáře, stejně jako bod na rovině brankáře, je nasnadě reprezentovat skok brankáře vhodnou rotací a posunutím této úsečky, která ho reprezentuje²⁶.

Otázka se tedy změnila: Jak vypadá vhodné posunutí a rotace? Mezi pozicí brankáře (dolním bodem úsečky) a bodem na rovině brankáře (tedy bodem, kde bude míč) vytvoříme vektor. Naší přímkou tak bude potřeba otrotovat právě o tento úhel kolem pozice brankáře. Čím blíže je míč k zemi, tím menší bude úhel mezi brankářem a zemí a naopak, půjde-li míč do horní části branky, nebude brankář předvádět zázračné skoky. Dále je potřeba provést posunutí v případě, že brankář na míč nedosáhne²⁷ o tolik, aby horní bod brankáře byl incidentní s bodem na rovině brankáře. Protože známe čas,

²⁶A samozřejmě bitmapy, která brankáře zobrazuje.

²⁷Tedy skok se dá rozdělit na dva poddruhy, jeden s posunutím a druhý bez posunutí.

za který míč na bod na rovině brankáře doletí a protože známe i (konstantní) délku jedné iterace, dopočítat rychlost rotace a skoku v každé iteraci je jen otázkou lineární interpolace.

Obecně, narozdíl od času chycení míče, nevíme, za jak dlouho by měl brankář dopadnout na zem. Protože brankáře nesimulujeme fyzikálně a protože brankář směřuje svůj skok, právě aby dosáhl daného bodu ve správný okamžik, není fáze skoku mezi chycením míče a dopadem ideální a brankář směřuje rychleji k zemi²⁸, nadto je potřeba upravit i rychlost rotace tak, aby byl brankář ve vodorovné pozici v okamžiku dopadu na zem. Klíčem je určit si nějakou dobu, za kterou by měl brankář na zem dopadnout a podle ní animaci dokončit²⁹.

Tímto jsme vytvořili brankáře, který umí ideálně skákat. Protože skutečný brankář nedoskočí libovolně daleko a nerotuje libovolně rychle, je vhodné brankáře omezit v maximálním možném doskoku (maximální posunutí) a rychlosti rotace.

Chytání a vyrážení míče

Dosud jsme uvažovali pouze možnost, že brankář míč ve skoku či při vyběhnutí zachytí. Normální brankář ale ve skoku velkou část míču pouze odrazí. Protože brankář má v našem případě při skoku vždy vzpažené ruce, znamená zásah rukama i například možnost zásahu konečky prstů. Míč pak pouze částečně změni směr. Naopak, zasáhne-li míč brankáře do břicha, dá se předpokládat, že se míč odrazí spíš před něj, protože se brankář snaží postavit své tělo tak, aby míč neprošel do brány. Pokud už jej míč trefí do prostřední části těla, dá se předpokládat, že na míč dosáhne a tedy má i více prostoru pro snahu nedotknout se míče pouze například krajem břicha, což by v nezanedbatelném počtu situací vedlo ke gólu³⁰.

Toto uvědomění je klíčové k poznání, že vyrážení je nutno řešit rozborem případů³¹. Zavedeme koeficient zachycení k , který udává poměr vzdálenosti od pozice brankáře vůči výšce brankáře. Zachytí-li tedy brankář míč konečky prstů, je $k = 1.0$, zachytí-li ho spodní částí nohou, je $k = 0.0$. Pak rozlišujeme dva případy:

²⁸Toto vylepšení vzniklo pozorováním a nepřírozným vzhledem modelu bez této vlastnosti.

²⁹V implementaci se ukázalo jako dobré řešení položit dobu od chycení míče do dopadu jako polovinu doby od výskoku do chycení míče.

³⁰Toto jsou už poměrně silné předpoklady, ale opodstatněné dobrou funkčností modelu.

³¹Zkoušený jednotný model se neosvědčil a nevypadal reálně.

- $k \in \langle 1.0, 1.1 \rangle$, tedy pokud brankář míč zachytil konečky prstů, dojde k normalizaci směrového vektoru a jeho sečtení s jedním ze tří možných vektorů podle toho, jestli má bod na rovině brankáře kladnou nebo zápornou souřadnici x ³² (vektory $(1.0, 0.0, 0.0)$ nebo $(-1.0, 0.0, 0.0)$, $(0.0, 0.0, 1.5)$ pokud se míč nachází v horní části branky³³). Po sečtení je vektor normalizován a přenásoben původní délkou a náhodným koeficientem, který určuje, jak moc brankář míč utlumil³⁴. Pro úplnost uvedu, že vyrazení nad branku má v implementaci preferenci před vyražením do stran.
- $k \in \langle 0.0, 1.0 \rangle$, tedy brankář zachytil míč tělem. Pokud dojde k vyrazení, bude směr míče pouze odražen podle normálového vektoru v místě srážky (který vždy leží na ose y ve směru soupeřovy) branky a ztlumen náhodným koeficientem.

To, jestli brankář míč vyrazí nebo chytí, se řídí náhodnou proměnnou. Princip vyrazení je popsán výše. Popis chycení je jednoduchý. V případě skoku si míč po celou dobu letu brankáře snaží zachovat svůj koeficient zachycení, tedy se „přilepí“ na brankáře v místě, kde se s ním střetne. Pokud míč zachytí při doběhnutí, jednoduše ho vezme do rukou (viz níže). V modelu se pro jednoduchost nepočítá s tím, že by brankář pro míč vertikálně vyskakoval.

Ostatní schopnosti brankáře

Brankář by, narozdíl od hráče v poli, měl být schopen vzít balon do rukou. Proto se sleduje, zda se míče jako poslední dotknul soupeř nebo spoluhráč, a podle toho brankář míč buď bere nebo nebere do ruky. Pokud se míče jako poslední dotknul sám brankář, míč do ruky vzít může (například po vyrazení). Pokud se míče jako poslední dotknul soupeř, míč bere do ruky vždy³⁵. Naopak pokud míč zahrál spoluhráč, je vždy bezcílně (náhodně)

³²Nejspíš by bylo vhodnější se řídit směrem skoku brankáře, tedy jestli skáče „vlevo“ nebo „vpravo“.

³³Větší délka vektoru při vyrazení směrem nad branku je dána pozorováním, je samozřejmě možnost použít jednotkový vektor.

³⁴Což nezávisí jen na tom jak moc konečky prstů míč zasáhl, ale i na rukavicích, ohnutí zápěstí apod.

³⁵Taktickou variantu, kdy brankář se sebráním míče do ruky otálí a snaží se vylákat soupeřova útočníka, zde ignorujeme.

odkopnut (stejně jako v okamžiku, kdy je míč získán mimo pokutové území), protože se taková situace v našem modelu nechápe jako obvyklá³⁶.

Uživateli není dovoleno brankáře ovládat, protože by to komplikovalo implementaci herního modelu.

Odkop od branky je vždy směřován na některého z hráčů před útočnou linií, aby i v případě nezachycení míč nedoputoval mimo dosah.

Zhodnocení

Popsaný model brankáře se umí pozicovat, vybíhat pro míč, skákat po míči a vyrážet. Model je oproti skutečnosti zjednodušený, především kvůli časovým nárokům na implementaci a testování. Mezi nejdůležitější vlastnosti, které model postrádá, je vertikální vyskakování pro míč při vybíhání, schopnost zapojit se do hry se svými spoluhráči (pouze odkop), lepší zachycení míče (dáno především náročností vyhotovení odpovídající grafiky a rozboru možností), možnost skákat libovolným směrem, ne jen v rámci brankářské roviny, a vylepšené čtení hry, kdy by brankář lépe reagoval na rozestavení soupeřových útočníků při svém pozicování.

Mezi silné stránky modelu patří velmi efektní vyrážení míčů a skoky a celý model výběru mezi vybíháním a skokem. Celkově brankář dobře plní svoji roli v týmu i ve hře.

³⁶Opět vypuštěná taktická varianta.

Kapitola 4

Implementace

V této kapitole jsou nastíněny hlavní myšlenky a principy výše uvedeného modelu. Techničtější popis je uveden v samostatné programátorské dokumentaci. Popis velké části algoritmů je uveden v kapitolách 2 a 3, které popisují herní model a fyziku a jejichž implementací program je.

Hra podporuje debug režim, při kterém jsou k vidění různá ohodnocení, stavy a pomocné body. Režim však běh programu na slabších strojích díky množství vypisovaného textu zpomaluje.

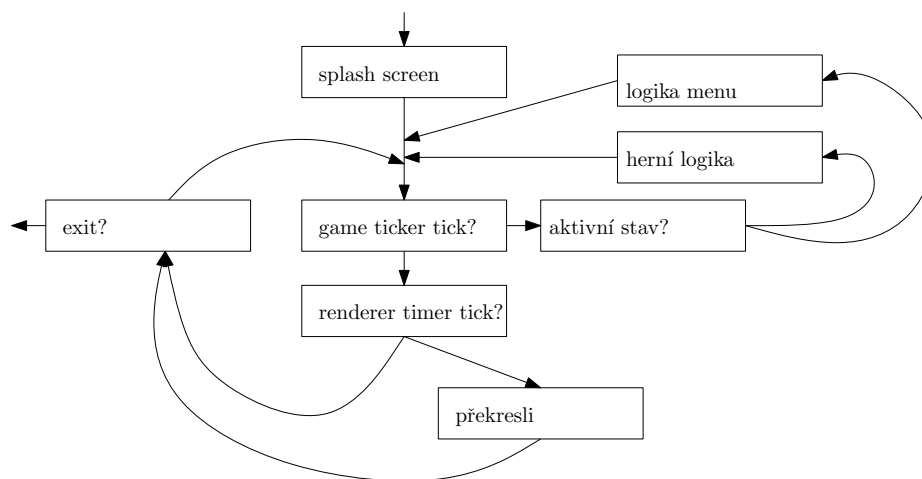
4.1 Základní volby

Hlavní vývojovou platformou byl systém Windows, avšak program byl pravidelně testován i na systémech Linux a Mac OSX.

Jako platforma pro vývoj byla zvolena knihovna ClanLib [10], která pro vykreslování používá hardwarové rozhraní OpenGL a zastřešuje ostatní rozdíly mezi jednotlivými softwarovými platformami. Vykreslování grafiky je tedy hardwarově akcelerované.

Program běží v jediném vlákně. K tomuto rozhodnutí byly dva důvody: jednoduchost a problém s vykreslováním v jiném vlákně, než které vytvořilo okno.

Zvláštní význam má proměnná, která pro každý tým určuje, jestli útočí na horní nebo dolní bránu a zajišťuje tak orientaci na hřišti.



Obrázek 4.1: Hlavní smyčka celého programu.

4.2 Smyčky

Ve hře jsou tři hlavní smyčky: hlavní (obrázek 4.1), herní a smyčka menu. Všechny jsou stavové automaty (přesný popis stavů je ve vývojové dokumentaci).

Stavy hlavní smyčky jsou probíhající hra nebo aktivní menu.

Stav herní smyčky popisuje, jestli hra probíhá nebo neprobíhá, případně jestli probíhá příprava na standardní situaci, a pokud ano, tak na jakou.

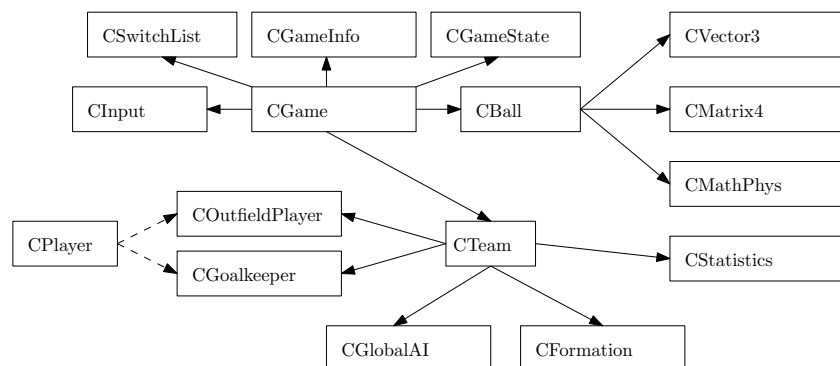
Informace o stavu hry se mezi objekty šíří broadcastem, jak je popsáno ve vývojové dokumentaci.

4.3 Rozdělení tříd

Hierarchii tříd je možné si prohlédnout na obrázku 4.2.

Hráč v poli (`COutfieldPlayer`) a brankář (`CGoalkeeper`) mají jednoho totožného potomka (`CPlayer`), který definuje základní společné rozhraní.

Instance těchto tříd spravuje třída týmu (`CTeam`), která poskytuje i základní služby, jako je vyhledávání dalších hráčů, jejich třídění atd. Třídy týmů mají navíc přiřazenou třídu globální inteligence (`CGlobalAI`), která se stará o koordinaci mezi hráči v rámci týmu, rozestavuje hráče při hře a na standardní situace. V budoucnu by mohla převzít i roli trenéra, tedy spravovat konkrétní taktiku pro jednotlivé pozice.



Obrázek 4.2: Diagram znázorňující vztah tříd. Čerchovaná čára znázorňuje vztah rodiče a potomka, plná čára znázorňuje vztah mezi vlastníkem a vlastněným objektem. Některé pomocné třídy a třídy menu nejsou v diagramu zahrnuty.

Dvě instance týmu, jednu pro domácí tým a jednu pro hostující tým, spravuje herní třída (`CGame`).

Míč (`CBall`), kapsle (`CCapsule`), vektorová algebra (`CVector3`) a matricová (`CMatrix4`) algebra jsou každá implementovány v jedné třídě, některé z nich využívají služeb pomocné matematické třídy (`CMathPhys`).

Pomocné třídy jsou vyčleněny na správu formace (`CFormation`), správu listu hráčů na přepínání (`CSwitchList`), timer (`CTimer`, `CTicker`), správu vstupu z klávesnice¹ (`CInput`), informace o hřišti a pomocných bodech na hřišti (`CPitch`), správu statistiky (`CStatistics`), herních dat (např. čas) (`CGameInfo`) a stavu herní smyčky (`CGameState`). Navíc existuje pomocná třída s užitečnými matematickými metodami pro výpočty základních úloh z geometrie, generování náhodných čísel atp. (`CMathPhys`).

Mimo herní logiku stojí třídy pro správu konfigurace (`CConfiguration`) a centrální třída pro vykreslování (`CRenderer`). Jednotná třída pro vykreslování všeho v celé hře byla zvolena jako alternativní k decentralizovanému postupu, který se v předešlém projektu neosvědčil pro svoji nepřehlednost.

Úplně nezačleněny stojí třídy pro správu menu (`CMenu`) a položku menu (`CMenuItem`), jejichž detailní popis lze najít ve vývojové dokumentaci.

¹Interface pro klávesnici v knihovně `ClanLib` nevyhovoval úplně představám a požadavkům.

4.4 Třída pro míč

Veškerá fyzika fotbalového míče je soustředěna v jediné třídě. Ta zároveň poskytuje metody pro zaměřování, které jsou implementovány na principu hledání vhodných parametrů nezadaných z parametrů zadaných pomocí bisekce a simulace. Simulace je sice časově náročná, ale vykazuje přesnost řádově na jednotky centimetrů.

Navíc podporuje možnost zapnout a vypnout kolize s tyčemi (při výpočtu zaměření nebo trajektorie míče nechceme, aby se výsledek nacházel v čase po odrazu od tyče), vypnutí gravitace a metodu pro detekci kolize míče a tyčí nebo bočních sítí při vedení míče (právě tato metoda používá možnost vypnutí gravitace).

4.5 Vykreslování

Při zobrazování je použita jednoduchá verze ortografické projekce, kdy se souřadnice z připočítává k souřadnici y , a tak vzniká iluze prostoru (kterou je však potřeba podpořit stínem).

Aby se objekty vykreslovaly s ohledem na tento pseudo-3D prostor ve správném pořadí, je zavedena grafická fronta. V ní jsou objekty, jejichž vykreslování by mohlo s ostatními objekty kolidovat, a jsou tříděny podle priority, pak podle souřadnice y a nakonec podle souřadnice z . Díky tomu se ze dvou objektů, které jsou na stejné pozici, vykreslí jako první ten, který je na zemi a jako druhý ten, který je ve vzduchu.

Některé situace je třeba řešit samostatně. Například bránu je potřeba rozložit na několik samostatných bitmap a kreslit je samostatně v závislosti na pozici míče. Horní část brankové sítě totiž má „hloubku“ a použité setřídění by na ni nefungovalo, podle zvolené souřadnice y by se totiž míč kreslil někdy pod sítí, někdy nad sítí. Přitom se ale míč má kreslit podle toho, jestli je pod nebo nad sítí na souřadnici z .

Použitá grafika se dělí na animované sprity a neanimované bitmapy². Animace běží stále, neprovádí se žádné navazování při přechodu od jednoho spritu k druhému, výsledný efekt je totiž naprosto postačující.

²V knihovně ClanLib je chyba, která kolem bitmap na některých kartách kreslí zelené rámečky [11].

Kapitola 5

Uživatelská dokumentace

Techničtější podrobnosti uživatelské dokumentace jsou uvedeny v samostatném dokumentu, který je součástí přiloženého CD.

5.1 Hardwarové a softwarové požadavky

Program pro spuštění vyžaduje grafickou kartu podporující rozhraní OpenGL (testováno na kartách podporujících verzi 2.0, pravděpodobně funguje i na starších verzích), textury o velikosti alespoň 2048×2048 pixelů¹ a osazenou alespoň 32 MB VRAM. Na platformě PC se doporučuje procesor o taktu alespoň 1.5 GHz.

Hra byla úspěšně testována na softwarových platformách Windows XP 32-bit, Mac OSX a na různých distribucích Linuxu. Je pravděpodobné, že hra bude funkční i na systémech Windows ME/98. Funkčnost na jiných platformách je podmíněna portem knihoven ClanLib a TinyXML.

5.2 Instalace

Způsob instalace se liší podle použité softwarové platformy. Před prvním spuštěním se doporučuje upravit rozlišení podle vlastností hostitelského systému, hra je přednastavená na rozlišení 800×600 v 32-bitové barevné hloubce.

Zdrojové kódy i binární distribuce jsou součástí přiloženého CD.

¹Drtivá většina používaných karet.

5.2.1 Mac OSX

Program stačí rozbalit a je ihned připraven ke spuštění. Je možné ho nainstalovat překopírováním do Applications. Pro změnu rozlišení a barevné hloubky je nutné nastavit balík aplikace a změnit soubor `Resources/config/others.xml`.

Program běží na počítačích s procesory PowerPC i Intel.

5.2.2 Linux

Binární distribuce pro Linux neexistuje. Podrobnější popis pro přeložení a spuštění je možné najít v programátorské dokumentaci.

5.2.3 Windows

Po zkopírování hry z CD a rozbalení do libovolného adresáře na vašem pevném disku je potřeba v souboru `win32.xml` v podadresáři `config` upravit nastavení rozlišení. Hra se spouští souborem `fotbalek.exe`.

5.3 Možnosti nastavení

S výjimkou rozlišení a barevné hloubky, které je možné editovat pouze v konfiguračním souboru, je veškeré nastavení konfigurovatelné z obrazovky herního menu `options` a její podobrazovky `keyboard settings`.

5.4 Navigace a použití menu

Po položkách menu se lze pohybovat **šipkou dolů** a **šipkou nahoru**. Pokud se vedle položky objeví dvě směrové šipky, je možné **šipkou vlevo** a **šipkou vpravo** měnit různé nastavení a vybírat z možností. Pokud se šipky neobjeví, je možné položku vybrat stisknutím klávesy **ENTER**.

Položkou `back` se lze v menu vrátit o obrazovku zpět. Tato položka ale není na všech obrazovkách přístupná.

Zvolením položky **new game** začneme nový zápas. V následující obrazovce je nutno vybrat, jestli se bude hrát utkání počítače s počítačem (**CPU vs CPU**), nebo jestli bude uživatel hrát zápas za tým Supermen United (**home team vs CPU**) či Lilac City (**away team vs CPU**). Dále

je také potřeba zvolit délku zápasu v minutách (**match length: 5, 10, 15, 20**). Volba se potvrdí výběrem položky **continue**.

Následně se objeví obrazovka pro výběr sestavy domácího týmu Supermen United. Šipkami nahoru a dolů je možné vybrat řadu ve formaci (aktivní řada je poznat podle červených šipek po stranách) a šipkami doleva a doprava lze měnit počet hráčů v dané řadě. Při výběru formace je k dispozici poradce, který svůj názor sděluje barevným písmem vedle formace. Pokud je formace správná - tedy obsahuje 10 hráčů v poli a brankáře, je potřeba šipkou nahoru nebo dolů vybrat a poté zvolit položku **next**. Objeví se obrazovka pro výběr formace hostujícího týmu Lilac City, kde se postupuje stejně. Po potvrzení formace hostujícího týmu ihned začne zápas.

Návrat ze hry do menu je možný stiskem klávesy **ESCAPE**.

Pokud je menu vyvoláno ze hry nebo pokud se menu samo objeví o poločase nebo po konci zápasu, bude k dispozici položka **statistics**. V ní je možné prohlížet měřené herní statistiky:

- **goals scored** - počet gólů vstřelených týmem
- **shots** - počet střel týmu
- **shots on goal** - počet střel týmu, které šly na branku. Sem se započítávají zblokované střely, které by šly na branku, góly a míče, které brankář chytil a pokud by nezasáhl, šly by na branku.
- **passes** - počet přihrávek a centrů daného týmu
- **successful passes** - počet přihrávek a centrů daného týmu, které doputovali až k myšlenému příjemci
- **possession** - jak dlouho měli hráči daného týmu míč ve svém držení. Započítává se pouze čas, kdy mají hráči týmu míč pod kontrolou.
- **corners for** - počet rohů, které daný tým zahrával
- **throw ins for** - počet outů, které daný tým zahrával

Položkou **continue** se je možné vrátit zpět do rozehrané hry.



(a) Herní obrazovka.

(b) Menu.

Obrázek 5.1: Obrázky z programu.

5.5 Hra

V levém horním rohu je ukazatel skóre pro oba týmy. V pravém horním rohu je pak ukazatel času, který ukazuje probíhající minutu zápasu, případně **inj** v případě nastaveného času. Nad hráčem, který vede míč, případně je hráčem ovládaným uživatelem, je uvedeno jeho jméno. Hráč s míčem je podbarven bíle, hráč ovládaný uživatelem je podbarven žlutě, viz obrázek 5.1(a). Pokud se hráč ovládaný uživatelem dostane mimo obrazovku, je jeho pozice indikována žlutou šipkou u kraje obrazovky. Pokud je v nastavení zapnutý radar, zobrazuje se v pravém dolním rohu na mini-mapě (radaru) pozice všech hráčů, domácí červeně, hosté modře, míč bíle a hráč ovládaný uživatelem žlutě.

5.6 Ovládání

Pokud nebylo ovládání změněno, je směr běhu hráče ovládn² pomocí **šipek**, střelba klávesou **D**, přihrávka klávesou **S** a centrování klávesou **A**.

Směr přihrávky, centru nebo střely lze ovládat. Nejprve je potřeba stlačit klávesu pro danou akci. V tom okamžiku kontrolu nad hráčem převezme počítač, který zachovává směr běhu hráče. Nyní je možno klávesami pro ovládání směru mířit. Po uvolnění klávesy pro danou akci je pak akce provedena.

²Samozřejmě za předpokladu, že se nehraje hra počítače proti počítači.

5.7 Herní akce

Hráč umí běžet, střílet, přihrávat a centrovat. Centr se od přihrávky liší tím, že jde vždy vzduchem, zatímco přihrávka jde většinou, nikoliv však vždy, po zemi.

5.7.1 Odebírání míče soupeři

Ve hře nelze faulovat, míč lze soupeři odebrat pouze tím, že se k němu dostatečně přiblížíme. S pravděpodobností zhruba 75% potom hráč míč soupeři odebere.

5.7.2 Střelba

Po stisknutí tlačítka pro střelbu a před jeho puštěním je možné vybrat cíl střely pomocí směrových šipek. Například stiskem šipek nahoru a vlevo se míří do levého horního rohu branky z pohledu uživatele. Některé střely jsou přesné, některé nepřesné a některé vyloženě nepovedené, stejně jako ve skutečném fotbale. Sílu střely není možné určit, vybere jí náhodně počítač s přihlédnutím k vzdálenosti od branky. Hráč vystřelí v okamžiku uvolnění klávesy pro střelbu.

5.7.3 Centr a přihrávka

Směr centru nebo přihrávky je možné určit při držení odpovídající klávesy opět pomocí směrových šipek. Počítač se pak v daném směru snaží najít vhodného příjemce, pro přihrávku toho nejbližšího, pro centr některého ve střední vzdálenosti a pokud takový neexistuje, pak libovolně vzdáleného. Pokud v daném směru žádný vhodný příjemce není, místo střely nebo přihrávky následuje jen lob „do prostoru“.

5.7.4 Hra z voleje

Střelbu, přihrávání i centrování je možné provádět i tzv. „z voleje“, tedy bezprostředně po dotyku s míčem. Do zhruba jedné až dvou vteřin před přijetím míče se zadá akce stejně, jako kdyby hráč už míč měl ve své moci. Po přijetí míče bude vybraná akce ihned provedena.

Stejně jako v reálném světě je i zde např. střelba z voleje těžší. Proto je nejvhodnější voleje trefovat v okamžiku, kdy je míč co nejbližší zemi.

5.8 Pravidla hry

Hra se řídí pravidly velkého fotbalu [6] s několika výjimkami. Neexistuje offside ani offsidové postavení³, neexistuje foul, tedy odebrání míče je vždy bez porušení pravidel, brankář od svého hráče nikdy nebere míč do ruky, ani když je zahrán horní polovinou těla, a nevznikají situace jako nesportovní chování nebo hra rukou.

5.9 Možné problémy

Problém: V konzoli se zobrazí chybové hlášení „Cannot open configuration file for writing“.

Odpověď: Do konfiguračního souboru nelze zapisovat. Nejspíše použijete program z média, které nepodporuje zápis, např. CD či DVD, nebo nemáte k zápisu právo. Toto hlášení není kritické, pouze se neuloží nastavení aplikace.

Problém: Po spuštění se v konzoli objeví chybové hlášení.

Odpověď: K této situaci nejčastěji dochází, pokud je zadáno rozlišení, které grafická karta nepodporuje. Pokud se problém vyřeší změnou režimu celé obrazovky na režim v okně, je zadané rozlišení v režimu celého okna nepodporované.

Pokud je součástí chybového hlášení i název nějakého souboru, pak tento soubor je potřeba ke spuštění a nebyl nalezen.

Problém: Zobrazí se pouze černá obrazovka, nic se neděje.

Odpověď: Pravděpodobně je nedostatek videopaměti nebo grafická karta nepodporuje dostatečně velké textury. Zkuste snížit barevnou hloubku nebo rozlišení.

Problém: Hra je příliš pomalá.

Odpověď: Pokud je splněn požadavek na minimální taktovací frekvenci procesoru, bude problém pravděpodobně ve vypnuté hardwarové 3D akceleraci, která je pro plynulé hraní nezbytná. Tento problém je obvyklý na platformě Linux, kde jsou často použity ovladače, které hardwarovou 3D akceleraci

³To, spolu s nemožností faulovat, má za následek neexistenci přímých a nepřímých kopů, stejně jako penalt.

nepodporují.

Kapitola 6

Srovnání s podobnými programy

Profesionální hry dnešní doby svojí úrovní a hratelností hru zcela jistě zastíní, freewarové programy rozumné kvality prakticky neexistují. Do hodnocení jsem tedy vybral jednu hru podobné charakteristiky, která je komerční, jednu high-endovou komerční hru a jednu hru freewarovou.

Hodnotit budu pouze aspekty, ve kterých lze hry porovnávat, tedy vlastní zápas, nikoliv možnosti nastavení atp.

6.1 New Star Soccer 3

Komerční hra¹, jejíž úspěch spočívá především v možnosti kariérní hry za jednoho hráče.

Napadání je na podobné úrovni, ačkoliv ne tak aktivní. Poziční hra je horší (hráči stojí různě náhodně v prostoru, odbíhají velmi daleko od blízkých hráčů soupeře). Počítač hraje poměrně dobře v koncovce. Hlavní slabinou hry je fakt, že i přes dobré napadání jde od určité herní úrovně projít celé hřiště bez jakýchkoliv problémů, a slabá kombinační hra.

Celkově je hra zaměřena trochu jinak, důraz je kladen na jediného hráče, který se musí k míči dostat co nejčastěji. Tomu odpovídají i některé speciální herní prvky, jako žádost o přihrávku. Hra je v umělé inteligenci slabší (což je ale možná dáno právě zaměřením), celkový dojem je ale asi lepší, především díky existenci hráčských atributů, které hru činí pestřejší.

¹<http://www.newstarsoccer.com>

6.2 Sensible Soccer, Yoda Soccer

Sensible Soccer byla kultovní hra britských CodeMasters. Jejími hlavními devizami byla přístupnost širokým hráčským masám, nejen fotbalovým nadšencům, a její komičnost. Vzniklo několik komerčních klonů a alespoň jeden nekomerční. Ten se jmenuje Yoda Soccer Project² (testována verze 0.72 beta).

Hra sází na akčnost a přístupnost širokému spektru hráčů. Hratelnost je proto rychlejší, ale hráči soupeře hrají méně takticky a méně napadají.

Hráči spolu navzájem nekolidují a o míč se obírají přiblížením. Střelba je relativní vůči pozici, přihrávky jsou mířeny na hráče. Umělá inteligence se snaží přihrávat na takřka libovolného hráče, který se před ní nachází a díky slabé obraně (podle pozorování napadá vždy pouze jeden hráč) se jí to takřka vždy daří. Ve hře jsou nedořešené okamžiky, v pozorovaném zápase například dva hráči nejen že přeběhli přes víc jak půlku hřiště, aniž by se jim kdokoli přiblížil, navíc se navzájem stále obírali o míč.

Hra uspokojí nenáročného, svátečního hráče, a tak je také koncipována. Umělá inteligence a rozestavení je horší, ačkoliv úroveň hry lze díky absenci radaru hodnotit pouze z dění na obrazovce.

6.3 Pro Evolution Soccer 2008

Nekoronovaným králem všech fotbalových simulací jsou hry ze série PES³. Přestože by uvedený model neobstál v konkurenci žádné nearkádově zaměřené komerční hry, na příkladu PES je vidět propastný rozdíl, který mezi uvedenou hrou a komerční špičkou existuje.

Vlastní hra je naprosto brilantní. Hra velmi dobře pracuje s grafikou, pokud tedy hráč míč zpracuje, pak se ho (narozdíl od některých jiných her) opravdu dotkne, při opakovaných záznamech je vidět, že brankáři míče nejspíš opravdu vyrážejí, hráči při běhu různě zpomalují, zrychlují, čekají na míč, natáčí tělo tak, aby se vyhnuli soupeři. Pozicování i výběr hráčů pro přihrávky vypadá velmi realisticky. Pro středně schopného hráče je hra na nejvyšší obtížnost velmi vyrovnaným soupeřem a nestane se často, že by uživatel se slabším týmem vyhrál. Specialitou jsou různé „parádičky“, které hráči mohou s míčem dělat.

²<http://yodasoccer.sourceforge.net/>

³http://www.konami.com/Konami/ctl13810/cp20113/si2981897/c11/pro_evolution_soccer_2008

PES je jednoznačně lepší v každém aspektu kromě ceny a multiplatformnosti.

Kapitola 7

Závěr

V práci byl navržen, prodiskutován a naimplementován model fotbalové simulace.

Vyřešeno bylo mnoho podproblémů simulace fotbalového zápasu. Byl naimplementován věrný fyzikální model fotbalového míče a brankové konstrukce, byly navrženy postupy, kterými se dá simulovat chování jednotlivých hráčů, jako jsou výběr vhodné následující akce, nalezení dobrého směru běhu, nebo zachycení míče brankářem v letu. V neposlední řadě byla nakreslena celá grafika hry včetně animací běhu všech hráčů.

Výsledný program umožňuje přímo se účastnit fotbalového zápasu, případně pouze sledovat hru umělých inteligencí.

Hlavním přínosem práce je především můj osobní rozvoj. Vyzkoušel jsem si, jaké to je programovat určitý druh umělé inteligence, rozvinul svojí schopnost popsat algoritmicky to, co jsem do té doby za mnou popsitelné nepovažoval, rozšířil si svojí zkušenost s managementem větších projektů (po stránce nástrojové, časové i psychologické). Obětoval jsem práci alespoň půl roku čistého času ze svého života a myslím, že to nebyl čas ztracený, i když zpětně vidím věci, které bych dělal jinak.

Dalším přínosem hry je, že budou-li implementovány alespoň některé z navržených rozšíření, může se hra stát první českou simulací fotbalu, kterou si budou moci hráči zahrát. Nadto je i světově volně šiřitelných her s fotbalovou tematikou velmi málo, hra navíc funguje alespoň na platformách Windows, Mac OSX a Linux.

Záporů navrženého řešení existuje několik. Model nezahrnuje tři herní situace, které se v reálném fotbale vyskytují: foul/skluz, offside a přímé kopy, ačkoliv offside jako porušení pravidel ve hře díky nastavení umělé inteligence

protihráčů a spoluhráčů nemůže nastat, a tím zvrátit jeden z podstatných herních principů. Dalším omezením je absence animace hlaviček s výskokem, výskoku brankáře na míč a skutečnost, že hráči nejsou rozlišeni svými schopnostmi.

Bodem, který si zaslouží samostatný odstavec, potom je lokomocie hráčů. Ve hře jsou hráči aproximováni jako body, které se mohou srážet a probíhat sebou navzájem. Tomu odpovídá například interakce s míčem. Obrovským přínosem by bylo, kdyby hráči místo nějakých abstraktních entit byli přímo simulováni. Místo hodnocení situací pomocí hodnotících funkcí by se situace skutečně fyzikálně simulovaly. Především série PES se k tomuto efektu velmi blíží, i když implementace pravděpodobně spočívá v prolínání a parametrizování předpřipravených animací, případně v animování hráče „podle náhodného čísla“ namísto skutečné simulace.

Do budoucna je mým přáním hru dovést do stádia, kdy bude plně hratelná nadšeným hráčem. To znamená rozšířit možnosti z jednoho zápasu na celé ligové, případně pohárové soutěže, přidat pravidlo o ofsidu, fauly, animované hlavičky, zlepšit výběr vhodné rotace pro míč, přidat možnost střídání a vylučování hráčů, replay atp. Z drobností, které hře chybí, bych rád doplnil plynulou kameru (současná občas cuká), stíny hráčů, diváky v ochozech, rohové vlaječky a animovaný míč. Pro některé z těchto možností už je připraveno podhoubí (úplná fyzika míče, grafické drobnosti), některé je potřeba naimplementovat od začátku.

Pokud jednou z této bakalářské práce opravdu vzklíčí hra, která bude náročnější hráče bavit, budu spokojený.

Literatura

- [1] *The physics of football*, Physics World magazine, June 1998, str. 25–27
- [2] *FIFA.com - Germany 2006 in numbers*,
<http://www.fifa.com/aboutfifa/marketingtv/factsfigures/numbers.html>
- [3] *Big Count 2006: Statistical Summary Report by Gender/Category/Region*,
http://www.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoffsurv/bigcount.statspackage_7024.pdf
- [4] *Home of the Underdogs - Entry:5A Side Soccer*,
<http://www.the-underdogs.info/game.php?gameid=11>
- [5] C. W. Reynolds: *Steering Behaviors For Autonomous Characters, in the proceedings of Game Developers Conference 1999 held in San Jose, California*, Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, 1999,
<http://www.red3d.com/cwr/papers/1999/gdc99steer.pdf>
- [6] *Laws of Association Football, Season 2007-2008*,
Fédération Internationale de Football Association,
http://www.thefa.com/NR/rdonlyres/095F9568-466D-4D71-ABF5-C1253A1C28FD/122272/FIFALaws2007_08_book.pdf
- [7] Jiří Žára, Bedřich Beneš, Jiří Sochor, Petr Felkel: *Moderní počítačová grafika (2. vydání)*, Computer Press, 2005
- [8] Tomas Akenine-Möller, Eric Haines: *Real-Time Rendering, 2nd edition*, A.K. Peters Ltd., 2002
- [9] Jaromír Votík: *Trenér Fotbalu „B“ UEFA Licence (2. vydání)*, Nakladatelství OLYMPIA, a.s., 2005

- [10] *ClanLib SDK*,
<http://www.clanlib.org/>
- [11] *More on the green line problem, bug in Clanlib?*,
<http://www.rtsoft.com/forums/archive/index.php/t-1310.html>

Dodatek A

Obsah přiloženého CD

- Bakalářská práce ve formátu PDF.
- Vývojová dokumentace ve formátu PDF.
- Programátorská dokumentace ve formátu PDF.
- Zdrojové kódy spolu s potřebnými datovými soubory pro kompilaci i pro běh.
- Binární distribuce pro Mac OSX a Windows.