



Realidade Aumentada Aplicada ao Futebol de Robôs

Rafael Lima Silva

JUIZ DE FORA
DEZEMBRO, 2011

Realidade Aumentada Aplicada ao Futebol de Robôs

RAFAEL LIMA SILVA

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciência da Computação

Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Rodrigo Luis de Souza da Silva

JUIZ DE FORA

DEZEMBRO, 2011

REALIDADE AUMENTADA APLICADA AO FUTEBOL DE ROBÔS

Rafael Lima Silva

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Rodrigo Luis de Souza da Silva
Doutor em Engenharia Civil

Marcelo Bernardes Vieira
Doutor em Ciência da Computação

Luís Antônio Dourado Júnior
Mestre em Arte e Tecnologia da Imagem

JUIZ DE FORA

1 DE DEZEMBRO, 2011

Resumo

Este projeto propõe um sistema para melhorar o entretenimento nas competições de Futebol de Robôs através de um ambiente de Realidade Aumentada. Basicamente, vários marcadores serão colocados ao redor do campo de Futebol de Robôs que serão utilizados para orientar o correto posicionamento de uma arquibancada virtual, telão de estádio e outros objetos virtuais em torno do campo real para criar um ambiente virtual de entretenimento, semelhante ao visto em jogos eletrônicos de futebol, que será exibido para os espectadores durante as partidas. O sistema visa atrair a atenção dos estudantes e da sociedade para os temas científicos abordados neste projeto.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Futebol de Robôs.

Abstract

This project proposes a system to improve the entertainment in competitions of Robot Soccer through an Augmented Reality environment. Basically, several markers will be placed around the soccer robots field that will be used to guide the correct positioning of the stands a virtual stadium, video screen and other virtual objects around the real field to create a virtual environment for entertainment, similar to that seen electronic soccer games, which is displayed to the spectators during matches. The system aims to attract the attention of students and society for the scientific issues addressed in this project.

Keywords: Augmented Reality, Robot Soccer.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os amigos e familiares que estiveram presentes durante cada momento da minha formação acadêmica.

À Luane por seu amor e sua sabedoria , que sempre me ensina que devo valorizar cada obstáculo como uma oportunidade de aprimoramento pessoal.

Aos companheiros do Grupo de Computação Gráfica, especialmente ao Éder e o Fernando Akio pela contribuição sincera e pelo pronto apoio quando precisei.

*“A experiência é um troféu composto por
todas as armas que nos feriram.”*

Marco Aurélio

Sumário

Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	7
1 Introdução	8
1.1 Motivação	8
1.2 Objetivos	9
2 Trabalhos relacionados	10
3 Fundamentação	13
3.1 Futebol de Robôs	13
3.2 Realidade Aumentada	14
3.3 ARToolKit	16
3.3.1 Funcionamento	16
3.3.2 Marcadores	17
3.3.3 Desenvolvimento no ARToolKit	18
3.3.4 Detecção e Transformação	19
3.3.5 Relação entre Câmera e Marcadores	20
3.3.6 Multimarcadores	21
3.4 SudaRA	22
4 Sistema Proposto	23
4.1 Marcadores	23
4.2 Miniatura	23
4.3 Elementos Virtuais	25
4.3.1 Vídeos	25
4.3.2 Modelos 3D	26
4.3.3 Efeitos Sonoros	27
4.4 Funções de Eventos	28
4.4.1 Função <i>evento-padrao</i>	28
4.4.2 Função <i>evento-gol</i>	28
4.5 Resultados	29
4.5.1 Miniatura	29
4.5.2 Campo	30
5 Conclusão	32
Referências Bibliográficas	34

Lista de Figuras

3.1	Futebol de Robôs	13
3.2	Posicionamento dos equipamentos (Fonte:(Dhiego Sad 2010))	14
3.3	Realidade Aumentada (Fonte: http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/)	15
3.4	Funcionamento do <i>ARToolKit</i> (Fonte:(Kato 2005))	17
3.5	Exemplo de marcador (Fonte: (Kato 2005))	18
3.6	Passos da detecção (Fonte:(Kato 2005))	20
3.7	Arquivo de configuração para Multimarcadores	22
4.1	Disposição dos Marcadores	24
4.2	Miniatura	24
4.3	Banner de propaganda	26
4.4	Modelos 3D	27
4.5	Testes com a miniatura	29
4.6	Posição dos marcadores	30
4.7	Evento padrão	30
4.8	Evento de gol	31

Lista de Tabelas

3.1	Etapas do desenvolvimento	18
3.2	Funções	19

1 Introdução

Uma vasta gama de novas tecnologias são desenvolvidas através de pesquisas em corporações e universidades e começam como projetos aparentemente direcionados a outros fins.

O Futebol de Robôs se enquadra nesta descrição, pois parte de uma ideia destinada a competição e entretenimento, entretanto encontra bases multidisciplinares de grande interesse científico e tecnológico, sobretudo para a computação e engenharia. Atuando no desenvolvimento desta tecnologia, seja criando robôs mais eficientes para o jogo, algoritmos melhores para detecção dos robôs ou de inteligência artificial para criar táticas para as partidas, os pesquisadores contribuem na geração de conhecimento nestas áreas e promovem este conhecimento para o público de forma atrativa.

A Realidade Aumentada (RA) também se define como uma destas tecnologias e tem despertado grande interesse atualmente, sobretudo nas áreas de publicidade e propaganda por seu potencial de imersão e interatividade. Aplicações nesta área envolvem pesquisas em educação, pedagogia, e principalmente em computação gráfica.

A fusão destas tecnologias tende a trazer múltiplos benefícios para ambas, pois combinando suas qualidades é possível despertar maior interesse da comunidade para a pesquisa nestas áreas.

1.1 Motivação

Um dos princípios que regem a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) é a indissociabilidade do ensino, pesquisa e extensão. Com base neste princípio tão fundamental a universidade busca levar à comunidade projetos oriundos de suas pesquisas, com o intuito de educar e atrair esta comunidade para o seio do conhecimento e da ciência.

Partindo desta ideia, a UFJF, através da Faculdade de Engenharia, promove anualmente uma Olimpíada de Robôs, na qual o Futebol de Robôs tem um destaque importante, levando a atenção de jovens estudantes para problemas específicos das áreas

envolvidas.

Alunos de escolas públicas são convocados a participar do evento, para que de uma maneira divertida e interessante se possa instigar na mente destes jovens a busca pelo conhecimento e promover o valor da pesquisa científica na sua produção.

1.2 Objetivos

Implementar um sistema de RA destinado ao entretenimento, para promover e atrair maior atenção à competição de Futebol de Robôs realizada na UFJF.

O sistema proposto irá adicionar elementos virtuais no campo de jogo com o intuito de criar ao redor deste campo real um ambiente virtual voltado ao entretenimento, semelhante ao visto em jogos eletrônicos de futebol, que será exibido para os espectadores durante as partidas.

Com a colaboração do Instituto de Artes e Design da UFJF, um modelo de estádio virtual (arquibancadas) será inserido através de RA com animações, replays, sons de torcida e outros efeitos característicos das transmissões esportivas.

2 Trabalhos relacionados

Existem na literatura várias referências importantes a respeito do uso de Realidade Aumentada direcionada ao entretenimento, à educação e também em aplicações em jogos. A fusão entre robótica e esta tecnologia também possui referências importantes, onde são estudados muitos aspectos relevantes para este projeto e suas expectativas em trabalhos futuros.

O trabalho visto em (Koyama et al 2003) propõe um método para realizar um vídeo em 3D de uma partida de futebol real e implementar um sistema de exibição que pode capturar vídeo de múltiplas câmeras, criar modelos 3D e transmitir vídeos em 3D em tempo real adicionando elementos virtuais aos vídeos das partidas.

Em (Dragone et al 2006) foi proposto o uso da Realidade Aumentada como interface na interação homem-máquina. O uso de personagens virtuais pode oferecer uma interface expressiva para o usuário. Sendo barata e de fácil adaptação e personalização, esta solução torna-se uma alternativa interessante neste tipo de interação. Este trabalho utiliza o *ARToolKit* (Kato 2005) em sua implementação e propõe a adição de elementos para refinar a compreensão das expressões e aumentar as possibilidades de interação com o usuário.

Seguindo esta ideologia de interação homem-máquina, (Fiala 2009) traz um modelo de sistema de controle de múltiplos robôs fazendo uso da RA. Com o auxílio de dispositivos hand-held, se tem a visão do movimento planejado e tarefas dos robôs sendo possível reajustar as tarefas dinamicamente através de uma interface intuitiva.

O trabalho desenvolvido em (Young et al 2007) insere figuras cartunescas em um robô de limpeza utilizando RA, demonstrando o poder de expressão e a facilidade intuitiva de compreensão na interação entre o usuário e o robô. A grande vantagem do visual cartunescos é que com simples imagens de fácil criação e aplicação se adquire um enorme poder de expressão.

Em (Wagner et al 2006) os autores fazem um estudo do nível de realismo esperado para que um personagem seja expressivo em uma ferramenta de educação e os

benefícios da Realidade Aumentada para esta expressividade. Através de uma aplicação denominada “*AR History Game*” que combina entretenimento e educação, os autores fazem uma análise numérica da expressividade do personagem virtual. Concluiu-se que os personagens em Realidade Aumentada geralmente são mais interessantes se houver interação com os objetos reais na cena. Efeitos de áudio também geram, segundo os autores, um resultado mais imersivo.

Alguns autores propõem jogos baseados na interação entre robôs e elementos virtuais através de Realidade Aumentada utilizando uma plataforma conhecido como tabletop vistos em (Calife et al 2009) e (Krzywinski et al 2009).

Em (Kojima et al 2006), efeitos de raios, explosões, entre outros são projetados sobre os robôs em uma plataforma tabletop, de acordo com sua posição e ângulo obtida através do uso de fotossensores. No jogo há diversos tipos de interação entre elementos reais e virtuais.

Finalmente em (Gerndt et al 2010) foi proposto um trabalho que associa Futebol de Robôs no contexto de Realidade Aumentada para ensino de robótica. Neste trabalho os robôs são reais, mas o ambiente é virtual. O sistema proposto é composto por um monitor de LCD posicionado na horizontal, sendo usado como campo para a partida de Futebol de Robôs. Sobre o monitor são posicionadas câmeras fixas. As câmeras são utilizadas para rastrear os marcadores fiduciais colocados sobre os robôs.

Outros projetos trazem propostas interessante em relação ao rastreamento e outras expectativas futuras para este projeto. Em (Kerdvibulvech 2010), é proposto um sistema para rastreamento de um carrinho de controle remoto utilizando análise de cores, baseado em classificador Bayesiano e filtro de partículas.

Em (Taehee et al 2007), é introduzido um sistema em tempo real sem marcadores fiduciais através do rastreamento da mão e dedos do usuário. Com uma calibração prévia (de um passo) a mão do usuário substitui os marcadores impressos e permite movimentar os objetos virtuais através de movimentos manuais intuitivos.

O projeto apresentado em (Shen Jie 2010) trata do problema de oclusão entre elementos virtuais e reais buscando uma interação física mais real entre estes objetos. Propõe uma abordagem baseada em contornos sem reconstrução 3D, que pode ser usado

para calcular a oclusão correta até em objetos móveis ou deformáveis, mas não trata bem oclusões parciais.

Por último (Eisert et al 2007) apresenta um sistema de rastreamento de sapatos em um ambiente de “Espelho Virtual” e permite personalizações de cor e detalhes em tempo real.

3 Fundamentação

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos que dão suporte científico ao trabalho desenvolvido.

3.1 Futebol de Robôs

O Futebol de Robôs é uma iniciativa interdisciplinar que busca desenvolver pesquisas em diversas áreas da engenharia e da computação. Robôs autônomos são projetados para disputarem uma partida de futebol, com regras adaptadas, e seu principal objetivo é o desenvolvimento de áreas como Visão Computacional e Inteligência Artificial.

Além de promover estes ideais, o Futebol de Robôs fortalece a colaboração entre áreas distintas de conhecimento, pois na UFJF este projeto é desenvolvido em conjunto pela Faculdade de Engenharia e a Faculdade de Ciência da Computação, através do Grupo de Computação Gráfica - GCG. A Figura 3.1a retrata uma demonstração do Futebol de Robôs na UFJF.

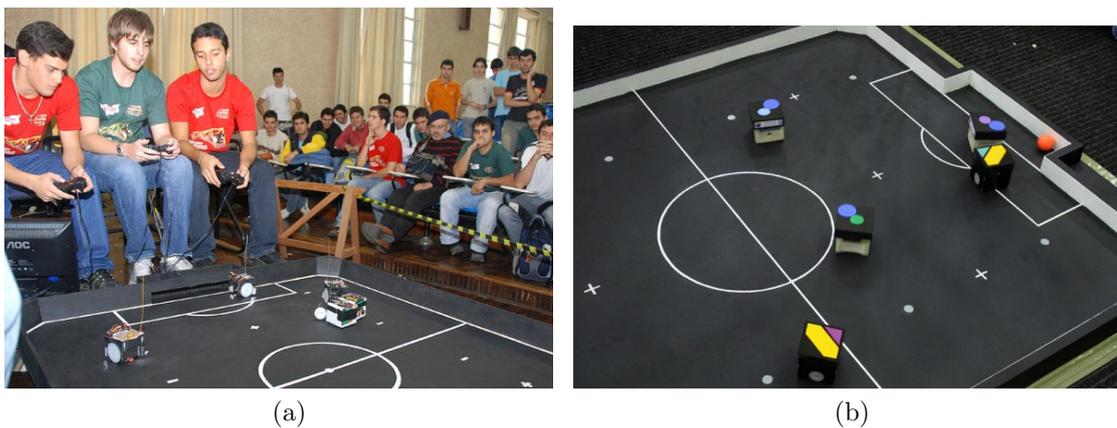


Figura 3.1: Futebol de Robôs

A competição é feita com regras semelhantes as do futebol real. Basicamente, na categoria denominada *Mirosot*, dois times de robôs se enfrentam em um campo, com três robôs de cada lado, sendo distinguidos pelas cores em cima de cada um. Cada time deve ser totalmente autônomo, ou seja, nenhuma intervenção humana é permitida após o início

de uma partida. A partida é disputada com uma bola de golfe na cor laranja, o campo e os robôs têm suas especificações ditadas em (FIRA 2011). Etiquetas identificadoras são fixadas no topo dos robôs para identificação dos times, também de acordo com as regras oficiais, como pode ser visto na Figura 3.1b.

O sistema de controle criado por acadêmicos do GCG, para esta categoria, se baseia na detecção das etiquetas identificadores dos robôs (Dhiego Sad 2010). Para tanto, a partida é realizada utilizando uma câmera posicionada acima do campo, responsável por enviar ao sistema as imagens capturadas, como representado na Figura 3.2.

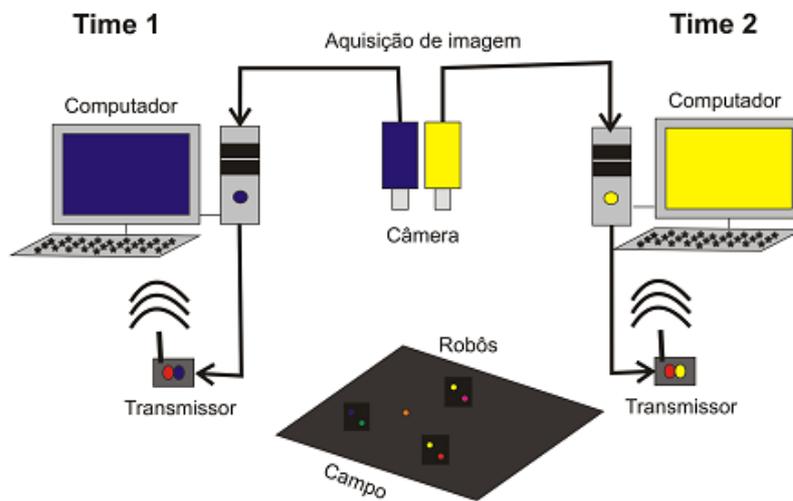


Figura 3.2: Posicionamento dos equipamentos
(Fonte:(Dhiego Sad 2010))

A partir destas imagens identifica-se os objetos de interesse na partida, tais como os robôs, a bola e as coordenadas do campo. Em seguida estes dados são processados pelo sistema de controle e enviados os comandos aos robôs, de acordo com a estratégia calculada através de Inteligência Artificial.

3.2 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é um ramo da computação gráfica derivada da Realidade Virtual. Diferente da Realidade Virtual pura, a Realidade Aumentada permite a sobreposição e composição de objetos virtuais e objetos reais.

Segundo a definição de (Azuma et al 1994) o sistema de Realidade Aumentada tem como características:

- combinação de objetos reais e virtuais;
- interatividade em tempo real;
- ambientado em 3D.

Nesta definição a Realidade Aumentada suplementa a realidade, ao invés de substituí-la completamente. Segundo ele, a ideia é passar para o usuário a impressão de que os objetos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço, similar aos efeitos obtidos no filme “Uma Cilada para Roger Rabbit” em que atores reais interagem com personagens de animação. A Figura 3.3 mostra um exemplo desta tecnologia.

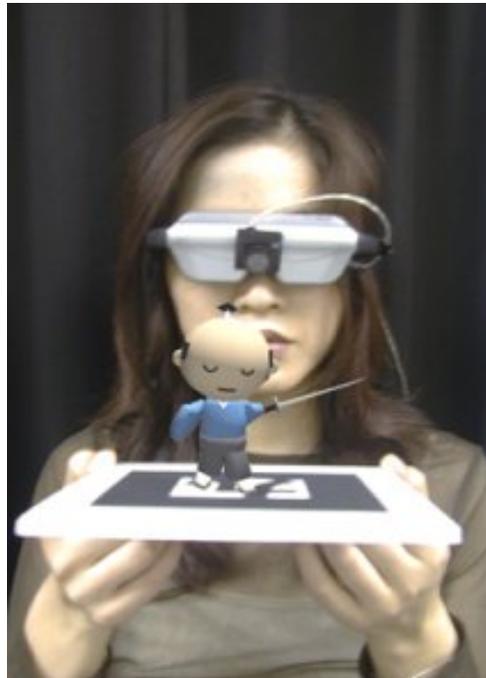


Figura 3.3: Realidade Aumentada
(Fonte: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>)

Atualmente a maior parte das pesquisas e aplicações em RA faz uso de vídeos capturados ao vivo, que são processados e “aumentados” com a adição dos elementos virtuais criados previamente.

É comum a utilização de elementos marcadores na cena para gerir as relações entre câmera e espaço e facilitar o posicionamento dos objetos virtuais, entretanto há inúmeras pesquisas em aplicações que não necessitam destes marcadores, utilizando outros elementos para coordenar esta relação.

3.3 ARToolKit

Desenvolvida inicialmente por (Kato 2005) pelo *Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University* em parceria com o *Human Interface Technology Laboratory, University of Washington (HitL)*, o *ARToolKit* é uma biblioteca em C e C++ que facilita a implementação de aplicações de Realidade Aumentada.

Utilizando técnicas de visão computacional para calcular a posição e orientação real da câmera em relação a um marcador, de modo preciso e rápido, permite ao programador sobrepor objetos virtuais à cena em tempo real.

Atualmente o *ARToolKit* é completamente multiplataforma, podendo ser utilizado em várias arquiteturas e sistemas operacionais distintos.

O próprio pacote traz vários exemplos de aplicações já construídas, para introduzir e guiar o programador na implementação de suas próprias aplicações. O *ARToolKit* é amplamente utilizado e se tornou uma referência em sua área.

Além dos recursos principais, o pacote traz algumas utilidades que são relevantes ao contexto das aplicações, especialmente um calibrador de câmera, de fácil utilização, que busca reduzir ao máximo a distorção da câmera, propiciando uma melhor precisão e coerência dos resultados.

3.3.1 Funcionamento

Todo o sistema de rastreamento, indispensável para este tipo de aplicação, tem como ponto base, no *ARToolKit*, um quadrado preto impresso em um cartão. Este objeto tem como função marcar a referência de posição e orientação dos modelos virtuais que serão introduzidos à cena, por isso são comumente chamados de marcadores. De modo geral, os objetos virtuais só serão visíveis se estes marcadores estiverem visíveis na cena.

Para efetuar o rastreamento desses elementos marcadores, o *ARToolKit* segue a seguinte diretriz:

1. a câmera captura o vídeo do mundo real e envia ao computador
2. o *ARToolKit* busca por formas quadradas em cada *frame* do vídeo
3. se um quadrado é encontrado, o software calcula matematicamente a posição da

câmera relativa ao quadrado preto

4. conhecida a posição da câmera, o modelo gráfico é desenhado na mesma posição
5. este modelo é desenhado no topo do vídeo real e aparece acima do marcador quadrado
6. o resultado final é mostrado no display de saída, e pode-se ver o elemento virtual sobreposto ao mundo real

O organograma da Figura 3.4 mostra estes passos:

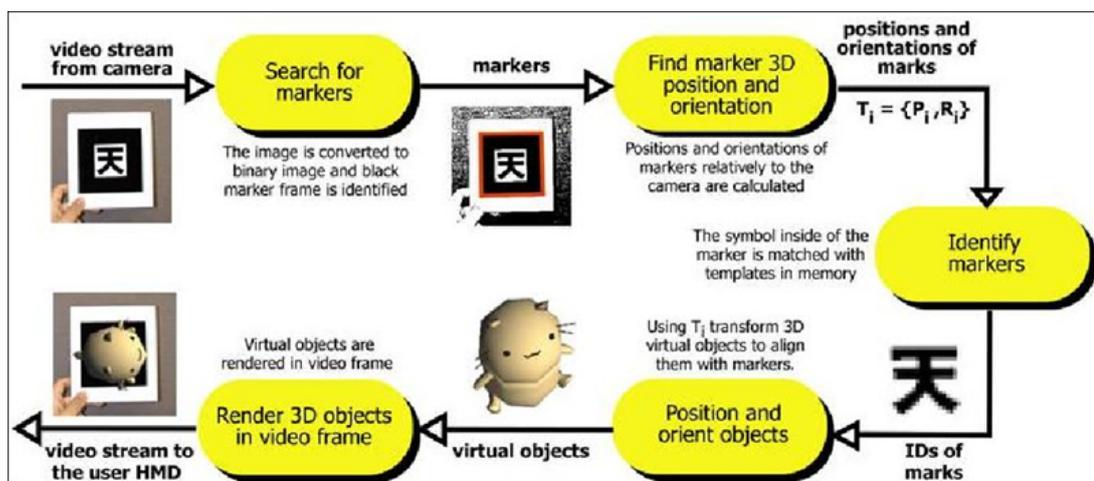


Figura 3.4: Funcionamento do *ARToolKit* (Fonte:(Kato 2005))

3.3.2 Marcadores

Os marcadores seguem uma forma padrão que viabiliza sua utilização para o sistema. Inicialmente utiliza-se neste projeto a configuração encontrada na versão 2.72 do *ARToolKit*.

Em detalhes, o marcador deve ser um quadrado preto, geralmente impresso em um cartão ou folha (de preferência branco), podendo ter qualquer tamanho. No interior do quadrado preto, encontra-se um quadrado branco que abriga um padrão, uma figura, que será o identificador do marcador. Este padrão, comumente chamado *pattern*, tem como função diferenciar os marcadores distintos e fornecer a orientação de cada um, por isso deve ser uma imagem sem simétrica rotacional para que sua orientação possa ser identificável em qualquer rotação.

A Figura 3.5 mostra o aspecto de um marcador padrão com o *pattern Hiro*.



Figura 3.5: Exemplo de marcador (Fonte: (Kato 2005))

A complexidade do padrão afeta diretamente a qualidade da detecção, sendo preferíveis imagens compostas por regiões de baixas frequências (grandes áreas negras e brancas). O tamanho dos marcadores também influi na distância na qual o rastreamento é eficaz, sendo necessário dimensionar estes de acordo com a proposta de cada aplicação.

O pacote do *ARToolKit* traz uma ferramenta para criar e treinar novos padrões de marcadores. Esta ferramenta, chamada *mk-patt*, é de fácil utilização e contribui muito para a diversificação das aplicações.

3.3.3 Desenvolvimento no ARToolKit

As aplicações derivadas desta biblioteca seguem basicamente uma mesma linha de desenvolvimento, tal como mostrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Etapas do desenvolvimento

Inicialização	1. Inicializa a captura, carrega as configurações dos padrões dos marcadores e parâmetros da câmera.
Main Loop	2. Recebe um <i>frame</i> do vídeo.
	3. Detecta o marcador e reconhece o padrão no <i>frame</i> recebido.
	4. Calcula a transformação da câmera relativa ao padrão detectado.
	5. Desenha os objetos virtuais sobre o padrão detectado.
Encerramento	6. Encerra a captura do vídeo.

Os passos 2 a 5 são continuamente repetidos enquanto a aplicação é executada, enquanto os passos 1 e 6 são de inicialização e encerramento da aplicação, respectivamente.

Podem ser adicionados em cada passo eventos de teclado, mouse ou outros necessários à aplicação específica.

Especificamente esses passos são compostos pelas funções de acordo com a Tabela 3.2

Tabela 3.2: Funções

1. Inicializa a aplicação	Init
2. Captura <i>frame</i> do vídeo de entrada	arVideoGetImage (chamada no mainloop)
3. Detecta os marcadores	arDetectMarker (chamada no mainloop)
4. Calcula as transformações de câmera	arGetTransMat (chamada no mainloop)
5. Desenha os objetos virtuais	draw (chamada no mainloop)
6. finaliza a captura de vídeo	Cleanup

Na função *init* são carregados os parâmetros de câmera, configurações de vídeo do sistema e reconhecidos os padrões de marcadores que serão utilizados para esta aplicação.

A função *arVideoGetImage* faz a captura do *frame* do vídeo que será analisado a procura dos marcadores pela função *arDetectMarker*, identificando os padrões. As transformações entre os sistemas de coordenadas da câmera e dos marcadores são feitas pela função *arGetTransMat*.

As demais funções *draw* e *Cleanup* são responsáveis pela renderização dos objetos virtuais (através de *OpenGL*) e a liberação da entrada de vídeo, respectivamente.

3.3.4 Detecção e Transformação

Na fase de detecção a imagem do *frame* recebido do vídeo de entrada é primeiramente binarizado. Esta binarização é feita pelo *ARToolkit* com utilização de um valor de *threshold* fixo.

Com a imagem devidamente binarizada é possível segmentar a imagem para se isolar os contornos dos quadrados, que serão fundamentais para os cálculos de transformação.

Somente após isolada a borda e definidas as arestas e vértices do quadrado é que serão avaliados os padrões contidos em cada marcador. Sendo assim toda forma quadrada encontrada no *frame* recebido terá suas arestas e vértices definidos. A Figura 3.6 ilustra os passos desta etapa de detecção.

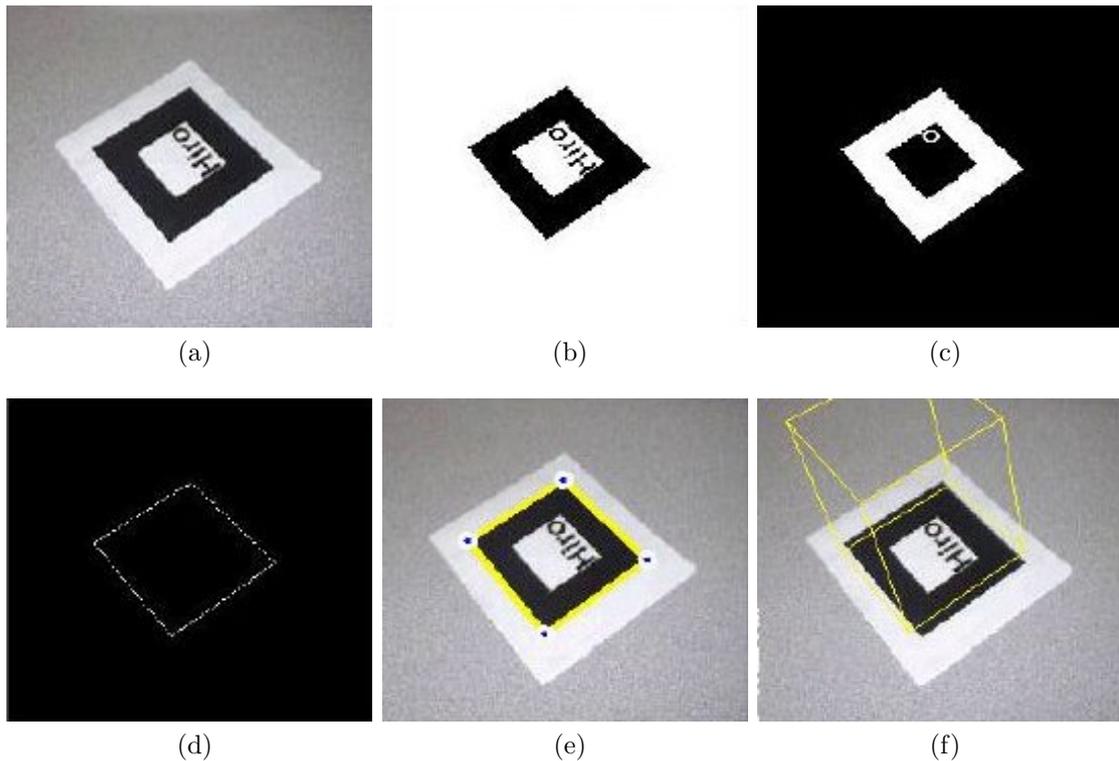


Figura 3.6: Passos da detecção (Fonte:(Kato 2005))

Após a detecção dos quadrados e o reconhecimento positivo dos padrões encontrados nos marcadores são efetuadas as transformações da matriz de coordenadas destes pontos em relação ao posicionamento da câmera.

Com estas duas etapas têm-se a cada *frame* a posição relativa dos marcadores em relação a câmera possibilitando o posicionamento correto dos elementos virtuais e garantindo a interatividade em tempo real da aplicação.

Além dos métodos comuns o *ARToolKit* possui dois métodos que se valem de informações prévias vindas de *frames* anteriores, *arDetectMarkerLite* e *arGetTransMatCont*, para detectar os marcadores e para calcular a matriz da transformação, respectivamente. Com estes métodos é possível aumentar a estabilidade de posicionamento dos objetos virtuais, conferindo maior realismo, em detrimento da precisão em relação a este posicionamento.

3.3.5 Relação entre Câmera e Marcadores

O *ARToolKit* calcula a posição do marcador em relação ao sistema de coordenadas

da câmera e usa o sistema de coordenadas do *OpenGL* para posicionar os objetos virtuais que serão inseridos.

O sistema de coordenadas do marcador segue o mesmo sistema de coordenadas do *OpenGL*, logo qualquer transformação aplicada ao objeto associado ao marcador precisa seguir as regras de transformação desta biblioteca.

Através de transformações do sistema de coordenadas da câmera para o sistema de coordenadas de vários marcadores é possível obter múltiplos sistemas de coordenadas. Sendo assim cada marcador tem sua relação com a câmera e seu próprio sistema de coordenadas, permitindo funções que calculam a relação entre estes sistema de coordenadas distintos facilitando, por exemplo, emprego em aplicações que implementam colisão de objetos.

3.3.6 Multimarcadores

A biblioteca promove também uma segunda abordagem em relação ao sistema de coordenadas dos marcadores, onde é possível associar vários marcadores distintos à um único sistema de coordenadas.

O princípio desta abordagem é previamente definir os marcadores através de suas posições relativas entre si de modo que tendo apenas um dos marcadores visível, é possível determinar a posição dos demais e calcular as transformações de cada um deles em relação ao sistema de coordenadas da câmera.

A relação entre os marcadores deste sistema é definida a priori em um arquivo de texto com o formatado apresentado na Figura 3.7.

Neste arquivo é informado o número total de marcadores que fazem parte do sistema de coordenadas. Em seguida há o detalhamento de cada um dos marcadores, informando o caminho onde será encontrado o padrão, o tamanho do marcador impresso e as coordenadas de origem neste marcador.

Uma matriz 4x3 é utilizada por cada marcador para informar o posicionamento relativo entre eles de acordo com uma origem global. Para simplificar esta referência global um marcador pode ser escolhido como origem e aos demais aplicada as variações relativas ao posicionamento de cada um.

```

#the number of patterns to be recognized
7

#marker 1
../ufjf.projects/media/patt.kanji
210.0
0.0 0.0
1.0000 0.0000 0.0000      0.0000
0.0000 1.0000 0.0000      0.0000
0.0000 0.0000 1.0000      0.0000

#marker 2
../ufjf.projects/media/patt.a
220.0
0.0 0.0
1.0000 0.0000 0.0000      -377.000
0.0000 1.0000 0.0000      0.0000
0.0000 0.0000 1.0000      0.0000

```

Figura 3.7: Arquivo de configuração para Multimarcadores

A função *arMultiGetTransMat*, análoga à *arGetTransMat*, fornece a posição de todo o sistema de coordenadas fixo em relação a câmera. É perfeitamente possível combinar as duas abordagens, multimarcadores com marcadores distintos, para atender a aplicações diversas.

3.4 SudaRA

O SudaRA - Suporte ao Desenvolvimento de Aplicações em Realidade Aumentada - é um *framework open source* em C++, criado por (Cunha et al 2010), e baseado no *ARToolKit* para o desenvolvimento de aplicações de RA. Este *framework* fornece recursos de suporte a modelos 3D, som, rede, entre outros, que amplia o uso do *ARToolKit* para diversas aplicações.

Buscando viabilizar o melhor suporte aos elementos virtuais e expandir as possibilidades de recursos empregados no projeto, a implementação deste projeto foi migrada do *ARToolKit* para este *framework*.

Este *framework* possui suporte para modelos virtuais em diversos formatos. Neste projeto os modelos virtuais utilizados possuem extensão *obj* e foi adicionado ao *framework* um novo leitor para este tipo de formato.

4 Sistema Proposto

Neste capítulo temos a descrição do sistema implementado, seu desenvolvimento, e dos elementos virtuais adicionados, bem como das possibilidades do sistema. A aplicação foi apelidada de *GCG ARStadium*.

4.1 Marcadores

Devido à natureza do projeto, foi necessário possibilitar a movimentação da câmera pelo campo para melhor registrar a partida e simular de maneira coerente a transmissão televisionada de partidas de futebol reais.

Para corroborar esta necessidade, foi preciso introduzir a abordagem de multimarcaadores ao projeto possibilitando uma movimentação mais livre da câmera pelo campo. Com o uso destes marcadores os objetos virtuais puderam ser alinhados ao campo em diversas posições.

Foram utilizados sete marcadores para cobrir todo o campo nas linhas de fundo e em uma lateral, para possibilitar o movimento da câmera e obter uma filmagem semelhante à vista em transmissões televisivas de partidas de futebol real.

O posicionamento dos marcadores ao redor do campo visa a melhor cobertura para a detecção correta dos padrões, sabendo que ao menos um destes marcadores deve estar visível para a câmera, mas sem causar uma poluição visual que poderia prejudicar o acompanhamento da partida por parte dos participantes ou ainda interferir no sistema de rastreamento dos robôs.

Após uma primeira bateria de testes de movimentação de câmera, foi decidido que os marcadores ocupariam as posições conforme a Figura 4.1.

4.2 Miniatura

Com a intenção de facilitar a fase de testes inicial, foi necessário projetar e cons-



Figura 4.1: Disposição dos Marcadores

truir uma miniatura do campo real que é utilizado nas partidas.

Feita em madeira e com uma escala de 1:10 em relação ao campo de Futebol de Robôs oficial, esta miniatura foi importante para comprovar a viabilidade da proposta de multimarcadores do projeto e definir a disposição dos marcadores. Existem diferenças no posicionamento e tamanho dos marcadores na miniatura e no campo real, pois no campo real foram encontradas dificuldades para a fixação dos marcadores nos pontos projetados na miniatura. Entretanto estas diferenças não alteraram significativamente nenhum aspecto analisado através da miniatura.

A Figura 4.2 mostra o aspecto da miniatura e a disposição dos marcadores.

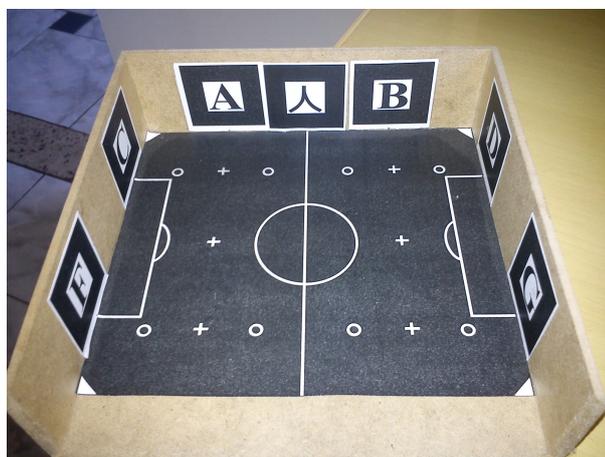


Figura 4.2: Miniatura

4.3 Elementos Virtuais

Alguns elementos virtuais que farão parte da estrutura de entretenimento foram criados e introduzidos no sistema.

Os elementos virtuais idealizados e suas respectivas extensões são:

- O estádio virtual que cerca o campo (*obj*)
- Robô personalizado que é exibido em eventos (*obj*)
- Dirigível personalizado que circula pelo campo durante a partida (*obj*)
- Telão para exibição de elementos de destaque (*avi*)
- Faixa dinâmicas de propaganda ao redor do campo (*avi*)
- Efeitos sonoros de torcida e comemoração (*wav*)

4.3.1 Vídeos

Foi idealizada a introdução de um telão virtual onde seriam exibidos *replays* de jogadas, e vídeos animados que funcionariam como elementos de destaque a eventos da partida em disputa.

Sua primeira implementação veio através da adaptação de um código obtido em pesquisa. No decorrer do projeto este código foi descartado, e o vídeo foi implementado através dos recursos do SudaRA.

Telão

Os vídeos foram projetados de modo a personalizar a aplicação e gerar os efeitos de interatividade com a partida do Futebol de Robôs.

Propaganda

Para emular as propagandas que são vistas ao redor do campo nas partidas de futebol real, foram criados vídeos curtos que trazem os logos e mensagens a serem exibidas

e que foram adicionados ao redor do campo exatamente como visto em transmissões televisivas.

A Figura 4.3 mostra o aspecto deste elemento.



Figura 4.3: Banner de propaganda

4.3.2 Modelos 3D

Existem vários formatos de modelos 3D que podem ser empregados neste tipo de aplicação. A escolha depende da afinidade do desenvolvedor com os formatos e as particularidades de cada aplicação.

Vrml

O *ARToolKit* fornece suporte a modelos 3D no formato *vrml* (extensão *wrl*), no entanto este suporte não se dá de maneira intuitiva. Foram testados alguns modelos de estádios 3D que poderiam ser utilizados para este projeto, porém a personalização e criação de modelos próprios se mostrou bastante complicada pelas particularidades do formato.

3ds

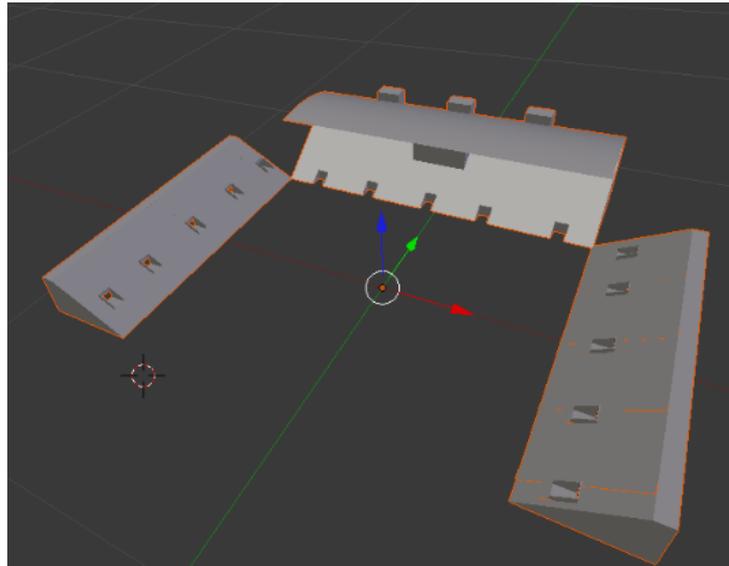
Os modelos 3D de objetos virtuais que seriam introduzidos deveriam ser atrativos e representativos ao projeto, sendo necessário sua personalização. Com o apoio de colaboradores do curso de Artes da UFJF, que se vincularam ao GCG - Grupo de Computação Gráfica - para agregar conhecimento em projetos deste grupo, surgiu a proposta de carregar modelos com extensão *.3ds* neste projeto. Para isso foi necessário implementar um leitor deste formato.

Os modelos virtuais foram desenvolvidos na ferramenta *Blender*, mas o leitor não possibilitava o suporte correto as texturas dos modelos tornando assim este formato inviável.

Obj

Através do SudaRA foi possível utilizar modelos 3D no formato *obj*, também criados com o *Blender*. Este formato se mostrou mais interessante para a aplicação, pois foi possível incorporar a textura aos objetos dando um aspecto muito mais atrativo.

A Figura 4.4 apresenta os modelos no formato *obj* que foram utilizados neste projeto.



(a) Estádio



(b) Robô animado

(c) Dirigível

Figura 4.4: Modelos 3D

4.3.3 Efeitos Sonoros

Foram introduzidos alguns efeitos sonoros com a ideia de aumentar a imersão no ambiente do jogo, pois como visto em (Wagner et al 2006) os efeitos de áudio contribuem significativamente neste aspecto.

Um som de torcida foi utilizado como som ambiente para ser executado continuamente durante o decorrer do jogo. Uma segunda faixa de áudio emula uma torcida eufórica para comemorações e eventos durante partida.

4.4 Funções de Eventos

Os elementos virtuais, vídeos e outros recursos de eventos citados são ativados através de teclas do teclado, entretanto a estrutura das funções responsáveis pela ativação visa facilitar a implementação futura de um canal de comunicação entre este sistema de entretenimento e o sistema de controle da partida de Futebol de Robôs. Desta forma será possível ativar as animações, efeitos sonoros e vídeos especiais em sincronia com o registro destes eventos no sistema de controle da partida de maneira automática.

4.4.1 Função *evento-padrao*

A função *evento-padrao*, inicializada normalmente pelo sistema e também acionada através da tecla *p*, carrega no telão virtual o vídeo padrão, as propagandas ao redor do campo e o áudio padrão de torcida. Estes elementos são reproduzidos continuamente até que um outro evento os substituam, e são novamente reativados após o término da exibição dos elementos deste evento.

Os modelos 3D exibidos no evento padrão são apenas o estádio virtual e o dirigível que circula pelo campo. Futuramente sua ativação pode ser ligada ao registro do pontapé inicial no sistema de controle da partida.

4.4.2 Função *evento-gol*

A função *evento-gol*, acionada através da tecla *g*, carrega no telão virtual e nas faixas de propaganda os vídeos de evento e o áudio de comemoração, substituindo os elementos do evento padrão citados acima. Estes elementos são exibidos uma única vez, enquanto os robôs se reposicionam para o reinício da partida.

Neste evento, além do estádio e o dirigível, são adicionados os robôs animados, que são projetados sobre o campo em uma animação de comemoração. Futuramente sua

ativação pode ser ligada ao registro dos gols no sistema de controle da partida.

Uma variável de controle, denominada *gol*, coordena de modo simples na função *draw* a exibição dos robôs animados condicionando-a ao evento.

4.5 Resultados

Foram realizados testes com uma câmera de alta resolução *Basler Scout SCA640 - 120fc* de 640 x 480 *pixels* em placa de captura de vídeo *IEEE 1394B*, e com câmera *VGA* simples de notebook. Em ambos os casos foi obtido um resultado satisfatório em relação à detecção dos marcadores.

Todos os testes foram realizados em condições de iluminação simples, sem qualquer ajuste prévio.

Com marcadores de 22cm (no campo real) a câmera pôde se posicionar em condição de registrar toda a partida e o movimento dos robôs sem perder a imagem dos marcadores.

4.5.1 Miniatura

Os testes iniciais foram feitos sobre a miniatura do campo utilizando apenas o estádio, o telão e dirigível. Os resultados apresentados na Figura 4.5 mostram o alinhamento do estádio virtual em relação ao campo, a proporção relativa dos modelos e a possibilidade de movimentação da câmera.



Figura 4.5: Testes com a miniatura

4.5.2 Campo

Após a execução dos testes iniciais na miniatura, uma nova bateria de testes foi executada no campo real. Para esta etapa os marcadores foram posicionados conforme a Figura 4.6.

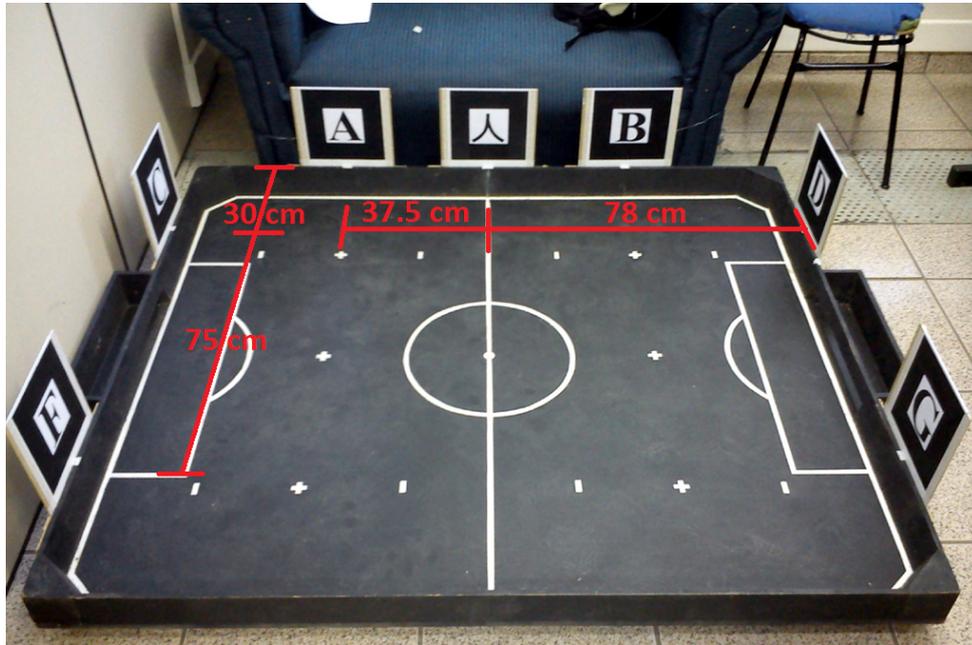


Figura 4.6: Posição dos marcadores

A projeção dos elementos virtuais sobre os marcadores fiduciais pode ser vista nas Figuras 4.7 e 4.8 que mostram o *evento-padrão* e o *evento-gol*, respectivamente.



Figura 4.7: Evento padrão

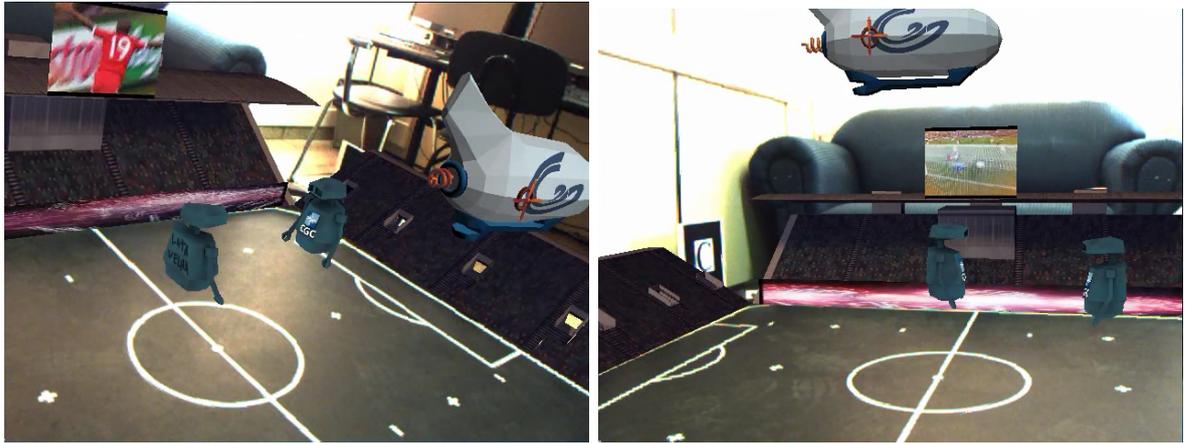


Figura 4.8: Evento de gol

5 Conclusão

Este projeto propõe a utilização de Realidade Aumentada para adição de um ambiente de entretenimento virtual em partidas de Futebol de Robôs. O sistema é composto por múltiplos marcadores que possibilitam uma movimentação mais ampla da câmera sobre o campo e garante a fidelidade de posicionamento dos elementos virtuais durante toda a execução.

O objetivo deste sistema é tornar mais atrativa a exibição das partidas de Futebol de Robôs despertando a atenção de alunos do ensino médio e acadêmicos dos períodos iniciais dos cursos de Ciência da Computação e Engenharia Elétrica. De acordo com os resultados obtidos e o interesse demonstrado pela proposta, inclusive com aprovação de um artigo (Silva R. et al 2011) com este tema no *VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, este projeto consegue atingir este objetivo maior de divulgar a competição de Futebol de Robôs e as contribuições deste projeto para o desenvolvimento de várias tecnologias de interesse da sociedade. Estes resultados motivam o aprimoramento futuro deste sistema de entretenimento, buscando com novos recursos e outras abordagens, dar continuidade e maiores proporções à promoção do Futebol de Robôs.

A literatura relacionada indica vários recursos que podem ser empregados futuramente dentro deste projeto, incluindo a utilização das características naturais do campo para possibilitar o registro dos elementos virtuais, removendo os marcadores fiduciais necessários neste protótipo. Os robôs também podem ser utilizados para substituir os marcadores e assim inserir outros elementos virtuais sobre eles.

Esta implementação pode também ser adaptada para que possa ser utilizada em outros dispositivos, como óculos de Realidade Virtual (ou Aumentada), *smartphones*, *tablets* e outros, permitindo também ao usuário acessar informações de interesse como *replays*, estatísticas, e outras informações acerca da partida. Aliando-se a mobilidade destes dispositivos com a utilização do próprio campo como marcador, pode ser criado um sistema muito mais dinâmico e interessante, onde cada usuário interage de modo diferente frente ao sistema, aumentando a imersão no ambiente proposto.

O sistema de comunicação entre este projeto e o controle da partida pode ser implementado e possibilitar a automatização da ativação dos eventos, bem como uma maior gama de possibilidades de eventos, como faltas, pontapé inicial, pênaltis.

Várias possibilidades de personalização dos elementos virtuais podem ser utilizadas, trazendo animações, expressões e outros recursos em cada evento possível nas partidas. Uma customização de cores das torcidas e outros elementos virtuais, de acordo com o padrão de cada equipe em campo, traria uma identidade diferente para cada partida, além de facilitar a identificação dos robôs e das equipes.

Com esta vasta gama de possibilidades futuras, este projeto também se torna base para novas pesquisas na área de Realidade Aumentada e afins, atingindo um patamar além de sua proposta inicial de apenas despertar o interesse por esta tecnologia e pelas competições de Futebol de Robôs.

Referências Bibliográficas

- [Azuma et al 1994] Azuma, R.; Bishop, G. **Improving static and dynamic registration in an optical see-through hmd**. In: Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, SIGGRAPH '94, p. 197–204, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- [Calife et al 2009] Calife, D.; Bernardes, Jr., J. a. L. ; Tori, R. Robot arena: An augmented reality platform for game development. **Comput. Entertain.**, v.7, p. 11:1–11:26, February 2009.
- [Cunha et al 2010] Cunha, C. H. B.; Fernandes, S. M. M. **Prototipação de ambientes físicos com realidade aumentada**. In: a, p. 4, 2010.
- [Dhiego Sad 2010] da Silva Sad, D. C. O. **Sistema de detecção e controle para futebol de robôs com processamento remoto**, 2010.
- [Dragone et al 2006] Dragone, M.; Holz, T. ; O'Hare, G. M. **Mixing robotic realities**. In: Proceedings of the 11th international conference on Intelligent user interfaces, IUI '06, p. 261–263, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [Eisert et al 2007] Eisert, P.; Rurainsky, J. ; Fechteler, P. **Virtual mirror: Real-time tracking of shoes in augmented reality environments**. In: Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on, volume 2, p. II –557 –II –560, 16 2007-oct. 19 2007.
- [FIRA 2011] FIRA. **Mirosot rules.doc**, 2011. Online; acessado em 19 de novembro de 2011.
- [Fiala 2009] Fiala, M. **A robot control and augmented reality interface for multiple robots**. In: Computer and Robot Vision, 2009. CRV '09. Canadian Conference on, p. 31 –36, may 2009.
- [Gerndt et al 2010] Gerndt, R.; Krupop, S. **Ecobe! mixed reality robot kit - an entry-level system for teaching cooperative robotics**. In: Proceeding of the Intl. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots, p. 539–548, 2010.
- [Kato 2005] Kato, H. **Artoolkit 2.33 documentation (alpha version)**. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/>, 2005. Human Interface Technology Laboratory, University of Washington.
- [Kerdvibulvech 2010] Kerdvibulvech, C. **Real-time augmented reality application using color analysis**. In: Image Analysis Interpretation (SSIAI), 2010 IEEE Southwest Symposium on, p. 29 –32, may 2010.
- [Kojima et al 2006] KOJIMA, M.; SUGIMOTO, M.; NAKAMURA, A.; TOMITA, M.; INAMI, M. ; NII, H. **Augmented coliseum: An augmented game environment with small vehicles**. In: Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, p. 3–8, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society.

- [Koyama et al 2003] Koyama, T.; Kitahara, I. ; Ohta, Y. **Live mixed-reality 3d video in soccer stadium**. In: Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on, p. 178 – 186, oct. 2003.
- [Krzywinski et al 2009] Krzywinski, A.; Mi, H.; Chen, W. ; Sugimoto, M. **Robotable: a tabletop framework for tangible interaction with robots in a mixed reality**. In: Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '09, p. 107–114, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [Shen Jie 2010] Jie, S. **Resolving occlusion in augmented reality based on invariant for two views**. In: Biomedical Engineering and Computer Science (ICBECS), 2010 International Conference on, p. 1 –4, april 2010.
- [Silva R. et al 2011] Silva, R.; Vieira, M. B.; Dourado, L. ; Silva, R. **Realidade aumentada aplicada ao futebol de robos**. In: WRVA 2011, nov 2011.
- [Taehee et al 2007] Lee, T.; Hollerer, T. **Handy ar: Markerless inspection of augmented reality objects using fingertip tracking**. In: Wearable Computers, 2007 11th IEEE International Symposium on, p. 83 –90, oct. 2007.
- [Wagner et al 2006] Wagner, D.; Billinghamurst, M. ; Schmalstieg, D. **How real should virtual characters be?** In: Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology, ACE '06, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [Young et al 2007] Young, J. E.; Xin, M. ; Sharlin, E. **Robot expressionism through cartooning**. In: Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, HRI '07, p. 309–316, New York, NY, USA, 2007. ACM.